

<b>Zeitschrift:</b>	Mitteilungen / Vereinigung Schweizerischer Versicherungsmathematiker = Bulletin / Association des Actuaires Suisses = Bulletin / Association of Swiss Actuaries
<b>Herausgeber:</b>	Vereinigung Schweizerischer Versicherungsmathematiker
<b>Band:</b>	54 (1954)
<b>Artikel:</b>	Ein Verfahren zur Bestimmung der Rendite von festverzinslichen Anleihen
<b>Autor:</b>	Zwinggi, E.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-555032">https://doi.org/10.5169/seals-555032</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Ein Verfahren zur Bestimmung der Rendite von festverzinslichen Anleihen

Von *E. Zwinggi*, Basel

Die Bewertung der festverzinslichen Anleihen (Wertpapiere) zu «mathematischen Kursen» kann von zwei Voraussetzungen ausgehen. Beim *ersten* Verfahren (Renditemethode) ist der Bewertungszinsfuss vorgeschrieben; aus dem Tilgungsplan, den Zinsterminen und der nominalen Verzinsung sind die jeweiligen mathematischen Werte (Kurse) auf Grund des gegebenen Bewertungszinsfusses ohne jede Schwierigkeit berechenbar. Beim *zweiten* Vorgehen (Anschaffungswertmethode) ist der Anschaffungswert (Kurs) als bekannt anzunehmen. Aus diesem Wert, ferner aus dem Tilgungsplan, den Zinsterminen und der nominalen Verzinsung ist zuerst die Rendite (effektive Verzinsung) zu bestimmen; sobald diese berechnet ist, lassen sich die jeweiligen mathematischen Werte ebenfalls leicht ermitteln. Das Hauptproblem beim zweiten Verfahren besteht somit in der *Berechnung der effektiven Verzinsung*.

Wir wollen im folgenden ein Verfahren entwickeln, das mit verhältnismässig geringem Rechenaufwand die effektive Verzinsung von festverzinslichen Anleihen zu bestimmen erlaubt; dabei wollen wir möglichst allgemeine Annahmen über Tilgungsplan, Zinstermine und Laufzeit treffen. Allerdings scheint es dabei einfacher, einige Typen herauszugreifen und unabhängig für sich durchzurechnen, statt allgemein den umfassendsten Fall anzusetzen. Es ist dann ohne weiteres möglich, die verschiedenen Typen miteinander zu kombinieren.

Die Lösung der gestellten Aufgabe ist sinnvoll, auch wenn die Bewertung auf das erste Verfahren gestellt ist. Der Gläubiger will nicht nur die mathematischen Kurse kennen, zu denen er bilanzieren muss, sondern er möchte auch wissen, wie die Anleihen sich effektiv verzinsen.

## 1. Typus A

*Kennzeichen:* Keine vorzeitige Kapitalrückzahlung (Tilgung), künftige Laufzeit ganzzahlig, Zinszahlung unterjährig, nomineller Zinssatz zeitlich konstant.

Wir bezeichnen mit

$n$ : ganzzahlige künftige Laufzeit;

$R_n$ : Rückzahlungswert der Kapitaleinheit;

$i_0$ : nomineller Zinssatz (zeitlich konstant);

$i$ : effektiver Zinssatz (zu bestimmen);

$m$ : Anzahl Raten der Zinszahlung;

$K_0$ : gegebener Anschaffungswert der Kapitaleinheit;

$$v_0 = \frac{1}{1 + i_0};$$

$$v = \frac{1}{1 + i}.$$

Für die Kapitaleinheit gilt der Ansatz

$$K_0 = R_n v^n + i_0 {}^{(m)}a_{\bar{n}}. \quad (1)$$

Zur Bestimmung von  $i$  aus (1) stehen zwei Wege offen:

- a) Der Barwert  ${}^{(m)}a_{\bar{n}}$  wird durch eine der bekannten Näherungen ersetzt, z. B.  ${}^{(m)}a_{\bar{n}} \sim a_{\bar{n}} + \frac{(m-1)(1-v^n)}{2m}$ ;
- b) der Barwert  ${}^{(m)}a_{\bar{n}}$  wird genau ausgewertet.

### a) Näherungslösung

Mit  ${}^{(m)}a_{\bar{n}} = a_{\bar{n}} + \frac{(m-1)(1-v^n)}{2m}$  und  $a_{\bar{n}} = a_{\bar{n+1}} - 1$  kann (1) geschrieben werden als

$$K_0 = \left( R_n - \frac{(m-1)i_0}{2m} \right) v^n + i_0 a_{\bar{n+1}} - \frac{(m+1)i_0}{2m}. \quad (2)$$

Aus (2) ist  $i$  zu bestimmen. Die Lösung gestaltet sich einfach, wenn wir

$$v = (1 + \varepsilon) v_0 \quad (3)$$

setzen und vorerst nach  $\varepsilon$  auflösen. Wenn noch

$$R = R_n - \frac{(m-1) i_0}{2m} \quad (4)$$

bedeutet, erhalten wir aus  $R v^n = R (1 + \varepsilon)^n v_0^n$  bei Entwicklung von  $(1 + \varepsilon)^n$  in die Binomialreihe mit

$$\left. \begin{aligned} m'_0 &= v_0^n, \\ m'_1 &= n v_0^n, \\ m'_2 &= (n^2 - n) v_0^n, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

die Reihe

$$R v^n = R \left( m'_0 + \varepsilon m'_1 + \varepsilon^2 \frac{m'_2}{2!} + \dots \right). \quad (6)$$

Wird weiter (3) in  $a_{\overline{n+1}}$  eingeführt, so folgt für  $i_0 a_{\overline{n+1}}$  mit

$$\left. \begin{aligned} m''_0 &= a_{\overline{n+1}}(i_0), \\ m''_1 &= \frac{a_{\overline{n+1}}(i_0) - (n+1) v_0^{n+1}}{1 - v_0}, \\ m''_2 &= \frac{2 m''_1}{i_0} - \frac{n(n+1) v_0^{n+1}}{1 - v_0}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

die Darstellung <sup>1)</sup>

$$i_0 a_{\overline{n+1}} = i_0 \left( m''_0 + \varepsilon m''_1 + \varepsilon^2 \frac{m''_2}{2!} + \dots \right). \quad (8)$$

<sup>1)</sup> Es ist überflüssig, die Ableitung hier zu wiederholen. Man hat in den Formeln (25), (26) und (27) der Abhandlung «Un procedimento per determinare il saggio d'interesse di rendite vitalizie e rendite certe» bloss  $n$  durch  $n+1$  zu ersetzen.

Weil  $K_0 = (2) = (6) + (8) - \frac{(m+1)i_0}{2m}$  ist, folgt mit

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= R m'_0 + i_0 m''_0 - \frac{(m+1)i_0}{2m}, \\ M_1 &= R m'_1 + i_0 m''_1, \\ M_2 &= R m'_2 + i_0 m''_2, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

die Reihe

$$\begin{aligned} K_0 &= M_0 + \varepsilon M_1 + \varepsilon^2 \frac{M_2}{2!} + \dots = \\ &= M_0 + \varepsilon M_1 \left( 1 + \frac{\varepsilon M_2}{2M_1} + \dots \right) \sim \\ &\sim M_0 + \frac{\varepsilon M_1}{1 - \frac{\varepsilon M_2}{2M_1}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Sei

$$\Delta = K_0 - M_0; \quad (11)$$

dann ist aus (10)

$$\varepsilon = \frac{2\Delta \cdot M_1}{\Delta \cdot M_2 + 2M_1^2}, \quad (12)$$

und aus (3)

$$i = \frac{1+i_0}{1+\varepsilon} - 1. \quad (13)$$

Damit ist die gestellte Aufgabe gelöst; die Berechnung der  $m'_0$ ,  $m'_1$  und  $m'_2$  aus (5), der  $m''_0$ ,  $m''_1$  und  $m''_2$  aus (7) und schliesslich der  $M_0$ ,  $M_1$  und  $M_2$  aus (9) ist sehr einfach.

*Spezialfall:*  $R_n = 1$  (Rückzahlung zu pari) und  $m = 1$  (jährliche Verzinsung). Man rechnet aus (4), (5), (7), (9) und (11) leicht nach, dass gilt

$$\left. \begin{aligned} R &= 1, \\ M_0 &= 1, \\ M_1 &= a_{n|}(i_0), \\ M_2 &= \frac{2}{i_0} (M_1 - n v_0^{n-1}), \\ \Delta &= K_0 - 1. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

b) Genaue Lösung

Gleichung (1) lässt sich schreiben als

$$K_0 = R_n v^n + i_0 \left( {}^{(m)}a_{\bar{n}} - \frac{1}{m} + \frac{v^n}{m} \right) = \left( R_n + \frac{i_0}{m} \right) v^n + i_0 {}^{(m)}a_{\bar{n}} - \frac{i_0}{m}. \quad (15)$$

Wir setzen

$$\bar{R} = R_n + \frac{i_0}{m}, \quad (16)$$

ferner

$$\left. \begin{aligned} v &= (1 + \varepsilon) v_0, \\ (1 + \varepsilon)^{1/m} &= 1 + \varepsilon_m, \\ v^{1/m} &= \bar{v} = (1 + \varepsilon_m) v_0^{1/m} = (1 + \varepsilon_m) \bar{v}_0, \\ \bar{v}_0 &= \frac{1}{1 + \bar{i}_0}, \\ \bar{v} &= \frac{1}{1 + \bar{i}}, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

und erhalten für

$$\bar{R} v^n = \bar{R} (1 + \varepsilon_m)^{nm} v_0^n,$$

und nach Entwicklung in die Binomialreihe mit

$$\left. \begin{aligned} \bar{m}'_0 &= v_0^n, \\ \bar{m}'_1 &= nm v_0^n, \\ \bar{m}'_2 &= (n^2 m^2 - nm) v_0^n, \\ \dots &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

$$\text{die Beziehung } \bar{R} v^n = \bar{R} \left( \bar{m}'_0 + \varepsilon \bar{m}'_1 + \varepsilon^2 \frac{\bar{m}'_2}{2!} + \dots \right). \quad (19)$$

Das zweite Glied in (15) formen wir folgendermassen um. Es ist, unter Beifügung des Zinssatzes zu den Symbolen,

$$\begin{aligned} i_0 {}^{(m)}a_{\bar{n}} &= i_0 {}^{(m)}a_{\bar{n}}(\bar{i}) = \frac{i_0}{m} \sum_{t=0}^{nm-1} v^{t/m} = \frac{i_0}{m} \sum_{t=0}^{nm-1} \bar{v}^t = \frac{i_0}{m} \sum_{t=0}^{nm-1} (1 + \varepsilon_m)^t \bar{v}_0^t = \\ &= \frac{i_0}{m} a_{\bar{nm}}(\bar{i}) = \frac{i_0}{m} \sum_{t=0}^{nm-1} \left( 1 + \binom{t}{1} \varepsilon_m + \binom{t}{2} \varepsilon_m^2 + \dots \right) \bar{v}_0^t = \\ &= \frac{i_0}{m} \left( \bar{m}''_0 + \varepsilon_m \bar{m}''_1 + \varepsilon_m^2 \frac{\bar{m}''_2}{2!} + \dots \right), \end{aligned} \quad (20)$$

wobei [entsprechend (7)] gelten

$$\left. \begin{aligned} \bar{m}_0'' &= a_{\bar{n}\bar{m}}(\bar{i}_0) = \frac{1 - \bar{v}_0^{nm}}{1 - \bar{v}_0}, \\ \bar{m}_1'' &= \frac{a_{\bar{n}\bar{m}}(\bar{i}_0) - nm \bar{v}_0^{nm}}{1 - \bar{v}_0}, \\ \bar{m}_2'' &= \frac{2 \bar{m}_1''}{\bar{i}_0} - \frac{nm(nm-1) \bar{v}_0^{nm}}{1 - \bar{v}_0}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Es ist aber  $K_0 = (15) = (19) + (20) - \frac{\bar{i}_0}{m}$ . Bezeichnen wir mit

$$\left. \begin{aligned} \bar{M}_0 &= \bar{R} \bar{m}_0' + \frac{\bar{i}_0 (\bar{m}_0'' - 1)}{m}, \\ \bar{M}_1 &= \bar{R} \bar{m}_1' + \frac{\bar{i}_0 \bar{m}_1''}{m}, \\ \bar{M}_2 &= \bar{R} \bar{m}_2' + \frac{\bar{i}_0 \bar{m}_2''}{m}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

so wird

$$\begin{aligned} K_0 &= \bar{M}_0 + \varepsilon_m \bar{M}_1 + \varepsilon_m^2 \frac{\bar{M}_2}{2!} + \dots \sim \\ &\sim \bar{M}_0 + \frac{\varepsilon_m \bar{M}_1}{1 - \frac{\varepsilon_m \bar{M}_2}{2 \bar{M}_1}}, \end{aligned}$$

woraus mit

$$\bar{A} = K_0 - \bar{M}_0 \quad (23)$$

schliesslich

$$\varepsilon_m = \frac{2 \bar{A} \cdot \bar{M}_1}{\bar{A} \cdot \bar{M}_2 + 2 \bar{M}_1^2}. \quad (24)$$

Ist  $\varepsilon_m$  bestimmt, so folgt aus (17) für

$$\varepsilon = (1 + \varepsilon_m)^m - 1, \quad (25)$$

und

$$\bar{i} = \frac{1 + \bar{i}_0}{1 + \varepsilon} - 1. \quad (26)$$

Der Spezialfall  $R_n = 1$  und  $m = 1$  führt auf die früheren Beziehungen (14).

**Beispiel zu Typus A für Genauigkeit des Verfahrens**

*Annahmen:* Laufzeit  $n = 20$  oder  $n = 30$ ; Rückzahlungskurs  $R_n = 1$ ; nominelle Verzinsung  $i_0 = 3\%$ ; Anschaffungswert  $K_0$  so festgesetzt, dass die effektive Verzinsung  $i$  genau  $2\%$  oder  $2,5\%$  oder  $3,5\%$  oder  $4\%$ .

*a) Jährliche Zinszahlung*

$i$ genau %	$n = 20$		$n = 30$	
	$K_0$	$i$ genähert %	$K_0$	$i$ genähert %
2,0	1,1635	2,0023	1,2240	2,0044
2,5	1,0779	2,5003	1,1047	2,5005
3,5	0,9289	3,4997	0,9080	3,4995
4,0	0,8641	3,9977	0,8271	3,9958

*b) Halbjährliche Zinszahlung*

$i$ genau %	$n = 20$			$n = 30$	
	$K_0$ *)	$i$ genähert nach (a)	$i$ genähert nach (b)	$K_0$	$i$ genähert nach (a)
2,0	1,1660	2,0023	2,0023	1,2273	2,0044
2,5	1,0809	2,5003	2,5003	1,1086	2,5005
3,5	0,9327	3,4997	3,4997	0,9129	3,4995
4,0	0,8682	3,9978	3,9978	0,8323	3,9958

\*) Weil die Genauigkeit der beiden Verfahren zu prüfen ist, müssen je nach dem Vorgehen [Näherung für  $(m)a_n^-$ ] oder genaue Auswertung] zwei verschiedene  $K_0$  vorausgesetzt werden. In der angegebenen Stellenzahl unterscheiden sich jedoch die beiden Werte infolge Rundung höchstens um 0,0001.

**2. Typus B**

*Kennzeichen:* Keine vorzeitige Kapitalrückzahlung (Tilgung), künftige Laufzeit gebrochene Anzahl Jahre, Zinszahlung jährlich (der Ansatz wäre ohne weiteres auf unterjährige Zinszahlung ausdehnbar), nomineller Zinssatz zeitlich konstant.

Wir bezeichnen mit

$n-h$ : künftige Laufzeit, wobei  $n$  ganzzahlig,  $0 < h < 1$ ;

$R_n$ : Rückzahlungswert der Kapitaleinheit;

$i_0$ : nomineller Zinssatz (zeitlich konstant);

$i$ : effektiver Zinssatz (zu bestimmen);

$K_0$ : gegebener Anschaffungswert der Kapitaleinheit.

Für die Kapitaleinheit gilt die Beziehung

$$K_0 = R_n v^{n-h} + i_0 v^{-h} a_{\bar{n}} = R_n v^{n-h} - i_0 v^{-h} + i_0 v^{-h} a_{\bar{n+1}}. \quad (27)$$

Die gliedweise Umformung mit den gleichen Ansätzen wie bei Typus A führt auf

$$R_n v^{n-h} = R_n \left( m_0 + \varepsilon m_1 + \varepsilon^2 \frac{m_2}{2!} + \dots \right) \quad (28)$$

mit

$$\left. \begin{aligned} m_0 &= v_0^{n-h}, \\ m_1 &= (n-h) v_0^{n-h}, \\ m_2 &= (n-h)(n-h-1) v_0^{n-h}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

ferner auf

$$i_0 v^{-h} = i_0 \left( m'_0 + \varepsilon m'_1 + \varepsilon^2 \frac{m'_2}{2!} + \dots \right) \quad (30)$$

mit

$$\left. \begin{aligned} m'_0 &= v_0^{-h}, \\ m'_1 &= -h v_0^{-h}, \\ m'_2 &= (h^2 + h) v_0^{-h}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

sodann auf

$$i_0 v^{-h} a_{\bar{n+1}} = i_0 \left( m'_0 + \varepsilon m'_1 + \varepsilon^2 \frac{m'_2}{2!} + \dots \right) \left( m''_0 + \varepsilon m''_1 + \varepsilon^2 \frac{m''_2}{2!} + \dots \right) \quad (32)$$

mit

$$\left. \begin{aligned} m''_0 &= a_{\bar{n+1}}(i_0), \\ m''_1 &= \frac{a_{\bar{n+1}}(i_0) - (n+1) v_0^{n+1}}{1-v_0}, \\ m''_2 &= \frac{2m''_1}{i_0} - \frac{n(n+1) v_0^{n+1}}{1-v_0}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

und schliesslich bei Ausmultiplizieren in (32) auf

$$i_0 \left( m_0''' + \varepsilon m_1''' + \varepsilon^2 \frac{m_2'''}{2!} + \dots \right) \quad (34)$$

mit

$$\left. \begin{aligned} m_0''' &= m_0' m_0'', \\ m_1''' &= m_0' m_1'' + m_1' m_0'', \\ m_2''' &= m_0' m_2'' + 2 m_1' m_1'' + m_2' m_0'', \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Weil  $K_0 = (28) - (30) + (34)$  ist, kann man schreiben

$$K_0 = M_0 + \varepsilon M_1 + \varepsilon^2 \frac{M_2}{2!} + \dots \quad (36)$$

mit

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= R_n m_0 - i_0 (m_0' - m_0'''), \\ M_1 &= R_n m_1 - i_0 (m_1' - m_1'''), \\ M_2 &= R_n m_2 - i_0 (m_2' - m_2'''), \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

Endlich folgt mit  $\Delta = K_0 - M_0$  (38)

wie früher

$$\varepsilon = \frac{2 \Delta \cdot M_1}{\Delta \cdot M_2 + 2 M_1^2}. \quad (39)$$

### Beispiel zu Typus B für Genauigkeit des Verfahrens

*Annahmen:* Laufzeit:  $n = 20$ ,  $h = \frac{1}{2}$ ; Rückzahlungskurs  $R_n = 1$ ; nominelle Verzinsung  $i_0 = 3\%$ ; Anschaffungswert  $K_0$ , so festgesetzt, dass die effektive Verzinsung  $i$  genau  $2\%$  oder  $2,5\%$  oder  $3,5\%$  oder  $4\%$ .

$i$ genau %	$K_0$	$i$ genähert %
2,0	1,1751	2,0022
2,5	1,0913	2,5003
3,5	0,9451	3,4997
4,0	0,8812	3,9978

### 3. Typus C

*Kennzeichen:* Vorzeitige Kapitalrückzahlungen (Tilgung), künftige Laufzeit ganzzahlig, Zinszahlung jährlich und zeitlich variabel.

Wir benennen mit

- $n$ : ganzzahlige künftige Laufzeit;
- $T_t$ : Nominalbetrag der jährlichen Kapitalrückzahlung (jährliche, nachschüssige Tilgungsquote);
- $R_t$ : Rückzahlungswert der Kapitaleinheit;
- $i_t$ : nomineller Zinssatz ( $i_t$  bezieht sich auf das Zinsjahr  $t-1$  bis  $t$ );
- $i$ : effektiver Zinssatz (zu bestimmen);
- $K_0$ : gegebener Anschaffungswert der Kapitaleinheit.

Die Anfangsschuld sei «1». Dann ist die Restschuld (nach Zahlung der Tilgungsquote) im Zeitpunkt  $t$  dargestellt durch

$$U_t = 1 - \sum_{\lambda=1}^t T_\lambda. \quad (40)$$

Für die Bestimmung des effektiven Zinssatzes gilt die Relation

$$K_0 = \sum_{t=1}^n v^t (R_t T_t + i_t U_{t-1}). \quad (41)$$

Wir setzen wiederum  $v = (1 + \varepsilon) v_0$  und erhalten aus (41), wenn noch

$$\alpha(t) = v_0^t (R_t T_t + i_t U_{t-1}) \quad (42)$$

bezeichnet,

$$K_0 = \sum_{t=1}^n (1 + \varepsilon)^t \alpha(t) = \sum_{t=1}^n \alpha(t) + \varepsilon \sum_{t=1}^n \binom{t}{1} \alpha(t) + \varepsilon^2 \sum_{t=1}^n \binom{t}{2} \alpha(t) + \dots \quad (43)$$

Ähnlich den Summen der diskontierten Zahlen der Lebenden  $N_x$ ,  $S_x$ ,  $S_x^{(2)}$ , ..., gelten, wenn allgemein

$$\Phi_t^{(0)} = \sum_{\lambda=t}^n \alpha(\lambda),$$

$$\Phi_t^{(1)} = \sum_{\lambda=t}^n \Phi_\lambda^{(0)},$$

$$\Phi_t^{(2)} = \sum_{\lambda=t}^n \Phi_\lambda^{(1)},$$

... . . . . . . .

bedeutet, die Darstellung

$$\left. \begin{aligned} \sum_{t=1}^n \alpha(t) &= \Phi_1^{(0)}, \\ \sum_{t=1}^n \binom{t}{1} \alpha(t) &= \sum_{t=1}^n \Phi_t^{(0)} = \Phi_1^{(1)}, \\ \sum_{t=1}^n \binom{t}{2} \alpha(t) &= \Phi_1^{(2)} - \Phi_1^{(1)}, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

Damit folgt aus (43), wenn noch

$$\left. \begin{aligned} M_0 &= \Phi_1^{(0)}, \\ M_1 &= \Phi_1^{(1)}, \\ M_2 &= 2(\Phi_1^{(2)} - \Phi_1^{(1)}), \\ &\dots \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

für

$$K_0 = M_0 + \varepsilon M_1 + \varepsilon^2 \frac{M_2}{2!} + \dots,$$

woraus mit

$$\Delta = K_0 - M_0 \quad (46)$$

gleichlaufend wie bei Typus A

$$\varepsilon = \frac{2 \Delta \cdot M_1}{\Delta \cdot M_2 + 2 M_1^2} \quad (47)$$

und

$$i = \frac{1 + i_0}{1 + \varepsilon} - 1. \quad (48)$$

### Beispiel für das rechnerische Vorgehen bei Typus C

*Annahmen:* Laufzeit  $n = 5$ ; Tilgungsquote  $T_t = 0,2$  (jährlich gleichbleibend); Rückzahlungskurse  $R_t$  von 1,000 jährlich um 0,005 auf 1,020 steigend; nominelle Verzinsung  $i_t = 3\%$ ; Anschaffungswert  $K_0 = 1,03\,789$  (entspricht genau einer effektiven Verzinsung  $i = 2\%$ ).

t	Tilgungsplan					Für Berechnung von $i$ nötig				
	$T_t$	$U_t$	$i_t$	$U_{t-1}$	$R_t$	$R_t$	$T_t$	$\alpha(t)$	$\Phi_t^{(0)}$	$\Phi_t^{(1)}$
0		1,0								
1	0,2	0,8	0,030	1,000	0,200	0,230	0,22330	1,00888	2,92128	
2	0,2	0,6	0,024	1,005	0,201	0,225	0,21208	0,78558	1,91240	
3	0,2	0,4	0,018	1,010	0,202	0,220	0,20133	0,57350	1,12682	
4	0,2	0,2	0,012	1,015	0,203	0,215	0,19102	0,37217	0,55332	
5	0,2	0,0	0,006	1,020	0,204	0,210	0,18115	0,18115	0,18115	
										$\Phi_1^{(2)} = 6,69497$

$$K_0 = 1,03\,789 \text{ (gegeben),}$$

$$\Phi_1^{(2)} = 6,69\,497,$$

$$M_0 = \Phi_1^{(0)} = 1,00\,888,$$

$$M_2 = 2(\Phi_1^{(2)} - \Phi_1^{(1)}) = 7,54\,738,$$

$$M_1 = \Phi_1^{(1)} = 2,92\,128,$$

$$\Delta = K_0 - M_0 = 0,02\,901,$$

$$\varepsilon = \frac{2\Delta \cdot M_1}{\Delta \cdot M_2 + 2M_1^2} = 0,009\,805, \quad i = \frac{1 + i_0}{1 + \varepsilon} - 1 = \underline{1,9999\%}$$

$i$  genau = 2%.

### Beispiel zu Typus C für Genauigkeit des Verfahrens

Annahmen: Laufzeit  $n = 20$ ; Tilgungsquote  $T_t = 0,05$  (jährlich gleichbleibend); Rückzahlungskurse  $R_t$  von 1,0000 jährlich um 0,0025 auf 1,0475 steigend; nominelle Verzinsung  $i_t = 3\%$ ; Anschaffungswert  $K_0$  so festgesetzt, dass die effektive Verzinsung  $i$  genau 2% oder 2,5% oder 3,5% oder 4%.

$i$ genau %	$K_0$	$i$ genähert %
2,0	1,1093	2,0008
2,5	1,0610	2,5001
3,5	0,9735	3,4999
4,0	0,9338	3,9992

#### 4. Berechnungen des mathematischen Wertes in einem späteren Zeitpunkt

Aus dem Anschaffungswert  $K_0$  und den Gegebenheiten des Anleihens (Tilgungsplan, nominelle Verzinsung, Laufzeit usw.) sowie aus der nunmehr bestimmten effektiven Verzinsung  $i$  ist der mathematische Wert für einen späteren Zeitpunkt ohne Mühe durch Rekursion bestimmbar. Sei  $K_t$  der mathematische Wert der Kapitaleinheit im Zeitpunkt  $t$ . Dann gilt gemäss Definition z. B. für den Typus C

$$K_t U_t = \sum_{\lambda=t+1}^n v^{\lambda-t} (R_\lambda T_\lambda + i_\lambda U_{\lambda-1}). \quad (49)$$

Bilden wir  $K_t U_t - K_{t+1} U_{t+1}$ , so ist

$$K_t U_t = \frac{K_{t+1} U_{t+1} + R_{t+1} T_{t+1} + i_{t+1} U_t}{1+i}. \quad (50)$$

Weil aber  $K_n U_n = 0$  ist, folgt aus (50) mit  $t = n-1$

$$K_{n-1} U_{n-1} = \frac{R_n T_n + i_n U_{n-1}}{1+i}. \quad (51)$$

Allgemein gilt dann für die Rekursion «von oben herab»

$$K_{n-t-1} U_{n-t-1} = \frac{K_{n-t} U_{n-t} + R_{n-t} T_{n-t} + i_{n-t} U_{n-t-1}}{1+i}.$$

#### Literatur-Verzeichnis

Neuere Abhandlungen über mathematische Bewertung und Bestimmung des Effektivzinsfusses

- E. Dasen: Recherches sur la détermination approximative du taux de rendement des emprunts à taux d'intérêt nominal variable. Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, 39, 75–92 (1940).
- E. Zwinggi: Zur Darstellung des mathematischen Wertes von Wertpapieren. Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, 41, 75–79 (1941).

- E. Dasen:* Note sur l'approximation du taux effectif des emprunts par obligations amortissables par le système de l'annuité constante. Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, 41, 201–204 (1941).
- E. Barracco:* Modificazioni di una formula per il calcolo dei corsi teorici dei titoli a reddito fisso, nel caso in cui si tenga conto delle imposte e tasse. Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari, 12, 43–52 (1941).
- E. Dasen:* Note sur le calcul du cours des emprunts à amortissement partiels différents. Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, 43, 123–126 (1943).
- B. Meidell:* Der Effektivzins. Blätter für Versicherungsmathematik und verwandte Gebiete, 6/1, 34–43 (1944).
- P. Gotaas:* Eine Bemerkung zu der letzten Meidellschen Zinsformel. Blätter für Versicherungsmathematik und verwandte Gebiete, 6/1, 43–45 (1944).
- J. F. Steffensen:* Further remarks on iteration. Skandinavisk Aktuariedtskrift, 28, 44–55 (1945).
- E. Zwinggi:* Versicherungsmathematik, 19 f. (1945).
- H. Holme:* On some practical working formulae for determining the effective rate of interest of loans. Skandinavisk Aktuariedtskrift, 29, 57–79 (1946).
- E. Michalup:* Beitrag zur Amortisationsrechnung. Skandinavisk Aktuariedtskrift, 29, 80–84 (1946).
- E. Kivikoski:* Über die Konvergenz des Iterationsverfahrens bei der Berechnung des effektiven Zinsfusses der Anleihen. Skandinavisk Aktuariedtskrift, 31, 135–156 (1948).
- L. Packer:* On finding the rate of interest on a annuity-certain by inverse interpolation with a calculating machine. Journal of the Institute of Actuaries, Students' Society, 9, 193–198 (1950).
- E. Zwinggi:* A study of the dependence of the premium on the rate of interest. Skandinavisk Aktuariedtskrift, 33, 88–97 (1950).
- P. Mazzoni:* Sul tasso di rendimento di un'obbligazione a scadenza fissa. Giornale di Matematica Finanziaria, 10, 18–28 (1952).
- R. Ottaviani:* La matematica della previdenza. 39 ff. (1952).
- E. Zwinggi:* Beiträge zum Zinsfussproblem. Blätter der Deutschen Gesellschaft für Versicherungsmathematik, 1/3, 105–113 (1952).
- Ein Verfahren zur Bestimmung des Zinsfusses bei Leib- und Zeitrenten. Experientia, 8, 258 (1952).
- Un procedimento per determinare il saggio d'interesse di rendite vitalizie e rendite certe. Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari, 15, 261–268 (1952).
- Zur Bestimmung des Effektivzinsfusses. Experientia, 9, 413 (1953).