

METODIKA VĚDECKÉ PRÁCE

Grundlagen einer formalen Methode zur Zusammenstellung und Bewertung von Bestimmungsschlüsseln

Základy formální metody ke konstrukci a hodnocení určovacích klíčů

Rudolf Jičín, Zdeněk Pilous und Zdeněk Vašíček

Muzeum Trutnov, Školní 9

Eingegangen am 31. Mai 1967

A b s t r a k t — Die Arbeit untersucht vom methodologischen Gesichtspunkt aus die Prinzipien der Zusammenstellung von Bestimmungsschlüsseln (unter Benützung bryologischen Materials). Sie gibt die Methode an, die einen exakten Ausdruck des Masses der Effektivität der einzelnen Schlüssel und eine Festsetzung der Eigenschaften eines optimal effektiven Schlüssels ermöglicht. Dadurch ist eine Festsetzung des Vorganges möglich, durch den sich Schlüssel auf mechanischem Wege herstellen lassen (z. B. mit Hilfe von Lochkartenmaschinen).

Die Grundmethoden aller deskriptiven Wissenschaften sind die Einteilung und Klassifikation auf der Grundlage der Beschreibung¹⁾. Diese Methoden

¹⁾ Die Teilung der Wissenschaften in deskriptive und explikative, eine Teilung, die in den bisherigen Klassifikationen der Wissenschaften wenig üblich ist (weil sie die Wissenschaften nicht nach den historisch entstandenen Ganzheiten teilt), hat vor allem vom Standpunkt der modernen Methodologie aus Sinn. Wir scheiden so Wissenschaften aus, gegebenenfalls Teile von ihnen mit analogen Arbeitsvorgängen, die im ganzen zu verfolgen methodologisch vorteilhaft ist.

Nehmen wir eine bestimmte Ordnung der methodologischen Vorgänge der menschlichen Erkenntnis (z. B. Beobachtung, Beschreibung, Vergleich, Analogie, Klassifikation, Experiment, empirische und rationale Induktion, Deduktion) sowohl vom Standpunkt der Phylogenese als auch der Ontogenese aus als Grundlage, so können wir die Wissenschaften, bei denen die Methoden der Beschreibung und Klassifikation vorherrschen, als deskriptive bezeichnen und die, wo induktive und deduktive vorherrschen, als explikative. Diese Teilung verläuft in mehreren Fällen auch innerhalb der einzelnen Wissenschaften, und zwar vor allem bei denen, die nicht in partielle Wissenschaften gegliedert sind.

Dieser Teilung nach den Methoden und nach der Stufe der gnoseologischen Entwicklung entspricht teilweise auch die Teilung in empirische und rationale Wissenschaften und die Gliederung nach dem Charakter der Erkenntnisse in konkrete und abstrakte. Der Vorrang der einzelnen methodologischen Vorgänge ist nicht nur durch den Stand der Erkenntnis bestimmt, sondern auch durch den Gegenstand. Besonders bei einigen partiellen Wissenschaften würde die folgerichtige Applikation entwicklungsmässig höherer Methoden offenbar den Rahmen ihres Gegenstandes überschreiten.

Ebenso können wir die Objekte der Erkenntnis der einzelnen Wissenschaften nach dem Kriterium des Ortes des Auftretens teilen und also rückläufig auch die dazugehörigen wissenschaftlichen Fachgebiete. Wenn wir untersuchen, was für eine Bedeutung für die Erforschung der Objekte ihre Einordnung in die Zusammenhänge mit dem Orte ihres Auftretens hat, stellen wir fest, dass die explikativen Wissenschaften zum Unterschied von den deskriptiven ihre Objekte im Sinne der Bestimmung „in loco, sed in aliquo ubi“ (s. LEIBNIZ 1765) festlegen.

Wir vermuten, dass ein solcher Begriff der deskriptiven Wissenschaften die Konstituierung einer spezifischen Methodologie erfordert, deren Ausarbeitung (neben der Methodologie der Induktion und Deduktion) in Angriff genommen werden muss. Die methodologische Problematik der Beschreibung und Klassifikation ist innerlich so weit konsistent, dass sie als zusammenhängendes Ganzes untersucht werden sollte, und zwar insbesondere deshalb, weil ihre bisherige Einbeziehung in die Methodologie der induktiven oder empirischen Wissenschaften eine adäquate Lösung ihrer Problematik unmöglich macht (vg. VAŠÍČEK 1966).

sind eine notwendige Voraussetzung jeglicher Tätigkeit und gehören deshalb zu den genetisch ältesten. Die Versuche ihrer Kodifizierung bilden die Grundlage der Aristotelischen Logik.

Diese Logik genügte allerdings nicht einmal der antiken Wissenschaft wegen ihres unsystematischen Charakters. Ihr Prinzip der Unterordnung erfasst nicht alle realen Beziehungen und nötigt uns, Einheiten einzuführen, die den realen Einheiten des in Erwägung gezogenen Fachgebietes nicht adäquat sind.

Die Entwicklung der wissenschaftlichen Explikation und der modernen Methodologie und Logik ermöglicht es, mit der Klassifikation von neuen Gesichtspunkten aus zu befassen. Die Theorie der Klassifikation wird durch die moderne Logik und Mathematik als Teil der Theorie der Zerlegung an den Mengen, mit Hilfe der Theorie der Verbände, des Prädikatenkalküls und der Booleschen Algebra erforscht. Mit der Klassifikation befasst sich die sogenannte Klassifikationsalgebra, welche verschiedene Klassifikationen einer Menge, die Beziehungen dieser Klassifikationen und die Operationen an den Klassifikationen studiert (s. FILKORN 1960 : 119).

Der überwiegende Teil der so entstandenen Verfahren und Schlussfolgerungen wird jedoch in der konkreten deskriptiven Wissenschaften mit Ausnahme der numerischen Taxonomie nicht ausgenützt. Die Folge davon ist, dass die Möglichkeiten der Applikation der bisherigen Verfahren und Schemata der Klassifizierung beschränkt sind und dass die so verarbeiteten Daten nicht die Grundlage, sondern eher Belegmaterial für die wissenschaftliche Explikation sind.

In der Botanik und Zoologie spielten Einteilung und Klassifikation immer eine Grundaufgabe und ihre systematische Manifestation sind Taxonomie und Systematik. Das Mass der Angemessenheit der Systematik und Taxonomie ist durch den Umfang und die Tiefe unserer Erkenntnis gegeben, die sich unmittelbar in der Breite und Qualität der Beschreibung äussert. Die Taxonomie klassifiziert nicht nur reale Individuen, sondern vor allem unsere Erkenntnisse von ihnen. Dadurch ist ihre Berechtigung auch dann gegeben, wenn sie den realen Einheiten nicht offensichtlich adäquat ist und daher mehr oder weniger die Rolle der Orientierung in der Menge der ungeordneten Erkenntnisse spielt.

Allgemein können wir sagen, dass die Klassifikation um so adäquater oder nützlicher ist, je mehr Individuen sie aus dem in Erwägung gezogenen Fachgebiete umfasst und mit je mehr Gesichtspunkten sie operiert. Bei der heutigen Breite der Wissenschaft steigert sich nicht nur die Anzahl der untersuchten Individuen, sondern durch die Differenzierung innerhalb der Wissenschaften vermehren sich auch die Gesichtspunkte, nach denen diese Individuen erforscht werden. Da die Taxonomie den Stand unserer Erkenntnisse registriert, kann sie nur ganz ausnahmsweise deren Niveau überschreiten.

Bei den klassischen botanischen Taxonomien wurden vor allem morfologische Gesichtspunkte verwendet, während in der Gegenwart diese Gesichtspunkte durch allgemein biologische ergänzt werden. Mit Rücksicht auf die Fülle des untersuchten Materiales muss der Stand der Beschreibung, der alle diese Gesichtspunkte umfassen würde, natürlich immer hinter den Bedürfnissen zurückbleiben. Es ist also in jedem Falle nötig, die bisherige Taxonomie auszuwerten. Es handelt sich nun (ohne Rücksicht auf den konkreten Gehalt, der ständig modifiziert werden kann) um die Unterordnung der taxonomischen Problematik unter die methodologischen Forschungen, die sie zwar nicht unmittelbar adäquater, aber dafür applikationsfähiger machen können.

Die erste Voraussetzung ist der Übergang von der qualitativen Forschung zur quantitativen, die uns die notwendige Schematisierung, Formalisierung und Quantifizierung ermöglicht.²⁾

Diese Bemühung lässt sich mit den Ergebnissen ähnlicher Versuche der gegenwärtigen Dokumentalistik vergleichen, die sich als selbstständige wissenschaftliche Disziplin bildet, welche die allgemeine Theorie der informativen Selektionssysteme unter Benützung der Mathematik und Logik verarbeitet. Hierher gehört die Theorie der sogenannten Unterterme (oder Deskriptoren). Ein Uniterm bildet ein Komplex notwendiger Begriffe, die zur Identifizierung des gegebenen Dokumentes im Rahmen einer bestimmten Sammlung von Dokumenten genügen, was bedeutet, dass der Inhalt des verarbeiteten Dokumentes in einfache Begriffe zerlegt wird, die im System verwendet werden (s. z. B. FOWLER 1965, GELDER 1967, KENT 1962, SHERA 1956).

Die Geltendmachung der Ergebnisse der modernen Methodologie, die vor allem die Logik, die Informationstheorie, die Wahrscheinlichkeitsrechnung, die mathematische Statistik, die Mengenlehre und die Theorie der Verbände benützt, ist in den sogenannten deskriptiven Wissenschaften bisher nicht üblich, wie es notwendig wäre. Dies wurde auch dadurch verursacht, dass die Applikation dieser allgemeinen Methoden bloss fallweise durchgeführt werden konnte, denn es fehlte ihre Theorie — die Methodologie der deskriptiven Wissenschaften. Diese Methodologie befindet sich in ihren Anfängen²⁾. Von den bisherigen Versuchen sind die Ergebnisse z. B. von CARNAP (1959), AJDUKIEWICZ (1965) und von unseren Forschern die von ZICH (1959, 1965) wertvoll.

Ein bedeutsamer Schritt zur Ausbildung und Applikation der neuen Methoden ist die numerische Taxonomie, die vor allem von den Ideen der Adansonschen Systematik ausgeht (SOKAL et SNEATH 1963). Die Wiederholbarkeit und Objektivität ihrer Methoden wiegt die Mängel auf, die ihr von der Kritik vorgeworfen werden, die aus den Positionen der Verfechter der klassischen phylogenetischen Systematik geführt wird. Die unmittelbare Verwendbarkeit und die daraus sich ergehende Konventionalität der Bestimmungsschlüssel, mit denen wir uns in dieser Arbeit befassen, führt zur Übereinstimmung unserer methodologischen Ausgangsvoraussetzungen mit der numerischen Taxonomie.⁴⁾

Die Taxonomie hat die Aufgabe, die Taxone aller Stufen zu beschreiben, aber sie muss auch dem praktischen Gebrauch dienen, d. h. die Elemente nach der Beschreibung von neuem bestimmen. Zur Erleichterung und Verwirklichung dieser Arbeit dient der Bestimmungsschlüssel. Die Erforschung der Bestimmung und ihre Konstituierung in Form des sogenannten Schlüssels ermöglicht es uns teilweise, uns über das taxonomische System zu äussern,

²⁾ „Wenn man Natur- oder Sozialereignisse mathematisch behandeln will, muss man zuerst diese Ereignisse schematisieren; man kann nämlich die mathematische Analysis zur Betrachtung eines Änderungsprozesses eines Systems nur dann anwenden, wenn man voraussetzt, dass jeder mögliche Zustand dieses Systems sich mit Hilfe eines bestimmten mathematischen Apparats vollständig beschreiben lässt, z. B. durch die Werte einer bestimmten Anzahl von Parametern; ein solches mathematisch definierbares System ist überhaupt nicht die Wirklichkeit, sondern nur ein Schema, welches zur Beschreibung der Wirklichkeit dienen kann“ (KOLMOGOROV 1931 : 415—416).

³⁾ „Im scharfen Gegensatz zu dem hohen Niveau der empirischen Wissenschaften selbst kann sich die Methodologie dieser Wissenschaften kaum rühmen, dass sie nach Gebühr bestimmte Ergebnisse erreicht hat, und zwar trotz erheblicher Bemühungen, die in dieser Richtung aufgewandt wurden. Sogar die vorläufige Aufgabe — die im diesen Gebiete enthaltenen Begriffe aufzuklären — wurde bisher nicht auf befriedigende Weise durchgeführt“ (TARSKI 1966 : 15 — Vorrede zur tschechischen Ausgabe).

⁴⁾ (1) The ideal taxonomy is that in which the taxa have the greatest content of information and which is based on as many characters as possible.

(2) A priori, every character is of equal weight in creating natural taxa.

(3) Overall similarity (or affinity) between any two entities is a function of the similarity of the many characters in which they are being compared.

(4) Distinct taxa can be constructed because of diverse character correlations in the groups under study.

(5) Taxonomy as conceived by us is therefore a strictly empirical science.

(6) Affinity is estimated independently of phylogenetic considerations.

(SOKAL — SNEATH 1963 : 50.)

und zwar nicht nur vom Gesichtspunkt seiner Angemessenheit, sondern auch vom Gesichtspunkt seiner formalen Richtigkeit aus.

Zu diesem Zwecke nehmen wir als Grundlage bryologisches Material aus einer Arbeit von PILLOUS (1960). Bei der Untersuchung beschränkten wir uns auf die Ermittlung des Bestimmungsschlüssels der Familie *Grimmiaceae* Schimp.

Die Grundfunktion des Schlüssels ist die Durchführung der Bestimmung, d. h. die Zuordnung des untersuchten Individuums zu einem bestimmten taxonomischen Element (weiterhin nur Element) des gegebenen Komplexes. Die Bestimmung geschieht durch fortschreitendes Einordnen der Eigenschaften des untersuchten Individuums zu den Eigenschaften eines bestimmten Elementes; ihr Prinzip ist also ein bestimmter Komplex von Entscheidungen darüber, ob das untersuchte Individuum bestimmte Eigenschaften (weiterhin angeführt als Prädikate) aufweist oder nicht.⁵⁾ Damit die Bestimmung eindeutig durchführbar ist, müssen diese Prädikate im Schlüssel auf eine Weise ausgewählt und angeordnet sein, die eine sichere gegenseitige Unterscheidung aller Elemente des gegebenen Komplexes ermöglicht; nur so kann im Ergebnis der Bestimmungsuntersuchung das untersuchte Individuum gerade einem aus dem gegebenen Komplex der Elemente zugeordnet werden.⁶⁾

[In der Biologie versteht man unter Elementen der Erwägung taxonomische Einheiten (Grundeinheit: Art; übergeordnete: z. B. Gattung, Familie; untergeordnete: Varietät). In unserer Arbeit werden wir alle diese Einheiten als Elemente des in Erwägung gezogenen Fachgebietes bezeichnen.]

Nehmen wir an, dass das untersuchte Individuum ein Moos der Familie *Grimmiaceae* SCHIMP. ist (weiterhin nur G.) und nehmen wir weiter an, dass es unsere Aufgabe ist, festzustellen, welche Art dieser Familie das untersuchte Individuum darstellt. Wenn wir zur Lösung dieser Aufgabe den entsprechenden Bestimmungsschlüssel verwenden, fordern wir, dass es durch fortschreitende Bestimmung ausgewählter Prädikate des untersuchten Individuums möglich ist, schliesslich sicher über die Zuordnung des untersuchten Individuums zu einer der bekannten Arten der Familie G. zu entscheiden. Dazu ist es nötig, dass im Schlüssel selbst jede der Arten der Familie G. durch einen bestimmten Komplex seiner Prädikate eindeutig von allen übrigen unterschieden ist.]

Auch wenn der Schlüssel richtig zusammengestellt ist und alle Bestimmungsentscheidungen richtig waren, kann trotzdem der extreme Fall eintreten, dass die Zuordnung nicht richtig durchgeführt werden kann; dann handelt es sich offenbar um die Feststellung eines neuen taxonomischen Elementes, um welches das taxonomische System zusätzlich erweitert werden muss.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, dass der Bestimmungsschlüssel, der n Elemente gegenseitig unterscheiden soll, gerade n Komplexe von Prädikaten bilden muss, von denen jeder eines der Elemente definiert. Der Schlüssel muss also neben seiner Bestimmungsfunktion auch eine Definierungsfunktion erfüllen; jedes der Elemente, für die der Schlüssel zusammengestellt wurde, ist durch einen bestimmten Komplex seiner Prädikate

⁵⁾ Die Beschreibung des Gegenstandes beruht im Wesen in Zuordnung von Eigenschaften, d. h. einstelliger Prädikate zu dem gegebenen Gegenstand.

⁶⁾ Mit Rücksicht auf die Variationsweite der Taxa in der Botanik kann der Schlüssel nur ein Orientierungsbefehl sein. Entscheidend ist der entgeltliche Vergleich aller Kennzeichen des Taxons mit einer ausführlichen taxonomischen Beschreibung, gegebenenfalls mit Bild- und Vergleichsmaterial.

definiert (unterschieden von allen übrigen), die wir als Differenzierungsprädikate dieses Elementes bezeichnen.⁷⁾

[So ist beispielsweise im Schlüssel der Familie *G. von PILOUS G. hartmanii* durch folgende Prädikate definiert (von allen übrigen Arten dieser Familie unterschieden): 5b (Gattungsprädikat), 1b, 11a, 12a, 13b, 15a, 16b, 17a.]

Die primitivste Form des Schlüssels ist der Komplex der Beschreibungen der Elemente in der taxonomischen Systematik (und zwar ohne Rücksicht auf die eventuelle Variationsbreite des Elementes). Die Bestimmung lässt sich durch fortschreitendes Vergleichen jedes Prädikates aller Elemente mit den Prädikaten des untersuchten Individuums durchführen. Eine solche Bestimmung ist jedoch offensichtlich überflüssig mühevoll, obwohl ihr Ergebnis eine vollständige Beschreibung nach der Systematik ist. Sie erfordert nämlich eine maximale Anzahl von Entscheidungen über die Prädikate des untersuchten Individuums (Anzahl aller Prädikate mal Anzahl der Elemente). Der Zweck des Bestimmungsschlüssels ist es eben, einen solchen ungeeigneten Vorgang bei der Bestimmung zu vereinfachen, und das lässt sich durch Verkürzung der ursprünglichen systematischen Beschreibung des Elementes auf die Aufzählung seiner Differenzierungsprädikate durchführen. Wir können also behaupten, dass der Schlüssel umso effektiver ist, je kleiner die Anzahl der Feststellungen der Prädikate des untersuchten Individuums ist, die zur Einordnung gerade zu einem der Elemente des Komplexes notwendig ist, oder anders ausgedrückt, je weniger Differenzierungsprädikate die Definition der einzelnen Elemente enthält.⁸⁾

[Im Schlüssel von PILOUS ist *G. hartmanii* von allen übrigen Arten der Familie *G.* durch 8 Differenzierungsprädikate unterschieden. Wenn es durch weniger Prädikate definiert wäre und wenn dabei die Definitionen der übrigen Arten im Schlüssel nicht verlängert würden, dann wäre ein derartiger Schlüssel unzweifelhaft günstiger als der ursprüngliche.]

Über die Vorteilhaftigkeit des Schlüssels können wir jedoch nicht aus einer oder aus mehreren Bestimmungen urteilen, sondern wir müssen voraussetzen, dass die Bestimmungsuntersuchungen mit Hilfe des Schlüssels oftmals durchgeführt werden. Wenn wir dabei noch voraussetzen, dass die Bestimmung im Durchschnitt mit derselben Wahrscheinlichkeit zu jeder beliebigen der möglichen Bestimmungen des untersuchten Individuums führt, wird für die Vorteilhaftigkeit des Schlüssels der mittlere Wert der Anzahl der Differenzierungsprädikate in der Definition entscheidend sein und keineswegs die Mindestanzahl der Differenzierungsprädikate in irgendeiner von ihnen.

Wenn wir den vorteilhaftesten, optimalen Schlüssel zur Bestimmung von *n* Elementen konstruieren wollen, brauchen wir die Beschreibung dieser Elemente als Grundlage. Wir können von der systematischen Taxonomie

⁷⁾ Wenn wir die Beschreibung so auffassen, wie in der Anmerkung 5 angeführt wurde, erhalten wir Prädikate auf derselben Stufe; die Prädikate sagen dann über Gegenstände und nicht über andere Prädikate aus. Das schließt eine eventuelle Gültigkeit logischer Relationen innerhalb der Prädikate nicht aus. Es ist dies eine Definition von nicht inklusiven Typus, die an Platons Definition des Menschen erinnert.

⁸⁾ In dieser Arbeit versteht man unter Schlüssel einen konsequent dichotomen Schlüssel, d. h. einen Schlüssel, in dem jede Entscheidung darüber, ob ein Individuum eine bestimmte Eigenschaft aufweist oder nicht, immer nur zwei mögliche Ergebnisse hat. Ein Schlüssel, der bei manchen Entscheidungen drei oder mehr Ergebnisse voraussetzt, ist übrigens immer auf einen dichotom gegliederten Schlüssel übertragbar, der einerseits die logische Struktur der Bestimmung adäquater ausdrückt, andererseits in der Regel effektiver ist. Die Schematisierung der Beschreibung durch dichotome Gliederung ermöglicht auch eine einfachere Anwendung logischer Kalküle.

der Elemente oder von einem weniger effektiven Schlüssel ausgehen. Dabei fordern wir, dass in der Beschreibung für jedes Element entschieden ist, ob es jedes der Prädikate, das in der Beschreibung erscheint, hat oder nicht. Jedem der Komplexe der Elemente, für die wir den optimalen Schlüssel konstruieren, muss also in der Beschreibung jedes der Prädikate, das in den Beschreibungen erscheint, oder seine Negation, zugeordnet sein, keinesfalls jedoch ein Prädikat gleichzeitig mit seiner Negation. Die Erfüllung dieser Forderung, die in der Praxis eine Präzisierung der Formulierung der Prädikate erfordert, ist zwar für die exakte Konstruktion eines Schlüssels nicht unerlässlich, jedoch vorteilhaft. Wir wissen nämlich nicht von vornherein, für welche Elemente das Prädikat ein Differenzierungsprädikat sein wird. Das hängt von der Rangordnung ab, die für die Prädikate erst durch die Zusammenstellung des Schlüssels festgesetzt wird. Die Schematisierung der Beschreibung durch dichotome Gliederung und die präzisierte Konzeption der Prädikate bietet vollkommene Freiheit bei der Manipulation mit der Grundbeschreibung und auch die vollständigsten Ergebnisse bei der Applikation des logischen Kalküls.⁹⁾ Dazu ist noch zu bemerken, dass die Negation

⁹⁾ In jeglichem empirischen, in Erwägung gezogenen Fachgebiet (in unserem Falle Moose der Familie G.) gehen wir von der Grundbeschreibung aus, d. h. von einem Komplex von Entscheidungen, ob zu den einzelnen in Erwägung gezogenen Elementen ein bestimmtes Prädikat gehört oder nicht (s. Tabelle 1). Jede derartige Beschreibung (soweit sie nicht tautologisch oder kontradiktorisch ist) drückt gleichzeitig bestimmte logische Beziehungen innerhalb der Prädikate aus. Die Aufgabe der Logik der Beschreibung ist die Feststellung dieser Beziehungen und die Ableitung weiterer Konsequenzen und Vorgänge, die sich aus der Grundbeschreibung logisch ergeben.

Mit den Angaben, die in der Grundbeschreibung festgesetzt wurden, ist es z. B. möglich, mit Hilfe des Aussagenkalküls, der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der Theorie der Information zu operieren. Hier fügen wir einige Anmerkungen hinzu:

a) Die Grundbeschreibung ist adäquat ausdrückbar durch den Funktionenkalkül (Beispiel Ia: erwägen wir drei Elemente x_1, x_2, x_3 mit zwei Prädikaten F_1, F_2 und wenn $F_1(x_1) \& F_2(x_1), F'_1(x_2) \& F(x_2), F'_1(x_3) \& F'_2(x_3)$ gilt, dann gilt $(x) [F_1(x) \rightarrow F_2(x)]$, jedoch können wir sie mit Rücksicht darauf, dass die Anzahl der Elemente definitiv und genau bemessen ist, ohne Einbusse der Angemessenheit einfacher durch den Aussagenkalkül interpretieren (Beispiel Ib: wenn drei Elemente durch zwei Aussagen A, B beschrieben sind, und zwar so, dass für das erste Element A & B gilt, für das zweite A' & B und für das dritte A' & B', dann gilt $A \rightarrow B$). Wir setzen dabei voraus, dass die angeführten Aussagen insgesamt die Elemente betreffen.

Die Niederschrift einer bestimmten logischen Formel in Form der Grundbeschreibung, die nichts anderes ist als die vollständige disjunktive Normalform (weiter nur VDN) dieser Formel, bestimmt uns die empirische Angemessenheit der Behauptung, die durch die Formel ausgedrückt wird. Nehmen wir z. B. die Aussage A — „Die Schneekoppe ist der höchste Berg in Böhmen“ und die Aussage B — „Das Riesengebirge liegt in der Antarktis“. Die Formel $B \rightarrow A$ ist richtig, aber durch Übertragung auf ihr VDN $(A \& B) \vee (A' \& B') \vee (A' \& B')$ stellen wir fest, dass sie nicht die adäquate Wirklichkeit treffend bezeichnet, weil sie die potentielle Gültigkeit der Zustände A & B und A' & B' zulässt, die empirisch nicht auftreten können. Die Formel, welche die logischen Beziehungen zwischen den Aussagen A und B treffend bezeichnet, ist also $A \& B'$, denn nur dieser Zustand gilt empirisch. Die Formel $B \rightarrow A$ ist allerdings richtig, weil $(A \& B') \rightarrow (B \rightarrow A)$ eine logische Tautologie ist.

Wenn wir umgekehrt die Grundbeschreibung (VDN) auf die konjunktive Normalform (weiter nur KN) übertragen, erhalten wir logische Beziehungen, die innerhalb der Grundaussagen gelten.

Die Vereinfachung von VDN nach KN drückt die möglichst kurz gefassten Definitionen der Elemente aus, d. h. Definitionen, die nötige und ausreichende Aussagen zur gegenseitigen Unterscheidung der Elemente enthalten. Analog können wir dann zum Begriffe Differenzierungsprädikate den Begriff Differenzierungsaussagen einführen. Im Beispiel Ib lässt sich das erste Element durch die Differenzierungsaussage A, das zweite Element durch die Differenzierungsaussagen A' & B und das dritte durch B' definieren. Diese Definitionen haben z. B. für eine solche Art von Bestim

des Prädikates nicht immer eine Negation im logischen Sinne sein muss, sondern nur eine Negation für das in Erwägung gezogene Fachgebiet.¹⁰⁾

[Bei der Zusammenstellung des optimalen Schlüssels für die Familie *Grimmiaceae* gehen wir vom Schlüssel von PILLOUS aus. Es war allerdings nötig, eine Reihe von Prädikaten für einige Arten in systematischen Beschreibungen zu ermitteln. Die Mehrheit der Prädikate ist nämlich im Schlüssel nicht allgemein für alle Arten der Familie G. formuliert, sondern nur für die, um die es sich im gegebenen Stadium der Bestimmung handelt. Z. B. betrifft das Prädikat 8, das die Arten 23, 24, 25 und 22 unterscheidet, nicht mehr die übrigen Arten. Weil die Rangordnung der Prädikate sich im neuen Schlüssel ändert und vorausgesetzt werden kann, dass das Prädikat 8 im neuen Schlüssel andere Arten als im ursprünglichen Schlüssel unterscheiden wird, war es nötig, auch für die restlichen Arten festzustellen, ob sie das Prädikat 8 haben oder nicht. Dabei war es unerlässlich, manche Prädikate anders, gewöhnlich allgemeiner, zu formulieren, und zwar so, dass das Prädikat alle untersuchten Arten betrifft. Z. B. gerade das Prädikat 8a „Die Lamina in der Spitze zu beiden Seiten der Rippe hat je eine Falte“ (die ursprüngliche Form im Schlüssel) ist in der Grundbeschreibung ausgedrückt mit den Worten „Die Lamina ist längstfaltig“. Die Grundbeschreibungen für die Familie G. sind in der Tabelle 1 angegeben.]

Die dichotome Teilung zerlegt den Komplex der Elemente durch ein Prädikat und seine Negation in zwei Komplexe mit einer unterschiedlichen, gegebenenfalls gleichen Anzahl von Elementen. Es lässt sich nachweisen, dass es günstiger ist, die Differenzierungsprädikate so festzusetzen, dass sie den Komplex der Elemente immer in zwei Komplexe mit der gleichen Zahl von Elementen teilen.¹¹⁾

mung Bedeutung, wenn wir voraussetzen, dass wir das festgestellte Element erkannt haben und wenn wir unsere Hypothese auf kürzeste Art überprüfen wollen.

Auf grunde dieser Überlegungen (deren Ergebnisse auf Lochkartensortiermaschinen und automatischen Rechenmaschinen verarbeitet werden können) lassen sich in Vollständigkeit alle Zusammenhänge innerhalb der einzelnen Prädikate (Grundaussagen) und ihrer Mengen, innerhalb der Elemente und ihrer Mengen, oder innerhalb der Prädikate und Elemente und innerhalb ihrer Mengen registrieren. Eine derartige vollständige Feststellung für umfangreiche Komplexe ist ohne Anwendung der Logik nicht möglich.

b) Den Grundaussagen oder Aussagenmengen, durch die die Elemente des in Erwägung gezogenen Fachgebietes beschrieben werden, kann man Wahrscheinlichkeiten zuordnen, die z. B. die Häufigkeit des Auftretens der Elemente oder die Wahrscheinlichkeit ausdrücken, dass eine bestimmte Möglichkeit auftritt; es wäre z. B. bei der Zusammenstellung eines Bestimmungs-schlüssels möglich, mit einer verschiedenen Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Arten zu rechnen (Unterschied des Auftretens von *G. hartmanii*: sporadisch, *O. šourekii-pilousi*: eur. Endemit); eine andere Applikation der Wahrscheinlichkeitsrechnung s. SMETÁNKA, JIČÍN, VAŠÍČEK (1967).

c) Neben der Wahrscheinlichkeitsrechnung können wir auch einige Begriffe der Informationstheorie geltend machen [s. Bemerkung 11 und MACCAGARO (1958)].

Manche dieser Ergebnisse der Logik der Beschreibung zeigen uns die prinzipielle Wichtigkeit dieses Fachgebietes für eine wirklich anwendbare Methodologie der deskriptiven Wissenschaften.

¹⁰⁾ Eine Negation, die nur eine Negation für das in Erwägung gezogene Fachgebiet wäre, kommt in unserem Schlüssel für die Familie G. nicht vor. Es lässt sich aber ein Beispiel aus dem Schlüssel von PILLOUS für die Gattung *Campylopus* anführen. Das Prädikat 2a, b ist dort zweckmässig folgendermassen formuliert:

2a: Blätter mit grüner Spitze, auf dem Rücken abgerundet.

2b: Blätter mit farbloser Spitze, auf dem Rücken geriffelt.

Da keine Arten aus der Gattung *Campylopus* eine andere Blattspitze als eine grüne oder farblose hat, ist es nicht nötig, diese Eigenschaft in Form einer allgemeinen Negation zu formulieren:

2a: Blätter mit grüner Spitze

2b: Blätter mit nicht grüner Spitze.

¹¹⁾ Wir stellen uns eigentlich die Frage, welchen Prädikaten aus der Grundbeschreibung wir bei der Bestimmung den Vorrang geben sollen. Es werden offenbar solche Prädikate sein, die uns von dem untersuchten Individuum ein Maximum an Informationen bieten. Das bedeutet in unserem Falle, wo die Feststellung jedes der Prädikate immer nur zwei mögliche Ergebnisse hat (jedes Element hat entweder das Prädikat F oder nicht), dass wir solchen Prädikaten den Vorrang geben werden, deren Wahrscheinlichkeit sich $\frac{1}{2}$ nähert, oder ihm gleich ist, d. h. wo sich die Entropie der Entscheidungen $\log_2 2 = 1$ nähert oder ihm gleich ist.

Wenn wir also den optimalen Schlüssel auf dichotomer Grundlage konstruieren, wählen wir zuerst ein solches Differenzierungsprädikat, welches das Sachgebiet der Elemente in zwei zahlenmässig möglichst gleiche Komplexe teilt. Für so entstandene Komplexe suchen wir Differenzierungsprädikate nach dem gleichen Erfordernis. Auf dieselbe Weise fahren wir bis zur gegenseitigen Unterscheidung aller untersuchten Elemente fort. Dieser Vorgang lässt sich durch rekurrente Definition exakt ausdrücken, die als Grundlage eines Algorithmus für maschinelle Verarbeitung dienen kann.¹²⁾

[In unserem Falle, wo die Zahl der Elemente ungerade ist, kann man selbstverständlich für die erste Auswahl kein Prädikat finden, das alle Elemente gerade in die Hälfte teilen würde. Das günstige mögliche Verhältnis ist $\frac{19}{39}$, jedoch ist ein solches Prädikat in unserer Grundbeschreibung nicht vorhanden. Am meisten nähert sich $\frac{1}{2}$ das Prädikat N mit dem Verhältnis $\frac{17}{39}$ (siehe Tabelle 1). Die Elemente mit dem Prädikat N, das sind 9, 10, 16, 17, 22, 24–35, bilden eine Menge, die übrigen die zweite. Das nächste Differenzierungsprädikat suchen wir zuerst für die erste Menge. Vorteilhaft ist Z mit dem Verhältnis $\frac{7}{17}$. Die Elemente mit Z, das sind 26, 27, 29, 30, 31, 33 und 34 bilden eine Menge, die übrigen die zweite. Ein vorteilhaftes Differenzierungsprädikat für die erste Menge ist L mit dem Verhältnis $\frac{3}{7}$. Die Elemente 27, 30, 31 lassen sich durch das Prädikat D mit dem Verhältnis $\frac{1}{3}$ in 27 mit dem Prädikat D und in 30, 31 mit dem Prädikat D' teilen. Für 27 sind also die Differenzierungsprädikate festgesetzt. Es sind dies die Prädikate N, Z, L, D. Die Elemente 30 und 31 unterscheiden wir durch das Differenzierungsprädikat A. Es ist also 30 durch die Differenzierungsprädikate N, Z, L, D', A' bestimmt, während 31 durch die Differenzierungsprädikate N, Z, L, D', A bestimmt wird. Wir kommen zurück zu der Elementenmenge, für die wir zuletzt das Differenzierungsprädikat L' festgesetzt haben; es sind dies 26, 29, 33, 34. Wir teilen sie im Verhältnis $\frac{1}{2}$ durch das Prädikat R. Die Elemente mit R, das sind 26, 34 bilden eine Menge, die Elemente 29 und 33 die zweite. Die erste Menge unterscheiden wir durch das Prädikat V u. s. w. Auf diese Weise konstruieren wir den ganzen Schlüssel, den wir dann durch eine Tabelle oder graphisch ausdrücken können (siehe Tabelle 2).]

Damit wir die Effektivität der einzelnen Schlüssel exakt vergleichen können, ist es nötig, eine Instruktion zur Feststellung des Masses der Effektivität festzusetzen.

Die Effektivität des konstruierten Schlüssels kann man leicht durch Vergleich des mittleren Wertes der Anzahl der Differenzierungsprädikate seiner Elemente mit dem mittleren Werte der Anzahl der Differenzierungsprädikate der Elemente des theoretisch optimalen Schlüssels bewerten. Wenn die Anzahl der Differenzierungsprädikate in der Definition des i-ten Elementes k_i ist, dann ist die Gesamtzahl der Differenzierungsprädikate aller n Elemente des Schlüssel gegeben durch die Formel

$$K = \sum_{i=1}^n k_i. \quad (1)$$

Mit Rücksicht darauf, dass wir eine relativ gleichmässige Häufigkeit aller Elemente voraussetzen, ist der mittlere Wert der Differenzierungsprädikate gegeben durch die Formel

$$S = \frac{K}{n}. \quad (2)$$

Wenn die Anzahl der Elemente des theoretisch optimalen Schlüssels n ist, dann können wir die natürliche Zahl $m \leq \log_2 n < m + 1$ und die natürliche Zahl $j = n - 2^m$ feststellen. Dann lässt

¹²⁾ Eine Vorschrift zur Zusammenstellung eines optimalen Schlüssels (auf Grundlage der Informationstheorie) gibt auch MACCACARO (1958).

sich nachweisen, dass $n - 2j$ Elemente des Schlüssels definiert sind durch m Differenzierungsprädikate und $2j$ Elemente durch $m + 1$ Differenzierungsprädikate. Für das K eines solchen Schlüssels gilt dann

$$K_o = m \cdot n + 2j \quad (3)$$

und für seinen mittleren Wert nach (2)

$$S_o = \frac{m \cdot n + 2j}{n} \quad (4)$$

Interessant ist auch der Vergleich der Effektivität mit dem am wenigsten effektiven Schlüssel, d. h. mit dem Schlüssel mit dem möglichst grösstem K für gegebene n . Für K eines solchen Schlüssels gilt dann:

$$K_p = \frac{n^2 + n - 2}{2} \quad (5)$$

und für seinen mittleren Wert wieder nach (2)

$$S_p = \frac{n^2 + n - 2}{2n} \quad (6)$$

Da es aber möglich ist, Schlüssel mit beliebigem K zu konstruieren, wenn $K_o \leq K \leq K_p$ ist, dann ist die Anzahl der möglichen Schlüssel mit verschiedener Effektivität für n Elemente durch die Formel gegeben

$$M = K_p - K_o + 1 \quad (7)$$

[Für $n = 2$ und $n = 3$ ist dabei $K_p = K_o$ und es lässt sich also nur ein einziger Schlüssel (vom Gesichtspunkt der Effektivität) konstruieren; für $n > 3$ lässt sich dann beweisen, dass $K_o < K_p$ immer gilt und dass der Wert M für das wachsende n wächst.

Für $n = 39$ ist nach (3) $K_o = 209$ und der mittlere Wert nach (4) $S_o \doteq 5,36$. Für den Schlüssel, der durch die Tabelle 2 ausgedrückt wird, gilt $K_1 = 210$, $S_1 \doteq 5,38$, für den Schlüssel von PILOUS (Tabelle 4) ist $K_2 = 290$ und $S_2 \doteq 7,43$. Das bedeutet, dass im Schlüssel von PILOUS im Durchschnitt zur Bestimmung des untersuchten Individuums zwei Entscheidungen mehr notwendig sind als im neuen Schlüssel. Dabei verbleiben nach der sechsten Entscheidung, wenn im neuen Schlüssel schon alle Elemente bestimmt sind, im Schlüssel von PILOUS noch 25 von 39 Elementen zu bestimmen. Der Schlüssel von PILOUS ist, obwohl er auf empirischem Wege zusammengestellt wurde, verhältnismässig sehr effektiv. Im ganzen ist es möglich, für 39 Elemente 538 Schlüssel mit verschiedener Effektivität zu konstruieren. Der schlechteste Schlüssel hat $K_p = 746$ und $S_p \doteq 19,1$]

Wenn wir einen Schlüssel zusammenstellen, der nach dem formalen Gesichtspunkt der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der Informationstheorie optimal ist, haben wir noch keine Garantie, dass der Schlüssel auch vom sachlichen Gesichtspunkt des Fachgebietes aus am günstigsten sein wird, für dessen Elemente er ausgearbeitet ist. Das wird vor allem durch eine nicht ganz gleiche Unterscheidungsqualität der Prädikate verursacht. Es kann nämlich nicht immer leicht entschieden werden, ob das gegebene Element ein bestimmtes Prädikat hat, oder nicht. Die übliche taxonomische Beschreibung verwendet vorwiegend Prädikate, die sich nur auf einen Teil der in Erwägung gezogenen Elemente beziehen. Diese lassen sich durch dieses Prädikat markant unterscheiden. Das gleiche Prädikat muss aber nicht gleich markant die übrigen Elemente des in Erwägung gezogenen Fachgebietes unterscheiden.

[Z. B. unterscheidet das Prädikat A (klein — sehr stattlich) nur die extremen Fälle gut.]

Es wäre möglich, diese Schwierigkeiten durch Angabe exakterer Methoden der Unterscheidung der Prädikate und ihrer Negationen für das gegebene Fachgebiet der Elemente statt der bisherigen Schätzungen zu beseitigen, die vorwiegend auf Erfahrung gegründet sind, so z. B. mit Hilfe einer normalen Distribution. Solange diese anspruchsvolle Aufgabe für den gegebenen Elementenkomplex nicht gelöst ist, ist bei der Konstruktion des Schlüssels

A B C D E F G H I J K L M N O P R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l

1	<i>Dryptodon</i>	<i>dryptodon</i>
2	<i>Rhaconitrium</i>	<i>canescens</i>
3		<i>lanuginosum</i>
4		<i>microcarpum</i>
5		<i>heterostichum</i>
6		<i>aciculare</i>
7		<i>fasciculare</i>
8		<i>aquaticum</i>
9	<i>Coscinodon</i>	<i>coscinodon</i>
10	<i>Schistidium</i>	<i>anodon</i>
11		<i>alpicola</i>
12		<i>agassizii</i>
13		<i>apocarpum</i>
14	<i>Hydrogrimmia</i>	<i>hydrogrimmia</i>
15	<i>Grimmia</i>	<i>teretineris</i>
16		<i>plegiopodia</i>
17		<i>erinita</i>
18		<i>targestina</i>
19		<i>unicolor</i>
20		<i>campestris</i>
21		<i>commutata</i>
22		<i>caespiticia</i>
23		<i>montana</i>
24		<i>alpestris</i>
25		<i>domiana</i>
26		<i>orbicularis</i>
27		<i>funalis</i>
28		<i>torquata</i>
29		<i>incurva</i>
30		<i>patens</i>
31		<i>hartmanii</i>
32		<i>trichophylla</i>
33		<i>elongata</i>
34		<i>sessitana</i>
35		<i>apiculata</i>
36		<i>ovalis</i>
37		<i>pulvinata</i>
38		<i>decipiens</i>
39		<i>elatior</i>

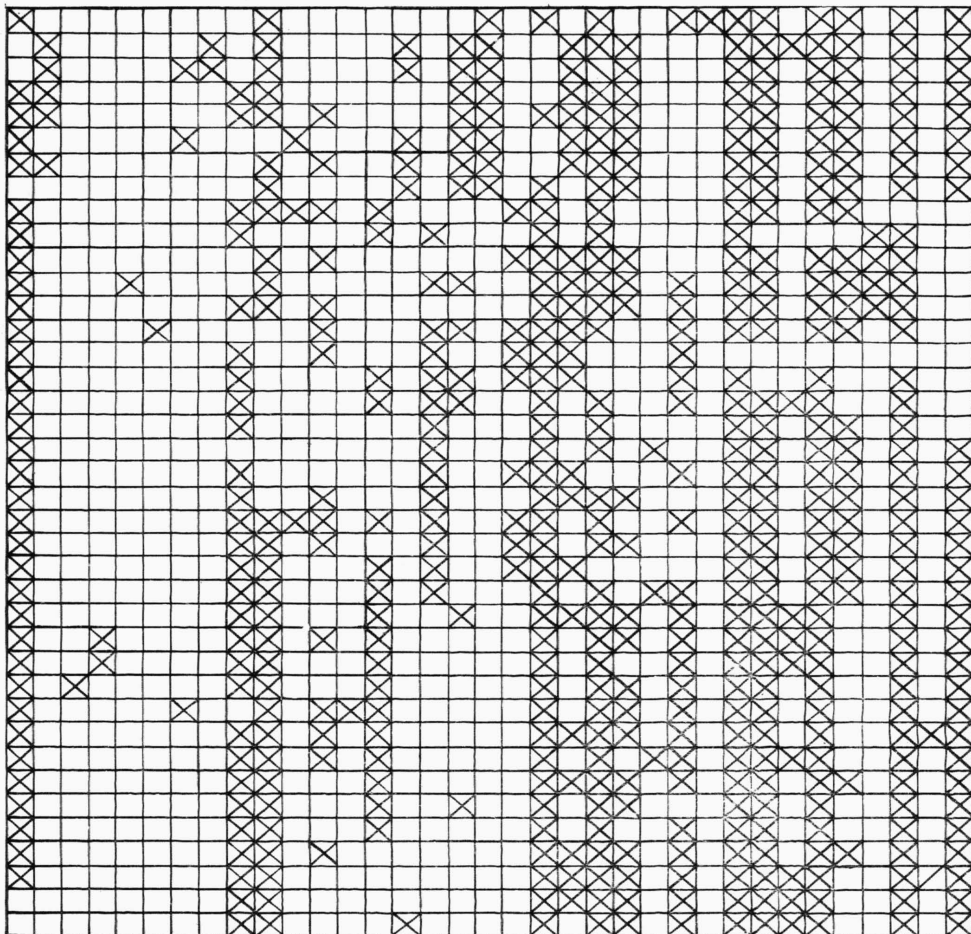


Tabelle 2

27	N	Z	L	D	
31	N	Z	L	D'	A
30	N	Z	L	D'	A'
26	N	Z	L'	R	V
34	N	Z	L'	R	V'
29	N	Z	L'	R'	C
33	N	Z	L'	R'	C'
22	N	Z'	P	J	K
24	N	Z'	P	J	K' T
25	N	Z'	P	J	K' T'
16	N	Z'	P	J'	T
17	N	Z'	P	J'	T'
9	N	Z'	P'	L	K
32	N	Z'	P'	L	K'
28	N	Z'	P'	L'	D
35	N	Z'	P'	L'	D' J
10	N	Z'	P'	L'	D' J'
23	N'	I	L	P	J
15	N'	I	L	P	J' T
21	N'	I	L	P	J' T'
5	N'	I	L	P'	B
13	N'	I	L	P'	B' i
36	N'	I	L	P'	B' i'
4	N'	I	L'	A	J B
37	N'	I	L'	A	J B'
20	N'	I	L'	A	J' T
18	N'	I	L'	A	J' T'
39	N'	I	L'	A'	K
38	N'	I	L'	A'	K'
7	N'	I'	O	A	B
6	N'	I'	O	A	B'
3	N'	I'	O	A'	B G
2	N'	I'	O	A'	B G'
8	N'	I'	O	A'	B'
12	N'	I'	O'	J	E
11	N'	I'	O'	J	E' L
1	N'	I'	O'	J	E' L'
14	N'	I'	O'	J'	F
19	N'	I'	O'	J'	F'

Tabelle 3

22	N	P	T	K	
16	N	P	T	K' R	(b)
24	N	P	T	K' R'	(b')
25	N	P	T'	J	
17	N	P	T'	J' R	
10	N	P	T'	J' R'	
31	N	P'	Z	R	V k
33	N	P'	Z	R	V k'
27	N	P'	Z	R	V' D
29	N	P'	Z	R	V' D' C
30	N	P'	Z	R	V' D' C'
26	N	P'	Z	R'	m (b)
34	N	P'	Z	R'	m' (b')
9	N	P'	Z'	K	
28	N	P'	Z'	K' D	
32	N	P'	Z'	K' D'	L ₁
35	N	P'	Z'	K' D'	L ₁
15	N'	I	P	T	b o
20	N'	I	P	T	b o'
23	N'	I	P	T	b'
21	N'	I	P	T'	L
18	N'	I	P	T'	L'
5	N'	I	P'	R	U
4	N'	I	P'	R	U'
36	N'	I	P'	R'	l h
37	N'	I	P'	R'	l h' A
39	N'	I	P'	R'	l h' A' O
38	N'	I	P'	R'	l h' A' O'
13	N'	I	P'	R'	l'
3	N'	I'	O	B	G
2	N'	I'	O	B	G' n
7	N'	I'	O	B	G' n'
6	N'	I'	O	B'	G
8	N'	I'	O	B'	G'
12	N'	I'	O'	J	E
1	N'	I'	O'	J	E' c
11	N'	I'	O'	J	E' c'
14	N'	I'	O'	J'	R
19	N'	I'	O'	J'	R'



Tabelle 4

1	1a	2a																	
4	1a	2b			1a	2a	4a												
5	1a	2b			1a	2a	4b												
2	1a	2b			1a	2b	3a												
3	1a	2b			1a	2b	3b												
6	1a	2b			1b	5a													
7	1a	2b			1b	5b	6a												
8	1a	2b			1b	5b	6b												
10	1b	3a	4a			1a													
11	1b	3a	4a			1b	2a												
12	1b	3a	4a			1b	2b	3a											
13	1b	3a	4a			1b	2b	3b											
14	1b	3a	4b	5a															
17	1b	3a	4b	5b	1a	2a	3a	4a	5a										
18	1b	3a	4b	5b	1a	2a	3a	4a	5b										
16	1b	3a	4b	5b	1a	2a	3a	4b											
20	1b	3a	4b	5b	1a	2a	3b	6a	7a										
21	1b	3a	4b	5b	1a	2a	3b	6a	7b										
19	1b	3a	4b	5b	1a	2a	3b	6b											
15	1b	3a	4b	5b	1a	2a	3c												
22	1b	3a	4b	5b	1a	2b	8a												
24	1b	3a	4b	5b	1a	2b	8b	9a	10a										
25	1b	3a	4b	5b	1a	2b	8b	9a	10b										
23	1b	3a	4b	5b	1a	2b	8b	9b											
27	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13a	14a										
28	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13a	14b										
30	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13b	15a	16a									
31	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13b	15a	16b	17a								
33	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13b	15a	16b	17b	18a	19a						
35	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13b	15a	16b	17b	18a	19b						
32	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13b	15a	16b	17b	18b							
29	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12a	13b	15b										
26	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12b	20a											
34	1b	3a	4b	5b	1b	11a	12b	20b											
36	1b	3a	4b	5b	1b	11b	21a												
37	1b	3a	4b	5b	1b	11b	21b	22a											
39	1b	3a	4b	5b	1b	11b	21b	22b	23a										
38	1b	3a	4b	5b	1b	11b	21b	22b	23b										
9	1b	3b																	

Erklärungen zu den Tabellen 1—4

Zu Tabelle 1: Bedeutung der Prädikate: A: Moose klein, dicht polsterartig, A': Moose sehr stattlich, frei; B: Stengel mit zahlreichen verkürzten Seitenästchen, B': Stengel ohne verkürzte Ästchen; C: Blätter während der Trockenheit stark gekräuselt, C': Blätter während der Trockenheit nicht gekräuselt, $\pm$ verbogen; D: Blätter während der Trockenheit spiralg gedreht, D': Blätter während der Trockenheit nicht spiralg gedreht; E: Blätter schmal zungenförmig, E': Blätter nicht schmal zungenförmig; F: Blätter breit abgerundet, löffelförmig ausgehöhlt, ohne Blatthaar, F': Blätter mehr oder minder lanzettlich, zumeist scharf zugespitzt, nur selten stumpf, meist mit farblosem Blatthaar; G: Blätter in der Spitze gezahnt, G': Blätter in der Spitze nicht gezahnt; H: Blätter mit papillösem Blatthaar, H': Blätter ohne papillöses Blatthaar; I: Blätter mit Blatthaar ohne Papillen, I': Blätter ohne Blatthaar ohne Papillen; J: Blätter in der ganzen Länge oder wenigstens an der Spitze gekielt, J': Blätter ausgehöhlt, nicht gekielt; K: Lamina längsfaltig, K': Lamina nicht längsfaltig; L: Blätter oval lanzettlich, L': Blätter nicht oval lanzettlich; M: Rippe auf dem Rücken mit länglichen Lamellen, M': Rippe auf dem Rücken ohne Lamellen; N: Rippe an der Basis schwächer, N': Rippe an der Basis gleich stark wie in der Mitte oder stärker; O: Zellen papillös, O': Zellen glatt; P: Blattrand flach, gerade oder nur wenig eingebogen, P': Blattrand wenigstens auf einer Seite umgerollt eingebogen; R: Randzellen im oberen Teil und Lamina einschichtig, R': Randzellen im oberen Teil und Lamina nicht einschichtig; S: Zellen im ganzen Blatt mit buchtigen Wänden, S': Zellen mit glatten Wänden oder nur im unteren Teil buchtig; T: Zellen ohne buchtige Wände, T': Zellen mit buchtigen Wänden wenigstens in einem Teil des Blattes; U: Zellen oben quadratisch (eventuell oval oder unregelmässig, aber immer kurz), U': Zellen oben länglich; V: Basalzellen quadratisch; V': Basalzellen nicht quadratisch; W: Basalzellen länglich, W': Basalzellen nicht länglich; Z: Basalzellen an der Rippe länger, Z': Basalzellen an der Rippe nicht länger; a: Basalzellen an der Rippe kürzer, a': Basalzellen an der Rippe nicht kürzer; b: Basalzellen in allen Wänden gleich dick, b': Basalzellen in allen Wänden nicht gleich dick; c: Flügelzellen entwickelt, c': Flügelzellen nicht entwickelt; d: Pflanzen gewöhnlich fruchtbar, d': Pflanzen immer steril; e: regelmässige Kapsel, e': ohne regelmässige Kapsel; f: längsseitig gerippte Kapsel, f': ohne längsseitig gerippte Kapsel; g: Peristom entwickelt, g': ohne Peristom; h: Seta gerade, h': ohne gerade Seta; i: Deckel abfallend mit Collumella, i': ohne Deckel abfallend mit Collumella; j: Haube müzenförmig oder kappenförmig, lang schnabelförmig, j': ohne Haube oder glockige Haube; k: Schopfbblätter mit Brutkörpern, k': ohne Schopfbblätter mit Brutkörpern; l: Kapsel über die Blätter emporgehoben, l': ohne Kapsel oder eingesenkte Kapsel. — Das Prädikat Y' bezeichnet die Negation des Prädikates Y; das Kreuz ($\times$) in der Kolonne des Prädikates Y zeigt an, dass das Element das Prädikat Y hat, ein leeres Feldchen, dass es das Prädikat Y' hat.

Zu Tabelle 3: Prädikate in Klammern können Prädikate ersetzen, die ihnen vorangehen. Die Prädikate m, u und o bedeuten: m: wärmeliebend in niedrigeren Lagen, m': Gebirgs- bis Hochgebirgsart; n: Blätter mit papillösem Blatthaar, n': Blätter haarlos; o: Blatthaar kurz, o': Blatthaar lang.

Zu Tabelle 4: Die Tabelle drückt das Schema des Schlüssels von Pilous für die Familie G. mit geeigneter Bezeichnung der Prädikate aus. Die Prädikate in den Kolonnen 1—4 sind Gattungspredikate und haben eine andere Bedeutung als die gleichbezeichneten Prädikate in den weiteren Kolonnen, wo allerdings die Prädikate in den Zeilen 2—8, 9—12 und 14—38 auch eine verschiedene Bedeutung haben.

ein Kompromissvorgang notwendig. Es ist nötig, die theoretische Vorschrift für den optimalen Schlüssel zu respektieren, jedoch mit gleichzeitiger Rücksichtnahme darauf, dass die gewählten Differenzierungsprädikate den Elementenkomplex, für den sie ausgewählt wurden, gut unterscheiden. Der resultierende Schlüssel wird allerdings vom formalen Gesichtspunkt aus weniger effektiv sein.

[Ein Beispiel eines auf diese Weise konstruierten Schlüssels ist der Schlüssel in Tabelle 3 angeführt ($K_3 = 216$, $S_3 = 5,54$).]

Zur Konstruktion eines Schlüssels lassen sich vorteilhaft Lochkarten-sortiermaschinen durch Übertragung der Grundbeschreibung jedes gegebenen Elementes auf Lochkarten verwenden. Diese Art der Konstruktion eines Schlüssels schliesst praktisch Fehler aus, die durch Übersehen in der Tabelle

entstehen können. Sie erfordert jedoch bei grossen Elementkomplexen einen oftmaligen Durchgang der Karten durch die Maschine, auch wenn sich die Anzahl der Karten bei der Wahl des k -ten Differenzierungsprädikates annähernd auf $\frac{1}{2^k}$ der Gesamtanzahl vermindert. Auch bei der maschinellen

Verarbeitung kann man allerdings nicht der anspruchsvollen Vorbereitung der Beschreibung ausweichen, die umso schwieriger ist, je umfangreicher der Elementenkomplex ist. Die Mühsal bei der Vorbereitung der Grundbeschreibung lässt sich jedoch wesentlich vermindern, wenn wir uns dazu entschliessen, einen Schlüssel zusammenzustellen, der alle oder einige höhere taxonomische Einheiten respektiert, in die sie in der Systematik eingeordnet sind. Statt eines direkten Schlüssels für Arten lässt sich also auf diese Weise eine Reihe von Schlüsseln gesondert für einzelne Ordnungen, Familien, Gattungen und schliesslich Arten zusammenstellen. Ein wesentlicher Vorteil ist die relativ kleine Anzahl von Elementen, mit denen wir operieren, und damit auch eine leichte Aufstellung der Grundbeschreibung. Auf der anderen Seite respektiert ein derartiger Schlüssel das Prinzip der Unterordnung mit allen seinen eventuellen Nachteilen, ist teilweise abhängig von der zeitweiligen Konvention der benützten Systematik und ist auch immer weniger effektiv.

[Der Schlüssel von PILOUS unterscheidet bei der Familie *G.* sechs Gattungen und 39 Arten. Wenn wir diese systematische Gliederung respektieren und einen optimalen Schlüssel für die Gattungen und drei optimale Schlüssel für die Arten ausarbeiten würden, hätte der Gesamtschlüssel $K_4 = 231$ und $S_4 = 5,92$.]

Weiter bemerken wir, dass die Beschreibung der Elemente in dem Sinne nicht vollständig sein muss, dass es von vornherein sicher ist, dass der Komplex der Prädikate, die in ihm auftreten, zur gegenseitigen Unterscheidung aller Elemente genügt. Die weiteren Prädikate lassen sich im Verlaufe der Zusammenstellung des Schlüssels hinzufügen, und zwar immer dann, wenn wir feststellen, dass die bisherigen Prädikate zur Unterscheidung des gegebenen Elementenkomplexes nicht genügen. Die ursprüngliche Formulierung der Prädikate lässt sich dann im fertigen Schlüssel präzisieren, damit sie möglichst dem Komplex der Prädikate adäquat ist, die wir unterscheiden.

[Z. B. können wir das Prädikat *L*, das *aciculare* und *trichophylla* unterscheidet, durch das Prädikat L_1 ersetzen:

L : Blätter oval lanzettlich, L' : Blätter nicht oval lanzettlich

L_1 : Blätter aus einer schmalen ovalen Basis lang lanzettlich, allmählich zugespitzt, L'_1 : Blätter aus einer verengten Basis lanzettlich.]

S o u h r n

Práce zkoumá z hlediska metodologického principy konstrukce určovacích klíčů (s využitím bryologického materiálu). Podává metodiku, která umožňuje:

- a) exaktní vyjádření míry efektivity jednotlivých klíčů
- b) stanovení vlastností optimálně efektivního klíče
- c) stanovení postupu, kterým lze klíče vytvářet mechanickou cestou (např. pomocí děroštitkových strojů).

Tyto metody vylučují nahodilé chyby empiricky sestavených klíčů, zvyšují efektivitu klíčů a snižují nároky na tvůrčí vědeckou práci v oboru, pro který je klíč zpracováván.

Základem řešení je zpřesnění deskripce, které umožňuje nejen konstrukci klíčů, ale i zavedení dalších logických operací, které zvyšují explikační funkci deskripce.

Literatur

- AJDUKIEWICZ K. (1965): Logika pragmatyczna. — Warszawa.
- BORŮVKA J. (1946): Théorie des décompositions dans un ensemble. — Brno.
- CARNAP R. (1959): Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit. — Wien.
- (1960): Einführung in die symbolische Logik mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendungen. — Wien.
- COWAN S. T., STEEL K. J. (1960): A device for the identification of microorganisms. — *Lancet*: 1172—1173.
- FILKORN V. (1960): Úvod do metodologie vied. — Bratislava.
- FOWLER J. A. (1965): An information retrieval system for biological researches. — *Bioscience* 15 : 413—417.
- GELDER van R. G. (1967): An information retrieval system for collections of mammals. — *Curator* 10 : 32—42.
- GRENIIEWSKI H. (1955): Elementy logiky indukcii. — Warszawa.
- GROLIER É. de (1962): Étude sur les catégories générales applicables aux classifications et codifications documentaires. — Paris.
- HILL L. R. (1959): The Adansonian classification of staphylococci. — *J. Gen. Microbiol.* 28:277 bis 283.
- HILL L. R., SILVESTRI L. (1962): Quantitative methods in the systematics of Actinomycetales III. The taxonomic significance of physiological-biochemical characters and the construction of a diagnostic key. — *Giorn. Microbiol.* 10 : 1—28.
- HILL L. R., TURRI M., GILARDI E., SILVESTRI L. (1961): Quantitative methods in the systematics of Actinomycetales. II. — *Giorn. Microbiol.* 9 : 56—72.
- KENT A. (1962): Textbook on mechanized information retrieval. — New York.
- KOLGOMOROV A. N. (1931): Über die analytischen Methoden in der Wahrscheinlichkeitsrechnung. *Mathematische Annalen* 104 : 415—458.
- KOTARBIŃSKI T. (1961): Elementy teorii poznania, logiky formalnej i metodologii nauk. — Warszawa.
- LEIBNITZ G. W. (1765): Nouveaux essais sur l'entendement humain. — Amsterdam—Leipzig.
- LOCKHART W. R., HARTMAN P. A. (1963): Formation of monothetic groups in quantitative bacterial taxonomy. — *Journ. Bacteriol.* 85 : 68—77.
- MACCACARO G. A. (1958): La misura delle informazione contenuta nei criteri di classificazione. — *Ann. Microbiol. Enzimol.* 8 : 231—239.
- METCALF Z. P. (1954): The construction of keys. — *Syst. Zool.* 3 : 38—45.
- MÖLLER F. (1962): Quantitative methods in the systematics of Actinomycetales. IV. The theory and application of a probabilistic identification key. — *Giorn. Microbiol.* 10 : 29—47.
- PILOUS Z., DUDA J. (1960): Klíč k určování mechorostů ČSR. — Praha.
- POHJA M. S. (1960): Micrococci in fermented meat products. Classification and description of 171 different strains. — *Suomen Maataloust. Seur. Julkais (Acta agralia fenn.) Bull.* 96.
- RESCIGNO A., MACCACARO G. A. (1960): The information content of biological classifications. — In: Information theory — A symposium held at the royal institution, London 1960. — London.
- SHERA J. H. (1956): Documentation in action. — New York.
- (1966): Documentation and the organisation of knowledge. — London.
- SMETÁNKA Z., JIČÍN R., VAŠÍČEK Z. (1967): Überprüfung der Informationsmöglichkeiten des Fundkomplexes aus Kutná Hora (Steinhaus, Erkerzimmer im 1. Stock, Zerschüttung unter dem Fussboden) durch logische Analyse und Wahrscheinlichkeitsanalyse der gegenseitigen chronologischen Beziehungen. — *Památky archeologické* 58 : 533—540.
- SNEATH P. H. A. (1962): The construction of taxonomic groups. — In: Microbial Classification, 12th symposium of the society for general microbiology. — Cambridge.
- SOKAL R. R. et SNEATH P. H. A. (1963): Principles of numerical taxonomy. — San Francisco.
- ŠKRÁŠEK J. (1949): Application des méthodes mathématiques à la théorie des classifications. — Brno.
- TARSKI A. (1966): Úvod do logiky a metodologie deduktivních věd. — Praha.
- TAUBER H., WISE E. (1961): Classification systems. — New Brunswick.
- VAŠÍČEK Z. (1966): Ke stanovení pojmu deskriptivních věd a jejich metodologie. — (Die Handschrift ist auf der Katedra der Museologie UJEP Brno aufbewahrt).
- VICKERY B. C. (1959): Classification and indexing in science. — London.
- VOSS E. G. (1952): The history of keys and phylogenetic trees in systematic biology. — *J. Sci. Lab. Denison Univ.*, 43 : 1—25.
- WILSON E. B. (1952): An introduction to scientific research. — New York, Toronto, Montreal.
- ZELENKA J., ZICH O. (1965): Mathematisch-logisches Modell der Vestibular- und Gehörstörungen. — Praha.
- ZICH O. (1959): O některých logických a metodologických stránkách experimentu. — In: ZICH O., MÁLEK I., TONDL L.: K metodologii experimentálních věd. — Praha.

Recensenti: B. Holubičková, V. Zeman