

Raimund Herz

Über Altern und Erneuern

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

Sie werden das Thema meiner Abschiedsvorlesung als sehr passend empfinden, weil es meiner und vielleicht auch Ihrer Lebenssituation entspricht. Jüngere Studenten, für die Vorlesungen, auch Abschiedsvorlesungen, eigentlich gehalten werden, würden sich durch dieses Thema persönlich weniger angesprochen fühlen, aber das neue Semester hat ja noch nicht begonnen und meine Zielgruppe ist heute eine andere.

Wie Dekan Schach schon bemerkt haben, wird es keine richtige, sondern nur eine Mini-Abschiedsvorlesung werden. Sie werden auch nicht erwarten können, dass ich die ganze Fülle meiner Lebenserfahrung gewissermaßen als Vermächtnis heute vor Ihnen ausbreite. Obwohl, das Wesentliche ließe sich vielleicht auch schon in 20 Minuten auf den Punkt bringen.

Alterungs- und Erneuerungsprozesse beschäftigen mich schon eine ganze Weile. Altern ist ja ein ganz natürlicher Prozess, der sich allenfalls etwas beschleunigen oder verzögern lässt. Um letzteres bemühen wir uns doch eigentlich alle. Erneuerungsprozesse, andererseits, erfordern Energie und Entscheidungen. Sie laufen auch in der Natur nur scheinbar von alleine ab, wenn es im Frühling allenthalben sprießt und neues Leben entsteht. Jetzt haben wir Herbst. Zur Erneuerung kommen wir später. Ich beginne mit der Alterung.

Altern bedeutet natürlich mehr als einfach älter werden. Damit sind Befindlichkeiten verbunden. Ein guter Rotwein wird mit den Jahren immer besser, bis er schließlich umkippt. Das kann auch schon nach 20 Jahren geschehen. Unsere geistigen Fähigkeiten nehmen mit dem Alter ebenfalls zu, vielleicht erreichen wir sogar eine gewisse Altersweisheit, wenngleich unsere kreativste Phase viel früher liegt, und körperlich beginnen wir ja schon mit 20 Jahren zu schrumpfen, kaum dass wir ausgewachsen sind.

Solche Alterungsprozesse lassen sich als Übergänge in andere, um nicht zu sagen: schlechtere, Zustände mathematisch modellieren, z.B. mit Überlebensmodellen oder als Markov Prozesse. Keine Sorge, ich werde Sie hier und heute nicht mit Mathematik behelligen, aber mit einem Zitat von Karl Marx, der bei der Alterung von Maschinen einen materiellen und einen moralischen Verschleiß unterscheidet. Das folgende Zitat findet sich im vierten Abschnitt von Band 1, wo er sich in Kapitel 13 mit Maschinerie und großer Industrie auseinandersetzt, mit den Wirkungen des maschinenmäßigen Betriebs auf den Arbeiter und dort speziell mit der Verlängerung des Arbeitstages.

„Der materielle Verschleiß der Maschine ist doppelt. Der eine entspringt aus ihrem Gebrauch, wie Geldstücke durch Zirkulation verschleißen, der andere aus ihrem Nichtgebrauch, wie ein untätig Schwert in der Scheide verrostet. Es ist dies ihr Verzehr durch die Elemente. Der Verschleiß erster Art steht mehr oder minder in direktem Verhältnis, der letztere zu gewissem Grad in umgekehrtem Verhältnis zu ihrem Gebrauch.

Neben dem materiellen unterliegt die Maschine aber auch einem sozusagen moralischen Verschleiß. Sie verliert Tauschwert im Maße, worin entweder Maschinen derselben Konstruktion wohlfeiler produziert werden können oder bessere Maschinen konkurrierend neben sie treten. In beiden Fällen ist ihr Wert, so jung und lebenskräftig sie sonst noch sein mag, nicht mehr bestimmt durch die tatsächlich in ihr selbst vergegenständlichte, sondern durch die zu ihrer eignen Reproduktion oder zur Reproduktion der besseren Maschine notwendige Arbeitszeit. Sie ist somit mehr oder minder entwertet. Je kürzer die Periode, worin ihr Gesamtwert reproduziert wird, desto geringer die Gefahr des moralischen Verschleißes.....“

In der DDR wurde der moralische Verschleiß, wohl gemerkt von Sachen, zu einem Terminus Technicus, der von Ingenieuren ganz selbstverständlich benutzt wurde und teilweise immer noch benutzt wird, automatisch oder um eine entsprechende Duftmarke zu setzen. Alles was materiell noch in Ordnung ist, aber nicht mehr dem Stand der Technik oder der Norm entspricht, ist moralisch verschlissen. Das ist schlimm, zumal das, was bei Marx noch materieller Verschleiß hieß, nun physischer Verschleiß genannt wird, und so etwas gibt es eigentlich nur bei Lebewesen. Wie dem auch sei, man könnte es auch ganz schlicht ausdrücken: die Sache ist veraltet, auch wenn sie sonst noch ganz in Ordnung sein mag.

Typisch für die materielle oder physische Alterung ist das Phänomen, dass die Ausfälle mit dem Alter zunehmen, die Versagenshäufigkeit zunimmt.

Das lässt sich mit der so genannten Badewannenkurve sehr schön darstellen.

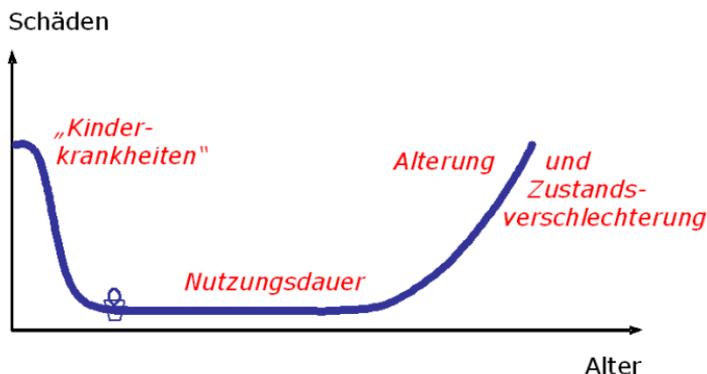
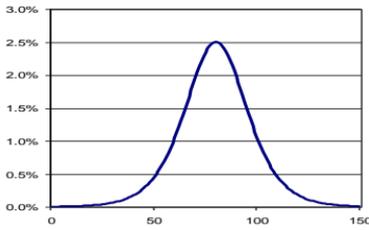


Bild 1 Badewannekurve

Am Fußende der Badewanne finden Sie die Kinderkrankheiten (der Stöpsel symbolisiert das Ende der Garantiezeit), am Kopfende das alterungsbedingte Versagen. Dazwischen liegen die normalen, unauffälligen Jahre mit Ausfällen auf niedrigem Niveau. In höherem Alter ist es spannend zu beobachten, wie schnell die Ausfallrate ansteigt. Aufschluss erhält man durch regelmäßige Inspektion, Monitoring heißt das auf Neudeutsch. Und gegebenenfalls wird etwas unternommen, damit die Ausfallrate nicht weiter ansteigt.

Der Anstieg der Ausfallrate lässt sich auch mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen modellieren, und das möchte ich Ihnen mal mit einer Verteilung vorführen, die Raul Trujillo in seiner Dissertation freundlicherweise nach mir benannt hat.

A Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion



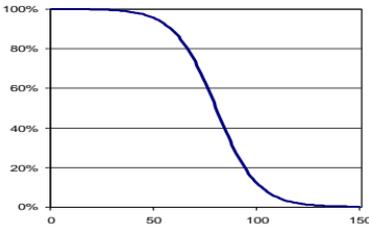
für $x < c$:
 $f(x) = 0$

für $x \geq c$:

$$f(x) = \frac{(a+1) \cdot b \cdot e^{b(x-c)}}{(a + e^{b(x-c)})^2}$$

für $x \rightarrow \infty$:
 $f(x) = 0$

B Überlebensfunktion



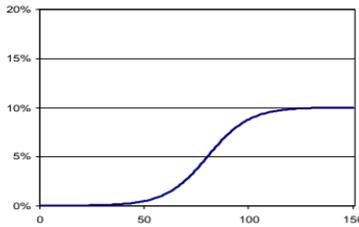
für $x < c$:
 $S(x) = 1$

für $x \geq c$:

$$S(x) = \frac{a+1}{a + e^{b(x-c)}}$$

für $x \rightarrow \infty$:
 $S(x) = 0$

C Ausfallrate



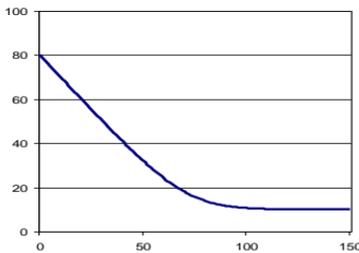
für $x < c$:
 $h(x) = 0$

für $x \geq c$:

$$h(x) = \frac{b \cdot e^{b(x-c)}}{a + e^{b(x-c)}}$$

für $x \rightarrow \infty$:
 $h(x) = b$

D Restlebenserwartung



für $x < c$:

$$r(x) = c + \frac{(a+1) \cdot \ln(a+1)}{a \cdot b} - x$$

für $x \geq c$:

$$r(x) = (a + e^{b(x-c)}) \cdot \left[\frac{\ln(a + e^{b(x-c)})}{ab} - \frac{x-c}{a} \right]$$

für $x \rightarrow \infty$:
 $r(x) = 1/b$ Jahre

Bild 2 Alterungsfunktionen der Herz-Verteilung
 (dargestellt mit $a = 3000$; $b = 0,1$; $c = 10$)

Wie Sie sehen, steigt die Ausfallrate (Bild 2: C) mit dem Alter an. Das besondere an der Herz-Verteilung ist, dass sie nicht exponentiell weiter wächst - größer als eins kann sie ja definitionsgemäß ohnehin nicht werden - sondern sich asymptotisch einem Maximum kleiner Eins annähert. Das gibt uns Hoffnung.

Berechnet man mit der Herz-Verteilung die bedingten Wahrscheinlichkeiten für die Restlebensdauer (Bild 2: D), die man in einem bestimmten Alter noch zu erwarten hat, wird dieses Prinzip Hoffnung noch deutlicher: Der Erwartungswert wird nicht Null, sondern bleibt positiv, wenn auch klein.

Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Herz-Verteilung (Bild 2: A) sieht hier ganz normal aus. Allerdings ist sie auf positive Werte für die Lebensdauer beschränkt, was ja auch Sinn macht.

Die Herz-Verteilung hat drei Parameter, die empirisch bestimmt werden können:

1. Eine Resistenzzeit c , bis zu der nur vernachlässigbare Ausfälle passieren.
2. Ein Alterungsparameter a , der den Übergang in die eigentliche Alterungsphase bestimmt. Wenn man ihn Null setzt, wird man zwar älter, aber die Ausfallrate bleibt auf einem konstanten Niveau, was sicher nicht realistisch wäre. Die Herz-Verteilung geht dann in die Exponentialverteilung über. Je größer man diesen Alterungsparameter wählt, desto sanfter ist der Übergang von der ausfallfreien Zeit in die Phase alterungsbedingter Ausfälle. Dann erst sieht die Herz-Verteilung aus wie eine Normalverteilung.

3. Der dritte Parameter ist der Ausfallparameter b . Er ist identisch mit der Ausfallrate, die maximal erreicht wird. Diese End-Ausfallrate wird bei einem großen Ausfallparameter früher erreicht als bei einem kleinen.

Damit lässt sich auch die Form der zugehörigen Überlebensfunktion (Bild 2: B), die in der Zuverlässigkeitstheorie Zuverlässigkeitsfunktion genannt wird, sehr schön modellieren. Die Zuverlässigkeit nimmt mit dem Alter ab. Die eingangs erläuterte momentane Ausfallrate (Bild 2: C) ist nichts anderes als das Verhältnis der Wahrscheinlichkeit, in einem bestimmten Alter auszufallen, zu der Wahrscheinlichkeit, dieses Alter erreicht zu haben.

Auch die gängige Prognosemethode der Demographen für die natürliche Bevölkerungsentwicklung verwendet Überlebensfunktionen. Sie heißt Cohort Survival Analysis und beruht auf einem Kohorten Überlebensmodell. Zu den Kohorten kommen wir gleich. Mit guten statistischen Daten zur Sterbestatistik braucht man allerdings keine Herz-Verteilung, um das Altern bzw. Absterben einer Population zu beschreiben. Das Prinzip der Kohortenüberlebensanalyse möchte ich Ihnen einmal mit einem animierten Beispiel der Deutschen Bevölkerung zeigen.

Wir beginnen im Jahr 1950, als wir drei Professoren noch kleine Jungen waren, und werden die Bevölkerungspyramide dann in Etappen bis zum Jahr 2050 fortschreiben.

Seit 1950 haben sich die Sterbewahrscheinlichkeiten, also die altersspezifischen Ausfallraten, erheb-

lich verändert. Die Lebenserwartung ist gestiegen, hier im Osten besonders stark. Wir können davon ausgehen, dass sie Dank medizinischer und pharmazeutischer Fortschritte weiter steigen wird, jährlich um ungefähr 3 Monate, also alle 4 Jahre um ein ganzes Jahr, vielleicht auch etwas weniger, wenn die Übergewichtigen weiter zunehmen.

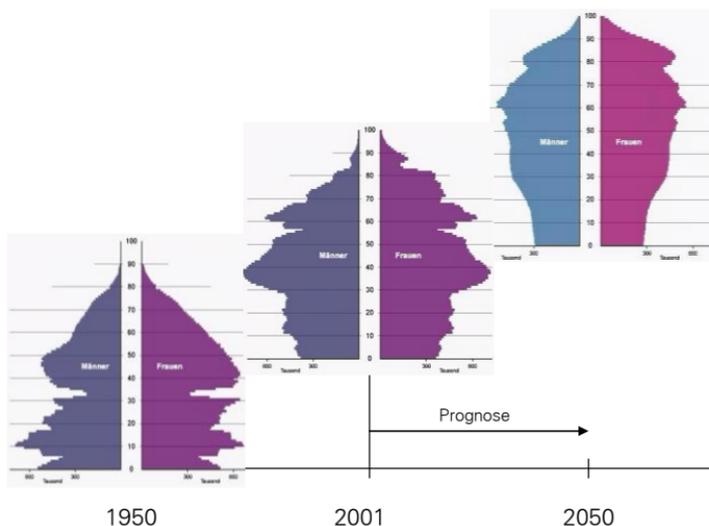


Bild 3 Bevölkerungspyramiden Deutschlands
(Quelle: Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2003:
10. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung)

Bei der Bevölkerungspyramide wachsen natürlich junge Jahrgänge, Kohorten nach. Die Bevölkerungspyramide erneuert sich. Die Demographen sprechen von Kohorten von Jungen und Mädchen, wenn sie diese durch die Lebensabschnitte verfolgen. Die jungen Kohorten werden erwachsen und setzen selbst Kinder in die Welt und so weiter. Ich möchte an dieser Stelle nicht darüber klagen, dass

dies nicht mehr in ausreichendem Maße geschieht, und auch nicht besonders herausstellen, dass Kohorten bei den alten Römern noch Militär-, Polizei- und Feuerwehr-Einheiten waren.

Wenn wir die Entwicklung der Bevölkerungspyramide im Jahr 1970 betrachten, sehen wir deutlich was passiert, wenn Frauen aus geburtenschwachen Jahrgängen von der Pille Gebrauch machen. Die neuen Jahrgänge werden noch schwächer. Das pflanzt sich dann wellenartig bis 2050 fort und darüber hinaus.

Im Jahr 2002 springt das Modell von beobachteten Werten auf prognostizierte. Dazu müssen selbstverständlich Annahmen getroffen werden, z.B. über die Entwicklung der altersspezifischen Sterberate und der altersspezifischen Gebärfreudigkeit der Frauen, auch über die Einwanderer nach Deutschland sowie deren generatives Verhalten. Dieser Simulationsrechnung des Statistischen Bundesamtes liegen diesbezüglich moderate Annahmen zugrunde, z.B. eine positive Wanderungsbilanz von 200 000 Personen pro Jahr. Zurzeit sind es weniger als halb so viel, aber das kann sich ja auch wieder ändern.

Nach diesem mittleren Szenario schrumpft die Bevölkerung Deutschlands. Die Bevölkerungspyramide wird um rund 10 Prozent schlanker als heute, vor allem unten herum, bei den jüngeren Jahrgängen. Dieser Schrumpfungsprozess verläuft in manchen Städten und vor allem Landstrichen wesentlich dramatischer. Denn insgesamt ist es ein Null-Summen-Spiel: Was die einen vielleicht gewinnen, verlieren zwangsläufig die anderen.

Es wird einen scharfen Standortwettbewerb geben.

Dresden ist zurzeit die große Ausnahme, macht Schlagzeilen, weil die Bevölkerung wächst, und zwar nicht nur durch Eingemeindungen und Wohnsitz-Ummeldungen von Studenten. Die Wanderungsbilanz ist in der Tat leicht positiv, und es gibt in Dresden zurzeit fast so viele Geburten wie Sterbefälle. Das hatten wir seit Beginn des 2. Weltkrieges nicht mehr!

Doch das kann nicht von Dauer sein. Wir werden insgesamt immer weniger und die Zahl der Älteren wird weiter zunehmen. Dies wird auch die 11. koordinierte Bevölkerungsprognose zeigen, die nächsten Monat vom Statistischen Bundesamt vorgestellt werden wird.

Der Nachwuchs an neuen Kohorten ist nicht zuletzt eine ökonomische Entscheidung. Die Randbedingungen müssen stimmen. In den Turbulenzen nach der Wiedervereinigung hat sich die Geburtenrate im Osten halbiert. Da war anderes wichtiger und die Zukunft war besonders unsicher. Inzwischen hat sich die Lage stabilisiert. Aufgeschobene Wünsche werden realisiert. Es werden wieder vermehrt neue Kohorten in die Welt gesetzt.

Zur Frage des optimalen Zeitpunktes gibt es interessante soziologische und ökonomische Untersuchungen deskriptiver und präskriptiver Art. Erlauben Sie mir hier einen kleinen Exkurs.

Angeregt durch eine Schlagzeile der Bild-Zeitung „Wenn das Laub fällt, blüht die Liebe“, bin ich dem Phänomen der saisonalen Geburtenspitzen Anfang

der 70er Jahre einmal statistisch zu Leibe gerückt, und in der Tat, die monatlichen Geburtenstatistiken, die seit Mitte des 19. Jahrhunderts geführt werden, weisen eine markante Spitze in den Monaten April und Mai auf. Offenbar wurden die Kinder bevorzugt in den Monaten Juli und August gezeugt, wenn die Ernte eingefahren ist, bzw. in der Urlaubszeit. Da fällt das Laub aber eigentlich noch nicht. Diese schöne Regelmäßigkeit verschwand Mitte der 60er Jahre mit der Einführung der Pille. Seitdem haben alle Sternzeichen ungefähr die gleiche Geburtenwahrscheinlichkeit. Vorher war die Trefferwahrscheinlichkeit für das Sternzeichen Stier etwa doppelt so hoch wie für die anderen Sternzeichen.

Die Frage des optimalen Zeitpunktes lässt sich durch Abwägen von Kosten und Nutzen beantworten. Oft treten zunächst einmal Kosten auf, und die Nutzen kommen erst viel später. Dieses Problem lässt sich mit ökonomischen Methoden elegant lösen. Man braucht dazu nur die Zeitpräferenzrate, und wenn man sie nicht kennt, und sie ist in der Tat schwierig zu bestimmen und variiert auch ganz erheblich von Individuum zu Individuum, dann nimmt man einfach ersatzweise den Zinssatz für Kredite der öffentlichen Hand, also 3 bis 4 Prozent, um alle anfallenden Kosten und Nutzen in Barwerte auf heute umzurechnen. Das Projekt mit dem höchsten Kapitalwert ist das beste Projekt. Es sollte realisiert werden, wenn der Net Present Value positiv ist.

Wo liegt also der optimale Erneuerungszeitpunkt? Können wir noch etwas warten oder haben wir den optimalen Zeitpunkt bereits verpasst? Die Lösung stammt von Shamir and Howard, von mir stammt lediglich die Bezeichnung „Liegestuhlkurve“, und

Sie werden gleich sehen, warum die Bezeichnung „Liegestuhlkurve“ passt.

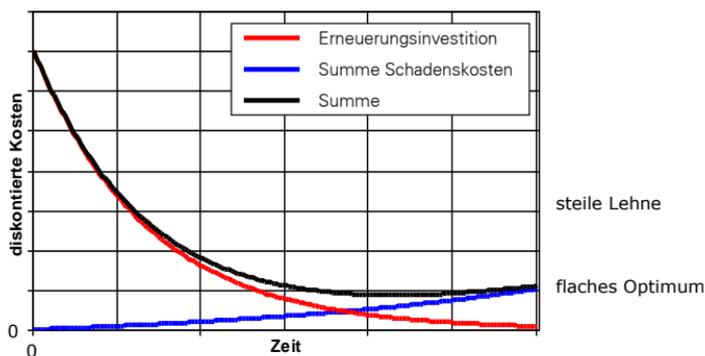


Bild 4 Liegestuhlkurve

An der Abszisse werden die Kalenderjahre abgetragen, beginnend mit heute. An der Ordinate steht der Barwert der Erneuerungsinvestition. Je weiter wir die Erneuerung in die Zukunft verschieben, umso kleiner wird der Barwert der Erneuerungsinvestition, denn der Barwert verzinst sich ja bis zum Erneuerungszeitpunkt.

Je länger wir die Erneuerung hinausschieben, umso mehr Kosten, direkte und indirekte, entstehen für allfällige Reparaturen und entgangene Nutzen. Das summiert sich auf, Jahr um Jahr, und wir gehen davon aus, dass die Schadensfälle - Sie erinnern sich an das Kopfende der Badewannenkurve - altersbedingt zunehmen. Also steigen auch die Schadenskosten, und die aufsummierten Schadenskosten erst recht, und zwar progressiv. Allerdings wirkt auch hier der Diskontierungssatz dämpfend: Die steigenden Schäden in ferner Zukunft sind uns heute nicht so wichtig.

Bis zu einem beliebigen Erneuerungsjahr fallen steigende Schadenskosten an und die Erneuerungsinvestition selbst, also die Summe der beiden Kurven. Der optimale Erneuerungszeitpunkt liegt im Minimum dieser Gesamtkostenkurve.

Das sieht doch wirklich aus wie ein Liegestuhl, auf Englisch: Hammock Chair, und passt sehr gut zum Sachverhalt, und natürlich auch in eine Abschiedsvorlesung. Die wesentliche Erkenntnis, die wir aus der Liegestuhlkurve ableiten können, ist:

Zu frühe Erneuerungsentscheidungen werden ökonomisch härter bestraft als zu späte.

Man kann es sich also im Liegestuhl bequem machen. Es besteht kein Grund zur Hektik, wie wir in Baden sagen: nume net hudle!

Und damit möchte ich meine kurze Abschiedsvorlesung schließen.

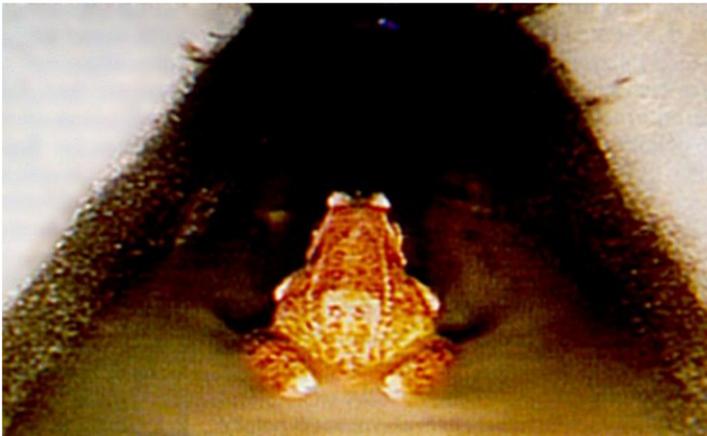


Bild 5 Frosch im Kanal

Übrigens, falls Sie es nicht bemerkt haben: Ich habe die ganze Zeit über die Alterung und Erneuerung von Abwasserkanälen, Gas- und Wasserrohren gesprochen. Aber das können Sie ja auch noch mal in Ruhe nachlesen.

P.S.

Weitere und speziellere Hinweise zum Thema Alterung und Erneuerung stadttechnischer Infrastruktursysteme enthält die kleine Festschrift „10 Jahre Stadtbauwesen im Nürnberger Ei 1996 - 2006“, die am Lehrstuhl Stadtbauwesen erhältlich ist.