Theorie der Warteschlangen

gilt für viele Einrichtungen, wie Ambulatorien, Frisöre, Flughäfen, Verwaltungen, Telefonzentralen usw. Es mögen folgende Annahmen gelten:

- Die Bedienungs**wünsche** sind poissonisch
- Die **Dauer** der Bedienung ist zufällig, gemäß e^{-vt} mit v als Konstante
- jeder Wunsch wird von nur einem, der ***n* „Geräte**" befriedigt
- Die **Plätze** in der Warteschlange sind **unendlich**, *k* davon sind belegt (warten)
- Zwischen denen Bedienungen jedes „Gerätes" gibt es **keine Pause**

Fragen betreffen u.a.:

die **Wartezeiten** der Kunden und
die **Leerlaufzeiten** der „Geräte"

Ein **Verlustsystem** liegt dann vor, wenn

- die Plätze in der Warteschlange nicht unendlich sind und | oder
- wenn Kunden nur bereit sind, eine bestimmte Zeit zu warten

Die Formeln für alle Warteschlangensysteme sind recht kompliziert. Selbst bei groben Vereinfachungen bleiben sie noch unübersichtlich:
Gnedenko; Chintchin: Elementare Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung, S. 158
Ausführlicher in Härtler, G.: Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse. Verlag Technik, Berlin 1983

Poissonscher Punktprozeß

gilt immer dann, wenn der Prozeß aus vielen unabhängigen sich zusammensetzt, wobei der einzelne wenig Einfluß auf die Summe hat. *Beispiele* sind:

- Anrufe in einer Telefonzentrale,
- Meldungen bei Rettungsämtern,
- Ankünfte von Flugzeugen oder Frachtschiffen
- Braunsche Molekularbewegung

Die Prozesse müssen sein:

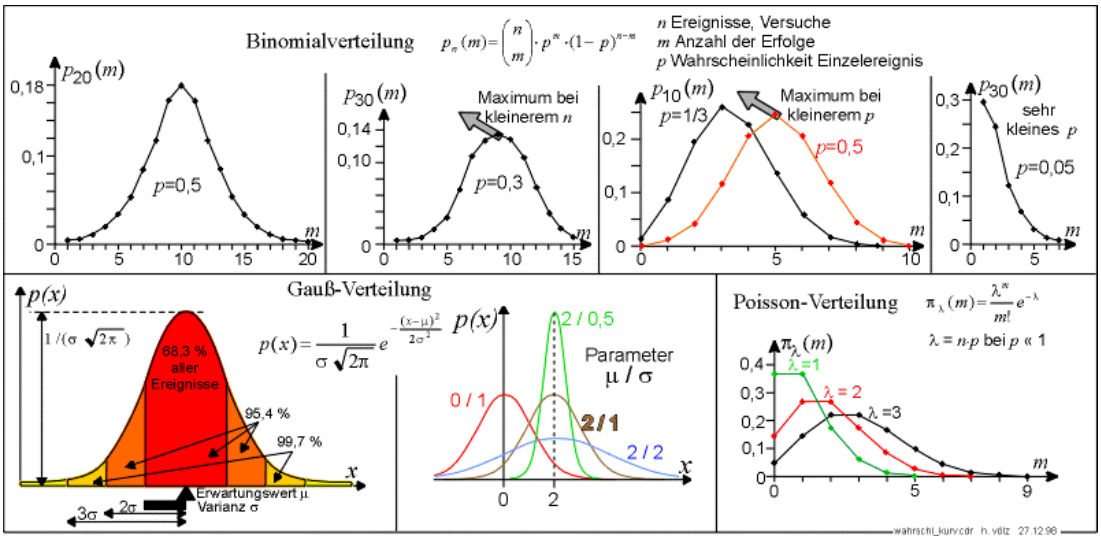
- *stationär*: sich unabhängig vom aktuellen Zeitpunkt gleich verhalten
- *nachwirkungsfrei*: Die Gegenwart wir in keiner Weise vom Vorangegangenem beeinflußt
- *ordinär*: zwei oder mehr Ereignisse sind im sehr kurzen Intervall praktisch nicht möglich

Dann gilt

$$p_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$p_k(t)$ ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß im Zeitintervall t genau k Prozesse auftreten. λ ist eine Konstante, welche die Intensität des Stromes angibt. Die Formel entspricht der Poisson-Verteilung, wenn $t = 1$ gilt.

Bediensysteme



Typen

Verlustsysteme	Warteschlangensysteme
z. B. Telefonanschluß	Es besteht die Möglichkeit zu warten Größe der Schlange: endlich $\Leftrightarrow \infty$

Zufallsgrößen	Beispiele
Anzahl der Forderungen je Zeiteinheit Zeitpunkt jeder Forderung mittlere Dauer je Bedienung	Kunden je Stunde z. B. in Spitzenzeiten Dauer eine Haarschnitts

Technische Auslegungen	Beispiele
Bedienkanäle Länge der möglichen Schlange	Anzahl geöffneter Schalter Sitzplätze, verfügbarer Raum

Kenngrößen für das System

relativer Leerlauf	keine Kunden
relative und absolute Prioritäten	Möglichkeit der Verkürzung

Kenngrößen für Kunden

mittlere Wartezeit	Was ist zumutbar, wann geht der Kunde?
sofortige Bedienung möglich	was muß ich dafür tun, Prioritäten
Wahrscheinlichkeit bedient zu werden	Steht freier Anschluß zur Verfügung

Verkehrstheorie

Hierzu erste Publikation von A. K. Erlang 1917

- Der **Verkehrswert *A*** wir experimentell ermittelt und in Erl (Erlang) angegeben
- Er ist ein statistischer Mittel-, Erwartungswert,
- gilt für ein **Leitungsbündel** aus ***n*** Leitungen und
- gibt an wie viele Leitungen zu einer bestimmten Zeit (z.B. Hauptverkehrszeit) belegt sind

Für 10 Leitungen könnte z. B. 2,5 Erl gelten

Hieraus wird nun berechnet, wie viele Leitungen ***x*** mit welcher Wahrscheinlichkeit belegt sind. Dafür gilt die Erlang-Verteilung:

$$p_x = \frac{A^x / x!}{1 + \sum_{v=1}^{n} \frac{A^v}{v!}}$$

oder wenn p_0 berechnet ist, auch rekursiv

$$p_{x+1} := \frac{A}{x+1} p_x \quad \text{für } x = 1 \text{ bis } n$$

Für große x, insbesondere n, kann sich eine Wahrscheinlichkeit $p_x > 1$ ergeben, dann tritt ein entsprechender Verlust $B = p_x - 1$ auf. Der Grenzwert für alle n Leitungen beträgt:

$$B = \frac{A^n / n!}{1 + \sum_{v=1}^{n} \frac{A^v}{v!}}$$

Als Beispiel sei ein Bündel aus 10 Leitungen und ein Verkehrswert von 2,5 Erl gewählt. Dann gilt für die Wahrscheinlichkeiten der Belegung von x Leitungen

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%	0,684	3,42	14,25	17,81	17,81	14,48	10,60	6,625	3,681	1,840

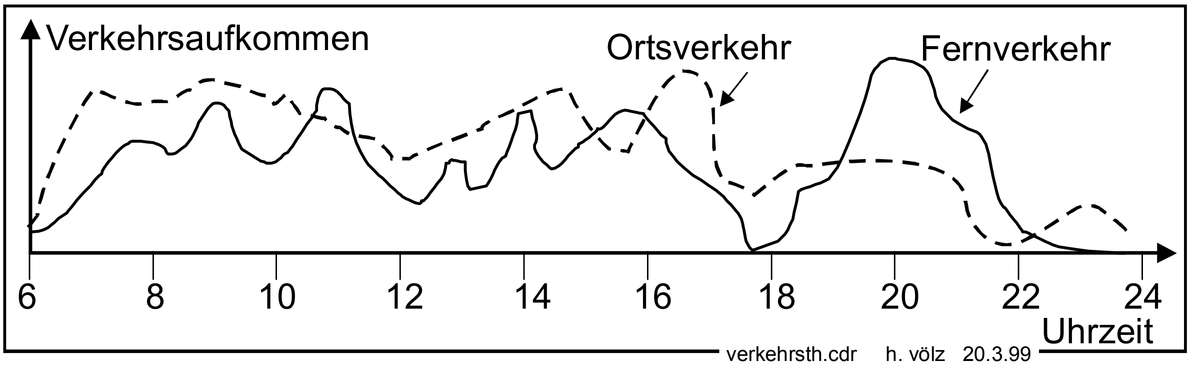
Die Summe beträgt (abgesehen von Rundungen) eins. Für der Verlust folgt B = 1,85%

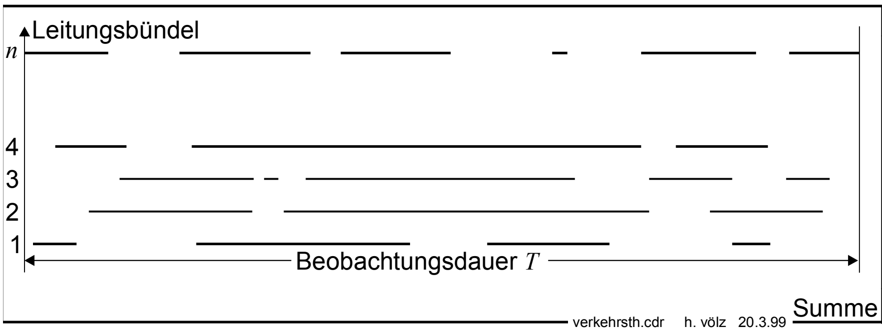
vgl.: Rumpf, K.-H.: Trommeln - Telefone - Transistoren. Verlag Technik, Berlin 1971, S. 40ff.

typische Werte 0.05 Erl/Anschluß: 0,1 - 0,8 Erl/s Hauptanschluß

Verkehrstheorie 2

Der Verkehrsaufkommen wird meist über Viertelstunden gemessen, dabei kann sich der folgende Verlauf ergeben
Die Hauptverkehrsstunde wird über 5 bis 10 Werktage gemittelt. Sie liegt nicht unbedingt zu festen Tageszeiten.

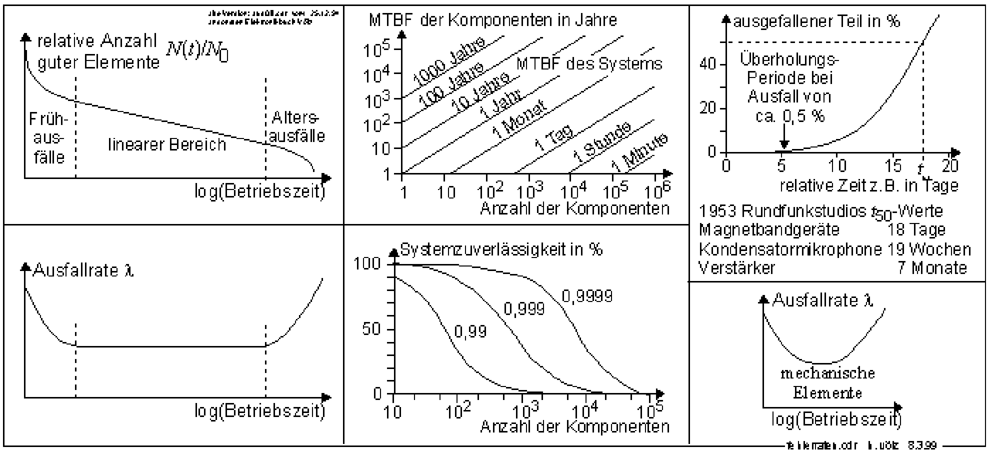


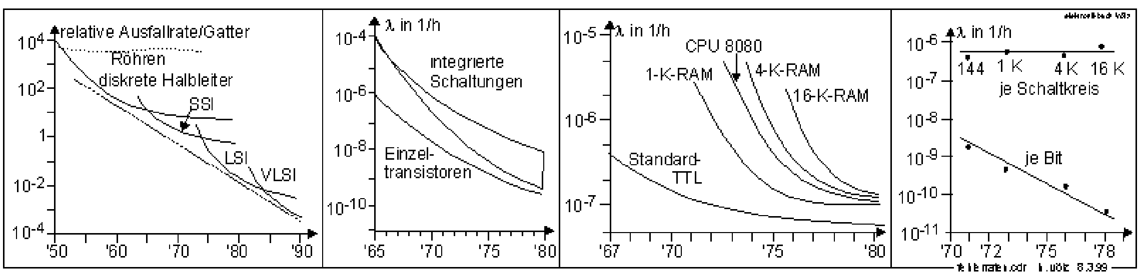


c	t_{sum}	t_{mb}
6	0,610	0,102
3	0,665	0,222
5	0,625	0,125
3	0,680	0,227
4	0,450	0,113
Summe 21	3,03	0,144

Eine detailliertere Bestimmung der Verkehrswerte für ein Bündel ergibt sich aus dem folgenden Bild.
In der Beobachtungsdauer *T* werden auf jeder der *n* Leitungen *c* Aktivitäten beobachtet.
Die Summe der Belegungszeiten je Leitung ist t_{sum}. Daraus ergibt sich eine mittlere Belegung zu

$$t_{mb} = t_{sum}/c$$





Diese Werte lassen sich auch für das Bündel bestimmen. Werden sie auf T normiert so gilt für den Verkehrswert (im obigen Bild sind die Zahlenwerte bereits auf *T* normiert)

$y = t_{mb}/T$ in Erlang

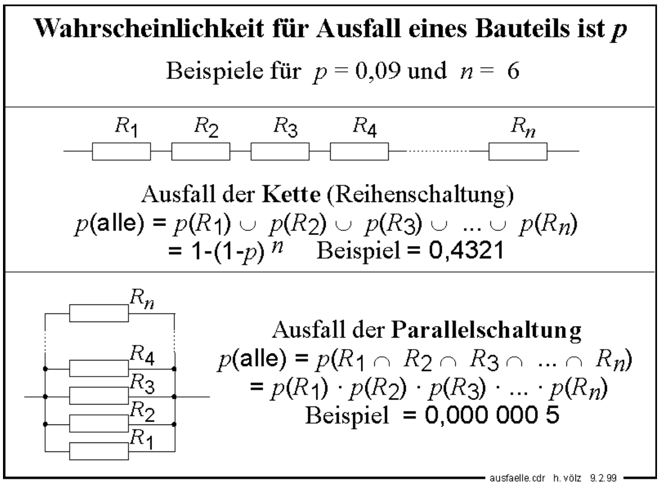
Typische Werte sind:

Nebenstellen, gemittelt	0,2 Erl
öffentlicher Anschluß gemittelt	0,1 Erl
Hauptverkehrsstunde	0,8 Erl
Leitungen zwischen Nebenstellen	0,8 Erl

Eine weitere Größe ist die Anzahl der *Belegungsversuche B*, einschließlich Verluste (besetzt)
Mit der mittleren Belegungszeit t_{mb} ergibt sich das Vekehrsangebot $A = t_{mb} \cdot B$. Es kann die Leistung des Bündels übersteigen. Hieraus lassen sich Warte- und Verlustzeiten bestimmmen.

Geschichte Zuverlässigkeit

1917 A. K. Erlang publiziert erste Arbeit zur Verkehrstheorie
1930 V. M. Montsinger erste Arbeit; Zuverlässigkeit elektrischer Maschinen, 8-K-Regel
1942 Bössing, theoretische Zusammenhänge zur Zuverlässigkeit
1950 Beginn experimenteller Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von Bauelementen
1951 Zuverlässigkeit bei Radar-/Feuerleitgeräten USA entscheidend im Koreakrieg
1955 Zuverlässigkeit von Bauelementen mindert bei Rechnern erheblich den Betrieb
1958 Störungen im Funkverkehr durch Atomexplosionen, EMP noch nicht erkannt
1960 Zuverlässigkeit wird bei Raumfahrt wichtig
1962 8.7. Atomversuch 350 km Höhe, Stromversorgung Honolulo bricht zusammen, EMP
1978 Entdeckung der Alpha-Strahlungsfehler in DRAM, Tim May



MTTF mean-time to failure, gilt ohne Reparatur bis ein Fehler eintritt
MTBF meantime between failure, gilt mit Reparatur bis zum Eintreten des nächsten Fehlers

Typische Eigenschaften von Zufallsgeneratoren

Echter Zufall algorithmisch nicht möglich, daher Pseudozufall:

- *Wiederholbarkeit*: Es soll reproduzierbare Zufallsfolge möglich sein
- *Echter Zufall*: Es soll wirklicher Zufall möglich sein
- *Periodenlänge*: Wiederholung von Zahlen der Zufallsreiche soll sehr spät erfolgen
- *Verteilung der Zahlen*; innerhalb {0, 1} soll Gleichverteilung herrschen
  Zwischen den ersten beiden Punkten wird die Auswahl über
  seed (engl.: Samen, Saat, Keim) realisiert

Beispiel dafür sind Befehle der folgenden Art:
RND(X): hierin bedeutet

- X < 0 X ist seed bestimmt Startwert der neuen Zufallsfolge.
- X = 0 letzter Zufallswert wird wiederholt
- X > 0 Zufallsfolge wird fortgesetzt, X hat keine Bedeutung.

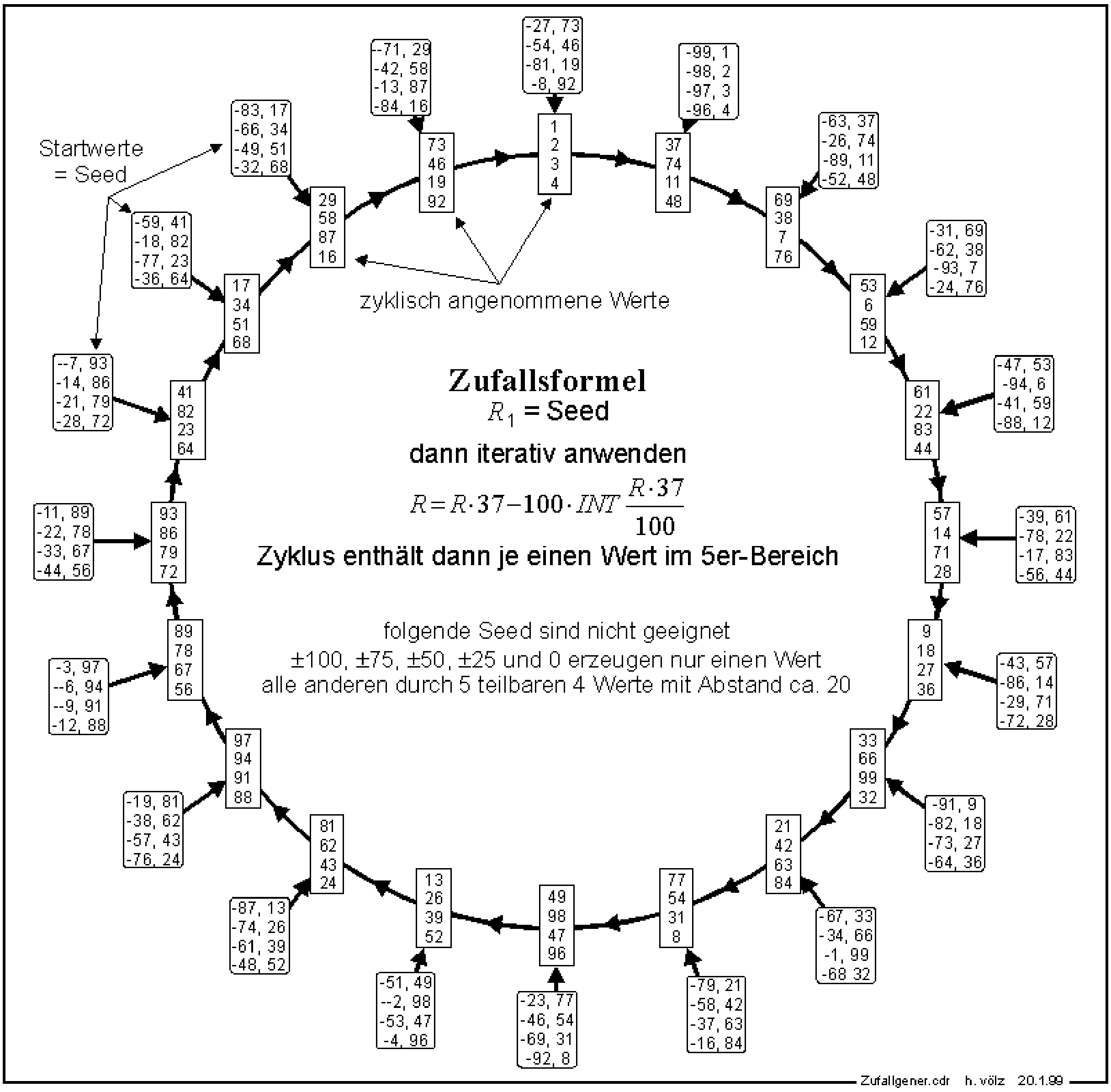
RANDOMIZE erzeugt also einen zufälligen Startwert durch zufälliges seed:
wählt es z. B. aus Refreschregister Adresse oder aus Sekunden der Uhr

Bei hinreichend vielen Zufallszahlen aus {0, 1} muß gelten:
Mittelwert ≈gegen 0,5 und Streuung ≈ 0,288675

Typische Zufallsgeneratoren

- **J. v. Neumann** wohl am ältesten, mittlere Ziffern aus Quadratzahlen <1
  z. B. $(0{,}9876)^2 = 0{,}97\mathbf{5353}76 \to 0{,}5353$ usw.
  Methode hat sich nicht bewährt, es entstehen zuviel kleine Werte
- **simple Methode** *S* seed; *M* Modul (Arithmetik) *F* Faktor;
  $F \approx M/2$ aber teilerfremd; Beispiel M=100; F=37, Seed z. B. -1
  $$x := x \cdot F: \; x := x - M \cdot \mathrm{INT}(x/M)$$
  seed nicht ganzzahlig dann eventuell auch sehr lange Perioden
- **D. Lehner** (1951) Methode der *linearen Kongruenz* ein, seed nötig:
  $$x := x \cdot b + 1; \; \mathrm{MOD}(m)$$
  $m \approx$ Grenze des Computerbereiches; » 1; z. B.:
  $x := 5^{17} \cdot x$ MOD(2^{40}); Normierung auf {0,1} mit 2^{-40}.
  benötigt 40stellige Zahlen, Periodenlänge beträgt 2^{38}.
  Abwandlung für 36stellige Zahlen mit MOD(2^{36}), Periodenlänge 2^{34}
  Abwandlung **Knuth**: Zweier- oder Zehnerpotenz, *b* endet auf *x*21, *x* gerade
- **Taschenrechner**: $x := \mathrm{FRAC}(997 \cdot x)$, $s = 0{,}5284163$
  Periodendauer bei 10stelligen Zahlen 500 000; weitere Varianten
  $x := \frac{4835715066 \cdot x + 99991}{199017}$ (TI) oder $x := \mathrm{FRAC}[(x + \pi)^5]$
- Mit XOR rückgekoppelte **Schieberegister** (Fehlerkorrektur sind möglich

Theoretische Grundlagen in **[SED]** S. 577ff; u.a. bzgl. Lehner und Knuth



Transformation der Zufallszahlen
Ausgang Gleichverteilung in {0, 1}

- *Gleichverteilung* nach $\{a,b\}$ durch $y = (b-a)\cdot x+a$
- *Normalverteilung:* Standardabweichung σ, Mittelwert m

  $v_1 = 2\cdot x_i - 1$ und $v_2 = 2\cdot x_{i+1} - 1$ und $t = v_1^2 + v_2^2$

  falls $t \geq 1$ Werte verwerfen und nächsten zwei x_i nehmen:

  $$n_i = \sigma \cdot v_1 \cdot \sqrt{\frac{-2\ln(s)}{t}} + m \qquad n_{i+1} = \sigma \cdot v_2 \cdot \sqrt{\frac{-2\ln(s)}{t}} + m$$
- E*xponentialverteilung,* Mittelwert μ: $z_e = -\mu\cdot\ln(x)$

Erhebung ⇔ Versuch

Erhebung: ermittelt Zustände in der objektiven Welt
Versuch: sucht nach Ursachen, Bedingungen und Wirkungen

statistische Tests

Sie dienen der **Entscheidung** über die Gültigkeit einer Hypothese.
Die wichtigen **Methoden** sind Normal-, t-, F- und χ^2-Test.
Derartige Test-Methoden werden der ***schließenden Statistik*** zugeordnet.
Es werden Stichproben benutzt, die eine **Grundgesamtheit** in zwei Varianten betreffen:

- bei ***endlicher Anzahl*** der alle Ojekte, z. B. Wähler in Deutschland, Bäume eines Waldes
- den ***Wertevorrat,*** z. B. bei Messungen, die ständig wiederholt werden können, als formal eine *unendliche* Anzahl.

Die **Stichproben** erfassen in beiden Fällen eine vergleichsweise (sehr) kleine Anzahl, die aber passend **repräsentativ** ausgewählt werden muß, u.a.:

- Die Auswahl muß ***unabhängig*** vom zu testenden Ergebnis sein:Wahl: Menschen am 31.7. geboren (Personen, die an Horoskope glauben können allerdings anderer Meinung sein)
- Es müssen wohldefinierte **T*eilgrundgesamtheiten*** berücksichtigt werden (Männer / Frauen / Kinder; Altersgruppen; Berufe usw.)
- Es muß ein *hinreichend* ***großer Stichprobenumfang*** gewählt werden

In der Regel wird eine Normalverteilung der Stichprobenwerte angenommen.

Es gibt dann zwei **Hypothesen:** eine Grund- oder Null-Hypothese H_0 und eine gegensätzliche Arbeits- (abzulehnende) Hypothese H_A (Gegenteil von H_0). Gleichwertig ist die Formulierung: Wie sicher ist H_0?, Beispiele für $\boldsymbol{H_0}$ sind:

- Müssen die Erzproben aus Lagerstätte *A* und *B* unterschieden werden?
- Ist der Umfang der Bäume in diesem Wald normalverteilt?
- Ist der vorliegende Würfel ideal?
- gehören zwei Meßreichen zur gleichen Grundgesamtheit?

Bezüglich einer Nullhypothese θ_0 werden *unterschieden*:

- die *einseitige* Alternative H_A: $\theta > \theta_0$ bzw. $\theta < \theta_0$.
- die *beidseitige* Alternative H_A: $\theta \neq \theta_0$

Es können nur einzelne Merkmale der Stichproben (t-, F-Test) oder die gesamte Verteilungsfunktion der Stichproben untersucht werden (z-, χ^2-Test)

Die ermittelte **Irrtumswahrscheinlichkeit** α bestimmt die Grenze zwischen Ablehnung und Zustimmung:

α sehr klein führt immer zur Annahme von H_0
α sehr groß führt immer zur Annahme von H_A

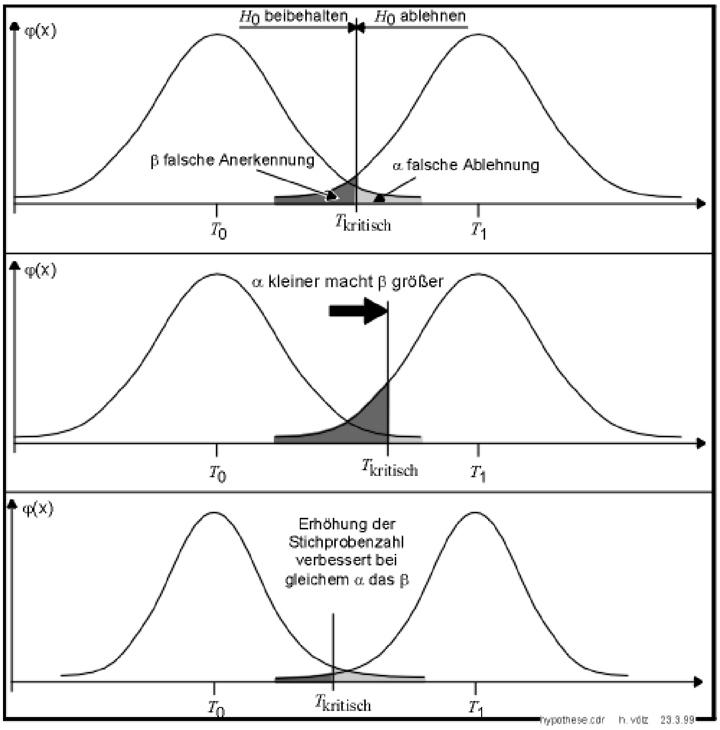
$0{,}01 \leq \alpha \leq 0{,}05$ sind typische, günstige Werte und
bei $\alpha < 0{,}005$ bzw. $\alpha > 0{,}1$ ist aber immer größte Vorsicht (Manipulation) angebracht

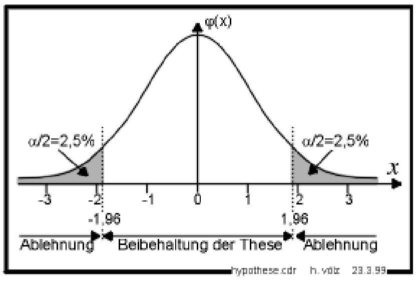
Rechnerprogramme geben ***P*-Wert** aus, der den Umschlagpunkt von H_0 nach H_A anzeigt.

- $P \geq 0{,}1$ H_0 annehmen,
- $P < 0{,}01$ H_0 ablehnen,
- dazwischen ist α als Vergleichsgröße zu wählen.

Es gibt auch graphische Tests, z.B. Gerade im Wahrscheinlichkeitspapier

Stoyan: Stochastik für Ingenieure und Naturwissenschaftler
Gränichen: Messung beendet - was nun?





S-Kurven für Prognosen

S-Kurve leitet sich aus der Verhulst-Gleichung ab. Die Änderung der Anzahl d$N(t)$/dt ist proportional zu:

- Geschwindigkeitskonstanten a
- aktuellen Anzahl $N(t)$ und
- noch verfügbaren relativen Ressourcen $[M - N(t)]/ N(t)$

$$\frac{dN}{dt} = a \cdot N(t) \cdot \frac{M - N(t)}{M}$$

M ist die maximal verfügbare Ressource = Maximum von $N(t)$

Durch Integration folgt mit einer Integrationskonstanten b für den zeitlichen Startpunkt

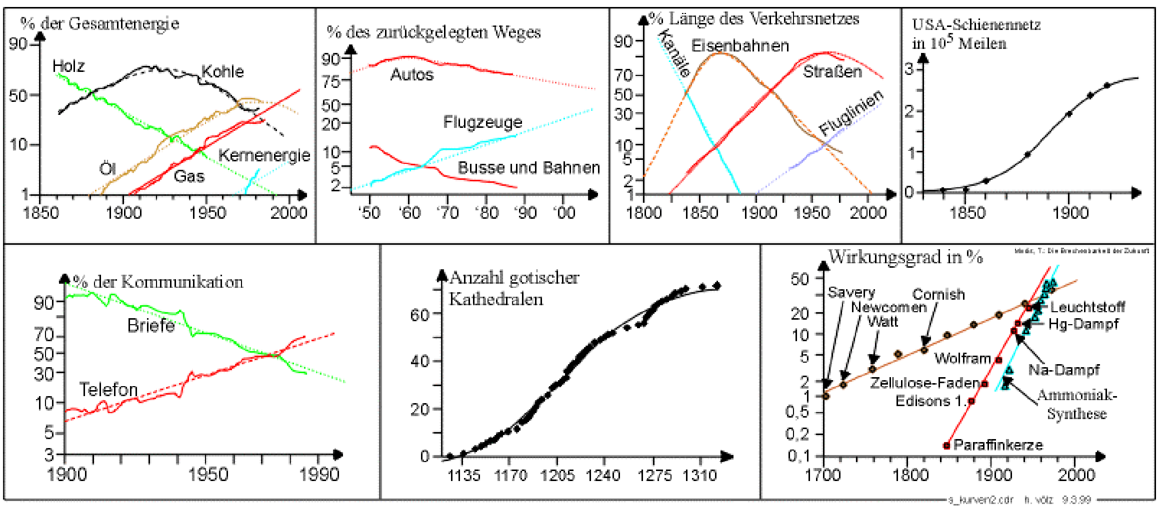
$$N(t) = \frac{M}{1 + e^{-(a \cdot t + b)}}$$

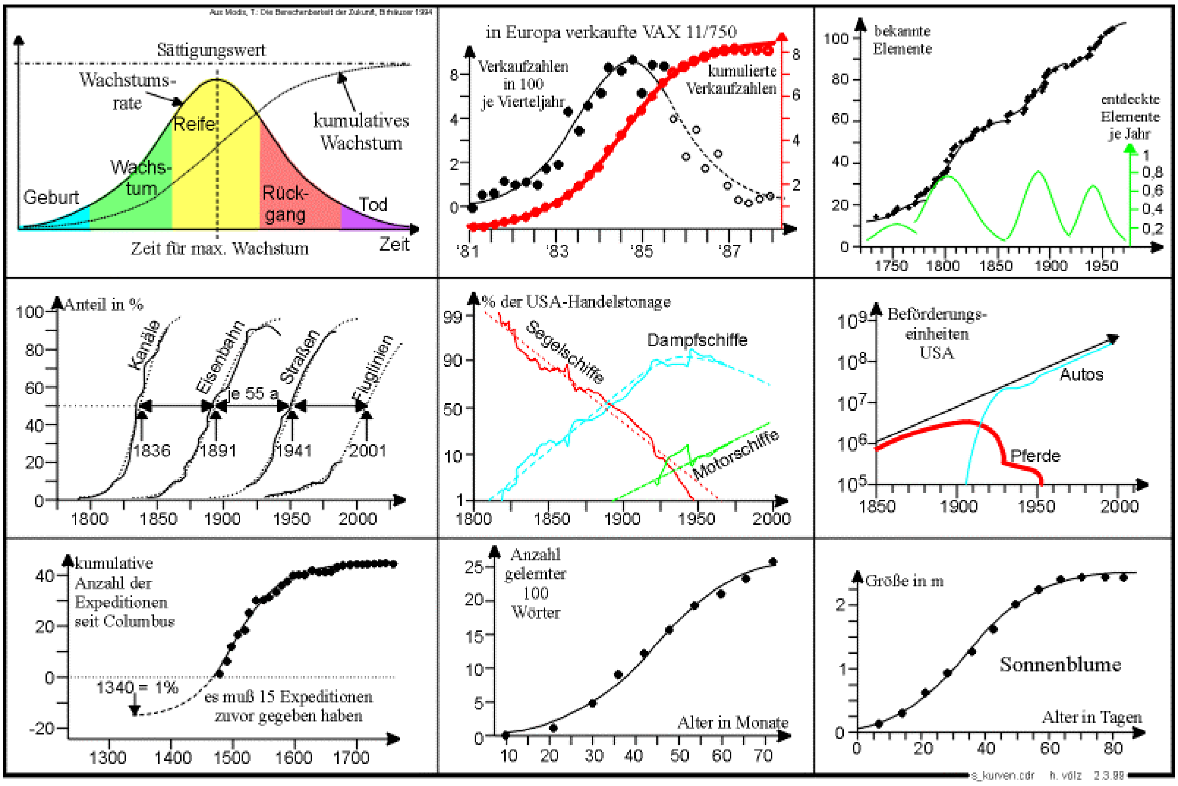
Durch Auflösen nach $N(t)$ und Logarithmieren folgt die S-Kurve

$$\log\left(\frac{N(t)}{M - N(t)}\right) = a \cdot t + b$$

vgl.: Modis, T.: Die Berechenbarkeit der Zukunft; Birkhäuser; Basel - Boston - Berlin, 1994

Enthält viele Beispiele zu **S-Kurven** und Produktionszyklen.





Fehlertoleranz

Im modernen Alltag ist jeder ständig von Computern umgeben, und von ihrer Zuverlässigkeit abhängig. Diese Ausarbeitung soll einen Einblick in die Geschichte der fehlertoleranten Systeme, ihre Entwicklung, und ihre Anwendungsbereiche geben. Historisch gesehen, waren fehlertolerante Computersysteme meist nur in wenigen Bereichen zu finden:

- Militär
- Industrie
- Raumfahrt
- Kommunikations-Aufgaben
- Bankwesen

Der Hauptgrund dafür waren die immensen Kosten die mit der Anschaffung und Wartung eines solchen Systems verbunden waren. In vielen Bereichen waren solche Systeme aber damals auch einfach nicht nötig, weil die Gesellschaft wesentlich weniger von der einwandfreien Funktion dieser Systeme abhängig war, als es heute der Fall ist. Über die Jahre hat sich der Einsatzbereich von Computern, und somit der Bedarf an Fehlertoleranz, stark vergrößert.
Wichtige Gründe dafür sind:

- Extremere Bedingungen:

Immer häufiger werden Computersysteme in Bereichen eingesetzte, die keine optimalen Bedingungen (schlechte Belüftung, hohe Temperaturen und Feuchtigkeit) bieten. Instabile Stromversorgungen (z.B. Solarstrom) und elektromagnetische Interferenzen spielen auch eine immer größere Rolle.

- Unerfahrene Benutzer:

Weil die Computer in immer mehr Bereichen eingesetzte werden, haben auch immer mehr Menschen mit ihnen zu tun, und es ist nicht mehr möglich alle im Umgang mit diesen Systemen optimal zu schulen.

Begriffseinordnung

Im Folgenden werden einige Begriffe erläutert, die in dieser Ausarbeitung wiederholt Verwendung finden, und die somit zum Verständnis vorrausgesetzt werden.

Redundanz Mehrfachrealisierung von Subsystemen, wobei eine einfache Realisierung zum Erfüllen der spezifizierten Funktion ausgereicht hätte2. Die zusätzlichen Subsysteme übernehmen im Fehlerfall die Aufgabe des primären Subsystems. Häufig werden die redundanten Subsysteme auch gleichzeitig eingesetzt, um die Leistung des Systems zu erhöhen. Im Fehlerfall wird durch die Abschaltung des fehlerhaften Subsystems dann lediglich die Leistung reduziert.

Zuverlässigkeit Fähigkeit zur Erfüllung der vorgegeben Funktion unter festgelegten Betriebsbedingungen für einen vorgegebenen Zeitraum.

Verfügbarkeit Wahrscheinlichkeit zur Zeit *t* die Systemanforderungen erfüllen zu können. Auch: Verhältnis zwischen der mittleren Zeitdauer der Betriebsbereitschaft zur mittleren Zyklusdauer aus Betriebs- und Instandsetzungsdauer.

Einzelfehlerannahme Häufig müssen zur Lösung eines Problems vereinfachende Annahmen gemacht werden. Im Falle der Fehlertoleranz ist dies meist die sogenannte Einzelfehlerannahme. Dabei wird davon ausgegangen, dass nur ein Fehler zur gleichen Zeit auftritt, und der Rest des Systems fehlerfrei arbeitet. Dies ist für viele fehlertolerante Lösungen Vorraussetzung. Um zum Beispiel sicherzugehen, dass ein ermitteltes Ergebnis korrekt ist, wird es mit zwei Prozessoren berechnet, und anschließend verglichen. Sind die Ergebnisse unterschiedlich kann das richtige Ergebnis nicht ermittelt werden. Nimmt man noch einen dritten Prozessor hinzu, kann man auch bei einem defekten Prozessor immer noch das richtige Ergebnis ermitteln. Sollte jedoch mehr als ein Fehler auftreten, ist dies nicht mehr möglich.

Fehlertoleranz Unter Fehlertoleranz wird die Fähigkeit eines Systems verstanden, auch mit einer begrenzten Zahl fehlerhafter Subsysteme seine spezifizierte Funktion erfüllen zu können. Bei nicht fehlertoleranten Systemen wird in der Regel nur die minimale Anzahl von Komponenten vorgesehen, die zur Erfüllung einer Aufgabe notwendig ist. Jeder Ausfall einer Komponente führt in diesem Fall zum Ausfall des Systems. In FT Systemen benutzt man daher Redundanzen, um die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit eines Systems zu erhöhen.

Wozu werden FT-Systeme benötigt ?

In einigen Bereichen waren und sind absolut zuverlässige (fehlertolerante) Systeme notwendig, und auch nur geringste Ausfallzeiten können nicht toleriert wird. Solche Systeme sind zum Beispiel:

- Steuerungs- Anlagen für Atomkraftwerke und Raketen
- Medizinische Anlagen
- Flugleit- und Steuerungssysteme
- Raumfahrt Systeme

Aber auch Anlagen die keine direkte Gefährdung von Leben darstellen, wie

- Telefon Vermittlung
- Transport Logistik
- Buchungs- und Transaktionssysteme

müssen eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen, da ihr Ausfall hohe Kosten oder Komplikationen nach sich ziehen würde. In diesen Bereichen wurden fehlertolerante Mechanismen entwickelt und verbessert, und erreichten den heutigen Stand, auch wenn die meisten Computeranwender nur in sehr wenigen Bereichen direkt mit Fehlertoleranz in Kontakt kommen.

Anforderungen an ein FT-System

Im Folgenden werden die wichtigsten Anforderungen an ein fehlertolerantes System , und wichtige Begriffe die damit verbunden sind erläutert:

- Datenintegrität

Es dürfen keine unerwünschten Veränderungen an den Daten auftreten, so dass nach einer Reparatur der Maschine problemlos weiter gearbeitet werden kann.

- Funktionskontinuität

Kurzzeitige Ausfälle und Unterbrechungen sind häufig unproblematisch, und daher meist erlaubt. Längere Ausfälle sind in der Regel sehr teuer, und daher auf jeden Fall zu vermeiden.

- Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit steht in direktem Zusammenhang mit der Ausfallwahrscheinlichkeit. Wird die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls minimiert, wird gleichzeitig die Zuverlässigkeit maximiert.

- Verfügbarkeit

Ist das System kurzzeitig (im Bereich von wenigen Sekunden) nicht verfügbar, stellt das im Zusammenhang mit menschlichen Benutzer kaum ein Problem dar. Sollen aber z.B. in einem Echtzeitsystem Daten gesammelt werden, ist eine hohe Verfügbarkeit
unerlässlich.

- Lebensdauer

Die Lebensdauer charakterisiert die Zeitdauer bis zum Systemausfall. Sie wird durch Fehlertoleranzmaßnahmen erhöht.

- Instandhaltbarkeit

Wenn es möglich ist defekte Komponenten auch während des Betriebs, oder auch vorbeugend zu ersetzen, trägt dies wesentlich zur Erhöhung der Funktionskontinuität und Zuverlässigkeit bei. Je einfacher es ist Reparaturen schnell auszuführen, desto höher ist die Verfügbarkeit.

- Leistungsverhalten

Das Leistungsverhalten definiert sich aus dem Durchsatz der zu bearbeitenden Aufgabe und der Reaktionszeit des Systems. fehlertolerante Systeme weisen meist auch ein gutes Leistungsverhalten bei hoher Belastung aus, weil oft redundante Komponenten zur Lastverteilung eingesetzt werden.

Welche Arten von FT-Systemen gibt es ?

Man kann die fehlertoleranten Systeme nach verschiedenen Gesichtspunkten gruppieren, und es ist teilweise sehr umstritten, welche Form der Einteilung optimal ist. In vielen Fällen sind die Begriffe nicht eindeutig zuzuordnen, was auch durch werbewirksame Wortschöpfungen der Hersteller verstärkt wurde. Folgende Begriffe scheinen sich aber nach [OL 09] etabliert zu haben, und sind auch eindeutig definiert:

Verfügbarkeits-Ebene	Verfügbarkeit	Ungefähre Ausfallzeit
Durchgehende Verfügbarkeit	99,999% bis 99,9995%	2,628 bis 5,256 min. / Jahr.
Kommerzielle Fehlertoleranz	99,99% bis 99,995%	26,28 bis 52,56 min. / Jahr.
Fehler beständig	99,99%	52,56 min. / Jahr.
Hoch-Verfügbarkeit	99,9%	8,76 St. / Jahr.

Quelle: Telecom Customer Request for Information, 1994 [OL 09}
Nach Markus Debus: http://www.markus-debus.de