Vereinfachte Berechnung der Radioaktivität
und der zugehörigen Streuung (inkl. Vertrauensintervall
und Vertrauensgrenzen) mit Hilfe eines speziellen
Rechenschiebers und passender Rechentabellen

Von M. M. Bezzegh-Galántai und H. L. Le Roy

Vereinfachte Berechnung der Radioaktivität und der zugehörigen Streuung (inkl. Vertrauensintervall und Vertrauensgrenzen) mit Hilfe eines speziellen Rechenschiebers und passender Rechentabellen

Von M. M. BEZZEGH-GALÁNTAI¹⁾ und H. L. LE ROY²⁾

Manuskript eingegangen am 14. Juli 1965

1. Einleitung

In einer früheren Arbeit (BEZZEGH-GALÁNTAI und LE ROY³⁾) wurde eine vereinfachte Methode für die Berechnung der Radioaktivität und ihrer Streuung (mit Hilfe von graphischen Darstellungen) beschrieben. In der Folge soll nun gezeigt werden, wie ein speziell für diese Berechnung entwickelter Rechenschieber in Verbindung mit passenden Rechentabellen die eingehende Datenanalyse ohne grossen Zeitaufwand realisieren lässt. Dieses Vorgehen bietet gegenüber dem graphischen Verfahren den Vorteil, dass es zu allen Apparaten direkt verwendbar ist. Die Messungen können sowohl mit vorgewählter Impulszahl als auch mit vorgewählter Zeit (einmalige oder mehrmalige Messung) durchgeführt werden.

2. Rechenschieber

Auf dem Rechenschieber sind die Funktionen auf speziellen Skalen aufgetragen, welche für die Berechnung der Impulsfrequenzen, Aktivitäten und Streuungen unter Berücksichtigung des Untergrundes benötigt werden. Diese besonderen Funktionen sind in den Rechentabellen in jenen Feldern zu finden, die das Symbol ● aufweisen. Abb. 1 illustriert die Struktur des Rechenschiebers. Die Skalen $\sqrt{x+1}$, $\sqrt{x^2+1}$, $\sqrt{(x+1)/(x-1)^2}$ usw. sind so zu verstehen, dass die Grösse x nur als Leitsymbol für numerische Werte, zum Beispiel für n , $\bar{n}$, n_0 , $\bar{n}_0$, t , $\bar{t}$, t_0 , $\bar{t}_0$, a_n , $a_{\bar{n}}$, a_t und $a_{\bar{t}}$ (siehe Tabellen 1–6), eingeführt wird. Die zur Diskussion stehenden, etwas komplexen

¹⁾ Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH, Zürich.

²⁾ Laboratorium für Biometrie und Populationsgenetik am Institut für Tierzucht der ETH, Zürich.

³⁾ Vereinfachte Berechnung der Radioaktivität und ihrer Streuung im Wasser für ein festgelegtes Arbeitsschema, Schweiz. Z. Hydrol. 23, 494 (1961).

Tabelle 2: Nettoimpulsfrequenz N' und Nettoaktivität A' bei einmaliger Messung ($r = 1$), n (Impulse) vorgegeben.

Tabelle 3: Nettoimpulsfrequenz N' und Nettoaktivität A' bei einmaliger Messung ($r = 1$), t (Zeitspanne) vorgegeben.

Tabelle 4: Wie Tabelle 1, jedoch mit mehrmaliger Messung ($r > 1$).

Tabelle 5: Wie Tabelle 2, jedoch mit mehrmaliger Messung ($r > 1$).

Tabelle 6: Wie Tabelle 3, jedoch mit mehrmaliger Messung ($r > 1$).

- b) Weitere, in den Tabellen benützte Symbole:

$C = A_E/\bar{N}_E$ = Konstante, wobei A_E die Aktivität des verwendeten Eichpräparates und

$\bar{N}_E$ den Durchschnittswert der am Eichpräparat gemessenen Impulsfrequenzen bedeuten.

t_p = Zeitspanne für das Präparat,

t_o = Zeitspanne für den Untergrund,

n_p = Impulse für das Präparat,

n_o = Impulse für den Untergrund,

σ_j = Standardabweichung, wobei $j = N^B$, bzw. A^B oder
 N' , bzw. A' oder
 $\bar{N}^B$, bzw. $\bar{A}^B$ oder
 $\bar{N}'$, bzw. $\bar{A}'$

$\delta = \sigma_j/j$ = relative Standardabweichung,

P = Irrtumswahrscheinlichkeit (Fehler erster Art).

Ferner ist zu beachten:

- Will man nur Auskunft über die Impulsfrequenz bzw. Aktivität haben, so genügt es, wenn die Berechnung auf die Zeilen Z_1 und Z_2 beschränkt wird.
- Sind die Vertrauensgrenzen zu den absoluten Werten erwünscht, so ist die Berechnung auf die Zeilen Z_1 , Z_2 , Z_3 auszudehnen. Anschliessend sind im unteren Tabellenteil die Felder (rechts) für die Vertrauensgrenzen (VG) zu berücksichtigen.
- Interessiert nur das prozentuale Vertrauensintervall sowie die Impulsfrequenz bzw. die Aktivität, so beschränkt sich die Berechnung auf die Zeilen Z_1 , Z_2 , Z_4 und Z_5 . Anschliessend ist im unteren Tabellenteil (links) das Feld für die numerische Kennzeichnung der prozentualen Vertrauensintervalle auszufüllen.
- Die in den Tabellen 1–6 aufgeführten Rechenvorschriften für Aktivitäten (A^B bzw. A') sind gültig, wenn das Bezugspräparat dieselbe Energie und dieselbe Schichtdicke aufweist wie die zu messende Probe. In diesem Falle (relative Messung!) ist der Selbstabsorptionsfaktor = 1. Weicht jedoch die Energie oder die Schichtdicke des zu messenden Präparates von derjenigen des Bezugspräparates ab, so muss der jeweilige Selbstabsorptionsfaktor mitberücksichtigt werden.
- Die Skalen $\sqrt{x+1}$, $\sqrt{x^2+1}$ usw. auf dem Rechenschieber gelten nur für den Bereich $1,1 < x < 10$. x -Werte kleiner als 1,1 in $\sqrt{x+1}$, $\sqrt{x^2+1}$ usw. haben keine Bedeutung, da bei diesen Fällen die Aktivitäten ein so geringes Ausmass erreichen, dass sie mit den Messgeräten nicht erfasst werden können. x -Werte grösser als 10 sind möglich; durch geschickte Wahl der Messanordnung gelingt es jedoch leicht, einen x -Wert im Intervall $1,1 < x < 10$ zu realisieren. Die Tabellen 1 bis 6 dagegen haben Gültigkeit für beliebige x -Werte.

Tab.1: N^B bzw. A^B , n oder t fix und $r = 1$

Daten:	Schema 1a n oder t fix $r=1$ (I)	t = _____ (II)	Rechenvorschrift (I)·(II)=(III)	C = _____ (IV)	Rechenvorschrift (III)·(IV)=(V)	
	Rechenschieber	n = _____	• $1/t =$	$N^B =$	C = _____ ↑	$A^B =$
• $\sqrt{n} =$		$1/t =$ ↑	$\sigma_{N^B} =$ $\Delta = 1,96 \cdot \sigma_{N^B} =$	C = _____ ↑	$\sigma_{A^B} =$ $\Delta^* = 1,96 \cdot \sigma_{A^B} =$	Z ₂ Z ₃ Z _{3'}
• $\sqrt{t/n} = \delta_{N^B} =$		100	$\delta_{N^B \%} =$		$= \delta_{A^B \%}$	Z ₄

Vertrauensintervall (V.I.) in % und Vertrauensgrenzen (V.G.) für P = 0,05			
V.I. in %: gilt für N^B und A^B bzw. für $\frac{N^B}{M}$ und $\frac{A^B}{M}$		V.G. für N^B bzw. für $\frac{N^B}{M}$	V.G. für A^B bzw. für $\frac{A^B}{M}$
V.I. = $\pm 1,96 \cdot \delta_{N^B \%}$	= $\pm$ _____ %	V.G. = $N^B \pm \Delta =$ _____ V.G. = $\frac{N^B}{M} \pm \frac{\Delta}{M} =$ _____	V.G. = $A^B \pm \Delta^* =$ _____ V.G. = $\frac{A^B}{M} \pm \frac{\Delta^*}{M} =$ _____
Material:		Analyse ausgeführt durch: _____ Datum: _____	
Eingewogene Menge (M):		Berechnung ausgeführt durch: _____ Datum: _____	

Tab. 2: N' bzw. A' , n fix und $r=1$

Daten:	Schema 1b $n = \text{fix}, r=1$ (I)	$t_o = \text{-----}$ (II)	$t_p = \text{-----}$ $t_o/t_p = a_t = \text{-----}$ (III)	Rechenvorschrift (I) · (II) · (III) = (IV)	$C = \text{-----}$ (V)	Rechenvorschrift (I) · (V) = (VI)	Z_1
	$n = \text{-----}$	• $1/t_o =$	$a_t - 1 =$	$N' =$	$C =$ ↑	$A' =$	Z_2
Rechenschleier	• $\sqrt{n} =$	$1/t_o =$ ↑	• $\sqrt{a_t^2 + 1} =$	$\sigma_{N'} =$ $\Delta = 1,96 \cdot \sigma_{N'} =$	$C =$ ↑	$\sigma_{A'} =$ $\Delta^* = 1,96 \cdot \sigma_{A'} =$	Z_3
	• $\sqrt{1/n} =$	1	• $\sqrt{\frac{a_t^2 + 1}{(a_t - 1)^2}} =$	$\delta_{N'} =$		$= \delta_{A'}$	Z_4
				$100 \cdot \delta_{N'} = \delta_{N'} \% =$		$= \delta_{A'} \%$	Z_5
<u>Vertrauensintervall (V.I.) in % und Vertrauensgrenzen (V.G.) für $P = 0,05$</u> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> V.I. in %: gilt für N' und A' bzw. für $\frac{N'}{M}$ und $\frac{A'}{M}$ V.I. = $\pm 1,96 \cdot \delta_{N'} \% = \pm \text{-----} \%$ </div> <div style="width: 50%;"> V.G. für N' bzw. für $\frac{N'}{M}$ V.G. = $N' \pm \Delta =$ V.G. = $\frac{N'}{M} \pm \frac{\Delta}{M} =$ </div> <div style="width: 45%;"> V.G. für A' bzw. für $\frac{A'}{M}$ V.G. = $A' \pm \Delta^* =$ V.G. = $\frac{A'}{M} \pm \frac{\Delta^*}{M} =$ </div> </div>							
Material:				Analyse ausgeführt durch:		Datum:	
Eingewogene Menge (M):				Berechnung ausgeführt durch:		Datum:	

Tab. 3: N' bzw. A' , t fix und $r = 1$

Daten:	Schema 1c $t = \text{fix}, r = 1$ $t = \text{-----}$ (I)	$n_o = \text{-----}$ (II)	$n_p = \text{-----}$ $n_p/n_o = a_n = \text{-----}$ (III)	Rechenvorschrift (I) · (II) · (III) = (IV)	$C = \text{-----}$ (V)	Rechenvorschrift (IV) · (V) = (VI)						
	• $1/t =$	$n_o =$	$a_n - 1 =$	$N' =$	$C =$	$A' =$						
Rechenschieber	$1/t =$ ↑	• $\sqrt{n_o} =$	• $\sqrt{a_n + 1} =$	$\sigma_{N'} =$ $\Delta = 1,96 \cdot \sigma_{N'} =$	$C =$ ↑	$\sigma_{A'} =$ $\Delta^* = 1,96 \cdot \sigma_{A'} =$						
	1	• $\sqrt{1/n_o} =$	• $\sqrt{\frac{a_n + 1}{(a_n - 1)^2}} =$	$\delta_{N'} =$		$= \delta_{A'}$						
				$100 \cdot \delta_{N'} = \delta_{N'} \% =$		$= \delta_{A'} \%$						
<p><u>Vertrauensintervall (V.I.) in % und Vertrauensgrenzen (V.G.) für $P = 0,05$</u></p> <table border="1"> <tr> <td>V.I. in %: gilt für N' und A' bzw. für $\frac{N'}{M}$ und $\frac{A'}{M}$</td> <td>V.G. für N' bzw. für $\frac{N'}{M}$</td> <td>V.G. für A' bzw. für $\frac{A'}{M}$</td> </tr> <tr> <td>V.I. = $\pm 1,96 \cdot \delta_{N'} \% = \pm \text{ } \%$</td> <td>V.G. = $N' \pm \Delta =$ $\frac{V.G.}{M} = \frac{N'}{M} \pm \frac{\Delta}{M} =$</td> <td>V.G. = $A' \pm \Delta^* =$ $\frac{V.G.}{M} = \frac{A'}{M} \pm \frac{\Delta^*}{M} =$</td> </tr> </table>							V.I. in %: gilt für N' und A' bzw. für $\frac{N'}{M}$ und $\frac{A'}{M}$	V.G. für N' bzw. für $\frac{N'}{M}$	V.G. für A' bzw. für $\frac{A'}{M}$	V.I. = $\pm 1,96 \cdot \delta_{N'} \% = \pm \text{ } \%$	V.G. = $N' \pm \Delta =$ $\frac{V.G.}{M} = \frac{N'}{M} \pm \frac{\Delta}{M} =$	V.G. = $A' \pm \Delta^* =$ $\frac{V.G.}{M} = \frac{A'}{M} \pm \frac{\Delta^*}{M} =$
V.I. in %: gilt für N' und A' bzw. für $\frac{N'}{M}$ und $\frac{A'}{M}$	V.G. für N' bzw. für $\frac{N'}{M}$	V.G. für A' bzw. für $\frac{A'}{M}$										
V.I. = $\pm 1,96 \cdot \delta_{N'} \% = \pm \text{ } \%$	V.G. = $N' \pm \Delta =$ $\frac{V.G.}{M} = \frac{N'}{M} \pm \frac{\Delta}{M} =$	V.G. = $A' \pm \Delta^* =$ $\frac{V.G.}{M} = \frac{A'}{M} \pm \frac{\Delta^*}{M} =$										
Material:				Analyse ausgeführt durch: Datum:								
Eingewogene Menge (M):				Berechnung ausgeführt durch: Datum:								

Z₁
Z₂
Z₃
Z_{3'}
Z₄
Z₅