

Mikroanalyse und angewandte Psychologie*

Von H. GYSEL

Leiter der Analytischen Abteilung der CIBA AG, Basel

a) Die unbewußten individuellen Schätzungsanomalien

Während vieler Jahre der Tätigkeit in mikroanalytischen Laboratorien konnte vom Verfasser festgestellt werden, daß es neben den methodischen und apparativen noch unbekannte individuelle Fehlerquellen gibt. Diese individuellen Fehler wirken sich besonders bei einwaageempfindlichen Analysenarten aus. Die Vermutung, daß sich die individuellen Fehler beim Wägen, und zwar beim Schätzen der dritten Dezimalen, einschleichen, bestätigte sich.

Die statistische Erfassung geschätzter Zahlen zeigte, daß die Analytiker bedenklich schlecht schätzen; dabei sollten sie, besonders bei der Einwaage der CH-Bestimmung, möglichst auf 1 Mikrogramm (1 Millionstelgramm) genau wägen.

Die Schätzungszahlenstatistiken des analytischen Personals sind individuell sehr verschieden und entsprechen den Erwartungen und den Berechnungen nach dem Dispersionsgesetz von BERNOULLI nicht (siehe Abb. 1).

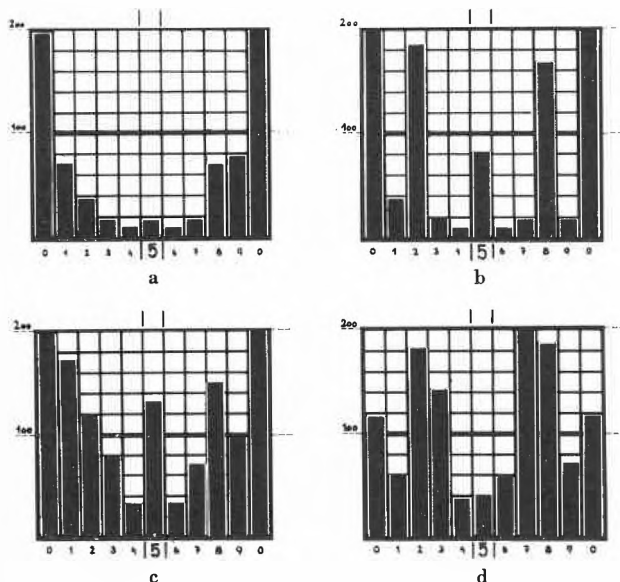


Abb. 1. Verschiedene Typen

Die Abb. 1 stellt 4 Schätzungszahlenstatistiken von vier verschiedenen Analytikern dar. Sie zeigen, daß die Streuungen weit über die erwarteten Grenzen hinausgehen (theoretisch sollten die Streuungen für diese Beispiele nur etwa 10% betragen)

Man kann geradezu von einer ausgesprochenen Bevorzugung und einer ausgesprochenen Benachteiligung bestimmter Schätzungszahlen sprechen.

* Vortrag anlässlich der Winterversammlung des Schweizerischen Chemiker-Verbandes am 31. Januar 1959 in Freiburg. Zusammenfassung und Ergänzung früherer Arbeiten: *Microchimica Acta* 1953, 266, und 1956, 577.

Es zeigt sich, daß die Schätzungszahlenstatistiken nicht nur individuell sehr verschieden sind, sondern auch, daß sie auf viele Jahre hinaus auffallend konstant sind (siehe Abb. 2).

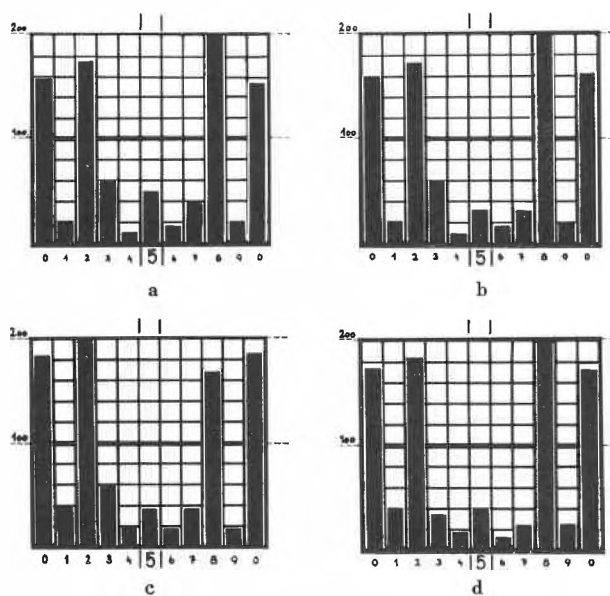


Abb. 2. Beständigkeit der Schätzungszahlencharakteristik eines Analytikers

Die Abb. 2 zeigt verschiedene Schätzungszahlenstatistiken vom gleichen Analytiker, aber zu verschiedenen Zeiten des Schätzens aufgenommen (Zeitabstand der einzelnen Statistiken etwa ein halbes Jahr, von Abb. 2 a bis Abb. 2 d beträgt er etwa zwei bis zweieinhalb Jahre)

Es ist geradezu paradox, wie schlecht die Analytiker an und für sich schätzen und mit welcher verblüffenden Präzision sie die Fehler wiederholen. Der Analytiker erreicht also dort die größte Genauigkeit, wo es um die Konstanz seiner Fehler bzw. wo es um die Genauigkeit seiner Ungenauigkeit geht. Die Schätzungszahlenstatistiken sind individuell so verschieden und so konstant, daß man sie in dieser Beziehung mit einer Unterschrift vergleichen kann. Es besteht nach den bisherigen Ausführungen immer noch die Möglichkeit, daß apparative oder wesentliche sinnesphysiologische Einflüsse die Schätzungsanomalien verursachen. Deshalb wurden noch Schätzungsstatistiken von Analytikern aufgestellt, die verschiedene Waagen benützten (siehe Abb. 3).

Bis zu diesem Untersuchungsstadium wurden die Resultate geheim gehalten. Daß die Erscheinung der Schätzungsanomalien dem Laborpersonal absolut unbewußt war, beweist die Tatsache, daß bei der Aufklärung und Orientierung über diese Versuche jeder Analytiker mit Entrüstung die Zumutung von sich wies, derart schlecht zu schätzen.

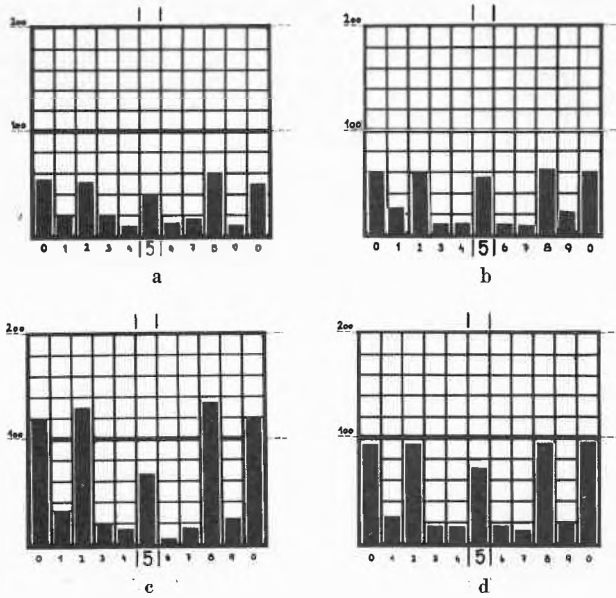


Abb. 3. Schätzungszahlencharakteristiken eines Analytikers bei Verwendung verschiedener Waagen von gleichem oder ähnlichem Typus, es handelt sich um zwei Mikrowaagen und je eine Halbmikrowaage und eine Makrowaage (Voraussetzung ist natürlich, daß der Schätzungsbereich immer gleich groß ist, im vorliegenden Fall z. B. 10 Einheiten). Die Abbildung zeigt, daß die vier Schätzungszahlenstatistiken durch rein individuelle Fehler bedingt sind

Der Versuch, durch Aufklärung des Personals und durch eine Aktion des guten Willens, ohne Benützung weiterer, z. B. technischer Hilfsmittel, eine Verbesserung der Schätzungszahlenstatistiken zu erreichen, schlug fehl. Nicht eine einzige der vielen Versuchspersonen war in der Lage, allein auf Grund des guten Willens, ihre Schätzungscharakteristik zu bessern.

Die Schätzungsstatistiken kann man leicht in drei Gruppen einteilen. Das Schätzen der Gruppe 1 wird durch die Abb. 4 dargestellt.

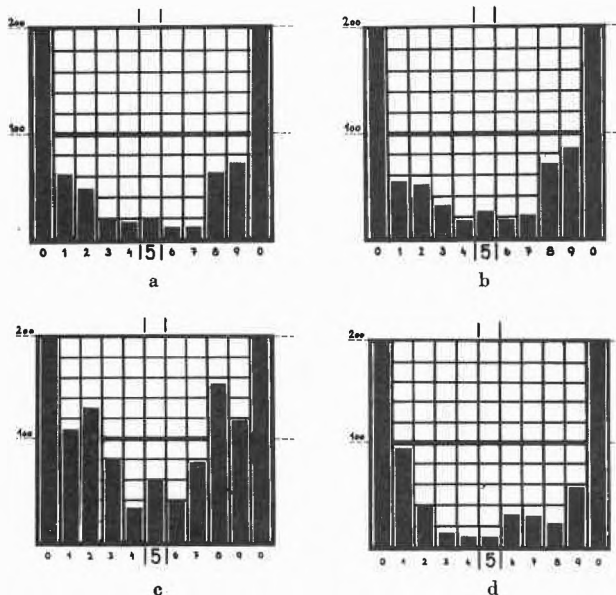


Abb. 4. Erste Gruppe von Analytikern mit gleicher Schätzungstendenz

Die erste der drei Gruppen schätzt weitaus am schlechtesten. Leider ist sie auch die größte der drei Gruppen (etwa 60 % des Personals). Die Tendenz dieser Gruppe zeigt sich besonders schön im Beispiel der Abb. 5b (dies ist die gleiche Darstellung wie Abb. 5a, nur daß die Null in die Mitte des Bildes versetzt wurde).

Abb. 5b sieht merkwürdigerweise wie die Karikatur der Gaußschen Fehlerkurve aus.

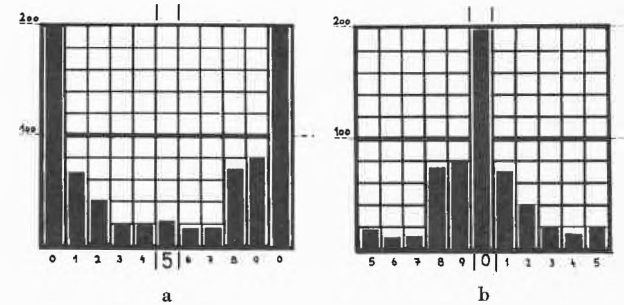


Abb. 5. Schätzungszahlencharakteristiken

Die Null wird bei dieser Gruppe abnorm häufig bevorzugt, während die mittleren Schätzungszahlen 4, 5, 6 oft auch noch 3 und 7, im allgemeinen beim Schätzen sehr gemieden oder doch stark vernachlässigt werden. Alle bevorzugten Zahlen liegen in der Nähe der Null (z. B. 1, 2, 8, 9)

Die zweite Gruppe schätzt allgemein wesentlich besser, sie ist leider nur durch ungefähr 30 % der Analytiker vertreten. Die Analytiker dieser Gruppe bevorzugen nicht nur die Null, sondern zugleich auch die Zahl 5.

Die dritte Gruppe ist die interessanteste, es sind die Individualisten des Schätzens (siehe Abb. 6).

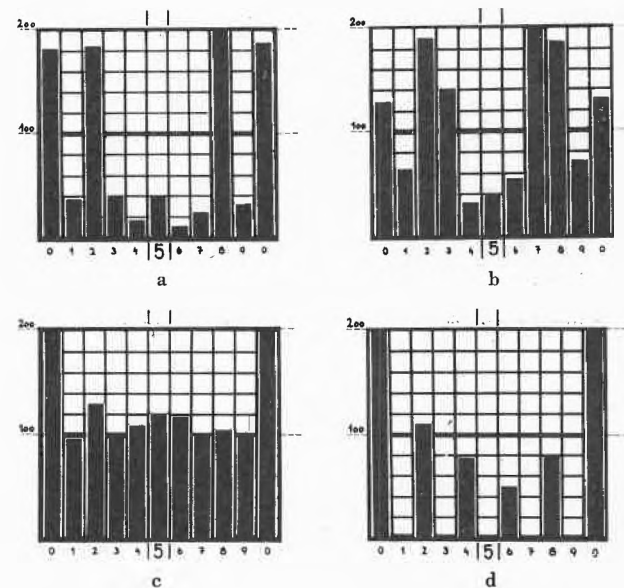


Abb. 6. Schätzungszahlencharakteristiken

Besonders interessant ist die Abb. 6c. Sie war während vieler Jahre die beste Schätzungszahlenstatistik des Verfassers. Es zeigt sich, daß der Analytiker, von dem sie stammt, der einzige war, der sich an ein bestimmtes, definierbares Schätzungsverfahren hielt

Das neue Schätzungsverfahren

Abb. 7 zeigt eine Schätzungssituation und dient zur Demonstration des Schätzungsverfahrens.

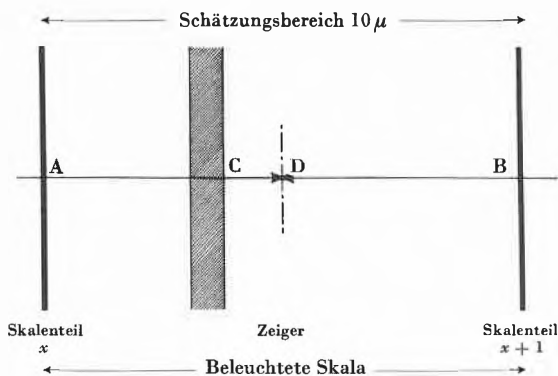


Abb. 7. Schätzungssituation

Der Analytiker verglich hier die links vom Zeiger befindliche Strecke (Teilstrich A bis zum Zeiger) mit der rechts vom Zeiger befindlichen Strecke (C-B), und zwar so, daß er den Schätzungsbereich, hier z. B. die 10 Einheiten, implizite erfaßte (d. h. in diesem Beispiel hätte der Analytiker wie folgt geschätzt: Verhalten sich die beiden Strecken wie 3:7 oder wie 4:6; auf diese Weise hätte er sicher eine 3 oder 4 geschätzt. Das sind gerade zwei Zahlen, die im allgemeinen beim Schätzen vernachlässigt werden)

Es besteht die Möglichkeit, daß der Lichtverlust der linken Hälfte des Schätzungsbereiches (2 Schatten = größerer Lichtverlust) einen sinnesphysiologischen Effekt beim Messenden auslöst, und zwar so, daß die Schätzung zur Null hin strebt. Die Einführung dieses Schätzungsverfahrens beim analytischen Personal zeigte eine gute Verbesserung der Schätzungsstatistiken (siehe Abb. 8). Besonders Neulinge, die, was das Schätzen an-

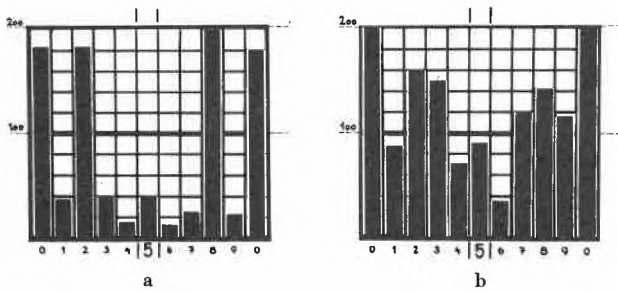


Abb. 8. Verbesserung der Statistiken mit dem neuen Schätzungsverfahren, a) vorheriges Schätzen, b) nachheriges Schätzen

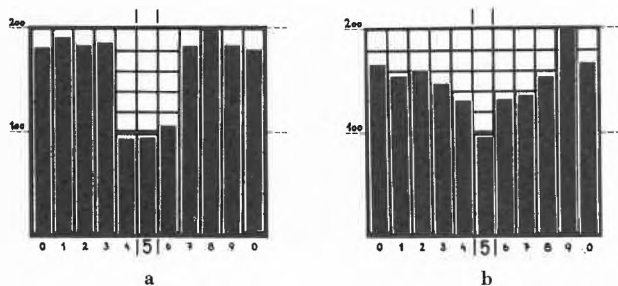


Abb. 9. Schätzen nach dem besten Schätzungsverfahren (neu Angelernte)

betrifft, durch Gewöhnung noch nicht verdorben sind und mit dem Schätzungsverfahren von Anfang an vertraut gemacht wurden, zeigten ausgezeichnete Schätzungszahlenstatistiken (Abb. 9).

Als technische Verbesserung zur Milderung der Schätzungsfehler sind in erster Linie Skalen mit kleinen Schätzungsbereichen zu empfehlen. Es wurden durch das Ersetzen der Waageskalen mit einem Schätzungsbereich von 10 Einheiten durch solche, deren Schätzungsbereiche nur noch 5 Mikrogramm betrug, wesentliche Verbesserungen erreicht (siehe Abb. 10).

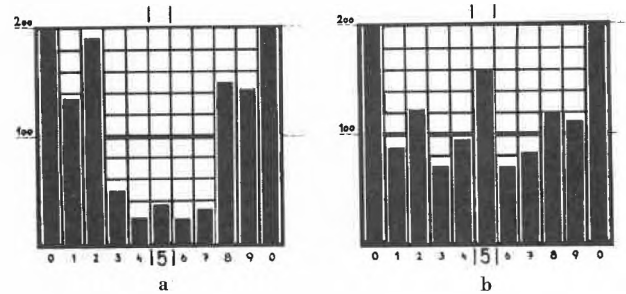


Abb. 10. Einfluß verbesserter Skalen auf die Schätzungscharakteristiken. a) = Mikrowaage mit 10 μ-Graduierung, b) = Mikrowaage mit 5 μ-Graduierung (Mettler-Waage)

Da die Einwaage aus zwei einzelnen Wägungen errechnet werden muß, können sich die Schätzungsanomalien in den dritten Dezimalen der errechneten Einwaagen auswirken (Sekundäranomalien in den Statistiken der dritten Dezimale der errechneten Einwaage).

Eine psychologisch interessante Feststellung zeigt die Abb. 11.

Die Physiker und Mathematiker lehren uns, daß es sinnlos ist, mit einem Instrument genauer zu messen, als der Genauigkeit oder der Empfindlichkeit des Instrumentes entspricht.

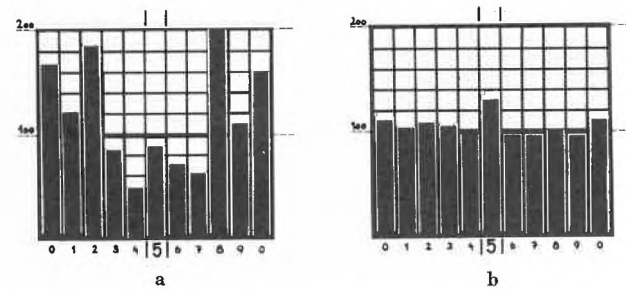


Abb. 11 zeigt zwei Schätzungszahlenstatistiken, die von einer relativ ungenauen Mikrowaage stammen. Der Analytiker machte sogenannte Orientierungsanalysen und wog auf der Mikrowaage nur auf die 2. Dezimale genau (siehe Abb. 11 a). Eigentlich handelt es sich mehr um eine Ablesung als um eine Schätzung. Der Versuch des Analytikers, auf die 3. Dezimale zu wägen, zeigte eine wesentliche Verbesserung seiner Statistik der 2. Dezimale (siehe Abb. 11 b)

Abb. 11 zeigt, daß es, entgegengesetzt der Lehre der Physiker und Mathematiker, sehr sinnvoll sein kann, genauer zu messen, als der Genauigkeit und der Empfindlichkeit des Instrumentes entspricht, einfach deshalb, weil wir damit die «psychologischen Fehler» einigmaßen ausschalten können.

Viele fehlerhafte und ungenaue Analysen haben ihre Ursache in psychologischen Fehlern. Wegen des schlechten Schätzens zeigen sich sehr geeignete Analytiker für einwaageempfindliche Bestimmungen ungeeignet. Selbst bei gutem analytischen Personal kann der Analysenfehler bei der CH-Bestimmung (neben den methodischen und apparativen Fehlern) zusätzlich $+ 0,2\%$ oder darüber sein, d. h. bis etwa $\pm 0,3\%$.

Durch besseres Schätzen werden die Analysenresultate guter Analytiker wesentlich verbessert.

b) Die mehr oder weniger bewußten Schätzungsanomalien

Die Abb. 12 und 13 zeigen 6 verschiedene Schätzungszahlenstatistiken. Es ist nun interessant, festzustellen, daß, wenn man die Null als «Symmetrieachse» betrachtet, die linken Hälften etwas mehr mit Schätzungszahlen belastet sind als die rechten Hälften (z. B. Abb. 12 a mehr 9 als 1, mehr 8 als 2 usw.).

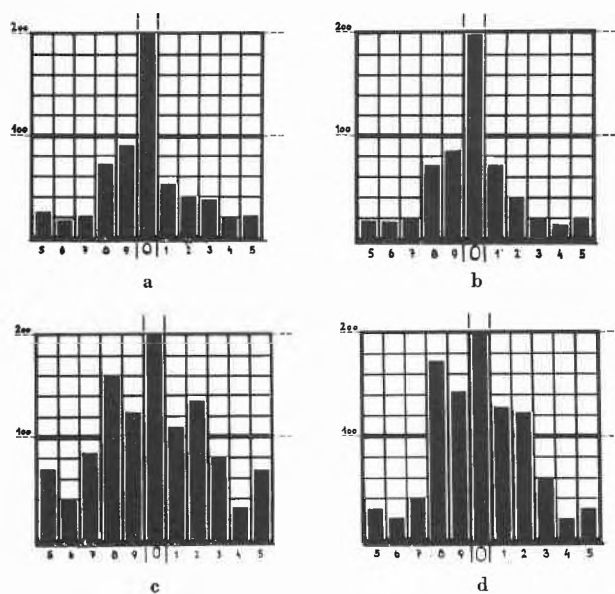


Abb. 12. Die hohen Schätzungszahlen werden im allgemeinen mehr geschätzt

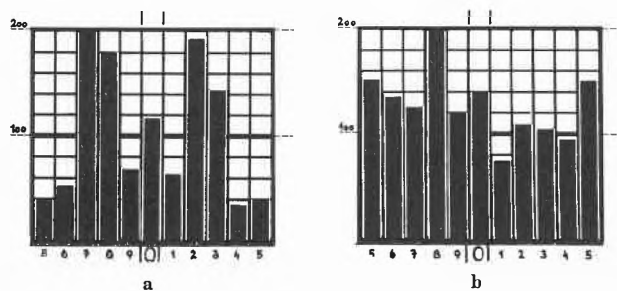


Abb. 13. Die hohen Schätzungszahlen werden im allgemeinen mehr geschätzt. b) Mikrowaage mit Nonius

Selbst die Schätzungszahlenstatistiken von der Waage mit Nonius zeigen diese Erscheinungen. Aus irgendeinem

Grunde werden also die hohen Schätzungszahlen (6, 7, 8, 9), allgemein betrachtet, öfters geschätzt werden als die niedrigen Schätzungszahlen (1, 2, 3, 4). Die Ursache dieser Erscheinung liegt wieder bei einer psychologischen Fehlerquelle.

Als Erklärung dafür wurde die Tatsache festgestellt, daß der Analytiker bei der 2. Einwaagewägung sich von der ersten Einwaagewägung beeinflussen läßt (siehe untenstehendes Beispiel). So hat der Analytiker unter anderem die starke Tendenz, gleiche Schätzungszahlenpaare zu schätzen. Im Beispiel 13b hat er den deutlichen Wunsch, eine 8 zu bevorzugen.

Vorteile: 1. einfacheres Errechnen der Einwaage und
2. leichteres Logarithmieren mit 3- als mit 4stelligen Zahlen.

Beispiel: Einwaage einer Substanz

2. Wägung = $6,37x$ Milligramm

1. Wägung = $3,298$ Milligramm

Einwaage = Differenz

x = zweite oder obere Schätzungszahl

8 = erste oder untere Schätzungszahl

Als zweite Tendenz, sofern nicht gleiche Schätzungszahlpaare geschätzt werden können, zeigt sich das Bestreben, beim Schätzen der 3. Dezimale für die zweite Einwaagewägung höhere Schätzungszahlen (9, 8, 7, 6) zu bevorzugen (Vorteil: leichteres Subtrahieren).

Beweise, daß sich der Analytiker von diesen Verlockungen zur Erleichterung seiner Arbeit beeinflussen läßt, gibt es mehrere. Das Maß des Nachgebens ist individuell natürlich sehr verschieden.

1. Gleiche Schätzungszahlpaare sind bei den Einwaagen in 10% der Fälle zu erwarten.
Die Analytiker finden aber 20 oder wesentlich mehr Prozente an gleichen Schätzungszahlpaaren, in einzelnen Fällen bis etwa 50%.
2. Die zweite Tendenz: bei der 2. Einwaagewägung eine höhere Schätzungszahl zu schätzen als bei der ersten Wägung kann leicht bewiesen werden. Die Summe der zweiten Schätzungszahlen muß dann, statistisch betrachtet, größer sein als die Summe der ersten Schätzungszahlen, und diese Summe ist immer und durchschnittlich 3 bis 8% größer.
Das ist recht viel, denn nur in 45% aller Einwaagen sind die zweiten oder oberen Schätzungszahlen kleiner zu erwarten als die unteren.
3. Durch Auflösen aller Schätzungszahlenstatistiken in Schätzungszahlenstatistiken der oberen und solcher der unteren Schätzungszahlen können gelegentlich Einflüsse festgestellt werden.

Die Fehlergröße, die durch diese mehr oder weniger bewußten Schätzungsanomalien in das Analysenresultat kommt, dürfte im allgemeinen innerhalb 0,1% sein, in einzelnen Fällen aber bis 0,15% betragen.

Die Frage nach der Möglichkeit, wie oft sich alle Fehler, die
apparativen
methodischen
psychologisch-unbewußten und bewußten,

mit maximalen oder größeren Werten addieren, ist schwierig zu beantworten.

Vermutungsweise ist das in 3 bis 5 % der Analysen der Fall.

Das heißt nun, daß 3 bis 5 % der einwaageempfindlichen Mikroanalysen ungenau oder falsch sein können oder statistisch betrachtet ungenau bzw. falsch sein müssen.

Diese Feststellung muß jeden Mikroanalytiker nachdenklich stimmen.

Wie ist die Situation auf anderen Gebieten, z. B. dort, wo Ermessensfragen einen zahlenmäßigen Ausdruck finden? Z. B. bei den Gerichtsurteilen! Auch dort treten «Schätzungsanomalien» auf! Diese haben noch größere Auswirkungen, besonders vom Delinquenten aus gesehen. Wenn dieser z. B. theoretisch 7 Jahre Zuchthaus verdient und der Richter beispielweise die Zahlen 6 oder 8 bevorzugt, so geht es für den Betroffenen um ganze Lebensjahre der persönlichen Freiheit.