

# Das Deckungskapital in seiner Abhängigkeit vom Zinsfuß und von der Sterblichkeit

Autor(en): **Riebesell, Paul**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen / Vereinigung Schweizerischer Versicherungsmathematiker = Bulletin / Association des Actuairees Suisses = Bulletin / Association of Swiss Actuaries**

Band (Jahr): **48 (1948)**

PDF erstellt am: **30.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-966893>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Das Deckungskapital in seiner Abhängigkeit vom Zinsfuß und von der Sterblichkeit

Von Paul Riebesell, Hamburg

## 1. Das Problem

Die vorliegende Arbeit war bereits Anfang 1945 druckfertig. Sie konnte in Deutschland nicht mehr erscheinen, da nach der Katastrophe eine versicherungsmathematische Zeitschrift in Deutschland nicht mehr vorhanden ist. Das Problem hat aber sowohl in Deutschland hinsichtlich der in Aussicht genommenen Währungsreform als auch in den anderen Ländern wegen der schwankenden Zins- und Sterblichkeitsverhältnisse Bedeutung. Die folgenden Ausführungen werden daher vielleicht Interesse finden, da sie Erläuterungen zu den Sätzen bilden, die, soweit das heute überhaupt möglich ist, das Problem zusammenfassend und abschliessend behandeln, und mehrere Irrtümer, die sich in der Literatur finden, richtiggestellt werden. Es werden natürlich nicht nur die Deckungskapitalien, sondern auch die Prämien behandelt. Im wesentlichen kommt es auf die Berechnung des Barwertes einer Leibrente an, da sich alle Formeln durch diese Leibrente ausdrücken lassen.

## 2. Die Änderung der Prämie durch Zins

Betrachten wir zunächst einmal den Einfluss des *Zinsfußes* auf die *Prämie*, so lässt sich natürlich leicht zeigen, dass die Prämie mit wachsendem Zinssatz abnimmt. Haben wir beispielsweise den Zinssatz 0 und sehen wir von der Sterblichkeit ganz ab, haben wir es also mit der sogenannten «Urprämie» im Sinne von *Parthier*<sup>1)</sup> zu tun, so errechnet sich diese bei *n*-jähriger Dauer aus der Gleichung

$$P = \frac{1000}{n}. \quad (1)$$

---

<sup>1)</sup> Vgl. *H. Parthier*, Die Rechnungsfaktoren der Lebensversicherungsprämie in ihrer Wirkung auf die Prämienbestandteile. «Blätter für Versicherungsmathematik», Band 5, Heft 4, 1941.

Werden dagegen Zinsen vergütet, so errechnet sich die Prämie  $P$  aus der Gleichung

$$1000 = P \cdot s_n, \quad (2)$$

wo  $s_n$  den Endwert einer vorschüssigen Zeitrente von  $n$  Jahren darstellt.

Da die Endwerte der Zeitrente bei wachsendem Zins steigen, sinkt die Prämie mit wachsendem Zinsfuß. Allgemein lässt sich dieser Satz folgendermassen beweisen <sup>1)</sup>:

Die Prämie für eine lebenslängliche Todesfall-Versicherung lässt sich in der Form schreiben

$$P_x = \frac{1}{a_x} - d, \quad (3)$$

wo

$$d = \frac{i}{1+i} = 1 - \frac{1}{1+i} = 1 - v$$

ist. Es ist ferner

$$a_x = 1 + p_x \cdot v + {}_2p_x \cdot v^2 + \dots = \sum_0^{\infty} {}_t p_x \cdot v^t. \quad (4)$$

Wenn beispielsweise der Zinssatz  $i$  fällt, so steigt  $v$ . Damit vermehrt sich auch  $a_x$ , so dass der Ausdruck  $\frac{1}{a_x}$  fällt. Es sinkt zwar auch  $d$ , trotzdem steigt aber  $P_x$ , da

$$\frac{dP_x}{dd} = \frac{a_x - a_{x+d}}{a_x^2} - 1 < 0.$$

Es lassen sich natürlich über die quantitativen Beziehungen zwischen Zinsänderungen und Prämienänderungen Näherungsformeln aufstellen. Sie sind wiederholt unter dem Namen «Zinsfußproblem» in diesen Blättern behandelt <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Vgl. *Riebesell*, «Grundsätzliche Fragen zur Umrechnung von Prämien und Deckungskapitalien auf andere Sterbetafeln und auf andere Zinsfüsse». *Neumanns Zeitschrift für Versicherungswesen*, 64. Jahrg., Nr. 39, 1941.

<sup>2)</sup> Vgl. z. B. *E. Fischer*: «Das Zinsfußproblem der Lebensversicherungsrechnung als Interpolationsaufgabe», *Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker*, Bd. 42, 1942.

### 3. Die Änderung der Prämie durch Sterblichkeit

Wie sofort aus Formel (4) zu sehen ist, nimmt  $a_x$  mit fallender Sterbenswahrscheinlichkeit, d. h. mit wachsender Erlebenswahrscheinlichkeit zu. Die Prämie nach Formel (3) muss also abnehmen.

Als Beispiel nehmen wir den Vergleich zwischen der *Abelschen* Aggregat-Tafel und der Reichs-Sterbetafel 24/26 Männer. Die Sterbenswahrscheinlichkeiten in  $vT$  sind folgende:

Alter	Abel	24/26
35	5,17	4,25
40	7,59	5,35
45	10,61	7,23
50	15,52	10,30
55	22,67	15,48
60	33,63	23,62
65	49,22	36,92

Die Jahresprämien (bei 4 vH) in  $vT$  für eine reine Todesfallversicherung sind:

Alter	Abel	24/26
35	18,89	16,97
40	23,54	20,81
45	29,54	25,87
50	37,42	32,65
55	47,80	41,86
60	61,58	54,45
65	79,81	72,10

### 4. Deckungskapital und Zins

Allgemein lässt sich — unter Berücksichtigung der Sterblichkeit — der Einfluss der Verzinsung folgendermassen analysieren:

Die Reserven für zwei Tafeln, die mit den Zinssätzen  $i$  und  $i''$  berechnet sind, wo  $v'' = v(1 - c)$ , werden

$${}_tV_x = 1 - \frac{a_{x+t}}{a_x} \quad \text{und} \quad {}_tV_x'' = 1 - \frac{a_{x+t}''}{a_x''}.$$

Nun ist aber

$$a_x'' = 1 + v'' \cdot p_x + (v'')^2 \cdot p_x \cdot p_{x+1} + \dots$$

und 
$$= 1 + v(1-c) \cdot p_x + v^2(1-c) \cdot p_x(1-c) \cdot p_{x+1} + \dots$$

$$a_{x+t}'' = 1 + v(1-c) \cdot p_{x+t} + v^2(1-c) \cdot p_{x+t}(1-c) \cdot p_{x+t+1} + \dots$$

Man sieht also, dass  ${}_tV_x''$  gleich ist einer Reserve, die mit dem ursprünglichen Zinsfuss  $i$  berechnet ist und deren Sterblichkeit der Gleichung genügt

$$p_x'' = p_x(1-c) \quad \text{und} \quad p_{x+t}'' = p_{x+t}(1-c).$$

Wir werden aber im nächsten Kapitel sehen, dass eine derartige Tafel immer kleinere Reserven  $V''$  liefert, als die Reserven  $V$ .

Für die gemischte Versicherung lässt sich der Einfluss des Zinsfusses auf die Reserve ohne weiteres aus Formel (5) ersehen.

$${}_tV_{x,n} = 1 - \frac{a_{x+t,n-t}}{a_{x,n}}. \quad (5)$$

Wenn der Zins fällt, steigt  $a_x$ ,  $a_{x,n}$  steigt ebenfalls, aber mehr als  $a_{x+t,n-t}$ . Der Bruch wird also kleiner, d. h.  ${}_tV_{x,n}$  wird grösser.

## 5. Deckungskapital und Sterblichkeit

Falsch sind beispielsweise folgende Überlegungen:

Ist die Sterblichkeit grösser, so ist die Risikoprämie grösser, also die Sparprämie kleiner, also sind die Reserven kleiner. Diese Überlegung trifft nur bei gleicher Prämie zu. Ebenso ist es falsch, wenn die Sparprämie kleiner ist, etwa schliessen zu wollen, dass die Reserve unbedingt kleiner ist. Das geht aus folgender Formel hervor:

$${}_tV_x = {}_tP_s \cdot \frac{N_x - N_{x+t}}{D_{x+t}}, \quad (6)$$

wo  ${}_tP_s$  die durchschnittliche Sparprämie darstellt.

Man sieht, dass das Deckungskapital sich aus 2 Faktoren zusammensetzt und infolgedessen nicht der eine Faktor  ${}_tP_s$  allein mass-

gebend ist. Wenn man die Zusammenhänge untersuchen will, muss man etwas weiter ausholen.

Für eine Tafel I sei

$${}_tV_x = 1 - \frac{a_{x+t}}{a_x} \quad (7)$$

und für eine Tafel II

$${}_tV'_x = 1 - \frac{a'_{x+t}}{a'_x} \quad (7a)$$

Es wird also

$$\left. \begin{array}{l} \text{wenn} \\ {}_tV'_x \geq {}_tV_x, \\ \frac{a'_{x+t}}{a'_x} < \frac{a_{x+t}}{a_x} \\ \text{oder wenn} \\ \frac{a'_{x+t}}{a_{x+t}} < \frac{a'_x}{a_x} \end{array} \right\} \quad (8)$$

Man muss diese Rentenverhältnisse für jedes Alter untersuchen. Was z. B. bei den verschiedenen Reichssterbetafeln herauskommt, zeigt folgendes Beispiel:

Nimmt man eine gemischte Versicherung mit dem Eintrittsalter 40 und einer Dauer von 25 Jahren, so ergeben sich bei 4 % folgende Netto-Deckungskapitalien:

Deckungskapital nach	1 Jahr	10 Jahren	15 Jahren	24 Jahren
<i>Abel</i> . . . . .	25,48	290,81	473,30	929,93
Tafel 1891/1900 . .	24,28	279,37	460,67	927,92
Tafel 1901/1910 . .	24,86	284,52	466,16	928,99
Tafel 1924/1926 . .	24,83	289,40	475,92	932,66
Tafel 1932/1934 . .	24,80	289,68	476,26	933,17

Man sieht also, dass die Deckungskapitalien im allgemeinen (wenigstens gilt das für die Reichssterbetafeln) um so höher werden, je niedriger die Sterblichkeit ist.

Die Bedingung dafür, dass die Reserven sich bei Änderung der Sterblichkeit nicht ändern sollen, kann man durch Einführung von  $p_x$  und  $p'_x$  näher untersuchen.

Es soll in diesem Fall sein

$$\frac{a'_{x+t}}{a_{x+t}} = \frac{a'_x}{a_x} = \text{konstant.}$$

Setzt man

$$\frac{a_x}{a'_x} = 1 + c$$

und beachtet man, dass

$$a_x = 1 + v \cdot p_x \cdot a_{x+1}$$

und

$$a'_x = 1 + v \cdot p'_x \cdot a'_{x+1},$$

so wird

$$p'_x = p_x \left( 1 - \frac{c}{a_x - 1} \right). \quad (9)$$

Wird diese Gleichung für beliebiges  $x$  erfüllt, so sind die Reserven für die beiden Tafeln gleich, selbst wenn  $p'_x$  immer grösser oder kleiner ist als  $p_x$ , je nachdem, ob  $c$  negativ oder positiv ist.

Hat man z. B. eine Tafel II, bei der für jedes  $x$

$$p'_x = p_x(1 - c_1)$$

ist, wo  $c_1$  positiv ist, so würde die Verminderung der  $p'$  kleiner sein, als die Bedingung der Reservegleichheit (9) verlangt, da  $c_1$  konstant ist und  $\frac{c}{a_x - 1}$  mit dem Alter zunimmt. Die Reserven, die mit der Tafel II berechnet werden, sind also stets kleiner als die nach Tafel I berechneten.

Satz I:

Aus Formel (5) folgt: Steigt die Sterblichkeit zwischen  $x$  und  $x + t$ , so steigt der Bruch, da  $a_{x,n}$  abnimmt.  ${}_tV_x$  nimmt also ab. Steigt die Sterblichkeit vom Zeitpunkt  $x + t$  ab, so nehmen zwar Zähler und Nenner des Bruchs beide ab, aber bei  $a_{x+t}$  ist die Abnahme verhältnismässig grösser. Der Bruch nimmt also ab,  ${}_tV_x$  nimmt zu.

## 6. Deckungskapital bei funktional bestimmter Änderung der Sterblichkeit

### a) Die Gleichgewichtsgleichung

Bekanntlich ergibt sich das Deckungskapital  $V_1$  aus dem Deckungskapital des Vorjahres  $V$  durch die Gleichung

$$(V + P) \cdot (1 + i) = V_1 + q \cdot (S - V_1). \quad (10)$$

Nimmt man andere Rechnungsgrundlagen und soll sich das gleiche Deckungskapital ergeben, so würde folgende Gleichung gelten:

$$(V + P') \cdot (1 + i') = V_1 + q' \cdot (S - V_1). \quad (11)$$

Aus (10) und (11) ergibt sich die sogenannte Gleichgewichtsgleichung

$$(V + P) \cdot (i - i') + (P - P') \cdot (1 + i') = (q - q') \cdot (S - V_1) \quad (12)$$

oder

$$(P' - P) \cdot (1 + i') = (q' - q) \cdot (S - V_1) - (V + P) \cdot (i' - i) \quad (13)$$

in Worten:

Die aufgezinste Mehrprämie ist gleich dem mehr zu zahlenden Risikokapital plus den Weniger-Zinsen (oder: minus den Mehr-Zinsen).

Ist  $i = i'$ , so ergibt sich die Gleichung

$$(P' - P) \cdot (1 + i) = (q' - q) \cdot (S - V_1) \quad (14)$$

oder

$$(P' - P) \cdot (1 + i) = (q' - q) \cdot S + V_1 \cdot (p' - p) \quad (15)$$

Ist Gleichung (13) nicht erfüllt, so bezeichnet man den Ausdruck

$$R = [(P' - P) \cdot (1 + i')] - [(q' - q) \cdot (S - V_1) - (i' - i) \cdot (V + P)] \quad (16)$$

als Rest.

Entscheidend in diesem Ausdruck ist die zweite eckige Klammer, die auch als «kritische Funktion» bezeichnet wird <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Vgl. das Englische «Textbook», Part. 2, London 1922, S. 187.

Ist  $R = 0$ , so ergeben sich für beide Rechnungsgrundlagen gleiche Reserven.

Ist  $R \neq 0$ , so sind die Reserven verschieden.

Da die Reserven in jedem Fall schliesslich auf 1000 anwachsen, kann  $R$  nicht dauernd positiv oder negativ sein. Es sind vielmehr nur folgende Fälle möglich:

- a)  $R$  ist zuerst positiv, dann negativ,
- b)  $R$  ist zuerst negativ, dann positiv.

Im Falle a) wird die durch die Reste angesammelte Ergänzungsreserve stets positiv.  $V'$  ist daher grösser als  $V$ . Die kritische Funktion nimmt in diesem Fall dauernd zu.

Im Falle b) wird die Ergänzungsreserve stets negativ.  $V'$  ist kleiner als  $V$ . Die kritische Funktion nimmt in diesem Falle dauernd ab.

Ist die kritische Funktion konstant, so ist

$$V' = V.$$

#### b) Gleiche Reserven

Wie bereits im 5. Kapitel gezeigt wurde, lautet die Bedingung dafür, dass die Reserven gleich bleiben:

$$a_x = (1 + k) \cdot a'_x$$

und dieser Gleichung entspricht die Relation

$$p'_x = p_x \left( 1 - \frac{c}{a_x - 1} \right).$$

Daraus ergibt sich

$$q'_x = q_x + \frac{k}{a_{x+1}}, \tag{17}$$

wo

$$k = \frac{c}{v}$$

ist, oder

$$q'_x - q_x = \frac{k}{a_{x+1}} \quad 1).$$

---

<sup>1)</sup> Im «Textbook» S. 115 steht hier eine falsche Formel.

Da  $a_x$  mit wachsendem  $x$  abnimmt, ist es für die Gleichheit der Reserven erforderlich, dass  $p'_x$  rascher sinkt als  $p_x$ , oder  $q'_x$  rascher zunimmt als  $q_x$ .

Es ergibt sich für die Abhängigkeit folgender Satz:

Satz II:

Nimmt die Sterblichkeit bei allen vorkommenden Altern entweder zu oder ab, so nehmen die Reserven der lebenslänglichen Todesfallversicherung

ab

zu,

wenn die

Zunahme

Abnahme

der Sterblichkeit mit wachsendem Alter kleiner wird, gleichbleibt oder nur um so viel wächst, dass immer noch

$$(q'_x - q_x) \cdot a_{x+1}$$

abnimmt

zunimmt.

Die Reserven bleiben ungeändert, wenn die Zu- bzw. Abnahme der Gleichung

$$q'_x - q_x = \frac{k}{a_{x+1}}$$

genügt. Die Reserven nehmen

zu

ab,

wenn die

Zunahme

Abnahme

stets grösser ist, als wie sie durch diese Gleichung aufgezeigt ist.

Da im allgemeinen die Sterblichkeitszunahme (bzw. Abnahme) mit dem Alter nicht dauernd grösser wird, kann man sagen, dass einer Sterblichkeitszunahme im allgemeinen eine Reserveabnahme ent-

spricht und einer Sterblichkeitsabnahme im allgemeinen eine Reservezunahme <sup>1)</sup>).

Die Frage, ob es möglich ist, dass bei 2 verschiedenen Tafeln die Reserven für alle Alter einander gleich sind, ist zuerst von *Dumas* <sup>2)</sup> untersucht und verneinend beantwortet worden. *Münzner* und *Löer* <sup>3)</sup> haben aber gezeigt, dass die *Dumassche* Behauptung nur für diskontinuierliche Rechnungsweise gilt, dass es dagegen bei kontinuierlicher Rechnungsweise zu jeder Sterbetafel eine ganze Schar von Sterbetafeln gibt, die überall zu denselben Reserven bei der lebenslänglichen Todesfallversicherung führen.

Bei der gemischten Versicherung kommt es nicht nur auf die Sterbetafel, sondern vor allem auch auf die Dauer der Versicherung an. Es lassen sich keine 2 Sterbetafeln angeben, derart, dass 2 gemischte Versicherungen überall die gleichen Reserven haben. Für die gemischte Versicherung ergibt sich im einzelnen folgender Satz:

Satz III:

- a) Bei Sterblichkeitsabnahme: Die Reserven nehmen zu, wenn die Abnahme der Sterblichkeit mit dem Alter kleiner wird, gleichbleibt oder nur um so viel wächst, dass

$$(q'_x - q_x) \cdot a_{x+1}$$

noch mit  $x$  zunimmt. Aber auch dann, wenn die Abnahme der Sterblichkeit so stark zunimmt, dass die Reserven für die ersten Alter abnehmen, nehmen die Reserven schliesslich wieder zu.

- b) Bei Sterblichkeitszunahme: Die Reserven nehmen ab, wenn die Zunahme der Sterblichkeit mit dem Alter kleiner wird, gleichbleibt oder nur um so viel wächst, dass

$$(q'_x - q_x) \cdot a_{x+1}$$

noch mit  $x$  abnimmt. Die Reserven bleiben unverändert, wenn die Sterblichkeitszunahme der Gleichung

$$(q'_x - q_x) \cdot a_{x+1} = k$$

---

<sup>1)</sup> Vgl. *K. Löer*, «Abhängigkeit der mathematischen Reserven von Sterblichkeit und Zins». «Das Versicherungsarchiv», 6. Jahrg., Heft 7—8, 1936.

<sup>2)</sup> *S. Dumas*, «Sur les tables de mortalité qui conduisent aux mêmes réserves mathématiques». Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, Band 23, 1928.

<sup>3)</sup> «Die Invarianz des Deckungskapitals gegenüber Sterblichkeitsänderungen». «Archiv für mathematische Wirtschafts- und Sozialforschung», Band 2, 1936.

genügt. Die Reserven nehmen zu, wenn die Sterblichkeitszunahme grösser ist, als wie sie durch diese Gleichung bestätigt ist.

*c) Multiplikative Änderung der Erlebenswahrscheinlichkeit*

Ist

$$p'_x = p_x(1 + k),$$

so entspricht dem die Beziehung

$$q'_x = q_x(1 + k) - k.$$

Diese Bedingung wird auch erfüllt, wenn die Sterbensintensität sich additiv ändert. Denn es ist

$$p_x = \exp \left[ - \int_x^{x+1} \mu(s, t) ds \right]$$

wo  $(s, t)$  die Sterbensintensität im Alter  $s$  und bei der Tafel  $t$  ist. Also wird

$$ap_x = \exp \left[ - \int_x^{x+1} (\mu(s, t) + \beta) ds \right]$$

wobei

$$a = \exp \left[ - \int_x^{x+1} \beta ds \right]$$

ist.

$a > 1$  ( $k > 0$ ) bedeutet also eine konstante Abnahme der Intensität,  $a < 1$  ( $k < 0$ ) eine konstante Zunahme.

Nach Satz III nimmt also für  $a > 1$  die Reserve zu, für  $a < 1$  nimmt sie ab.

*d) Multiplikative Änderung der Sterbenswahrscheinlichkeit*

Ist

$$q' - q = kq,$$

so folgt aus (10)

$$q(1 - V_1) = P(1 + i) + V(1 + i) - V_1$$

und

$$q(1 - V_2) = P(1 + i) + V_1(1 + i) - V_2.$$

Daraus ergibt sich

$$\Delta [q(1 - V_1)] = (1 + i) \cdot \Delta V - \Delta V_1 = i \cdot \Delta V - \Delta^2 V. \quad (18)$$

Da für eine lebenslängliche Todesfallversicherung

$$P + d = \frac{1}{a_x}$$

ist, und

$$V = 1 - \frac{a_{x+1}}{a_x},$$

so ergibt sich

$$\Delta [q(1 - V_1)] = (-P - d) [i(a_{x+t+1} - a_{x+t}) - a_{x+t+2} + a_{x+t}] = (P + d)(\Delta^2 a - i \cdot \Delta a).$$

Es folgt also, dass

$$k \cdot q(1 - V_1)$$

oder

$$(q' - q)(1 - V_1)$$

wächst, wenn

$$\Delta^2 a > i \cdot \Delta a.$$

Es ist konstant, wenn

$$\Delta^2 a = i \cdot \Delta a$$

und es fällt, wenn

$$\Delta^2 a < i \cdot \Delta a.$$

Ist

$$\Delta^2 a > i \cdot \Delta a,$$

so ist

$$V' > V.$$

Ist

$$\Delta^2 a < i \cdot \Delta a,$$

so ist

$$V' < V.$$

Ist

$$q'_x = q_x(1 + k),$$

d. h. wird die Sterbenswahrscheinlichkeit um einen bestimmten Prozentsatz geändert, so kann die Wirkung aus Gleichung (17) abgelesen werden. Die Vermehrung würde im allgemeinen für die jüngeren Alter

grösser sein als die in Gleichung (17) angegebene, die Steigerung würde also schwächer als in der Bedingung für die Gleichung der Reserven sein. Nach Satz III nehmen daher die Reserven ab. Bei einer Verminderung der Sterbenswahrscheinlichkeit um einen bestimmten Prozentsatz nehmen die Reserven zu. Genauer ist das Resultat in Gleichung (18) angegeben.

*e) Additive Änderung der Sterbenswahrscheinlichkeit*

Ist

$$q'_x = q_x + k,$$

so steigen gegenüber Gleichung (17) die  $q_x$  in den höheren Altern nicht rasch genug. Die Reserve nimmt also ab.

Ist dagegen

$$q'_x = q_x - k,$$

so ist für die jüngeren Alter die Abnahme zu gross, und die Sterblichkeitszunahme wird mit wachsendem Alter zu gross. Die Reserve nimmt also zu <sup>1)</sup>.

**7. Einige allgemeine Sätze über die Abhängigkeit  
des Deckungskapitals von den Rechnungsgrundlagen**

*a) Der Mosersche Zeichenwechselsatz*

Moser <sup>2)</sup> hat folgenden Satz bewiesen:

Wird die Reserve einer gemischten Versicherung nach 2 Sterbetafeln berechnet, von denen die eine für ein im Verlauf der Versicherung gelegenes Intervall eine grössere Sterbensintensität hat als die andere, so weist die Reservedifferenz in jenem Intervall stets einen Zeichenwechsel auf.

Berger <sup>3)</sup> hat einen ganz einfachen Beweis für diesen Satz gebracht, der folgendermassen lautet:

---

<sup>1)</sup> Im «Textbook» S. 116 ist hier eine falsche Angabe gemacht.

<sup>2)</sup> «Der Zeichenwechselsatz». Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, Band 9, 1914.

<sup>3)</sup> «Mathematik der Lebensversicherung». Wien 1939.

2 Tafeln haben dieselben Werte der Sterbensintensitäten, ausgenommen für die Alter  $x + t_1$  bis  $x + t_2$ , für welche die Intensitäten der zweiten Tafel grösser sein sollen als die der ersten. Es sei nun die für die zweite Tafel berechnete Prämie grösser als die für die erste berechnete, was offenbar für eine gemischte Versicherung auch der Fall ist, wenn die Dauer über  $t_2$  hinausreicht. Hieraus folgt, dass alle Prämienreserven des Intervalls 0 bis  $t_1$  nach der zweiten Tafel gerechnet, grösser sein müssen als nach der ersten Tafel, denn das ergibt sich unmittelbar aus der Definition der retrospektiven Reserven. Andererseits müssen aber alle Reserven des Intervalls  $t_2$  bis  $n$  nach der zweiten Tafel kleiner sein als nach der ersten, denn dies folgt aus der Definition der prospektiven Reserven für dieses Intervall. Daraus folgt, dass die Reservedifferenzen in dem Intervall von  $t_1$  bis  $t_2$  mindestens einmal durch 0 gehen.

b) *Der Satz von Schärtlin*

*Schärtlin* <sup>1)</sup> hat folgenden Satz bewiesen:

Sind bei einer Versicherungsdauer  $n$  die Reserven nach zwei Sterbetafeln einander gleich, so werden bei einer kürzeren Versicherungsdauer  $m$  jene Reserven grösser, welche nach der Tafel mit den grösseren Erlebenswahrscheinlichkeiten berechnet sind.

Durch den Beweis von *Dumas*, dass es keine zwei Sterbetafeln geben kann, die überall zu denselben Reserven führen, war dieser Satz bedeutungslos geworden, da seine Voraussetzung nicht erfüllt sein konnte. Nachdem aber *Münzner* und *Löer* gezeigt haben, dass der *Dumassche* Beweis nicht richtig ist, hat der *Schärtlinsche* Satz nach wie vor Gültigkeit.

c) *Einfluss der Änderung der Konstanten der Gompertz-Makehamschen Sterbeformel auf die Prämienreserven*

*Friedli* <sup>2)</sup> hat zuerst die Änderung der Konstanten in der *Gompertz-Makehamschen* Sterbeformel in bezug auf ihren Einfluss auf die Reservegestaltung untersucht. Seine Untersuchungen beziehen sich auf

---

<sup>1)</sup> «Über die Reserveberechnung mit Bruttoprämie». Assekuranz-Jahrbuch, Band 11, 1890.

<sup>2)</sup> «Reserve und Rentenbarwert als analytische Funktionen». Mitteilungen der Vereinigung schweizerischer Versicherungsmathematiker, Band 13, 1918.

die lebenslängliche Todesfallversicherung. Sie sind von *Löer* auf die gemischte Versicherung ausgedehnt worden. Wird das *Gompertz-Makehamsche* Gesetz in der Form geschrieben

$$l_x = k \cdot s^x \cdot g^{c^x},$$

so ergibt sich das Resultat, dass eine Erhöhung der Konstanten  $c$  oder  $s$  zu einer Erhöhung der Reserve, eine Erhöhung der Konstanten  $g$  dagegen zu einer Verringerung der Reserve führt. Bei der gemischten Versicherung kann allerdings durch eine geeignete Wahl von  $n$  auch erreicht werden, dass die Reserve dauernd abnimmt, wenn die Konstante  $c$  wächst. Der Verlauf der Reserve der gemischten Versicherung bei Änderung der Sterblichkeit hängt eben wesentlich von der Dauer  $n$  ab.

Ist die Sterbensintensität

$$\mu_x = A + B \cdot c^x,$$

so wird die *Gompertz-Makehamsche* Sterbeformel

$$l_x = k \cdot s^x \cdot g^{c^x}$$

und es bestehen dann folgende Beziehungen:

$$— A = \log s$$

$$\frac{— B}{\log c} = \log g.$$

Für die Reichssterbetafel 24/26 hat *Schweer* in der vom deutschen Aktuarverein herausgegebenen Ausgabe diese Konstanten folgendermassen berechnet:

$$\begin{array}{ll} A = 0,00252 & s = 0,99422 \\ B = 0,000050 & g = 0,99735 \\ c = 1,10502 & c = 1,10502. \end{array}$$

Für die *Abelsche* Tafel habe ich nach dem *Schweerschen* Vorschlag <sup>1)</sup> die Konstanten errechnet und bin zu folgendem Resultat gekommen:

$$\begin{array}{ll} A = 0,000555 & s = 0,99900 \\ B = 0,0001343 & g = 0,9912 \\ c = 0,03497 & c = 1,0839. \end{array}$$

<sup>1)</sup> «Eine graphische Methode zur Berechnung der Konstanten der *Gompertz-Makehamschen* Formel». 10. Aktuar-Kongress, Rom 1934, Band 5, S. 292.

d) *Quantitative Auswirkung*

Will man wenigstens für die Änderung der Reserven, die durch eine Zinsänderung eintreten, eine quantitative Formel aufstellen, so lässt sich dafür nach *Berger* <sup>1)</sup> folgende Beziehung ableiten:

es sei 
$${}_tE_x = v^t \cdot {}_tP_x.$$

Unter Rücksicht auf

$$a_{x, \bar{n}|} = a_{x, \bar{t}|} + {}_tE_x \cdot a_{x+t, \overline{n-t}|}$$

oder

$$1 - \frac{a_{x, \bar{t}|}}{a_{x, \bar{n}|}} = {}_tE_x (1 - {}_tV_{x, \bar{n}|})$$

erhält man, wenn  $i' < i$

$${}_tE_x (1 - {}_tV_{x, \bar{n}|}) < {}_tE'_x (1 - {}_tV'_{x, \bar{n}|}) \quad (19)$$

und auch

$${}_tV'_{x, \bar{n}|} < 1 - \frac{{}_tE_x}{{}_tE'_x} (1 - {}_tV_{x, \bar{n}|})$$

als obere Schranke. Die Differenz der Prämienreserven

$${}_tV'_{x, \bar{n}|} - {}_tV_{x, \bar{n}|}$$

muss daher kleiner sein als

$$(1 - {}_tV_{x, \bar{n}|}) \left( 1 - \frac{{}_tE_x}{{}_tE'_x} \right).$$

Aus (19) folgt aber auch

$${}_tV_{x, \bar{n}|} > 1 - \frac{{}_tE'_x}{{}_tE_x} (1 - {}_tV'_{x, \bar{n}|}),$$

so dass die Differenz der Prämienreserven kleiner sein muss als

$$(1 - {}_tV'_{x, \bar{n}|}) \left( \frac{{}_tE'_x}{{}_tE_x} - 1 \right).$$

Die erstere Formel wird bei bekanntem  ${}_tV_{x, \bar{n}|}$ , die letztere bei bekanntem  ${}_tV'_{x, \bar{n}|}$ , benutzt.

---

<sup>1)</sup> *A. Berger*, *Mathematik der Lebensversicherung*. Wien 1939.