

ISSN 0172-7613

Forschungsbericht 81

BUNDESANSTALT FÜR
MATERIALPRÜFUNG (BAM)

BERLIN

Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik

von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt

Dezember 1981

17 Seiten mit 15 Abbildungen und 3 Tabellen; 24 Seiten Anhang

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon 030/8104-1
Telex 01-083 261 bamb d

Kurzfassung

Die Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe in Abhängigkeit von der Zündbelastung ist ein Kriterium für die sicherheitstechnische Beurteilung der Stoffe und der Gegenstände, in denen zündbare Stoffe verarbeitet sind. Zur Registrierung dieser Abhängigkeit werden den Meßpunkten graphisch und rechnerisch Summenhäufigkeitskurven angepaßt. Diese auch als S-Kurven bezeichneten Kurvenzüge sind aus Verteilungen abgeleitet, die im Bereich der Statistik gebräuchlich sind.

Aus zwei Gründen sind solche Verfahren unbefriedigend:

1. Extrapolationen aus dem Bereich der Meßpunkte zu sehr geringen Zündhäufigkeiten (Empfindlichkeit zündbarer Stoffe) und zu sehr hohen Zündhäufigkeiten (Züandsicherheit, z.B. von Zündern) sind unsicher. Somit sind solche Extrapolationen für sicherheitstechnische Belange unzulänglich.
2. Die Beträge der Zündbelastung sind keine Zufallsvariablen, sondern in der jeweils festgelegten Prüfmethode nach Art und Betrag definierter Größen.

In der Arbeit wird eine als X^a -Theorem bezeichnete Beziehung zwischen der Zündhäufigkeit und der für diese ursächlichen Zündbelastung angegeben. Auf der Grundlage dieses Theorems wird ein Verfahren entwickelt, mit dem auf dem Wege über eine graphisch-rechnerische Linearisierung im Doppel-Logarithmennetz Häufigkeitskurven zu erhalten sind, die den Meßpunkten optimal angepaßt werden können. Diese Kurven eignen sich für Extrapolationen aus dem Meßbereich heraus in die Grenzbereiche der Zündhäufigkeit. Das X^a -Theorem enthält vier Parameter, so daß für den Zweck der Anpassung von S-Kurven an Meßpunkte-Kollektive eine hohe Flexibilität gegeben ist.

Anhand einiger Beispiele von Prüfobjekten mit unterschiedlichen Zündmechanismen wird das Verfahren erprobt. Ferner wird das Verfahren versuchsweise auf Beispiele angewendet, deren Datenmaterial üblicherweise in dem Bereich der Statistik verarbeitet wird; denn auch in diesem Sachbereich sind Extrapolationen in die Grenzbereiche der Verteilung häufig von Interesse.

Summary

The frequency of ignition of ignitable substances in dependence on the stimulus level is a criterion for the safety engineering of the substances and of devices incorporating ignitable substances. For registration of such correlations cumulative frequency curves are adapted to the measured values graphically and arithmetically. Such curves, so-called S-curves, are deduced from distributions used in the field of statistics.

Those procedures are unsatisfactory for two reasons:

1. Extrapolations out of the area of the measured values to very low ignition frequencies (sensitivity of ignitable substances) and to very high ignition frequencies (safety of ignition, e.g. of fuses) are doubtful. Thus such extrapolations are insufficient for safety engineering.
2. The values corresponding to the stimulus levels are not random variables but figures defined as to type and degree in each case by the fixed test methods.

In this paper a relation is presented between the ignition frequency and the stimulus level causal for this frequency. On the basis of this relation, the so-called X^a -theorem, a procedure is developed by which by way of a graphical-arithmetical alignment on twofold-logarithmic paper straight lines are obtained which can be adapted optimally to the measured values. These graphs are suitable for extrapolations out of the measurement area into the boundary areas of the ignition frequency. The X^a -theorem embodies four parameters, so that for the purpose of adaption of S-curves to measured value collectives a high degree of flexibility is given.

The procedure is proved by some examples concerning test objects of different ignition mechanisms. Beyond that the procedure is applied tentatively to examples the data collection of which usually is treated in the field of statistics, since also in this field extrapolations into the boundary areas of the distribution are often of interest.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	1
2. Die grundlegenden Überlegungen	1
3. Erprobung des χ^2 -Theorems an Ergebnissen von Zündtesten	3
3.1 Die Zündhäufigkeit von Zündhölzern	3
3.2 Die Zündhäufigkeit eines elektrischen Zünders	5
3.3 Die Empfindlichkeit von Explosivstoffen gegen Reibbelastung	6
3.4 Die allgemeine Form des χ^2 -Theorems	8
4. Das technische Vorgehen bei der Parameterbestimmung an einem Beispiel der Erfassung von Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik	10
5. Zusammenfassung	16
 Anlage 1	 18
I. Zündhäufigkeit von drei Sorten Zündhölzer (Tabellen)	
II. Schlagempfindlichkeit von Hexogen	
III. Lineare Regression im Doppel-Logarithmennetz	
 Anlage 2	 22
Zündhäufigkeit eines elektrischen Zünders (Tabelle)	
 Anlage 3	 23
I. Reibempfindlichkeit von Nitropenta (Tabelle)	
II. Reibempfindlichkeit von Oktogen	
 Anlage 4	 26
I. Zündhäufigkeit eines Brückenzünders (Tabelle)	
II. Korrekturen von Meßpunkten, die infolge von Zufallserscheinungen von den errechneten Kurvenzügen abweichen	
III. Schlagempfindlichkeit von Propylnitrat	
IV. Schlagempfindlichkeit einer Zündholzkopfmasse	
 Anlage 5	 33
I. Längenmerkmal als Zufallsvariable	
II. Gesundheitsschädlicher Luftbestandteil als Zufallsvariable	
III. Ausfallverteilung mit der Betriebszeit als Zufallsvariable	
IV. Korngrößendurchmesser als Zufallsvariable	

1. Einleitung

Für die sicherheitstechnische Beurteilung zündbarer Stoffe werden Prüfmethode angewendet, mit denen ermittelt wird, wie die Zündhäufigkeit der Stoffe von der auslösenden Belastung abhängt. Zur graphischen Darstellung und zum rechnerischen Erfassen dieser Abhängigkeit werden Beziehungen herangezogen, die dem Bereich der mathematischen Statistik angehören. Mit Hilfe der Gleichung für die integrierte Normalverteilung, also für die Verteilung der Summenhäufigkeit, werden als S-Kurven bezeichnete Kurvenzüge an die Meßpunkte angepaßt (Bild 1). Häufig lassen sich Meßpunkte, die mehr oder weniger weit von der Belastung entfernt liegen, bei der 50 % der Teste zu Zündungen führen, nur erfassen, indem die Belastungswerte einer formal-mathematischen Transformation unterworfen werden. Extrapolationen in die Bereiche sehr geringer Zündhäufigkeit (von Interesse für die Empfindlichkeit zündbarer Stoffe) und sehr hoher Zündhäufigkeit (von Interesse für die Zündsicherheit, z.B. von Zündern) mit Hilfe von Beziehungen, die die Normalverteilung zur Grundlage haben, sind unsicher. Darum sind registrierende Erfassungen auf dieser Grundlage für sicherheitstechnische Belange unzureichend.

Zudem kann die Anwendung der mathematischen Statistik auf die Abhängigkeit der Zündhäufigkeit von der Zündbelastung grundsätzlich nicht befriedigen; denn in festgelegten Prüfmethode sind die Zündbelastungen der Stoffe keine Zufallsvariablen, sondern nach Art und Betrag definierte Größen.

In dieser Ausarbeitung soll ein Verfahren hergeleitet und an Hand von Beispielen erläutert werden, mit dem ein Zusammenhang zwischen der Zündhäufigkeit und der auslösenden Zündbelastung der zündbaren Stoffe hergestellt werden kann, das nicht die Normalverteilung zur Grundlage hat. Anhand weiterer Beispiele wird gezeigt, dass sich mit dem Verfahren offenbar auch Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik zusammenfassend registrieren läßt.

2. Die grundlegenden Überlegungen

In der skizzierten S-Kurve des Bildes 1 ist die nach Art und Betrag definierte Belastung des zündbaren Stoffes (z.B. ein definierter mechanischer Stoß, eine bestimmte Zündspannung oder ein vorgegebener Einschluß der Stoffproben) mit x als Abszissen-größe bezeichnet. Die zugehörigen Ordinaten-größen sind die An-zahlen z an Zündungen, bezogen auf die Anzahl v an Testen, also die Zündhäufigkeit $p = z/v$.

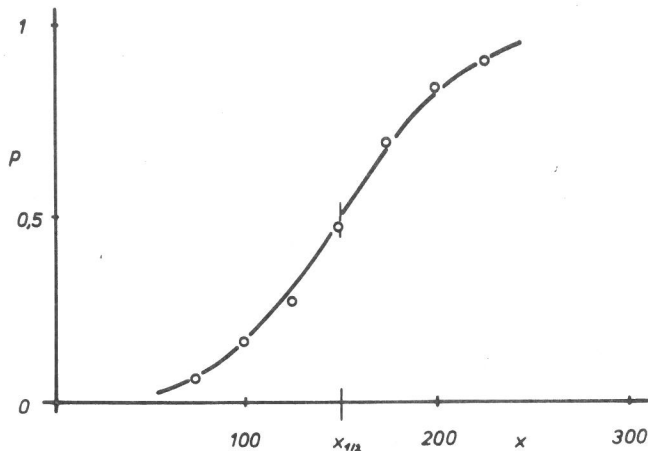


Bild 1:

Zündhäufigkeit $p = z/v$
in Abhängigkeit von der Zünd-
belastung x (Skizze).

v = Anzahl an Testen

z = Anzahl an Zündungen bei v Testen

Es wird gefragt, wieviele Teste y auszuführen wären, wenn bei einer Belastung x , die bei v Testen z Zündungen auslöst, v Zündungen auftreten sollen, also:

$$\frac{y}{v} = \frac{v}{z} ; y(x) = \frac{v^2}{z} \quad (1)$$

Aus den Meßpunkten des Bildes 1 läßt sich mit dieser Beziehung der Kurvenzug des Bildes 2 konstruieren.

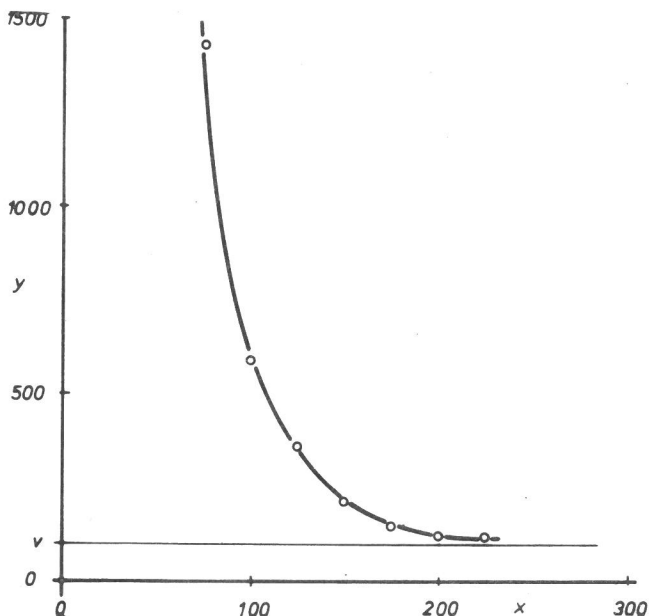


Bild 2:

$y = v^2/z$ in Abhängigkeit von
der Zündbelastung x (Skizze).

Es wird die analytisch-geometrische Hypothese aufgestellt, daß dieser Kurvenzug eine Hyperbel der Ordnung a mit den Asymptoten $x_{as} = 0$ und $y_{as} = v$ ist, also:

$$(y-v) x^a = c = \text{const}; y = v + \frac{c}{x^a} \quad (2)$$

Das Gleichsetzen von y aus den Beziehungen (1) und (2) ergibt:

$$\frac{z}{v-z} = \frac{v}{c} x^a$$

Diejenige Belastung des Stoffes, die bei 50 % der Teste zu Zündungen führt, wird mit $x_{1/2}$ bezeichnet, also:

$$1 = \frac{v}{c} x_{1/2}^a$$

Somit ist:

$$\frac{z}{v-z} = \frac{x^a}{x_{1/2}^a}$$

Mit der Definition für den als "Alternativen-Quotienten" bezeichneten Quotienten:

$$q = \frac{z}{v-z} \quad (3)$$

ist schließlich:

$$q = \frac{x^a}{x_{1/2}^a} \quad (4)$$

Diese Beziehung wird als " X^a -Theorem" bezeichnet; sie sagt aus:

Der Alternativen-Quotient ist proportional zu dem mit a potenzierten Betrag der Belastung x . Der Kehrwert des Proportionalitätsfaktors ist derjenige mit a potenzierte Betrag der Belastung $x_{1/2}$, bei dem 50 % der Teste zu Zündungen führen.

3. Erprobung des X^a -Theorems an Ergebnissen von Zündtesten.

An Hand von Auswertungen der Meßergebnisse von Testen an Prüfobjekten mit unterschiedlichen Zündmechanismen soll gezeigt werden, daß das X^a -Theorem für die zusammenfassende Registrierung der Ergebnisse geeignet ist.

3.1 Die Zündhäufigkeit von Zündhölzern

Nach dem X^a -Theorem (4) muß sich beim Eintragen der Ergebnisse in ein Doppel-Logarithmennetz eine Gerade mit der Steigung a ergeben; denn es ist:

$$\ln q = a (\ln x - \ln x_{1/2}).$$

Beim Eintragen von $q^{1/a}$ über x ist die Steigung der Geraden Eins.

Die Zündhäufigkeit von Zündhölzern, die auf den zugehörigen Reibflächen gerieben werden, wird mit einem Apparat ermittelt, an dem definierte Beträge der Reibbelastung x eingestellt werden können. Die Ergebnisse, die an drei Sorten von Zündhölzern ermittelt worden sind, sind in den Diagrammen des Bildes 3 dargestellt. Bei der Eintragung von $q^{1/a}$ mit $a=3$ über x können Geraden mit der Steigung Eins durch die Meßpunkte gelegt werden. Während der Exponent $a=3$ offenbar unabhängig von der Zündholzsorte ist, ist der Parameter $x_{1/2}$ ein Merkmal für die Zündholzsorte.

In dem Diagramm des Bildes 4 sind die durch Normierung zusammengefaßten Ergebnisse in der Form einer S-Kurve eingetragen. Die S-Kurve wird wie folgt berechnet: Mit dem Exponenten $a=3$ und den drei verschiedenen $x_{1/2}$ -Werten werden Schätzwerte für den Alternativen-Quotienten

$$\hat{q} = \left[\frac{x}{x_{1/2}} \right]^a$$

in Abhängigkeit von den Belastungswerten x berechnet. Die Schätzwerte

$$\hat{p} = \frac{z}{v}$$

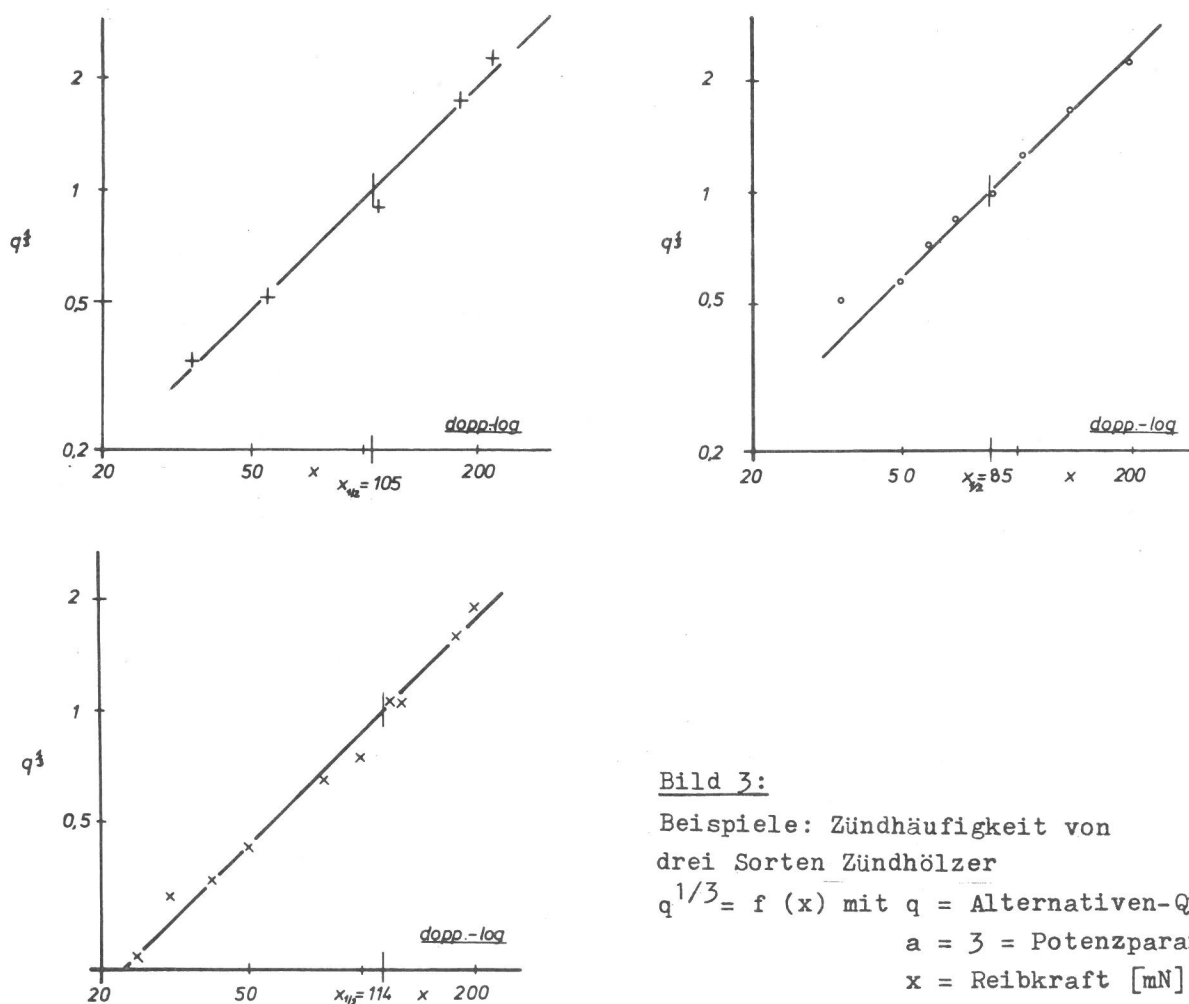


Bild 3:

Beispiele: Zündhäufigkeit von drei Sorten Zündhölzer

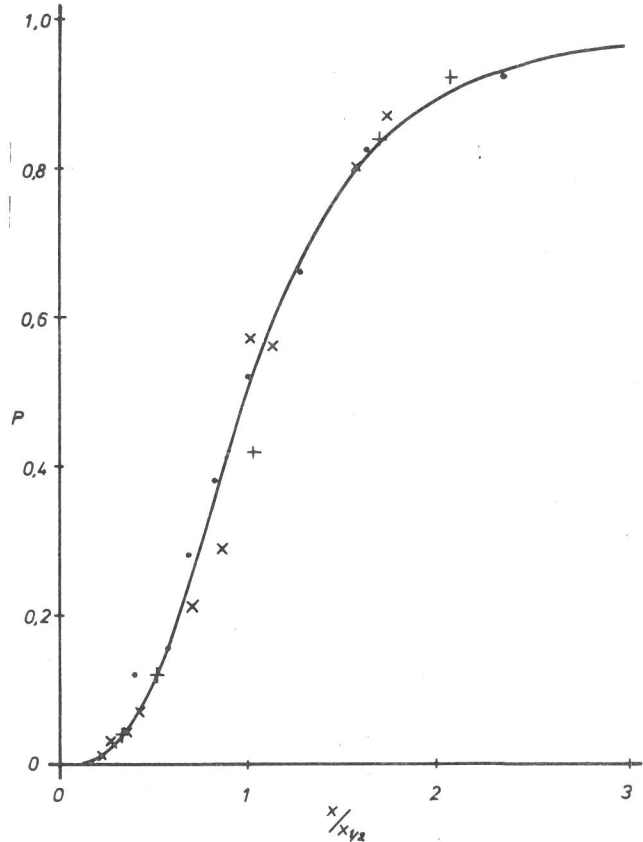
$q^{1/3} = f(x)$ mit q = Alternativen-Quotient

$a = 3$ = Potenzparameter

x = Reibkraft [mN]

Bild 4:

Zündhäufigkeit von drei Sorten Zündhölzer
 $p = g(x/x_{1/2})$ mit $x = \text{Reibkraft [mN]}$
 $x_{1/2} = 50\% \text{ - Belastung}$



ergeben sich nach der Definition
 (3) für den Alternativen-
 Quotienten zu:

$$\hat{p} = \frac{\hat{q}}{1 + \hat{q}} \quad (5)$$

In der Anlage 1 sind die Ergebnisse der Teste auf Reibempfindlichkeit der Zündhölzer tabellarisch aufgeführt. Dort wird ferner ein weiteres Beispiel der Auswertung angegeben, und das Verfahren der linearen Regression für den Zusammenhang $q = f(x)$ im Doppel-Logarithmennetz hergeleitet.

3.2 Die Zündhäufigkeit eines elektrischen Zünders.

Das X^a -Theorem in der Form (4) ist nur auf Sonderfälle anzuwenden. In dem Diagramm des Bildes 5 sind die Alternativen-Quotienten über den Beträgen der Zündspannung x , die an einen elektrischen Zünder angelegt wurden, in das Doppel-Logarithmennetz eingetragen. Eine Gerade ist erst zu erhalten, wenn von den Beträgen der Zündspannung ein Betrag x_0 abgezogen wird. Offenbar gilt für diesen Sonderfall das X^a -Theorem in der Form:

$$q = \left[\frac{x - x_0}{x_{1/2} - x_0} \right]^a \quad (6)$$

Als Exponent ergibt sich wiederum eine ganze Zahl, in diesem Fall wiederum $a = 3$.

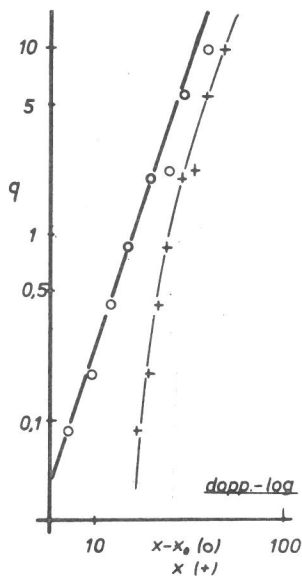


Bild 5:

Beispiel: Zündhäufigkeit eines elektrischen Zünders;

$q = f(x)$ und $q = f^*(x - x_0)$

mit q = Alternativen-Quotient

x = Zündspannung

x_0 = unterer Grenzwert

$a = 3$ = Potenzparameter

(Steigung der Geraden)

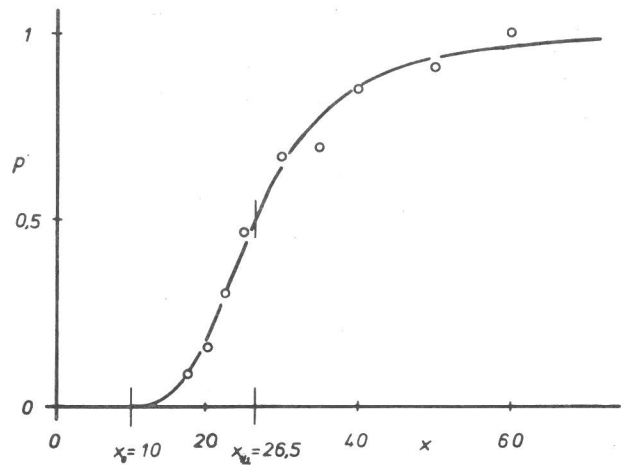


Bild 6:

Zündhäufigkeit eines elektrischen Zünders

$p = g(x)$ mit x = Zündspannung

$x_{1/2}$ = 50 %-Belastung

x_0 = unterer Grenzwert

In dem Diagramm der Zündhäufigkeit in Abhängigkeit von der Zündspannung des Bildes 6 beginnt die S-Kurve bei der Spannung x_0 . Es ist zu fragen, ob x_0 nur als weiterer mathematischer Parameter neben a und $x_{1/2}$ anzusehen ist, oder ob x_0 die technologische Bedeutung hat, daß bei Belastung mit Zündspannungen unterhalb x_0 Zünder dieser Bauart niemals ausgelöst werden. Für eine solche technologische Bedeutung spricht die Überlegung, daß es nicht zu erklären wäre, warum das X^a -Theorem in dem Meßwert-Bereich der Zündspannungen offenbar gilt, aber bei Zündspannungen, deren Beträge beliebig wenig über x_0 liegen, nicht gelten sollte. Andererseits wird sich eine technologische Bedeutung des Betrages x_0 niemals verifizieren lassen; denn selbst bei Ausführung beliebig vieler Tests mit einem Spannungsbetrag unter x_0 bleiben Zweifel auch in dem Fall, daß keiner der mit Spannung beaufschlagten Zünder ausgelöst worden wäre.

In der Anlage 2 sind die Ergebnisse der Zündhäufigkeit des elektrischen Zünders tabellarisch aufgeführt.

3.3 Die Empfindlichkeit von Explosivstoffen gegen Reibbelastung

Wenn Zündvorgänge gefunden werden, die durch Belastungen unterhalb eines unteren Grenzwertes x_0 nicht ausgelöst werden können, so ist zu erwarten, daß auch Zündvorgänge existieren, die oberhalb eines oberen Grenzwertes x_1 stets ausgelöst werden.

Die Reibempfindlichkeit explosionsfähiger Stoffe wird mit Standard-Reibapparaten ermittelt, an denen definierte Beträge der Reibkraft eingestellt werden können. Als Beispiel werden die Ergebnisse einer Prüfung von Nitropenta auf Reibempfindlichkeit angegeben. Der Zusammenhang zwischen dem Alternativen-Quotienten q und den Beträgen der Reibkraft x ist mit dem X^a -Theorem in der Form

$$\frac{1}{q^{1/a}} = \frac{1/x - 1/x_1}{1/x_{1/2} - 1/x_1} \quad (7)$$

zu erhalten. Das Diagramm des Bildes 7 zeigt die Auswertung unter Verwendung des Doppel-Logarithmennetzes. Der obere Grenzwert x_1 wird durch Probieren graphisch in erster Näherung und - wie im Abschnitt 4 gezeigt wird - rechnerisch in zweiter Näherung ermittelt.

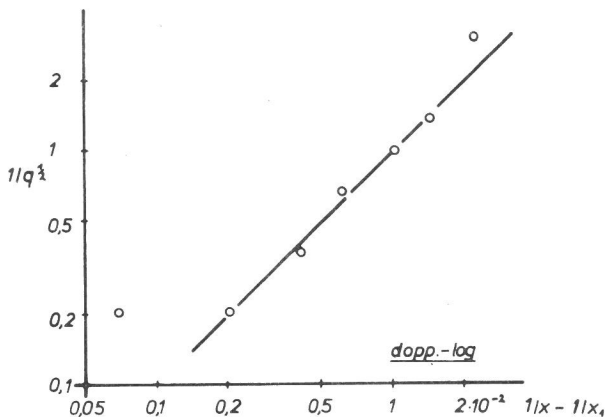


Bild 7:

Beispiel: Reibempfindlichkeit von Nitropenta;

$$1/q^{1/2} = f(1/x - 1/x_1)$$

mit q = Alternativen-Quotient

x = Reibkraft [N]

x_1 = oberer Grenzwert

$a = 2$ = Potenzparameter

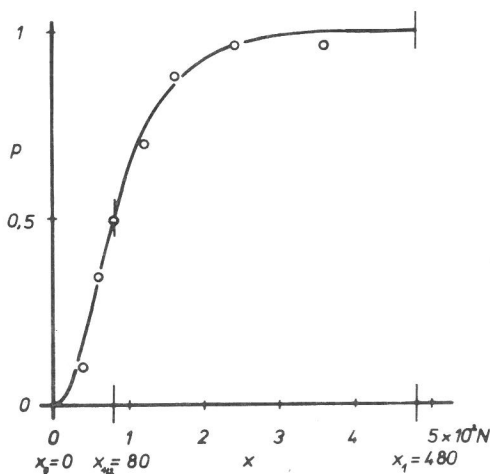


Bild 8:

Reibempfindlichkeit von Nitropenta $p = g(x)$

mit x = Reibkraft

$x_{1/2}$ = 50 %-Belastung

x_1 = oberer Grenzwert

Der Exponent ist $a = 2$. Überlegungen zur technologischen Bedeutung von x_1 sind analog zu denen, die in Abschnitt 3.2 für den unteren Grenzwert x_0 angeführt worden sind. Die Darstellung in Bild 8 weist diesen oberen Grenzwert x_1 auf. Ein unterer Grenzwert x_0 ist in diesem Fall nicht bestimmbar, weil $x_0 \ll x_{\min}$ (x_0 sehr

klein gegen den kleinsten Meßwert x_{\min}) ist.

Die Meßwerte sind in der Anlage 3 tabellarisch zusammengestellt. Dort wird ferner ein weiteres Beispiel angegeben, für das ebenfalls ein oberer Grenzwert x_1 , aber kein unterer Grenzwert x_0 bestimmbar ist.

3.4 Die allgemeine Form des X^a -Theorems.

Die in den vorhergehenden Abschnitten 3.1 bis 3.3 für die Eintragung in das Doppel-Logarithmennetz angewendeten Formen des X^a -Theorems sind offenbar Sonderformen einer allgemeinen Form des Theorems. Es gelten:

- für $x_0 \neq 0$ und $x_1 \gg x$:

$$q = \left[\frac{x - x_0}{x_{1/2} - x_0} \right]^a \quad (6)$$

- für $x_0 \ll x$ und x_1 endlich:

$$q = \left[\frac{1/x_{1/2} - 1/x_1}{1/x - 1/x_1} \right]^a \quad (7)$$

- für $x_0 \ll x$ und $x_1 \gg x$:

$$q = \left[\frac{x}{x_{1/2}} \right]^a \quad (4)$$

Die Form (4) ist die Fundamentalform des Theorems. Als allgemeine Form wird die Beziehung:

$$q = \left[\frac{X}{X_{1/2}} \right]^a \quad (8)$$

eingeführt, mit der Transformation:

$$X = \frac{x - x_0}{x_1 - x}, \text{ und speziell: } X_{1/2} = \frac{x_{1/2} - x_0}{x_1 - x_{1/2}} \quad (9)$$

Somit hat das X^a -Theorem die allgemeine Form:

$$q = \left[\frac{x_1 - x_{1/2}}{x_{1/2} - x_0} \cdot \frac{x - x_0}{x_1 - x} \right]^a \quad (10)$$

Diese allgemeine Form des Theorems hat folgende Eigenschaften:

- a.) Für $x = x_{1/2}$ ist $q = 1$, wie bei der Fundamentalform.
- b.) Eine additive oder subtraktive Transformation der Abszissenwerte ändert das Theorem nicht; denn es treten nur Differenzen von Abszissenwerten auf.
- c.) Es gilt:

$$q^{1/a} = \frac{x_1 - x_{1/2}}{x_{1/2} - x_0} \cdot \frac{x - x_0}{x_1 - x} = \frac{1/x_{1/2} - 1/x_1}{1/x_0 - 1/x_{1/2}} \cdot \frac{1/x_0 - 1/x}{1/x - 1/x_1} \quad (11)$$

(Ableitung durch Erweitern mit $x \cdot x_0 \cdot x_{1/2} \cdot x_1$)

Aus der allgemeinen Form des Theorems ergeben sich die drei Sonderformen:

$$q \xrightarrow{x_1 \gg x} \left[\frac{x - x_0}{x_{1/2} - x_0} \right]^a \quad (6)$$

$$q \xrightarrow{x_0 \ll x} \left[\frac{1/x_{1/2} - 1/x_1}{1/x - 1/x_1} \right]^a \quad (7)$$

$$q \xrightarrow{x_0 \ll x} \left[\frac{x_1 - x_{1/2}}{x_{1/2}} \cdot \frac{x}{x_1 - x} \right]^a \xrightarrow{x_1 \gg x} \left[\frac{x}{x_{1/2}} \right]^a \quad (4)$$

Als Beispiel für die Auswertung nach der allgemeinen Form des Theorems wird in den Bildern 9 und 10 die Zündhäufigkeit eines elektrischem Brückenzünders registriert. Als geeigneter Exponent erweist sich wiederum eine ganze Zahl, nämlich $a = 2$. Die Meßwerte sind in der Anlage 4 tabellarisch zusammengestellt. Dort sind ferner zwei weitere Beispiele angegeben, für die ebenfalls ein unterer Grenzwert x_0 und ein oberer Grenzwert x_1 ermittelt werden kann. Außerdem wird in Anlage 4 die Bedeutung der beiden Punkte in Kurvennähe auf den Bildern 9 und 10 dargelegt; es sind nachträglich korrigierte Meßwerte.

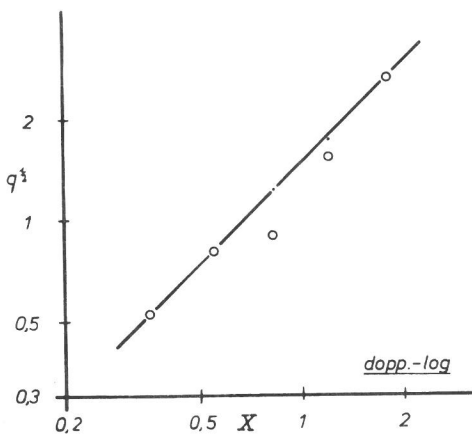


Bild 9:

Beispiel: Zündhäufigkeit eines Brückenzünders;

$$q^{1/2} = f(X)$$

mit q = Alternativen-Quotient
 X = transformierte Belastung
 $a = 2$ = Potenzparameter

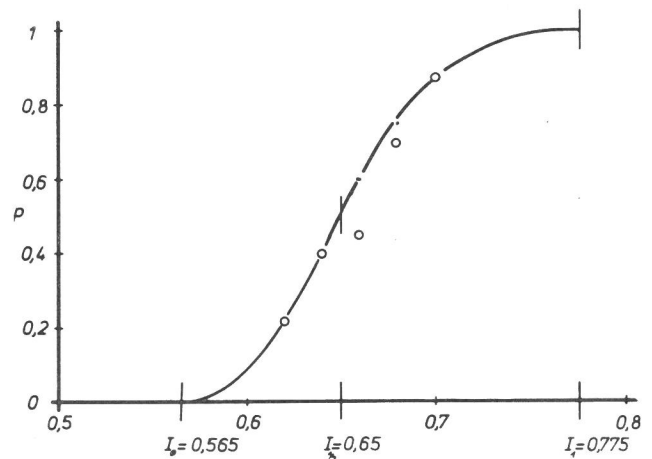


Bild 10:

Zündhäufigkeit eines Brückenzünders

$p = g(I)$ mit I = Strombelastung [A]

I_0 = unterer Grenzwert

$I_{1/2}$ = 50 % - Belastung

I_1 = oberer Grenzwert

4. Das technische Vorgehen bei der Parameterbestimmung an einem Beispiel der Erfassung von Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik.

In der Einleitung wird dargelegt, warum für die Erfassung von Zündhäufigkeiten die mathematische Statistik als Hilfsmittel ungeeignet ist. Es soll - umgekehrt - erprobt werden, ob das Verfahren mit dem χ^2 -Theorem als Grundlage auf die Erfassung von statistischem Datenmaterial anwendbar ist. Der Unterschied zur Erfassung von Zündhäufigkeiten in Abhängigkeit von Zündbelastungen besteht darin, daß die Abszissenwerte keine unabhängigen Variablen, sondern Zufallsvariable sind.

Gleichzeitig soll an diesem Beispiel aus dem Bereich der Statistik das technische Vorgehen bei der Parameterbestimmung in Schritten erläutert werden.

Das Beispiel ist die Erfassung von 150 Gehaltsdaten eines Stoffes bei der analytischen Kontrolle eines Fertigungsablaufes ⁺). Die Gehaltsdaten werden in gleich große Bereiche (Klassen) eingeteilt. Die Abszissenwerte x (Zufallsvariable) sind die oberen Begrenzungen dieser Bereiche. Die Ordinatenwerte sind die über die Bereiche bis x aufsummierten Anzahlen an Einzelbestimmungen (Summenhäufigkeit); sie werden auf die Gesamtzahl an Einzelbestimmungen (Grundgesamtheit, hier $n = 150$) bezogen und als Bruchteil p von Eins (relative Summenhäufigkeit) angegeben (Bild 11). Der Alternativen-Quotient ist durch die Beziehung (5) definiert.

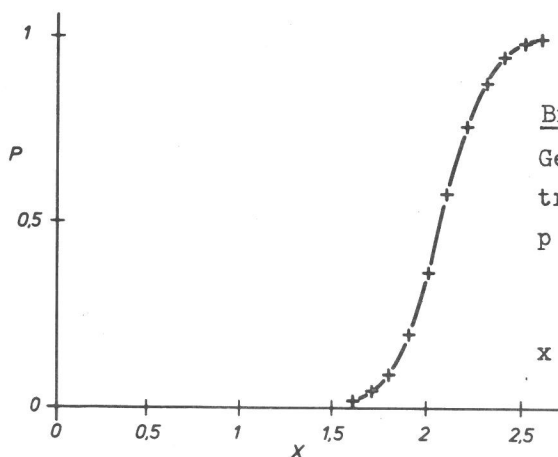


Bild 11:

Gehaltsdaten eines Stoffes bei der analytischen Kontrolle eines Fertigungsablaufes.

$p = g(x) =$ relative Summenhäufigkeit (bis x aufsummierte Anzahl an Einzelbestimmungen bezogen auf die Gesamtzahl an Bestimmungen).

$x =$ obere Klassengrenzen der Klasseneinteilung der Gehalte [Gewichtsprozent]

⁺) Datenmaterial aus: G. Gottschalk, "Einführung in die Grundlagen der chemischen Materialprüfung (Planung, Auswertung, Beurteilung)".

S. Hirzel Verlag Stuttgart 1966; S. 47

1. Schritt: Dem Diagramm der relativen Summenhäufigkeit in Abhängigkeit von der Zufallsvariablen im Bild 11 wird ein grob geschätzter unterer Grenzwert entnommen, z.B. $x_0 = 1,2$.

2. Schritt: In das Doppel-Logarithmennetz des Bildes 12 wird der Alternativen-Quotient q sowohl über der Zufallsvariablen x als auch über der um $x_0 = 1,2$ verringerten Zufallsvariablen

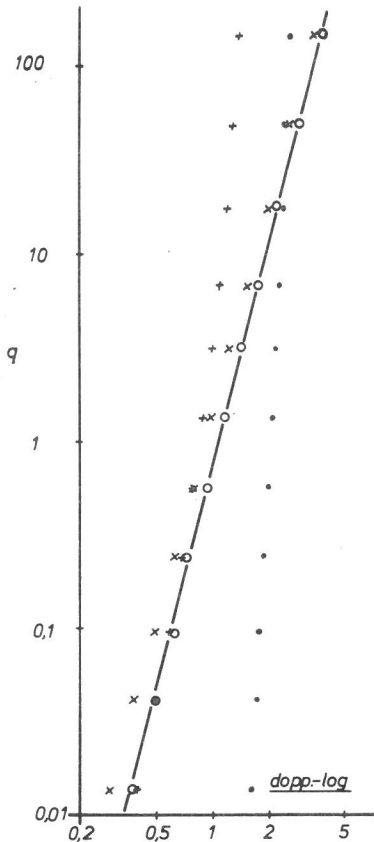


Bild 12:

Beispiel: Gehaltsdaten eines Stoffes bei der analytischen Kontrolle eines Fertigungsablaufes.

Ordinatenwerte: Alternativen-Quotient $q = p/(1-p)$

Abszissenwerte: x (•)

$$x - x_0 \text{ (+)}; x_0 = 1,2$$

$$X = \frac{x-1,2}{3,0-x} \text{ (x)}$$

$$X = \frac{x-1,05}{3,00-x} \text{ (o) (erste Näherung)}$$

Tabelle für die Diagramme der Bilder 11 und 12

Nr.	x	p	q	$x-x_0$	$X = \frac{x-1,2}{3,0-x}$	$X = \frac{x-1,05}{3,0-x}$
1	1,6	0,013	0,014	0,4	0,286	0,393
2	1,7	0,040	0,042	0,5	0,385	0,500
3	1,8	0,087	0,095	0,6	0,500	0,625
4	1,9	0,193	0,240	0,7	0,636	0,773
5	2,0	0,36	0,56	0,8	0,800	0,950
6	2,1	0,57	1,34	0,9	1,00	1,17
7	2,2	0,76	3,17	1,0	1,25	1,44
8	2,3	0,87	6,89	1,1	1,57	1,79
9	2,4	0,95	17,8	1,2	2,00	2,25
10	2,5	0,98	49,0	1,3	2,60	2,90
11	2,6	0,99	148,0	1,4	3,50	3,88

eingetragen. Bei der Eintragung über x ergibt sich noch keine Gerade. In der Eintragung über $x-x_0$ kann durch die unteren Datenpunkte eine Gerade mit der Steigung von etwa $a = 4$ gelegt werden; dies weist auf die Eignung des Exponenten (Potenzparameter) $a = 4$ hin.

3. Schritt: Dem Diagramm im Bild 11 wird ein grob geschätzter oberer Grenzwert, z.B. $x_1 = 3,0$ entnommen. Nun werden die transformierten Größen

$$X = \frac{x-1,2}{3,0-x} \quad (\text{Hierzu: Beziehung (9) und Tabelle})$$

als Abszissenwerte eingetragen. Die unteren Datenpunkte sind geringfügig nach links verschoben, aber die oberen Datenpunkte sind der Geraden mit der Steigung $a = 4$ nahegekommen.

4. Schritt: Es wird ein unterer Grenzwert $x_0 = 1,05$ statt $1,2$ gewählt und mit der Transformation

$$X = \frac{x-1,05}{3,0-x} \quad (\text{hierzu: Tabelle})$$

gerechnet. Da nunmehr alle Datenpunkte recht gut auf der Geraden liegen, ist der Potenzparameter (Exponent) $a = 4$ als gesichert anzusehen. Ferner können die Grenzparameter $x_0 = 1,05$ und $x_1 = 3,0$ als Werte erster Näherung akzeptiert werden.

Der dritte und der vierte Schritt wird in der Regel wiederholt auszuführen sein, bis eine befriedigende Anpassung einer Geraden an die Datenpunkte gelingt.

Für die Bestimmung des Potenzparameters a ist die bisher bei allen Auswertungen bestätigte merkwürdige Erfahrungen hilfreich, daß dieser Parameter stets eine ganze Zahl von niedrigem Betrag ist. Bei Datenerfassungen nach gleichartigen Methoden, angewendet auf gleichartige oder ähnliche Objekte der Erfassung ist zu erwarten, daß der Potenzparameter der gleiche ist.

5. Schritt: Nachdem der Potenzparameter ermittelt worden ist, müssen für eine genauere Bestimmung der anderen drei Parameter x_0 , $x_{1/2}$ und x_1 drei Beziehungen zur Verfügung stehen. Es werden drei geeignete Datenpunkte ausgewählt und durch die Indices a , b und c gekennzeichnet. Nach Umformung des X^a -Theorems in der allgemeinen Form (8) bestehen die drei Beziehungen:

$$\left. \begin{aligned}
 Q_a &= q_a^{1/a} = \frac{X_a}{X_{1/2}} \\
 Q_b &= q_b^{1/a} = \frac{X_b}{X_{1/2}} \\
 Q_c &= q_c^{1/a} = \frac{X_c}{X_{1/2}}
 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Die Rechengröße Q stellt sich als Funktion der nicht transformierten Variablen x in der Form der Skizze in Bild 13 dar. Die Koordinaten der Datenpunkte müssen die Beziehung

$$\frac{Q_a - Q_b}{x_a - x_b} > \frac{Q_b - Q_c}{x_b - x_c}$$

erfüllen. Unter dieser Voraussetzung sind stets eindeutig Werte der drei Parameter x_0 , $x_{1/2}$ und x_1 zu erhalten:

$$\left. \begin{aligned}
 x_0 &= \frac{\frac{x_a}{Q_a} (x_b - x_c) - \frac{x_b}{Q_b} (x_a - x_c) + \frac{x_c}{Q_c} (x_a - x_b)}{\frac{1}{Q_a} (x_b - x_c) - \frac{1}{Q_b} (x_a - x_c) + \frac{1}{Q_c} (x_a - x_b)} \\
 x_1 &= \frac{x_a Q_a (x_b - x_c) - x_b Q_b (x_a - x_c) + x_c Q_c (x_a - x_b)}{Q_a (x_b - x_c) - Q_b (x_a - x_c) + Q_c (x_a - x_b)} \\
 x_{1/2} &= \frac{x_1 X_{1/2} + x_0}{X_{1/2} + 1}
 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \text{mit} \quad X_{1/2} &= X_a / Q_a \\
 \text{oder} \quad X_{1/2} &= X_b / Q_b \\
 \text{oder} \quad X_{1/2} &= X_c / Q_c
 \end{aligned} \right\} \quad \text{aus (12)}$$

Die drei für diese Rechnungen verwendeten Datenpunkte werden nach dem Kriterium ausgewählt, daß sie der Geraden in Bild 12 am besten angenähert sind. Für den Fall, daß, nach dem Diagramm geurteilt, mehr als drei Datenpunkte als geeignet erscheinen, wird wie folgt verfahren:

In der Anlage 1 wird die Mittelwertbildung für die Werte $x_{1/2}$ der 50 % - Belastung hergeleitet; sie gilt nicht nur für die Fundamental-

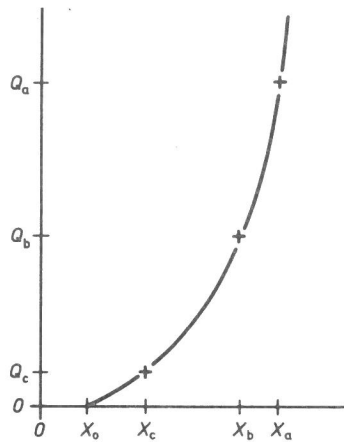


Bild 13:

$Q = q^{1/a}$ in Abhängigkeit von den nicht transformierten Klassenobergrenzen x (Skizze).

q = Alternativen-Quotient

x_0 = unterer Grenzwert

a = Potenzparameter

form des X^a -Theorems, sondern auch für die allgemeine Form. Der nachstehenden Tabelle ist zu entnehmen, daß die Datenpunkte der Nummern 2, 4 und 8 dem geometrischen Mittelwert $\bar{X}_{1/2}$ am nächsten liegen.

Tabelle zur Bestimmung des Mittelwertes \bar{X} erster Näherung aus den Einzelwerten:

$$X_{1/2} = \frac{X}{q^{1/a}} \quad \text{mit} \quad X = \frac{x-x_0}{x_1-x} ;$$

Rechnung mit $a = 4$; $x_0 = 1,05$; $x_1 = 3,0$.

Nr.	x	q	$X_{1/2}$
1	1,6	0,014	1,153
2	1,7	0,042	1,106
3	1,8	0,095	1,126
4	1,9	0,24	1,104
5	2,0	0,56	1,097
6	2,1	1,34	1,084
7	2,2	3,17	1,078
8	2,3	6,89	1,102
9	2,4	17,8	1,096
10	2,5	49,0	1,096
11	2,6	148,0	1,111

$$\bar{X}_{1/2} = 1,1046 \text{ (erste Näherung)}$$

Mit den Datenpunkten der Nummern 2; 4 und 8 wird nach den Formeln (13) gerechnet. Es ergeben sich die von den Werten erster Näherung wenig abweichenden Werte zweiter Näherung:

$x_0 = 1,056$
 $x_1 = 3,00$
 sowie: $x_{1/2} = 2,073$
 und: $X_{1/2} = 1,097$

6. Schritt: In das Doppel-Logarithmennetz wird die Gerade mit der Steigung Eins durch den Punkt $q = 1$; $X_{1/2} = 1,10$ gelegt. Dann werden über den transformierten Abszissenwerten

$$X = \frac{x-1,056}{3,00-x}$$

der zweiten Näherung die $q^{1/4}$ -Werte eingetragen (Bild 14).

Nr.	$q^{1/4}$	$X = \frac{x-1,056}{3,00-x}$
1	0,341	0,389
2	0,452	0,495
3	0,555	0,620
4	0,700	0,767
5	0,866	0,944
6	1,08	1,16
7	1,33	1,43
8	1,62	1,78
9	2,05	2,24
10	2,65	2,89
11	3,49	3,86

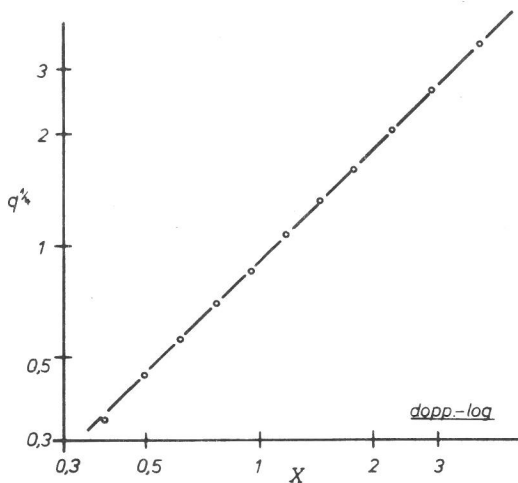


Bild 14:

Beispiel:

Gehaltsdaten eines Stoffes bei der analytischen Kontrolle eines Fertigungsablaufes;

$q^{1/4} = f(X)$ mit $q =$ Alternativen-Quotient

$X =$ transformierte Klassen-

obergrenze (zweite Näherung)

7. Schritt: Schließlich kann die mit den Schätzwerten zweiter Näherung

$$\hat{q} = \left[\frac{X}{X_{1/2}} \right]^4 \quad (8)$$

und

$$\hat{p} = \frac{q}{1+q} \quad (5)$$

berechnete S-Kurve durch die Datenpunkte des Bildes 11 gelegt werden (Bild 15).

In der Anlage 5 sind vier weitere Beispiele der Anwendung des Verfahrens auf statistisches Datenmaterial aufgeführt.

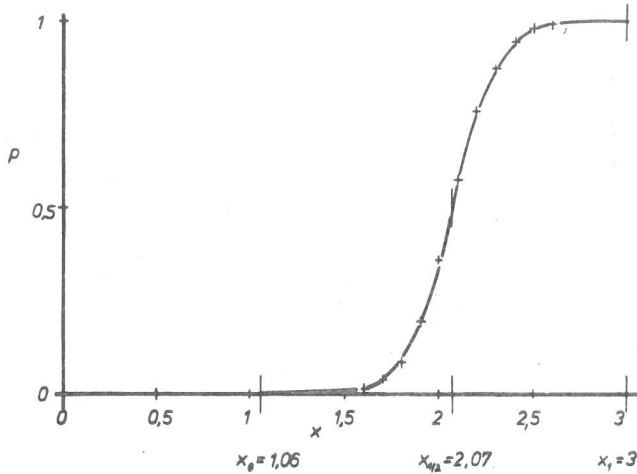


Bild 15:

Gehaltsdaten eines Stoffes bei der analytischen Kontrolle eines Fertigungsablaufes.

$p = g(x) =$ relative Summenhäufigkeit
 $x =$ Stoffgehalt (Gewichtsprozent)

5. Zusammenfassung

Zwischen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe und der für sie ursächlichen Zündbelastung kann eine Beziehung aufgestellt werden, die es erlaubt, den Meßpunkten über eine graphisch-rechnerische Linearisierung im Doppel-Logarithmennetz S-Kurven anzupassen und Extrapolationen aus dem Bereich der Meßpunkte heraus in die Grenzbereiche vorzunehmen. Dies ist nützlich für die sicherheitstechnische Beurteilung der Empfindlichkeit eines zündbaren Stoffes (sehr geringe Zündhäufigkeit) und der Zündsicherheit (sehr hohe Zündhäufigkeit, z.B. eines Zünders).

Ausgangspunkt für die Herleitung der Beziehung, des sogenannten X^a -Theorems, ist nicht die Zündhäufigkeit, definiert als Verhältnis der Anzahl an Zündungen zur Anzahl an Testen, sondern der sogenannte Alternativen-Quotient, definiert als Verhältnis der Anzahl an Zündungen zur Anzahl an Nicht-Zündungen. Aus einer speziellen Fragestellung heraus und auf Grundlage einer analytisch-geometrischen Hypothese wird zunächst das physikalisch plausible X^a -Theorem in der Fundamentalform entwickelt. Es zeigt sich, daß diese Form und zwei andere spezielle Formen des Theorems Sonderformen einer allgemeinen Beziehung, des allgemeinen X^a -Theorems, sind.

Das X^a -Theorem in der allgemeinen Form enthält vier Parameter, so daß S-Kurven in vielfältiger Gestalt für Anpassungen an Meßpunkte verfügbar sind. Neben dem Wert derjenigen Zündbelastung, die zur 50 %-Zündhäufigkeit führt, werden zwei Grenzparameter und ein Potenz-

parameter eingeführt. Durch die Grenzparameter wird die S-Kurve zwischen den Zündhäufigkeiten Null und Eins eingegrenzt. Eine technologische Deutung dieser Parameter in dem Sinn, daß Zündbelastungen unterhalb des unteren Grenzparameters niemals, und Zündbelastungen oberhalb des oberen Grenzparameters immer zu Zündungen führen, ist zwar naheliegend, kann aber grundsätzlich nicht in aller Strenge nachgewiesen werden. Der Potenzparameter weist - nach den bisher vorliegenden Erfahrungen - die Eigenheit auf, daß er eine ganze Zahl von kleinem Betrag ist; es sind die Potenzparameter Zwei, Drei und Vier gefunden worden. Eine Erklärung hierfür steht aus.

An Auswertungsbeispielen unter Anwendung des X^a -Theorems in der Fundamentalform, in zwei anderen Sonderformen und in der Allgemeinform wird die Eignung des auf dem Theorem beruhenden Verfahrens erprobt. Ferner werden einige Beispiele für die Anwendung des Verfahrens auf Datenmaterial gegeben, das üblicherweise in dem Bereich der Statistik auf der Grundlage der Normalverteilung bearbeitet wird. An einem dieser Beispiele wird das technische Vorgehen bei der Bestimmung der vier Parameter des X^a -Theorems vorgeführt.

I. Zündhäufigkeit von drei Sorten Zündhölzer

(Messungen in der BAM)

 X^a -Theorem in der Fundamentalform: $q = \left[\frac{x}{x_{1/2}} \right]^a$ v = Anzahl an Testen z = Anzahl an Zündungen bei v Testen $p = z/v$ = Zündhäufigkeit $q = z/(v-z)$ = Alternativen-Quotient x = Reibkraft [mN] $x_{1/2}$ = 50 % - Belastung a = Potenzparameter (Exponent)Diagramme $q^{1/a} = f(x)$ in Bild 3 des TextesDiagramme $p = g(x/x_{1/2})$ in Bild 4 des TextesSorte 1: $v = 50$; $a = 3$; $x_{1/2} = 105$

Nr.	x	z	p	$q^{1/3}$	$x/x_{1/2}$
1	34,5	2	0,04	0,347	0,329
2	54,5	6	0,12	0,515	0,519
3	109,0	21	0,42	0,898	1,04
4	178,5	42	0,84	1,74	1,70
5	217,5	46	0,92	2,26	2,07

Sorte 2: $v = 50$; $a = 3$; $x_{1/2} = 85$

Nr.	x	z	p	$q^{1/3}$	$x/x_{1/2}$
1	34,5	6	0,12	0,515	0,406
2	49,5	8	0,16	0,575	0,582
3	59,0	14	0,28	0,730	0,694
4	70,0	19	0,38	0,849	0,824
5	89,5	26	0,52	1,03	1,05
6	109,0	33	0,66	1,25	1,28
7	139,0	41	0,82	1,66	1,64
8	198,0	46	0,92	2,26	2,33

Sorte 3: $v = 100$; $a = 3$; $x_{1/2} = 114$

Nr.	x	z	p	$q^{1/3}$	$x/x_{1/2}$
1	25,0	1	0,01	0,216	0,219
2	30,5	3	0,03	0,314	0,268
3	39,5	4	0,04	0,347	0,346
4	49,5	7	0,07	0,422	0,434
5	79,5	21	0,21	0,643	0,697
6	99,5	29	0,29	0,742	0,873
7	119,0	57	0,57	1,10	1,04
8	129,0	56	0,56	1,08	1,13
9	178,5	80	0,80	1,59	1,57
10	198,0	87	0,87	1,88	1,74

II. Schlagempfindlichkeit von Hexogen

(Messungen mit dem großen Fallhammerapparat der BAM;

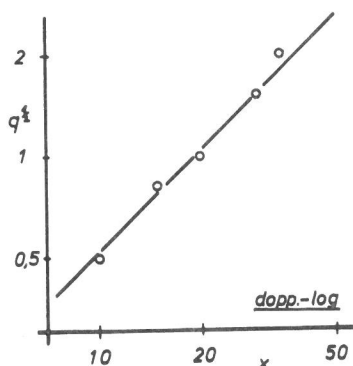
Fallgewicht: 10 kg)

X^a -Theorem in der Form wie unter I;

Bezeichnungen wie unter I, außer: $x =$ Fallhöhe [cm]

$v = 10$; $a = 2$; $x_{1/2} = 19$

Nr.	x	z	p	$q^{1/2}$	$x/x_{1/2}$
1	10	2	0,2	0,500	20,00
2	15	4	0,4	0,817	18,37
3	20	5	0,5	1,00	20,00
4	30	7	0,7	1,53	19,64
5	35	8	0,8	2,00	17,25



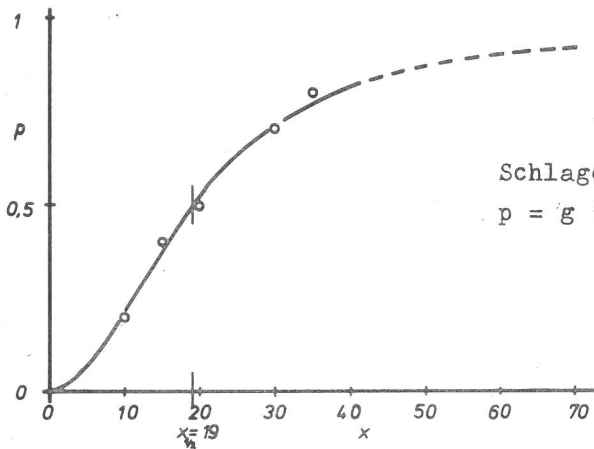
Beispiel:

Schlagempfindlichkeit von Hexogen; 10-kg-Fallgewicht.

$q^{1/a} = f(x)$ mit $q =$ Alternativen-Quotient

$a = 2 =$ Potenzparameter

$x =$ Fallhöhe [cm]



Schlagempfindlichkeit von Hexogen; 10-kg-Fallgewicht.
 $p = g(x) =$ Zündhäufigkeit mit $x =$ Fallhöhe [cm]
 $x_{1/2} = 50\%$ - Belastung

III. Lineare Regression im Doppel-Logarithmennetz

Die in ein Doppel-Logarithmennetz eingetragenen drei Meßpunkte mit den Koordinaten

$$(x_a ; q_a)$$

$$(x_b ; q_b)$$

$$(x_c ; q_c)$$

sollen einer Regressionsgeraden mit der Steigung a zugeordnet werden; d.h.: für die Meßpunkte wird ein gemeinsamer 50% - Wert gesucht.

Wegen der Streuung der Punkte um die Gerade ergibt sich nach dem X^a -Theorem zunächst für jeden Punkt ein anderer 50% - Wert $x_{1/2;i}$, definiert durch

$$q_i = \left[\frac{x_i}{x_{1/2;i}} \right]^a \quad (A)$$

mit $i = a; b$ und c .

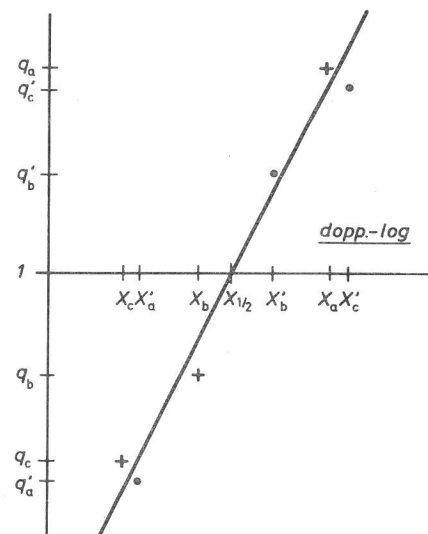
Der Mittelwert $\bar{x}_{1/2}$ wird definiert durch

$$q_i = \left[\frac{x_i}{\bar{x}_{1/2}} \right]^a$$

bzw.

$$\ln q_i = a (\ln x_i - \ln \bar{x}_{1/2}) .$$

Werden in dem Diagramm der Skizze die x -Koordinaten an dem gemeinsamen Abszissenwert $\bar{x}_{1/2}$ und die q -Koordinaten an dem



Ordinatenwert Eins gespiegelt, so müssen die Koordinaten

$$x'_i = \frac{1}{x_i} \quad \text{und} \quad q'_i = \frac{1}{q_i} \quad (\text{B})$$

ebenfalls durch das Theorem in Beziehung gesetzt werden:

$$q'_i = \left[\frac{x'_i}{\bar{x}_{1/2}} \right]^a \quad (\text{C})$$

bzw. $\ln q'_i = a (\ln x'_i - \ln \bar{x}_{1/2})$.

Wie aus der Skizze abzulesen ist, muß infolge der beiden Spiegelungen gelten:

$$\begin{aligned} & \ln \bar{x}_{1/2} - \ln x_c + \ln \bar{x}_{1/2} - \ln x'_a + \ln \bar{x}_{1/2} - \ln x_b \\ = & \ln x'_b - \ln \bar{x}_{1/2} + \ln x_a - \ln \bar{x}_{1/2} + \ln x'_c - \ln \bar{x}_{1/2} \end{aligned}$$

oder

$$\bar{x}_{1/2}^6 = x_a x_b x_c x'_a x'_b x'_c$$

Aus der Umformung mit (B) und (C):

$$x'_i = \bar{x}_{1/2} q_i^{1/a} = \frac{\bar{x}_{1/2}}{q_i^{1/a}}$$

folgt: $\bar{x}_{1/2}^3 = \frac{x_a x_b x_c}{(q_a q_b q_c)^{1/a}}$

Der gesuchte Mittelwert der durch (A) definierten einzelnen 50 % - Werte $x_{1/2;i}$ ist der geometrische Mittelwert.

Verallgemeinert für eine Anzahl k an Meßpunkten ist:

$$\bar{x}_{1/2}^k = \prod_{i=1}^k \frac{x_i}{q_i^{1/a}}$$

In dem Beispiel II dieser Anlage ist der gesuchte Mittelwert:
 $\bar{x}_{1/2} = 19,02$.

Zündhäufigkeit eines elektrischen Zünders

(Meßwerte aus: "Experimental Statistics" von Mary Gibbons Natrella.
National Bureau of Standards Handbook 91, 1966)

$$X^a\text{-Theorem in der Form: } q = \left[\frac{x - x_0}{x_{1/2} - x_0} \right]^a$$

-
- v = Anzahl an Testen
z = Anzahl an Zündungen bei v Testen
p = z/v = Zündhäufigkeit
q = z/(v-z) = Alternativen-Quotient
x = Zündspannung
 $x_{1/2}$ = 50 % - Belastung
 x_0 = unterer Grenzwert
a = Potenzparameter

a = 3; $x_0 = 10$; $x_{1/2} = 26,5$

Nr.	x	v	z	p	q
1	17,5	12	1	0,083	0,091
2	20,0	13	2	0,154	0,182
3	22,5	10	3	0,300	0,429
4	25,0	13	6	0,462	0,857
5	30,0	12	8	0,667	2,00
6	35,0	13	9	0,692	2,25
7	40,0	13	11	0,846	5,50
8	50,0	11	10	0,909	10,0
9	60,0	11	11	1	--

Diagramme $q = f(x)$ und $p = g(x)$ in den Bildern 5 und 6 des Textes.

I. Reibempfindlichkeit von Nitropenta

(Meßwerte aus: "The distribution of the outcomes of BAM friction tests with some high explosives". J.J.Janswoude Bericht des Prins Maurits Laboratoriums (TNO), TL report T 6102 - III /T 8012 (1978).

Messungen des Bundesinstituts für chemisch-technische Untersuchungen (BICT).

$$X^a\text{-Theorem in der Form: } 1/q = \left[\frac{1/x - 1/x_1}{1/x_{1/2} - 1/x_1} \right]^a$$

-
- v = Anzahl an Testen
z = Anzahl an Zündungen bei v Testen
p = z/v = Zündhäufigkeit
q = z/(v-z) = Alternativen-Quotient
x = Reibkraft [N]
 $x_{1/2}$ = 50 % - Belastung
 x_1 = oberer Grenzwert
a = Potenzparameter
-

$$v = 50; a = 2; x_1 = 480 \text{ N}; x_{1/2} = 80 \text{ N}$$

Nr.	x	z	p
1	40	5	0,10
2	60	17	0,34
3	80	25	0,50
4	120	35	0,70
5	160	44	0,88
6	240	48	0,96
7	360	48	0,96

Diagramme $1/q^{1/2} = f(1/x - 1/x_1)$ und $p = g(x)$ in den Bildern 7 und 8 des Textes.

II. Reibempfindlichkeit von Oktogen

Quelle der Meßwerte
Form des X^a -Theorems
Bezeichnungen

} wie unter I.

$$v = 50; a = 2; x_1 = 600 \text{ N}; x_{1/2} = 150 \text{ N}$$

Nr.	x	z	p
1	40	3	0,06
2	60	6	0,12
3	80	9	0,18
4	120	11	0,22
5	160	21	0,42
6	240	40	0,80
7	360	48	0,96

Beispiel: Reibempfindlichkeit (Zündhäufigkeit) von Oktogen;

$$1/q^{1/2} = f(1/x - 1/x_1) \text{ und } q^{1/2} = f(X)$$

mit q = Alternativen-Quotient

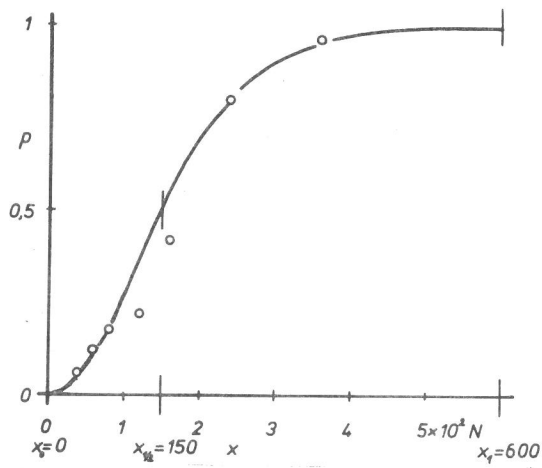
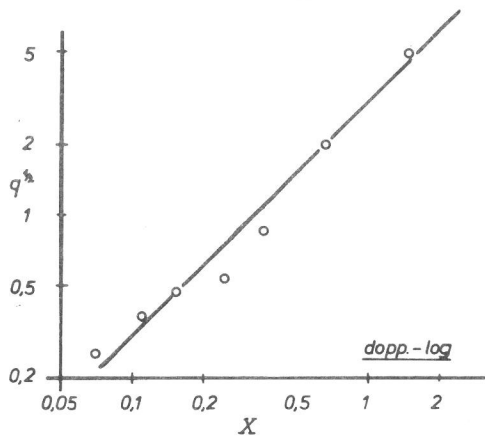
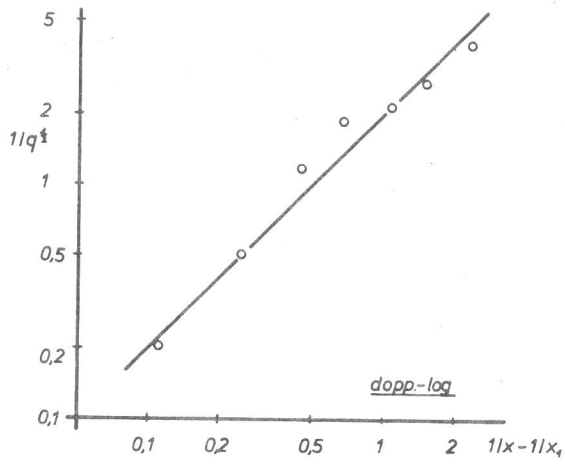
x = Reibkraft [N]

x_1 = oberer Grenzwert

$a = 2$ = Potenzparameter

$$X = \frac{x}{x_1 - x} = \text{transformierter Abszissenwert}$$

Bemerkung: Für die Technik der Auswertung (Linearisierung im Doppel-Logarithmennetz) sind die beiden Diagramme gleichwertig.



Reibempfindlichkeit (Zündhäufigkeit) von Oktogen

$p = g(x)$ mit $x = \text{Reibkraft } [\text{N}]$

$x_{1/2} = 50\% \text{ - Belastung}$

$x_1 = \text{oberer Grenzwert}$

I. Zündhäufigkeit eines Brückenzünders

(Messungen in der BAM)

 x^a - Theorem in der Form

$$q = \left[\frac{x-x_0}{x_1-x} \cdot \frac{x_1-x_{1/2}}{x_{1/2}-x_0} \right]^a \quad (\text{allgemeine Form})$$

v = Anzahl an Testen

z = Anzahl an Zündungen bei v Testen

p = z/v = Zündhäufigkeit

q = z/(v-z) = Alternativen-Quotient

x = I-0,5 = Zündstromdifferenz; I = Zündstrom [A]

 $x_{1/2}$ = 50 % - Belastung x_0 = unterer Grenzwert x_1 = oberer Grenzwert

a = Potenzparameter

a = 2; $x_0 = 0,065$; $x_{1/2} = 0,150$; $x_1 = 0,275$

Nr.	x	v	z	p	$q^{1/2}$
1	0,12	14	3	0,214	0,522
2	0,14	20	8	0,400	0,816
3	0,16	20	9	0,450	0,905
4	0,18	20	14	0,700	1,528
5	0,20	16	14	0,875	2,646

Für Korrektur:
(Hierzu:II. dieser Anlage)

Nr.	v	z	p	$q^{1/2}$
3	20	12	0,600	1,225
4	20	15	0,750	1,732

Diagramme $q = f(x)$ und $p = g(x)$ in den Bildern 9 und 10 des Textes.

II. Korrektur von Meßpunkten, die infolge von Zufallerscheinungen von errechneten Kurvenzügen abweichen.

Bei Zündtesten an zündbaren Stoffen liegen zwei Gründe dafür vor, daß die Meßpunkte nicht auf kontinuierlichen Kurvenzügen liegen können:

- 1.) Werden bei festgelegter Zündbelastung v Teste ausgeführt, so können in den Ergebnissen nur $v+1$ diskrete Ordinatenwerte auftreten (Die Zündhäufigkeit Null ist im Prinzip einzubeziehen).
- 2.) Zündvorgänge weisen die Eigenheit auf, daß sie auch bei gleichbleibender Zündbelastung Zufallerscheinungen unterworfen sind. Werden beispielsweise $v = 3$ Teste ausgeführt, so sind im Prinzip vier verschiedene Kombinationen der Ergebnisse "Zündung" (+) und "Nicht-Zündung" (-) im voraus für möglich zu halten:

Fallunterscheidung $\left\{ \begin{array}{l} - - - \\ + - - \\ + + - \\ + + + \end{array} \right.$

Die Genauigkeit infolge der Zuordnung der Ergebnisse zu diskreten Ordinatenwerten kann durch die Anzahl an Testen im Voraus beeinflußt werden; denn je größer v ist, umso geringer sind die Abstände zwischen benachbarten diskreten Werten; umso höher ist also die Meßgenauigkeit zu bewerten. Dagegen sind die Ungenauigkeiten infolge von Zufallerscheinungen nur bedingt durch Erhöhung der Anzahl an Testen zu verringern. Im folgenden soll eine Möglichkeit aufgezeigt werden, Korrekturen an Meßpunkten vorzunehmen, die aus dem Meßpunkte-Kollektiv deutlich herausfallen.

Zu Fallunterscheidungen nach Art der oben angeführten vier Ergebnis-Kombinationen ist zu fragen, mit welcher Wahrscheinlichkeit W die einzelnen Fälle auftreten werden. Dafür muß unabdingbar ein Verhältnis p der Anzahl an Zündungen zu der Anzahl an Testen vorgegeben werden, das bei sehr vielen Testen auftreten würde ($p =$ wahre Zündhäufigkeit). Auf diese Fragestellung ist die Gleichung der Binomialverteilung anzuwenden:

$$W [z; v-z] = \binom{v}{z} \cdot p^z \cdot (1-p)^{v-z}$$

Darin ist v die Anzahl an Testen eines beschränkten Testumfanges und z die Anzahl an Zündungen, die bei v Testen auftreten.

Wenn mit Hilfe des Verfahrens, das auf dem X^a - Theorem beruht, ein Kurvenzug durch ein Meßpunkte-Kollektiv gelegt werden kann, werden deutlich abweichende Meßpunkte wie folgt einzeln einem Korrekturverfahren unterworfen:

- a.) Es werden die durch die Anzahl v an Testen vorbestimmten diskreten Ordinatenwerte in der Nähe des Kurvenzuges in das Diagramm (nächstes Bild) eingetragen.
- b.) Derjenige diskrete Ordinatenwert, der dem Verlauf der Kurve $p = g(x)$ (oder $q = f(x)$) am nächsten liegt, wird als p -Wert in die Gleichung der Binomialverteilung eingesetzt; er wird also in Näherung als wahre Zündhäufigkeit gewertet.
- c.) Mit dem zugehörigen variierten Wert z_{korr} und dem gemessenen Wert z_m werden die Wahrscheinlichkeiten

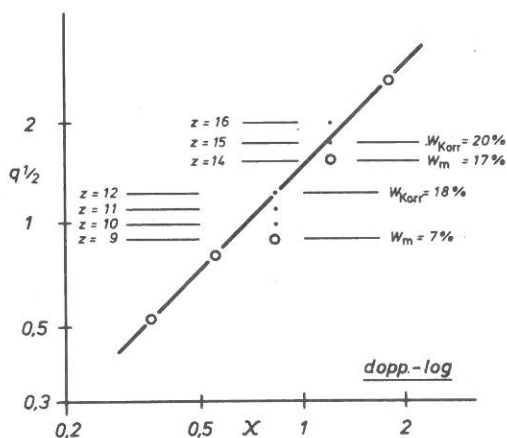
$$W_{\text{korr}} [z_{\text{korr}}; v - z_{\text{korr}}] \text{ und } W_m [z_m; v - z_m]$$

berechnet. Wegen der Vorgabe von $p = z_{\text{korr}}/v$ als wahrer Zündhäufigkeit ist immer:

$$W_{\text{korr}} > W_m$$

- d.) Wenn W_{korr} und W_m von gleicher Größenordnung sind, kann die Korrektur akzeptiert werden; anderenfalls liegt ein sogenannter Ausreißer vor. Die Unterscheidung akzeptabler Korrektur-Werte von Ausreißern ist - nach einem Erfordernis der Statistik - Sache einer Übereinkunft.

Beispiel: In dem Bild 9 des Textes ist für einen Brückenzünder das Diagramm $q^{1/2} = f(X)$ dargestellt. Dieses Diagramm wird durch zwei nachträgliche Korrekturen nach dem angegebenen Verfahren ergänzt:



Die Korrektur des oberen Meßpunktes erscheint gerechtfertigt; denn wenn die Anzahl an Zündungen $z = 14$ um eine vermehrt wird, ist W_{korr} von der gleichen Größenordnung wie W_m .

Dagegen erscheint die Korrektur des unteren Meßpunktes mit $z = 12$ statt $z = 9$ zweifelhaft, wenn auch ein Mangel an drei Zündungen bei 20-Testen im Bereich des Möglichen liegt.

III. Schlagempfindlichkeit von Propylnitrat

(Meßwerte aus: "Drop Weight Impact Testing of Liquids"

Mason, C.M.; Van Dolah, R.W.; Weiss, M.L.

Explosives Research Laboratory, Bureau of Mines,
U.S. Department of the Interior, Pittsburgh,
Pennsylvania)

$$x^a - \text{Theorem in der Form } q = \left[\frac{x-x_0}{x_1-x} \cdot \frac{x_1-x_{1/2}}{x_{1/2}-x_0} \right]^a$$

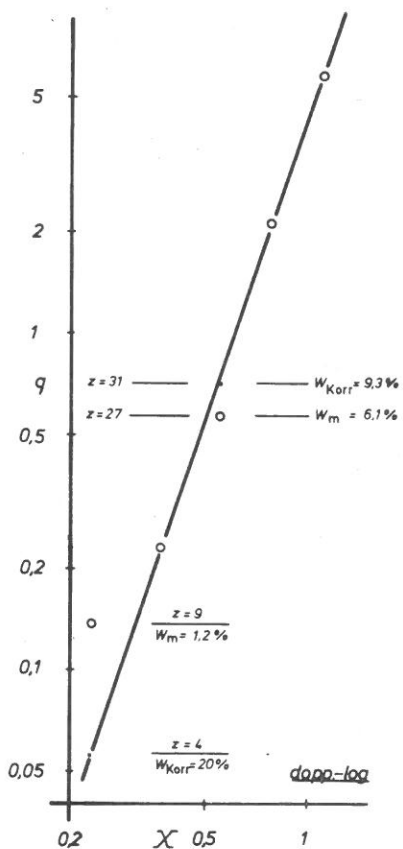
- v = Anzahl an Testen
- z = Anzahl an Zündungen bei v Testen
- p = z/v = Zündhäufigkeit
- q = z/(v-z) = Alternativen-Quotient
- x = Produkt Fallhöhe mal Fallgewicht [cm · kg]; 2-kg-Fallgewicht
- x_0 = unterer Grenzwert
- $x_{1/2}$ = 50 % - Belastung
- x_1 = oberer Grenzwert
- a = Potenzparameter

$$v = 75; x_0 = 0,5; x_{1/2} = 9,6; x_1 = 24,5; a = 3$$

Nr.	x	z	p	q
1	5	9	0,120	0,136
2	7	14	0,187	0,230
3	9	27	0,360	0,563
4	11	51	0,680	2,13
5	13	64	0,853	5,82

Für Korrektur:
(Hierzu: II. dieser Anlage)

Nr.	x	z	p	q
1	5	4	0,053	0,056
3	9	31	0,413	0,705



Beispiel:

Schlagempfindlichkeit von Propylnitrat;

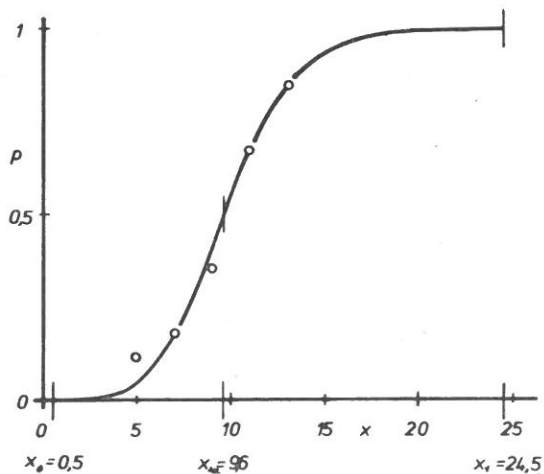
Alternativen-Quotient $q = f(X)$ mit $X = \frac{X-X_0}{X_1-X_0}$

= transformierte Belastung.

Versuch zur Korrektur zweier Meßpunkte.

Bemerkung zu den Korrekturen:

Die Korrektur des oberen der beiden Meßpunkte, die aus dem Meßpunkte-Kollektiv herausfallen, erscheint akzeptabel, da W_{korr} und W_m von gleicher Größenordnung ist. Dagegen ist der untere Meßpunkt offenbar ein Ausreißer. In der Meßpraxis wäre dieser Bereich näher zu untersuchen.



Schlagempfindlichkeit (Zündhäufigkeit) von Propylnitrat.

IV. Schlagempfindlichkeit einer Zündholzkopfmasse

(Messungen in der BAM ausgeführt)

$$X^a - \text{Theorem in der Form } q = \left[\frac{x-x_0}{x_1-x} \cdot \frac{x_1-x_{1/2}}{x_{1/2}-x_0} \right]^a$$

Bezeichnungen wie unter III außer:

x = Fallhöhe [cm]

Messungen mit dem 1-kg-Fallgewicht.

$$v = 10; x_0 = 5; x_{1/2} = 55; x_1 = 105$$

Nr.	x	z	p	q
1	30	1	0,1	0,111
2	40	4	0,4	0,667
3	50	4	0,4	0,667
4	60	6	0,6	1,50
5	70	8	0,8	4,00
6	80	7	0,7	2,33

Für Korrekturen:
(Hierzu: II. dieser Anlage)

Nr.	x	z	p	q
2	40	2	0,2	0,250
6	80	9	0,9	9,00

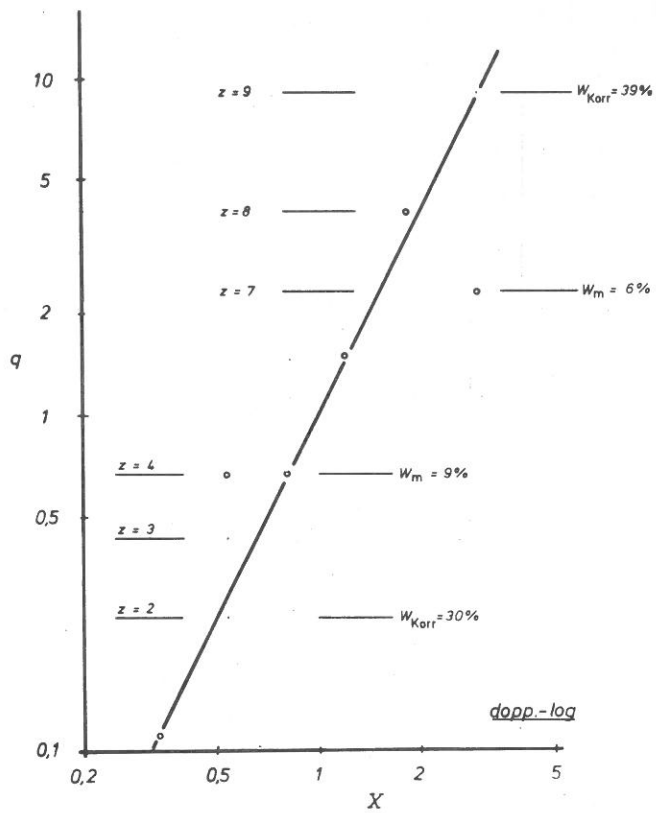
Bemerkungen:

1.) Das Diagramm $p = g(x)$ (S-Kurve) ist symmetrisch, d.h.:

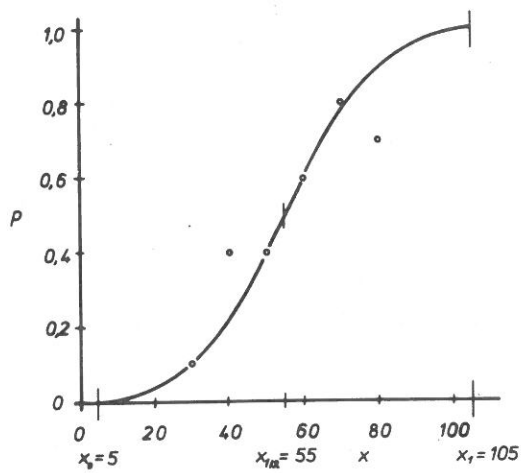
$$X_{1/2} = \frac{x_{1/2}-x_0}{x_1-x_{1/2}} = 1.$$

2.) In dem Diagramm $q = f(x)$ ist die Korrektur: $z_{\text{korr}} = 2$ statt $z_{\text{meß}} = 4$ noch akzeptabel.

Die Korrektur: $z_{\text{korr}} = 9$ statt $z_{\text{meß}} = 7$ dürfte dagegen auf einen Ausreißer hinweisen.



Beispiel: Schlagempfindlichkeit einer Zündholzkopfmasse; Alternativen-
 Quotient $q = f(X)$ mit $X =$ transformierte Belastung.
 Versuch zur Korrektur zweier Meßpunkte.



Schlagempfindlichkeit (Zündhäufigkeit) einer Zündholzkopf-
 masse.

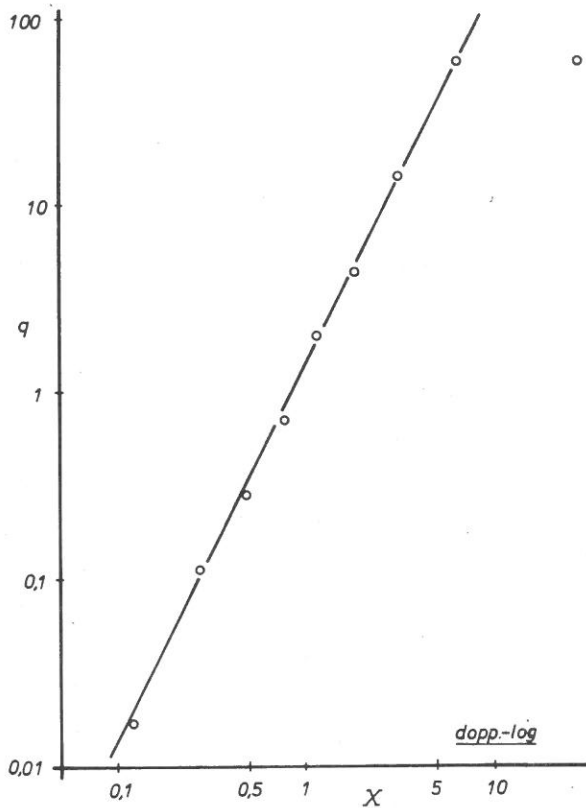
I. Längenmerkmal als Zufallsvariable

(Datenmaterial aus: L. Sachs "Statistische Methoden", 4. Auflage,
S. 24, Springer-Verlag Berlin - Heidelberg -
New York 1979)

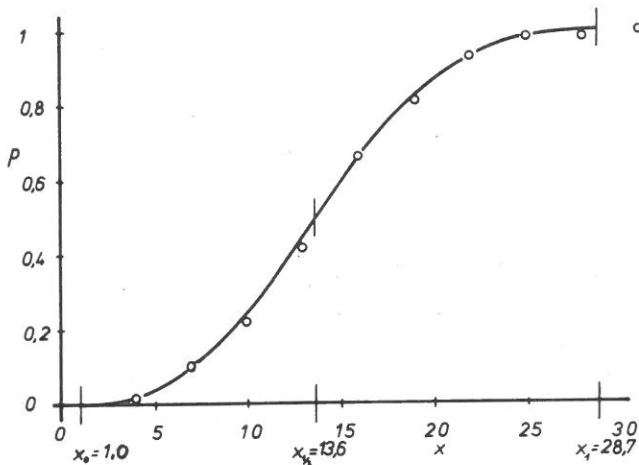
$$X^a - \text{Theorem in der Form } q = \left[\frac{x-x_0}{x_1-x} \cdot \frac{x_1-x_{1/2}}{x_{1/2}-x_0} \right]^a$$

- v = 60 = Anzahl an vermessenen Gegenständen
 z = Anzahl an Gegenständen einer Länge bis zu 1 cm
 p = z/v = Summenhäufigkeit
 q = $z/(v-z)$ = Alternativen-Quotient
 x = 1-42 cm = Längendifferenz (Zufallsvariable, obere Klassen-
grenze)
 x_0 = 1,0 cm = unterer Grenzwert ($l_0 = 43,0$ cm)
 $x_{1/2}$ = 13,6 cm = 50 % - Wert ($l_{1/2} = 55,6$ cm)
 x_1 = 28,7 cm = oberer Grenzwert ($l_1 = 70,7$ cm)
 a = 2 = Potenzparameter

Nr.	x	z	p	q	$X = \frac{x-x_0}{x_1-x}$
1	4	1	0,017	0,017	0,121
2	7	6	0,100	0,111	0,276
3	10	13	0,217	0,277	0,481
4	13	25	0,417	0,714	0,764
5	16	40	0,667	2,00	1,18
6	19	49	0,817	4,45	1,86
7	22	56	0,933	14,0	3,13
8	25	59	0,983	59,0	6,49
9	28	59	0,983	59,0	38,6
10	31	60	1	--	--



- o Beispiel:
 Längenmerkmal als Zufallsvariable;
 $q = f(X) = \text{Alternativen-Quotient}$
 $X = \frac{x-1,0}{28,7-x} = \text{transformierte Variable}$



Längenmerkmal als Zufallsvariable; $p = g(x) = \text{Summenhäufigkeit}$.
 Bemerkung: Die Abszissenwerte der eingetragenen Datenpunkte sind Klassenobergrenzen. Die größte Länge muß zwischen der Klassenobergrenze $x = 28$ und dem oberen Grenzwert $x_1 = 28,7$ liegen; sie ist also der Klassenobergrenze $x = 31$ zuzuordnen.

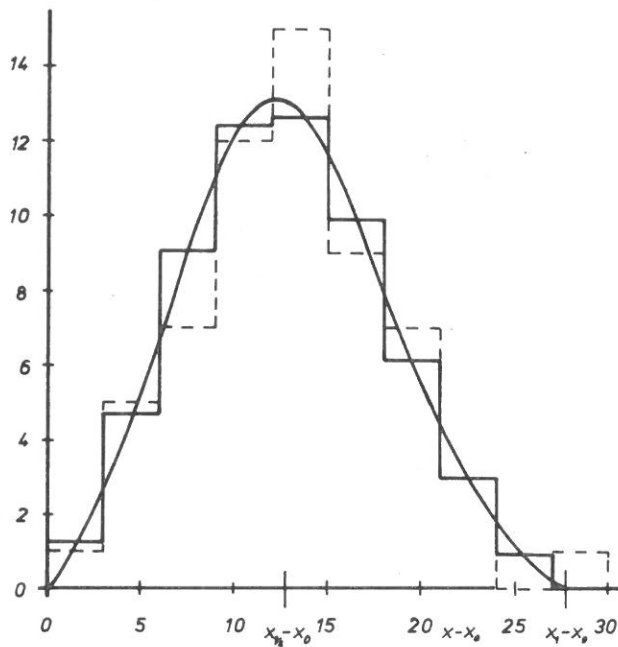
Aus der ermittelten Summenhäufigkeitsverteilung läßt sich die Häufigkeitsdichte ableiten:

In dem nachstehenden Diagramm gibt die gestrichelte Treppenkurve die erfaßten Daten wieder, also die gezählte Anzahl an Objekten mit Längen, die der Klasse mit der Klassenbreite $x_{i+1} - x_i = \Delta x$ (hier: $\Delta x = 3$) angehören.

Die durchgezogene Treppenkurve hat die Ordinatenwerte $v (\hat{p}_{i+1} - \hat{p}_i) = v \Delta \hat{p}_i$ mit dem Stichprobenumfang v (hier $v = 60$) und den Schätzwerten \hat{p}_j der ermittelten Summenhäufigkeitsverteilung.

Die kontinuierliche Kurve der Häufigkeitsdichte hat die Ordinatenwerte $v \Delta x p'$ mit

$$p' = \frac{dp}{dx} = a \hat{p} (1 - \hat{p}) \left[\frac{1}{x - x_0} + \frac{1}{x_1 - x} \right]$$



Längenmerkmal als Zufallsvariable; Häufigkeitsdichte.
Angaben zu den Ordinaten im Text.

II. Gesundheitsschädlicher Luftbestandteil als Zufallsvariable

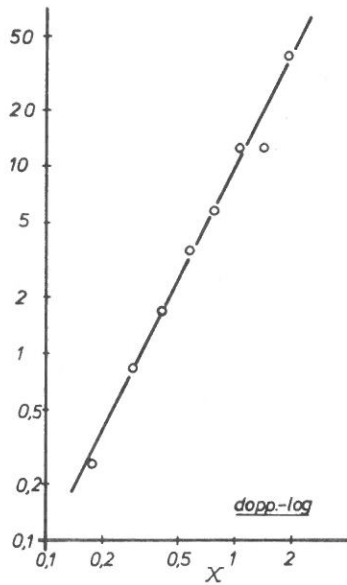
(Datenmaterial aus: G.Gottschalk: "Einführung in die chemische Materialprüfung (Planung, Auswertung, Beurteilung)"; s. 155

S.Hirzel Verlag Stuttgart 1966)

$$X^a - \text{Theorem in der Form } q = \left[\frac{x}{x_{1/2}} \quad \frac{x_1 - x_{1/2}}{x_1 - x} \right]^a$$

- v = 40 Einzelmessungen
 z = Anzahl an Messungen mit Gehalten bis zu x
 p = z/v = Summenhäufigkeit
 q = $z/(v-z)$ = Alternativen-Quotient
 x = Volumengehalte [ppm] · 10^{-1} (Klassenobergrenze)
 x_0 = 0
 $x_{1/2}$ = 6,5 = 50 % - Gehalt
 x_1 = 27,2 = oberer Grenzwert
 $a = 2$ = Potenzparameter

Nr.	x	z	p	q	$X = \frac{x}{x_1 - x}$
1	4	8	0,200	0,250	0,172
2	6	18	0,450	0,818	0,283
3	8	25	0,625	2,60	0,417
4	10	31	0,775	3,44	0,581
5	12	34	0,850	5,67	0,789
6	14	37	0,925	12,3	1,06
7	16	37	0,925	12,3	1,43
8	18	39	0,975	39,0	1,96

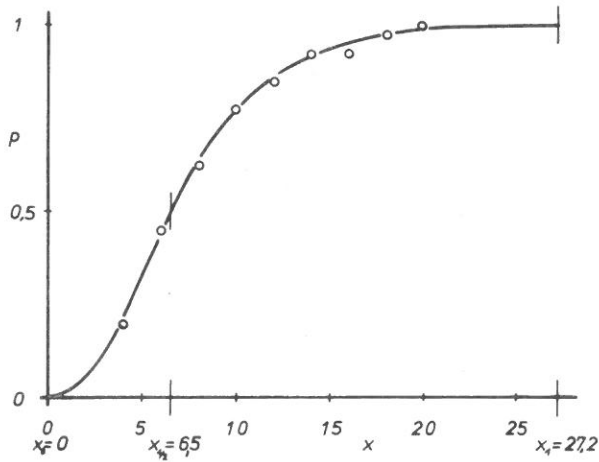


Beispiel:

Gesundheitsschädlicher Luftbestandteil
als Zufallsvariable;

$q = f(X) =$ Alternativen-Quotient

$X = \frac{x}{27,2-x} =$ transformierte Variable



Gesundheitsschädlicher Luftbestandteil;

$p = g(x) =$ Summenhäufigkeit

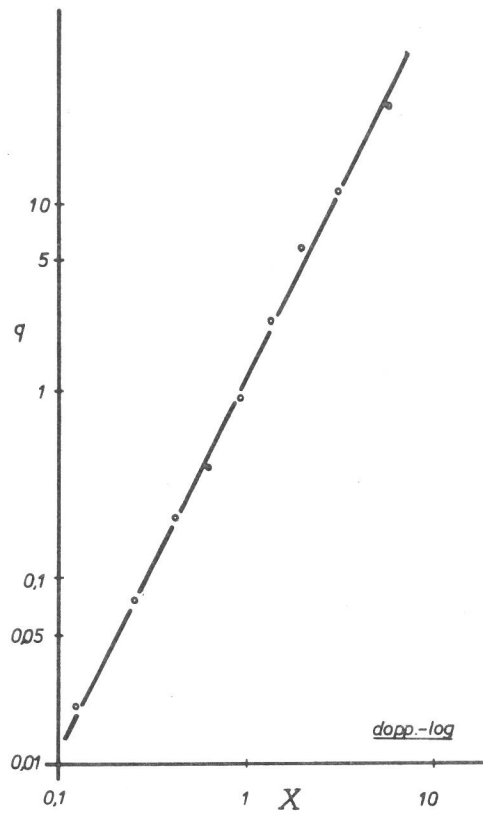
III. Ausfallverteilung mit der Betriebszeit als Zufallsvariable

(Datenmaterial aus: Firma Messerschmitt-Bölkow - Blohm
 "Technische Zuverlässigkeit"; S. 141
 (erste Auflage) Springer-Verlag Berlin-Heidel-
 berg-New York 1971).

$$X^a - \text{Theorem in der Form } q = \left[\frac{x-x_0}{x_1-x} \quad \frac{x_1-x_{1/2}}{x_{1/2}-x_0} \right]^a$$

- v = Untersuchungsumfang (100 Gegenstände)
 z = Anzahl an Gegenständen, die in der Zeit t [h] ausgefallen sind
 p = z/v = Summenhäufigkeit
 q = z/(v-z) = Alternativen-Quotient
 x = t - 350 = Zeitdifferenz (Klassenobergrenze)
 x₀ = 20 = unterer Grenzwert (t₀ = 370 h)
 x_{1/2} = 150 = 50 % - Wert (t_{1/2} = 500 h)
 x₁ = 290 = oberer Grenzwert (t₁ = 640 h)
 a = 2 = Potenzparameter

Nr.	x	z	p	q	X = $\frac{x-x_0}{x_1-x}$
1	50	2	0,02	0,020	0,125
2	75	7	0,07	0,075	0,256
3	100	17	0,17	0,205	0,421
4	125	28	0,28	0,389	0,636
5	150	48	0,48	0,923	0,929
6	175	70	0,70	2,33	1,35
7	200	85	0,85	5,67	2,00
8	225	92	0,92	11,5	3,15
9	250	97	0,97	32,3	5,75

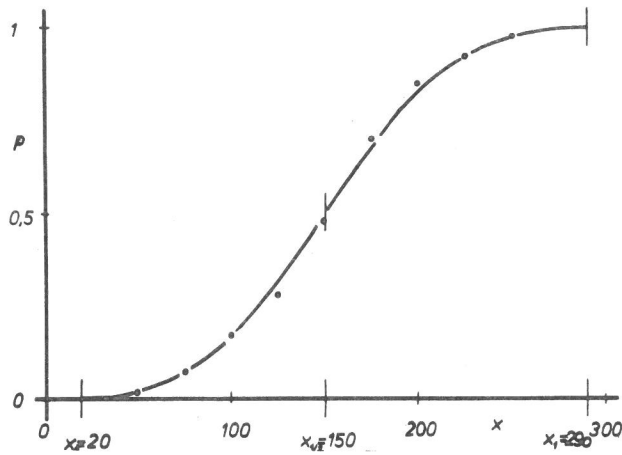


Beispiel:

Ausfallverteilung mit der Betriebszeit
als Zufallsvariable;

$$q = f(X) = \text{Alternativen-Quotient}$$

$$X = \frac{x_0 - 20}{290 - x_1} = \text{transformierte Variable}$$



Ausfallverteilung mit der Betriebszeit als Zufallsvariable;
 $p = g(x) = \text{Summenhäufigkeit}$

IV. Korngrößendurchmesser als Zufallsvariable

(Datenmaterial aus: O. Lauer : "Feinheitmessungen an technischen Stäuben"; S. 53, Tab. 7

Messung mit Fotosedimentometer nach Telle an Talkum. ALPINE AG Augsburg 1963)

$$X^a = \text{Theorem in der Form } q = \left[\frac{x}{x_{1/2}} \frac{x_1 - x_{1/2}}{x_1 - x} \right]^a$$

Mit D = Durchgang [%] und R = Rückstand [%] ist

$$p = D/(D+R) \text{ und } q = D/R$$

$$x_0 = 0$$

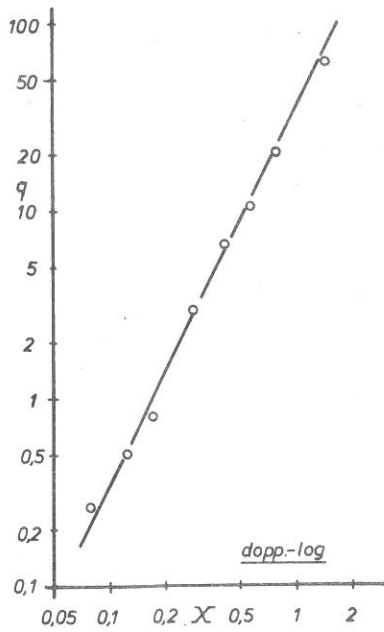
$$x = \text{Korndurchmesser } [\mu] \text{ (Klassenobergrenzen)}$$

$$x_{1/2} = 4 = 50 \% \text{ - Wert}$$

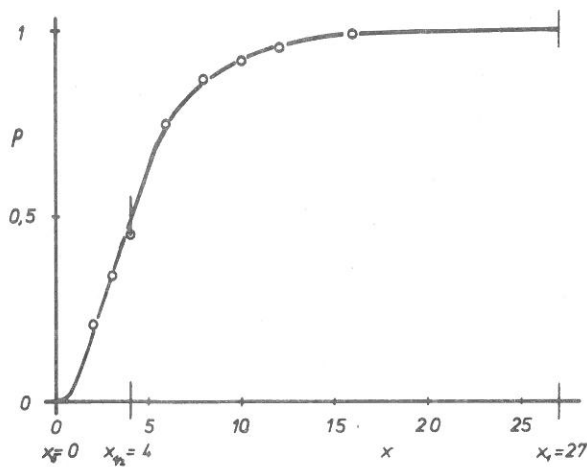
$$x_1 = 27 = \text{oberer Grenzwert}$$

$$a = 2 = \text{Potenzparameter}$$

Nr.	x	R	p	q	$X = \frac{x}{x_1 - x}$
1	2	78,90	0,21	0,27	0,080
2	3	65,87	0,34	0,52	0,125
3	4	55,27	0,45	0,81	0,174
4	6	25,07	0,75	3,00	0,286
5	8	13,07	0,87	6,65	0,421
6	10	8,40	0,92	10,9	0,588
7	12	4,58	0,95	20,8	0,800
8	16	1,55	0,99	63,5	1,45



Beispiel: Korngrößendurchmesser als Zufallsvariable;
 $q = f(X) = \text{Alternativen-Quotient}$
 $X = \frac{x}{27-x} = \text{transformierte Variable}$



Korngrößendurchmesser als Zufallsvariable;
 $p = g(x) = \text{Summenhäufigkeit}$

Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1 /September 1968

Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2 /Juli 1970 (vergriffen)

Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern
von Dr.-Ing. Götz Andreae

Nr. 3 /September 1970 (vergriffen)

Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungseilen als Beispiel für Verbundbauteile
von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4 /Dezember 1970 (vergriffen)

Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren
von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5 /März 1971

Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkverdichtungen für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken
von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6 /April 1971

Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen
von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7 /Juli 1971

Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8 /November 1971

Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9 /November 1971

Untersuchung über die sichere Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10 /Januar 1972

Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode
von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11 /Februar 1972

Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12 /Mai 1972

Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren
von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13 /Juni 1972

Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer

Nr. 14 /Juli 1972

Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz
von Eberhard Fischer

Nr. 15 /August 1972

Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16 /August 1972

Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer
von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17 /August 1972

Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen
von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18 /Januar 1973

Das Spröbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19 /Januar 1973

Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20 /April 1973

Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21 /Juli 1973

Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22 /Juli 1973

Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin

Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen
von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung

von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen

von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —

von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall

von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern

von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem Idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall

von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology

von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung

von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen

von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens

von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen

von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —

von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles

von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

Nr. 37/Februar 1976

Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 38/Juni 1976

Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 39/Juni 1976

Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newtonschem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung

von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf

Nr. 40/Juni 1976

Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren

von Dr. rer. nat. H. Hantsche

Nr. 41/Okttober 1976

Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten

von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher

Nr. 42/Okttober 1976

Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft

von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen

Nr. 43/Okttober 1976

Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 44/November 1976

Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“

von Dipl.-Ing. W. Matthees

Nr. 45/Dezember 1976

Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
von Dr.-Ing. W. Paatsch

Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)

Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung
Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler

Nr. 47/Juni 1977

Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
von Dr.-Ing. Arno Plank

Nr. 48/Okttober 1977

Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner

Nr. 49/Dezember 1977

Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
von Dr.-Ing. Günther Wittig

Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)

Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andrae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski

Nr. 51/Juni 1978

Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld

Nr. 52/August 1978

Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov

Nr. 53/Okttober 1978

Bemessung und Optimierung behelzbarer Straßen- und Brückenbeläge
von Rolf Günter Rohrman und Reinald Rudolphi

Nr. 54/Okttober 1978

Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Harro Sander

Nr. 55/November 1978

Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke

Nr. 56/Januar 1979

Stabilität von Sandwichbauteilen
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie

Nr. 57/März 1979

Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus

Nr. 58/März 1979

Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 59/Juli 1979

Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
von Dr.-Ing. Günther Plauk

Nr. 60/August 1979

Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs

Nr. 61/Dezember 1979

Beschreibung von Problemen der höheren Farbmatrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
von Dr. Klaus Richter

Nr. 62/Dezember 1979

Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker

Nr. 63/Dezember 1979

Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig

Nr. 64/Februar 1980

Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
von Dr.-Ing. Werner Rücker

Nr. 65/Februar 1980

Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 66/Mai 1980

Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig

Nr. 67/Mai 1980

Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung

von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees

Nr. 68/Mai 1980

Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik. Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Gonimeters

von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn

Nr. 69/Juni 1980

Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherhüllhüllen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise

von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl

Nr. 70/August 1980 (vergriffen)

Schwellenwerte beim Betondruckversuch

von Dr.-Ing. Gerald Schickert

Nr. 71/August 1980

Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen

von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera

Nr. 72/September 1980

Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen

von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 73/November 1980

Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen

von Dipl.-Ing. Peter Wegener

Nr. 74/November 1980

ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz

von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller

Nr. 75/November 1980

Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen

von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 76/November 1980

Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop

von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig

Nr. 77/April 1981

Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen

von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch

Nr. 78/September 1981

Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund

von Dr.-Ing. Werner Rücker

Nr. 79/Dezember 1981

Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kalttribneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch

von Dr.-Ing. Volker Neumann

Nr. 80/Dezember 1981

Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten

von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch

Nr. 81/Dezember 1981

Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik

von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt