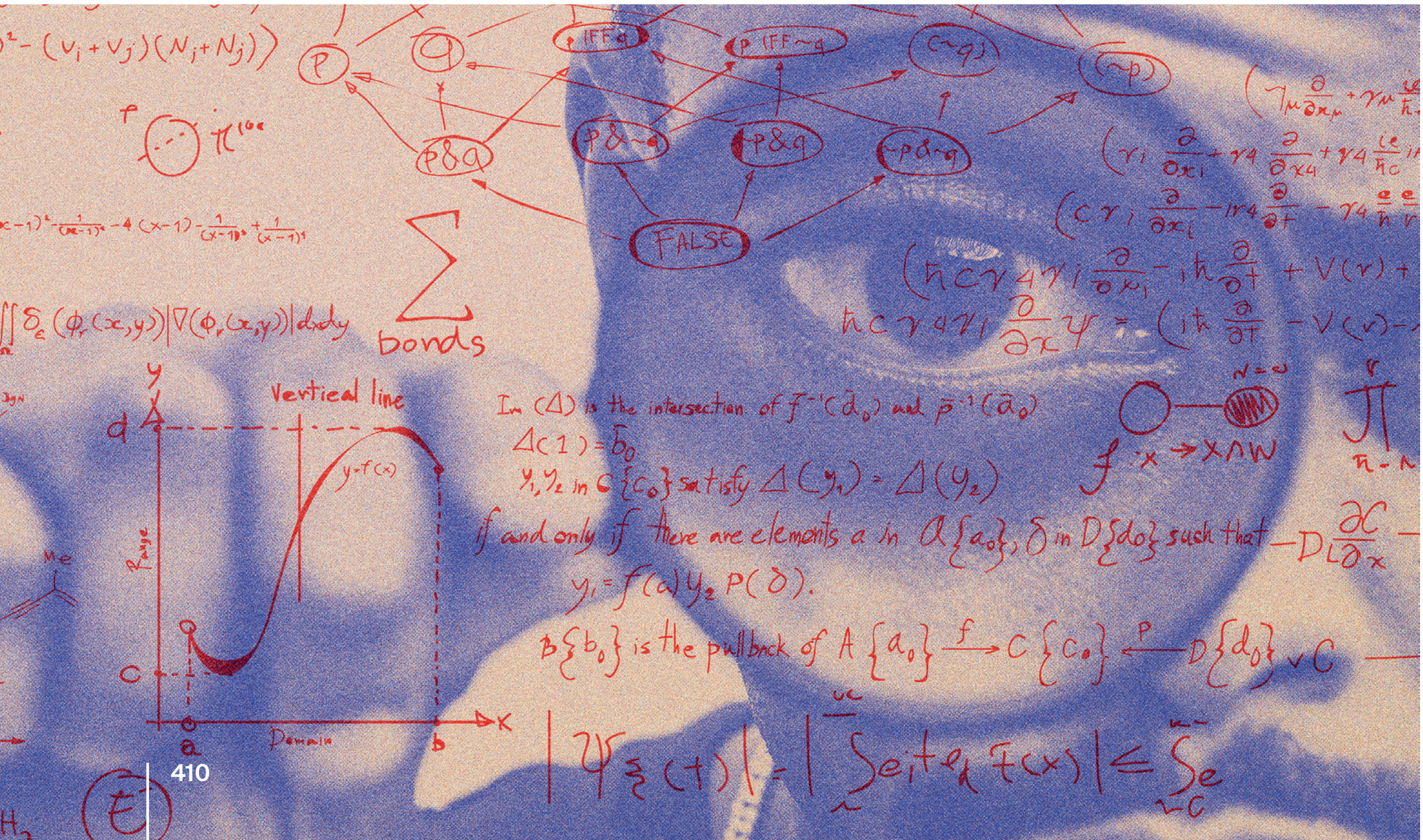
→ Fachartikel

„not likely ever to be determined – even should it exist“ – 200 Jahre Gompertz-Gesetz für Sterblichkeiten

von Prof. Dr. Thomas Neusius



Zu den prägenden Persönlichkeiten der Versicherungsmathematik zählt der britische Mathematiker Benjamin Gompertz (1779–1865). Eine bedeutende Rolle in der Wissenschaft war ihm nicht in die Wiege gelegt. Als Spross einer weitverzweigten jüdischen Familie mit Wurzeln am Niederrhein war ihm Anfang des 19. Jh. der Zugang zur Universität verwehrt. Gompertz erarbeitete sich daher im Selbststudium ein umfassendes Wissen der Mathematik seiner Zeit. Nach zahlreichen mathematischen Veröffentlichungen wurde er im Alter von 40 Jahren in die Royal Society aufgenommen und rückte später auch in das Präsidium der Gesellschaft auf.[1]

Sterbetafeln waren zu dieser Zeit schon länger in Gebrauch und auch demografische Überlegungen wurden zuvor schon angestellt. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang die viel beachtete Arbeit von Thomas Robert Malthus.[2]

Am 9. Juni 1825, vor nunmehr 200 Jahren, reichte Benjamin Gompertz bei der Londoner Royal Society eine Arbeit über Schadensfälle in Rentenzahlungen ein[3], in der sich die heute bekannteste seiner wissenschaftlichen Leistungen findet. Gompertz hatte professionelle Erfahrung mit der Materie, da er als Aktuar der Alliance Assurance Company tätig war, die im März 1824 die Arbeit aufgenommen hatte.

Gompertz hatte sich schon früher mit Sterblichkeitsstatistiken aus mathematischer Sicht befasst. Nun war ihm eine weitere Regelmäßigkeit in den Sterblichkeitsaufzeichnungen aufgefallen. Seine Arbeiten können als frühe Beiträge zur demografischen Forschung gesehen werden und stellen den ersten Versuch dar, die Abhängigkeit der Sterblichkeit vom Lebensalter zu modellieren. Später wurde sein Ansatz erweitert. Bis heute ist sein Ergebnis ein in der Forschung präsentes Thema und fruchtbare Anregung für das Verständnis der Entwicklung von Sterblichkeitswahrscheinlichkeiten, Lebensspanne und Lebenserwartung.

Gompertz-Gesetz

Ist die Zahl der Lebenden einer Anfangskohorte stetig in x und wird als $S(x)$ bezeichnet, so ist

$$\frac{d}{dx}S(x) = -a \cdot exp(bx) \cdot S(x).$$

Dieser Zusammenhang wird heute auch als *Gompertz-Gesetz der Sterblichkeit* bezeichnet. Gompertz selbst bediente sich übrigens bei der Differentialrechnung noch der von Newton eingeführten Notation und den Regeln der „Fluxionen".[4] Gompertz argumentierte, zwei mögliche Effekte seien für Todesfälle verantwortlich: einerseits ein rein zufälliger, altersunabhängiger Effekt, den man z. B. mit dem Unfallgeschehen oder Katastrophen in Verbindung bringen könnte, andererseits ein mit zunehmendem Alter fortschreitender Niedergang der physischen Abwehrkräfte gegen Krankheiten. Um den obigen Ansatz zu begründen, nahm Gompertz für die Zunahme der Intensität der Sterblichkeit („intensity of mortality") an, diese nehme in gleichen Zeiträumen um den gleichen Prozentsatz zu, wachse also exponentiell (S. 517 f.).

Die allgemeine Lösung der obigen Differentialgleichung ist in folgender Funktion gegeben, wobei die Anfangsgröße auf 1 normiert wird,

$$S(x) = exp\left(-\frac{a}{b}(e^{bx} - 1)\right).$$

Die Überlebenswahrscheinlichkeit einer Person im Alter x für eine weitere Zeit t ist

$$S_x(t) := \frac{S(x+t)}{S(x)} = exp\left(-\frac{a}{b}e^{bx}(e^{bt} - 1)\right).$$

Die einjährige Sterbewahrscheinlichkeit, die heute üblicherweise als q_x bezeichnet wird, wäre damit

$$q_x = 1 - S_x(1) = 1 - exp\left(-\frac{a}{b}e^{bx}(e^{b} - 1)\right).$$

Unter der Bedingung, dass der Exponent klein ist, also dass $\frac{a}{b}e^{bx}(e^b - 1) \ll 1$ gilt, lässt sich dann näherungsweise schreiben

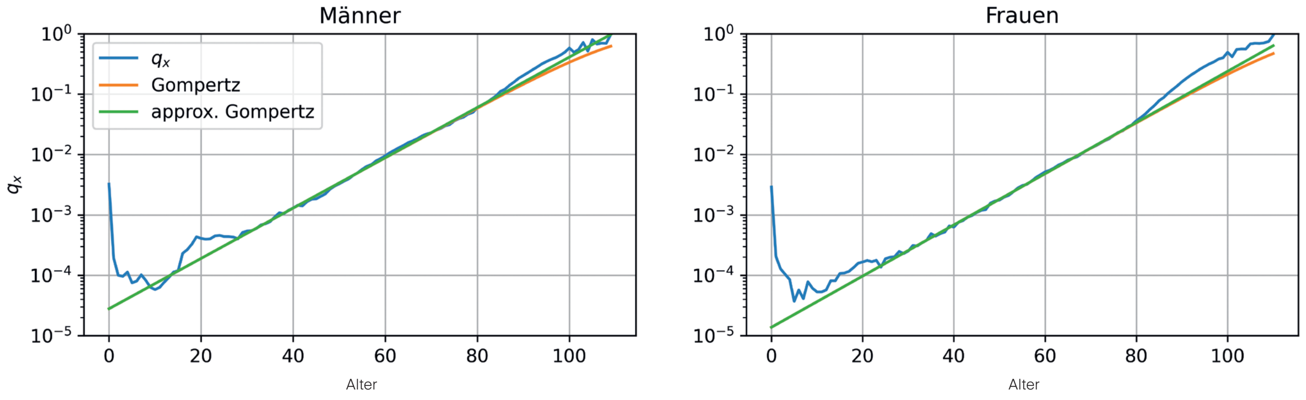
$$q_x \approx \frac{a}{b}e^{bx}(e^b - 1) = ce^{bx} \text{ mit } c = \frac{a}{b}(e^b - 1).$$

Diese Variante wird hier als „approximatives Gompertz-Gesetz" bezeichnet. In der Literatur findet sich teilweise jedoch auch die Bezeichnung „Gompertz-Gesetz" für die genäherte Variante.

Betrachtet man für das approximative Gompertz-Gesetz den Logarithmus der Sterblichkeiten q_x, so können b und $ln(c)$ leicht als Koeffizienten mittels Verfahren der kleinsten Quadrate bestimmt werden. Es zeigt sich, dass in einem mittleren Altersbereich die logarithmierten Sterblichkeiten sehr gut durch einen linearen Anstieg beschrieben werden können. Abbildung 1 zeigt dies am Beispiel einer aktuellen deutschen Sterbetafel.

Es ist erkennbar, dass das Gompertz-Gesetz nicht auf alle Altersstufen gleichermaßen anwendbar ist. Allerdings finden sich typischerweise einige Jahrzehnte des Lebensalters, in denen der Anstieg sehr gut durch das Modell beschrieben wird. Die meist zu erkennenden Abweichungen insbesondere bei den jüngeren waren zudem für den Anwendungsbezug weniger problematisch: Zur Berechnung

Abb. 1 Die Einjahres-Sterblichkeit q_x im Jahr 2020 in Deutschland in Blau als Funktion des Alters x (Quelle: HMD[5], Periodensterbetafel). Das Gompertz-Gesetz ist im Altersbereich 30 bis 80 eine sehr gute Beschreibung (orange). In diesem Altersbereich fällt es zusammen mit der approximativen Variante des Gompertz-Gesetzes, die von $q_x \sim e^x$ ausgeht (grün).



von Leibrenten und Barwerten von Versicherungsverträgen – dem von Gompertz diskutierten Problem – sind insbesondere Sterblichkeiten in hohen Altersstufen bedeutsam.

Für die Sterblichkeit spielten über viele Jahrhunderte Infektionskrankheiten eine große Rolle.[6] Virale und bakterielle Infektionen waren nicht nur für Alte und Geschwächte eine tödliche Gefahr: In den Zeiten vor Entdeckung von Impfungen und Antibiotika sorgten diese für ein höheres Sterblichkeitsrisiko in allen Altersklassen.[7]

Ein Versuch, diesem Umstand in der Modellierung Rechnung zu tragen, war eine Erweiterung des Gompertz-Modells durch einen konstanten Zusatz-Term, was William Makham 1860[8] vorschlug, um die Modellierung zu verbessern. In gewisser Weise hatte Gompertz diese Idee schon angedeutet, als er von zwei Effekten sprach, ohne dies in der mathematischen Beschreibung zu berücksichtigen. Seine Modellierung umfasste stattdessen nur den altersabhängigen Effekt – Makham ergänzte konsequenterweise auch einen konstanten, altersunabhängigen Term. Genauere Betrachtungen zeigen jedoch, dass auch diese Erweiterung dem Sterblichkeitsgeschehen in jüngeren Altern nicht wirklich gerecht wird. Infektionskrankheiten treffen zwar alle Altersgruppen, waren aber besonders im Kindesalter besonders häufig fatal. Hier zeigte sich eher

Abb. 2 Lebenserwartung Neugeborener e_0 in Italien. Den Periodentafeln (rechts, 1890–2021) sind die Effekte der beiden Weltkriege deutlich anzusehen, insbesondere in der Männertafel. Die Kohortentafeln (Jahrgänge 1872–1930) zeigen die Effekte der Weltkriege durch einen rückläufigen Trend der Lebenserwartung, aber gestreckt über mehrere Kohorten. Vor allem die Frauentafel zeigt aber dennoch einen Aufwärtstrend. Von diesem koppeln sich die Kohorten ab, die von den kriegsbedingten Sterblichkeiten stark betroffen waren. In späteren Kohorten setzt sich der Trend jedoch auf altem Niveau fort. Verwendung fanden bei den Kohortentafeln nur die Jahrgänge von 1872 bis 1930, für die die Sterblichkeiten zumindest bis zum Alter 90 vorliegen. In den Periodentafeln scheint sich der Aufwärtstrend v. a. bei den Frauen zuletzt abzuschwächen. Das hier letzte Jahr, 2021, zeigt den Corona-Effekt auf die Periodentafel (Quelle: HMD, eigene Darstellung).

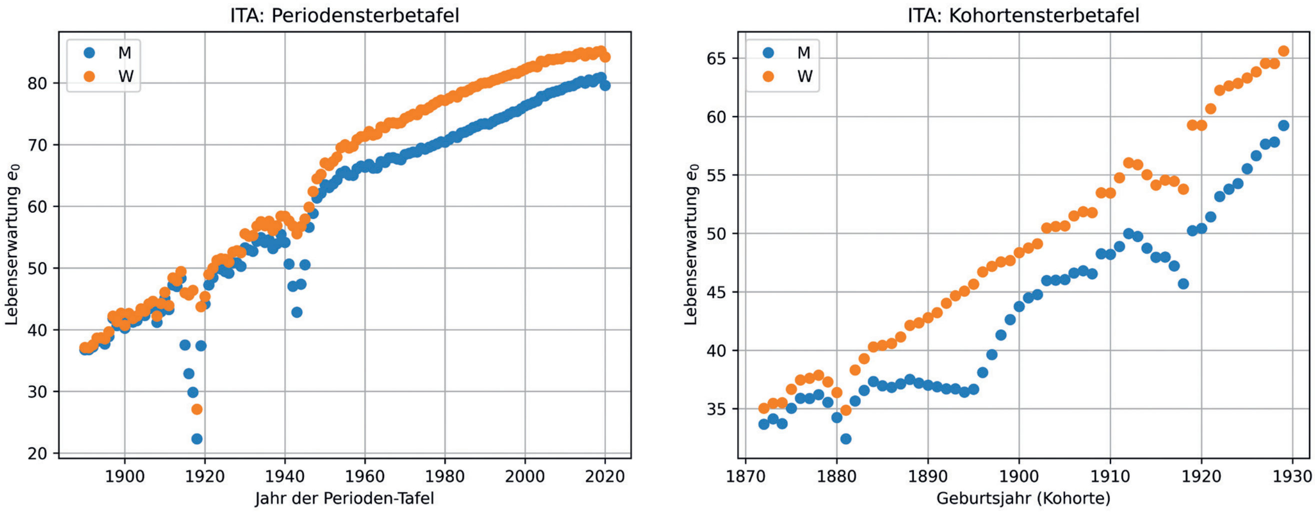
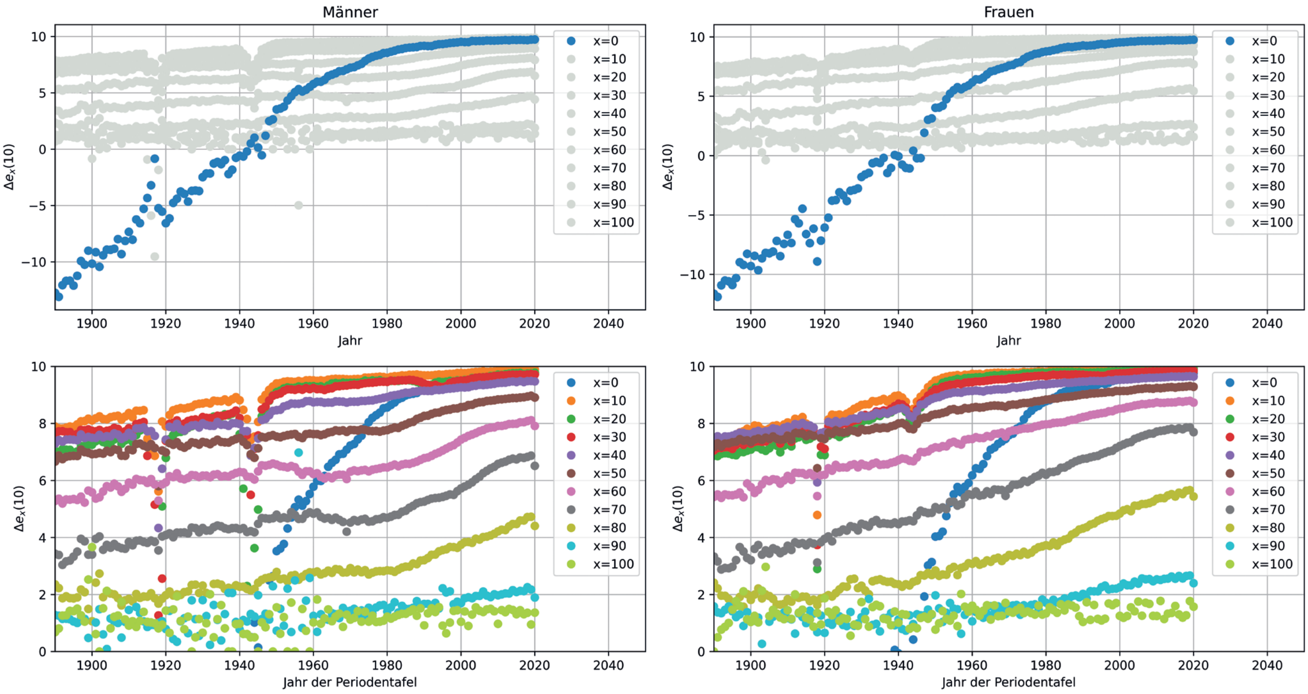


Abb. 3 In der oberen Reihe: LE-Differenz der Neugeborenen über 10 Jahre, $\Delta e_0(10)$, die den Beitrag der ersten Lebensjahre zur Gesamtlebenserwartung anzeigt. Ende des 19. Jahrhunderts war der Beitrag noch klar negativ, stieg dann aber viel schneller an als die LE-Differenzen anderer Altersstufen (untere Reihe). Zu erkennen ist der Übergang etwa 1980, ab dem v. a. bei Männern die LE-Differenz der Altersstufen 70 und 80 beschleunigt steigen. Bei Frauen ist hingegen kein ausgeprägter Übergang erkennbar, aber ein gleichmäßigeres Ansteigen über den ganzen Beobachtungszeitraum (Quelle: HMD, eigene Darstellung).



eine Abnahme der Mortalität in den ersten Lebensjahren. Zudem unterliegt die Säuglingssterblichkeit besonderen Gesetzmäßigkeiten u. a. wegen der Risiken im Zusammenhang mit der Geburt. Trotz der enormen Reduktion der Kindersterblichkeit ist auch in aktuellen Statistiken die Zahl der Todesfälle vor dem ersten Geburtstag höher als in den folgenden Jahren (vgl. Abb. 1). Schließlich gibt es bei Jugendlichen verhaltens- und damit alters- und geschlechtsabhängige Effekte des Unfallgeschehens, was bei der sonst sehr geringen Sterblichkeit in diesem Altersbereich sichtbare Folgen hat.[9]

Entwicklung der Lebenserwartung

Untersucht man, wie sich die Lebenserwartung über längere Zeiträume entwickelt hat, so zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg, der bis in die Gegenwart anhält (Abb. 2). Zur Illustration der zeitlichen Entwicklung wird hier auf die italienischen Statistiken zurückgegriffen. Im Unterschied zu den für Deutschland vorliegenden Statistiken, die aufgrund der historischen Brüche nicht ohne Weiteres für einen Zeitraum von Mitte des 19. Jahrhunderts bis heute vergleichbar sind, kann mit den italienischen Tafeln die Entwicklung der letzten 140 Jahre komfortabel untersucht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die italienischen Sterblichkeiten geringer ausfallen als die deutschen und damit die Lebenserwartung höher ist.

Der Anstieg der Lebenserwartung (LE) setzte sich aus verschiedenen Effekten zusammen. Um dies zu verdeutlichen, soll die folgende Größe betrachtet werden

$$\Delta e_x(\tau) = e_x - e_{x+\tau} < \tau,$$

also die Differenz der Restlebenserwartung im Alter x, e_x und im Alter $x + \tau$, also $e_{x+\tau}$. Diese LE-Differenz kann nicht größer als τ ausfallen. Sie ist gleich τ, wenn die Sterblichkeit in der Altersspanne von x bis $x + \tau$ gleich Null ist. Bei geringer Sterblichkeit im Altersintervall ist die LE-Differenz nur wenig kleiner als τ, sie kann aber bei hoher Sterblichkeit auch kleiner als Null werden: Dann ist die Sterblichkeit so hoch, dass die Restlebenserwartung im Alter $x + \tau$ größer ist als im Alter x.

Abbildung 3 zeigt in der oberen Reihe die Entwicklung der Kindersterblichkeit, gemessen als $\Delta e_0(10)$ im Zeitverlauf. Im Zeitraum von 1890 bis 1960 stieg $\Delta e_0(10)$ von einem Wert von -12 steil an auf einen Wert von 5 (Männer) bzw. 7 (Frauen), um sich im weiteren Verlauf bis auf nahezu 10 zu steigern. Im gleichen Zeitraum gab es bei den LE-Differenzen höherer Alter nur moderate Zuwächse bei den Männern, während der Trend bei den Frauen steiler ist. Dafür ist ab 1980 eine Sterblichkeitsreduktion in den höheren Altern der Männer zu erkennen, die deutlich schneller voranschreitet als zuvor. Bei den Frauen ist ein solcher Übergang nur bei $\Delta e_{80}(10)$ zu erahnen.

Die Überlebenskurven (Abb. 4) zeigen den großen Anteil der reduzierten Kindersterblichkeit. Das „Absacken“ der Kurve in den ersten 5 Lebensjahren wurde schon bis Mitte des 20. Jahrhunderts stark reduziert. Die Überlebenskurven näherten sich dadurch mehr und mehr einem horizontalen Verlauf. Ab Alter 60 beginnt ein Übergang in eine zunehmend steilere Phase. Seit den 1980er-Jahren hat sich diese „Flanke“ noch zu höheren Altern verschoben. Anfang der 1980er-Jahre wurde auch der Blick auf das vergleichsweise wenig steigende Maximalalter gelenkt. In einem viel beachteten Beitrag von James Fries wurde der Begriff einer „Rektangularisierung“ der Überlebenskurve geprägt.[10] Damit verbunden war die Einschätzung, dass die Möglichkeiten eines weiteren Anstiegs der Lebenserwartung begrenzt seien und man mit einer Abflachung des Anstiegs rechnen müsse. Überhaupt sei es nicht möglich, die Lebenserwartung beliebig zu steigern.

Diese Sicht wurde durch eine Beobachtung infrage gestellt, die 2003 in der Zeitschrift Science erschien.[11] Die beiden Demografen Jim Oeppen und James Vaupel hatten die Lebenserwartung der Frauen verschiedener Länder betrachtet und die jeweiligen Höchstwerte („Rekordlebenserwartung“) für einen längeren Zeitraum grafisch aufgetragen (Abb. 5). Es zeigte sich ein nahezu linearer Anstieg über 160 Jahre. Zudem hatte der Anstieg verschiedene historische Prognosen zu einer maximal möglichen Lebenserwartung bereits durchbrochen. Weitere, aktuellere Prognosen würden bei fortgesetztem Trend in wenigen weiteren Jahren übertroffen werden. Es wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass es keinen Grund für Befürchtungen gebe, die Lebenserwartung könne nicht substanziell weiter steigen. Entsprechende Experteneinschätzungen seien wiederholt widerlegt worden. Die Beobachtung lasse keinen nachlassenden Trend erkennen, weswegen eine Fortsetzung des Anstiegs zu erwarten sei.

Allerdings zeigen die in Abb. 3 vorgestellten LE-Differenzen, dass ein Beitrag zu einer höheren Lebenserwartung nicht mehr von einer Verbesserung der Altersstufen bis 49 zu erwarten ist, weil diese fast das Maximum erreicht haben. Im Bereich der Hochbetagten ab Alter 90 ist ein Aufwärtstrend zwar noch zu erkennen. In der höchsten hier erfassten Altersspanne ab 100 gilt dies jedoch nicht, was eher mit der Annahme eines begrenzten Maximalalters zusammenpassen würde.

Maximales Lebensalter?

In der Forschung zur Lebenserwartung haben sich über die Jahre zwei Lager herausgebildet. Eine Gruppe in der Linie von Oeppen und Vaupel ist weiterhin überzeugt, dass eine weiter kontinuierlich steigende Lebenserwartung möglich und erwartbar sei.[12] Auf der anderen Seite findet sich eine eher skeptische Gruppe in der Tradition James Fries’, die nach wie vor eine Begrenzung der möglichen Lebensspanne für plausibel hält.[13]

Eine in diesem Kontext seit den 1980er-Jahren diskutierte These ist die *late life mortality deceleration*. Diese Überlegung nimmt direkt auf das Gompertz-Gesetz Bezug. Es wird hier argumentiert, das Gompertz-Gesetz sei in den höchsten Altern nicht mehr gültig, weil es den Anstieg der Sterblichkeit überschätze. Während das approximative Gompertz-Gesetz einen exponentiellen Anstieg der Sterberaten unterstellt und damit, bei konsequenter Extrapola-

Abb. 4 **Überlebenskurve (Italien, 1890–2020, Periodentafel, Quelle: HMD, eigene Darstellung). Seit dem späten 19. Jahrhundert haben sich die Überlebenskurven von unten nach oben verschoben. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts war besonders der starke Rückgang der Kinder- und Säuglingssterblichkeit von Bedeutung. Ab den 1950er-Jahren kam es auch in höheren Altersbereichen zu einer Reduktion der Sterblichkeit. Die Kurven sind heute weitgehend horizontal bis zum Alter 50 und fallen ab ca. 80 Jahren steil ab. Das Maximalalter hat sich im Vergleich zur Lebenserwartung nur wenig erhöht.**

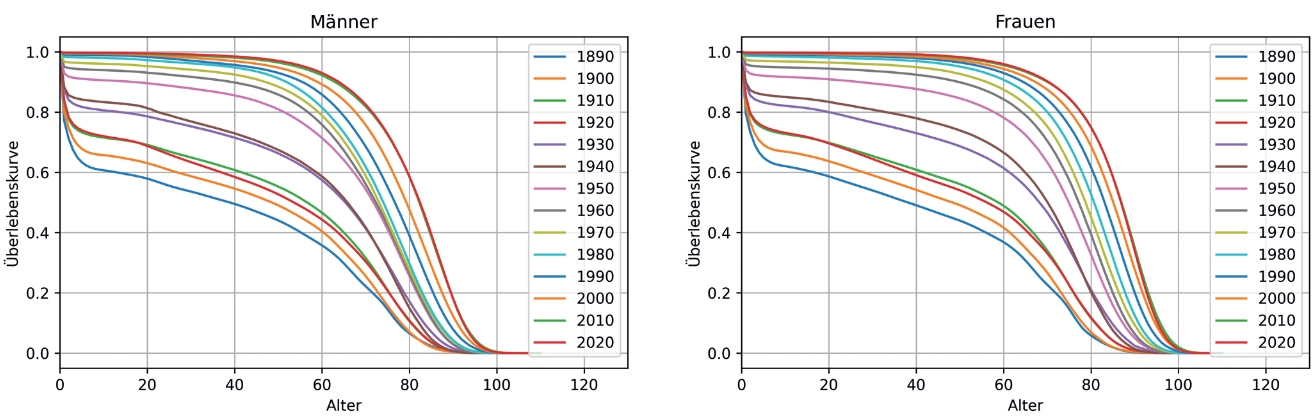
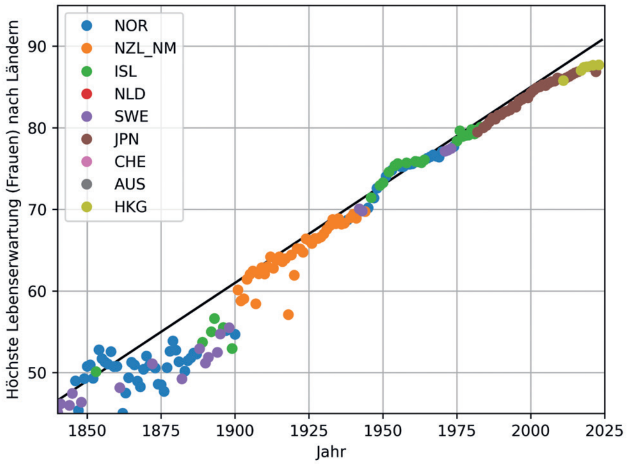


Abb. 5 Rekord-Lebenserwartung (bei Geburt) für die Periodensterbetafel der Frauen. Dargestellt ist jeweils das Land mit dem höchsten Wert. Die Darstellung ist angelehnt an Oeppen/Vaupel (2002). Bis 2000 folgt der Anstieg der eingezeichneten Geraden, spätere Jahre zeigen jedoch keine Fortsetzung des langjährigen Trends (Quelle: HMD, eigene Darstellung. Länder-Abkürzungen gem. HMD).

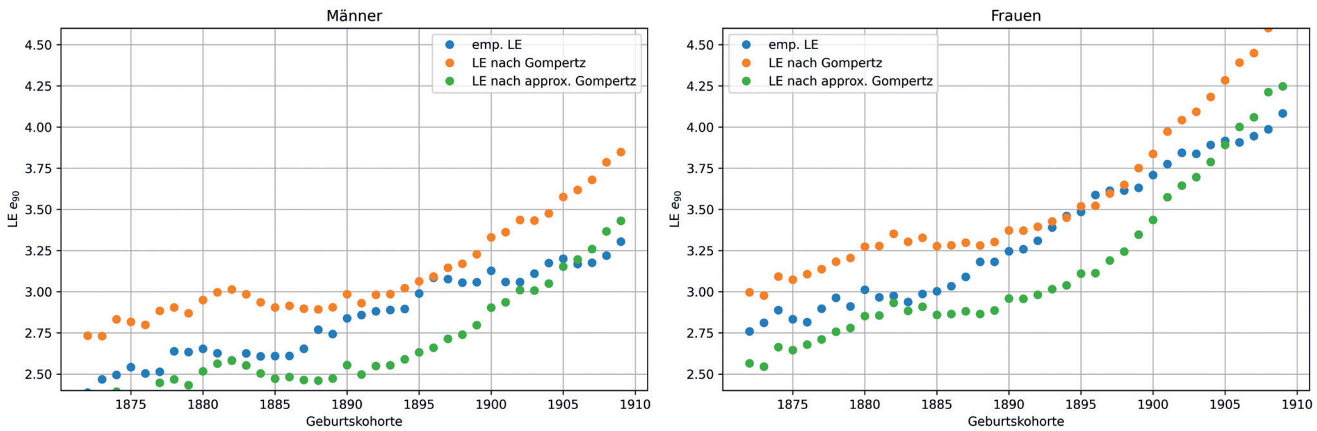


tion zu hohen Altern, zu einem gewissen Alter x ein $q_x = 1$ vorhersagt, führt das echte Gompertz-Gesetz zu einem asymptotischen Verlauf, bei dem $q_x \to 1$ für große Alter x. Spekuliert wurde, ob die Sterbedaten eine Verlangsamung des Anstiegs der Sterblichkeiten in hohen Altern anzeigen und ob sich die Sterblichkeiten eventuell einem konstanten Niveau unterhalb von 1 annähern.[14] Dies hätte zur Folge, dass es formal keine Begrenzung des möglichen Maximalalters geben würde. Die Untersuchung ist nicht unkompliziert, da in den sehr hohen Altersbereichen nur wenige Beobachtungen vorliegen und die systematische statistische Erfassung oftmals nur bis zum Alter 110 reicht. Zwar gibt es auch Datensammlungen von Menschen mit sehr hohem Lebensalter, also z. B. über 105 Jahren, den sog. *Supercentenarians* – aber deren Vollständigkeit ist weniger gut als die der staatlicher Statistiken. Deswegen gehen die Einschätzungen nach wie vor auseinander, ob die Datenlage eine maximal mögliche Lebensspanne nahelegt oder vielmehr auf eine Abflachung des Sterberisikos hinweist.[15]

Kürzlich hat eine Forschergruppe um Jay Olshansky in der Zeitschrift *Nature Aging* internationale Entwicklungen ausgewertet.[16] Die Daten zeigten, so die Autoren, dass die von Oeppen und Vaupel beobachtete Trendlinie nicht mehr gehalten werde und sich der Anstieg der Rekord-Lebenserwartung verlangsame (vgl. Abb. 5). Die Analyse der Sterblichkeitskurven zeige auch, dass die Potenziale für weitere Steigerungen der Lebenserwartung zunehmend ausgeschöpft sind (vgl. Diskussion von Abb. 3). Insgesamt, so das Fazit der Studie, gebe es keine Hinweise auf eine weiter stark ansteigende Lebenserwartung.

Zur Verdeutlichung soll hier noch ein weiterer Blick auf die Daten dienen. Am Beispiel Italiens soll hier geprüft werden, ob die Modelle – 1. echtes Gompertz-Modell, 2. approximatives Gompertz-Modell – zu einer Unterschätzung der Lebenserwartung führen, wie es von den Vertretern der *late life mortality deceleration* angeführt wird. In Abb. 6 wurde für jedes Jahr ein linearer Anstieg an die logarithmierten Sterblichkeiten, $ln(q_x)$, im Altersbereich 60 bis 90 mittels Verfahren der kleinsten Quadrate angelegt. Daraus wurden die Parameter des approximativen Gompertz-Gesetzes und des vollen Gompertz-Gesetzes bestimmt und die q_x im Alter von 90 und darüber berechnet. Zu jedem dieser beiden Modelle wurde auf Basis der so konstruierten Sterbewahrscheinlichkeiten ab dem Alter 90 die Restlebenserwartung im Alter 90 bestimmt und der tatsächlich be-

Abb. 6 Restlebenserwartung der 90-jährigen (Italien, Kohortensterbetafel). Berechnungen für die empirischen Sterblichkeiten und die Sterblichkeiten bei Extrapolation des Gompertz-Gesetzes bzw. des approximativen Gompertz-Gesetzes (Quelle: HMD, eigene Darstellung)



Fußnoten

1 „Gompertz, Benjamin“ . Dictionary of National Biography. London: Smith, Elder & Co. 1885–1900.

2 Bacaër, Nicolas (2011) A Short History of Mathematical Population Dynamics. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media

3 Gompertz (1825) On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of Life Contigencies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 115: 513–585. doi:10.1098/rstl.1825.0026

4 Durch den heftigen Prioritätsstreit zwischen Newton und Leibniz über die Entwicklung der Differentialrechnung hatten die britischen Mathematiker lange die Leibniz-Notation zurückgewiesen. Anfang des 19. Jahrhunderts setzte sich allerdings die von den Kontinentaleuropäern erfolgreich genutzte Notation auch im Vereinigten Königreich durch. Die Analytical Society, eine Vereinigung jüngerer Mathematiker forderte „pure d-ism against the Dotage of the University“ (Thomas Sonar: Die Geschichte des Prioritätenstreits zwischen Leibniz und Newton, Springer. Berlin 2016, S. 528)

5 Human Mortality Database (HMD) Max Planck Institute for Demographic Research (Germany), University of California, Berkeley (USA), and French Institute for Demographic Studies (France). Available at www.mortality.org

6 D. Morens, G. Folkers, & A. Fauci (2004) The challenge of emerging and re-emerging infectious diseases. Nature 430: 242–249. doi: 10.1038/nature02759

7 Max Roser (2020) “It’s not just about child mortality, life expectancy increased at all ages” Published online at OurWorldinData.org. https://ourworldindata.org/its-not-just-about-child-mortality-life-expectancy-improved-at-all-ages

8 W. M. Makeham (1860). On the Law of Mortality and the Construction of Annuity Tables. J. Inst. Actuaries and Assur. Mag. 8 (6): 301–310. doi:10.1017/S204616580000126X

9 B. B. Kalben (2000) Why men die younger: causes of mortality differences by sex. North American Actuarial Journal 4 (4): 83–111. doi: 10.1080/10920277.2000.10595939

10 J. F. Fries (1980). Aging, Natural Death, and the Compression of Morbidity. New England Journal of Medicine 303 (3): 130–5. doi: 10.1056/NEJM198007173030304

11 J. Oeppen & J. W. Vaupel (2002) Broken Limitis to Life Expectancy. Science 296: 1029 f.

12 N. Brown, C. Albers, & S. Ritchie (2017) Contesting the evidence for limited human lifespan. Nature 546: E6–E7 doi: 10.1038/nature22784

13 X. Dong, B. Milholland, & J. Vijg (2016) Evidence for a limit to human lifespan. Nature 538: 257–259. doi: 10.1038/nature19793

obachteten Lebenserwartung gegenübergestellt. Nach der These einer Verlangsamung des Sterblichkeitsanstiegs würde man erwarten, dass die empirischen Restlebenserwartungen zunehmend über den beiden Modellvarianten liegt. Tatsächlich zeigt sich in Abbildung 6, dass das echte Gompertz-Modell zu keinem Zeitpunkt eine geringere Lebenserwartung anzeigt als beobachtet. Vielmehr neigt es zu einer Überschätzung der Lebenserwartung. Für den Fall Italien fiel allerdings das approximative Gompertz-Modell bis zu den Kohorten 1905 hinter der beobachteten Lebenserwartung zurück. Es wurde angemerkt, dies könne auch mit Problemen der Datenerfassung zusammenhängen.[17] Interessant ist allerdings, dass die letzten vollständigen Kohorten ab 1905 eher belegen, dass selbst das approximative Gompertz-Modell die Sterblichkeit im hohen Alter eher unter- als überschätzt. Gegen die hier vorgestellte Überlegung könnte eingewandt werden, dass die aus der Human Mortality Databank bezogenen Sterbetafeln im Alter 110 zensiert sind. Zumindest für die Größe Restlebenserwartung ist dieser Effekt aber von relativ geringer Bedeutung.

Was sagt Gompertz?

Wirft man einen Blick in den nun 200 Jahre alten Aufsatz von Benjamin Gompertz, so fällt auf, dass er einige der genannten Punkte schon sehr hellsichtig durchdacht hatte. Die Möglichkeit eines maximalen, konstanten Wertes für das Sterberisiko, $q_x = c < 1$ für alle $x \geqslant x_m$ hat er explizit erkannt.

Such a law of mortality would indeed make it appear that there was no positive limit to a person's age; but it would be easy, even in the case of the hypothesis, to show that a very limited age might be assumed to which it would be extremely improbable that any one should have been known to attain (Gompertz 1825, p. 516).

Schon damals machte er darauf aufmerksam, dass dies zwar theoretisch die Möglichkeit eines beliebig langen Lebens schaffe; die Wahrscheinlichkeit, Altersstufen in diesem Bereich zu erreichen, aber auch in diesem Fall sehr schnell, nämlich exponentiell abfalle. Deswegen würde es auch dann kaum zu extrem hohen Altersstufen kommen. Erst vor einigen Jahren sah sich Eric Le Bourg veranlasst, dieses Argument erneut ins Feld zu führen, um die mitunter verbissene Diskussion um den analytischen Verlauf der Mortalität in hohen Altern als wenig bedeutsam einzuordnen.[18]

Ausblick

Der Disput um die Perspektiven der Lebenserwartung hat allerdings auch noch eine weitere Schwachstelle: Die

Hypothese einer potenziell unbegrenzten Lebensdauer ist per se keine wissenschaftliche Aussage, weil sie nicht empirisch widerlegt werden kann. Genauso ist die Gegenhypothese eines Maximalalters nicht widerlegbar. Erst bei der konkreten Aussage, ein bestimmtes Alter stelle eine Obergrenze dar, ist grundsätzlich der Gegenbeweis möglich.

Alle hier vorgestellten Überlegungen fußen auf Beobachtungsdaten der Vergangenheit. Über eventuelle Durchbrüche der Medizin kann damit keine Aussage getroffen werden. Wer auf die Jungbrunnen der Longevity-Forschung hofft, mag alle bisherigen Beobachtungen beiseitelegen. Und Skeptiker mögen die Stirne runzeln – aber da sind wir schon längst nicht mehr im Bereich der Wissenschaft. Auch dies hat Gompertz bereits erkannt:

And though the limit to the possible duration of life is a subject not likely ever to be determined, even should it exist, [...] And that if any argument can be adduced to prove the necessary termination of life, it does not appear likely that the materials for such can in strict logic be gathered from the relation of history, not even should we be enabled to prove (which is extremely likely to be the state of nature) that beyond a certain period the life of man is continually becoming worse. (Gompertz 1825, p. 516 f.)

Fußnoten

[14] J. A. Alvarez et al. (2021) Regularities in human mortality after age 105. PloS ONE 16(7): e0253940. doi: 10.1371/journal.pone.0253940; E. Barbi et al. (2018) The plateau of human mortality: Demography of longevity pioneers. Science 360: 1459–1461

[15] H. Beltrán-Sánchez et al. (2018) Comment on "The plateau of human mortality: Demography of longevity pioneers" Science, doi: 10.1126/science.aav1200; Feifel, J., Pauly, M. (2024). Statistics and the Maximum Human Lifespan. In: Weihs, C., Krämer, W., Buschfeld, S. (eds) Statistics Today. Society, Environment and Statistics. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-662-68907-3_7

[16] S. J. Olshansky et al. (2024) Implausibility of radical life extension in humans in the twenty-first century. Nat Aging 4: 1635–1642. doi: 10.1038/s43587-024-00702-3

[17] N. S. Gavrilova, L. A. Gavrilov (2020) Are We Approaching a Biological Limit to Human Longevity?, The Journals of Gerontology: Series A, 75(6): 1061–1067, doi: 10.1093/gerona/glz164; L. A. Gavrilov, N. S. Gavrilova (2019) New Trend in Old-Age Mortality: Gompertzialization of Mortality Trajectory. Gerontology 65(5): 451–457. doi: 10.1159/000500141

[18] Eric Le Bourg (2022) Is it Time to Relax Research on Death Rates of Supercentenarians? J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 77(4): 755–757. doi: 10.1093/gerona/glab351

Über den Autor

→ Prof. Dr. Thomas Neusius
Prof. Dr. Thomas Neusius ist seit 2013 Professor an der Wiesbaden Business School der Hochschule RheinMain. Hier gilt sein besonderes Interesse sowohl der privaten als auch der gesetzlichen Kranken- und Pflegeversicherung. Seit 2024 ist er Gastwissenschaftler an der Uniklinik Mainz.

Nach dem Studium der Physik und Promotion an der Universität Heidelberg, arbeitete er von 2009 bis 2011 bei der Vereinigten Postversicherung VVaG in Stuttgart im Bereich Produktentwicklung und Produktrealisierung Leben. 2011 folgte der Wechsel zur Allianz Investment Management SE. Dort befasste er sich mit dem Asset Liability Management der deutschen Lebens- und Krankenversicherungsgesellschaften. Regelmäßig wird Thomas Neusius zum Sachverständigen für Versicherungsmathematik von Amts-, Land- und Oberlandesgerichten bestimmt. In der DAV ist er Mitglied des Ausschusses Krankenversicherung und in der Leitung der zugehörigen Fachgruppe engagiert.