

Die Anwendung des Digitalcomputers in der Gerichtlichen Medizin und Gerichtlichen Chemie

W. KISSER und G. SORGO

Institut für Gerichtliche Medizin der Universität Salzburg (Österreich)

Eingegangen am 24. August 1970

Applicability of Digital Computers in Legal Medicine and Legal Chemistry

Summary. The current report provides a review of the applicability of digital computers to legal medicine and toxicology. Computation of gene frequencies, applicability to cases of disputed paternity, such as evaluation of probabilities of exclusion and of factual paternity (Essen-Möller) are described. In toxicology and forensic chemistry the computer is used to evaluate the results of gas- and thin-layer chromatography, electropherography as well as of UV-spectra of two-compound systems. The automatic evaluation of blood alcohol analyses by gaschromatography is described. Reference is made to statistical analyses of common problems.

Key-Words: Computer — Vaterschaftsausschlußchance — Vaterschaftswahrscheinlichkeit

Zusammenfassung. Die vorliegende Arbeit gibt einen kurzen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten von Digitalcomputern auf den Gebieten der Gerichtlichen Medizin und Gerichtlichen Chemie. Die Berechnung von Genfrequenzen, Vaterschaftsausschlußchancen und Vaterschaftswahrscheinlichkeiten (Essen-Möller) werden beschrieben. Anwendungen in der Toxikologie und Gerichtlichen Chemie ergeben sich bei der Auswertung von Gas- und Dünnschichtchromatogrammen, Elektropherogrammen und UV-Spektren von Zweistoffsystemen. Die automatische Berechnung gaschromatographischer Blutalkoholbestimmungen wird beschrieben. Weiters werden Anwendungsbeispiele im Rahmen statistischer Untersuchungen erwähnt.

Zur Lösung numerisch komplizierter Rechenoperationen sowie zur Speicherung von Daten werden in der Technik und Industrie seit längerer Zeit Computer eingesetzt. Die hohen Anschaffungskosten derartiger Anlagen haben anfänglich eine allgemeine Verbreitung verhindert. Erst in den letzten Jahren wurden von einigen Firmen (Olivetti, Wang u. a.) preiswerte Geräte auf den Markt gebracht, die auch den Anforderungen wissenschaftlicher Institute entsprechen.

Das Institut für Gerichtliche Medizin der Universität Salzburg verfügt über einen Tischcomputer (Digitalcomputer) der Firma Olivetti (Programma 102). Die Programmspeicherung erfolgt bei diesem Gerät mittels Magnetkarten. Nach Ausarbeitung einer den Anforderungen des Routinebetriebes angepaßten Programmsammlung erfolgt die Programmierung für eine spezielle Rechenoperation durch Einlesen der entsprechenden Magnetkarte in den Magnetkartenleser der Maschine, wodurch eine einfache und universelle Handhabung des Computers gewährleistet ist. Eine eingebaute Anschlußmöglichkeit für „Input-Output“ erlaubt nach Zwischenschaltung eines geeigneten „Interface“ eine Kombination des Gerätes mit einem Lochstreifenleser, Lochstreifenstanzer sowie sämtlichen Geräten für digitale Ausgabe.

Im folgenden wird die routinemäßige Lösung verschiedener Rechenprobleme an Hand eines erstellten Programms besprochen. Eine Verwendung des Computers zur Datenverarbeitung erscheint in Anbetracht der hohen Kosten einer derartigen Anlage erst bei einer Anzahl von etwa 10000 Einzelfällen pro Jahr sinnvoll und kommt daher nur für große Institutionen in Frage [14]. Bei einem geringeren Umfang des zu ordnenden Materials ist eine Lochkartenkartei wesentlich einfacher zu handhaben [11, 13].

Die mathematischen Anwendungsmöglichkeiten, die sich dem Computer in der Gerichtlichen Medizin darbieten, seien in drei Gruppen eingeteilt:

1. Berechnung von Genfrequenzen, Vaterschaftsausschlußchancen und Vaterschaftswahrscheinlichkeiten in der forensischen Serologie.
2. Auswertung analytischer Daten in der Toxikologie und Gerichtlichen Chemie, unter Berücksichtigung gaschromatographischer Blutalkoholanalysen.
3. Auswertung allgemein statistischer Probleme.

1. Forensische Serologie

In der forensischen Serologie erweist sich die Benützung des Computers zur Berechnung von Genfrequenzen, speziellen und allgemeinen Vaterschaftsausschlußchancen sowie von Vaterschaftswahrscheinlichkeiten bei „Nichtausschließbarkeit“ als wertvoll. Die Berechnung der Genfrequenzen erfolgt nach der Methode der Auszählung und dient im allgemeinen zu Kontroll- und Vergleichszwecken mit Frequenzen aus anderen Populationen. Die Berechnung der speziellen Vaterschaftsausschlußchance — d.i. die Wahrscheinlichkeit, bei gegebener Mutter-Kind-Kombination einen fälschlich der Vaterschaft bezichtigten Mann ausschließen zu können — ergibt sich aus der Häufigkeit der in Frage kommenden Ausschlußmerkmale der serologisch untersuchten Erbsysteme.

Bei Untersuchung mehrerer Erbsysteme errechnet sich die Wahrscheinlichkeit nach folgender Formel:

$$A = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i),$$

wobei x_1, x_2, \dots, x_n die Häufigkeiten der einzelnen Ausschlußmerkmale bedeuten.

Die Berechnung der allgemeinen Vaterschaftsausschlußchance bei Verwendung eines Systemes mit bekanntem Erbgang und bekannter Frequenz der die Merkmale steuernden Gene ergibt sich durch Addition der Produkte der Häufigkeiten des Zusammentreffens unmöglicher Mutter-Kind/Mann-Verbindungen.

Die Formeln zur Berechnung der allgemeinen Vaterschaftsausschlußchancen sind nur für das klassische Blutgruppen- und Rhesussystem kompliziert.

Die Formeln für diallele Systeme mit kombinantem sowie dominant-recessivem Erbgang [5] und die kompliziertere Formel zur Berechnung der allgemeinen Vaterschaftsausschlußchance für ein trialleles System mit kombinantem Erbgang lauten:

$$pq(1-pq) \text{ bzw. } pq^4 \text{ und } pq(1-pq) + pr(1-pr) + qr(1-qr) + 3pqr \cdot 1 - [(pq + pr + qr)]$$

(p, q, r = Frequenzen der einzelnen Gene).

Durch Wahl der entsprechenden Programmwahltaste wird nach Einlesen der Magnetkarte der Rechenablauf entweder gemäß der einen oder irgend einer anderen gewünschten Formel

gesteuert. Die Berechnung der allgemeinen Vaterschaftsausschlußchance bei Verwendung mehrerer Systeme erfolgt nach o.a. Produktformel.

Zur Ermittlung der Vaterschaftswahrscheinlichkeit für einen Mann, der durch Untersuchung serologisch faßbarer Merkmale nicht von der Vaterschaft zu einem Kinde ausgeschlossen werden konnte, liegen für nahezu alle derzeit untersuchten Systeme Tabellen der $\left(\lg \frac{X}{Y} + 10\right)$ -Werte bei Anwendung des Essen-Möller-Verfahrens auf [3, 6—8].

Da jedoch die den Tabellen zugrunde gelegten Genfrequenzen aus Populationen stammen, deren Genfrequenzen mehr oder weniger von den Frequenzen abweichen können, die wir an Hand unseres Materiales ermittelt haben, oder die als repräsentativ für unsere Population bestimmt und veröffentlicht wurden, sind Kontrollen angezeigt. Im Bedarfsfalle können eigene Tabellen erstellt werden; ebenso können Tabellen für Systeme errechnet werden, die erst kürzlich Eingang in die forensische Begutachtung gefunden haben und für die anderweitig noch keine Tabellen veröffentlicht wurden.

Ohne näher auf die, auf dem Bayesschem Theorem der *a-priori*-Wahrscheinlichkeit beruhenden mathematischen Überlegungen eingehen zu wollen, werden die den Tabellen zugrunde liegenden Werte, zumindest für bialele Systeme, aus den Logarithmen der einfachen oder doppelten Genfrequenzen, denen zur Vermeidung negativer Werte 10 hinzuaddiert wird, ermittelt. Es genügt somit nach Programmierung der logarithmischen Funktion die Eingabe der Genfrequenzen zur Bildung der entsprechenden $\left(\lg \frac{X}{Y} + 10\right)$ -Werte.

Der Vorteil des Computers liegt darin, daß die numerischen Werte der Genfrequenzen nur einmal eingelesen werden müssen und daß nach Erstellung der entsprechenden Programme und Übernahme derselben auf Magnetkarten auch mathematisch ungeschultes Personal innerhalb kürzester Zeit die an sich zeitraubenden Berechnungen durchführen kann.

2. Auswertung analytischer Daten

Eine häufig auftretende Rechenoperation ist die Zuordnung der relativen (prozentuellen) Häufigkeit zu einer gegebenen Anzahl von Zahlenwerten, also die Berechnung der mathematischen Ausdrücke

$$a_i = \frac{100 x_i}{\sum x_i} \quad \text{bzw.} \quad a_i = \frac{100 \lambda_i x_i}{\sum \lambda_i x_i}.$$

Eine wichtige Anwendung dieser Formeln ergibt sich bei der Auswertung von Gaschromatogrammen (z.B. quantitative Analyse einer Mischung chlorierter Kohlenwasserstoffe). Dabei bedeuten die x_i die Peakflächen der Komponenten, die im Falle verschiedener Empfindlichkeit des Detektors für die einzelnen Substanzen noch mit empirisch ermittelten Faktoren λ_i multipliziert werden. Die elektrophoretische Trennung der Serumproteine und quantitative Bestimmung der aufgetrennten Albumin- und Globulinfraktionen sowie die Auswertung von Dünnschichtchromatogrammen führt zur selben mathematischen Formulierung. Die Zahlenwerte a_i stellen den prozentuellen Anteil der Komponente i in der vorgegebenen Mischung dar.

Bei der spektralphotometrischen Analyse einer Mischung zweier Substanzen 1 und 2 gilt für die Extinktionen E_1 und E_2 bei den Wellenlängen λ_1 und λ_2 nach dem Lambert-Beerschen Gesetz (Schichtdicke 1 cm)

$$E_1 = \varepsilon_{11} c_1 + \varepsilon_{21} c_2,$$

$$E_2 = \varepsilon_{12} c_1 + \varepsilon_{22} c_2,$$

wobei die Konstanten ε_{11} , ε_{21} , ε_{12} , ε_{22} , die Extinktionskoeffizienten der Stoffe 1 bzw. 2 bei den Wellenlängen λ_1 bzw. λ_2 bedeuten. Die Berechnung der Konzentrationen c_1 und c_2 ergibt in Determinantenform geschrieben [2, 4]:

$$c_1 = \frac{\begin{vmatrix} E_1 & \varepsilon_{21} \\ E_2 & \varepsilon_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{12} & \varepsilon_{22} \end{vmatrix}}, \quad c_2 = \frac{\begin{vmatrix} \varepsilon_{11} & E_1 \\ \varepsilon_{12} & E_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{12} & \varepsilon_{22} \end{vmatrix}}.$$

Als letztes Beispiel soll die automatische Auswertung gaschromatographischer Blutalkoholbestimmungen besprochen werden.

Die Analysen werden entweder nach dem Verfahren der Direkteinspritzung [1, 9] oder nach der Dampfdruckanalyse (Head-Space-Analyse) [10] jeweils unter Zusatz eines inneren Standards durchgeführt. Als solcher hat sich Tetrahydrofuran (THF) bestens bewährt. Diese Substanz wird bei Verwendung von Polyäthylenglykol (Carbowax) 1500 oder 1540 als stationäre Phase von Äthanol, Äther, Aceton, Methanol und sämtlichen höheren Alkoholen gut getrennt und gestattet daher auch neben Äthanol einen Nachweis sowie eine quantitative Bestimmung dieser Verbindungen.

Für die Direkteinspritzung werden 0,2 ml Blut mit 0,5 ml einer 0,1% igen THF-Lösung, für die Head-Space-Analyse 0,5 ml Blut mit 0,25 ml einer 0,05% igen THF-Lösung versetzt. Zur Dosierung des inneren Standards wird ein automatisches Pipettiergerät („Oxford-Pipettor“) verwendet, zur Abmessung der Blut-, Serum- und Harnproben dient eine automatische Pipette (Eppendorf, Oxford).

Bei der rechnerischen Auswertung der Chromatogramme werden die Quotienten der Peakflächen oder Peakhöhen — jeweils Alkohol dividiert durch inneren Standard — gebildet und mit den entsprechenden Quotienten von Testalkoholen bekannter Konzentration verglichen. Der Alkoholgehalt der Proben errechnet sich im Prinzip nach der Formel

$$P(^0/_{00}) = \frac{(A/S)_P}{(A/S)_{1^0/_{00}}}.$$

Darin bedeuten $(A/S)_P$ das Peakflächen- bzw. Peakhöhenverhältnis Alkohol zu innerer Standard der Probe und $(A/S)_{1^0/_{00}}$ den entsprechenden Quotienten des Testes umgerechnet auf eine Konzentration von $1^0/_{00}$. Bei Durchführung der Dampfdruckanalysen müssen die erhaltenen Werte noch mit einem empirisch ermittelten Faktor von 0,930 multipliziert werden, der den Unterschied der Dampfdruckquotienten $P(\text{Alkohol})/P(\text{THF})$ im Blut gegenüber dem in der wäßrigen Lösung der Teste in Rechnung stellt. Wird die Bestimmung mittels Direkteinspritzung durchgeführt, entfällt natürlich dieser Korrekturfaktor. Beim Einsatz von Serumproben muß auf Vollblut umgerechnet werden (Division durch 1,2). Alle benötigten Konstanten werden im Computer gespeichert. Die Steuerung der Berechnung für Blut-, Serum- und Harnproben erfolgt über eine entsprechende Programmwahltaste.

Bei Erstellung des Rechenprogrammes muß außerdem für eine automatische Überprüfung der Ergebnisse sowohl bei den Alkoholtesten als auch bei den einzelnen Doppelbestimmungen Sorge getragen werden. Beispielsweise würde der Computer aus zwei stark divergierenden Werten einer Doppelbestimmung (z. B. $0,7^0/_{00}$ und $1,1^0/_{00}$) automatisch den Mittelwert ($0,9^0/_{00}$) bilden und ausgeben.

Damit könnte u. U. ein Fehler, der beim Einpipettieren der Proben unterlaufen ist (hervorgerufen durch eine Luftblase in der zu pipettierenden Flüssigkeit) übersehen werden, besonders dann, wenn der Computer direkt an den elektronischen Integrator angeschlossen ist. In dem von uns ausgearbeiteten Programm ist für die Quotienten Alkohol/innerer Standard der Testalkohole eine maximal zulässige Abweichung von 1,5% vom Mittelwert vorgesehen, bei den Doppelbestimmungen der Proben dürfen die beiden Werte höchstens um 0,05% absolut divergieren. Im Falle einer Überschreitung dieser Toleranzgrenzen werden die fehlerhaften Werte zusätzlich am Kontrollstreifen ausgedruckt und dadurch kenntlich gemacht.

3. Auswertung statistischer Untersuchungen

In diese Gruppe gehören vor allem die Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen, Varianzen, der Vergleich zweier Meßreihen und die Prüfung von Hypothesen mittels F - und χ^2 -Testes, u. a. m.

Bei allen diesen statistischen Analysen, die oftmals mit komplizierten Dezimalzahlen durchgeführt werden müssen, bringt die programmierte Berechnung eine große Zeitersparnis. Da die meisten dieser Rechenoperationen in den Programmsammlungen der Computerhersteller enthalten sind, soll auf die mathematische Behandlung dieser Probleme hier nicht näher eingegangen werden [12].

Literatur

1. Chundela, B., Janak, J.: Quantitative determination of ethanol besides other volatile substances in blood and other body liquids by gas chromatography. *J. forens. Med.* **7**, 153 (1960).
2. Derkosch, J.: Absorptionsspektralanalyse im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Gebiet, S. 341 ff. Frankfurt/Main: Akademische Verlagsgesellschaft 1967.
3. Essen-Möller, E.: Die Beweiskraft der Ähnlichkeit im Vaterschaftsnachweis; Theoretische Grundlagen. *Mitt. Anthropol. Ges. (Wien)* **68**, 9 (1938).
4. Ewing, G. W., Maschka, A.: Physikalische Analysen- und Untersuchungsmethoden der Chemie, 3. Aufl., S. 195—199. Wien-Heidelberg: R. Bohmann Industrie- und Fachverlag 1964.
5. Hirszfeld, L.: Wege und Ausblicke der Blutgruppenforschung für die Feststellung der Vaterschaft. *Schweiz. Z. Path. Bakt.* **15**, 257 (1952).
6. Hummel, K.: Die medizinische Vaterschaftsbegutachtung mit biostatistischem Beweis. Stuttgart: Gustav Fischer 1961.
7. — Ergänzende $\lg Y/Y$ -Tabellen zur Berechnung der Vaterschaftswahrscheinlichkeit im serologischen Gutachten. *Z. Immun.-Forsch.* **125**, 277 (1963).
8. — Schmidt, V., Ihm, P.: Weitere Ergänzungen der $\lg Y/X$ -Tabellen zur Berechnung der Vaterschaftswahrscheinlichkeit nach Essen-Möller aus serologischen Befunden. *Z. Immun.-Forsch.* **137**, 320 (1969).
9. Machata, G.: Die Routineuntersuchung der Blutalkoholkonzentration mit dem Gaschromatographen. *Mikrochim. Acta* **79** (1960).
10. — Über die gaschromatographische Blutalkoholbestimmung. *Blutalkohol* **4**, 252 (1967).
11. Müller, R. K.: Dokumentation forensisch-chemischer Untersuchungen auf Randlochkarten. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **58**, 65 (1966).

12. Statistik, statistische Programmsammlung. Frankfurt/Main: Deutsche Olivetti GmbH.
13. Wuermeling, H.-B.: Dokumentation von Obduktionsfällen mit Sichtlochkarten. Acta Med. leg. soc. (Liège) **17**, 61 (1964).
14. Yahn, G.: The use of electronic computers for information retrieval in medico-legal research. Acta Med. leg. soc. (Liège) **17**, 49 (1964).

Dr. phil. W. Kisser
Dr. med. G. Sorgo
Institut für Gerichtliche Medizin
A-5020 Salzburg
Anton-Breitner-Straße 9