

**Absicherung der statistisch  
erhobenen Festbetonkennwerte  
für die neue Normengeneration**

**T 3094**

**T 3094**

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2005, ISBN 3-8167-6966-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.IRBbuch.de](http://www.IRBbuch.de)

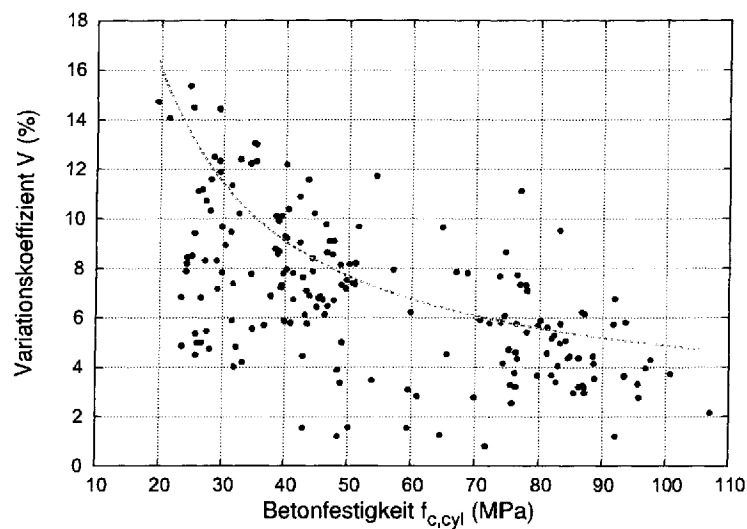


UNIVERSITÄT LEIPZIG



Bau- und Wirtschaftsingenieurwesen  
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie  
Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue

## Absicherung der statistisch erhobenen Festbetonkennwerte für die neue Normengeneration



Prof. Dr.-Ing. habil. Nguyen Viet Tue  
Dipl.-Ing. Gunter Schenck  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Johannes Schwarz

Januar 2005

Dieser Forschungsbericht umfasst 174 Seiten.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Problemstellung und Ziele des Vorhabens</b>	<b>4</b>
<b>2. Mathematische Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1. Allgemeines . . . . .	7
2.2. Statistische Kenngrößen . . . . .	7
2.3. Verwendete Verteilungsfunktion . . . . .	10
2.4. Auswertungsmethoden . . . . .	13
2.5. Sicherheitsindex und Sicherheitsfaktoren . . . . .	16
2.5.1. Sicherheitsfaktoren . . . . .	18
2.5.2. Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte . . . . .	20
<b>3. Datenbasis für statistische Auswertung</b>	<b>23</b>
3.1. Beschaffung und Herkunft der Daten . . . . .	23
3.2. Beschreibung des Datenumfangs und Eignung der Daten . . . . .	23
3.2.1. Hochfester Beton und Leichtbeton . . . . .	23
3.2.2. Normalbeton . . . . .	23
<b>4. Ergebnisse der statistischen Auswertung</b>	<b>25</b>
4.1. Ergebnis der einzelnen Stichprobe . . . . .	25
4.2. Ergebnis der Grundgesamtheit . . . . .	25
<b>5. Folgerung für die Sicherheit</b>	<b>29</b>
5.1. Allgemeines . . . . .	29
5.2. Teilsicherheitsfaktor für Beton gemäß DIN 1045-1 . . . . .	31
5.3. Vorschlag für die Festlegung der Teilsicherheitsfaktoren . . . . .	33
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>36</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>37</b>
<b>A. Daten</b>	<b>39</b>
A.1. Verwendete Daten normalfester Beton . . . . .	39
A.2. Verwendete Daten hochfester Beton . . . . .	41
<b>B. Diagramme</b>	<b>43</b>

# 1. Problemstellung und Ziele des Vorhabens

Für die Herstellung von Betonen werden vorwiegend Ausgangsstoffe natürlicher Herkunft verwendet. Streuungen der Betoneigenschaften sind somit unvermeidbar. Die Abweichungen bei der Herstellung und beim Einbau vergrößern weiterhin die Streuungen. Die Betoneigenschaften sind somit keine deterministischen sondern statistische Größen. Bei Verwendung von Beton als Konstruktionsmaterial müssen die Streuungen aus Standsicherheitsgründen erfasst und entsprechend berücksichtigt werden. Deshalb hat die Erfassung der Streuungen der Betoneigenschaften für die Wirtschaftlichkeit der Stahlbetonbauweise ebenfalls eine große Bedeutung.

Die Notwendigkeit zur Erfassung von Streuungen der Betoneigenschaften wurde bereits frühzeitig erkannt. *Rüsch* führte im Jahr 1969 eine umfangreiche Untersuchung zur Ermittlung der statischen Kenngrößen von Betonen mit Druckfestigkeit bis ca.  $50 \text{ N/mm}^2$  durch [17]. Das wohl wichtigste Ergebnis seiner Auswertung war, dass der Mittelwert der Standardabweichung der Druckfestigkeit annähernd unabhängig von der Festigkeitsklasse ist und ca.  $5 \text{ N/mm}^2$  beträgt, siehe Bild 1.1.

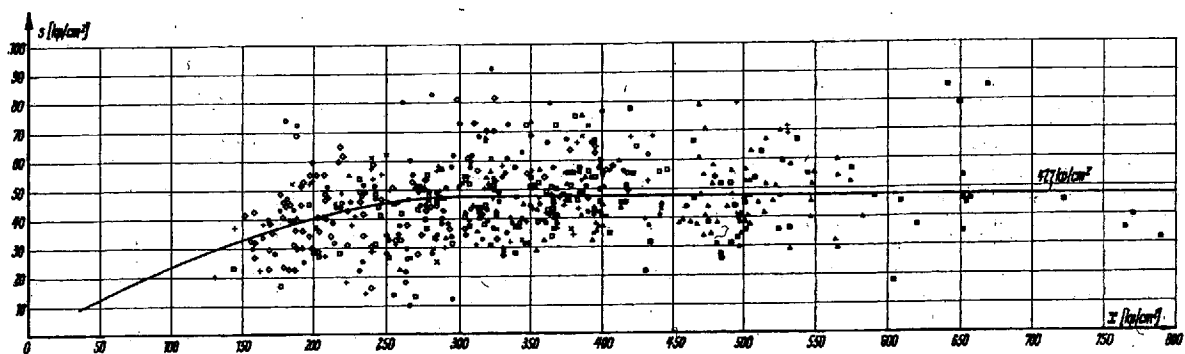


Bild 1.1.: Streuung der Standardabweichung nach *Rüsch*

Dieses Ergebnis bildet heute noch die Basis für Anforderungen hinsichtlich der Qualitätskontrolle, der Festlegung eines erforderlichen Vorhaltemaßes bei Erstprüfung etc. Zum Beispiel wird in EC 2 [3] und DIN 1045-1 [9] für alle Betonfestigkeitsklassen die Beziehung zwischen Mittel- und charakteristischem Wert der Druckfestigkeit gemäß Gl. 1.1 angegeben:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1.1)$$

Da für die Ermittlung der Verformung, einer integralen Größe über die gesamte Bauwerkslänge, die Mittelwerte der Baustoffeigenschaften verwendet werden sollen, hat diese Festlegung unmittelbaren Einfluss auf die rechnerische Standsicherheit von Tragwerken wenn Theorie II. Ordnung maßgebend wird. Das Ausmaß der Einflüsse ist jedoch sehr unterschiedlich. Während die rechnerische Steifigkeit bei Bauwerken aus hochfestem Beton annähernd unabhängig davon ist, ob Mittel- oder charakteristische Werte der Druckfestigkeit verwendet werden, ist der rechnerische

Steifigkeitsunterschied bei Bauwerken aus Betonen unterer Festigkeitsklassen groß. Es ist deshalb zu hinterfragen, ob die Annahme der Gl. 1.1 unter heutigen Produktionsbedingungen noch berechtigt ist und welche Standardabweichung hochfeste Betone haben. Im Zusammenhang mit hochfestem Beton sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass er einerseits empfindlicher gegenüber Streuungen von Ausgangsmaterialien ist, andererseits wird bei Herstellung von hochfesten Betonen aufwendige Qualitätssicherung vorgenommen, die sicherlich nicht ohne Einfluss auf die Qualität von hochfesten Betonen sein dürfte.

Es ist davon auszugehen, dass die von *Rüsch* verwendeten Ausgangsdaten [17] mit ganz anderen Produktionsbedingungen behaftet sind als die heutigen Daten aus den Transportbetonwerken. Beton wurde damals vorwiegend auf der Baustelle hergestellt. Der Mechanisierungsgrad bei der Betonherstellung war wesentlich geringer. Für die Verarbeitung wurde in der Regel auch eine steifere Konsistenz als heute gewählt. Hierdurch kann vermutet werden, dass der Unterschied zwischen Labor- und Bauwerksfestigkeit deutlich größer als der des heutigen Betons ist. Heutiger Beton kommt fast ausschließlich aus Transportbetonwerken. Die Dosiereinrichtungen für die Ausgangsstoffe arbeiten wesentlich zuverlässiger. Vor allem wird hierbei der Feuchtigkeitsgehalt des Sandes laufend kontrolliert, so dass die Schwankung des  $w/z$ -Wertes als gering einzuschätzen ist. Darüber hinaus wird der Qualitätskontrolle beim hochfesten Beton deutlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Inwieweit die Änderung der Produktionsbedingungen und die Verbesserung der Qualitätskontrolle zu einer Reduzierung der Streuungen von Betoneigenschaften führen, soll durch Auswertung neuerer Daten festgestellt werden.

In der neuen Normengeneration wird anstelle eines globalen Sicherheitsbeiwertes, der sowohl die Streuungen von Einwirkungen als auch die der Materialeigenschaften beinhaltet, ein Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten vorgezogen. Hiermit wird der Unsicherheit dort begegnet, wo sie entsteht. Ein gleichmäßiges Sicherheitsniveau, das durch den Sicherheitsindex  $\beta$  definiert ist, sollte bei allen Bauwerken, unabhängig vom Material- und Versagenstyp, erreicht werden. Die Erfassung der tatsächlichen Streuungen der Werkstoffe Beton und Stahl und der verschiedenen Einwirkungen gewinnt damit an Bedeutung.

Für Beton wurde in [13] angegeben, dass ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,23 zur Erfassung der Streuung der Materialeigenschaften ermittelt wird. Zur Berücksichtigung der Modellunsicherheit wird ein Faktor von 1,05 eingeführt. Der Unterschied zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit wird mit einem Wert von 1,15 belegt, so dass insgesamt ein Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 für den Beton in EC 2 [3] und DIN 1045-1 [9] angegeben wird. Bei hochfestem Beton wird darüber hinaus der Teilsicherheitsfaktor um den Beiwert  $\gamma'_c$  erhöht, der mit zunehmender Festigkeit größer wird. Da der Teilsicherheitsbeiwert eine Funktion vom Variationskoeffizient ist, wird bereits bei einem konstanten Teilsicherheitsbeiwert unterstellt, dass die Standardabweichung linear mit der Druckfestigkeit zunimmt. Hiernach müsste also ein C 70 eine zweifache Standardabweichung von C 35 aufweisen. Dies ist mit der strengeren Qualitätskontrolle bei hochfestem Beton kaum vorzustellen und widerspricht der Angabe zum Mittelwert gemäß der Gl. 1.1. Mit der Auswertung der Daten aus hochfestem Beton soll hier Klarheit geschaffen werden.

Es ist deutlich geworden, dass die Ermittlung der tatsächlichen Streuungen von Betoneigenschaften eine sehr wichtige Rolle für die Qualitätskontrolle und die Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte spielt. Das Gesamtziel des Vorhabens ist deshalb, durch Auswertung der neu gewonnenen Daten die statistischen Kenngrößen von Betonen unterschiedlicher Festigkeitsklassen unter Berücksichtigung der heutigen Produktionsbedingungen und Qualitätskontrollen zu ermitteln. Hierbei soll insbesondere dem hochfesten Beton Aufmerksamkeit geschenkt werden. Anhand der statistischen Ergebnisse sollten die erforderlichen Teilsicherheitsfaktoren entsprechend des neuen Sicherheitskonzeptes von DIN 1055-100 [8] ermittelt werden. Diese theoretisch

ermittelten Sicherheitsfaktoren können als Diskussionsgrundlage für eine neue Überarbeitung der Teilsicherheitsfaktoren für Beton dienen.

## 2. Mathematische Grundlagen

### 2.1. Allgemeines

Für die Bearbeitung dieses Vorhabens werden Druckfestigkeitswerte, die im Rahmen der Qualitätskontrolle erzielt wurden, von verschiedenen Bauwerken gesammelt. Die Daten jedes Bauwerks bzw. Bauabschnitts bilden eine Stichprobe. Die einzelnen Daten werden als Zufallsvariable innerhalb einer Stichprobe betrachtet. Für die statistische Auswertung der Daten werden verschiedene Verteilungsfunktionen verwendet, um jeweils die beste Anpassung für die betrachtete Stichprobe zu erhalten. Im Folgenden werden diese Verteilungsfunktionen zusammenfassend beschrieben, um den Lesern einen kurzen Überblick über das mathematische Werkzeug und die verwendeten Methoden zu geben. Dadurch soll das Verständnis erleichtert werden. Die statistischen Kenngrößen der einzelnen Stichproben bilden wiederum die Ausgangsdaten für die Betrachtung der Grundgesamtheit, wobei hierfür in der Regel die Normalverteilung, die Log-Normalverteilung oder die Weibullverteilung zugrunde gelegt wird. Darüber hinaus werden die Zusammenhänge für die Ermittlung des erforderlichen Teilsicherheitsbeiwertes gemäß DIN 1055-100 [8] kurz erläutert.

### 2.2. Statistische Kenngrößen

Aus statistischer Sicht kann eine Stichprobe mit  $n$  Einzelwerten mit dem Histogramm und der Summenhäufigkeit beschrieben werden. In Bild 2.1 und Bild 2.2 sind als Beispiel das Histogramm und die Summenhäufigkeit von Betondruckfestigkeiten einer Stichprobe dargestellt.

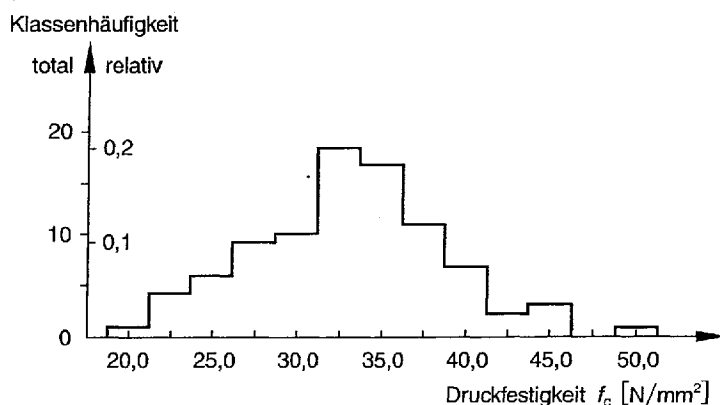
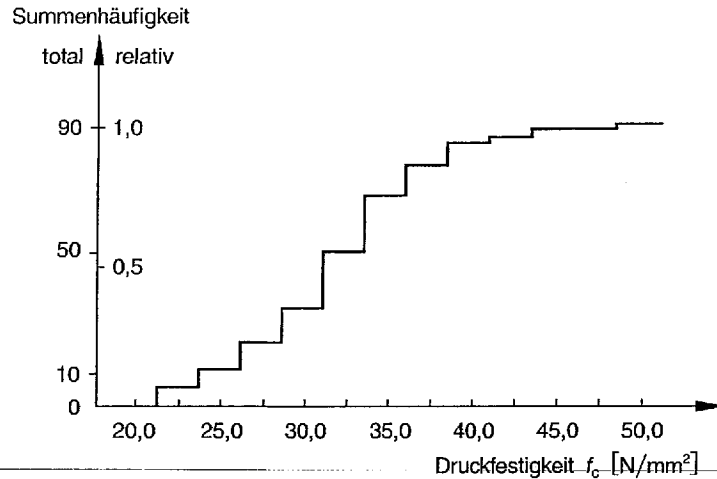


Bild 2.1.: Histogramm für die Zylinderdruckfestigkeit

Gehen Klassenbreite gegen Null und Anzahl der Einzelwerte gegen unendlich, so wird die Stichprobe zur Grundgesamtheit und die Histogramme gehen in Kurven über, die sich durch Funktionen beschreiben lassen. Man nennt die aus dem Histogramm entstandene Funktion Verteilungsdichte oder Dichte einer  $f_X(x)$  die aus der Summenhäufigkeit entstandene Funktion Verteilungs-





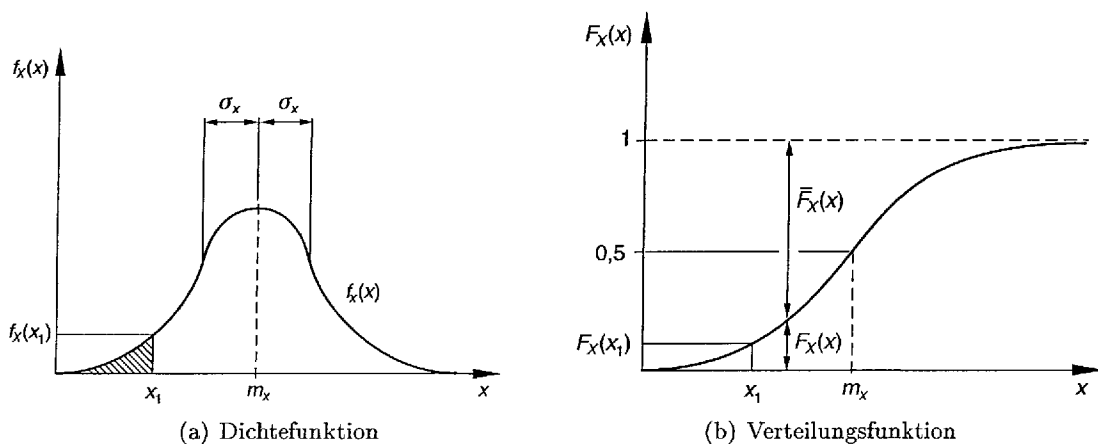
**Bild 2.2.:** Summenhäufigkeit der Zylinderdruckfestigkeit von Beton

funktion oder kurz *Verteilung* (Bild. 2.3(b)). Der Zusammenhang zwischen Verteilungsdichte  $f_X(x)$  und Verteilungsfunktion  $F_X(x)$  kann wie folgt angegeben werden:

$$F_X(x_1) = \int_{x=-\infty}^{x_1} f_X(x) dx \quad \text{bzw.} \quad \frac{dF_X(x)}{dx} = f_X(x). \quad (2.1)$$

Der Wert  $F_X(x_1)$  stellt die Auftretenswahrscheinlichkeit  $p(x \leq x_1)$  des Ereignisses  $X$  bei  $x \leq x_1$  dar.

$$p(x \leq x_1) = F_X(x_1) = \int_{x=-\infty}^{x_1} f_X(x) dx, \quad (2.2)$$



**Bild 2.3.:** Statistische Verteilung

Die beiden Funktionen lassen sich durch folgende statistische Kenngrößen beschreiben.

- Zentralwert oder Medianwert  $m_X$  (oder  $\check{x}$ )

Er wird mit gleicher Wahrscheinlichkeit über- oder unterschritten. Bei Durchführung vieler Zufallsexperimente wird man daher oberhalb und unterhalb dieses Wertes die gleiche Ergebnisanzahl erhalten.

$$F_X(\check{x}) = 0,5. \quad (2.3)$$

- Häufigster Wert oder Modalwert  $\hat{x}$

Er liegt bei dem Maximalwert der Dichte. Es gilt an der Stelle  $x = \hat{x}$ :

$$\frac{d(f_X(\hat{x}))}{dx} = 0. \quad (2.4)$$

- Mittelwert (*mean*) oder arithmetisches Mittel  $m_X$  (oder  $\bar{x}$ )

Er lässt sich anschaulich als Schwerpunkt der Fläche unter der Dichtefunktion beschreiben:

$$m_X = \int_{x=-\infty}^{+\infty} x \cdot f_X(x) dx. \quad (2.5)$$

Hat man eine Stichprobe vom Umfang  $n$  (Anzahl der Proben) vorliegen, so ist das arithmetische Mittel  $\bar{x}$  der Stichprobe ein guter Schätzwert für den Mittelwert  $m_x$  der Grundgesamtheit

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.6)$$

Die Kennwerte Mittelwert, Zentralwert und häufigster Wert sind bei symmetrischen Verteilungsfunktionen gleich.

- Streuung oder Varianz  $\sigma_X^2$

Sie kann als Trägheitsmoment der Fläche unter der Dichtefunktion (bezogen auf den Schwerpunkt  $m_X$ ) geometrisch gedeutet werden bzw. als Maß für die mittlere Abweichung vom Mittelwert beschrieben werden.

$$\sigma_X^2 = \int_{x=-\infty}^{+\infty} (x - m_X)^2 \cdot f_X(x) dx. \quad (2.7)$$

Für eine begrenzte Probenzahl  $n$  wird die Streuung der Grundgesamtheit näherungsweise wie folgt ermittelt:

$$\sigma_X^2 \approx \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2. \quad (2.8)$$

- Standardabweichung  $\sigma_x$

Sie ist die Wurzel aus der Varianz. Sie besitzt die gleiche Dimension wie der Mittelwert

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma_X^2}. \quad (2.9)$$

- Variationskoeffizient  $V_X$

Für die dimensionslose Darstellung wird der Variationskoeffizient eingeführt

$$V_X = \frac{\sigma_X}{m_X}. \quad (2.10)$$

- $p\%$ -Fraktile  $x_p$

Man nennt einen Wert, der mit  $p\%$  Wahrscheinlichkeit unterschritten oder höchstens erreicht wird,  $p\%$ -Fraktile  $x_p$ . Allgemein gilt

$$x_p = m_X \pm k \cdot \sigma_X. \quad (2.11)$$

In der obigen Gleichung ist  $k$  der Fraktilefaktor (s. Tab. 2.3(b)), das Pluszeichen wird für Fraktile größer als 50 % und das Minuszeichen für Fraktile kleiner als 50 % verwendet.

### 2.3. Verwendete Verteilungsfunktion

#### **Gauß'sche Normalverteilung**

Die Gleichungen der Normalverteilung lauten:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - m_X}{\sigma_X} \right)^2 \right], \quad (2.12)$$

$$F_X(x_1) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \int_{x=-\infty}^{x_1} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - m_X}{\sigma_X} \right)^2 \right] dx. \quad (2.13)$$

Führt man den normierten Faktor  $k$  ein (auch Fraktilefaktor genannt)

$$k = \frac{x - m_X}{\sigma_X}, \quad (2.14)$$

so erhält man die normierte Dichtefunktion sowie die normierte Verteilungsfunktion

$$\Phi(k) = \Phi \left( \frac{x - m_X}{\sigma_X} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{k=0}^{k_1} \exp \left( -\frac{1}{2} \cdot k^2 \right) dk. \quad (2.15)$$

Für die Fraktile  $x_p$  gilt wie in Gl. (2.11)

$$x_p = m_X \pm k_p \cdot \sigma_X. \quad (2.16)$$

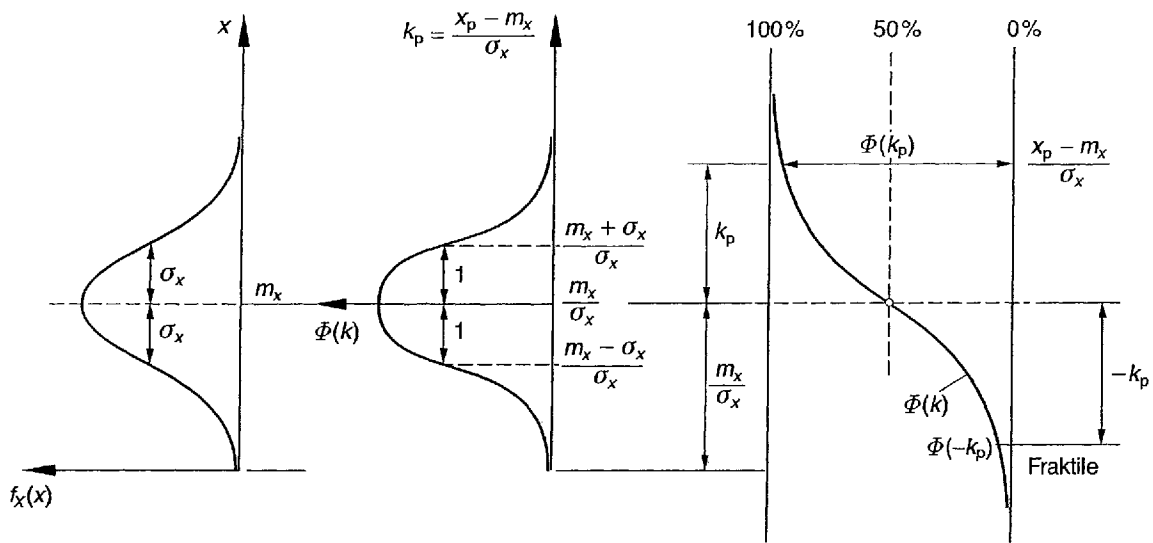
Die Zusammenhänge für die *Gauß'sche* Normalverteilung sind in Bild 2.4 dargestellt.

Die Funktionswerte  $\Phi(k_p)$  sind nicht in geschlossener Form integrierbar. In Tab. 2.1 sind einige Zahlenwerte von  $k_p$  für die zugehörigen Fraktile  $x_p$  (ausgedrückt durch  $p\%$ ) angegeben.

Die 5%-Fraktile ist demnach: Mittelwert minus 1,645-facher Standardabweichung

$$x_{5\%} = m_X - 1,645 \cdot \sigma_X = m_X(1 - 1,645 \cdot V_X). \quad (2.17)$$

Die fehlende Begrenzung maximaler und minimaler Werte führt dazu, dass negative Werte auftreten, wenn auch mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit. Dies ist bei Materialeigenschaften nicht möglich. Wegen seiner Eigenschaft, dass jede Linearkombination unabhängiger, normalverteilter Größen wiederum normalverteilt ist, wird die Normalverteilung dennoch oft für die Beurteilung der Betonqualität verwendet.



(a) Dichtefunktion (b) normierte Dichtefunktion (c) normierte Verteilungsfunktion

**Bild 2.4.:** Zusammenhänge der *Gauß*'schen Normalverteilung

**Tab. 2.1.:** Fraktile und Fraktilenfaktor  $k_p$  für die Normalverteilung

$p\%$	50	20	10	5	2,5	1,25	1,0	0,5	0,100
$k_p$	0	0,842	1,282	1,645	1,960	2,210	2,326	2,576	3,090

### Die logarithmische Normalverteilung

Charakteristisch für diese Verteilung ist, dass die Logarithmen der Zufallsgrößen normalverteilt sind. Zu jedem der beobachteten Werte  $r_i$  gehört ein Wert  $x_i$  mit

$$x_i = \ln |r_i|. \quad (2.18)$$

Entsprechend der *Gauß*'schen Normalverteilung sind die Verteilungsdichte und die Verteilungsfunktion der logarithmischen Normalverteilung (Log-Normalverteilung) wie folgt definiert:

$$f_R(r) = \frac{1}{\sigma_X \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{r} \exp\left(-\frac{(\ln |r| - m_X)^2}{2 \cdot \sigma_X^2}\right), \quad (2.19)$$

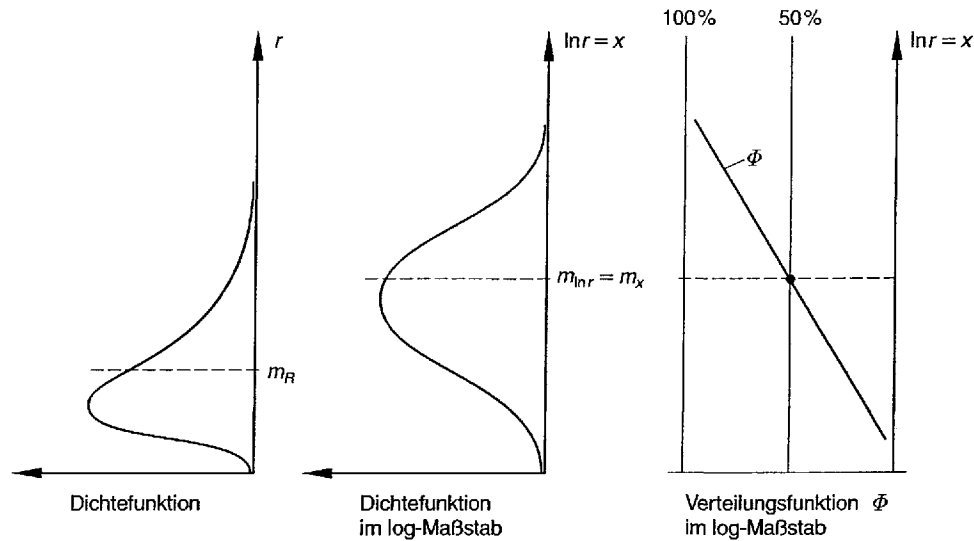
$$F_R(r_1) = \frac{1}{\sigma_X \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{r=0}^{r_1} \frac{1}{r} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln |r| - m_X)^2}{2 \cdot \sigma_X^2}\right) dr. \quad (2.20)$$

Die Beziehung zwischen Mittelwerten von  $r$  und  $x$  können wie folgt geschrieben werden:

$$m_R = \exp\left(m_X + \frac{\sigma_X^2}{2}\right) \quad (2.21)$$

oder

$$m_X = \ln |m_R| - \frac{\sigma_X^2}{2}. \quad (2.22)$$



**Bild 2.5.:** Zusammenhänge der Log-Normalverteilung

Mit der Näherung  $\sigma_X \approx V_R$  (gilt für  $V_R < 0,3$ ) kann die Fraktile folgendermaßen angegeben werden:

$$r_p = m_R \cdot \exp(-0,5 \cdot V_R^2 \pm k_p \cdot V_R). \quad (2.23)$$

Entsprechend der Tab. 2.1 lässt sich die 5%-Fraktile schreiben:

$$r_{5\%} = m_R \cdot \exp(-1,645 \cdot V_R - 0,5 \cdot V_R^2). \quad (2.24)$$

Die Zusammenhänge der lg-Normalverteilung sind im Bild 2.5 dargestellt.

### Die Weibullverteilung

Die *Weibull*-Verteilung ist eine statistische Verteilung, die nach dem Schweden *Waloddi Weibull* (1887-1979) benannt wurde.

Mit ihr lassen sich Prozesse, für die die Maxima bzw. Minima entscheidend sind, gut abbilden. Sie gehört damit zur Gruppe der Extremwertverteilungen (Extremwert Typ III). Gedankliche Grundlage bildet z.B. eine Kette von Elementen (in Reihenschaltung), die versagt, sobald das schwächste Element versagt.

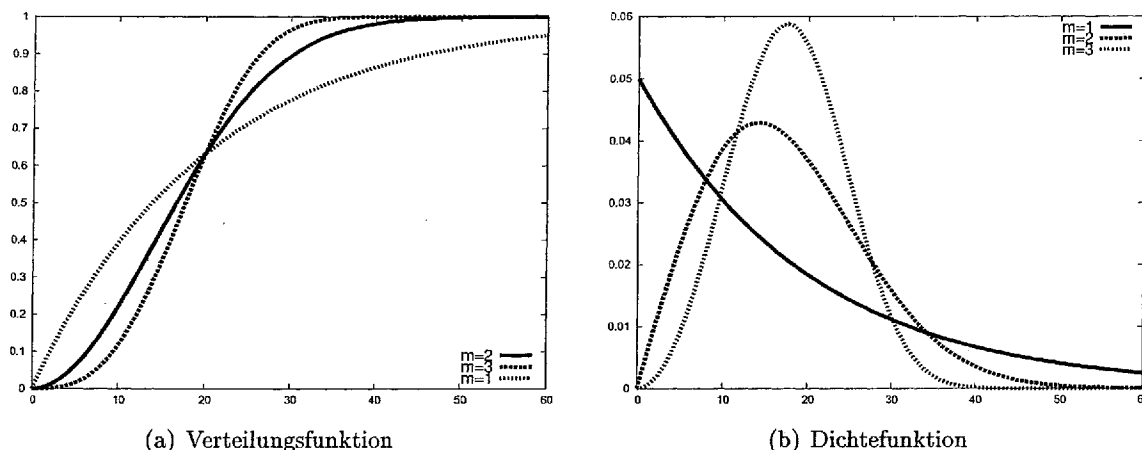
Die Weibull-Verteilung lässt sich durch Transformation aus der Exponential-Verteilung gewinnen: Sei  $X \sim \text{Exp}(a)$ , dann ist  $Y = X^{1/b}$  Weibull( $a, b$ )-verteilt.

Die Dichtefunktion der *Weibull*-Verteilung ist

$$f(x) = k \frac{x^{k-1}}{x_0^k} e^{-(x/x_0)^k} \quad (2.25)$$

und ihre Verteilungsfunktion lautet

$$F(x) = 1 - e^{-(x/x_0)^k} \quad (2.26)$$



für  $x > 0$ ,  $x_0 > 0$  und  $k > 0$ .

Ihre Parameter sind der Erwartungswert

$$m_x = x_0^{-1/k} \Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right) \quad (2.27)$$

und die Standardabweichung

$$\sigma_x^2 = x_0^{-2/k} \left[ \Gamma\left(\frac{2}{k} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{k} + 1\right) \right], \quad (2.28)$$

wobei  $\Gamma$  mit  $x > 0$  die Gammafunktion bezeichnet:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (2.29)$$

Der Fraktilefaktor für den 5%-Fraktilewert beträgt 2,97.

## 2.4. Auswertungsmethoden

Für die Auswertung der gesammelten Daten der Druckfestigkeit können prinzipiell folgende zwei Methoden herangezogen werden:

- die Momentenmethode und
- die Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least-Square-Fit=LSM)

Bei Verwendung der Momentenmethode wird angenommen, dass die auszuwertende Stichprobe der gewählten Verteilungsfunktion folgt. In der Regel sind dies Normalverteilung oder Log-Normalverteilung. Die festgestellten statistischen Kenngrößen der Stichprobe werden dann als Kenngrößen der Grundgesamtheit betrachtet.

Grundsätzlich stellt die Annahme des Vorliegens einer bestimmten statistischen Funktion nur eine Vermutung dar. Die Verwendung der Momentenmethode hat den Nachteil, dass die Richtigkeit der Annahme über die statistische Funktion nicht überprüft werden kann.

Mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate werden dagegen die gewählten theoretischen Verteilungsfunktionen an die Daten der Stichprobe der Grundgesamtheit direkt angepasst. Dies geschieht entweder numerisch oder anschaulicher direkt mit Hilfe des sogenannten Wahrscheinlichkeitspapiers. Beim Wahrscheinlichkeitspapier werden Abzisse und Ordinate so nichtlinear verzerrt dargestellt, dass der Abtrag der Daten bei genauer Übereinstimmung der Stichprobenverteilung und der vermuteten Verteilung eine Gerade ergibt.

Wie gut die Stichprobe zu der gewählten theoretischen Funktion passt, kann an dem sogenannten Bestimmtheitsmaß  $R$  erkannt werden. Je größer dieser Wert ( $0 \leq R \leq 1$ ) ist, umso besser ist die Anpassung. Die Probe folgt exakt der gewählten Funktion, wenn der Bestimmtheitsgrad 1,0 beträgt.

Wenn eine beliebige Verteilungsfunktion  $F(p)$  als theoretische Verteilung gewählt wird, werden die Daten der Stichprobe auf der  $x$ -Achse nach ihrer Größe geordnet dargestellt

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_{n-1} \leq x_n. \quad (2.30)$$

Auf der  $y$ -Achse wird die transformierte Wahrscheinlichkeit dargestellt. Für alle Werte  $x_i$  wird die Auftretenswahrscheinlichkeit wie folgt ermittelt:

$$y_i = 1/(n + 1)$$

Für die weiteren Datenpunkte kann die Summenhäufigkeit entsprechend ermittelt werden:

$$y_2 = y_1 + 1/(n + 1)$$

...

$$y_n = y_{n-1} + 1/(n + 1)$$

Für jedes  $x_i$  und  $y_i$  wird dann eine Transformation durchgeführt, um eine lineare Darstellung zu ermöglichen:

- Normalverteilung

$$X_i = x_i$$

$$Y_i = \Phi(y_i)$$

- Log-Normalverteilung

$$X_i = \ln(x_i)$$

$$Y_i = \Phi(y_i)$$

- Weibullverteilung

$$X_i = \ln(x_i)$$

$$Y_i = \ln(-\ln(1 - y_i))$$

Durch eine lineare Regression für die so ermittelten Wertepaare  $(X_i, Y_i)$  erhält man die gesuchte Gerade  $Y = a \cdot X + b$ .

Die maßgebende Verteilung läßt sich anhand des Bestimmtheitsgrades  $R$  (auch Korrelationskoeffizient genannt) bestimmen:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}. \quad (2.31)$$

Für die weitere Bearbeitung wird die Verteilung gewählt, die den größten Korrelationskoeffizienten aufweist.

Die Parameter der Verteilungen und die charakteristischen Werte können dann ermittelt werden:

- Normalverteilung

$$\begin{aligned} f_{cm} &= \frac{-b}{a} \\ \sigma &= \frac{-b}{a} - \frac{1-b}{a} = \frac{1}{a} \\ f_{ck} &= f_{cm} - 1,645 \cdot \sigma \end{aligned}$$

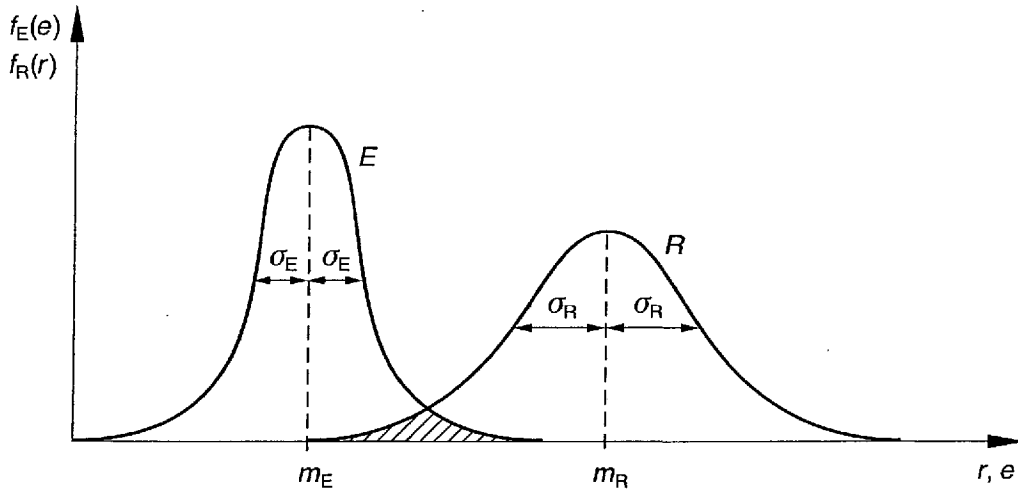
- Log-Normalverteilung

$$\begin{aligned} f_{cm} &= \exp\left(\frac{-b}{a}\right) \\ \sigma &= \exp\left(\frac{1}{a}\right) \\ f_{ck} &= f_{cm} - 1,645 \cdot \sigma \end{aligned}$$

- Weibullverteilung

$$\begin{aligned} f_{cm} &= \exp\left(\frac{-b}{a}\right) \\ \sigma &= \exp\left(\frac{1}{a}\right) \\ f_{ck} &= f_{cm} - 2,97 \cdot \sigma \end{aligned}$$



Bild 2.6.: Verteilungsdichten von  $R$  und  $E$ 

## 2.5. Sicherheitsindex und Sicherheitsfaktoren

Sowohl der Widerstand eines Bauteils  $R$  (Bauwerks) als auch die Einwirkungen  $E$  sind keine deterministischen, sondern statistische Größen mit den Verteilungen  $f_R(r)$  und  $f_E(e)$ .

Die Verteilungsdichten von  $r$  und  $e$  überschneiden sich mehr oder weniger. Theoretisch sind immer Fälle gegeben, in denen ein zufälliger Widerstand  $r$  kleiner als die gleichzeitig vorhandene Einwirkung  $e$  ist. Die schraffierte Fläche im Bild 2.6 gibt einen Überblick über die Versagenswahrscheinlichkeit. Je größer diese Fläche ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass zufällig  $r$  kleiner oder gleich  $e$  ist. In Bild 2.7 ist zu erkennen, dass die Versagenswahrscheinlichkeit entscheidend von der Streuung abhängt. Die beiden Verteilungen  $f_{R1}$  und  $f_{R2}$  haben den gleichen Mittelwert. Die Streuung von  $f_{R2}$  ist aber größer. Entsprechend ist die schraffierte Fläche von  $f_{R2}$  auch deutlich größer.

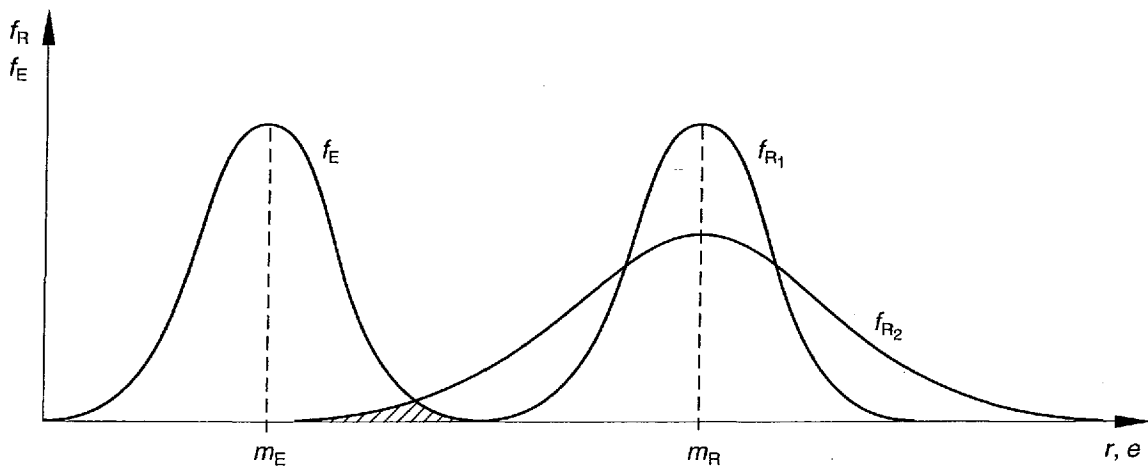
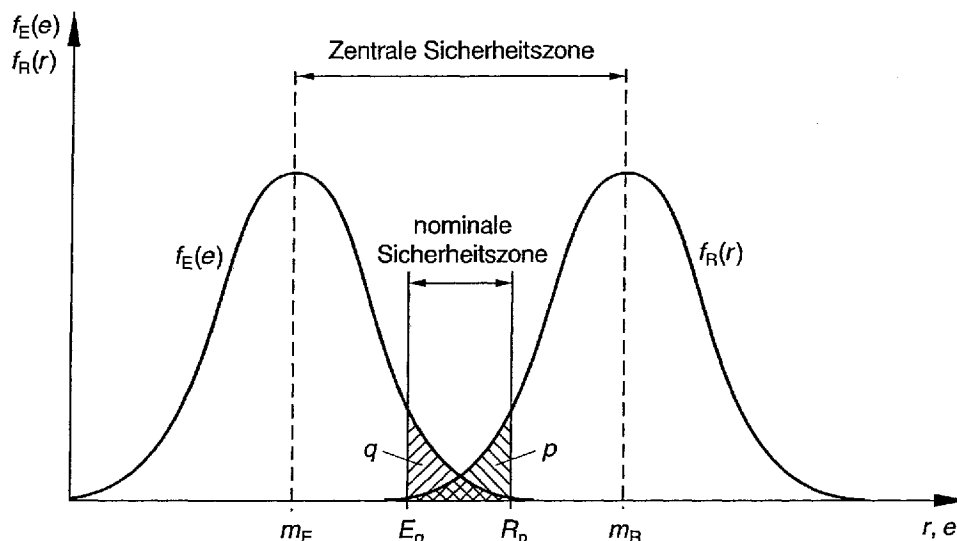


Bild 2.7.: Deutung der Versagenswahrscheinlichkeit

Die Differenz

$$Z = R - E \quad (2.32)$$

wird als Sicherheitszone bezeichnet. Werden die Mittelwerte von  $R$  und  $E$  als Bezug genommen, dann spricht man von der zentralen Sicherheitszone. Wenn anstelle der Mittelwerte als Bezugswerte bestimmte Fraktile  $e_p$  und  $r_p$  angenommen werden, dann wird  $Z$  die Nennsicherheitszone genannt. In Bild 2.8 wird der Zusammenhang zwischen Sicherheitszonen und Versagenswahrscheinlichkeit illustriert. Je größer die Sicherheitszone, um so kleiner ist die Versagenswahrscheinlichkeit.



**Bild 2.8.:** Zusammenhang zwischen Sicherheitszone und Versagenswahrscheinlichkeit

Sind  $E$  und  $R$  voneinander unabhängig und normalverteilt, dann ist  $Z$  ebenfalls normalverteilt. Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient von  $Z$  ergeben sich aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$m_Z = m_R - m_E, \quad (2.33)$$

$$\sigma_Z = \sqrt{(\sigma_R^2 + \sigma_E^2)}, \quad (2.34)$$

$$V_Z = \frac{\sigma_Z}{m_Z}. \quad (2.35)$$

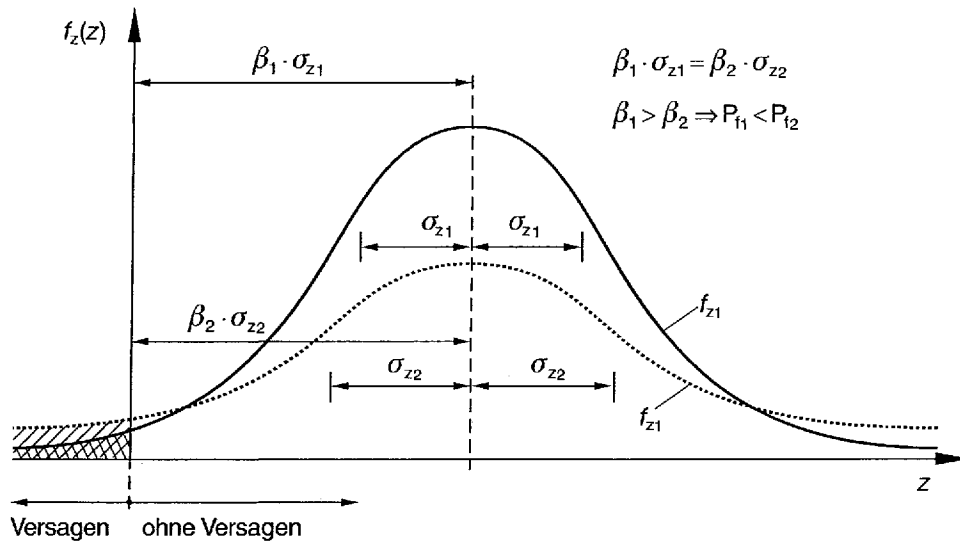
Wenn der Mittelwert  $m_Z$  als  $\beta$ -fache Standardabweichung  $\sigma_Z$

$$m_Z = \beta \cdot \sigma_Z \quad (2.36)$$

definiert wird, kann die Versagenswahrscheinlichkeit wie folgt angegeben werden:

$$p_f = \int_{z=-\infty}^0 f_Z(z) dz = F_Z(z=0) = \Phi\left(-\frac{m_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi(-\beta). \quad (2.37)$$

Das bedeutet, gleiche Werte  $\beta$  liefern gleiche Zuverlässigkeiten. Mit wachsendem  $\beta$  steigt die Zuverlässigkeit. Daher wird  $\beta$  als Sicherheitsindex bezeichnet. Mit anderen Worten: Bei der Bemessung muss je nach vorhandenem  $\sigma_Z$  stets  $m_R$  um  $\beta \cdot \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}$  angehoben werden, um



**Bild 2.9.:** Geometrische Deutung von Sicherheitsindizes

bei unterschiedlichen Streuungen die gleichen Zuverlässigkeiten zu erhalten. Die geometrische Deutung des Sicherheitsindex  $\beta$  ist in Bild 2.9 für zwei unterschiedliche Streuungen  $\sigma_z$  dargestellt.

Setzt man voraus, dass die Basisvariablen in einer linearen Grenzzustandsgleichung voneinander unabhängig und normalverteilt sind, ergibt sich der Zusammenhang zwischen theoretischer Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  und Sicherheitsindex  $\beta$  nach Tab. 2.2.

**Tab. 2.2.:** Operative Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  und Sicherheitsindex  $\beta$  nach [1] für einen Bezugszeitraum von einem Jahr bzw. 50 Jahren

Versagenswahrscheinlichkeit $p_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
Sicherheitsindex $\beta$ (Bezugszeitraum 1 Jahr)	1,3	2,3	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2
Sicherheitsindex $\beta$ (Bezugszeitraum 50 Jahre)	–	0,21	1,67	2,55	3,21	3,83	4,41

Die Umrechnung von Sicherheitsindex  $\beta_1$  zum Sicherheitsindex  $\beta_{50}$  kann mit

$$\beta_{50} = \Phi^{-1} [\Phi(\beta_1) \cdot 50] \quad (2.38)$$

bzw. umgekehrt mit

$$\beta_{-1} = \Phi^{-1} \left[ \Phi(\beta_{50}) \cdot \frac{1}{50} \right] \quad (2.39)$$

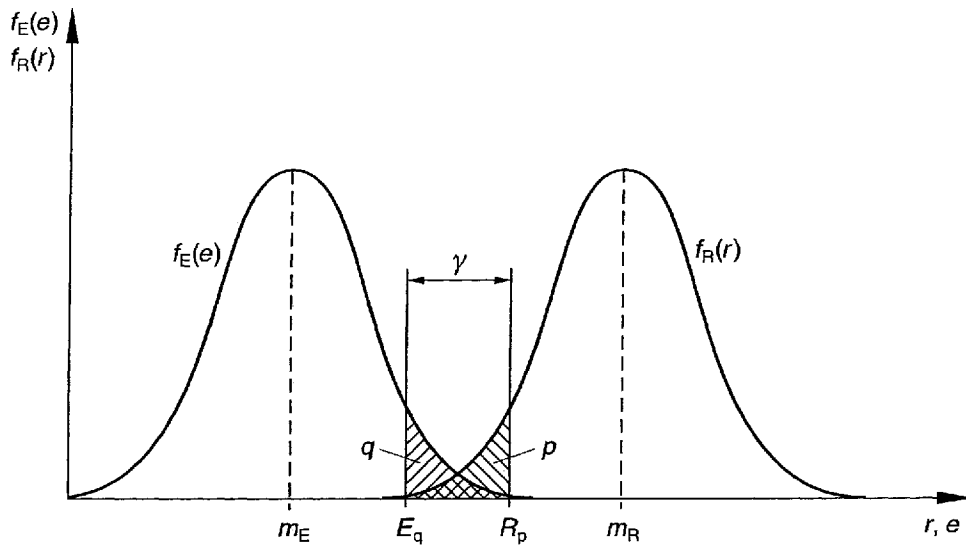
durchgeführt werden.

### 2.5.1. Sicherheitsfaktoren

Die Bemessung ohne Teilsicherheitsbeiwerte erfolgt durch den Vergleich zwischen einer hohen Einwirkungsfraktile und einer niedrigen Widerstandsfraktile (Bild 2.10).

Mit dem Nennsicherheitsfaktor  $\gamma$  lässt sich die allgemeine Bemessungsgleichung wie folgt angeben:

$$R_p \geq \gamma \cdot E_q. \quad (2.40)$$



**Bild 2.10.:** Nennsicherheitsfaktor

Die Fraktile der Einwirkungen und des Widerstandes sind wie folgt definiert:

$$R_p = m_R - k_R \cdot \sigma_R, \quad (2.41)$$

$$E_q = m_E + k_E \cdot \sigma_E. \quad (2.42)$$

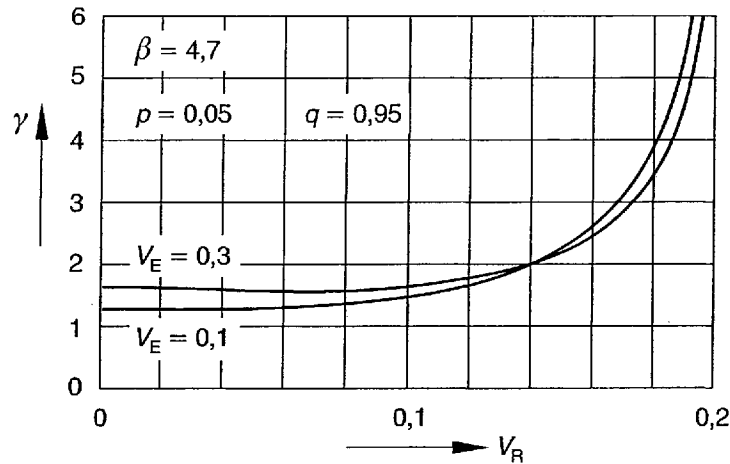
In der obigen Gleichung sind  $k_R$  und  $k_E$  die entsprechenden Fraktilefaktoren (s. Tab. 2.1) für die Einwirkungen und den Widerstand. Der Zusammenhang zwischen Sicherheitsfaktor  $\gamma$  und Sicherheitsindex  $\beta$  ergibt sich nach einigen Umformungen wie folgt:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{R_p}{E_q} = \frac{m_R \cdot (1 - k_R \cdot V_R)}{m_E \cdot (1 + k_E \cdot V_E)}, \\ &= \left( \frac{1 + \beta \cdot \sqrt{V_R^2 + V_E^2 - \beta^2 \cdot V_R^2 \cdot V_E^2}}{1 - \beta^2 \cdot V_R^2} \right) \cdot \left( \frac{1 - k_R \cdot V_R}{1 + k_E \cdot V_E} \right). \end{aligned} \quad (2.43)$$

Die Auswertung der Gl. (2.43) ist im Bild 2.11 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Sicherheitsfaktor von der Streuung des Widerstandes  $R$  und der Einwirkung  $E$  abhängig ist. Es besteht die Möglichkeit, die  $\gamma$ -Faktoren durch Vorgabe unterschiedlicher Fraktile für die Einwirkungen  $E$  weitgehend unabhängig von dem Variationskoeffizienten  $V_E$  zu machen. Damit käme man dem Ziele nahe, bei gleicher Zuverlässigkeit mit einem Sicherheitsfaktor zu arbeiten. Diese Vorgehensweise wurde für die Festlegung des Sicherheitsfaktors in [11] gewählt.

Eine Vorgehensweise unter Ansatz von Teilsicherheitsfaktoren kann durch folgende Linearisierung

$$\sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_R^2} = \alpha_R \cdot \sigma_R + \alpha_E \cdot \sigma_E \quad (2.44)$$



**Bild 2.11.:** Globaler Sicherheitsfaktor als Funktion von  $V_R$  und  $V_E$

erreicht werden. Hiermit ergibt sich folgende Beziehung

$$m_R - m_E = \beta \cdot (\alpha_R \cdot \sigma_R + \alpha_E \cdot \sigma_E), \quad (2.45)$$

$$m_R - \beta \cdot \alpha_R \cdot \sigma_R = m_E + \beta \cdot \alpha_E \cdot \sigma_E. \quad (2.46)$$

Die Teilsicherheitsfaktoren lassen sich wie folgt angeben:

$$\gamma_{R0} = \frac{1}{1 - \beta \cdot \alpha_R \cdot V_R}, \quad (2.47)$$

$$\gamma_{E0} = 1 + \beta \cdot \alpha_E \cdot V_E. \quad (2.48)$$

Mit dieser Festlegung entfällt der gegenseitige Einfluss von  $R$  und  $E$  auf die Teilsicherheitsfaktoren, wenn für  $\alpha_R$  und  $\alpha_E$  konstante Werte, d.h. unabhängig vom Verhältnis  $\sigma_R/\sigma_E$ , gewählt werden. Dies entspricht der Vorgehensweise der DIN 1045-1 [9]. Tatsächlich lassen sich die Linearfaktoren  $\alpha_R$  und  $\alpha_E$  so festlegen, dass sich im gesamten Bemessungsbereich nur geringe Abweichungen vom angestrebten Sicherheitsniveau ergeben. Bisher hat man dafür  $\alpha_R = 0,8$  und  $\alpha_E = 0,7$  gesetzt.

### 2.5.2. Bestimmung der Teilsicherheitsbeiwerte

Allgemein muss jeder Nachweis zeigen, dass der untersuchte Grenzzustand mit vorgegebener Zuverlässigkeit nicht erreicht wird. Für Zufallsvariable, deren Variationskoeffizient  $V_X$  vom Mittelwert  $m_X$  abhängig ist, werden die Bemessungswerte  $r_i^*$  und  $e_i^*$  als Quotient bzw. Produkt von charakteristischen Werten  $r_{ki}$ ,  $e_{ki}$  (Fraktile) und Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_{fi}$ ,  $\gamma_{mi}$  wie folgt angegeben:

– für Widerstände

$$r_i^* = \frac{r_{ki}}{\gamma_{mi}}, \quad (2.49)$$

– für Einwirkungen

$$e_i^* = \gamma_{fi} \cdot e_{ki}. \quad (2.50)$$

In der obigen Gleichung wird der Index 'f' für Einwirkung (*force*) und Index 'm' für Widerstand (*material*) eingeführt.

Für Zufallsvariablen, deren Mittelwert Null ist (z.B. Imperfektionen, Lotabweichungen von Stützen, Schnittgrößen im Momenten- oder Querkraftnullpunkt) werden zweckmäßig additive Sicherheitselemente  $\delta_i$  eingeführt. Es gilt

– für Widerstände

$$r_i^* = r_{ki} - \delta_{mi}, \quad (2.51)$$

– für Einwirkungen

$$e_i^* = e_{ki} + \delta_{fi}. \quad (2.52)$$

Die Bemessungsgleichung kann nun allgemein wie folgt angegeben werden:

$$\gamma_f \cdot e_k + \delta_f \leq \frac{r_k}{\gamma_m} - \delta_m. \quad (2.53)$$

Für den Fall, dass verschiedene veränderliche Lasten für die Bemessung zu berücksichtigen sind, wird der Kombinationsbeiwert eingeführt, um der geringen Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens ihrer Extremwerte Rechnung zu tragen.

### Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände

Wird für den Widerstand die Log-Normalverteilung zugrunde gelegt, so folgt der Bemessungswert nach Gl. (2.5.2) zu

$$r_i^* = m_{Ri} \cdot \exp(-\tilde{\alpha}_R \cdot \alpha_{Ri} \cdot \beta \cdot V_{Ri} - 0,5 \cdot V_{Ri}^2). \quad (2.54)$$

Wird für den charakteristischen Wert  $r_k$  die 5%-Fraktile festgelegt, dann können die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{mi}$  allgemein wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{aligned} \gamma_{mi} = \frac{r_{ki}}{r_i^*} &= \frac{m_{Ri} \cdot \exp(-1,645 \cdot V_{Ri} - 0,5 \cdot V_{Ri}^2)}{m_{Ri} \cdot \exp(-\tilde{\alpha}_R \cdot \alpha_{Ri} \cdot \beta \cdot V_{Ri} - 0,5 \cdot V_{Ri}^2)} \\ &= \exp[(\tilde{\alpha}_R \cdot \alpha_{Ri} \cdot \beta - 1,645) \cdot V_{Ri}]. \end{aligned} \quad (2.55)$$

Wird für den charakteristischen Wert  $r_k$  die 5%-Fraktile einer *Gauß*'schen Normalverteilung angenommen, so lässt sich der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand wie folgt bestimmen:

$$\gamma_{mi} = \frac{1 - 1,645 \cdot V_{Ri}}{\exp(-\tilde{\alpha}_R \cdot \alpha_{Ri} \cdot \beta \cdot V_{Ri} - 0,5 \cdot V_{Ri}^2)}. \quad (2.56)$$

Die Auswertung der Gl. (2.56) für  $\tilde{\alpha}_R = 0,8$  ist in Bild 2.12 dargestellt. In Abhängigkeit von dem Variationskoeffizienten  $V_R$ , dem Sicherheitsindex  $\beta$  und dem Wichtungsfaktor  $\alpha_{Ri}$  kann der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand abgelesen werden.

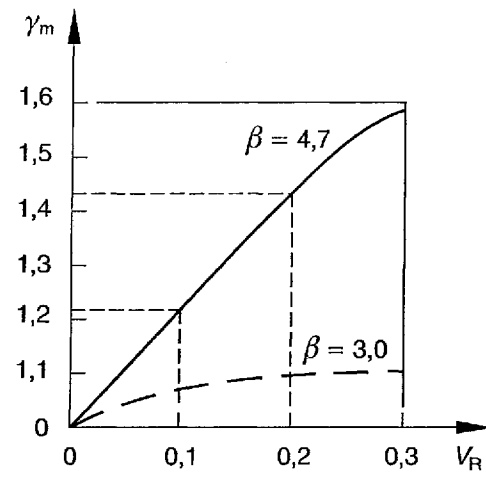


Bild 2.12.: Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand als Funktion von  $V_R$

## 3. Datenbasis für statistische Auswertung

### 3.1. Beschaffung und Herkunft der Daten

Für die Durchführung dieses Forschungsvorhabens war es notwendig, Betonkennwerte von vielen Baustellen auszuwerten. Deshalb wurden verschiedene Baufirmen und Betonlieferanten angeschrieben und gebeten, Protokolle ihrer Festbetonprüfungen im Rahmen der Bauüberwachung zur Verfügung zu stellen. Es stellte sich leider heraus, dass nicht viele Firmen bereit sind, die von ihnen gesammelten Daten zur Verfügung zu stellen. Parallel hierzu wurden die von der Güteüberwachung Beton BII-Baustellen E.V. in den letzten 5 Jahren gesammelten Daten stichprobenweise aufgenommen und ausgewertet. Darüber hinaus wird die am Institut vorhandene Datenbank mit Ergebnissen von normalfestem Beton verwendet, die aus 4520 Einzelwerten von 124 Prüfstellen für die Betonklassen B 25 bis B 55 ermittelt wurden.

Die Daten wurden an verschiedenen Prüfkörpergeometrien ermittelt. Meistens erhielten wir die Daten aus der Güteprüfung für den Würfel  $150 \times 150 \text{ mm}$  ( $\beta_{WN,150}$ ) oder  $200 \times 200 \text{ mm}$  ( $\beta_{WN,200}$ ) auf der Basis der alten Norm (trockene Lagerung). Diese Werte wurden auf den Zylinder  $150 \times 300 \text{ mm}$  ( $f_{ck,cyl}$ ) umgerechnet.

### 3.2. Beschreibung des Datenumfangs und Eignung der Daten

#### 3.2.1. Hochfester Beton und Leichtbeton

Die vorliegenden Festbetonprüfergebnisse enthalten 2941 Einzelwerte von 56 Prüfstellen. Der Stichprobenumfang variiert zwischen 3 und 427 Werten. Es liegen Werte für die Festigkeitsklassen B 65 bis B 105 vor. Für die Auswertung wurden alle Stichproben mit  $n > 4$  berücksichtigt.

Bei Leichtbeton konnten insgesamt 114 Einzelwerte gewonnen werden, die in 8 Stichproben verteilt sind. Die geringe Datenmenge erlaubt aus unserer Sicht keine allgemeine Aussage zur Grundgesamtheit. Aus diesem Grund wird keine Auswertung für den Leichtbeton vorgenommen.

Da die Herkunft und die Art der Nachbehandlung der Probekörper bekannt sind, können die gesammelten Daten bei unterschiedlicher Probengeometrie und Nachbehandlungen durch Umrechnung auf eine gemeinsame Bezugsgröße zurückgeführt werden. Die statistische Auswertung ist somit möglich.

Die einzelnen Stichproben sind in Anhang A.1 dargestellt.

#### 3.2.2. Normalbeton

Mit Berücksichtigung der am Institut bereits vorhandenen Daten aus einem früheren Forschungsvorhaben sind insgesamt 2086 Einzelwerte für Normalbeton vorhanden, die in 117 Stichproben verteilt sind. Auch hier sind die Größen der einzelnen Stichproben unterschiedlich. Die größte



Probe umfasst 174 Einzelwerte und die kleinste 2 Einzelwerte. Für die Auswertung wurden alle Stichproben mit  $n > 4$  berücksichtigt.

Für die statistische Auswertung muss hier auch eine Umrechnung der Druckfestigkeit vorgenommen werden, da die Angaben über Probekörpergeometrie unterschiedlich sind. Die Eignung der Daten für die Auswertung sind gegeben, da zu jeder Stichprobe alle notwendigen Angaben vorliegen.

Die einzelnen Stichproben sind in Anhang A.1 dargestellt.

## 4. Ergebnisse der statistischen Auswertung

### 4.1. Ergebnis der einzelnen Stichprobe

Für die Auswertung der einzelnen Stichproben wurde die LSM gemäß Abschnitt ?? verwendet. Zuerst musste die zutreffende Verteilungsfunktion für die betrachtete Stichprobe anhand des Wahrscheinlichkeitspapiers ermittelt werden.

Die statistischen Kenngrößen der Stichprobe wie Mittelwert, Standardabweichung und 5%-Fraktile werden mit der am besten passenden Verteilungsfunktion ermittelt. Die so ermittelten statistischen Einzelwerte bilden Grundlagen zur Beurteilung der Eigenschaften der Grundgesamtheit.

In Anlage B sind die Ergebnisse jeder einzelnen Stichprobe auf einer Seite zusammengestellt. Auf dem ersten Diagramm (Diagramm a) sind die Rohdaten zu erkennen, wobei die x-Achse die Probennummer und die y-Achse die umgerechnete Druckfestigkeit von Zylinder 150 · 300 mm mit Lagerung nach DIN 1045-2 [10] zeigen. Die Anzahl der Einzelwerte und die Bandbreite der Druckfestigkeit in der betrachteten Stichprobe sind zu erkennen. Dem zweiten Diagramm (Diagramm b) kann die Summenhäufigkeit der Stichprobe entnommen werden. Die Anpassung der Stichproben erfolgt mit dem Wahrscheinlichkeitspapier und wird in den drei weiteren Diagrammen (Diagramme c - e) dargestellt.

Die maßgebende Verteilungsfunktion für die Auswertung der betrachteten Stichprobe kann durch den Vergleich des Korrelationskoeffizienten  $R$  bestimmt werden. Zum Beispiel wird für die erste Stichprobe die Normalverteilung als maßgebende Verteilungsfunktion ermittelt, da mit dieser Verteilungsfunktion die Stichprobe am besten angepasst werden kann, d. h. der Korrelationskoeffizient  $R$  ist am größten.

Als statistischen Kenngrößen für diese Stichprobe können somit folgende Betonparameter angegeben werden:

- Mittelwert
- Standardabweichung
- Charakteristischer Wert

Für alle anderen Stichproben wird das gleiche Rechenschema verwendet.

### 4.2. Ergebnis der Grundgesamtheit

Die Ergebnisse aller Stichproben werden zur Beurteilung der Qualität der Grundgesamtheit herangezogen. In Bild 4.1 sind die ermittelten Standardabweichungen als Funktion der charakteristischen Werte für alle Betonfestigkeitsklassen dargestellt.

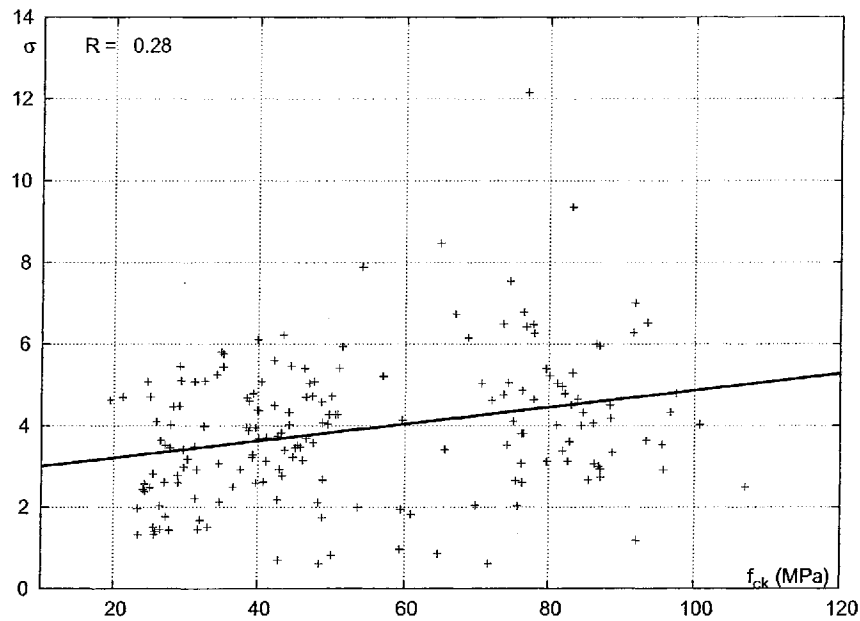


Bild 4.1.: Standardabweichungen als Funktion der Druckfestigkeit  $f_{ck}$

Man erkennt, dass mit steigender Druckfestigkeit die Standardabweichung etwas zunimmt. Diese Zunahme ist aber äußerst gering. Wird nun versucht, diese Zunahme mit einer linearen Gleichung zu beschreiben, dann erhält man die folgende Beziehung:

$$\sigma = \frac{f_{ck}}{48,44} + 2,80 \quad (4.1)$$

Der Korrelationskoeffizient für diese Geradengleichung beträgt 0,28.

Werden alle Werte für hochfeste Betone und normalfeste Betone jeweils zu einer Gruppe zusammengefasst, so können unter Annahme einer Normalverteilung für beide Betonsorten folgende statistische Größen ermittelt werden:

- Für Normalbeton

Mittelwert der Standardabweichung  $3,592 \text{ N/mm}^2$

5%-Fraktile der Standardabweichung  $1,107 \text{ N/mm}^2$

95%-Fraktile der Standardabweichung  $6,078 \text{ N/mm}^2$

- Für hochfesten Beton

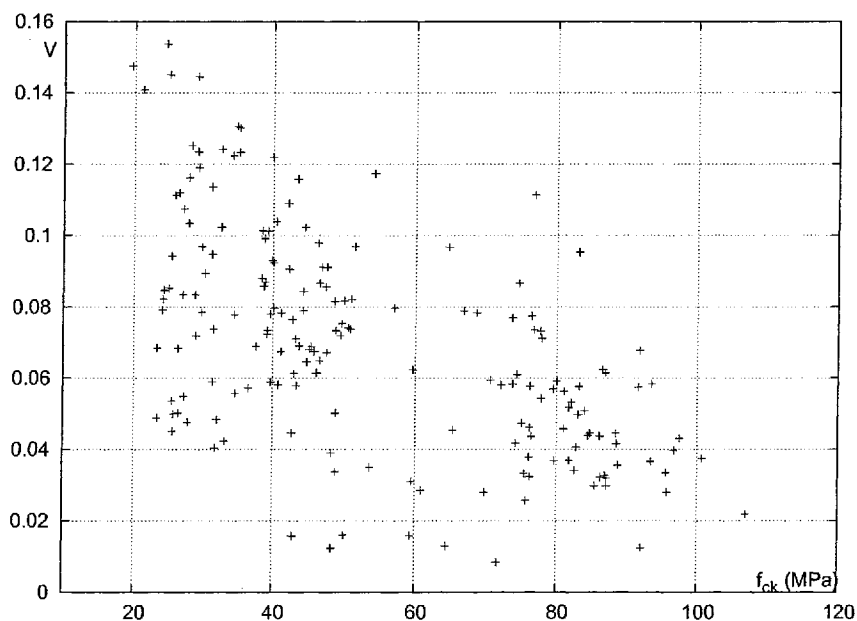
Mittelwert der Standardabweichung  $4,559 \text{ N/mm}^2$

5%-Fraktile der Standardabweichung  $1,494 \text{ N/mm}^2$

95%-Fraktile der Standardabweichung  $7,623 \text{ N/mm}^2$

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Standardabweichung von hochfestem Beton nur geringfügig höher als die von normalfestem Beton ist. Eine lineare Zunahme der Standardabweichung mit der Druckfestigkeit kann verneint werden. Weiterhin kann festgestellt werden, dass durch die neuen Produktionsbedingungen die Standardabweichung der Betondruckfestigkeit im Vergleich mit der Untersuchung von Rüschi [17] um ca.  $1 \text{ N/mm}^2$  von  $4,7 \text{ N/mm}^2$  auf  $3,6 \text{ N/mm}^2$  verringert wird.

Wesentlich für die Bestimmung des erforderlichen Teilsicherheitsfaktors ist der Variationskoeffizient  $V$  der jeweiligen Betonfestigkeitsklasse, welcher in Bild 4.2 für alle Festigkeitsklassen dargestellt ist. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Variationskoeffizient im Bereich der unteren Festigkeitsklassen deutlich größer als bei Betonen höherer Festigkeiten ist. Die Abnahme des Variationskoeffizienten ist insbesondere im Festigkeitsbereich zwischen  $30$  und  $70 \text{ N/mm}^2$  zu erkennen. Weiterhin ist zu entnehmen, dass nur im Festigkeitsbereich von C 20 bis C 25 der Variationskoeffizient  $V = 0,15$  beträgt, wie er zur Zeit für die Ermittlung des Teilsicherheitsfaktors für Beton zugrundegelegt wird (siehe Abschnitt 5). Bei allen höheren Festigkeitsklassen ist  $V$  deutlich kleiner.



**Bild 4.2.:** Variationskoeffizient der Druckfestigkeit als Funktion der Druckfestigkeit

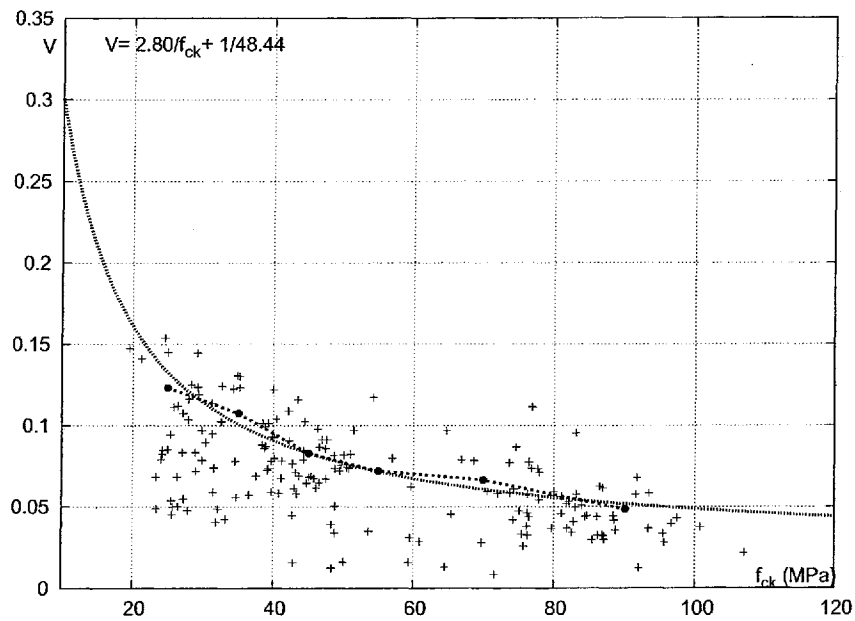
Zur Verdeutlichung der Abnahme des Variationskoeffizienten mit zunehmender Druckfestigkeit werden Klassen gebildet, wobei die gewählte Klassenbreite von  $10$  bzw.  $20 \text{ N/mm}^2$  von der Festlegung der Betonfestigkeitsklassen gemäß DIN 1045-1 [9] abweicht. Dort wird eine Klassenbreite von lediglich  $5 \text{ N/mm}^2$  festgelegt. Diese Abweichung ist aber notwendig, um einerseits ausreichende Daten für jeweilige Klassen zu erhalten und zum anderen erkennbaren Unterschied zu erhalten. In Bild 4.3 ist der Variationskoeffizient für verschiedene Klassen dargestellt.

Um einen fließenden Übergang zwischen verschiedenen Betonfestigkeitsklassen zu ermöglichen und somit die erforderlichen Teilsicherheitsfaktoren für alle Betonfestigkeitsklassen darstellen zu können, wird in Bild 4.3 ein Curve-fitting für die Beschreibung des Verlaufes des Variationskoeff-

fizienten  $V$  vorgenommen. Die hierdurch gewonnene Funktion hat folgende Form:

$$V = \frac{2,80}{f_{ck}} + \frac{1}{48,44}. \quad (4.2)$$

Mit dem sich ergebenden Variationskoeffizienten ist es möglich, die erforderlichen Teilsicherheitsfaktoren direkt anzugeben, siehe Abschnitt 5.



**Bild 4.3.:** Variationskoeffizient für unterschiedliche Klassen

## 5. Folgerung für die Sicherheit

### 5.1. Allgemeines

Hauptunterschied zum Konzept mit globalem Sicherheitsfaktor ist, dass beim Konzept mit Teilsicherheitsfaktoren die Unsicherheiten dort berücksichtigt werden, wo sie entstehen. Die Teilsicherheitsfaktoren von Parametern mit größeren Streuungen müssen entsprechend erhöht bzw. bei geringeren Streuungen verringert werden. Hiermit kann ein gleichmäßiger Zuverlässigkeitslevel erreicht werden. Zum Beispiel wird der rechnerische Sicherheitsabstand bei Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit zunehmender Ausnutzung des Querschnitts, d.h. zunehmendem Bewehrungsgrad, automatisch größer. Eine Änderung des globalen Sicherheitsfaktors in Abhängigkeit vom Versagenstyp, Beton- oder Stahlversagen, bzw. von der Stahldéhnung wie in DIN 1045-88 [11] ist nicht erforderlich. An dieser Stelle sollte angemerkt werden, dass die weit verbreitete aber vereinfachte Darstellung, dass in DIN 1045-88 [11] für duktilen Versagen ein Sicherheitsfaktor von 1,75 und für sprödes Versagen ein Sicherheitsfaktor von 2,1 verlangt wird, zu falschen Schlussfolgerungen für die Festlegung des Sicherheitsniveaus führen könnte. Für die Anwendung eines spröden Materials ist die Begrenzung der Grenzdehnung ein viel besseres Mittel als eine generelle Erhöhung des Sicherheitsfaktors.

Gemäß dem Teilsicherheitsprinzip müssen alle Unsicherheitsquellen eines jeden Bemessungsparameters entdeckt und erfasst werden. Nur so lassen sich die den Anforderungen genügenden Sicherheitsfaktoren ermitteln. Für Beton in einem Bauwerk können die Unsicherheiten aus folgenden Quellen kommen

- Streuung der Ausgangsstoffe
- Ungenauigkeit bei der Herstellung
- Schwankende Einbauqualität
- Unterschiedliche Auswirkung durch Nachbehandlung
- Schwankungen von Betonqualität bei Liefergemeinschaften

Durch Qualitätskontrolle (Probeentnahme auf der Baustelle) können die Streuung der Ausgangsstoffe und die Ungenauigkeit bei der Herstellung erfasst werden. Voraussetzung hierfür ist, dass der Beton für die Herstellung der Probekörper die gleichen Eigenschaften wie der Beton im Bauwerk hat. Aus diesem Grund wurde in DIN 1045-2 [10] festgelegt, dass der Beton für die Herstellung der Probekörper an der Abgabestelle zu entnehmen ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Auswertung in den vergangenen Abschnitten die Auswirkung infolge der Streuungen von Ausgangsstoffen und der Ungenauigkeit bei der Herstellung erfasst wird, sowohl für normalfesten als auch für hochfesten Beton. Die festgestellten statistischen Kenngrößen können direkt für die Ermittlung der Teilsicherheitsfaktoren verwendet werden.

Die schwankende Einbauqualität im Bauwerk kann mit der Probeherstellung auf der Baustelle nicht erfasst werden. Sie lässt sich nur durch Bohrkernentnahme direkt aus den Bauwerken

bestimmen. Mit der Auswertung einer umfangreichen Bohrkernsammlung wurde in [13] festgestellt, dass der charakteristische Wert der Druckfestigkeit im Bauwerk nur ca. 85 % des charakteristischen Wertes der Laborfestigkeit beträgt, während der Mittelwert der Druckfestigkeit im Bauwerk sich kaum von der Laborfestigkeit unterscheidet. Untersuchungen von *MacGregor* [15] haben ähnliche Ergebnisse geliefert. *Lewandowski* ermittelte in seiner Untersuchung [14] ein günstigeres Verhältnis für die Bauwerksfestigkeit. Die hier genannten Untersuchungen beschränkten sich jedoch nur auf normalfesten Beton. In *ACI* [4] wird unabhängig von den Betonfestigkeitsklassen ein konstanter Faktor 0,85 zur Berücksichtigung des Unterschieds zwischen Bauwerks- und Laborbeton eingeführt. In *Norwegian Standard* [2] wird die Bauwerksfestigkeit mit dem Faktor 0,9 für C 20 und 0,84 für C 50 gegenüber Laborfestigkeit abgemindert. Für Beton mit höheren Festigkeiten bleibt der Reduzierungsfaktor bei 0,84 konstant. Wenige, den Verfassern bekannte Untersuchungen [16], [6] und [18] an Bauwerken aus hochfestem Beton, zeigten keinen nennenswerten Unterschied zum Normalbeton.

Geht man davon aus, dass für die Herstellung von Probekörpern der gleiche Beton wie für das Bauwerk verwendet wird, so kann der Unterschied zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit vorwiegend auf Schwankungen beim Einbringen, Verdichten und Nachbehandeln zurückgeführt werden. Falsches Einbringen, z.B. zu hohe Fallhöhe, kann zur Entmischung und somit zur Verschlechterung der Betonqualität führen. Die Bewehrungskonzentration in einem Bauteil kann dazu führen, dass die Verdichtungsenergie nicht gleichmäßig auf das Bauteil getragen werden kann, während für die Herstellung der Probekörper eine definierte Verdichtungszeit mit konstanter Verdichtungsenergie vorgegeben ist. Berücksichtigt man, dass die Fehleranfälligkeit, sowohl für das Einbringen als auch für die Verdichtung, mit zunehmender Konsistenz abnimmt, so ist im Allgemeinen nicht zu erwarten, dass der Unterschied zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit bei hochfestem Beton größer ist als der bei normalfestem Beton, da in der Regel für die Verarbeitung des hochfesten Betons eine weichere Konsistenz gewählt wird als bei normalfestem Beton. Darüber hinaus weist der hochfeste Beton wegen seiner höheren Viskosität geringere Entmischungsneigung auf als der normalfeste Beton. Weiterhin soll in diesem Zusammenhang nicht unberücksichtigt bleiben, dass bei Anwendung von hochfestem Beton immer ein genauer QS-Plan aufgestellt werden muss. Seine Umsetzung wird sowohl von Bauherrn als auch von der ausführenden Baufirma sorgfältig überwacht. Dies führt u.a. dazu, dass große Streuungen während der Herstellung und des Einbaus weitestgehend vermieden werden können. Die Nachbehandlung hat großen Einfluss auf die Verteilung der Festigkeiten innerhalb eines Bauteils, insbesondere bei dicken Bauteilen. In der Regel weist die Randzone eines Bauteils geringere Festigkeit auf als der Innenbereich. Dies ist vorwiegend auf den Einfluss der Mikrorissbildung infolge Eigenspannungen während der Hydratation zurückzuführen. Untersuchungen von *Darwall* [6] bestätigen dies sehr eindrucksvoll. Bei guter Nachbehandlung werden Eigenspannungen reduziert. Bei der Erhärtung von Beton mit hoher Wärmeentwicklung kann ein großer Temperaturgradient auftreten und hohe Eigenspannungen erzeugen. Aus den oben genannten Gründen muss davon ausgegangen werden, dass der Einfluss der Nachbehandlung für die bleibende Qualität innerhalb eines Bauteils bei hochfestem Beton größer ist als bei normalfestem Beton. Im Rahmen des QS-Plans für die Anwendung von hochfestem Beton werden deshalb den Maßnahmen zur Begrenzung des Temperaturunterschieds innerhalb eines Bauteils große Bedeutung beigemessen.

Die allgemeine Aussage, dass der hochfeste Beton empfindlicher auf die verschiedenen Streuungen reagiert, ist prinzipiell richtig. Da jedoch für die Herstellung und Verarbeitung von hochfestem Beton entsprechende Maßnahmen zur Eingrenzung der möglichen Streuungen vorgenommen werden müssen, ist nicht zu erwarten, dass der Unterschied zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeiten bei hochfestem Beton größer als bei normalfesten Beton ist. Vieles deutet sogar auf einen geringeren Festigkeitsunterschied für den hochfesten Beton hin. Es fehlt jedoch bisher

hierfür der Nachweis, da Bohrkerne aus Bauwerken mit hochfestem Beton nicht ausreichend vorhanden sind. Eine Vergrößerung des Unterschieds zwischen Bauwerk- und Laborfestigkeit bei hochfestem Beton ist aus heutiger Sicht nicht erforderlich. Für alle Betonfestigkeitsklassen kann entsprechend [13] angenommen werden, dass die charakteristische Bauwerksfestigkeit 85 % der charakteristischen Zylinderdruckfestigkeit beträgt. Entsprechend den Auswertungsergebnissen in den vergangenen Abschnitten wird hiermit der Variationskoeffizient der Bauwerksfestigkeit im Vergleich zum Variationskoeffizienten der Laborfestigkeit bereits mit zunehmender Festigkeit erhöht. Diese Erhöhung kann mit der Gleichung 5.1 beschrieben werden:

$$\begin{aligned}
 f_{ck} &= f_{cm} - 1,645 \cdot \sigma_{c,L} \\
 0,85 f_{ck} &= f_{cm} - 1,645 \cdot \sigma_{c,B} \\
 0,85 &= \frac{f_{cm} - 1,645 \cdot \sigma_{c,B}}{f_{cm} - 1,645 \cdot \sigma_{c,L}} = \frac{f_{cm} - 1,645 \cdot V_{c,B}}{f_{cm} - 1,645 \cdot V_{c,L}} \\
 V_{c,B} &= \frac{0,15 + 1,39825 \cdot V_{c,L}}{1,645} \\
 V_{c,B} &= 0,091 + 0,85 \cdot V_{c,L}.
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Hierbei sind  $V_{c,B}$  und  $V_{c,L}$  der Variationskoeffizient von Bauwerks- bzw. Laborfestigkeit. Das Ausmaß der unterstellten Erhöhung des Variationskoeffizienten des eingebauten Betons für die verschiedenen Klassen ist in Tabelle 5.1 dargestellt.

**Tab. 5.1.:** Variationskoeffizienten  $V_{c,L}$  und  $V_{c,B}$

Klasse	...20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 80	80 - 100...
$V_{c,L}$	0,1233	0,1074	0,0828	0,0720	0,0665	0,0485
$V_{c,B}$	0,1958	0,1823	0,1614	0,1522	0,1475	0,1322
$V_{c,B}/V_{c,L}$	1,5880	1,6971	1,9486	2,1132	2,2192	2,7261

Die Liefergemeinschaft, d.h. die Herstellung eines Bauwerks mit Beton von mehreren Lieferanten, könnte bei großen Projekten in Frage kommen. Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass in diesen Fällen alle Lieferanten mit gleichen Ausgangsstoffen und Mischtechnik arbeiten, ist eine zusätzliche Unsicherheit zu berücksichtigen. Den Verfassern dieses Beitrags ist nicht bekannt, ob für dieses Problem eine statistische Untersuchung bisher durchgeführt wurde. Da die Liefergemeinschaft eher eine Ausnahme bei Anwendung von Beton darstellt, ist es ratsam, für solche Projekte einen QS-Plan zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Betonqualität aufzustellen. Den Einbau eines zusätzlichen Sicherheitsfaktors zur Berücksichtigung der Unsicherheit bei Liefergemeinschaft in das allgemeine Bemessungskonzept halten die Verfasser deshalb für nicht sinnvoll.

## 5.2. Teilsicherheitsfaktor für Beton gemäß DIN 1045-1

Das Sicherheitskonzept von DIN 1055-100 [8] und DIN 1045-1 [9] basiert auf der Anwendung von charakteristischen Werten der Werkstoffe und Einwirkungen, wobei für Werkstoffe die untere und für Einwirkungen die obere Fraktilwerte verwendet werden. Beim Beton entspricht definitionsgemäß die charakteristische Druckfestigkeit  $f_{ck}$  dem 5%-Fraktilwert der Grundgesamtheit



einer Betonfestigkeitsklasse. Für Beton bis Festigkeitsklasse C50/60 wird einheitlich ein Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma_c = 1,5$  vorgesehen. Er setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

$$\gamma_c = \gamma_m \cdot \gamma_{conv} \quad (5.2)$$

Der Unterschied zwischen charakteristischem Wert der Bauwerksfestigkeit zum  $f_{ck}$ , der mit Zylindern  $d/h = 15/30$  cm im Labor ermittelt wird, wird mit dem Faktor  $\gamma_{conv} = 1,15$  berücksichtigt. In der Literatur findet man oft den inversen Wert 0,85. Nach Untersuchungen in [13] liegt man hiermit auf der sicheren Seite. Nur in seltenen Fällen erreicht der Unterschied zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit diesen Wert. Mit dem Faktor  $\gamma_m = 1,3$  wird die ungünstige Abweichung der Betonfestigkeit von der charakteristischen Festigkeit  $f_{ck}$  für das gewünschte Sicherheitsniveau berücksichtigt. Darüber hinaus werden hiermit die Modellunsicherheiten, die Streuung der geometrischen Parameter und das Sicherheitsniveau erfasst. Der Beiwert  $\gamma_m$  kann entsprechend Abschnitt 2 wie folgt ermittelt werden:

$$\gamma_m = \exp(-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_R - 1,645 \cdot V_f) \quad (5.3)$$

Hierbei sind:

$\alpha$	-0.8	Wichtungsfaktor nach [8]
$\beta$	3.8	Sicherheitsindex nach [8]
$V_R$		$\sqrt{V_f^2 + V_m^2 + V_G^2}$
$V_f$	0.15	Variationskoeffizient der Materialeigenschaften
$V_m$	0.05	Variationskoeffizient der Modellunsicherheiten
$V_G$	0.05	Variationskoeffizient der geometrischen Parameter

Der Anteil zur Berücksichtigung der ungünstigen Abweichung der Druckfestigkeit kann wie folgt ermittelt werden:

$$\gamma_{m1} = \exp(-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_f - 1,645 \cdot V_f) = 1,23. \quad (5.4)$$

Der Anteil der Streuung der geometrischen Parameter und der Modellunsicherheiten ergibt sich dann zu:

$$\gamma_{m2} = \frac{\gamma_m}{\gamma_{m1}} = \frac{1,3}{1,23} = 1,05. \quad (5.5)$$

Für hochfesten Beton ab der Festigkeitsklasse C55/67 ist ein zusätzlicher Teilsicherheitsbeiwert zu berücksichtigen.

$$\gamma_c' = \frac{1}{1,1 - \frac{f_{ck}}{500}} \quad (5.6)$$

Dieser Faktor wird in der Literatur unterschiedlich erläutert. Während in DIN 1045-1 [9] die Notwendigkeit dieses zusätzlichen Sicherheitsfaktors mit der größeren Streuung der Materialeigenschaften begründet wird, wird in Heft 525 [7] dies mit der größeren Empfindlichkeit des hochfesten Betons gegenüber Abweichungen bei der Rezeptur angegeben. *Held* hat in [12] angegeben, dass dieser Faktor zur Berücksichtigung des Unterschieds zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit bei Ermittlung der Rechenfestigkeit gemäß der Richtlinie für hochfesten Beton [5] eingeführt wird. Hier geht man davon aus, dass mit zunehmender Festigkeit der Beton auch empfindlicher gegenüber den möglichen Abweichungen beim Einbau und Verdichtung sein könnte. Entsprechend den vorliegenden Ergebnissen ist die Streuung von hochfesten Betonen, beschrieben durch den Variationskoeffizient, geringer als bei normalfestem Beton, auch wenn die Standardabweichungen gegenüber dem normalfesten Beton etwas größer ist. Die mögliche Empfindlichkeit der Rezeptur wird mit der Standardabweichung bereits erfasst. Die zutreffende Erläuterung für den zusätzlichen Teilsicherheitsfaktor  $\gamma'_c$  kann somit nur heißen: mögliche größere Abweichung zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit. Wie oben bereits erläutert, kann dies jedoch bei genauerer Betrachtung auch nicht bestätigt werden. Darüber hinaus wird mit dem gleichen Faktor  $\gamma_{conv} = 1,15$  bereits eine deutliche Erhöhung des durch statistische Auswertungen festgestellten Variationskoeffizienten mit zunehmender Festigkeit vorgenommen (siehe Tabelle 5.1).

### 5.3. Vorschlag für die Festlegung der Teilsicherheitsfaktoren

Wie oben dargestellt, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert für Beton bis Festigkeitsklasse C 50/60 einheitlich 1,5, wobei der Anteil aus Materialstreuung 1,23 beträgt. Bei höherfesten Betonen ist ein zusätzlicher Teilsicherheitsfaktor zur Berücksichtigung des zunehmenden Unterschiedes zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit gemäß Gl. 5.6 zu verwenden.

Setzt man nun die im Rahmen dieses Vorhabens ermittelten Materialstreuungen in die Gleichung 2.55 ein, so kann der Anteil  $\gamma_{m1}$  zur Berücksichtigung der Materialstreuungen ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Bild 5.1 dargestellt. Man erkennt eine deutliche Abnahme des erforderlichen Teilsicherheitsbeiwertes.

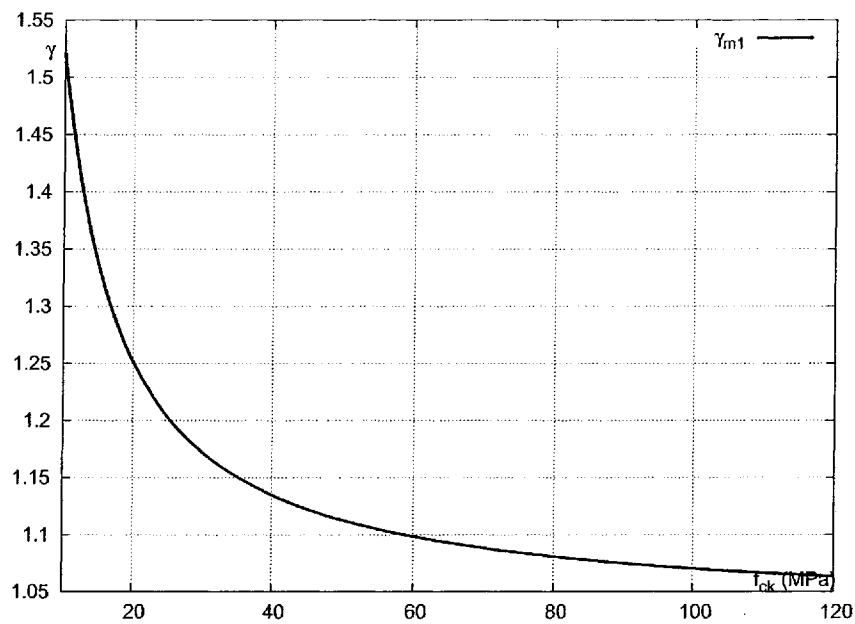


Bild 5.1.: Theoretisch ermittelter Teilsicherheitsfaktor  $\gamma_{m1}$

Nimmt man für die Modellunsicherheit weiterhin ein Teilsicherheitsbeiwert von  $\gamma_{m2} = 1,05$  und für den Festigkeitsunterschied zwischen Bauwerks- und Laborfestigkeit  $\gamma_{conv} = 1,15$  an, so ergibt sich die in Bild 5.2 dargestellte Kurve.

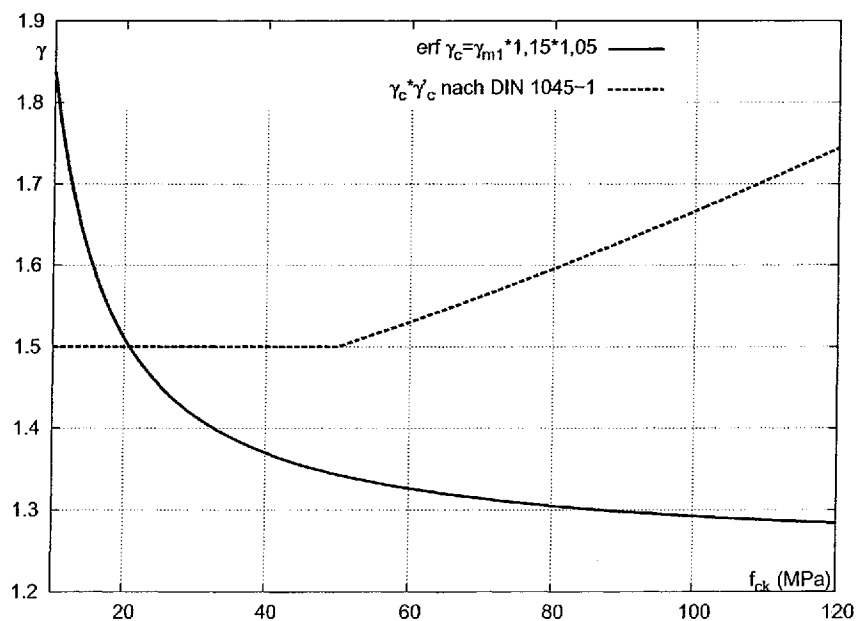


Bild 5.2.: Vergleich der Teilsicherheitsfaktoren

Zum Vergleich wird die Kurve entsprechend der DIN 1045-1 [9] aufgetragen. Mann erkennt, dass die Abweichung zum theoretischen Wert der Druckfestigkeit deutlich zunimmt. Die Ergebnisse

verdeutlichen, dass aus Sicherheitsgründen ein Verzicht auf  $\gamma'_c$  beim hochfesten Beton ohne weiteres möglich ist. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, die erforderlichen Teilsicherheitsfaktoren (siehe Tabelle 5.2) für Beton neu anzupassen, um zum einen die Bedeutung der Qualitätskontrolle zu heben und zum anderen die Wirtschaftlichkeit der Stahlbetonbauweise zu verbessern.

**Tab. 5.2.:** Theoretisch erforderlicher Sicherheitsbeiwert  $erf\gamma_c$

$f_{ck}$	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37
$\gamma_{c,DIN}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$erf\gamma_c$	1,721	1,587	1,511	1,453	1,416
$f_{ck}$	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67
$\gamma_{c,DIN}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,52
$erf\gamma_c$	1,390	1,370	1,356	1,344	1,334
$f_{ck}$	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	C100/115
$\gamma_{c,DIN}$	1,53	1,56	1,6	1,63	1,67
$erf\gamma_c$	1,326	1,314	1,305	1,298	1,292

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden insgesamt Daten von 173 Bauwerken, davon 56 mit hochfestem Beton, gesammelt und statistisch ausgewertet. Es hat sich gezeigt, dass die Standardabweichung von normalfestem Beton durch die geänderte Produktionsbedingung und Qualitätskontrolle um ca.  $1 \text{ N/mm}^2$  geringer ist als die von *Rüsch* [17] ermittelte Standardabweichung. Im Prozentsatz bedeutet dies eine Abnahme von ca. 20 %. Mit zunehmender Druckfestigkeit ist eine Zunahme der Standardabweichung festzustellen. Diese Zunahme ist aber so gering, dass der Variationskoeffizient mit Zunahme der Druckfestigkeit insgesamt deutlich abnimmt.

Basierend auf dem Sicherheitskonzept nach DIN 1055-100 [8] wurde ein von der Festigkeit abhängiger Teilsicherheitsfaktor für den Beton unter Berücksichtigung der gewonnenen Ergebnisse ermittelt. Hiernach nimmt der erforderliche Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 bei C 20 bis auf 1,3 bei C 100 ab. Aus heutiger Sicht ist somit der in DIN 1045-1 [9] angegebene Sicherheitsfaktor von 1,5 nur für Betone mit einer Zylinderdruckfestigkeit bis ca.  $30 \text{ N/mm}^2$  gerechtfertigt. Für Betone höherer Festigkeitsklassen liegt dieser Wert weit auf der sicheren Seite, insbesondere für hochfesten Beton. Ein Verzicht auf den zusätzlichen Sicherheitsfaktor  $\gamma'_e$  bei hochfestem Beton ist ohne weiteres möglich. Die vorliegenden Ergebnisse (siehe Tabelle 5.2) können als Grundlage für eine sachliche Diskussion zur Festlegung des erforderlichen Sicherheitsbeiwerts für den Beton dienen.

Für die Zukunft wäre es sinnvoll, den Einfluss der Überfestigkeiten in der Betonproduktion auf den erforderlichen Sicherheitsbeiwert für Beton sowie die Mindestbewehrung von Betonbauteilen zu untersuchen.

## Literaturverzeichnis

- [1] *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke; Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau;* 2.2
- [2] *Norwegian Standard NS 3473* 5.1
- [3] *Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.* 1992, 1992 1, 1
- [4] American Concrete Institute: *ACI 318-89* 5.1
- [5] DAFStb: *DAFStb-Richtlinie für hochfesten Beton; Ergänzung zu DIN 1045/07.88 für die Festigkeitsklassen B 65 bis B 115.* Beuth Verlag Berlin. August 1995 5.2
- [6] DARWALL, P. ; HO, D. ; ATTARD, M. ; MAK, S. : *In-Situ Strength of High-Strength Concrete.* 04/1999 (Civil Engineering research report No. 4/1990, Monash University) 5.1
- [7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: *Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1.* 1. Auflage. 2003 5.2
- [8] DIN: *DIN 1055-100, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.* 03/2001 1, 2.1, 5.2, 5.2, 6
- [9] DIN: *DIN 1045-1, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.* 07/2001 1, 1, 2.5.1, 4.2, 5.2, 5.2, 5.3, 6
- [10] DIN: *DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.* 07/2001 4.1, 5.1
- [11] DIN: *DIN 1045: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung.* 1988. 1988 2.5.1, 5.1
- [12] HELD, M. : *Ein Beitrag zur Herstellung und Bemessung von Druckgliedern aus hochfestem Normalbeton (B60-B125),* TU Darmstadt, Diss., 1992 5.2
- [13] KÖNIG, G. ; SOUKHOV, D. ; JUNGWIRTH, F. : *Sichere Betonproduktion für Stahlbetontragwerke.* Fraunhofer-IRB-Verlag, 1998 (Universität Leipzig, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie) 1, 5.1, 5.2
- [14] LEWANDOWSKI, R. : *Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten an Hand von Betongütewürfeln und -bohrproben.* Werner-Verlag, 1971 (Schriftenreihe der Institute für Konstruktiven Ingenieurbau der Technischen Universität Braunschweig) 5.1
- [15] MACGREGOR, J. G. ; BARTLETT, F. M.: *Statistical Analysis of the Compressive Strength of Concrete in Structures.* ACI Material Journal, March - April 1996 5.1
- [16] NILSON, A. ; SLATE, F. ; MARTINEZ, S. : *Spirally Reinforced High-Strength Concrete columns.* In: *ACI Journal* (1984) 5.1
- [17] RÜSCH, H. : *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton.* Bd. 206: *Statistische Analyse der Betonfestigkeit.* Ernst & Sohn, 1969 1, 1, 4.2, 6

- [18] THORENFELDT, E. : Design Properties for High-Strength Concrete. In: *nordisk betong* (1986) 5.1

## A. Daten

### A.1. Verwendete Daten normalfester Beton

Normalfester Beton						
Nr	Herkunft	Ort	Jahr	Wüfel	Klasse	n=
1n	Umbau Friedensbrücke	Stuttgart	1997	200	B25	50
2n	Autohaus Gehlert 1	Freiburg	1998	200	B25	5
3n	Brücke über den Mittelweg 1	Sasbach	1998	200	B25	4
4n	Brücke über die B29	Aalen	1998	200	B25	4
5n	Depfa-Bank	Wiesbaden	1998	200	B25	4
6n	Eisenbahnüberführung Schifferstadt 1	Schifferstadt	1998	200	B25	38
7n	Eisenbahnüberführung Schifferstadt 2	Schifferstadt	1998	200	B25	4
8n	Mehrfamilienhäuser	Vörde	1998	200	B25	7
9n	Reihenhäuser Heuhohlweg 1	Königsstein	1998	200	B25	17
10n	Reihenhäuser Heuhohlweg 2	Königsstein	1998	200	B25	8
11n	Stützwand Umschlagbahnhof 1	Kornwestheim	1998	200	B25	28
12n	Stützwand Umschlagbahnhof 2	Kornwestheim	1998	200	B25	10
13n	Verkehrstunnel 1	Ellwangen	1998	200	B25	25
14n	Verkehrstunnel 2	Ellwangen	1998	200	B25	8
15n	Dampferzeugungsanlage 1	Gernsbach/Obertsrot	1999	200	B25	7
16n	Dampferzeugungsanlage 2	Gernsbach/Obertsrot	1999	200	B25	4
17n	Kläranlage Hettenleidsheim	Hettenleidsheim	1999	200	B25	4
18n	Tiefgarage BMF 1	Berlin	1999	200	B25	4
19n	Bürogebäude Reederei Rickmers 1	Hamburg	2000	200	B25	9
20n	Bürogebäude Reederei Rickmers 2	Hamburg	2000	200	B25	8
21n	Pumpspeicherwerk Goldisthal 1	Goldisthal	2000	200	B25	48
22n	Pumpspeicherwerk Goldisthal 2	Goldisthal	2000	200	B25	50
23n	Pumpspeicherwerk Goldisthal 3	Goldisthal	2000	200	B25	43
24n	Stützwand Talsperrenweg	Remscheid	2000	200	B25	2
25n	Hochwasserrückhaltebecken	Hohenstadt	2001	200	B25	27
26n	Hochwasserrückhaltebecken 1	Buchen-Bödighheim	2001	200	B25	31
27n	Hochwasserrückhaltebecken 2	Buchen-Bödighheim	2001	200	B25	4
28n	Lastverteilerplatte, Lenne Dreieck	Berlin	2001	200	B25	25
29n	Pumpwerk Prenzlauer Berg	Berlin	2001	200	B25	2
30n	SV-Versicherung	Stuttgart	2001	200	B25	7
31n	Volksbank Annweiler 1	Annweiler	2001	200	B25	9
32n	Weserschleuse Bremen 1	Bremen	2001	200	B25	29
33n	Weserschleuse Bremen 2	Bremen	2001	200	B25	46
34n	Weserschleuse Bremen 3	Bremen	2001	200	B25	5
35n	Wasserkraftwerk Hiltenfingen 1	Hiltenfingen	2002	200	B25	10
36n	Wasserkraftwerk Hiltenfingen 2	Hiltenfingen	2002	200	B25	14
37n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B25	1 <sup>1</sup>
38n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B25	1 <sup>1</sup>
39n	TUM Garsching	Garsching	vor 1998	200	B25	1 <sup>1</sup>
40n	TUM Garsching	Garsching	vor 1998	200	B25	1 <sup>1</sup>
41n	Autohaus Gehlert 2	Freiburg	1998	200	B35	14
42n	Brücke Muldenstein	Leipzig	vor 1998	200	B35	87
43n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
44n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
45n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
46n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
47n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
48n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>



Normalfester Beton						
Nr	Herkunft	Ort	Jahr	Würfel	Klasse	n=
49n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
50n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
51n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
52n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
53n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
54n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
55n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
56n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
57n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
58n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
59n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
60n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
61n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
62n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
63n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
64n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
65n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
66n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
67n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
68n	Dornach Compaq II	Dornach	vor 1998	200	B35	1 <sup>1</sup>
69n	Brücke Muldenstein	Leipzig	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
70n	Congress Center Messe FFM	Frankfurt/Main	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
71n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
72n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
73n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
74n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
75n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
76n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
77n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
78n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
79n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
80n	Kaiser Karl Klinik	Bonn	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
81n	Messe Cargo II	Frankfurt/Main	vor 1998	200	B45	1 <sup>1</sup>
82n	Tiegarage Epinayplatz	Oberursel	1997	200	B55	5
83n	Büro- und Geschäftshaus	Rostock	1999	200	B55	10
84n	Tiegarage BMF 2	Berlin	1999	200	B55	4
85n	Novotel Köln 1	Köln	2000	200	B55	2
86n	Häussler City Plaza 1	Stuttgart	2001	200	B55	2
87n	Häussler City Plaza 2	Stuttgart	2001	200	B55	11
88n	KfW 1	Frankfurt	2001	200	B55	2
89n	KfW 2	Frankfurt	2001	200	B55	3
90n	Sparkasse 1	Wolfsburg	2001	200	B55	36
91n	Sparkasse 2	Wolfsburg	2001	200	B55	4
92n	Sparkasse 3	Wolfsburg	2001	200	B55	2
93n	Volksbank Annweiler 2	Annweiler	2001	200	B55	3
94n	Bürohaus Josef/ Löffelstr 1	Stuttgart	2002	200	B55	2
95n	Bürohaus Josef/ Löffelstr 2	Stuttgart	2002	200	B55	14
96n	Neubau KSK 1	Verden	2004	200	B55	4
97n	Neubau KSK 2	Verden	2004	200	B55	23
98n	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B55	1 <sup>1</sup>
99n	Kaufland Dachau	Dachau	2003	150	C25	3
100n	Stützwand	Bärenhecke	2003	150	C25	13
101n	Technologiezentrum	Stade	2003	150	C25	17
102n	Wiggensbach-Verwaltung	Wiggensbach	2003	150	C25	7
103n	Brücke über die DB AG	Greifswald	2004	150	C25	10
104n	Eisenbahnüberführung Remplin	Remplin	2004	150	C25	10
105n	Fußgängerbrücke 1	Güstrow	2004	150	C25	4
106n	Fußgängerbrücke 2	Güstrow	2004	150	C25	4
107n	Ortsumfahrung Sersheim	Sachsenheim	2004	150	C25	6

Normalfester Beton						
Nr	Herkunft	Ort	Jahr	Würfel	Klasse	n=
108n	Wohn- und Bürohaus Brückenstr	Köln	2004	150	C25	3
109n	Universa Haus	Freiburg	2002	150	C30	3
110n	Stützmauer	Frankenberg-Rengershausen	2004	150	C30	4
111n	Accor Hotelpark	Berlin	2003	150	C45	4
112n	Hotel Holiday Inn 1	Düsseldorf	2003	150	C45	18
113n	Hotel Holiday Inn 2	Düsseldorf	2003	150	C45	9
114n	Alsterterrasse	Hamburg	2004	150	C45	18
115n	Alte Seilerei 1	Mannheim	1999	200	C50	44
116n	Alte Seilerei 2	Mannheim	1999	200	C50	43
117n	Umspannwerk Hagen-Halden	Hagen	2004	150	C50	5

<sup>1</sup> Auswertung nur nach Momentenmethode, keine Einzelwerte

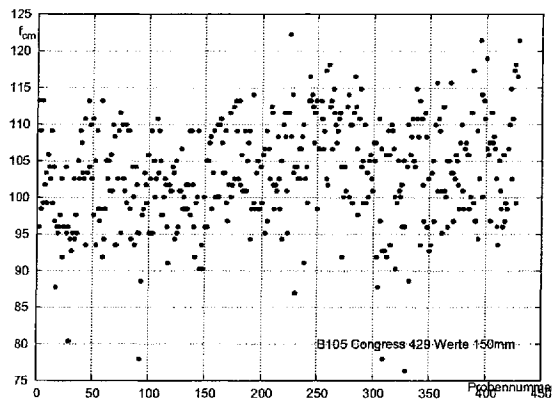
## A.2. Verwendete Daten hochfester Beton

Hochfester Beton						
Nr	Herkunft	Ort	Jahr	Würfel	Klasse	n=
1h	Treptower	Frankfurt/Main	vor 1998	-	B65	1 <sup>1</sup>
2h	Treptower	Frankfurt/Main	vor 1998	-	B65	1 <sup>1</sup>
3h	AXA Büro- und Wohngebäude 1	Frankfurt	2002	200	B75	11
4h	AXA Büro- und Wohngebäude 2	Frankfurt	2002	200	B75	4
5h	AXA Büro- und Wohngebäude 3	Frankfurt	2002	200	B75	13
6h	Bürogebäude Theodor-Heuss-Allee 100 2	Frankfurt	2002	200	B75	34
7h	Brücke über den Mittelweg 2	Sasbach	1998	200	B85	7
8h	Kinozentrum Offenbach	Offenbach	1998	200	B85	18
9h	Parkhaus, Cargo-Center	Flughafen Rhein-Main	1998	200	B85	20
10h	Mediapark Köln 2	Köln	2000	200	B85	51
11h	Hochtief-Prisma 1	Frankfurt	2001	200	B85	20
12h	Hochtief-Prisma 2	Frankfurt	2001	200	B85	14
13h	Mannesmann/Arcor 1	Eschborn	2001	200	B85	44
14h	Mannesmann/Arcor 2	Eschborn	2001	200	B85	39
15h	Broker und Office Center	Frankfurt	2002	200	B85	2
16h	Bürogebäude Theodor-Heuss-Allee 100 3	Frankfurt	2002	200	B85	52
17h	Colorado	Stuttgart	2002	200	B85	18
18h	Berliner-Tor-Center	Hamburg	2003	200	B85	43
19h	Hochhaus-Ensemble Münchner Tor 1	München	2003	200	B85	18
20h	Hochhaus-Ensemble Münchner Tor 2	München	2003	200	B85	33
21h	Honda-Center	Frankfurt	2003	200	B85	25
22h	Verwaltungsgebäude Lufthansa	Aschaffenburg	2003	200	B85	38
23h	Bürogebäude Franklinstr 1	Frankfurt	2004	200	B85	7
24h	Brücke Glauchau ÜB Nord 1	Glauchau	2001	200	B85	44
25h	Brücke Glauchau ÜB Nord 2	Glauchau	2001	200	B85	44
26h	Brücke Glauchau ÜB Nord 3	Glauchau	2001	200	B85	46
27h	Brücke Glauchau ÜB Nord 4	Glauchau	2001	200	B85	50
28h	Brücke Glauchau ÜB Nord 5	Glauchau	2001	200	B85	28
29h	Brücke Glauchau ÜB Süd 1	Glauchau	2001	200	B85	43
30h	Brücke Glauchau ÜB Süd 2	Glauchau	2001	200	B85	41
31h	Brücke Glauchau ÜB Süd 3	Glauchau	2001	200	B85	46
32h	Brücke Glauchau ÜB Süd 4	Glauchau	2001	200	B85	60
33h	Brücke Glauchau ÜB Süd 5	Glauchau	2001	200	B85	28
34h	Brücke Glauchau	Glauchau	2001	200	B85	50
35h	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	150	B85	1 <sup>1</sup>
36h	Frankfurter Welle	Frankfurt	-	-	B85	1 <sup>1</sup>
37h	Frankfurter Welle	Frankfurt	-	-	B85	1 <sup>1</sup>
38h	Luckenberger Brücke	Luckenberger	-	-	B85	1 <sup>1</sup>
39h	Wipfra-Brücke	Kirchheim	-	-	B85	34

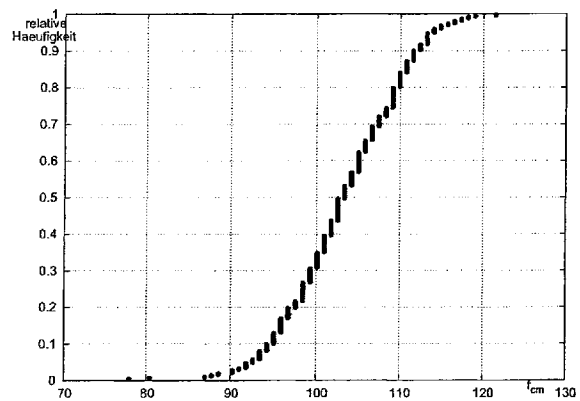
Hochfester Beton						
Nr	Herkunft	Ort	Jahr	Würfel	Klasse	n=
40h	Mediapark Köln 3	Köln	2000	200	B95	14
41h	Bürogebäude Andersen-Consulting	Kronberg	2001	200	B95	38
42h	Deutsche Flugsicherung	Langen	2001	200	B95	43
43h	Sevens Hochbau	Düsseldorf	2001	200	B95	14
44h	Z-Zwo	Stuttgart	2001	200	B95	20
45h	Bürogebäude Theodor-Heuss-Allee 100 4	Frankfurt	2002	200	B95	49
46h	Deutsche Apotheker- und Ärztebank 2	Düsseldorf	2002	200	B95	23
47h	Main-Forum 2	Frankfurt	2002	200	B95	46
48h	EBV-Carree	Aachen	2003	200	B95	4
49h	HIGH TECH, intern. Business-Center	Düsseldorf	2003	200	B95	5
50h	Zielstattstr	München	2003	200	B95	4
51h	Bürogebäude Franklinstr 2	Frankfurt	2004	200	B95	10
52h	Daten Universität Leipzig	-	-	150	B95	28
53h	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	150	B105	427
54h	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998		B105	423
55h	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	200	B105	33
56h	Daten Universität Leipzig	-	vor 1998	150	B105	346

<sup>1</sup> Auswertung nur nach Momentenmethode, keine Einzelwerte

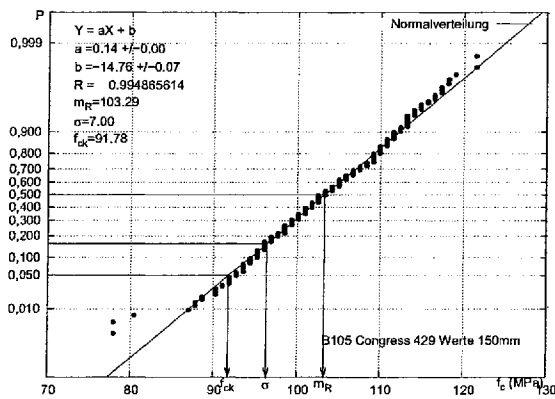
## B. Diagramme



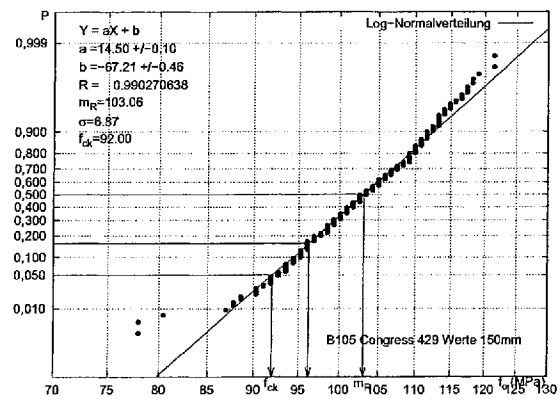
(a) Versuchswerte



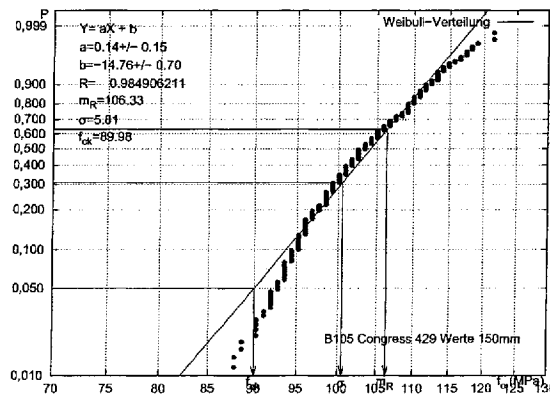
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

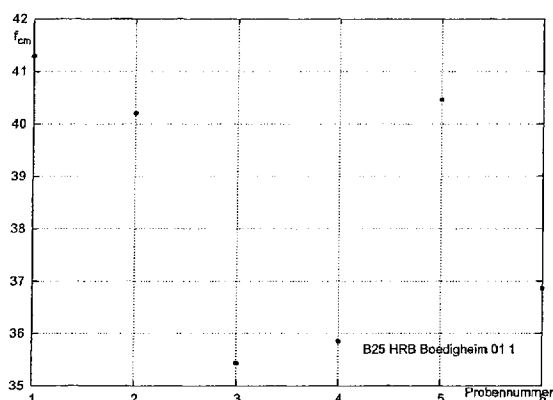


(e) Weibull-Verteilung

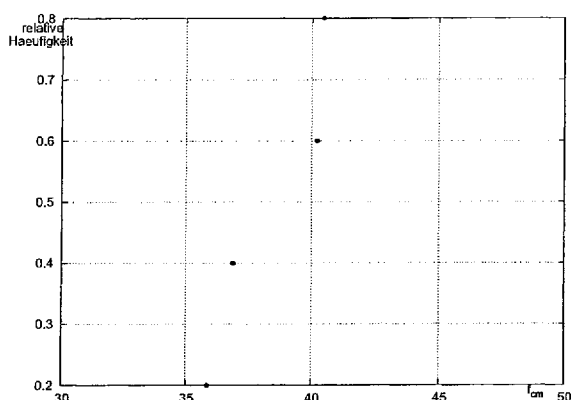
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 103.288886523313$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 6.99567406034883$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 91.7810026940389$ MPa
Anzahl	$n = 427$

(f) gewählte Verteilung

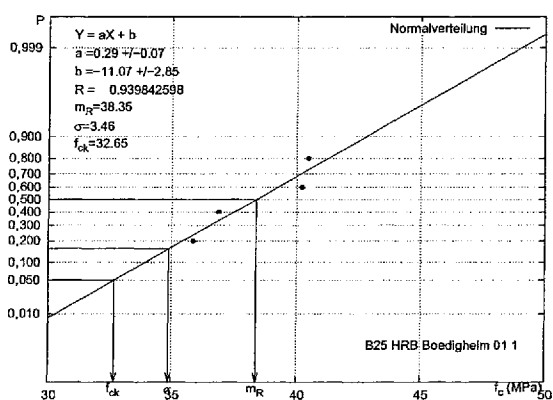
Bild B.1.: B105 Congress 429 Werte 150mm



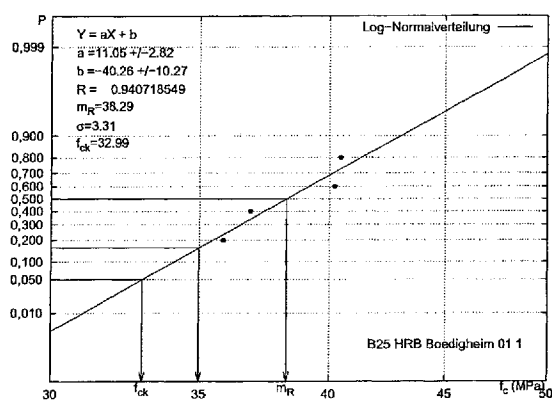
(a) Versuchswerte



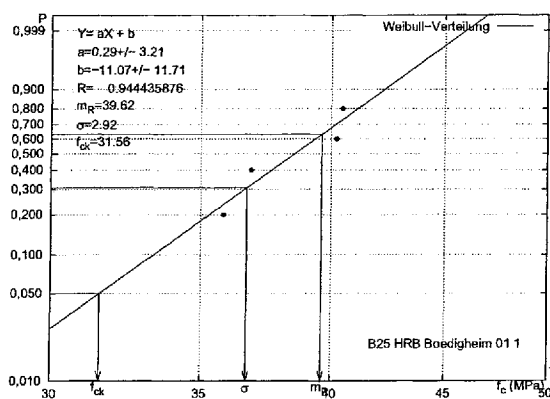
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

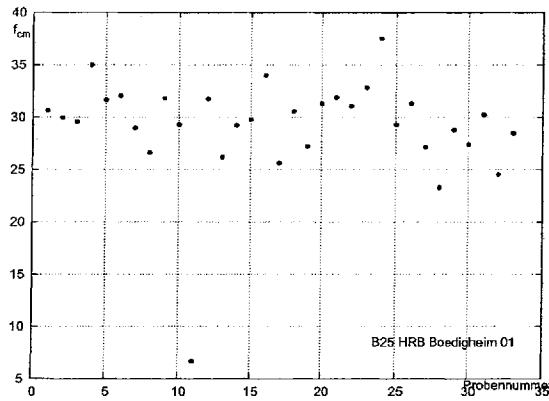


(e) Weibull-Verteilung

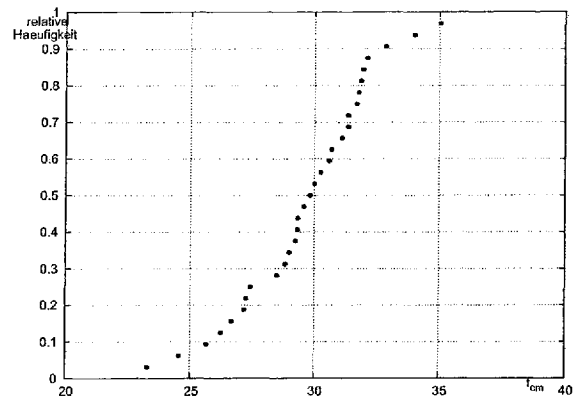
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 39.6240474930656$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.92272638510724$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 31.559181825127$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

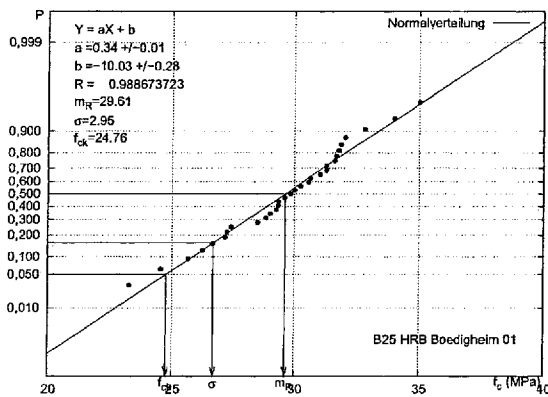
Bild B.2.: B25 HRB Boedigheim 01 1



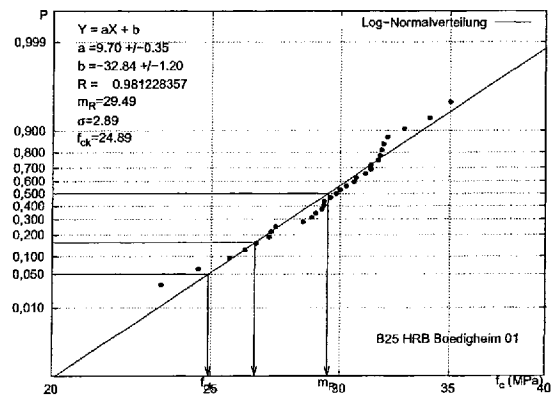
(a) Versuchswerte



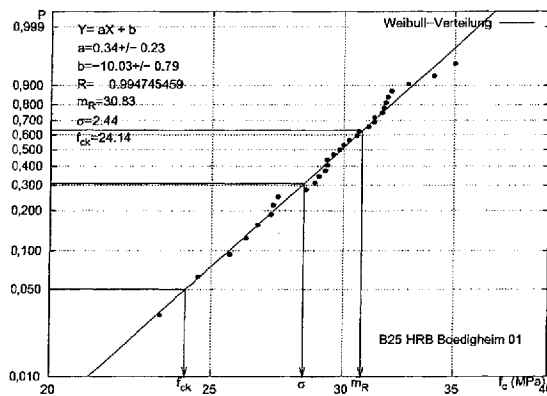
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

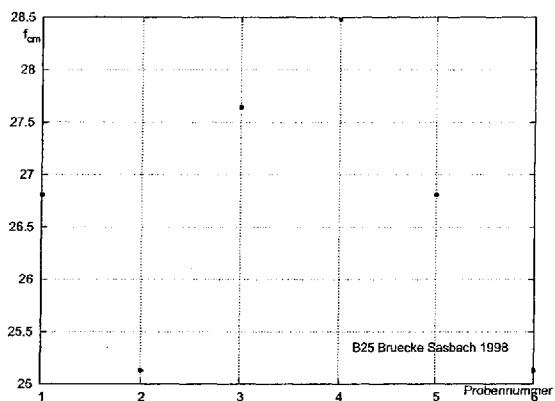


(e) Weibull-Verteilung

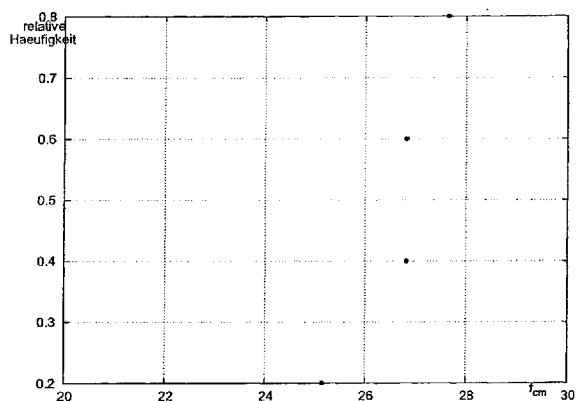
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 30.8251301813936$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.43742087118141$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 24.1353969818492$ MPa
Anzahl	$n = 31$

(f) gewählte Verteilung

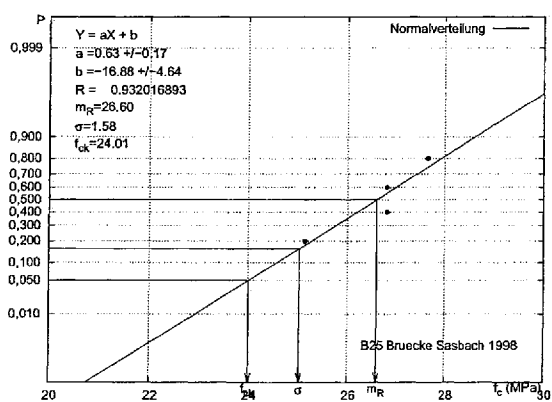
Bild B.3.: B25 HRB Boedigheim 01



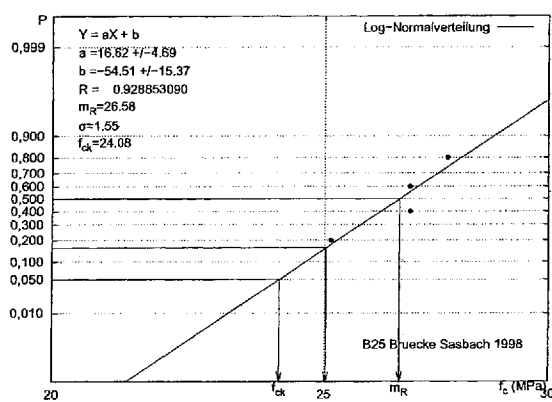
(a) Versuchswerte



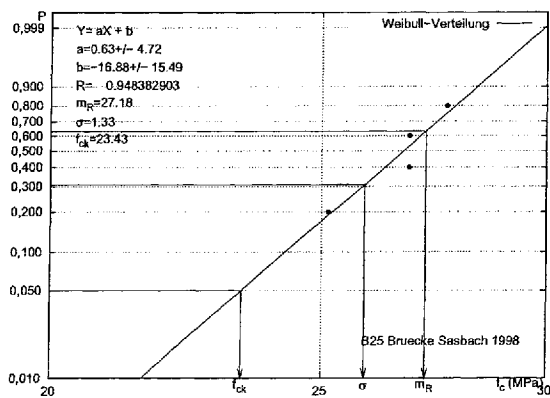
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



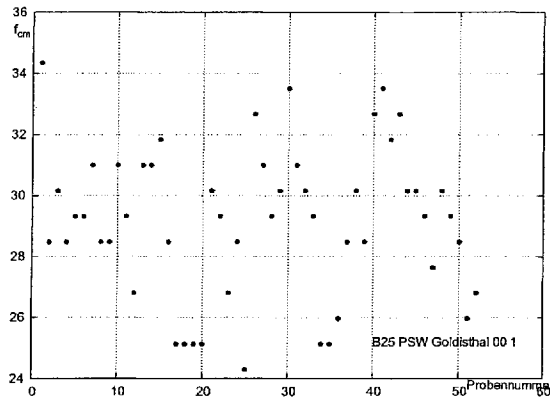
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 27.1820145556902$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.32765296333534$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 23.4255938140591$ MPa
Anzahl	$n = 4$

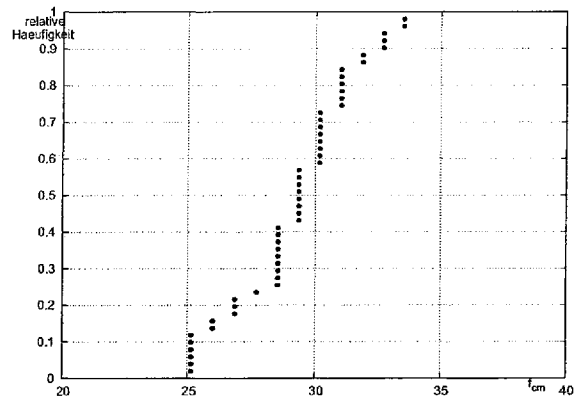
(f) gewählte Verteilung

Bild B.4.: B25 Bruecke Sasbach 1998

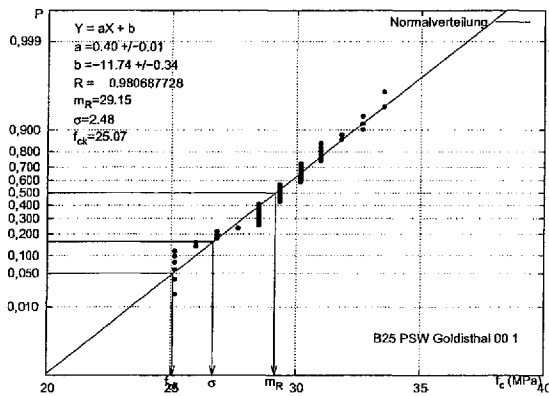




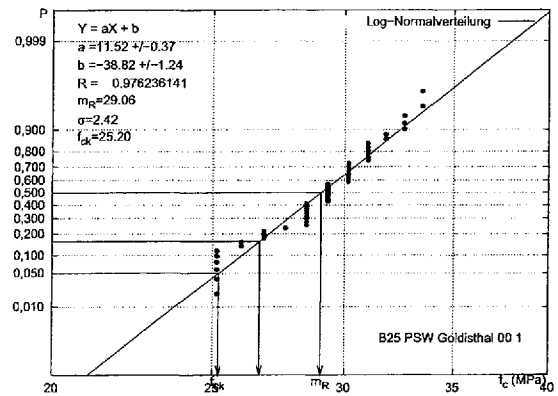
(a) Versuchswerte



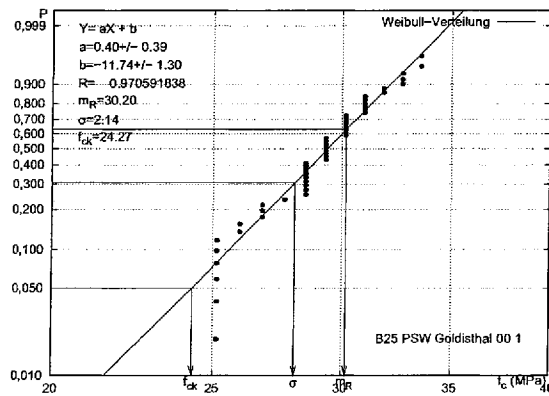
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

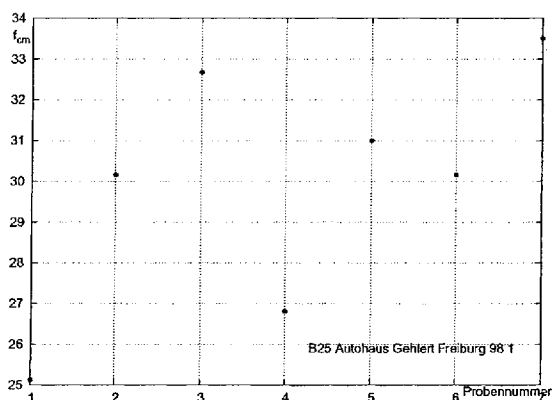


(e) Weibull-Verteilung

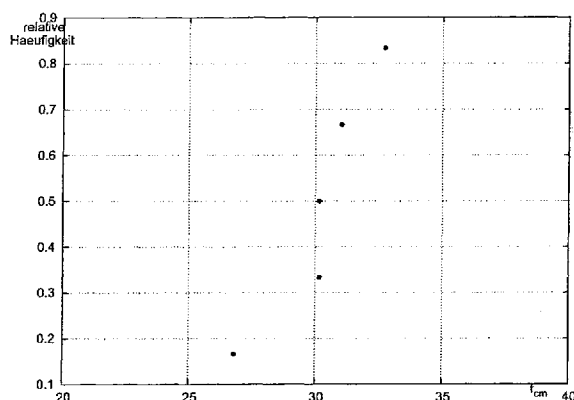
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 29.1529090904653$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.48419782345528$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 25.0664036708813$ MPa
Anzahl	$n = 50$

(f) gewählte Verteilung

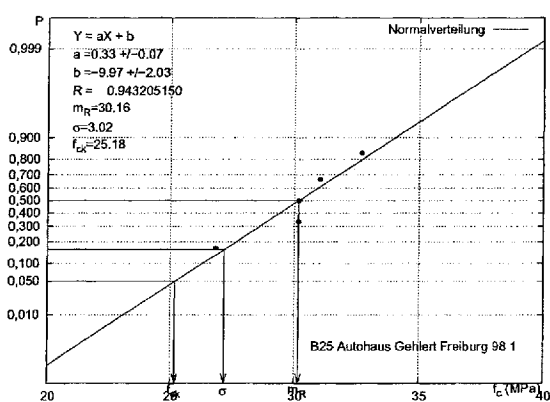
Bild B.5.: B25 PSW Goldisthal 00 1



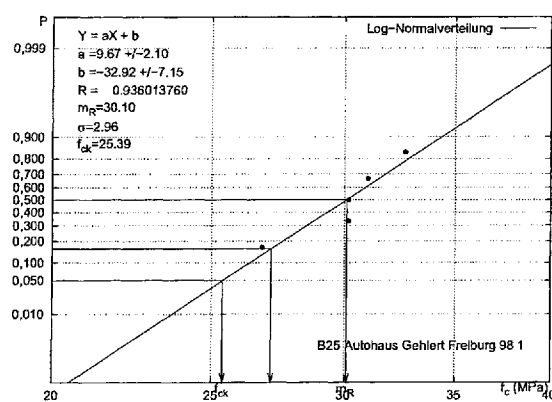
(a) Versuchswerte



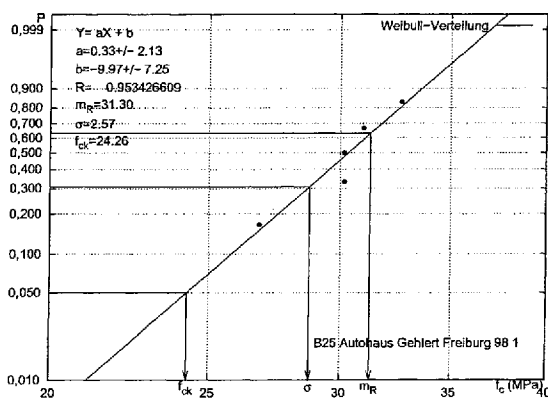
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

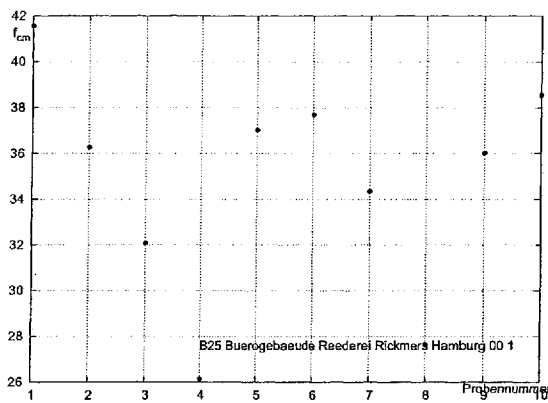


(e) Weibull-Verteilung

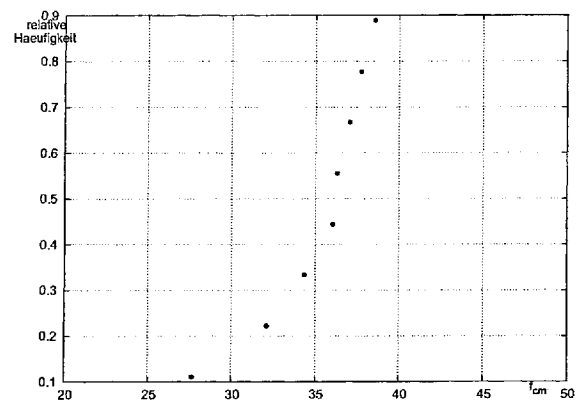
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 31.3036157511232 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 2.57266864219691 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 24.2648804960564 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 5$

(f) gewählte Verteilung

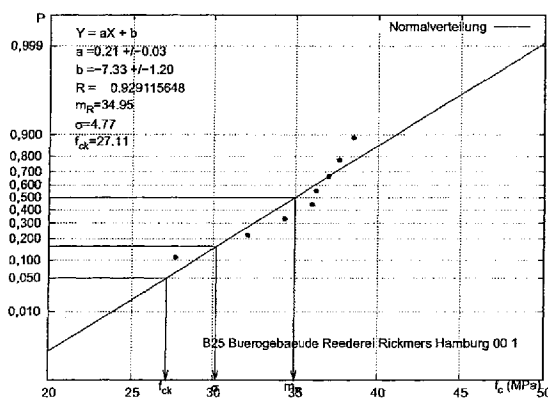
Bild B.6.: B25 Autohaus Gehlert Freiburg 98 1



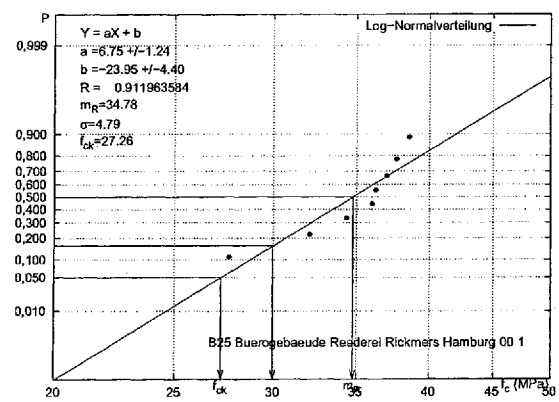
(a) Versuchswerte



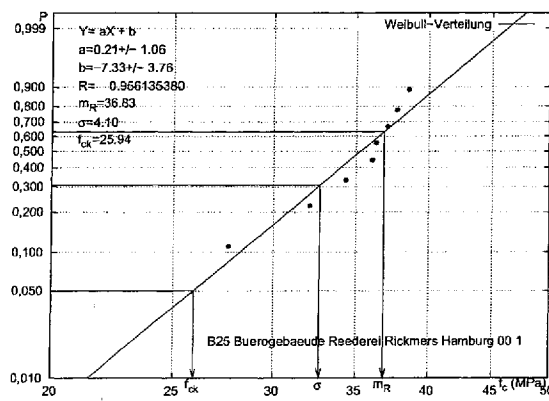
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

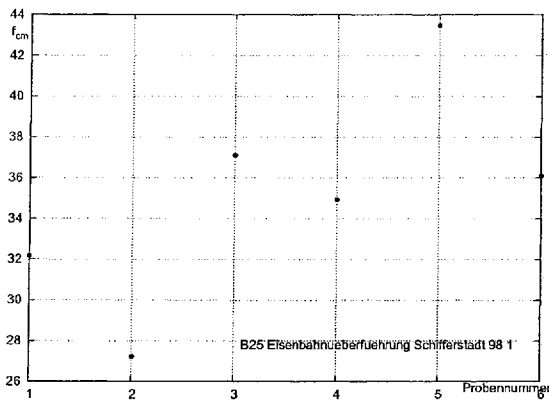


(e) Weibull-Verteilung

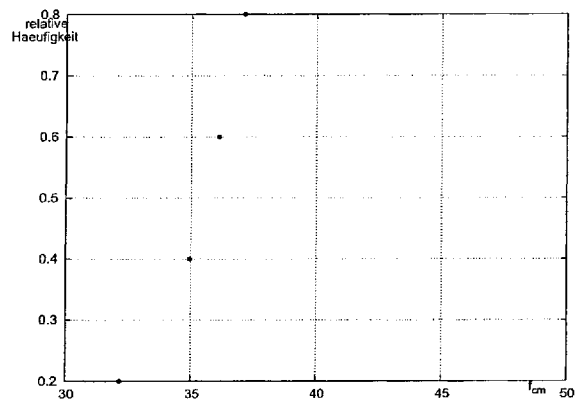
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 36.8259778593845 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 4.09938536648394 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 25.9376959932005 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 8$

(f) gewählte Verteilung

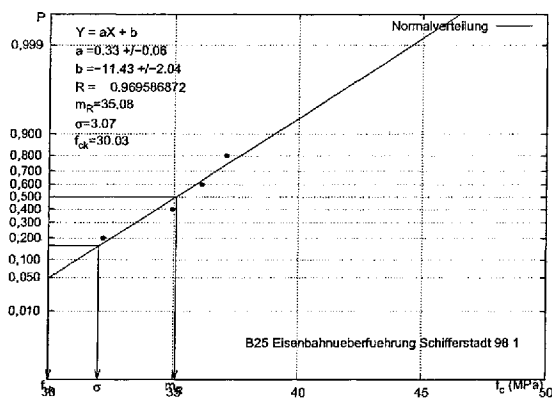
Bild B.7.: B25 Buerogebaeude Reederei Rickmers Hamburg 00 1



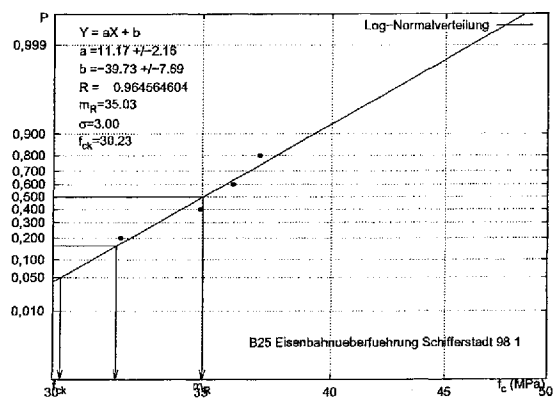
(a) Versuchswerte



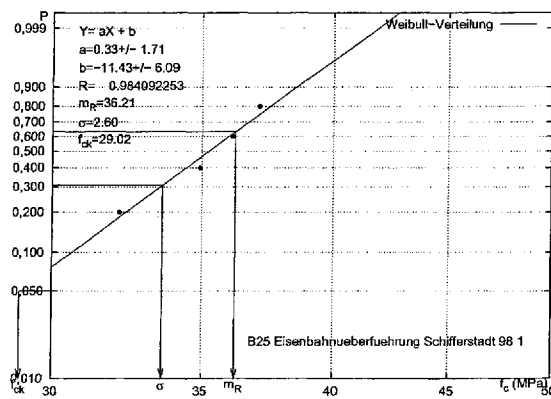
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

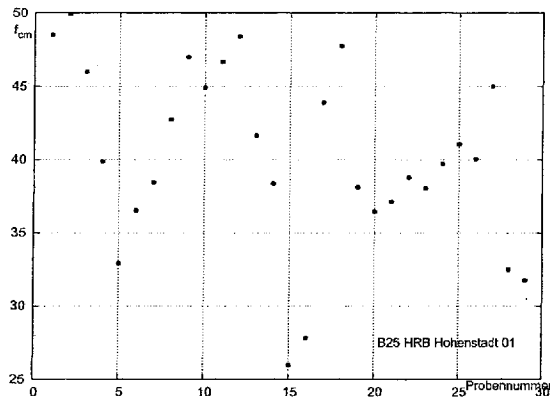


(e) Weibull-Verteilung

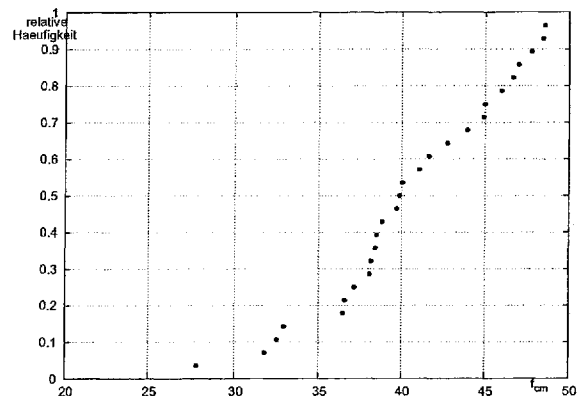
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 36.2135182796216$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.60109891655433$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 29.0221116166802$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

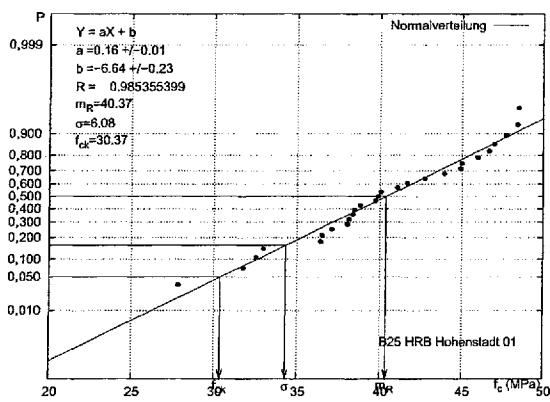
Bild B.8.: B25 Eisenbahneüberführung Schifferstadt 98 1



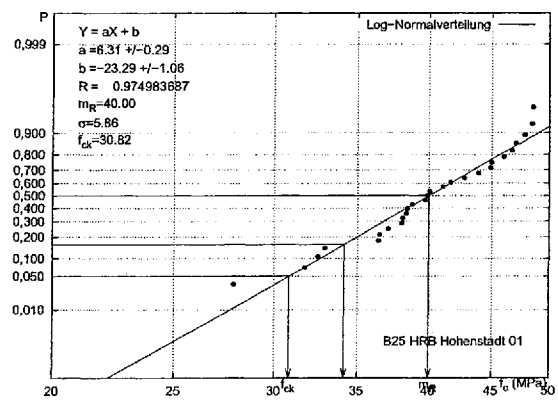
(a) Versuchswerte



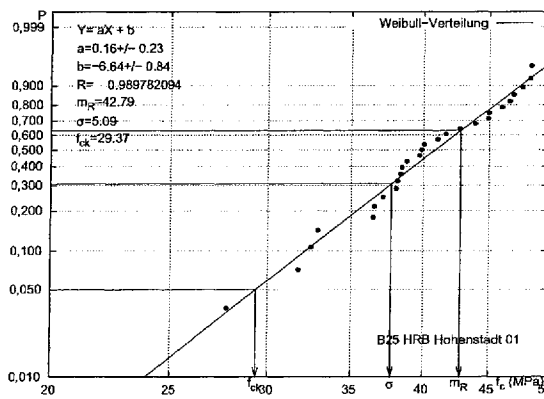
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

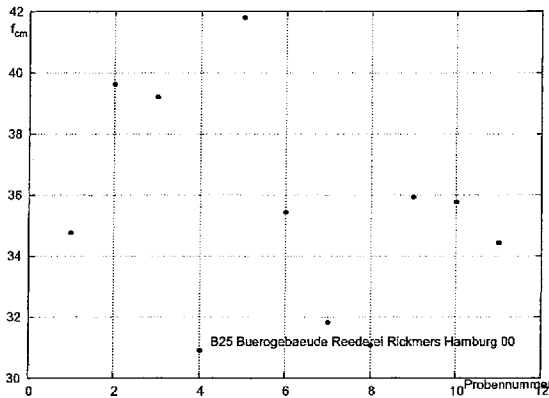


(e) Weibull-Verteilung

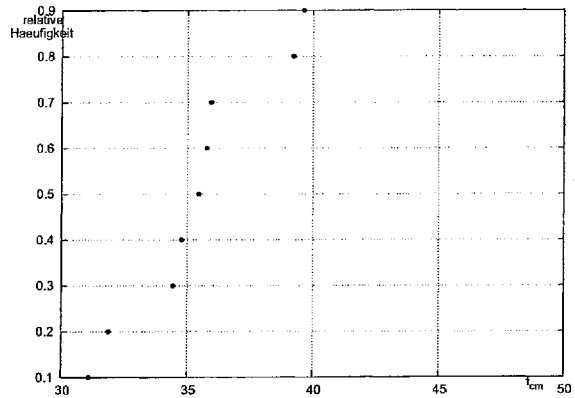
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 42.7937843579137$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.09478820778099$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 29.3683466217578$ MPa
Anzahl	$n = 27$

(f) gewählte Verteilung

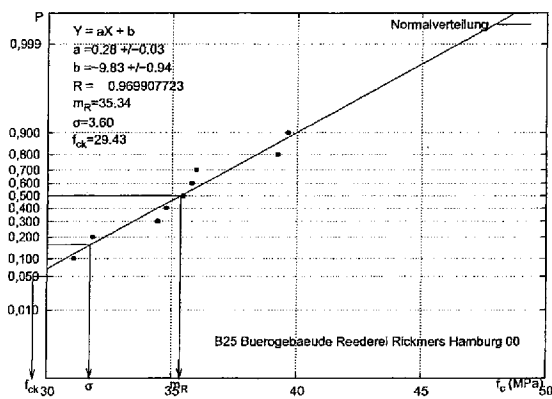
Bild B.9.: B25 HRB Hohenstadt 01



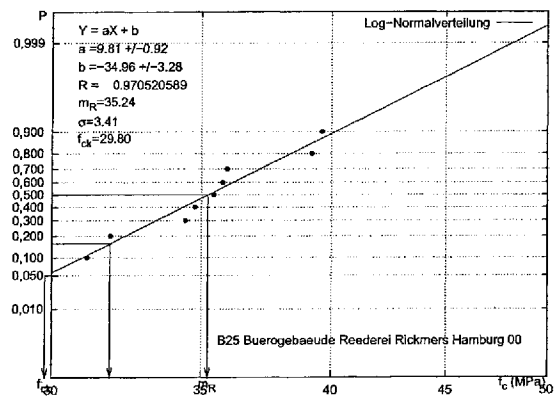
(a) Versuchswerte



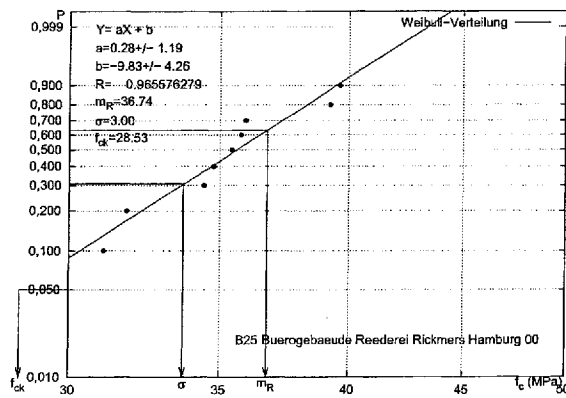
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

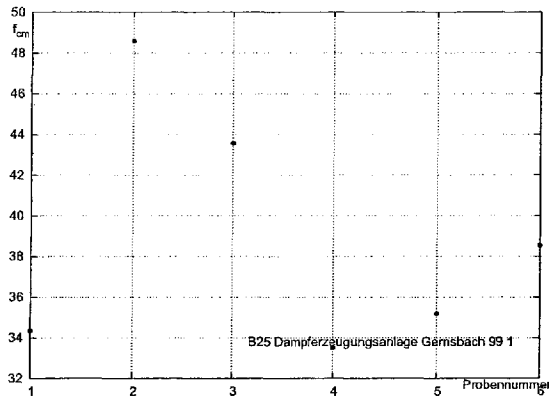


(e) Weibull-Verteilung

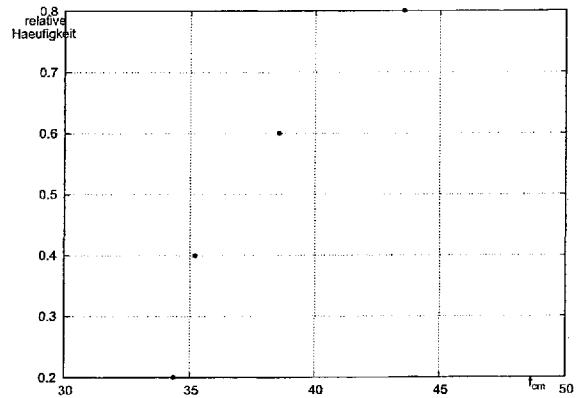
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 35.2398264001861$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.41362446284269$ MPa
5%-Fraktilewert	$f_{ck} = 29.8019199417569$ MPa
Anzahl	$n = 9$

(f) gewählte Verteilung

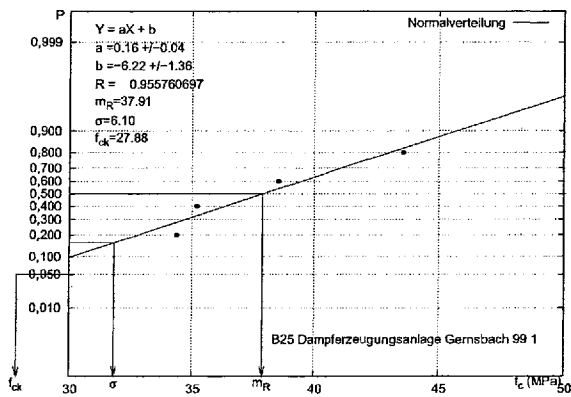
Bild B.10.: B25 Buerogebaeude Reederei Rickmers Hamburg 00



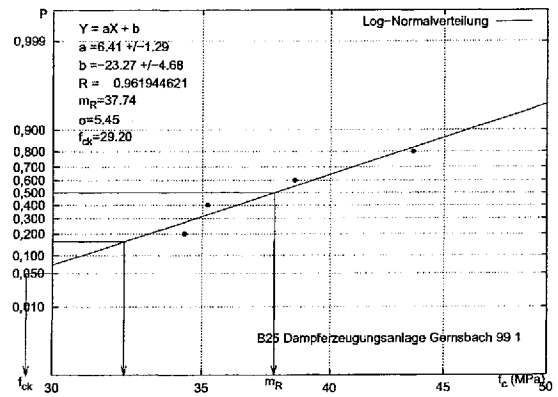
(a) Versuchswerte



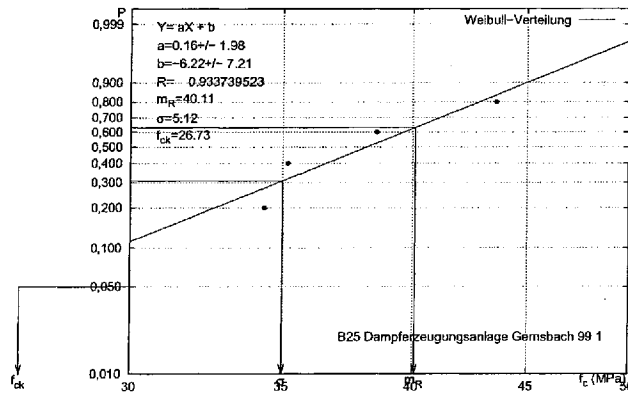
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

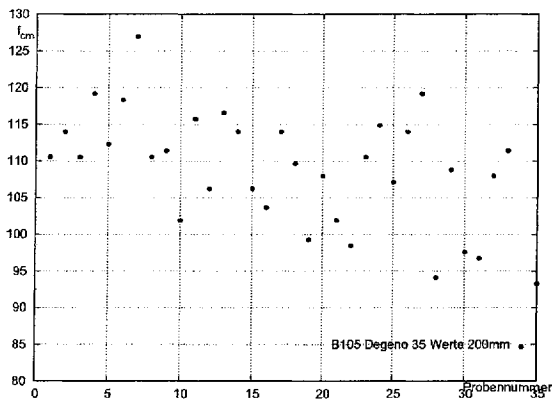


(e) Weibull-Verteilung

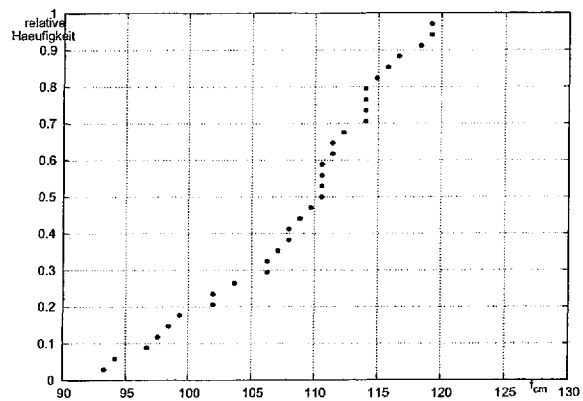
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 37.7399425732038$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.45229279284483$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 29.1963214871539$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

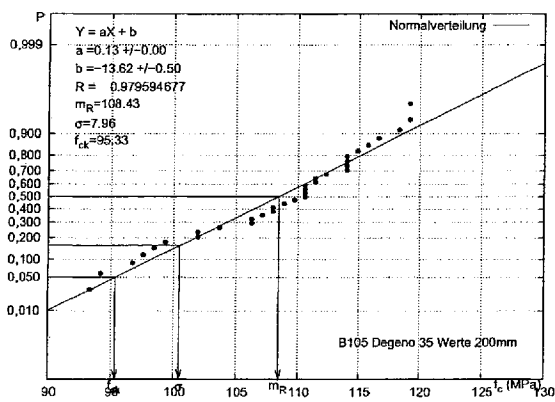
Bild B.11.: B25 Dampferzeugungsanlage Gernsbach 99 1



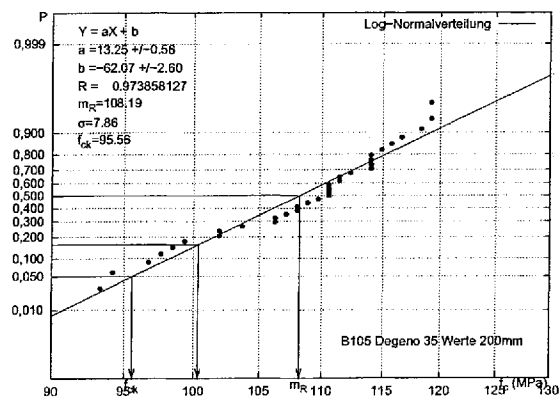
(a) Versuchswerte



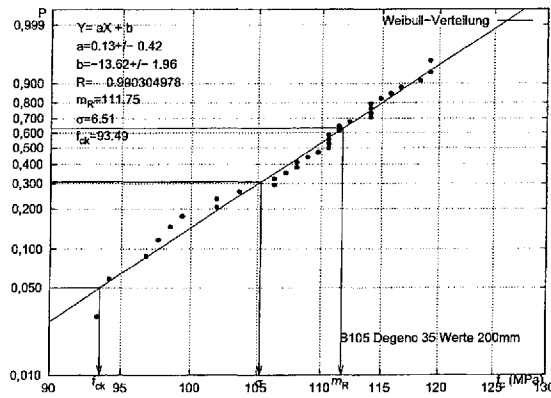
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



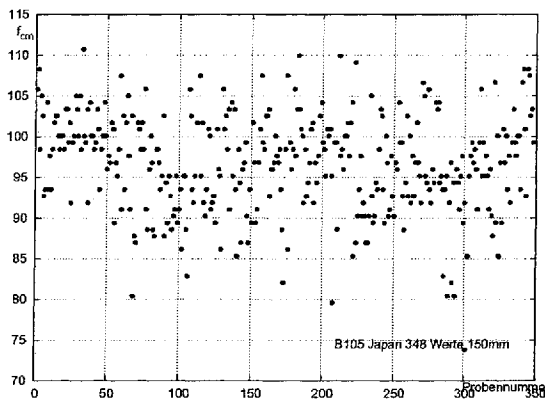
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 111.746130589128$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 6.51411303363267$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 93.4891564420036$ MPa
Anzahl	$n = 33$

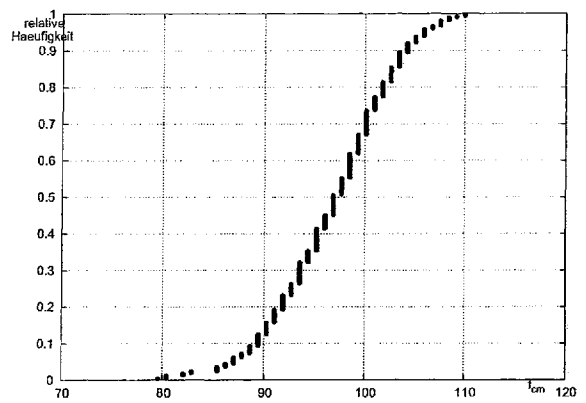
(f) gewählte Verteilung

Bild B.12.: B105 Degeno 35 Werte 200mm

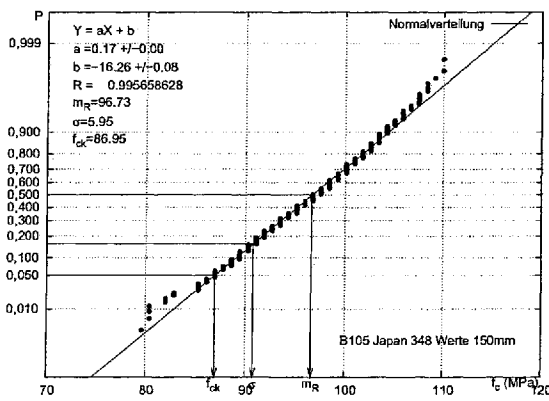




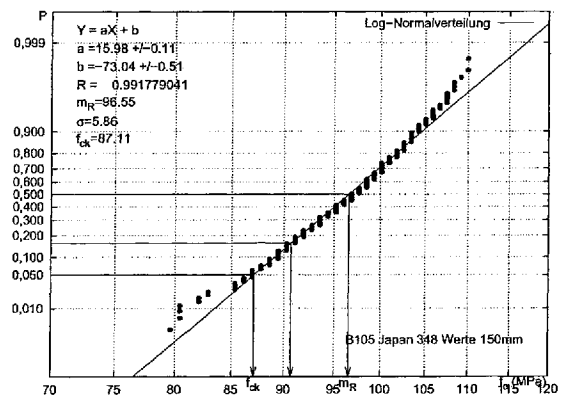
(a) Versuchswerte



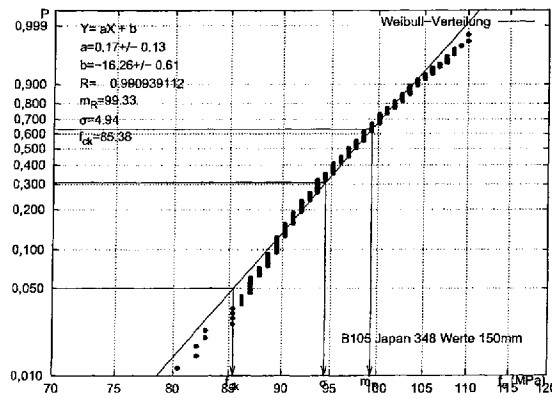
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

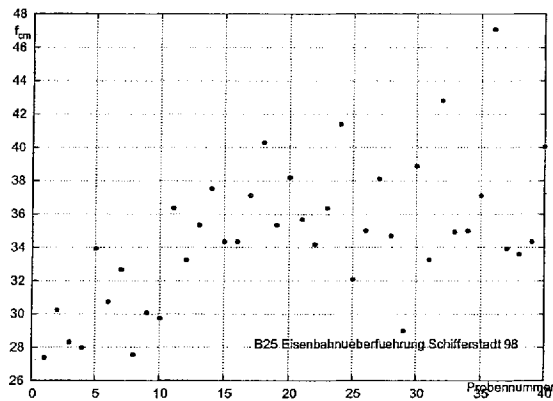


(e) Weibull-Verteilung

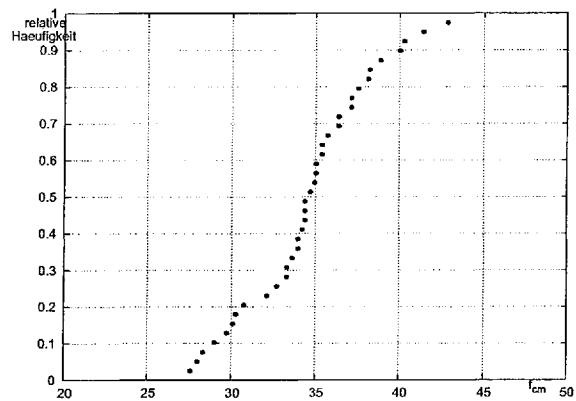
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 96.7306424067261$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.94813645548365$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 86.9459579374555$ MPa
Anzahl	$n = 346$

(f) gewählte Verteilung

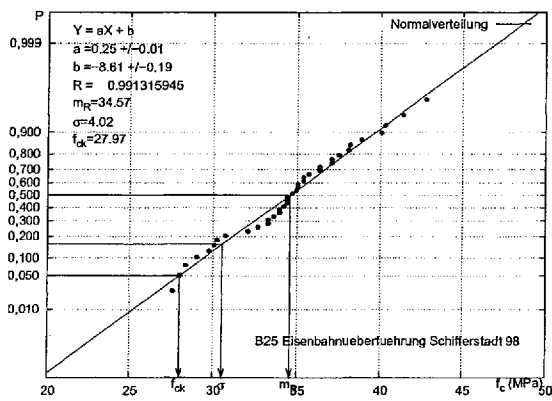
Bild B.13.: B105 Japan 348 Werte 150mm



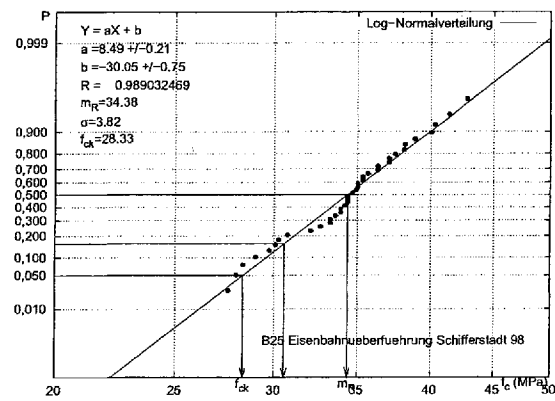
(a) Versuchswerte



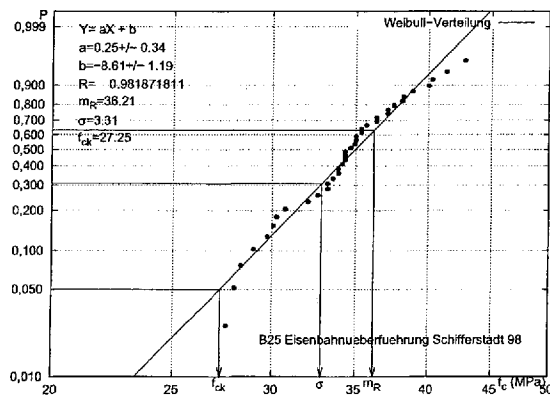
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

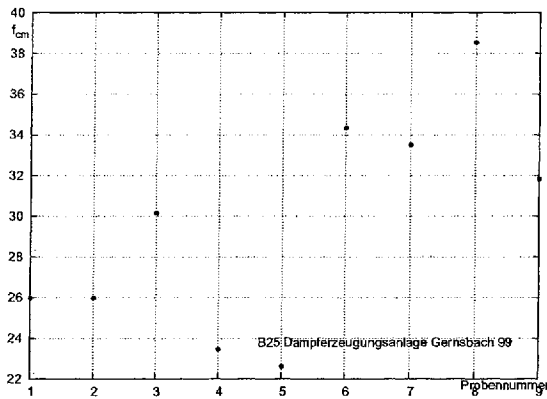


(e) Weibull-Verteilung

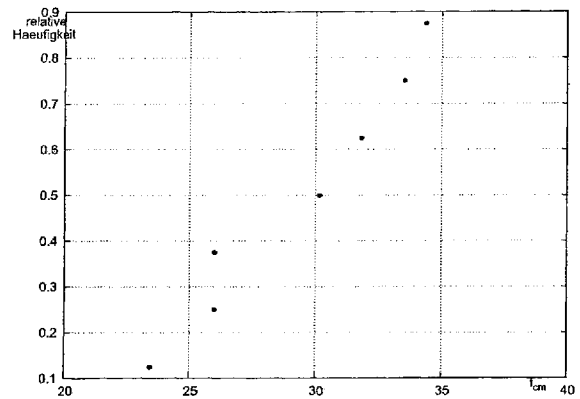
Verteilung		Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} =$	34.5738863625979 MPa
Standardabweichung	$\sigma =$	4.0173770876547 MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} =$	27.9653010534059 MPa
Anzahl	$n =$	38

(f) gewählte Verteilung

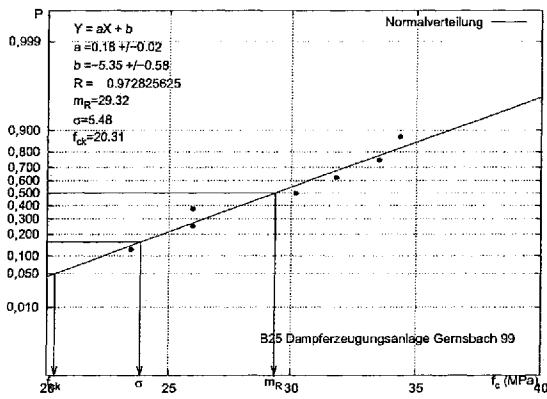
Bild B.14.: B25 Eisenbahnueberfuehrung Schifferstadt 98



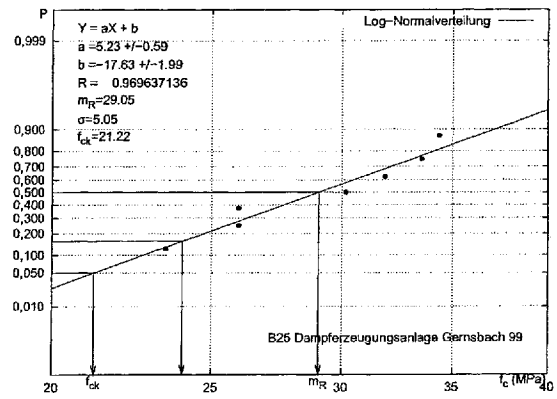
(a) Versuchswerte



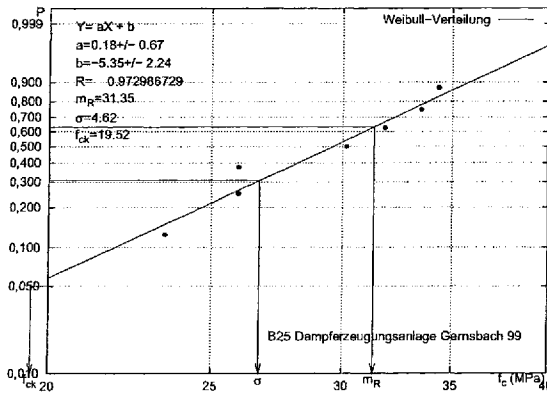
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

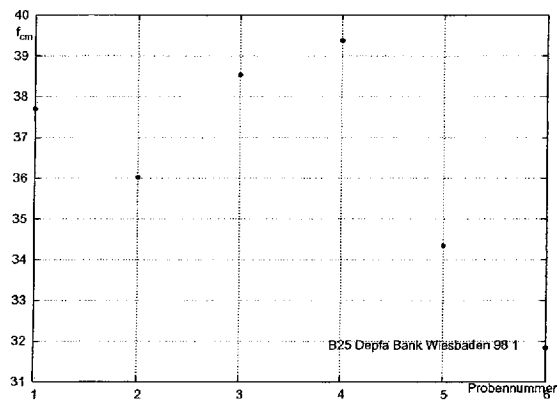


(e) Weibull-Verteilung

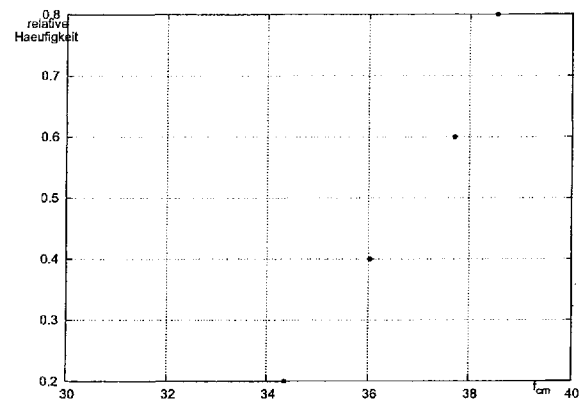
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 31.3537515231247$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.62309579893098$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 19.5221753758794$ MPa
Anzahl	$n = 7$

(f) gewählte Verteilung

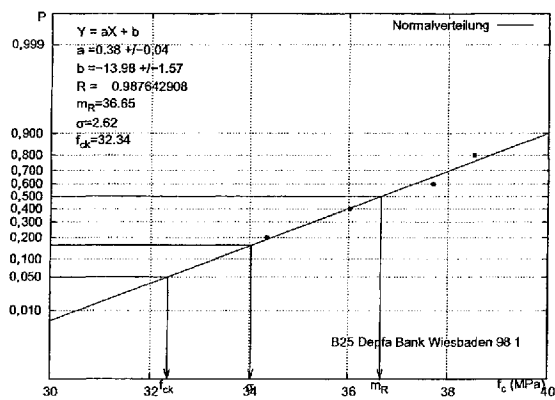
Bild B.15.: B25 Dampferzeugungsanlage Gernsbach 99



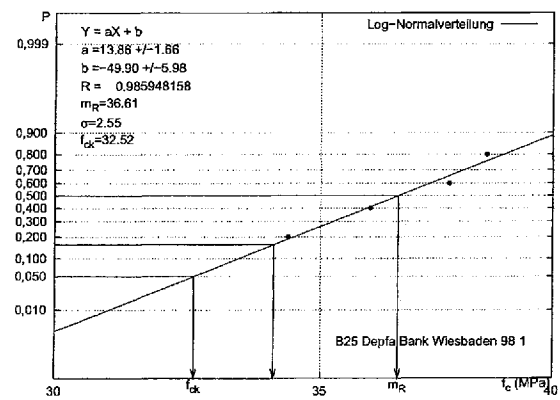
(a) Versuchswerte



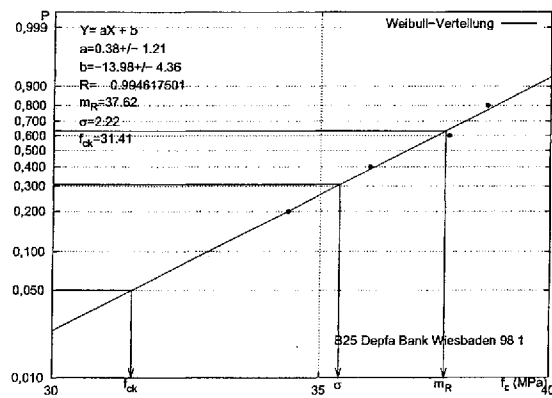
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

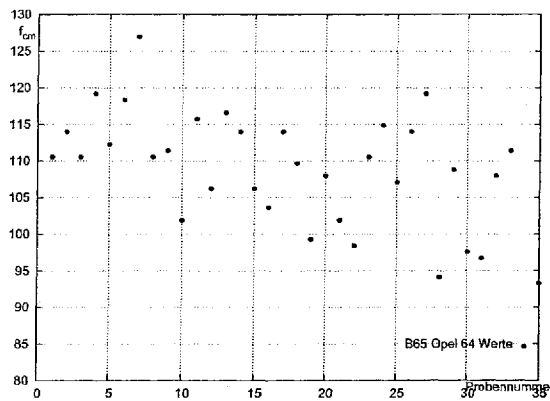


(e) Weibull-Verteilung

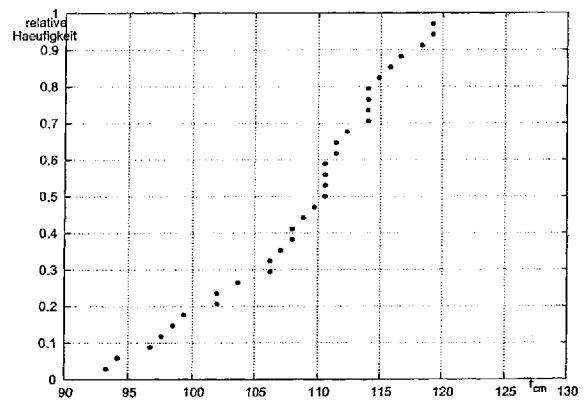
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 37.6204123687815$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.21804341939538$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 31.4080956548521$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

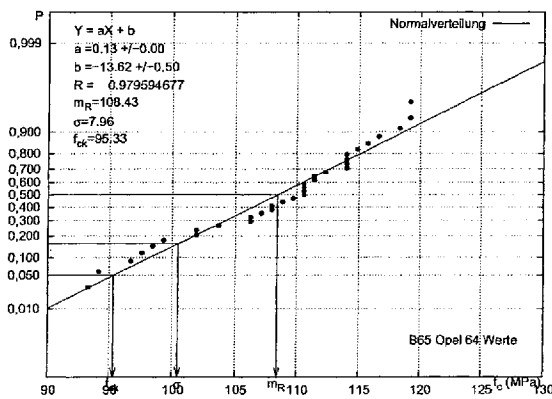
Bild B.16.: B25 Depfa Bank Wiesbaden 98 1



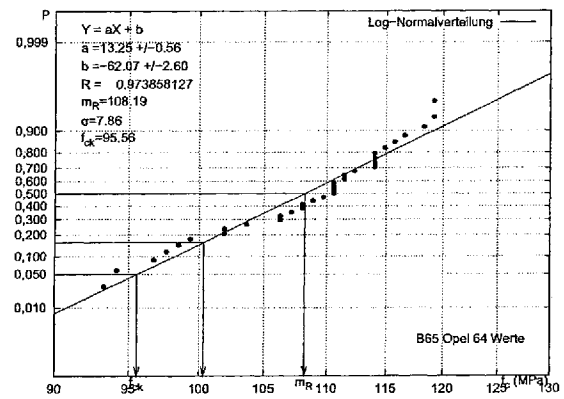
(a) Versuchswerte



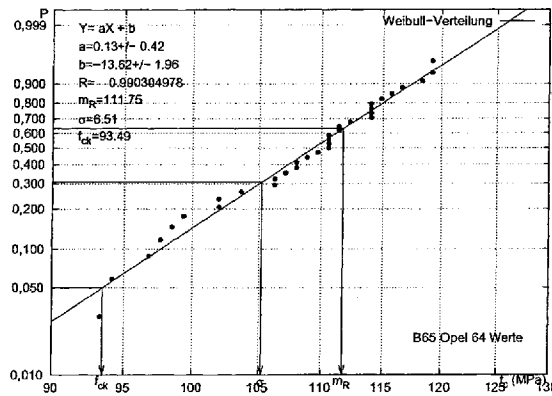
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

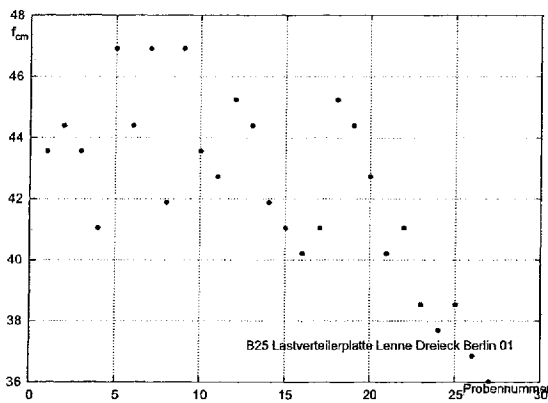


(e) Weibull-Verteilung

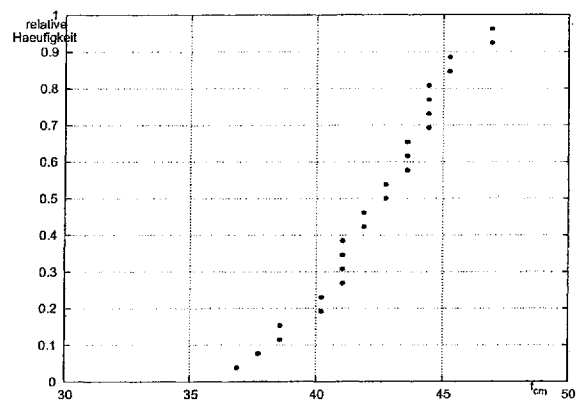
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 111.746130589128$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 6.51411303363267$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 93.4891564420036$ MPa
Anzahl	$n = 33$

(f) gewählte Verteilung

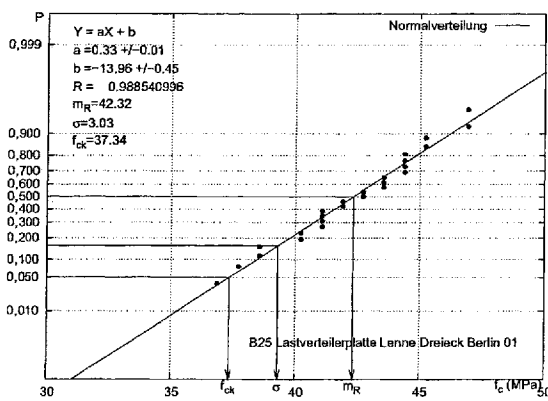
Bild B.17.: B65 Opel 64 Werte



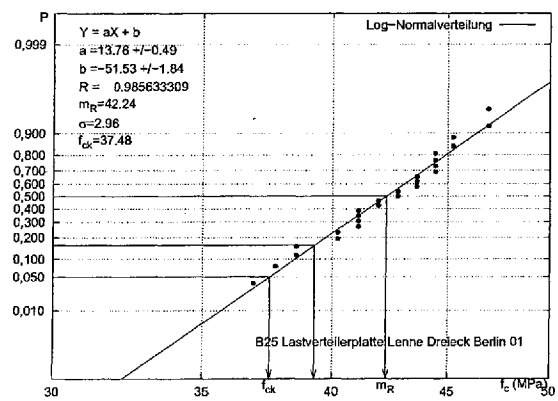
(a) Versuchswerte



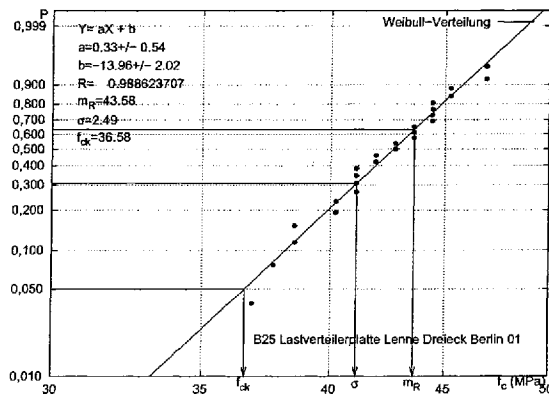
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

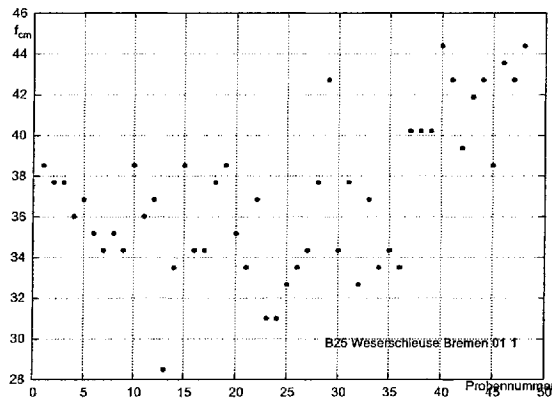


(e) Weibull-Verteilung

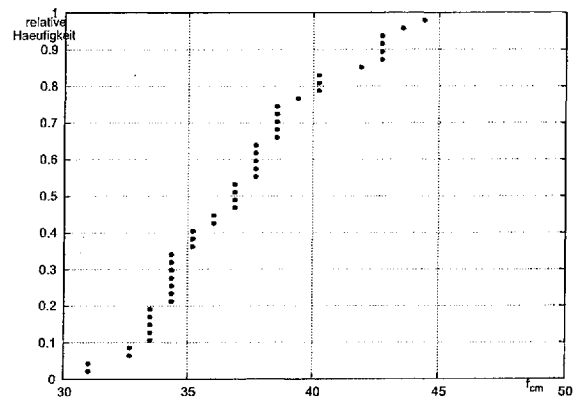
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 43.5794219656463$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.49396940260158$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 36.5821390518857$ MPa
Anzahl	$n = 25$

(f) gewählte Verteilung

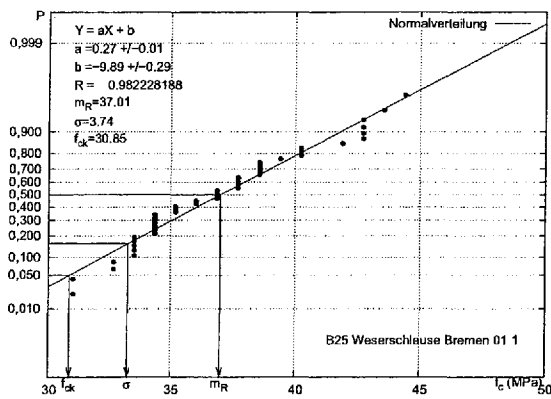
Bild B.18.: B25 Lastverteilerplatte Lenne Dreieck Berlin 01



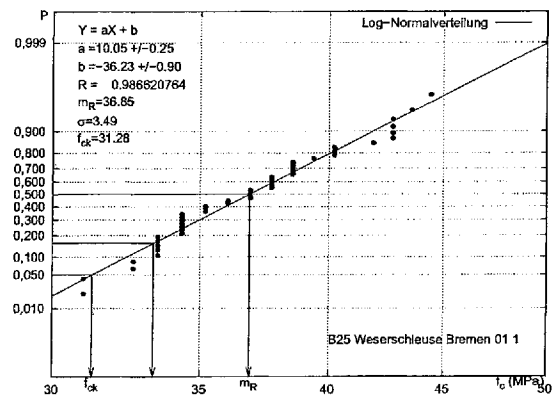
(a) Versuchswerte



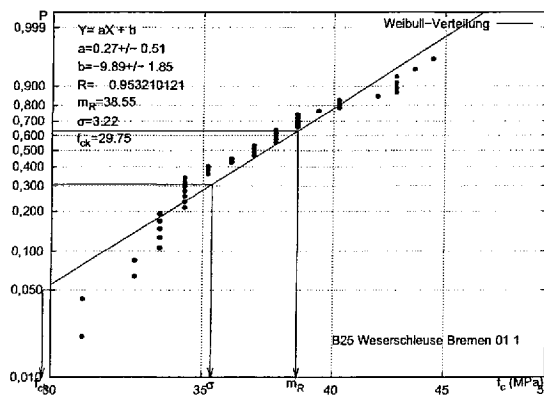
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

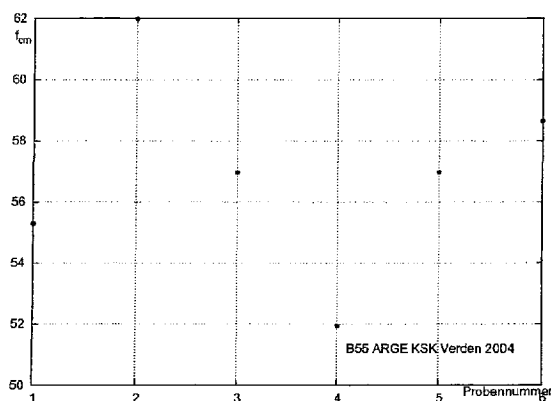


(e) Weibull-Verteilung

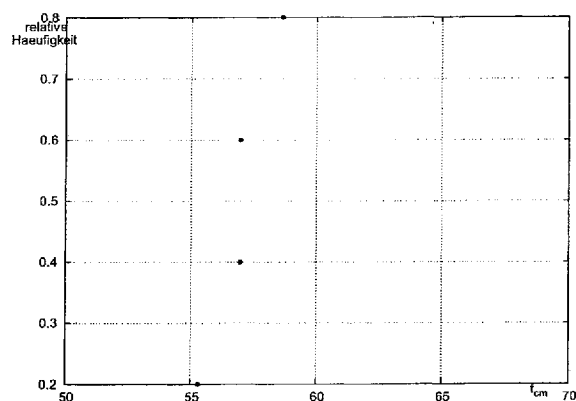
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 36.8511358761363$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.49170960004077$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 31.2848254063281$ MPa
Anzahl	$n = 46$

(f) gewählte Verteilung

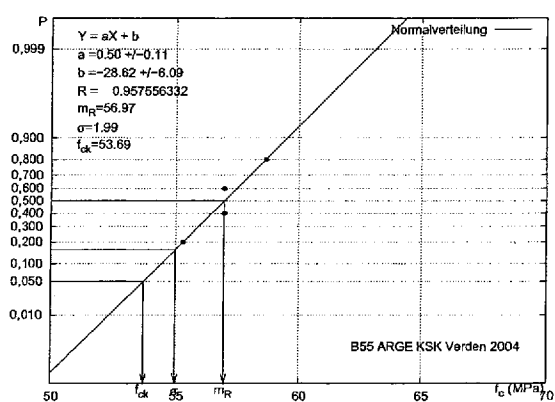
Bild B.19.: B25 Weserschleuse Bremen 01 1



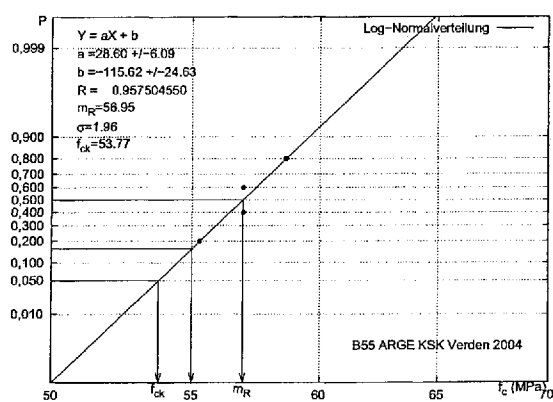
(a) Versuchswerte



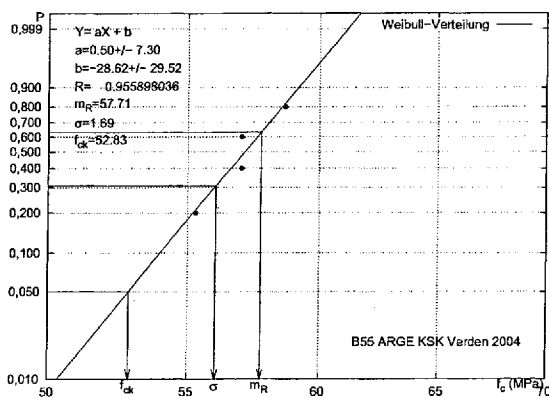
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



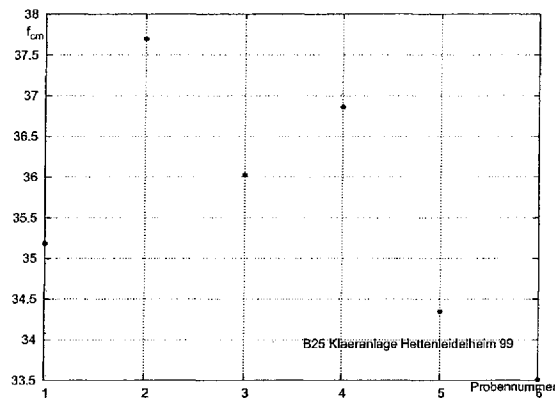
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 56.9654545454545$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.99074652423212$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 53.6906765130927$ MPa
Anzahl	$n = 4$

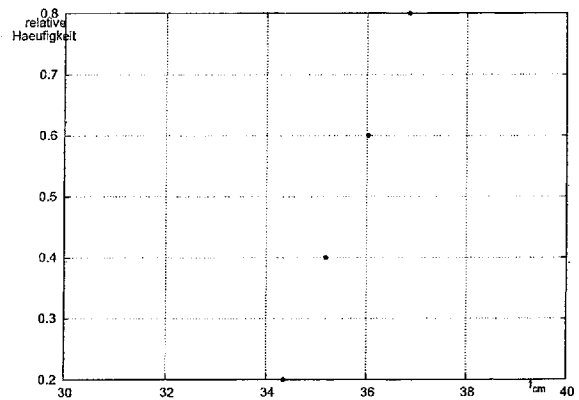
(f) gewählte Verteilung

Bild B.20.: B55 ARGE KSK Verden 2004

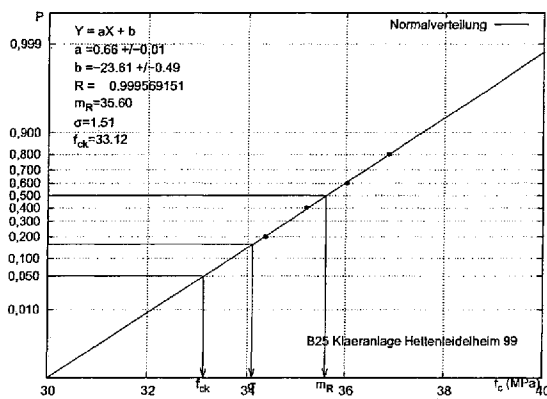




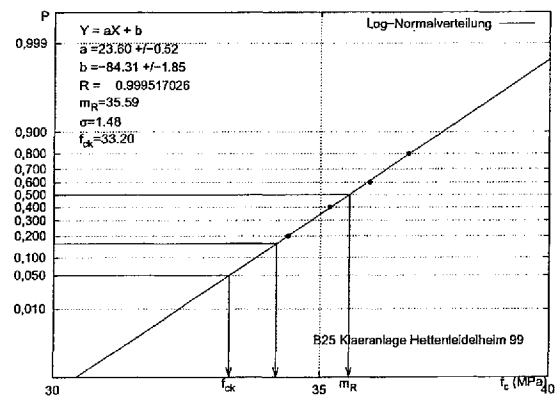
(a) Versuchswerte



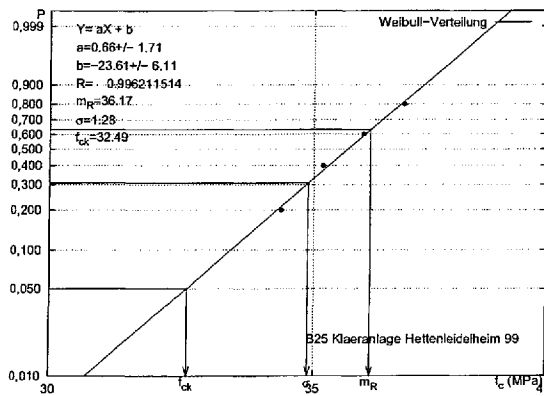
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

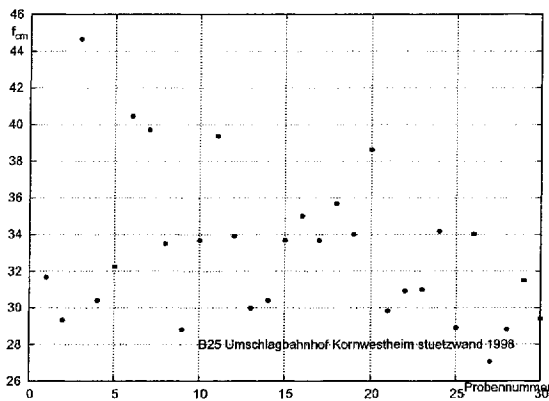


(e) Weibull-Verteilung

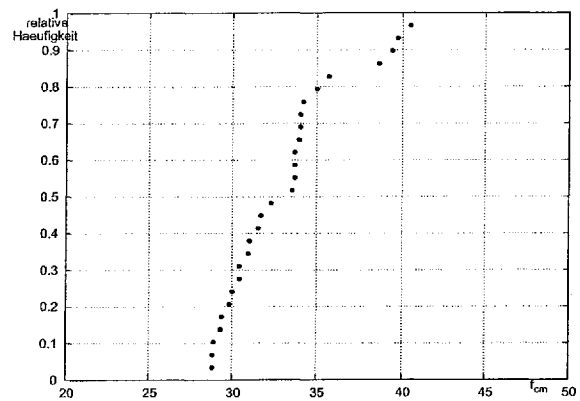
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 35.6034090909091$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.50767406052302$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 33.1232852613487$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

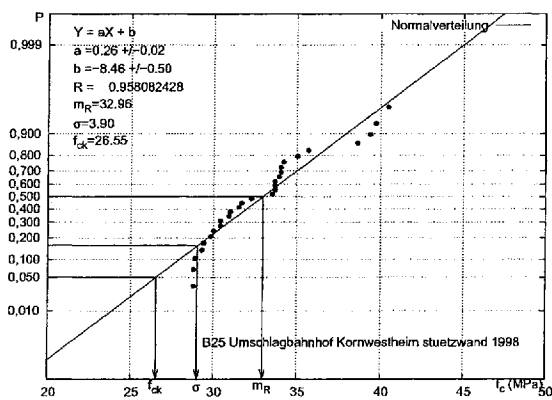
Bild B.21.: B25 Klaeranlage Hettenleidelheim 99



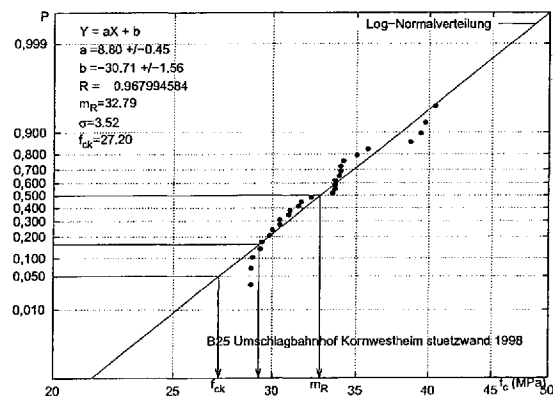
(a) Versuchswerte



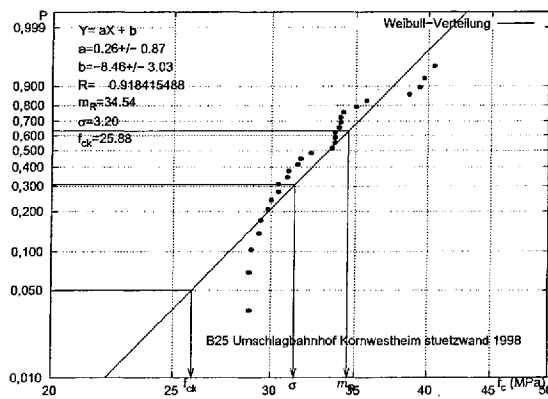
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

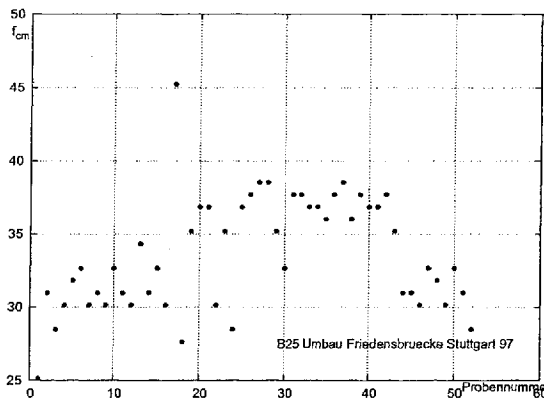


(e) Weibull-Verteilung

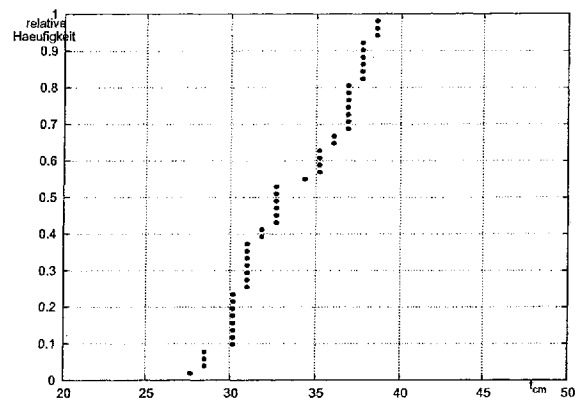
Verteilung		Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} =$	32.792578155662 MPa
Standardabweichung	$\sigma =$	3.52237057450731 MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} =$	27.2016474315267 MPa
Anzahl	$n =$	28

(f) gewählte Verteilung

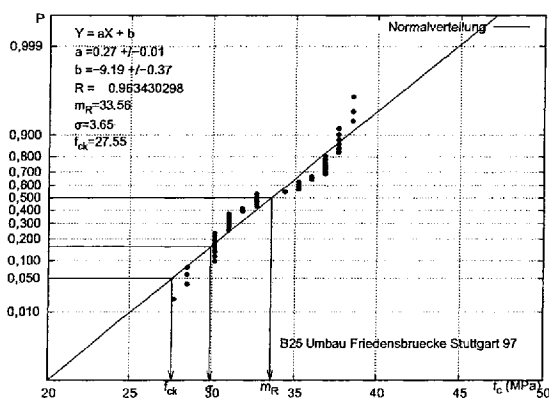
Bild B.22.: B25 Umschlagbahnhof Kornwestheim stuetzwand 1998



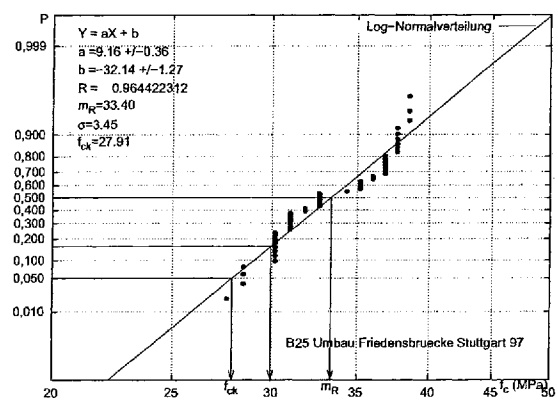
(a) Versuchswerte



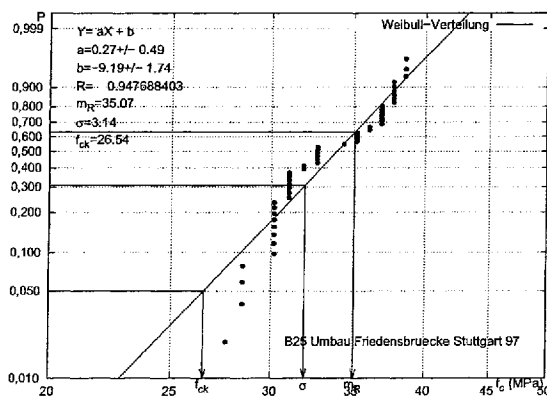
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

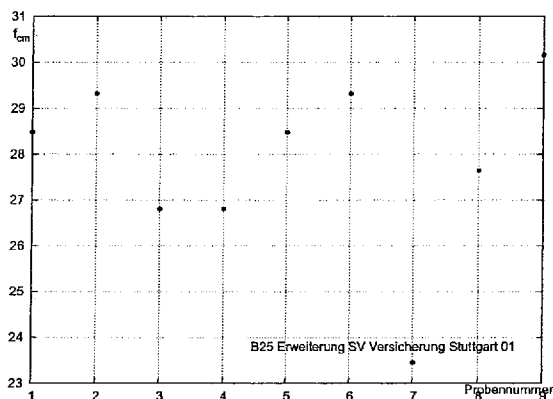


(e) Weibull-Verteilung

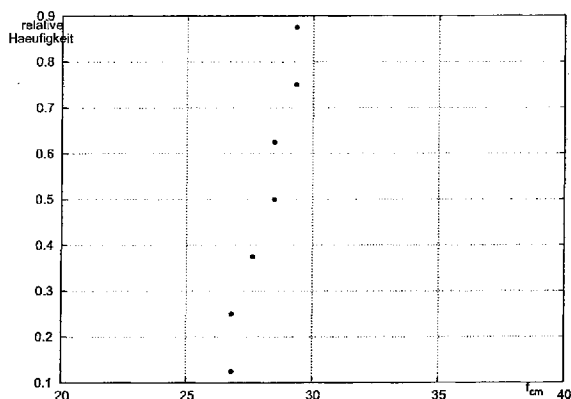
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 33.3984345663175$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.4535488247535$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 27.9092029929122$ MPa
Anzahl	$n = 50$

(f) gewählte Verteilung

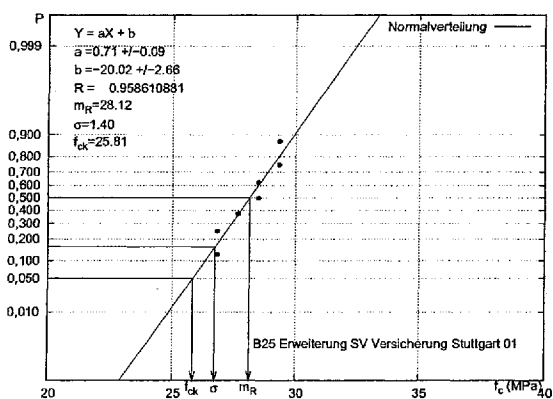
Bild B.23.: B25 Umbau Friedensbrücke Stuttgart 97



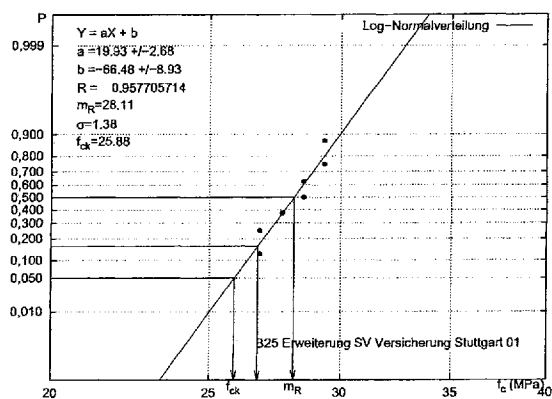
(a) Versuchswerte



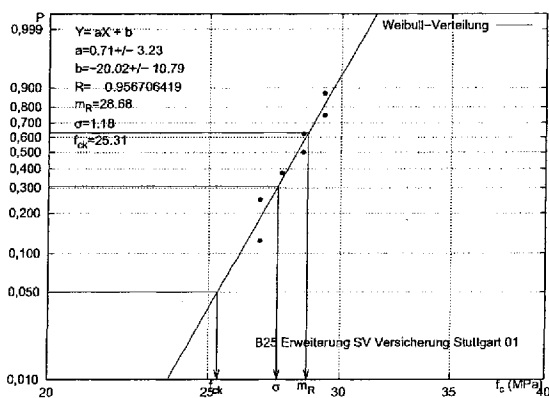
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

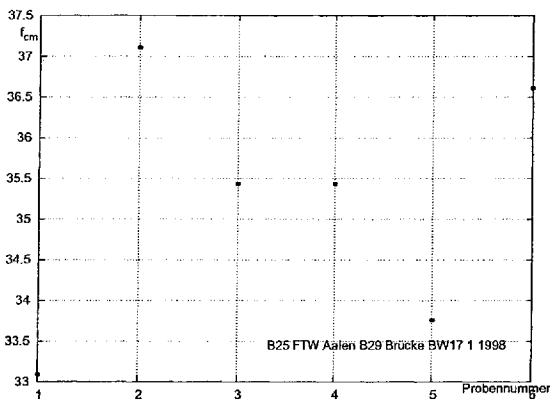


(e) Weibull-Verteilung

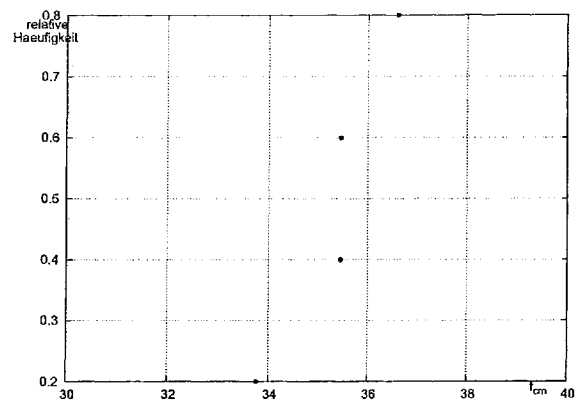
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 28.1237012986985 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 1.40474743249369 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 25.8128917722464 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 7$

(f) gewählte Verteilung

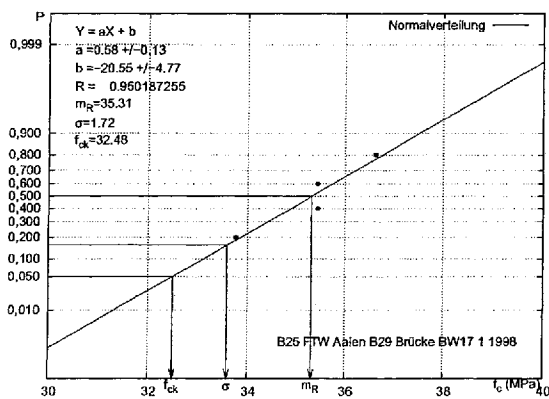
Bild B.24.: B25 Erweiterung SV Versicherung Stuttgart 01



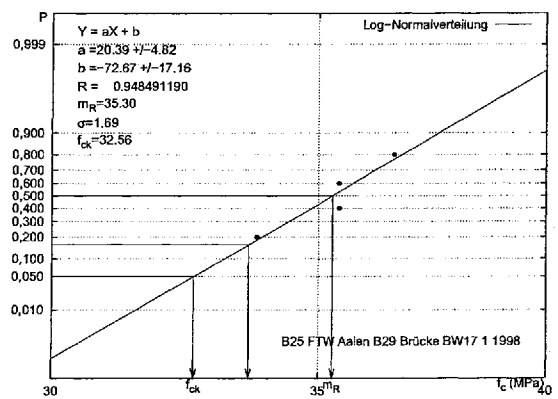
(a) Versuchswerte



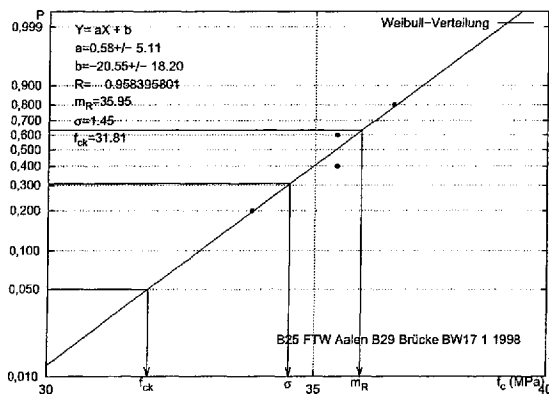
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

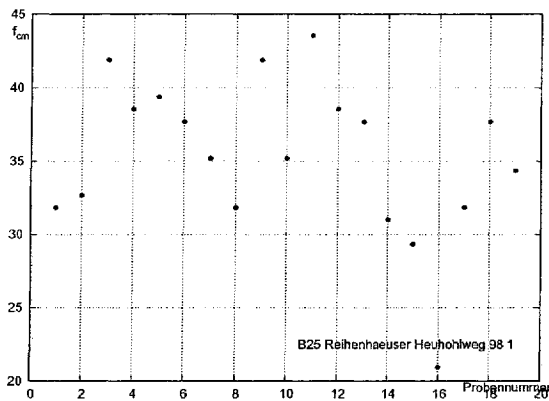


(e) Weibull-Verteilung

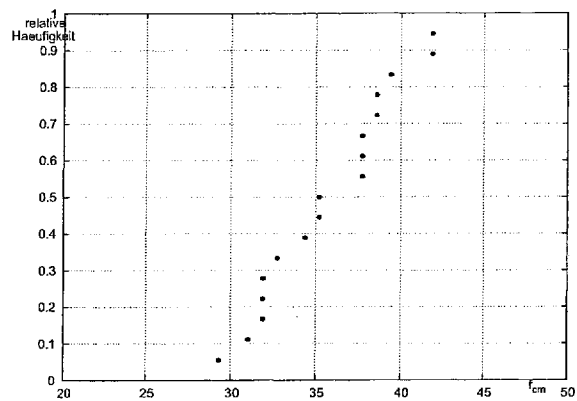
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 35.9504027655291$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.4524166209394$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 31.8061432179559$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

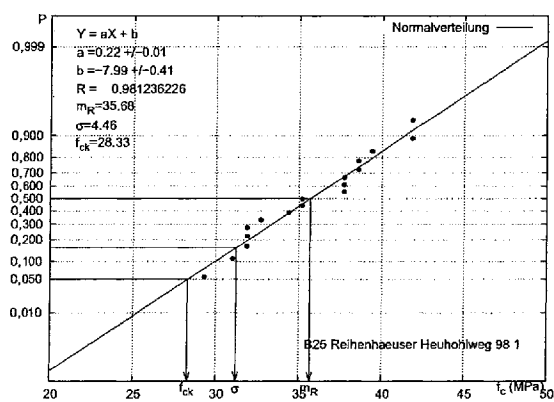
Bild B.25.: B25 FTW Aalen B29 Brücke BW17 1 1998



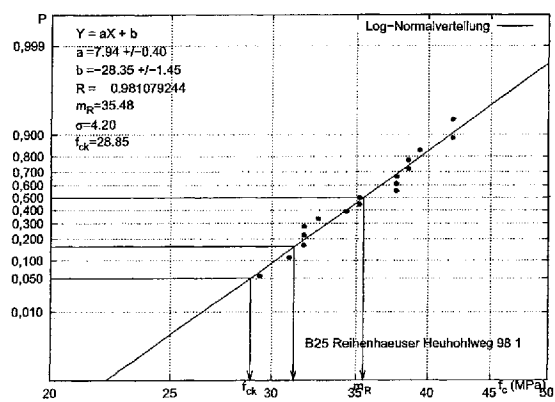
(a) Versuchswerte



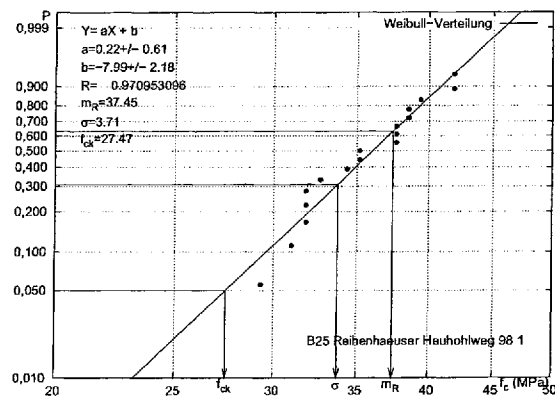
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

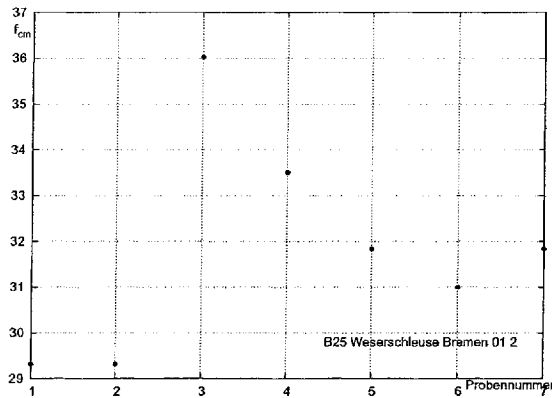


(e) Weibull-Verteilung

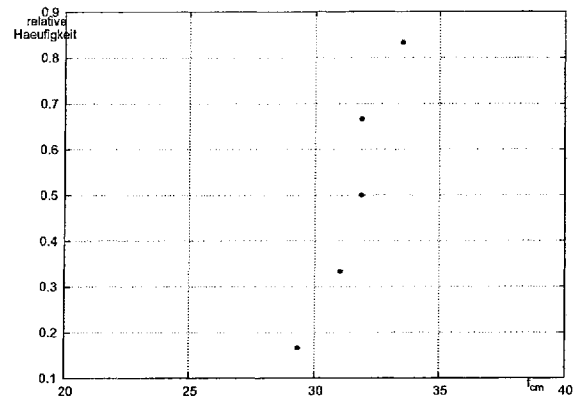
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 35.6773262032086$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.46491904796067$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 28.3325343693133$ MPa
Anzahl	$n = 17$

(f) gewählte Verteilung

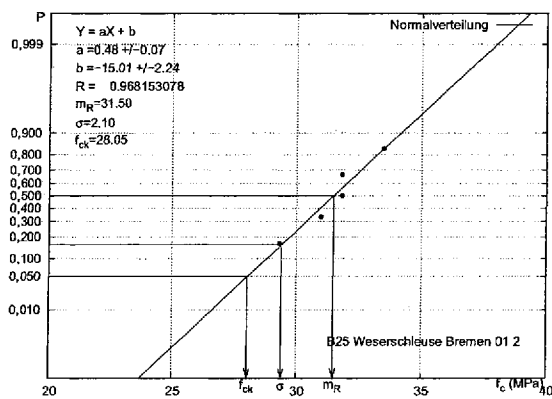
Bild B.26.: B25 Reihenhäuser Heuhohlweg 98 1



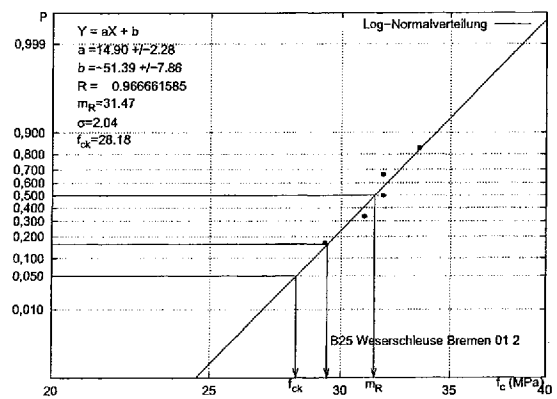
(a) Versuchswerte



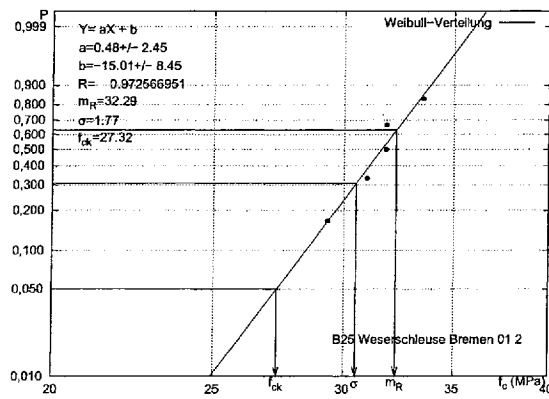
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

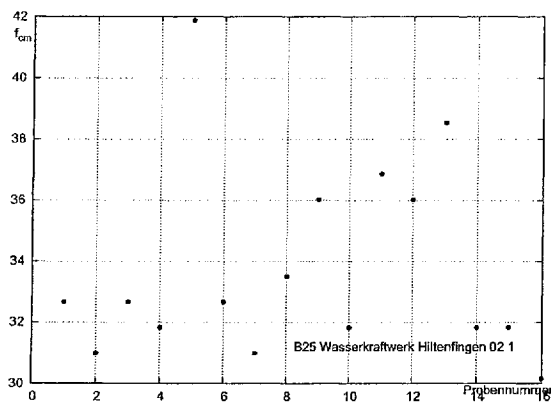


(e) Weibull-Verteilung

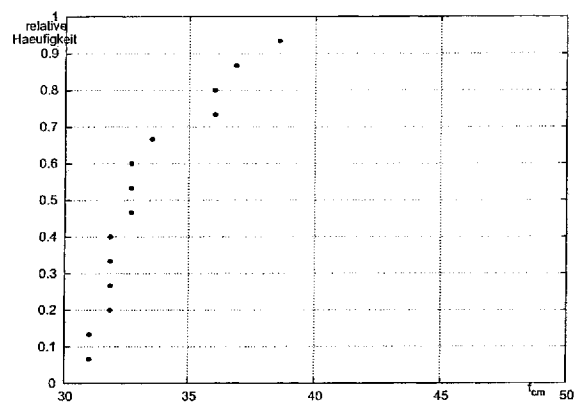
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 32.2932436417799$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.76967688185761$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 27.3159805860933$ MPa
Anzahl	$n = 5$

(f) gewählte Verteilung

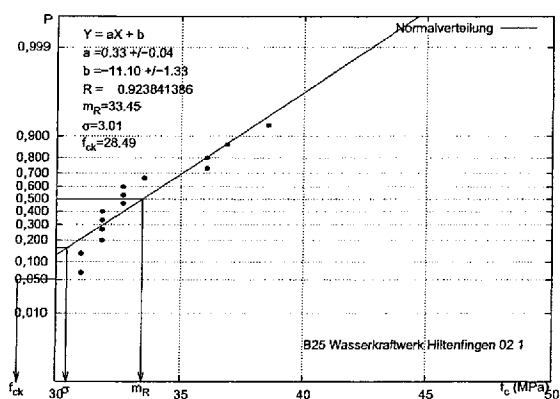
Bild B.27.: B25 Weserschleuse Bremen 01 2



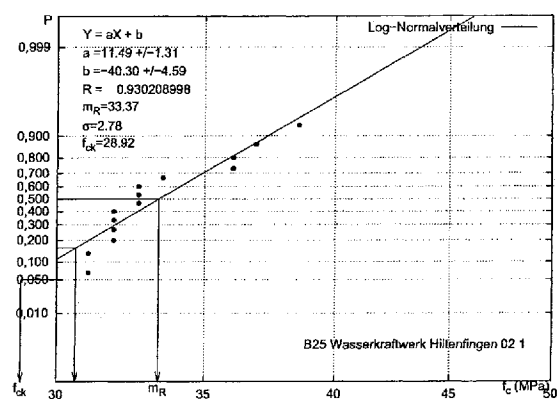
(a) Versuchswerte



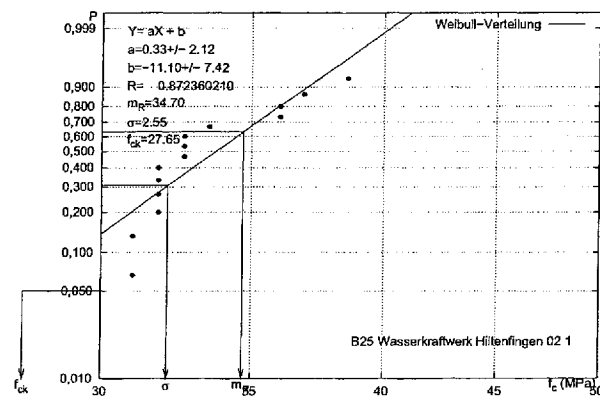
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



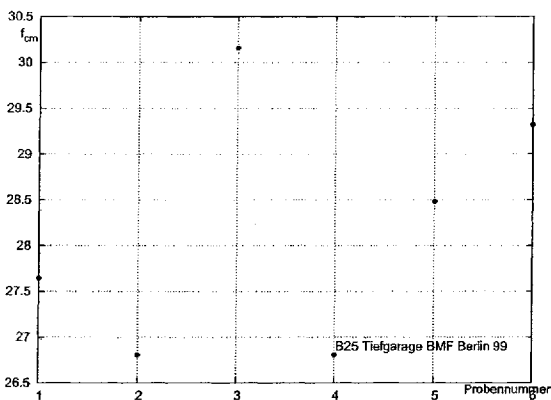
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 33.3721368837001$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.78163634169256$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 28.9205960158138$ MPa
Anzahl	$n = 14$

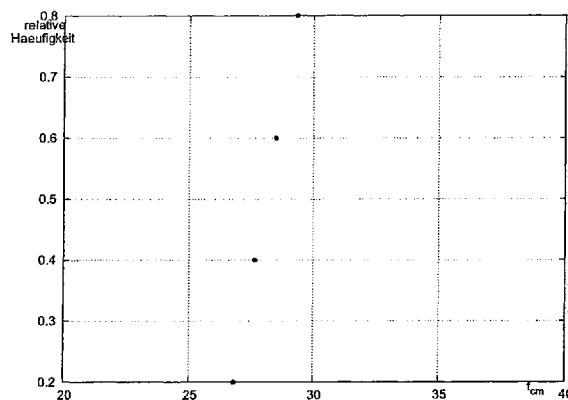
(f) gewählte Verteilung

Bild B.28.: B25 Wasserkraftwerk Hiltenfingen 02 1

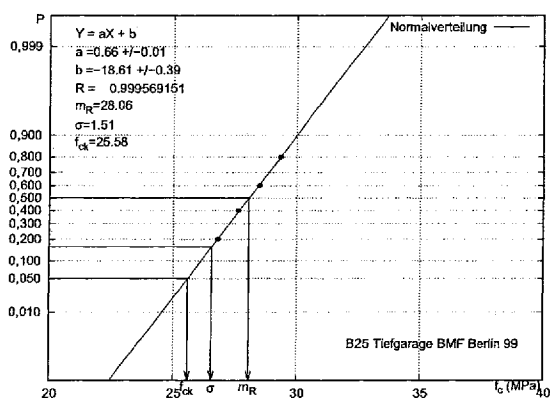




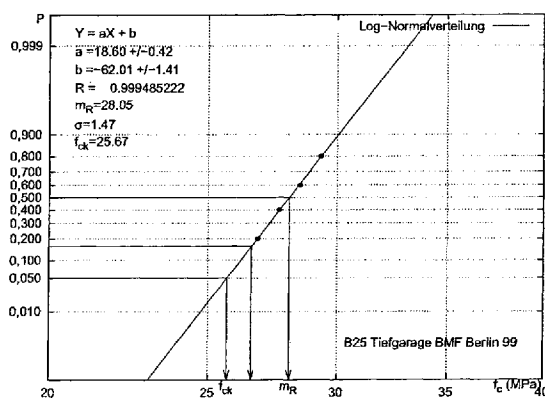
(a) Versuchswerte



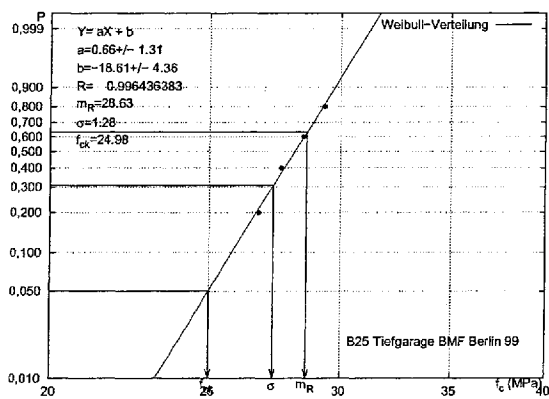
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

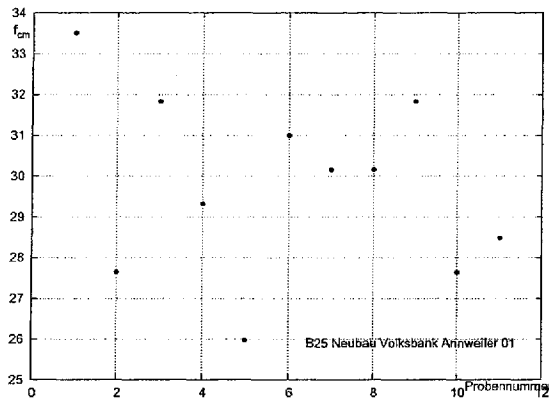


(e) Weibull-Verteilung

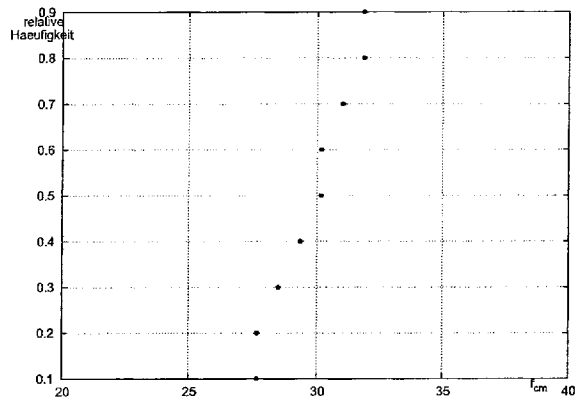
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 28.0638636363447$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.50767406143689$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 25.583739805281$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

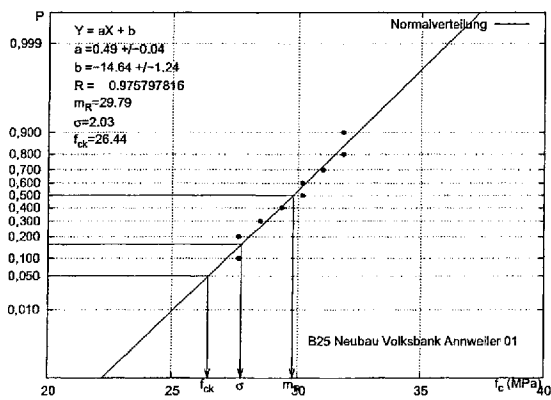
Bild B.29.: B25 Tiefgarage BMF Berlin 99



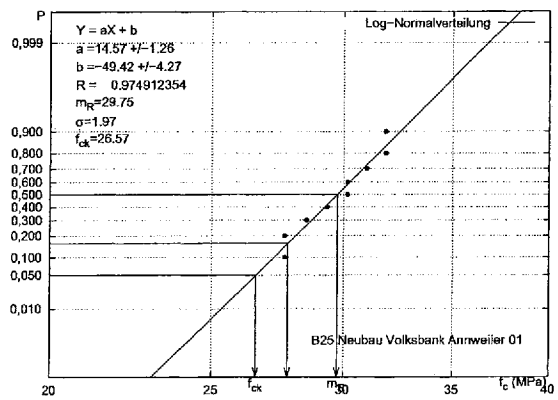
(a) Versuchswerte



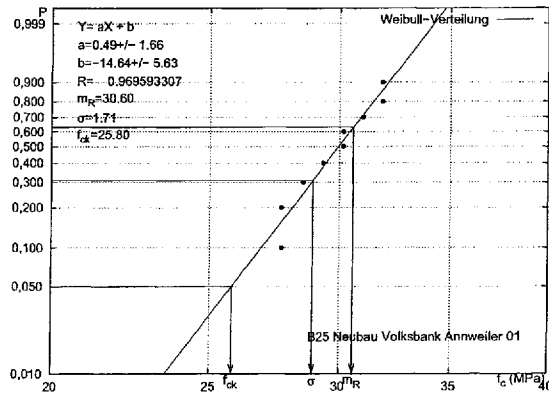
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

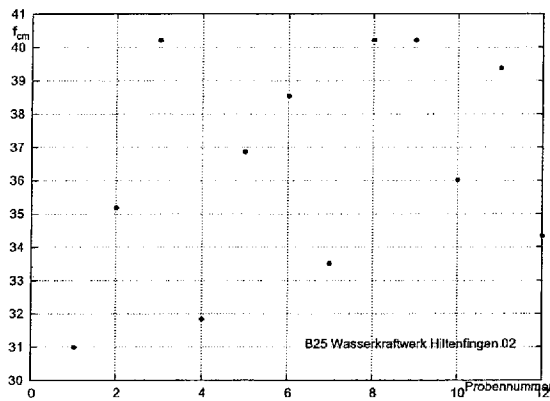


(e) Weibull-Verteilung

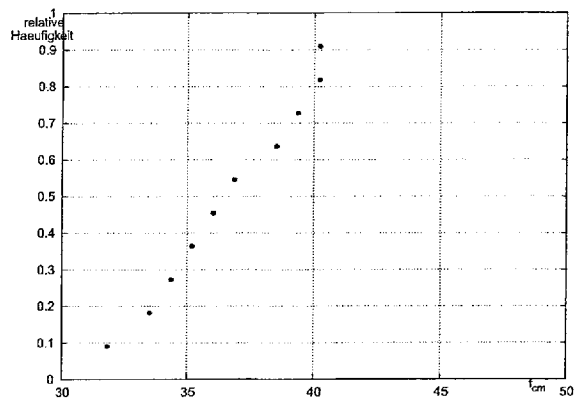
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 29.7858585858582 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 2.03481274388165 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 26.4385916221729 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 9$

(f) gewählte Verteilung

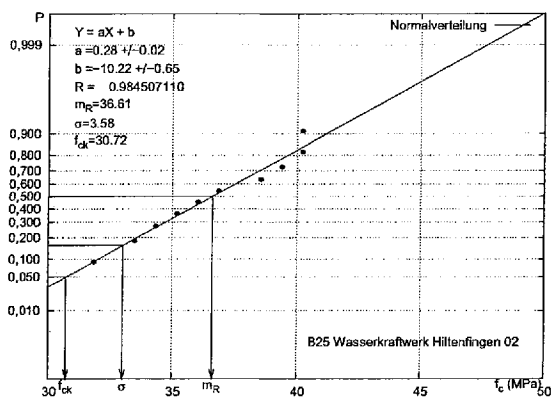
Bild B.30.: B25 Neubau Volksbank Annweiler 01



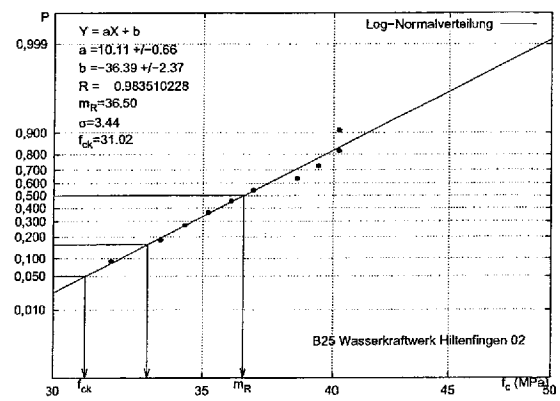
(a) Versuchswerte



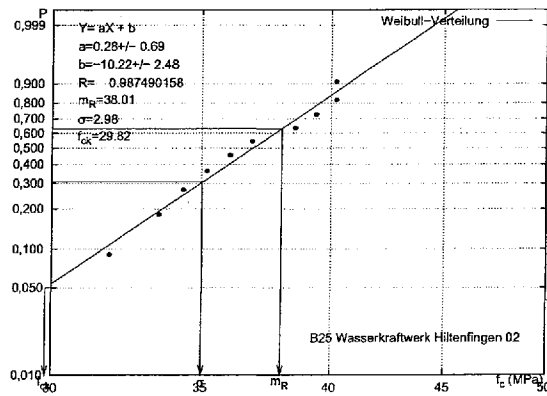
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

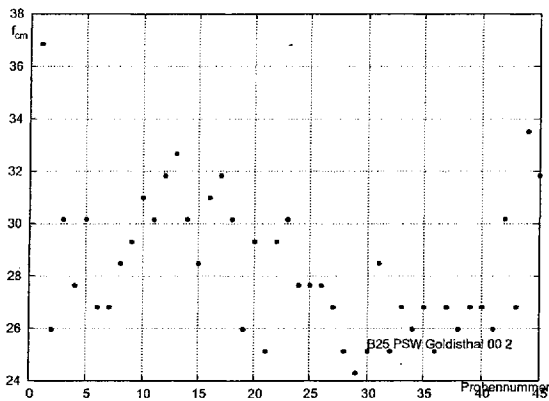


(e) Weibull-Verteilung

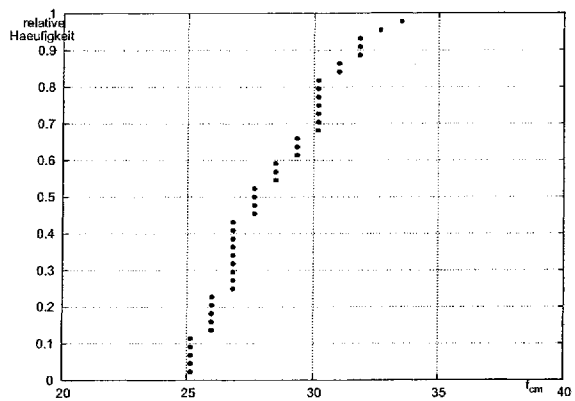
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 38.0100396430775 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 2.98377581305816 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 29.81603804812 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 10$

(f) gewählte Verteilung

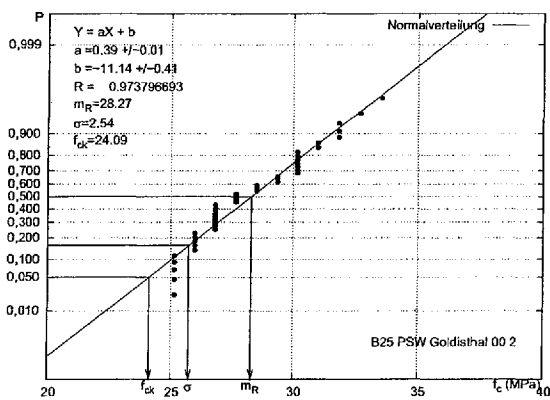
Bild B.31.: B25 Wasserkraftwerk Hilttenfingen 02



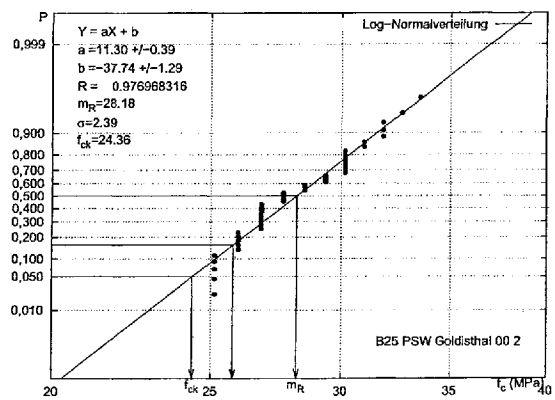
(a) Versuchswerte



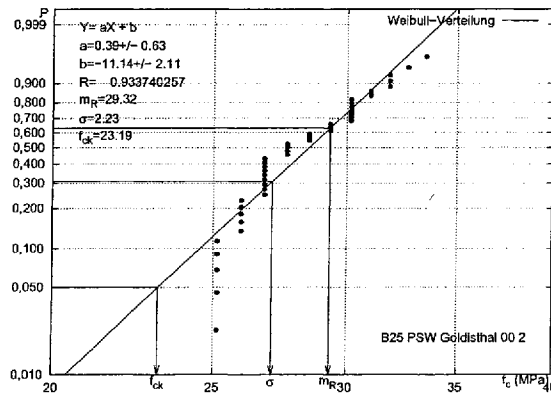
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

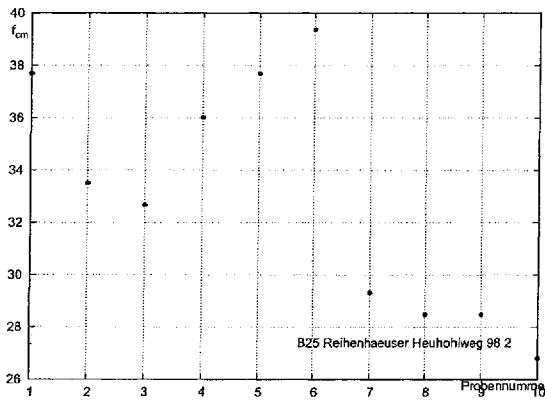


(e) Weibull-Verteilung

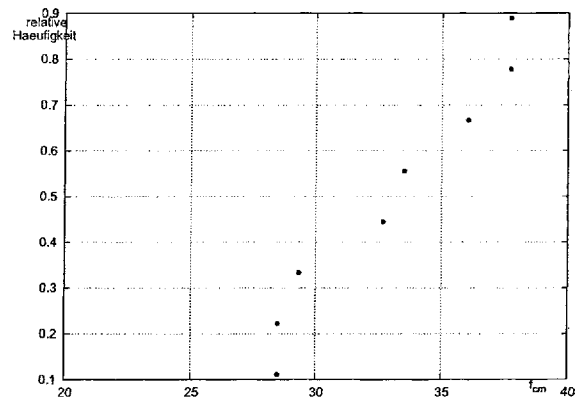
Verteilung		Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} =$	28.1775995225555 MPa
Standardabweichung	$\sigma =$	2.3855125096316 MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} =$	24.3616776959216 MPa
Anzahl	$n =$	43

(f) gewählte Verteilung

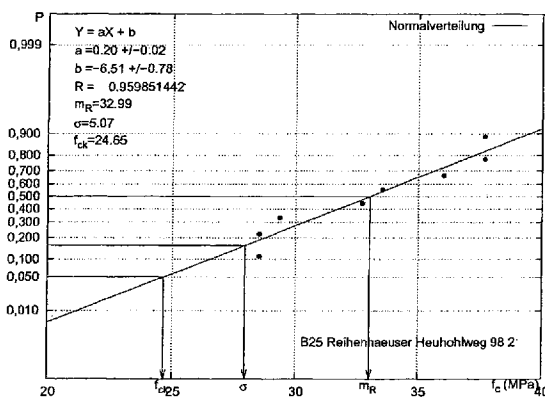
Bild B.32.: B25 PSW Goldisthal 00 2



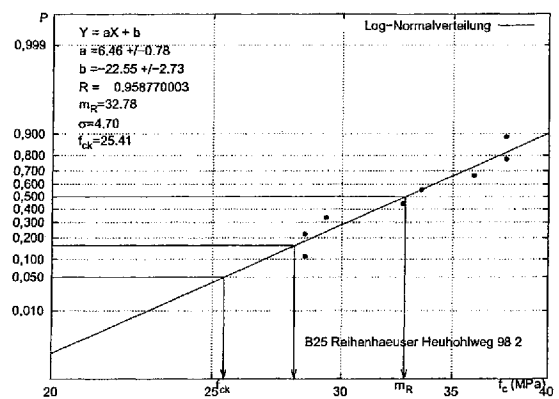
(a) Versuchswerte



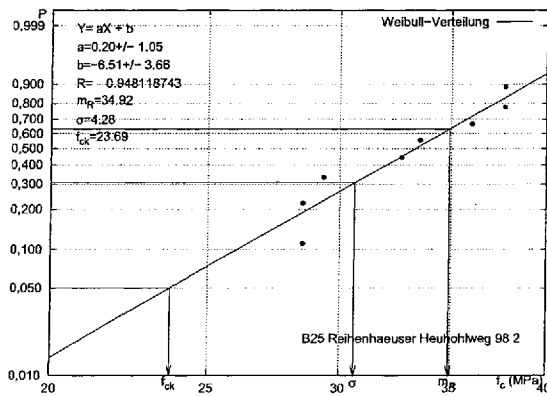
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

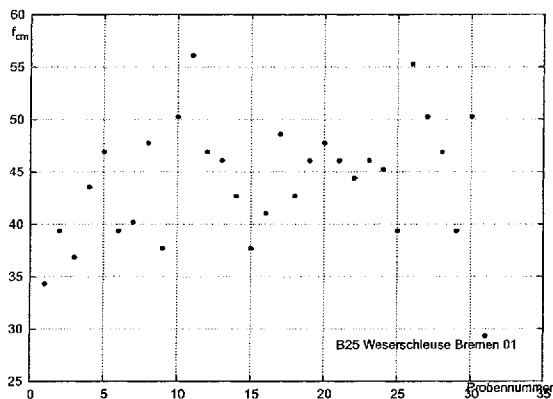


(e) Weibull-Verteilung

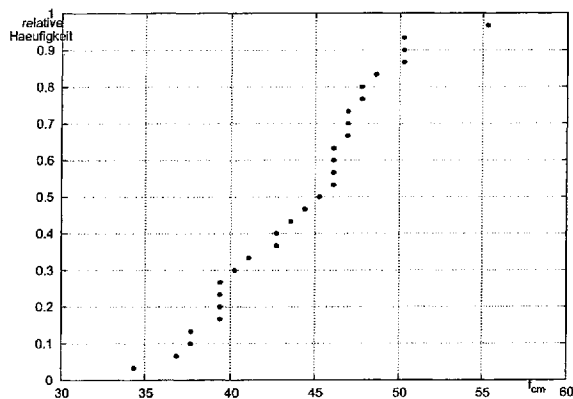
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 32.9855113636363$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.07014485521495$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 24.6451230768077$ MPa
Anzahl	$n = 8$

(f) gewählte Verteilung

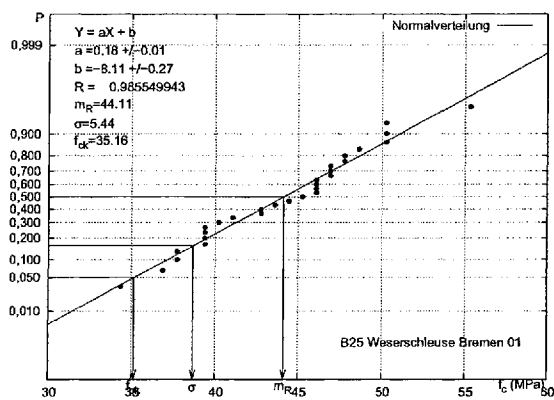
Bild B.33.: B25 Reihenhäuser Heuhohlweg 98 2



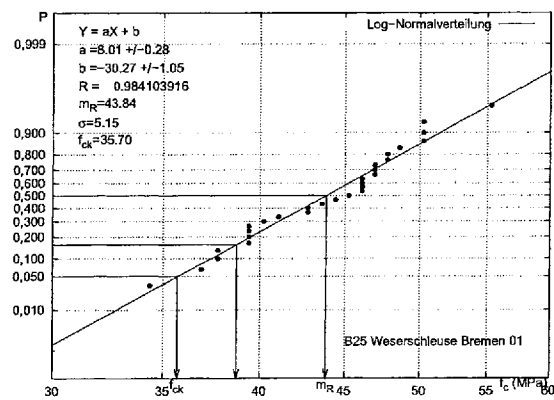
(a) Versuchswerte



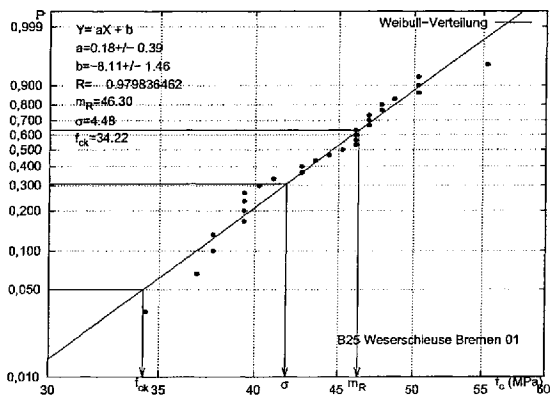
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

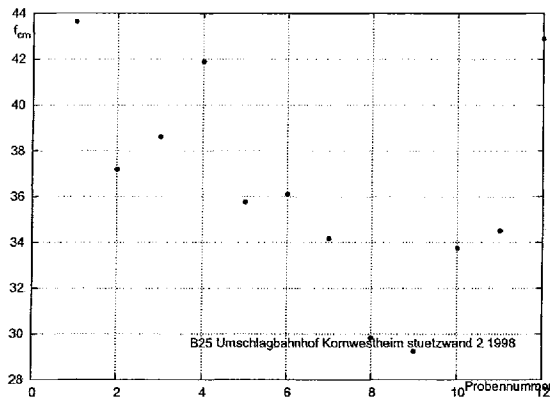


(e) Weibull-Verteilung

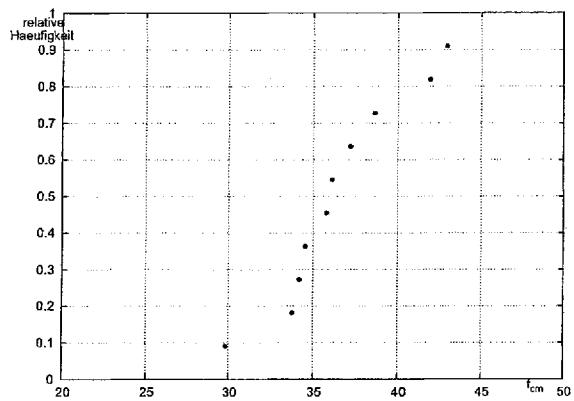
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 44.1106739811912$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.43883573461766$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 35.1637891977452$ MPa
Anzahl	$n = 29$

(f) gewählte Verteilung

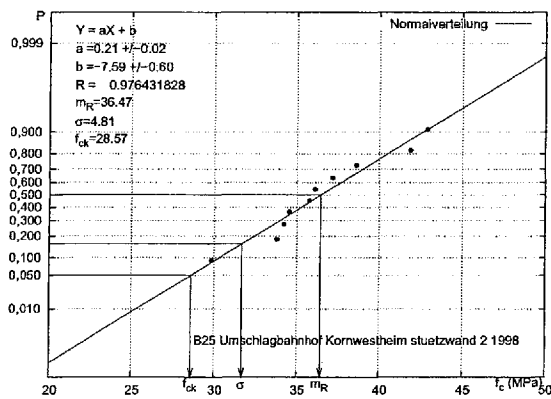
Bild B.34.: B25 Weserschleuse Bremen 01



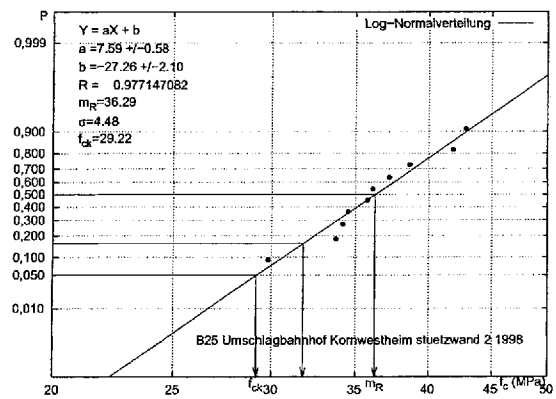
(a) Versuchswerte



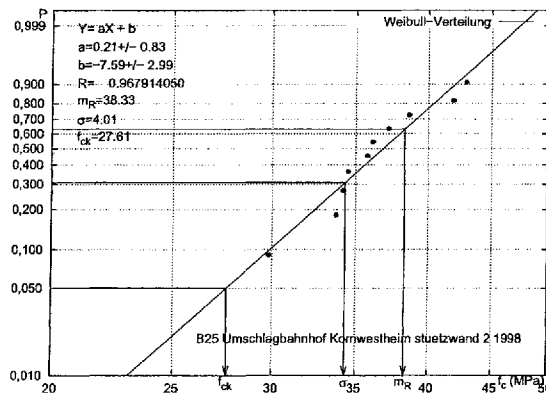
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

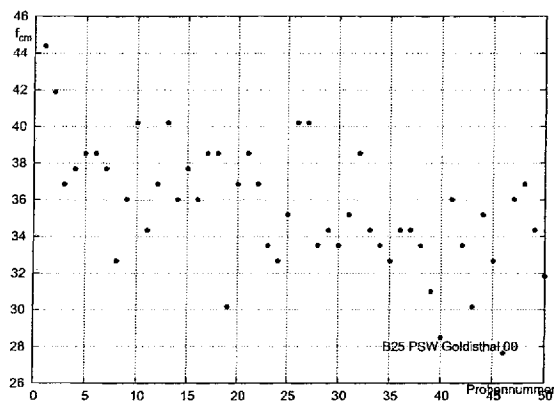


(e) Weibull-Verteilung

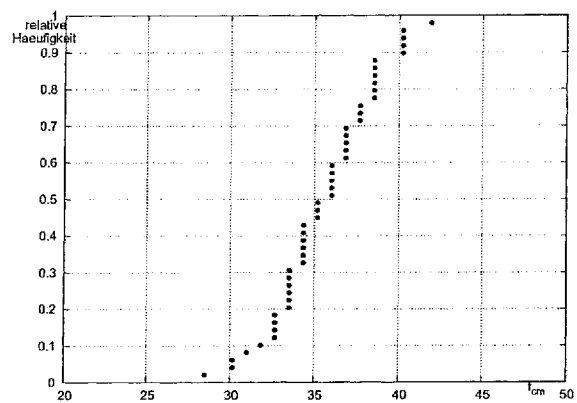
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 36.2874789842564$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.47992680642184$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 29.2158902314596$ MPa
Anzahl	$n = 10$

(f) gewählte Verteilung

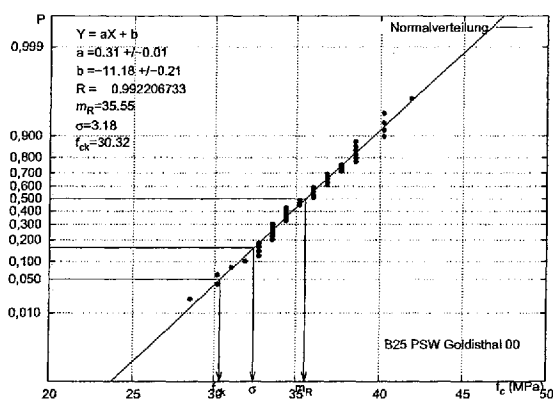
Bild B.35.: B25 Umschlagbahnhof Kornwestheim stuetzwand 2 1998



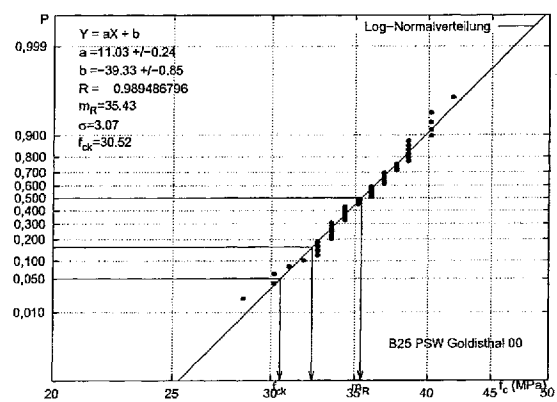
(a) Versuchswerte



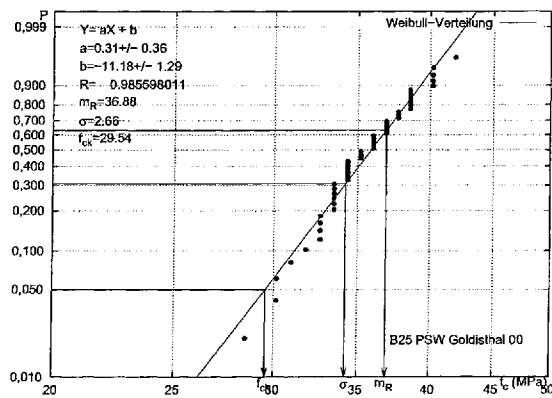
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

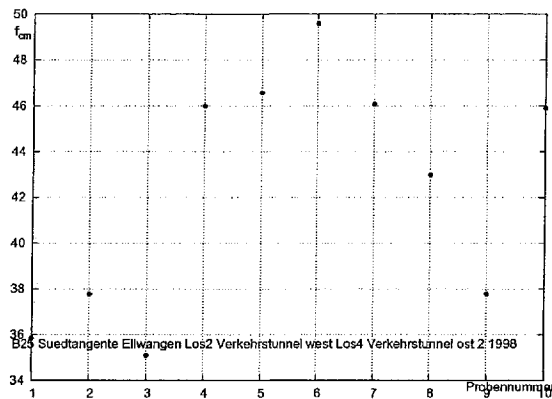


(e) Weibull-Verteilung

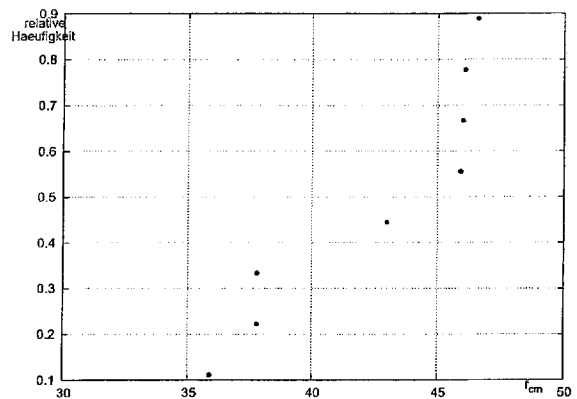
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 35.5510511348024$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.17972407422505$ MPa
5%-Fraktilewert	$f_{ck} = 30.3204050327022$ MPa
Anzahl	$n = 48$

(f) gewählte Verteilung

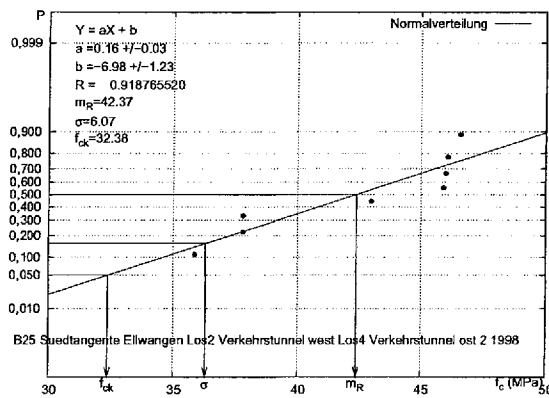




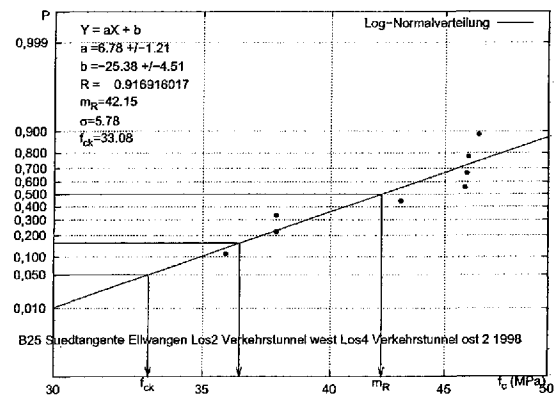
(a) Versuchswerte



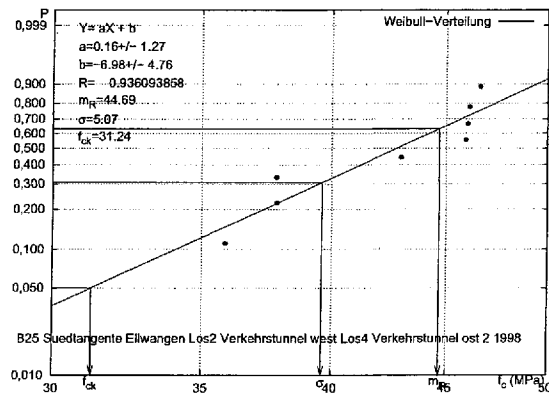
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

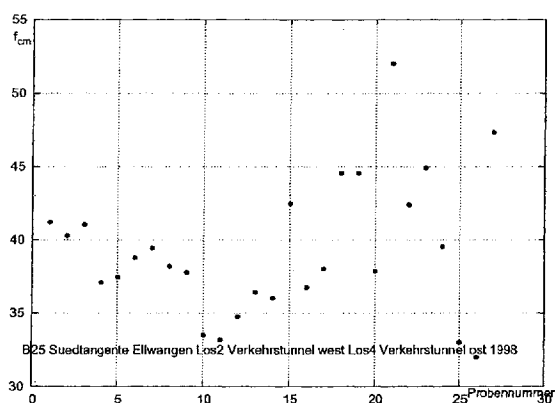


(e) Weibull-Verteilung

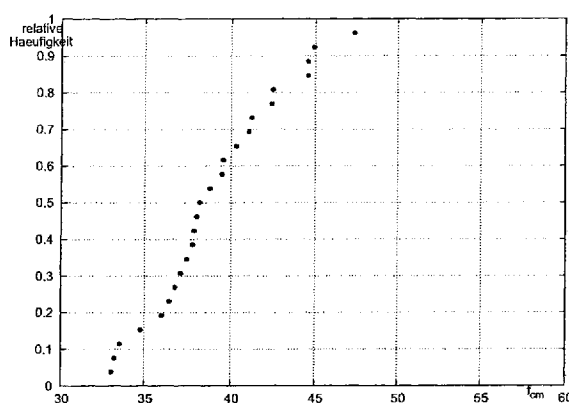
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 44.6854492357563$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.07412725765175$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 31.2389305091621$ MPa
Anzahl	$n = 8$

(f) gewählte Verteilung

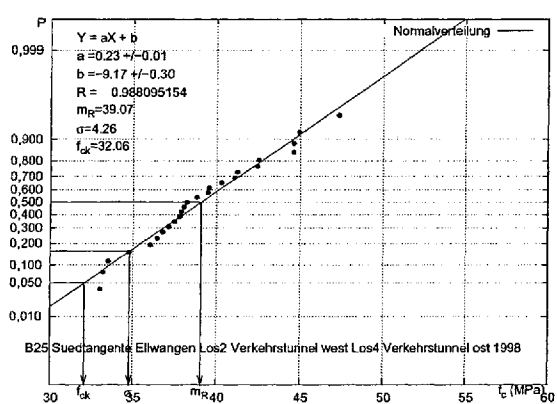
Bild B.37.: B25 Suedtangente Ellwangen Los2 Verkehrstunnel west Los4 Verkehrstunnel ost 2 1998



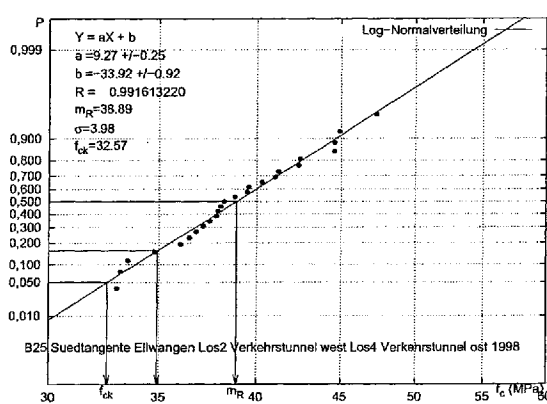
(a) Versuchswerte



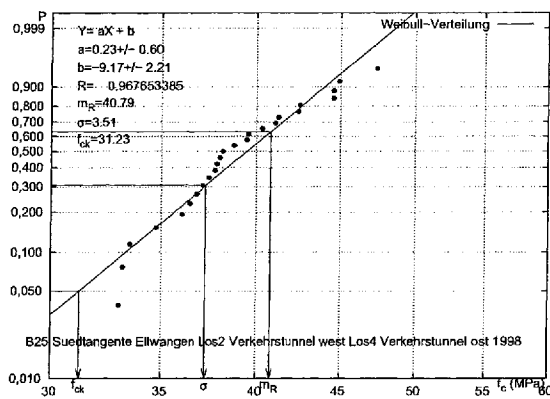
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

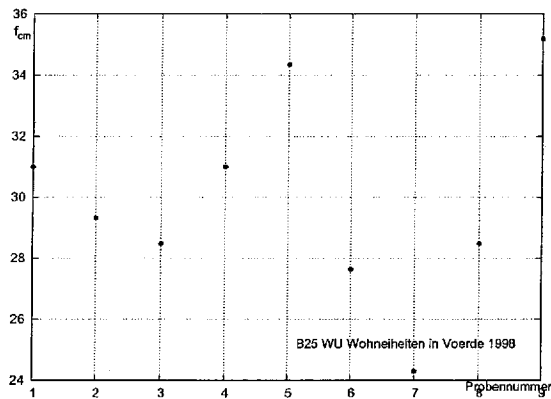


(e) Weibull-Verteilung

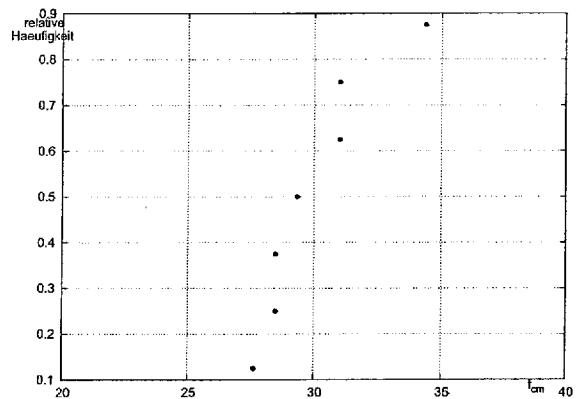
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 38.8915458561107$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.9783675249341$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 32.5657386687948$ MPa
Anzahl	$n = 25$

(f) gewählte Verteilung

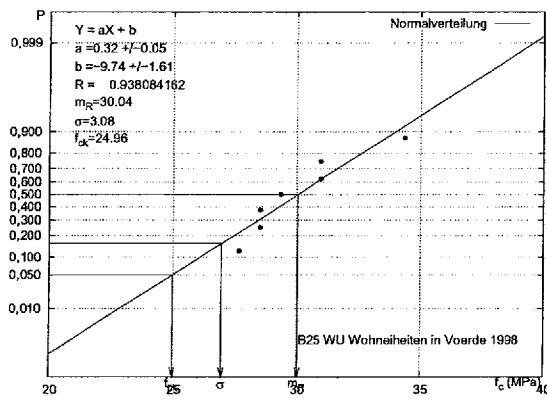
Bild B.38.: B25 Suedtangente Ellwangen Los2 Verkehrstunnel west Los4 Verkehrstunnel ost 1998



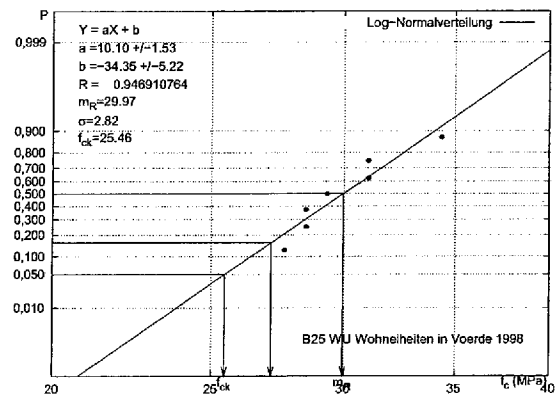
(a) Versuchswerte



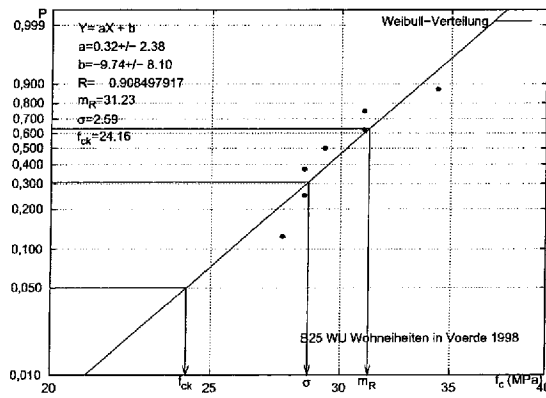
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

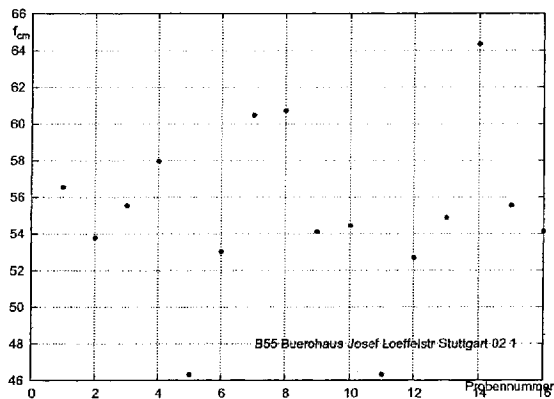


(e) Weibull-Verteilung

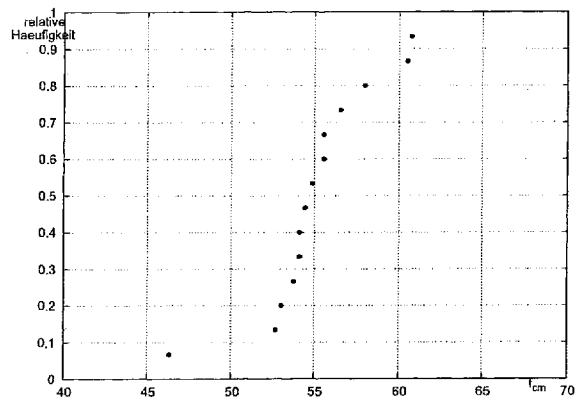
Verteilung		Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} =$	29.966436449416 MPa
Standardabweichung	$\sigma =$	2.82416690511992 MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} =$	25.4635113686304 MPa
Anzahl	$n =$	7

(f) gewählte Verteilung

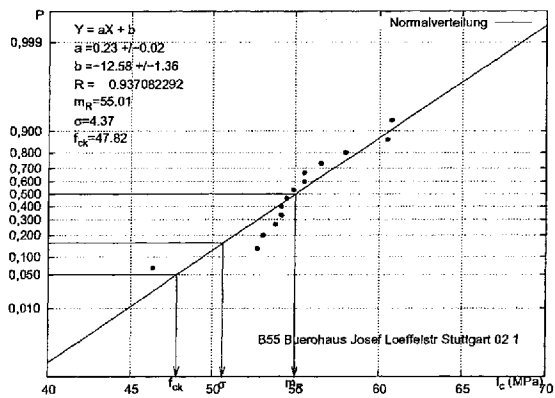
Bild B.39.: B25 WU Wohneinheiten in Voerde 1998



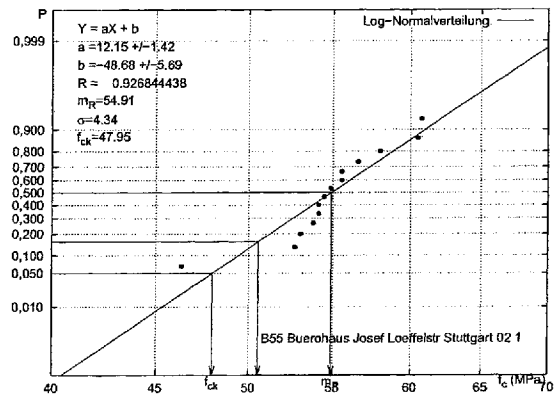
(a) Versuchswerte



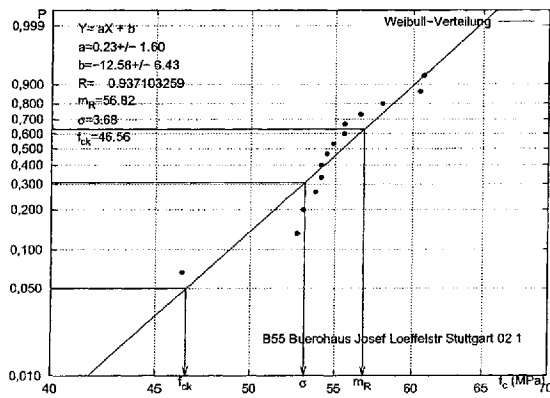
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

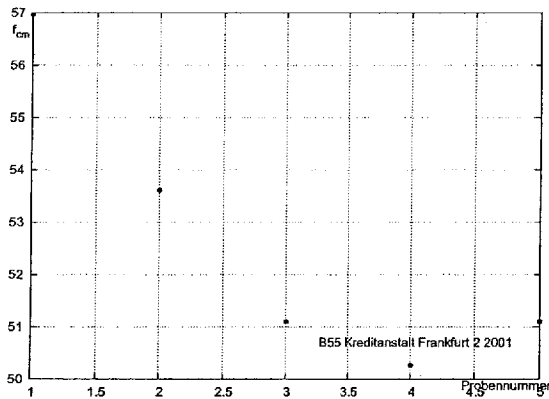


(e) Weibull-Verteilung

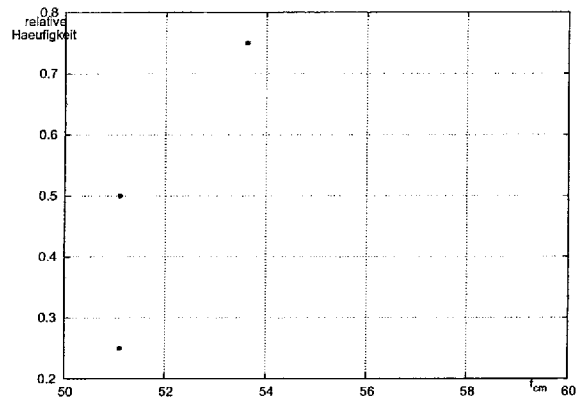
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 56.8160604871574$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.68428500955397$ MPa
5%-Fraktilewert	$f_{ck} = 46.5579934929365$ MPa
Anzahl	$n = 14$

(f) gewählte Verteilung

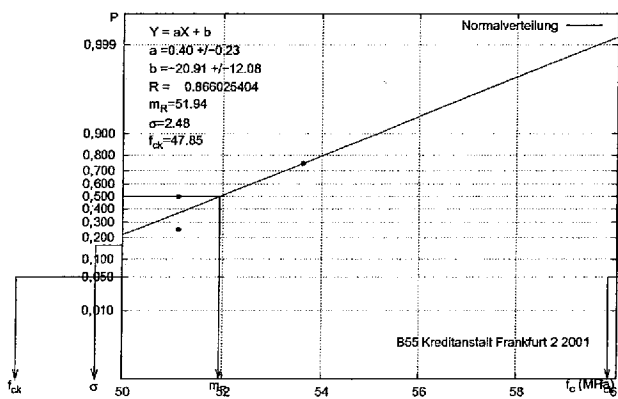
Bild B.40.: B55 Buerohaus Josef Loeffelstr Stuttgart 02 1



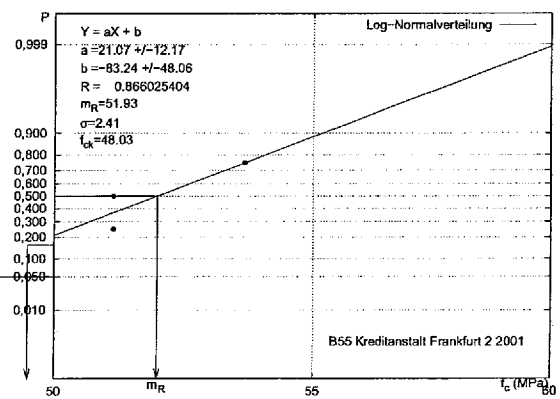
(a) Versuchswerte



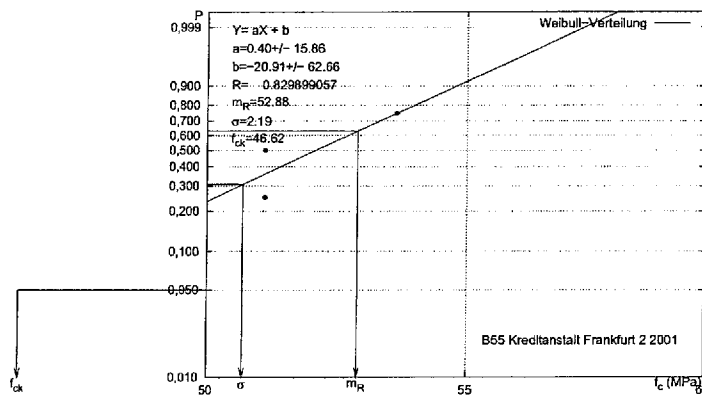
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

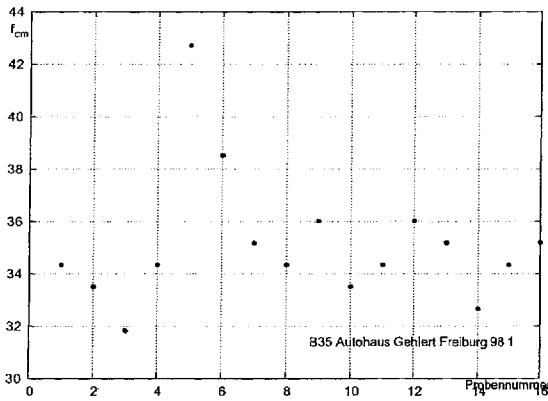


(e) Weibull-Verteilung

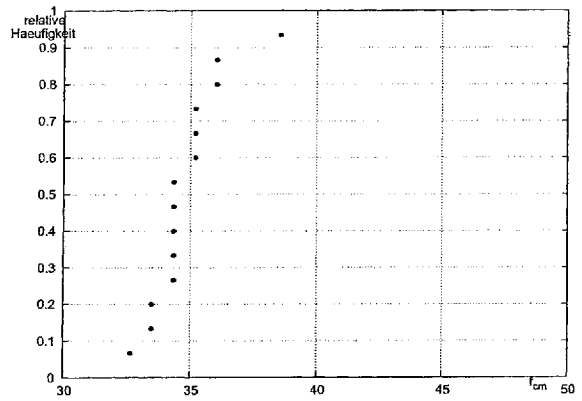
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 51.6598484848485 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 1.74386838046186 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 48.7911849989887 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 3$

(f) gewählte Verteilung

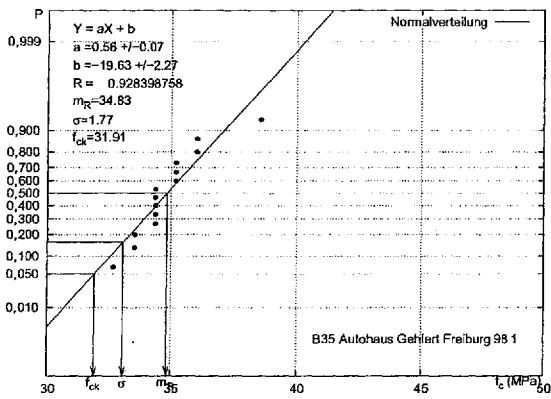
Bild B.41.: B55 Kreditanstalt Frankfurt 2 2001



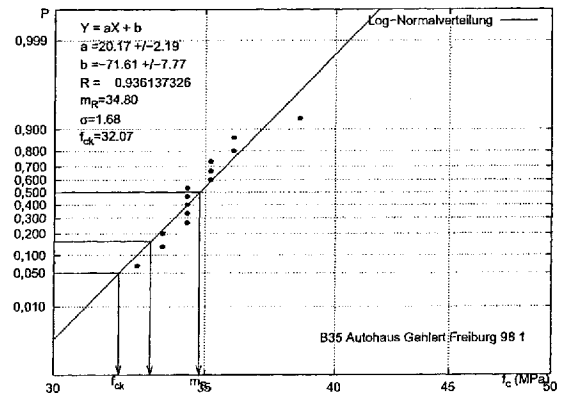
(a) Versuchswerte



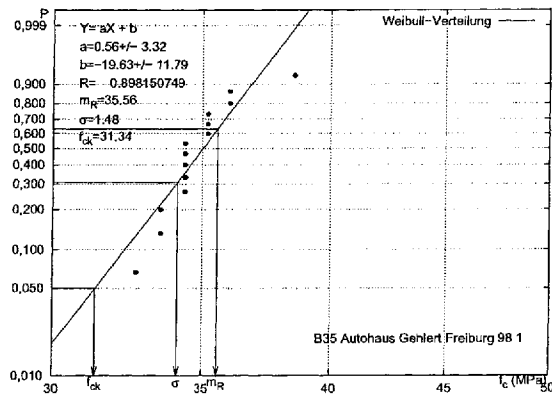
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

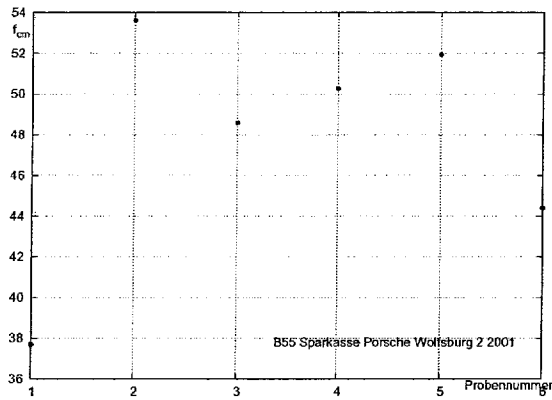


(e) Weibull-Verteilung

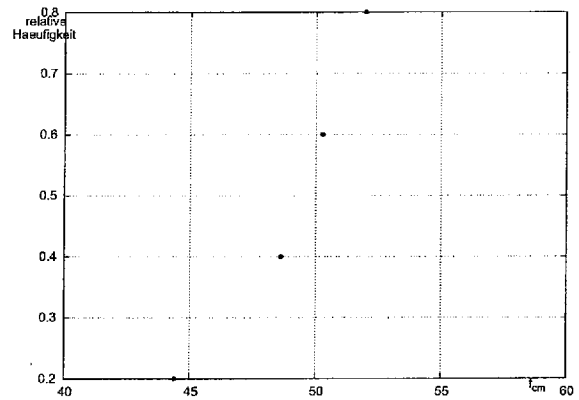
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 34.7992801749313$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.68283889524044$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 32.0744342094874$ MPa
Anzahl	$n = 14$

(f) gewählte Verteilung

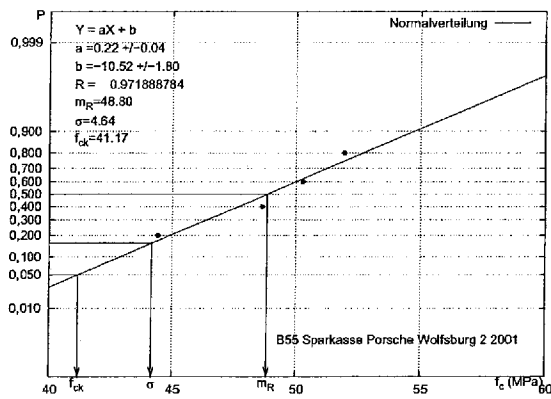
Bild B.42.: B35 Autohaus Gehlert Freiburg 98 1



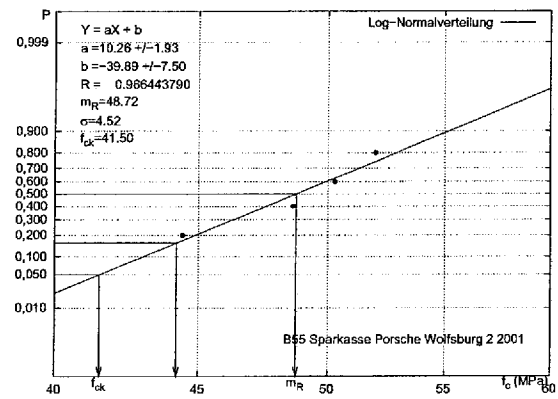
(a) Versuchswerte



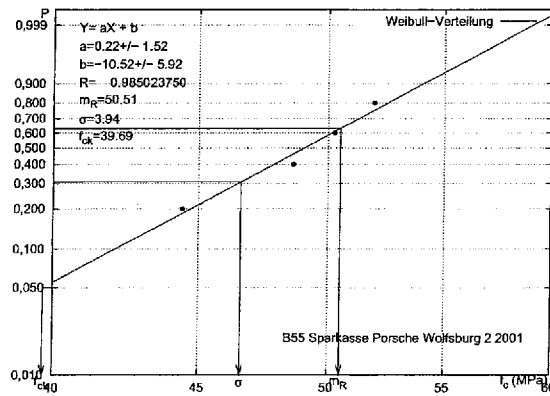
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

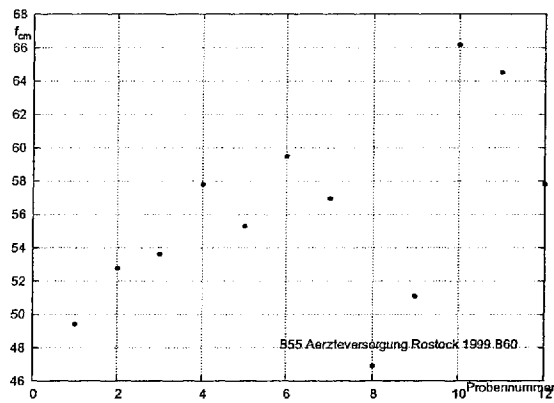


(e) Weibull-Verteilung

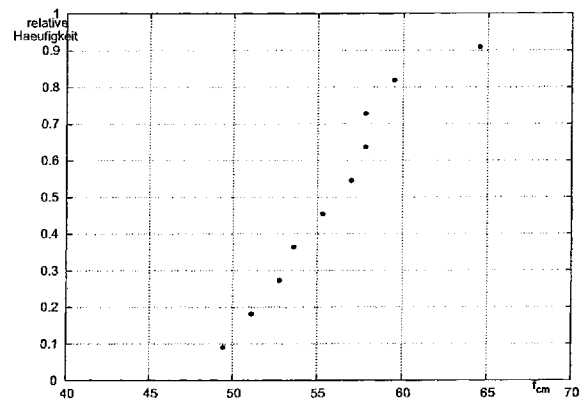
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 50.5112865944375$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.94014227012766$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 39.6855142360854$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

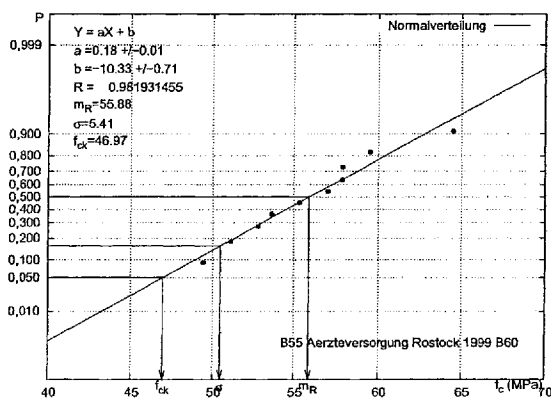
Bild B.43.: B55 Sparkasse Porsche Wolfsburg 2 2001



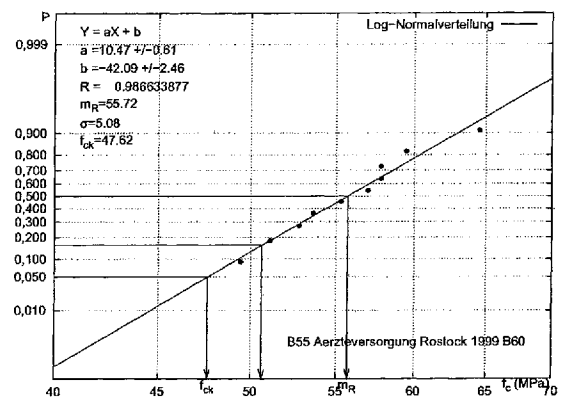
(a) Versuchswerte



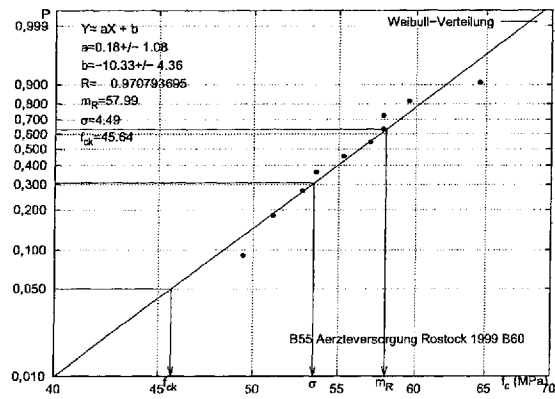
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



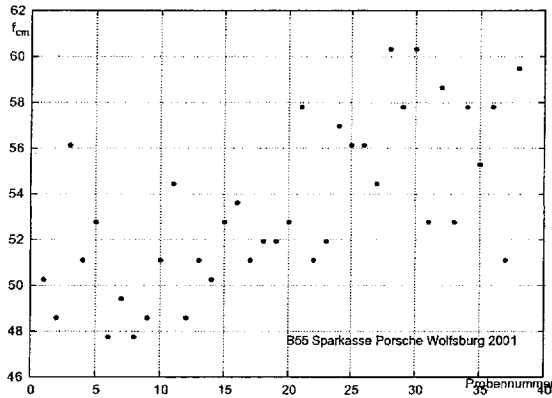
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 55.7215131932101$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.07661360033197$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 47.6185841838305$ MPa
Anzahl	$n = 10$

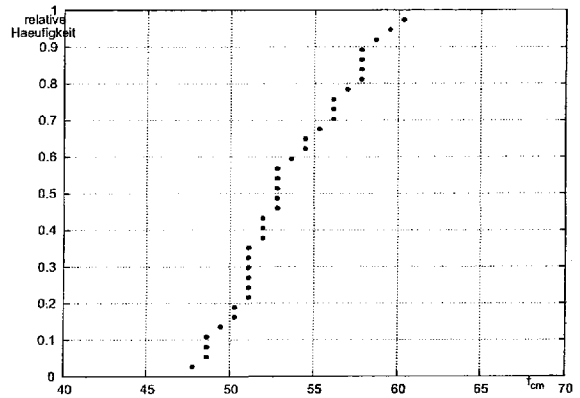
(f) gewählte Verteilung

Bild B.44.: B55 Aerzteversorgung Rostock 1999 B60

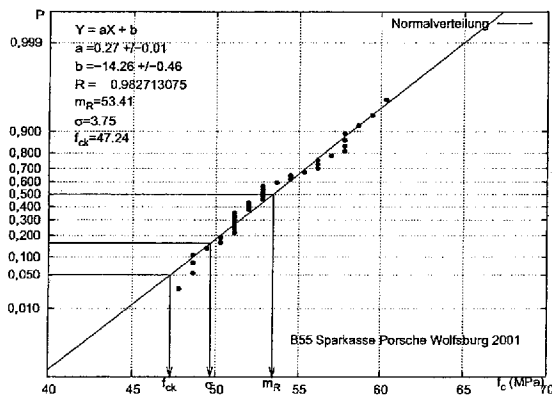




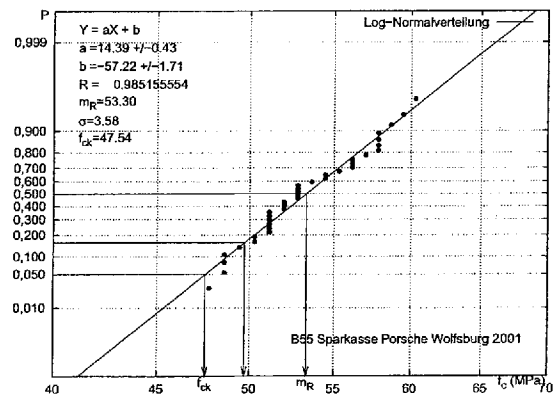
(a) Versuchswerte



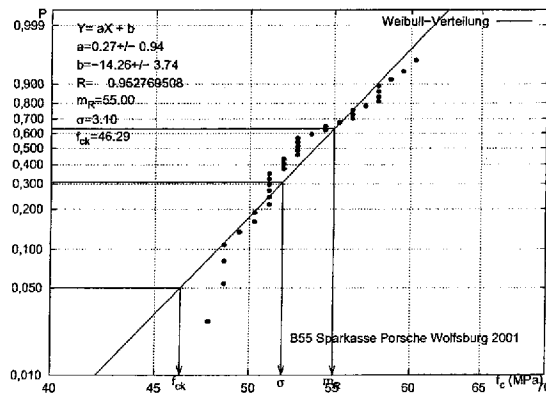
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

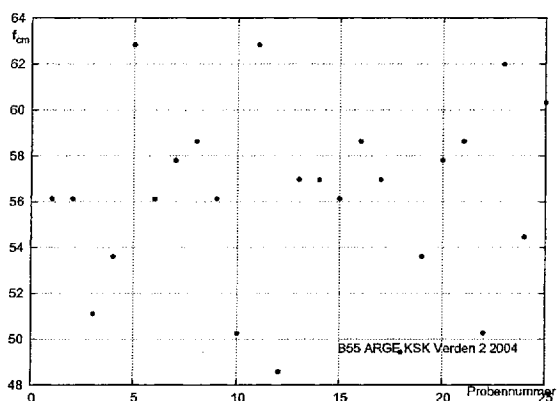


(e) Weibull-Verteilung

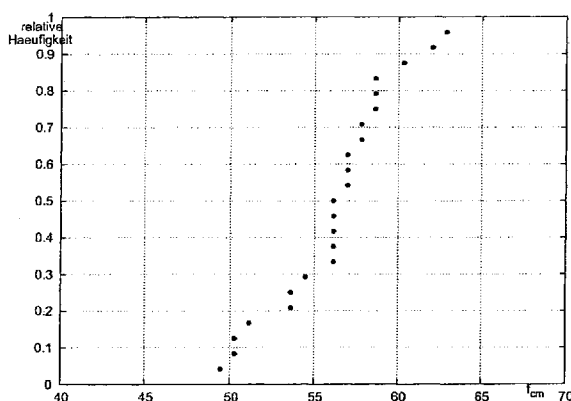
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 53.3001888635677$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.57787895212527$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 47.5430281511232$ MPa
Anzahl	$n = 36$

(f) gewählte Verteilung

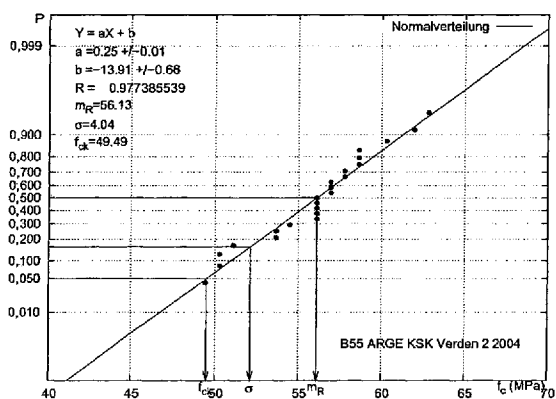
Bild B.45.: B55 Sparkasse Porsche Wolfsburg 2001



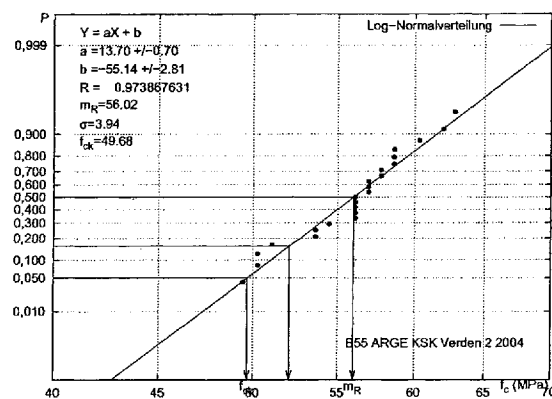
(a) Versuchswerte



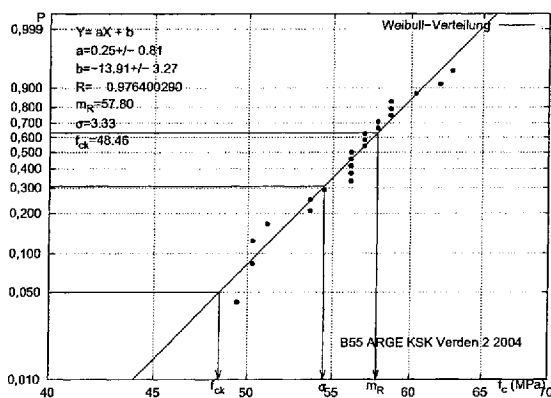
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

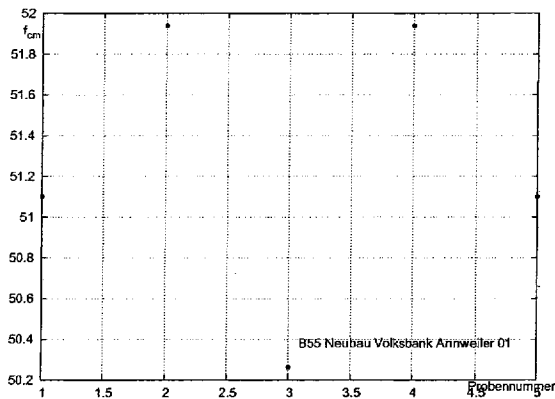


(e) Weibull-Verteilung

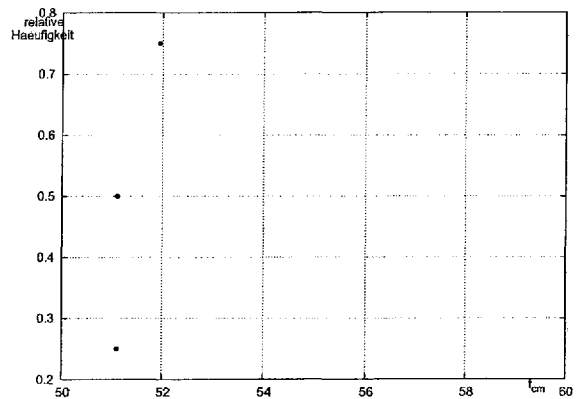
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 56.1277272727264$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.03630533248803$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 49.4880050007836$ MPa
Anzahl	$n = 23$

(f) gewählte Verteilung

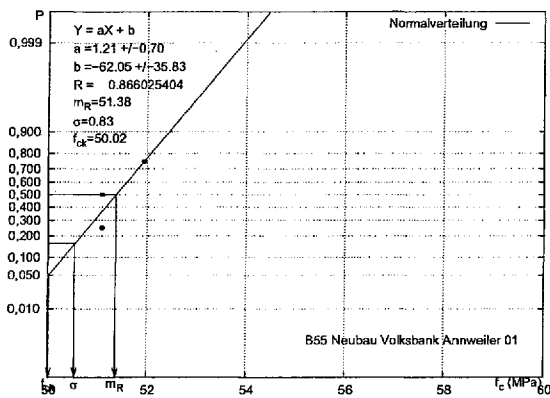
Bild B.46.: B55 ARGE KSK Verden 2 2004



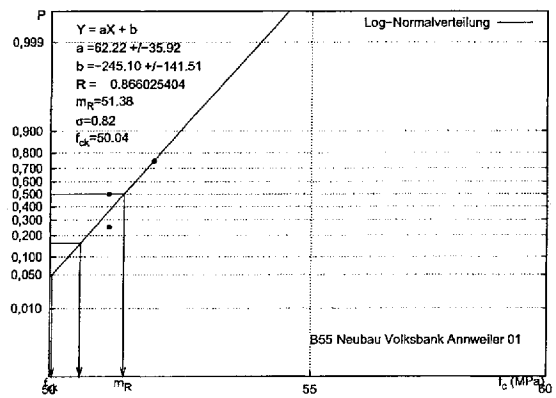
(a) Versuchswerte



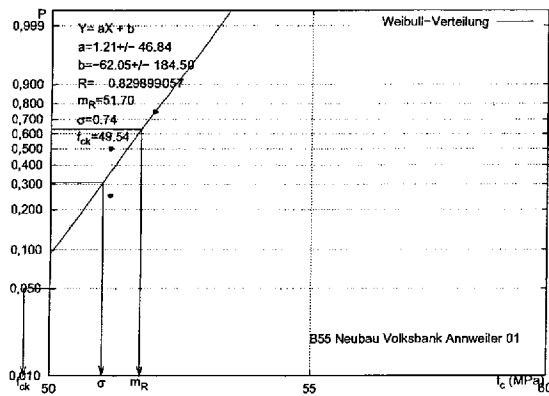
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

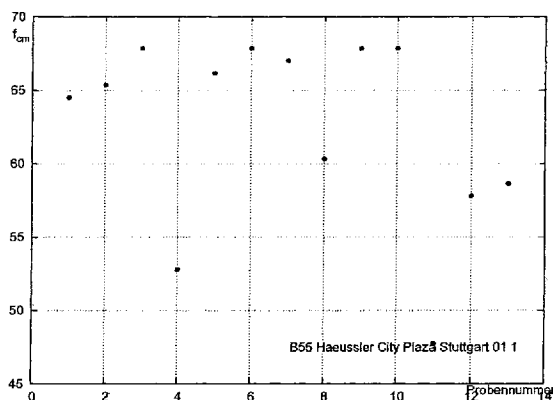


(e) Weibull-Verteilung

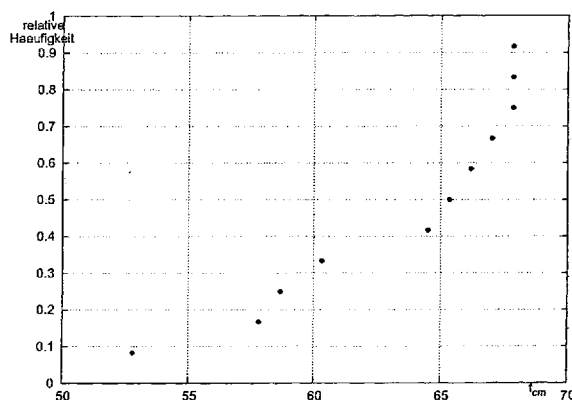
Verteilung		Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} =$	51.3790938928614 MPa
Standardabweichung	$\sigma =$	0.819160459961417 MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} =$	50.0385167055758 MPa
Anzahl	$n =$	3

(f) gewählte Verteilung

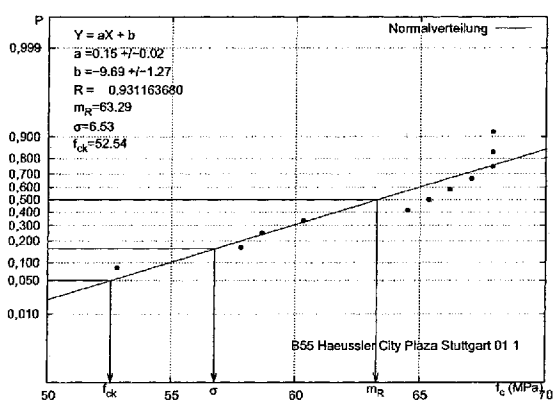
Bild B.47.: B55 Neubau Volksbank Annweiler 01



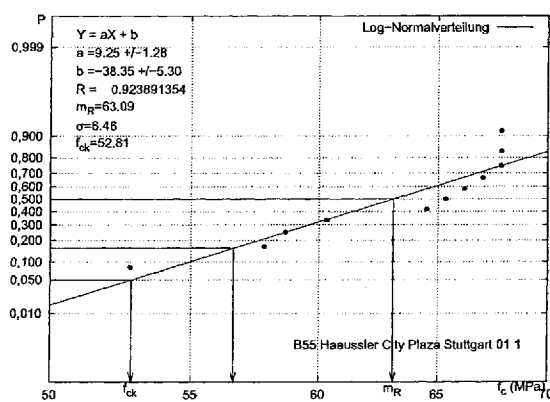
(a) Versuchswerte



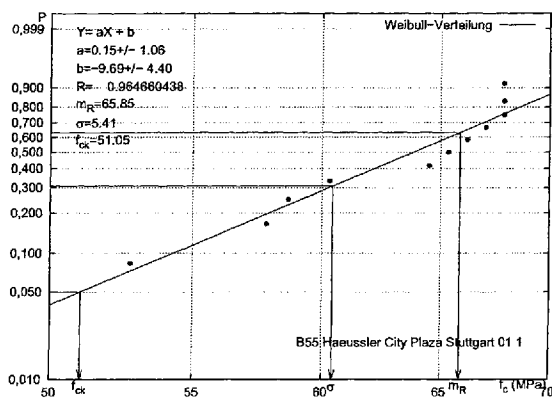
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

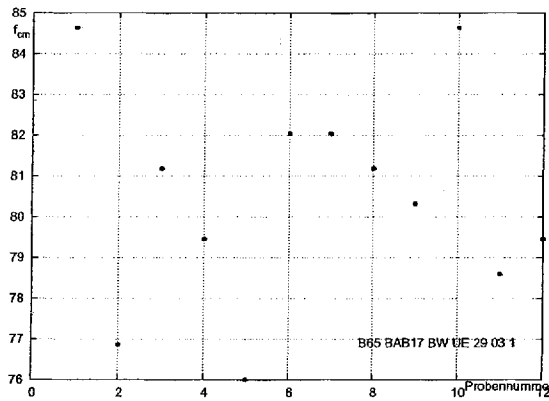


(e) Weibull-Verteilung

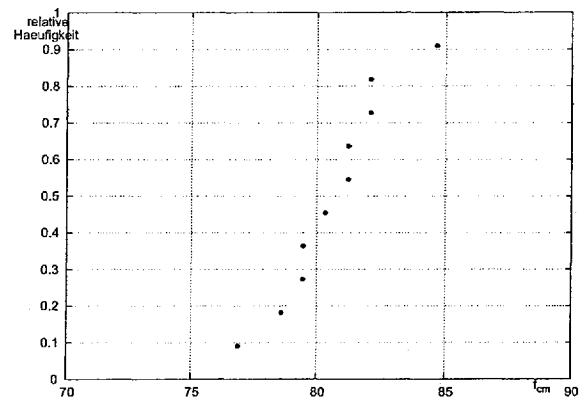
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 65.8506035078782$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.41096441622053$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 51.0461749791223$ MPa
Anzahl	$n = 11$

(f) gewählte Verteilung

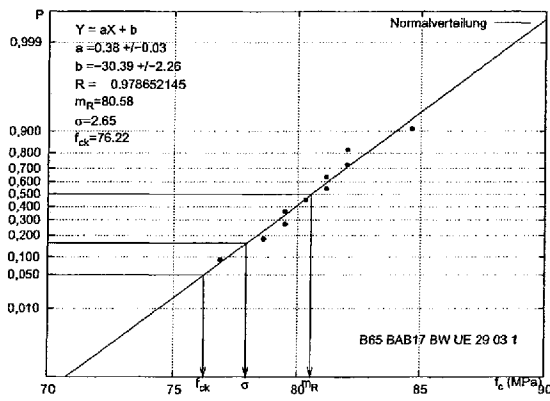
Bild B.48.: B55 Haeussler City Plaza Stuttgart 01 1



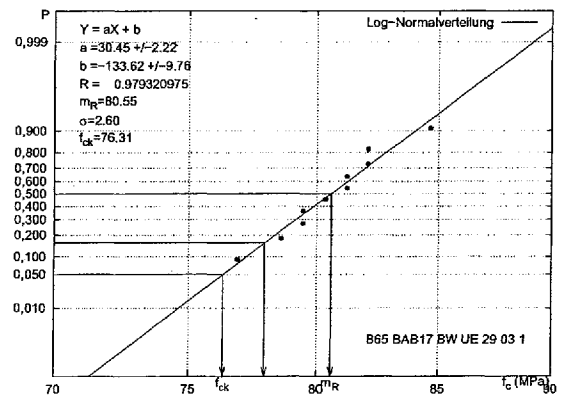
(a) Versuchswerte



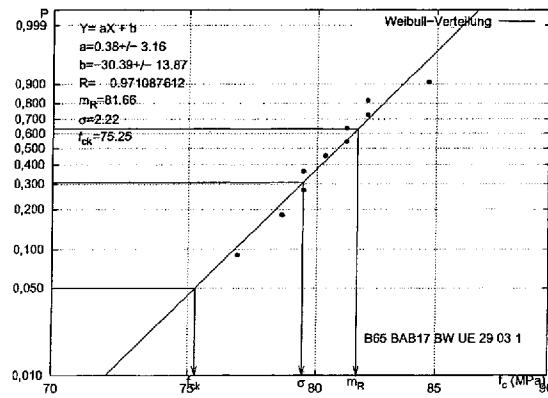
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

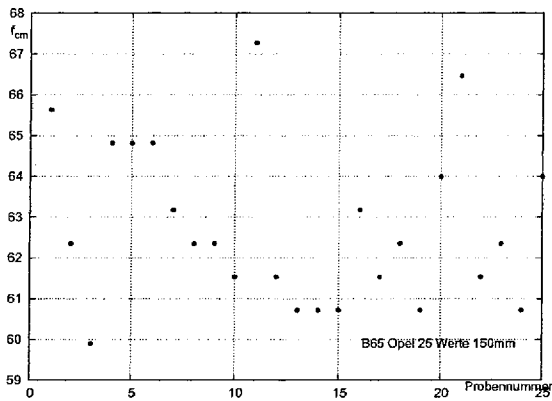


(e) Weibull-Verteilung

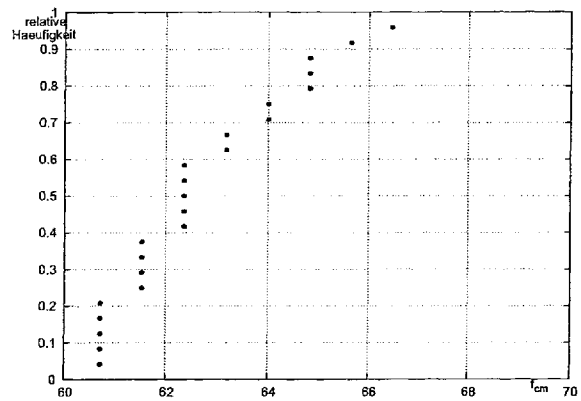
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 80.5513493185553$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.60273983861725$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 76.3146301201924$ MPa
Anzahl	$n = 10$

(f) gewählte Verteilung

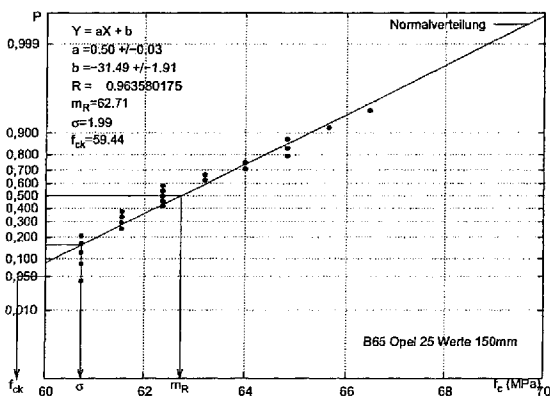
Bild B.49.: B65 BAB17 BW UE 29 03 1



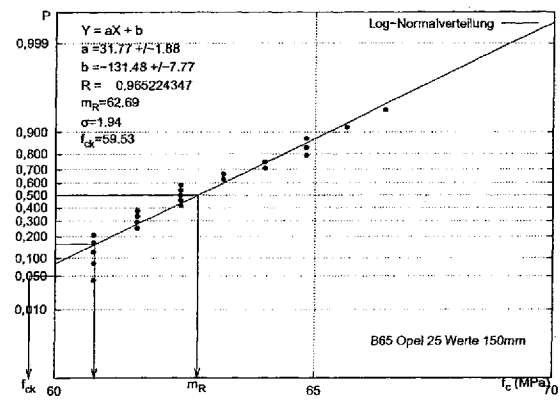
(a) Versuchswerte



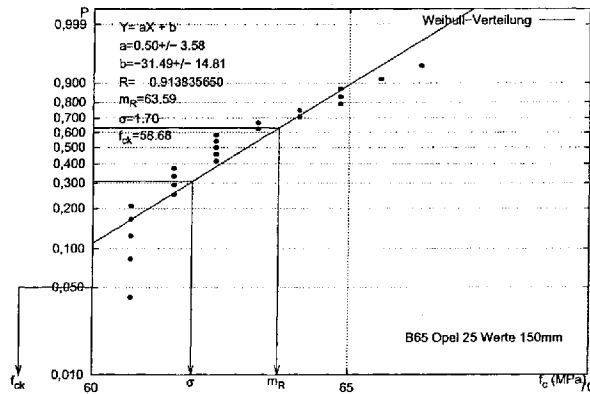
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

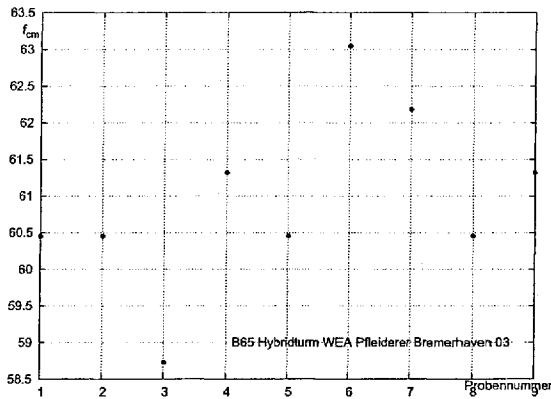


(e) Weibull-Verteilung

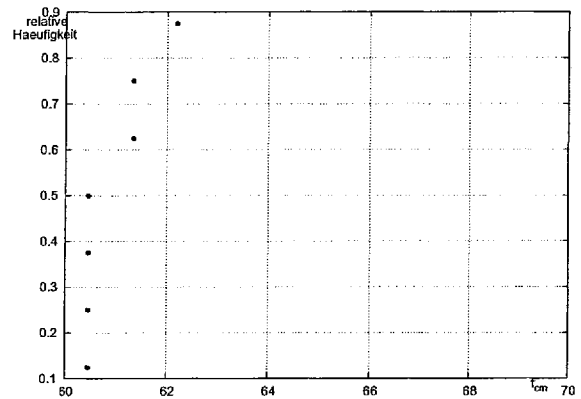
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 62.6886972786204$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.94227595347535$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 59.5256964322235$ MPa
Anzahl	$n = 23$

(f) gewählte Verteilung

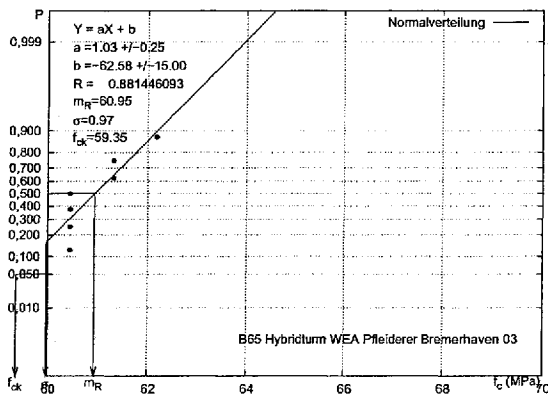
Bild B.50.: B65 Opel 25 Werte 150mm



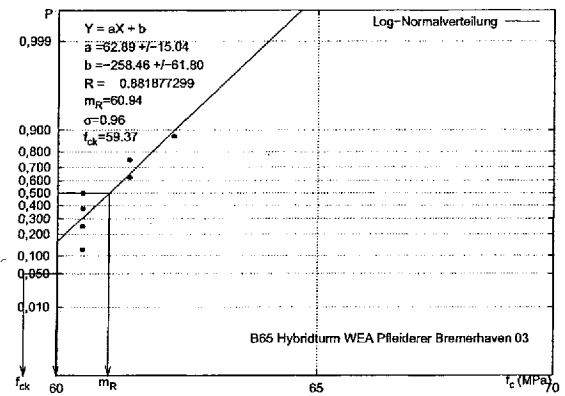
(a) Versuchswerte



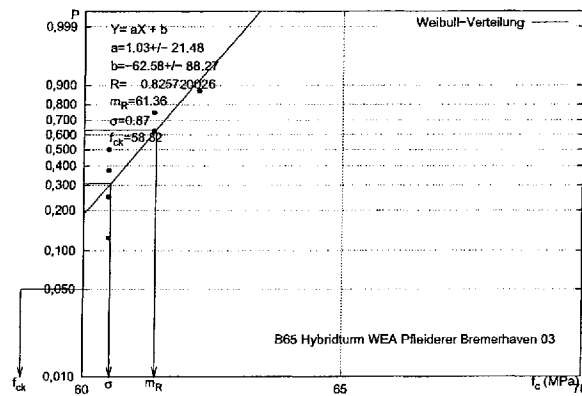
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

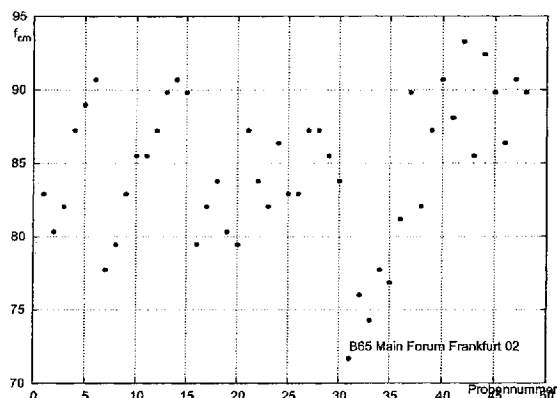


(e) Weibull-Verteilung

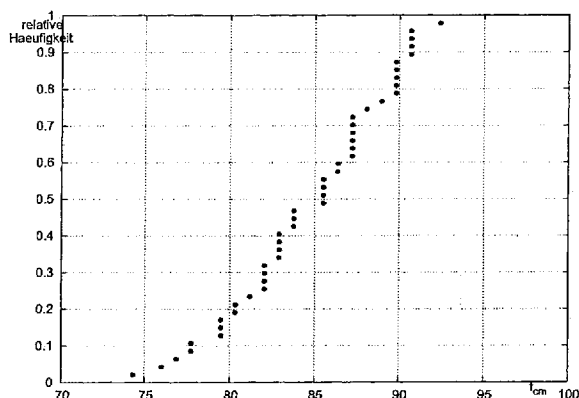
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 60.9448240885801$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 0.961456373784188$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 59.3712901590008$ MPa
Anzahl	$n = 7$

(f) gewählte Verteilung

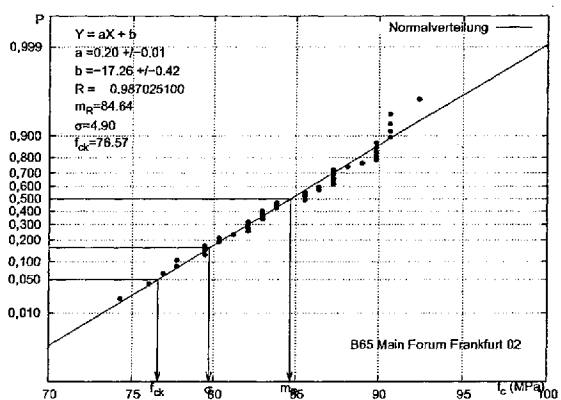
Bild B.51.: B65 Hybridturm WEA Pfeiderer Bremerhaven 03



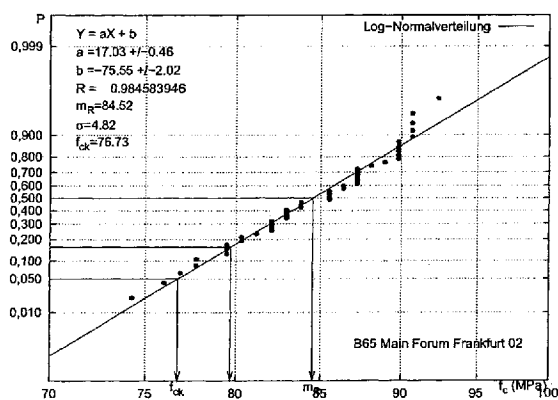
(a) Versuchswerte



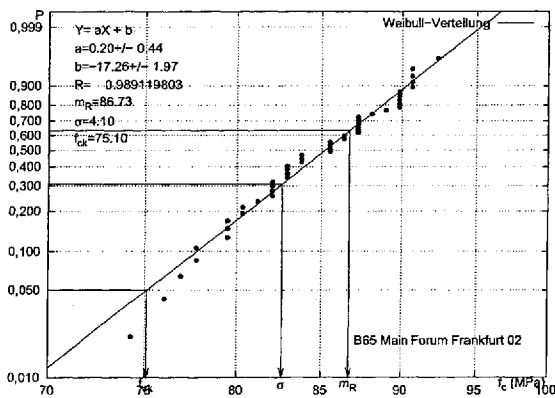
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



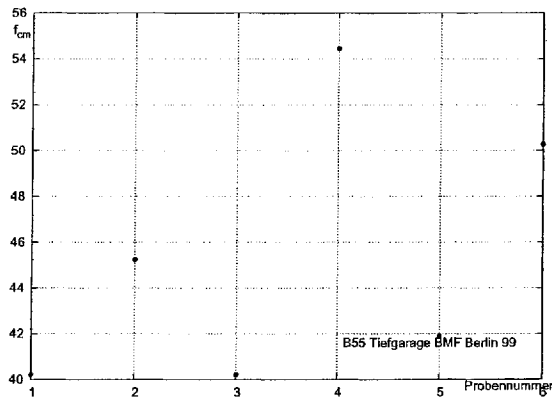
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 86.7266159678094$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.10347120194221$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 75.0986070277749$ MPa
Anzahl	$n = 46$

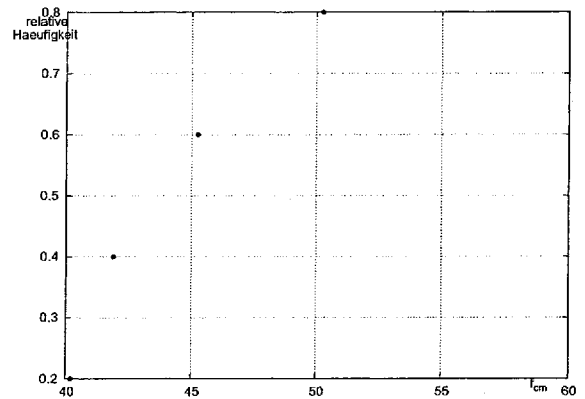
(f) gewählte Verteilung

Bild B.52.: B65 Main Forum Frankfurt 02

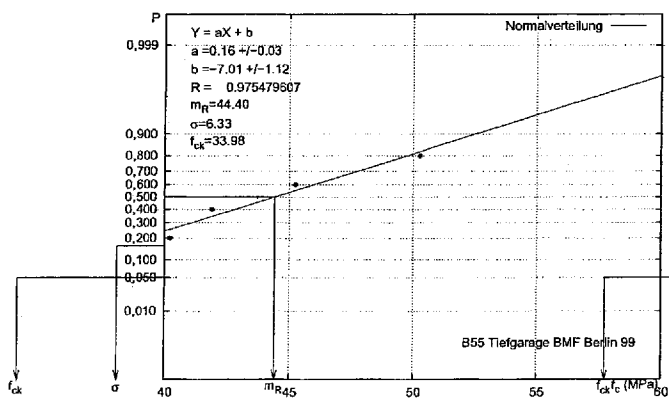




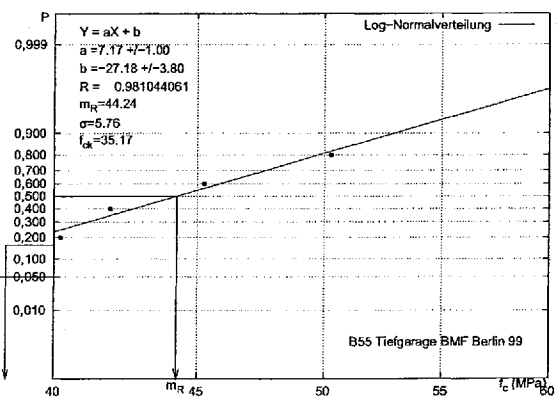
(a) Versuchswerte



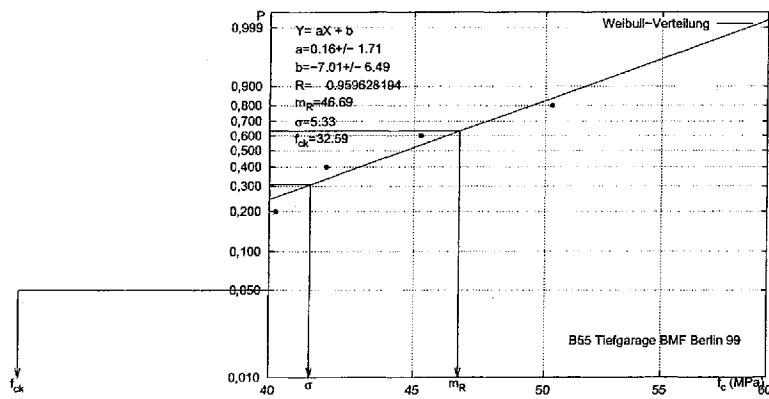
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

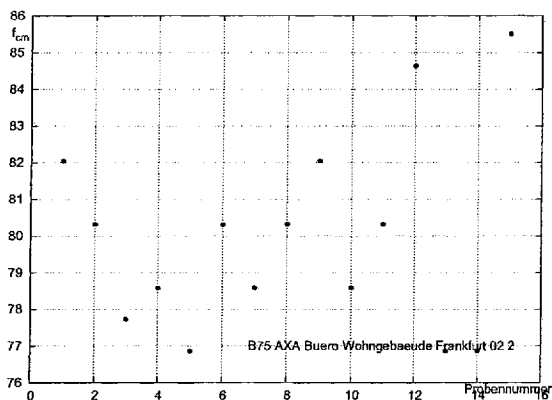


(e) Weibull-Verteilung

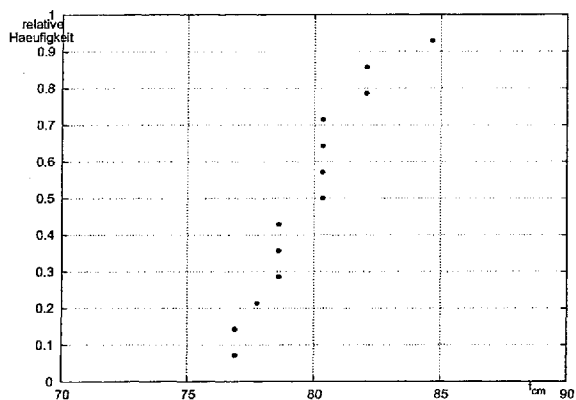
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 44.2376162975515$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.75651007564707$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 35.1719590785367$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

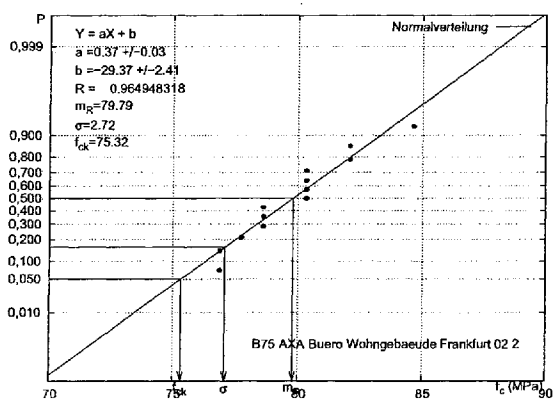
Bild B.53.: B55 Tiefgarage BMF Berlin 99



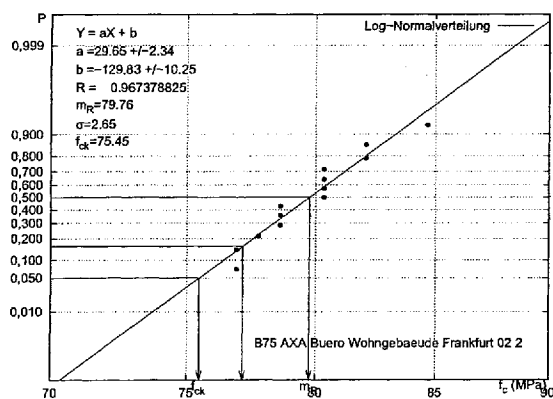
(a) Versuchswerte



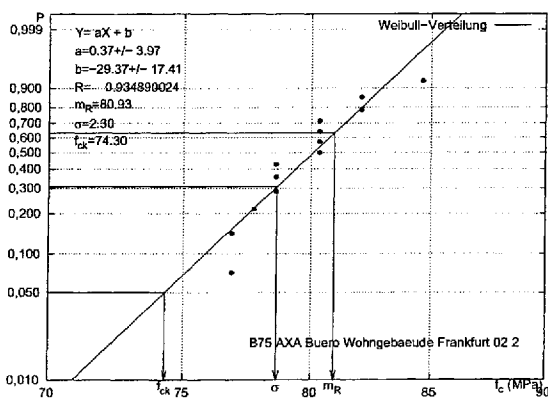
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

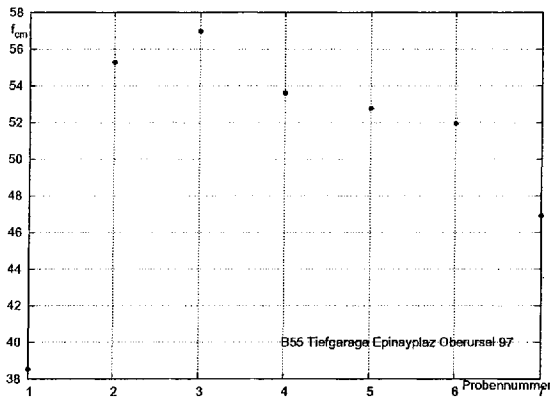


(e) Weibull-Verteilung

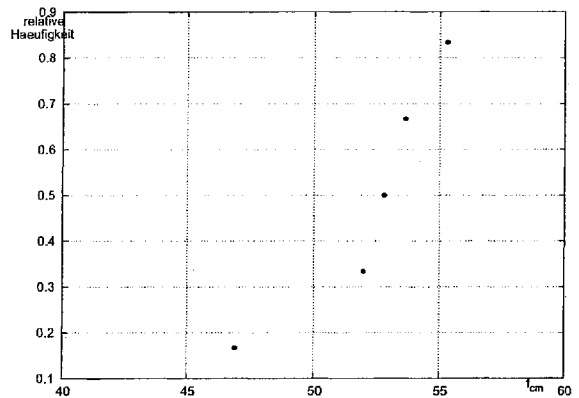
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 79.7578364831361 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 2.64534145809753 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 75.4529809150171 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 13$

(f) gewählte Verteilung

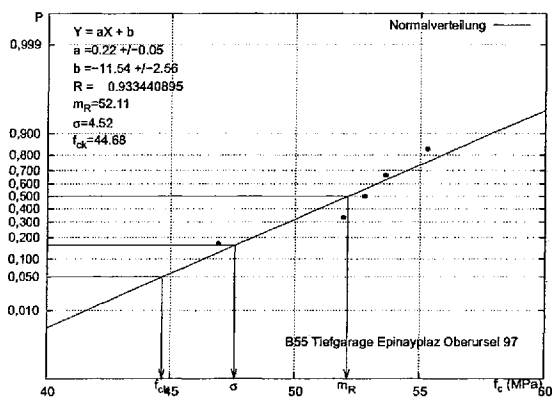
Bild B.54.: B75 AXA Buero Wohngebäude Frankfurt 02 2



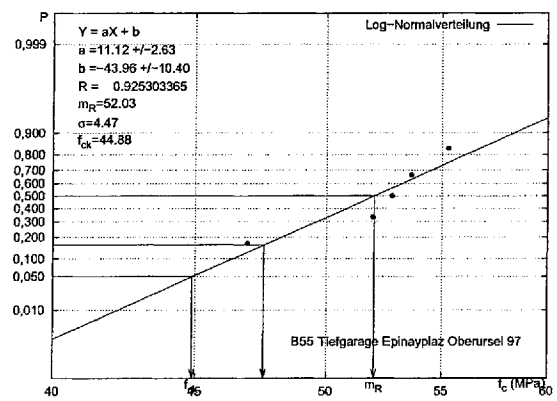
(a) Versuchswerte



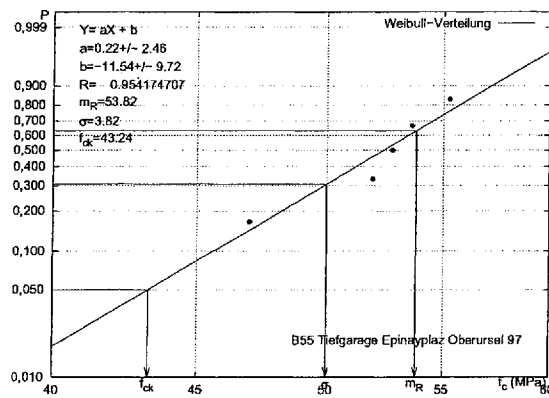
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

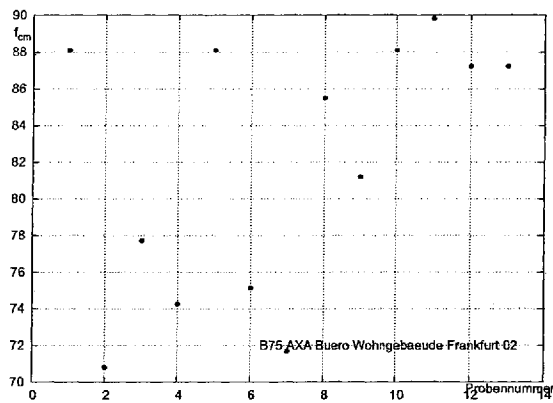


(e) Weibull-Verteilung

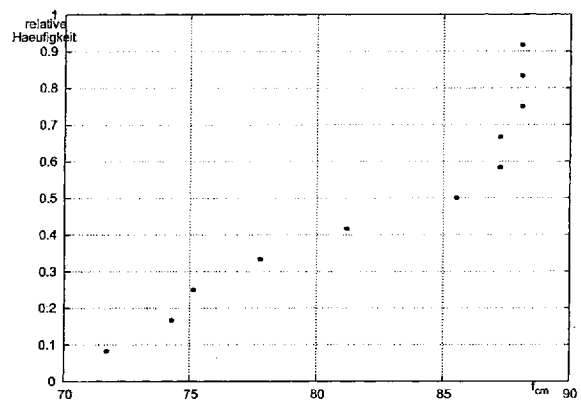
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 53.8153002020977$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.82090488270793$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 43.2426159674712$ MPa
Anzahl	$n = 5$

(f) gewählte Verteilung

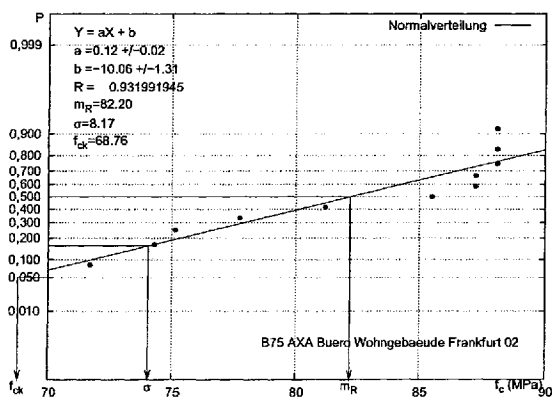
Bild B.55.: B55 Tiefgarage Epinayplatz Oberursel 97



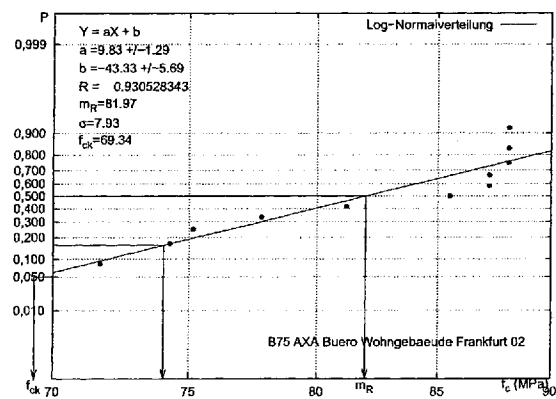
(a) Versuchswerte



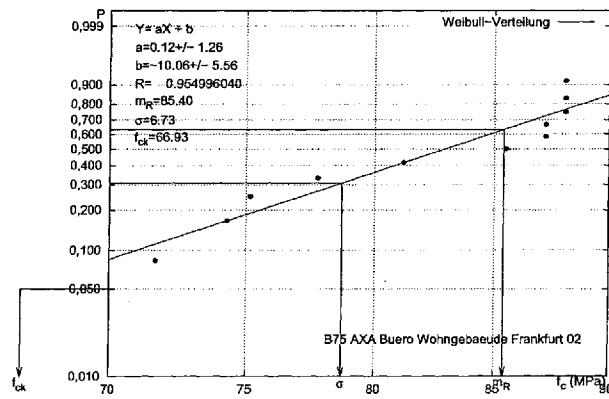
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

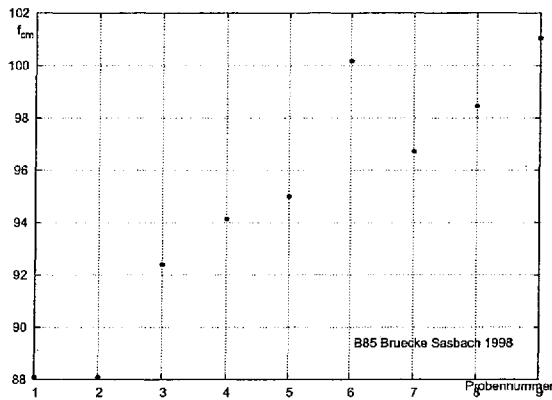


(e) Weibull-Verteilung

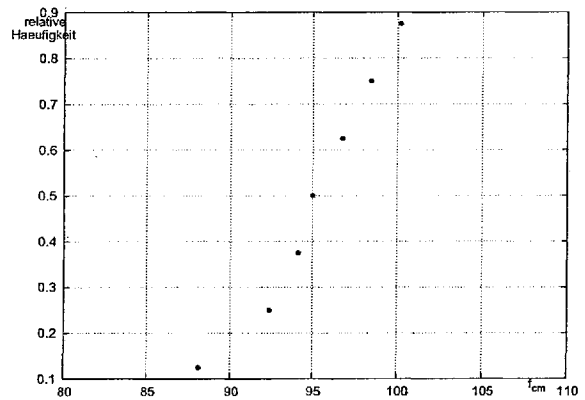
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 85.4008424495172$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 6.7294790478378$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 66.926033230023$ MPa
Anzahl	$n = 11$

(f) gewählte Verteilung

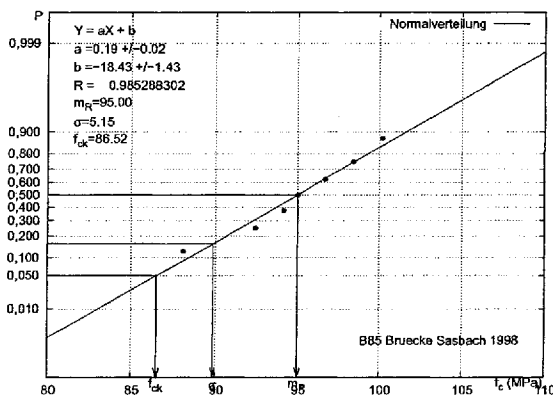
Bild B.56.: B75 AXA Buero Wohngebäude Frankfurt 02



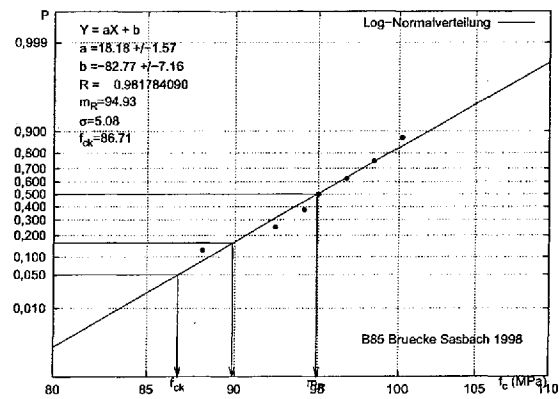
(a) Versuchswerte



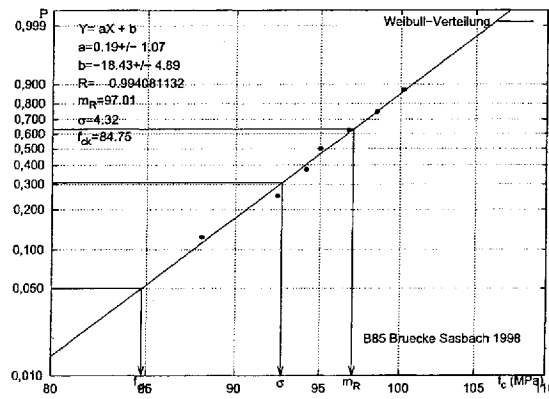
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

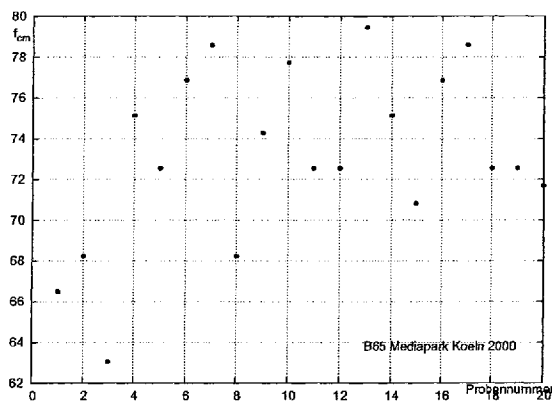


(e) Weibull-Verteilung

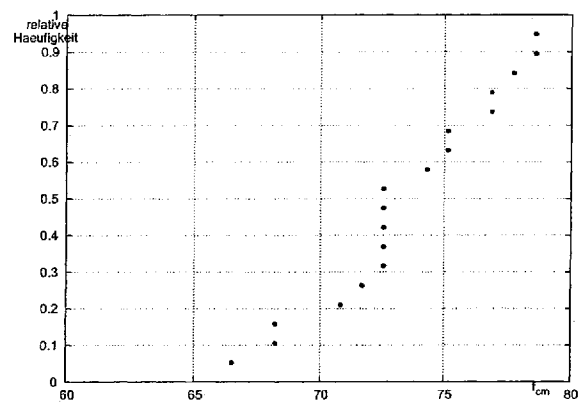
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 97.0108028950832$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.31581330533848$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 84.7464465742495$ MPa
Anzahl	$n = 7$

(f) gewählte Verteilung

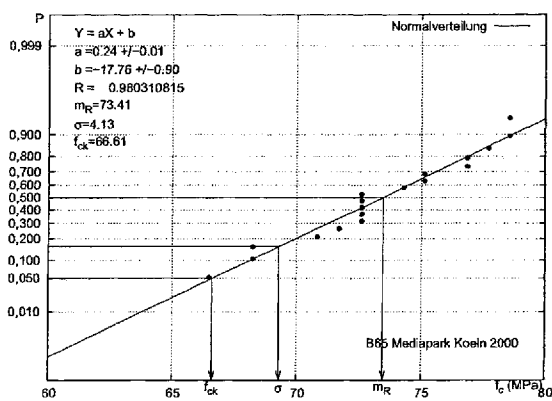
Bild B.57.: B85 Bruecke Sasbach 1998



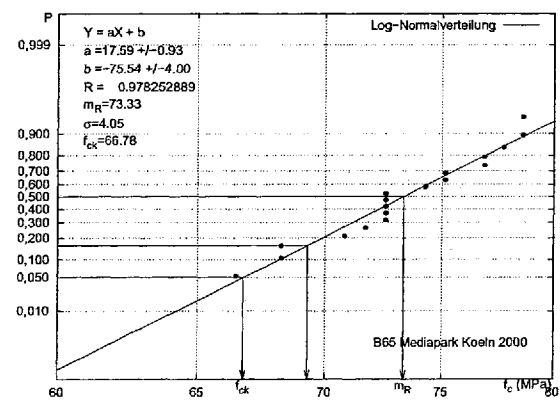
(a) Versuchswerte



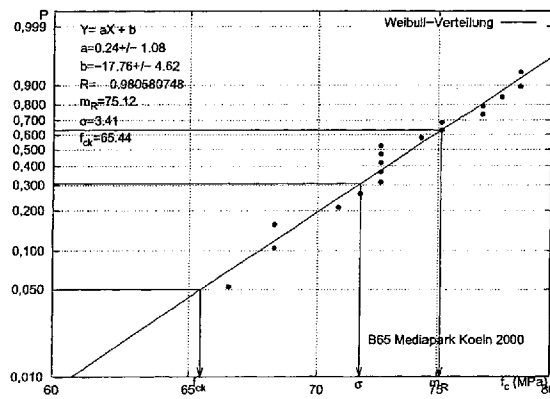
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

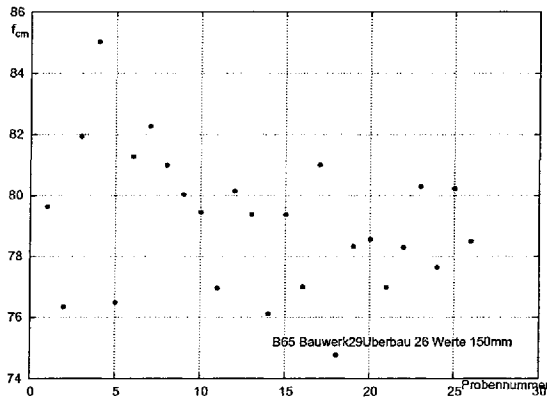


(e) Weibull-Verteilung

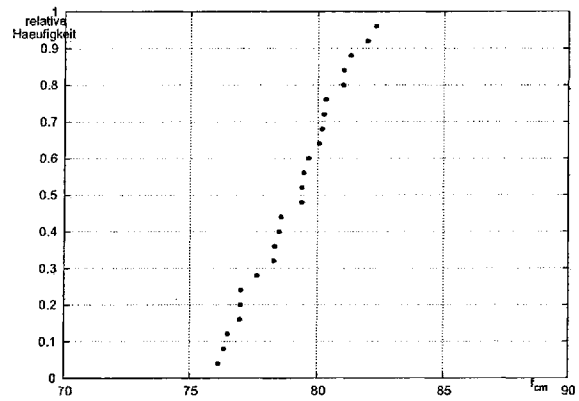
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 75.1183645725108 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 3.41037280426494 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 65.4358560607387 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 18$

(f) gewählte Verteilung

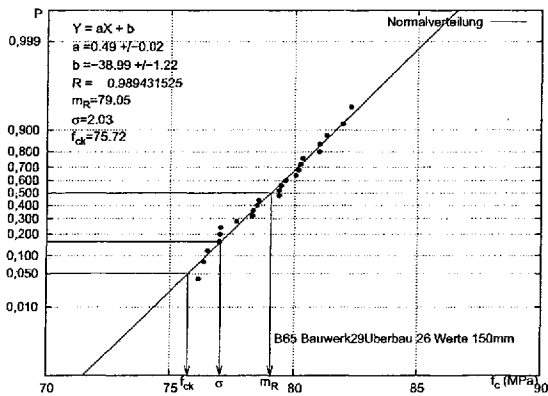
Bild B.58.: B65 Mediapark Koeln 2000



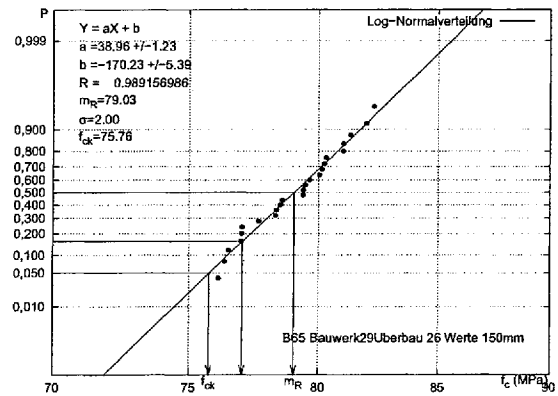
(a) Versuchswerte



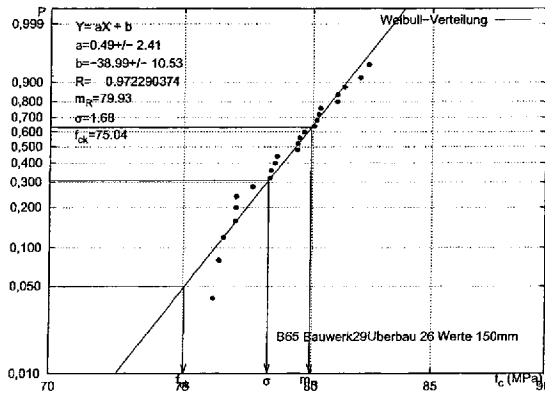
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

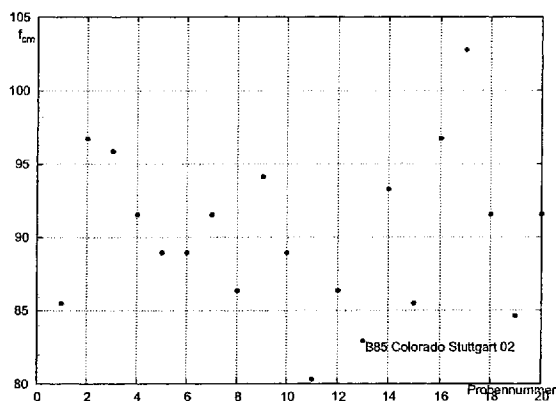


(e) Weibull-Verteilung

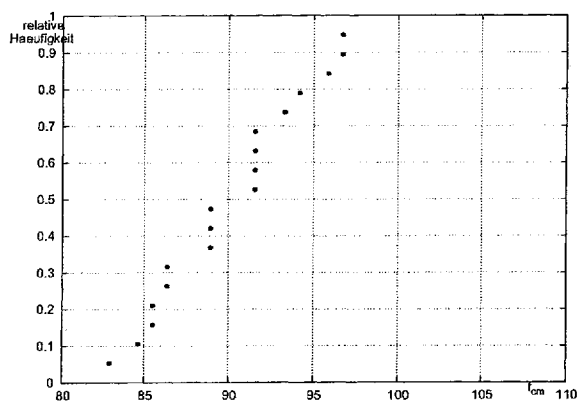
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 79.0525047348485$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.02739605840245$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 75.7174382187765$ MPa
Anzahl	$n = 24$

(f) gewählte Verteilung

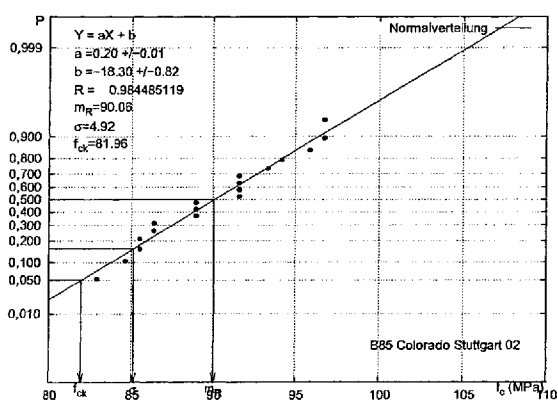
Bild B.59.: B65 Bauwerk29Uberbau 26 Werte 150mm



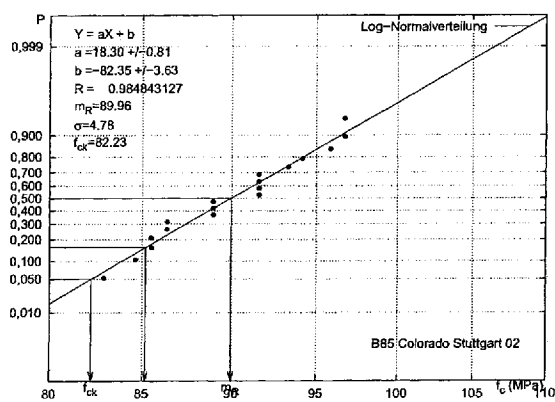
(a) Versuchswerte



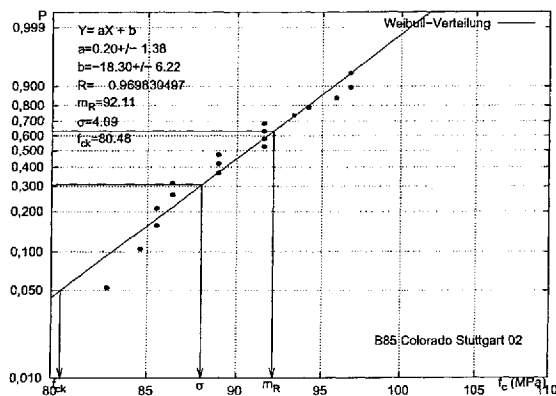
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



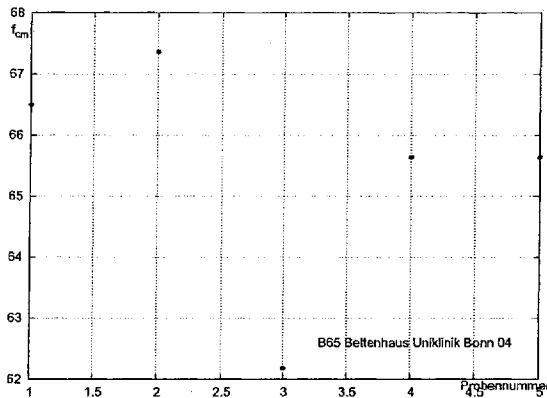
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 89.9620556778714 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 4.78317952855124 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 82.2295078055301 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 18$

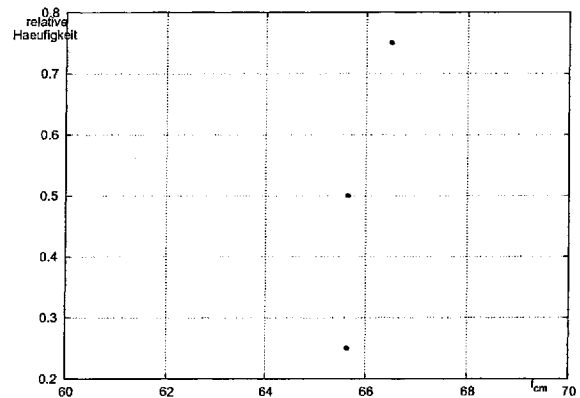
(f) gewählte Verteilung

Bild B.60.: B85 Colorado Stuttgart 02

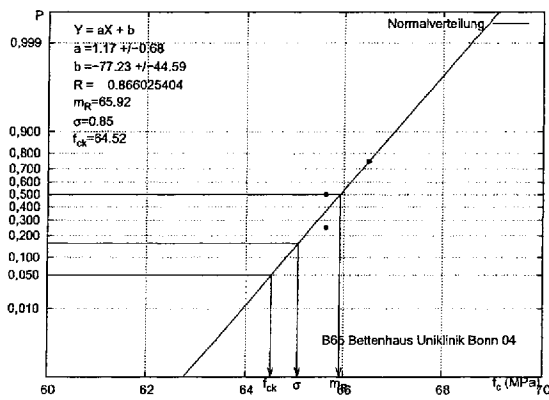




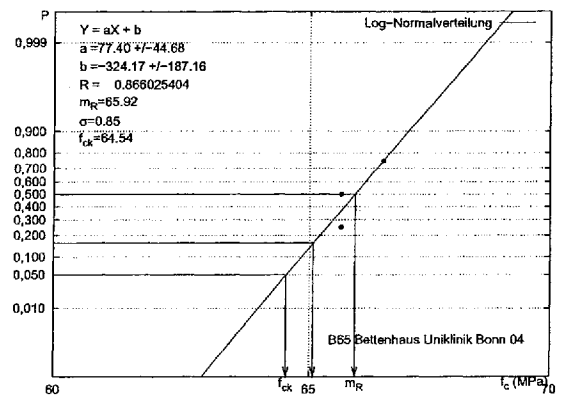
(a) Versuchswerte



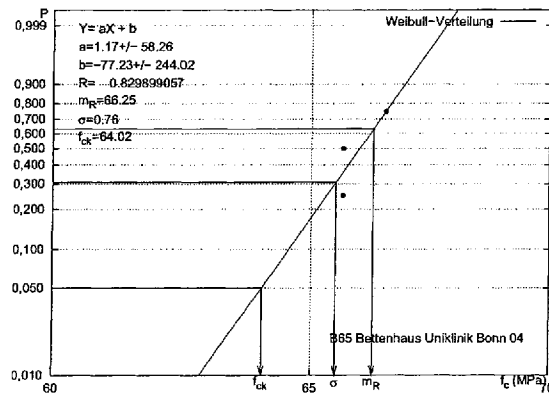
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

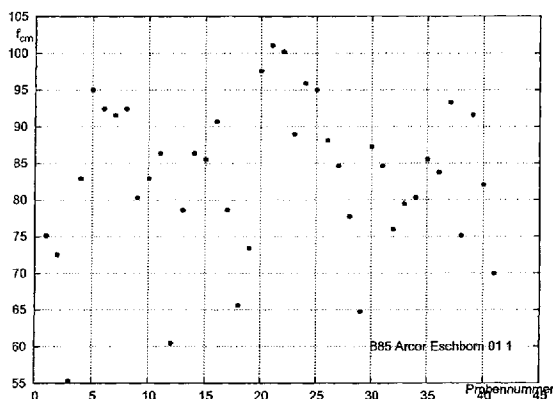


(e) Weibull-Verteilung

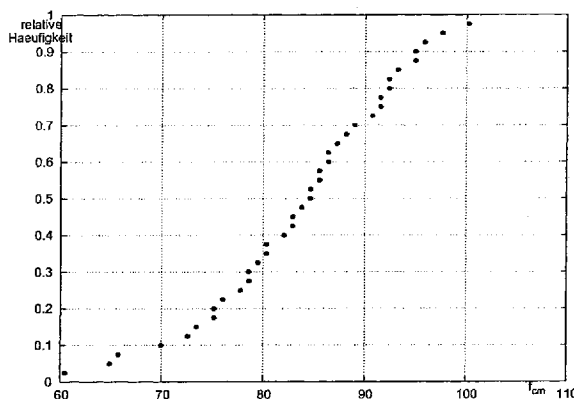
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 65.9242424242285$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 0.853619463863467$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 64.5200384061731$ MPa
Anzahl	$n = 3$

(f) gewählte Verteilung

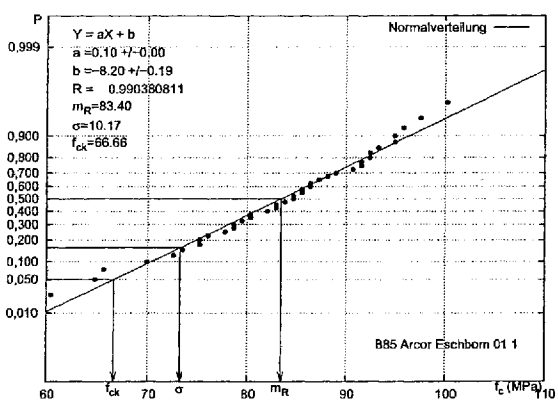
Bild B.61.: B65 Bettenhaus Uniklinik Bonn 04



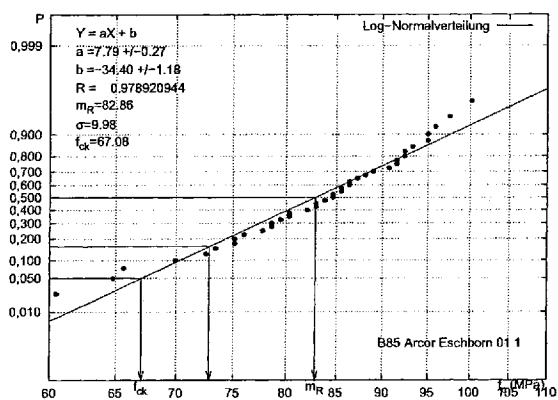
(a) Versuchswerte



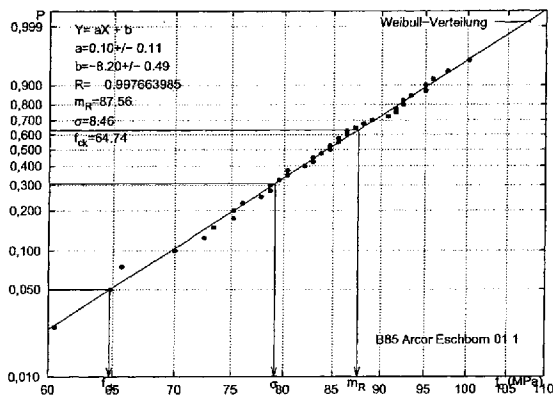
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

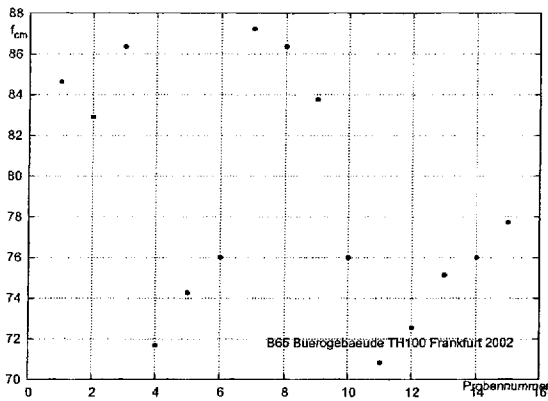


(e) Weibull-Verteilung

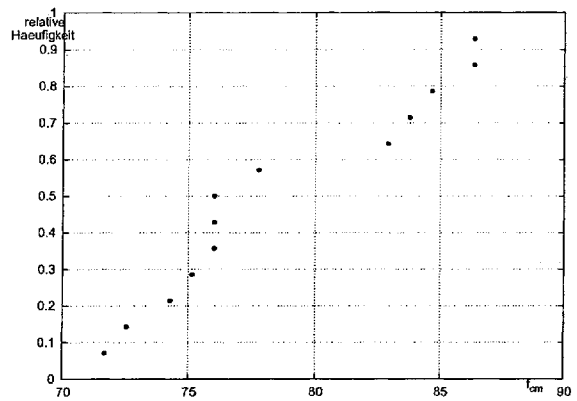
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 87.5601126843903 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 8.46492972722635 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 64.7384309932909 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 39$

(f) gewählte Verteilung

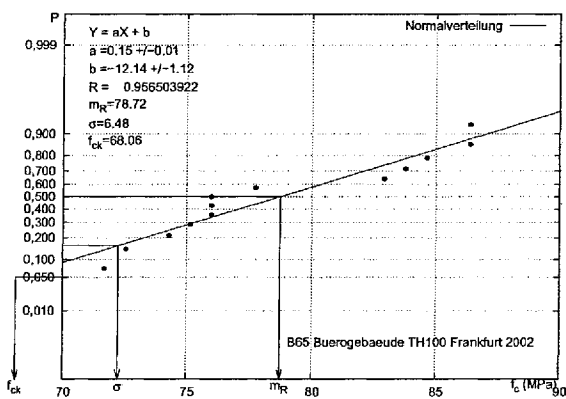
Bild B.62.: B85 Arcor Eschborn 01 1



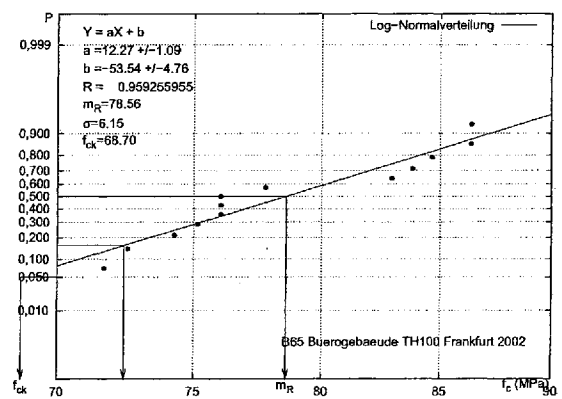
(a) Versuchswerte



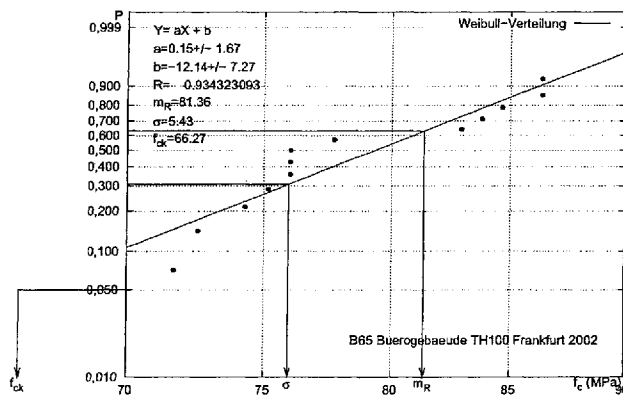
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

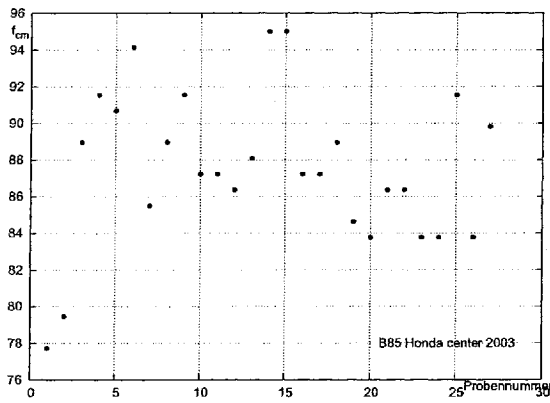


(e) Weibull-Verteilung

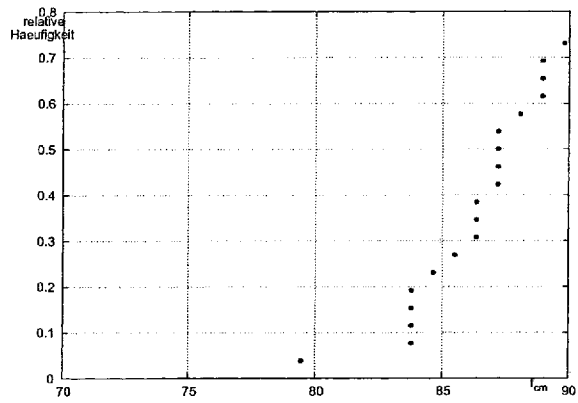
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 78.5602426833084$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 6.14939908414576$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 68.7022747890006$ MPa
Anzahl	$n = 13$

(f) gewählte Verteilung

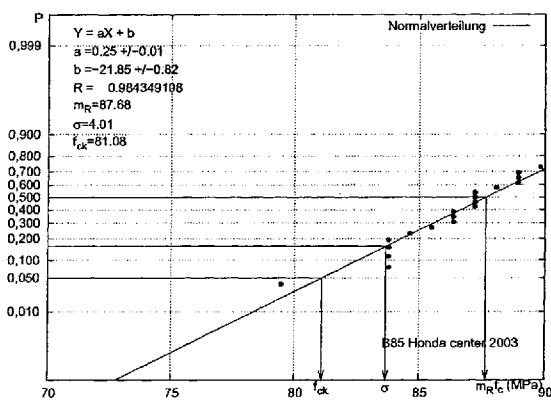
Bild B.63.: B65 Buerogebaeude TH100 Frankfurt 2002



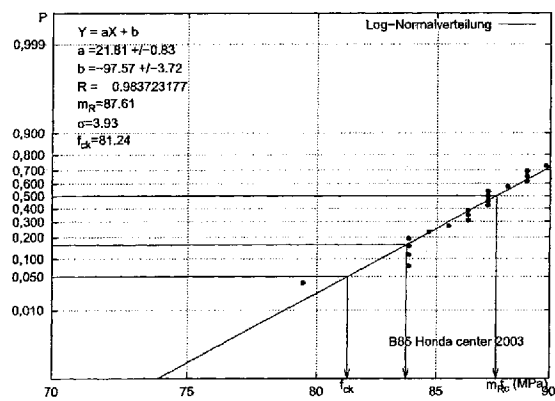
(a) Versuchswerte



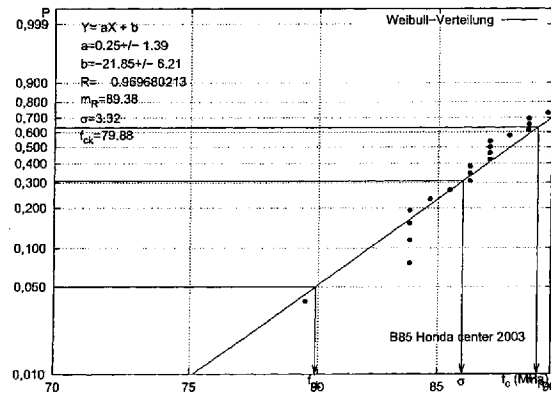
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

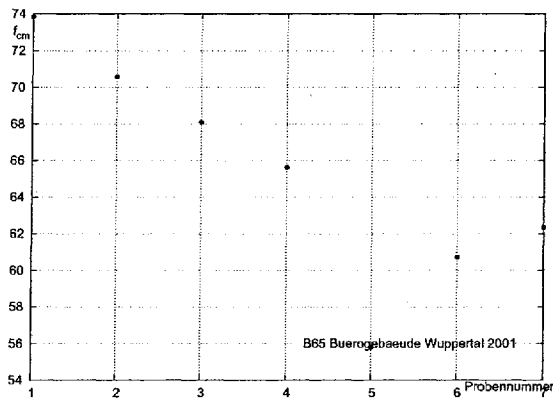


(e) Weibull-Verteilung

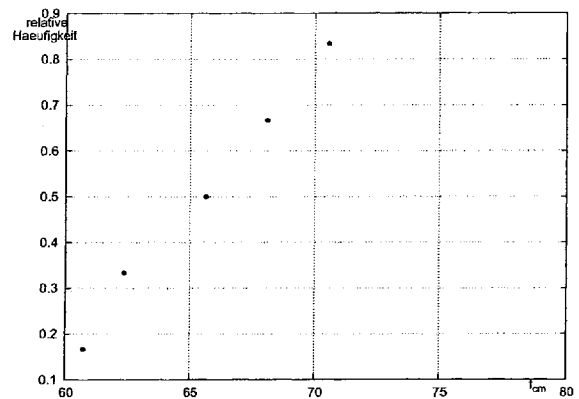
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 87.6763636362554$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.01195394887411$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 81.0766993903575$ MPa
Anzahl	$n = 25$

(f) gewählte Verteilung

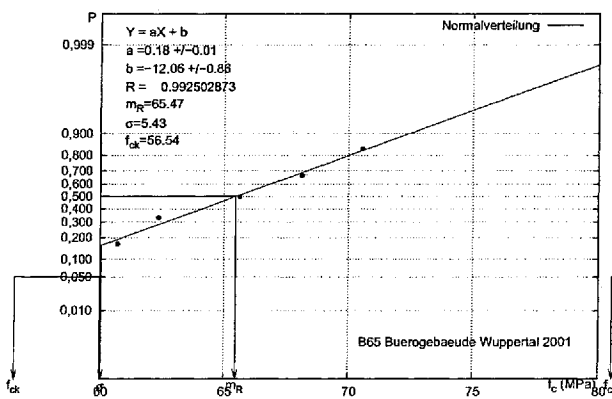
Bild B.64.: B85 Honda center 2003



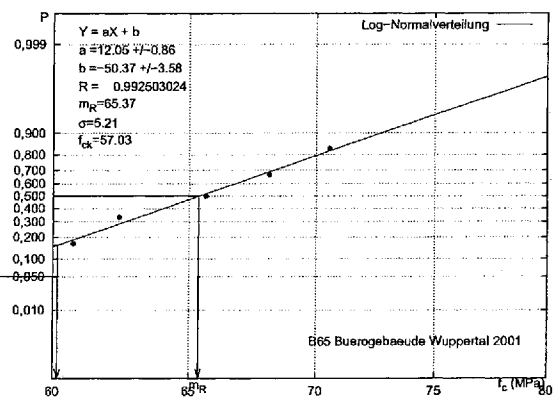
(a) Versuchswerte



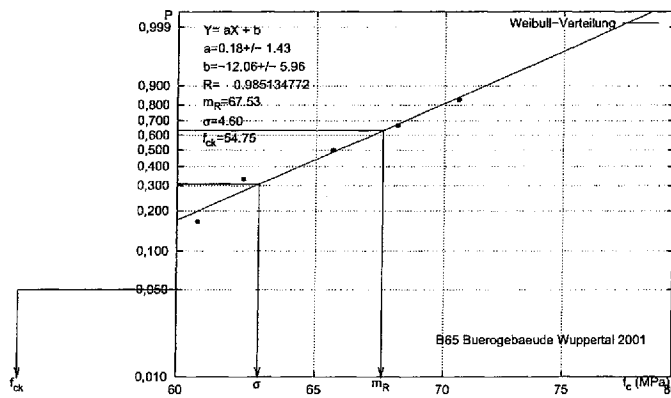
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

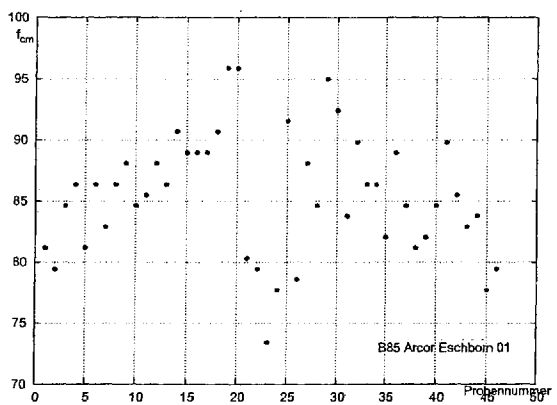


(e) Weibull-Verteilung

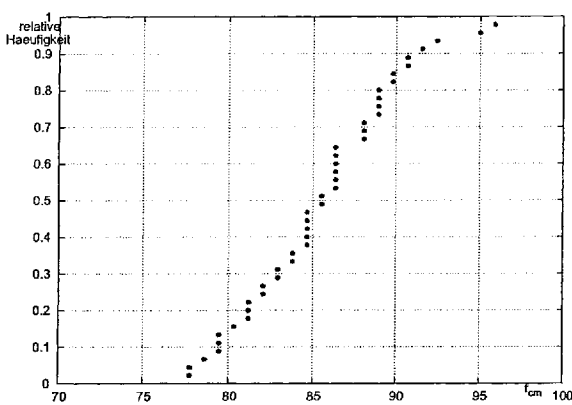
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 65.3727709779005$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.20577039843131$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 57.0313311595081$ MPa
Anzahl	$n = 5$

(f) gewählte Verteilung

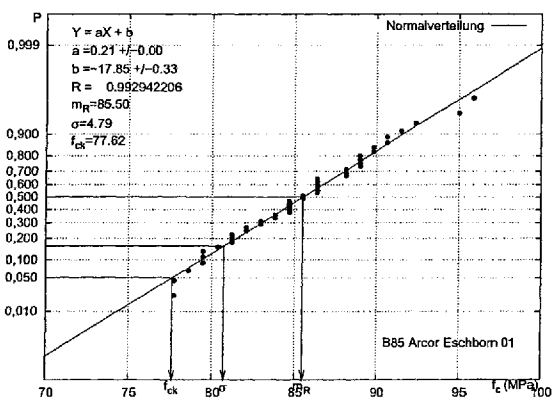
Bild B.65.: B65 Buerogebaeude Wuppertal 2001



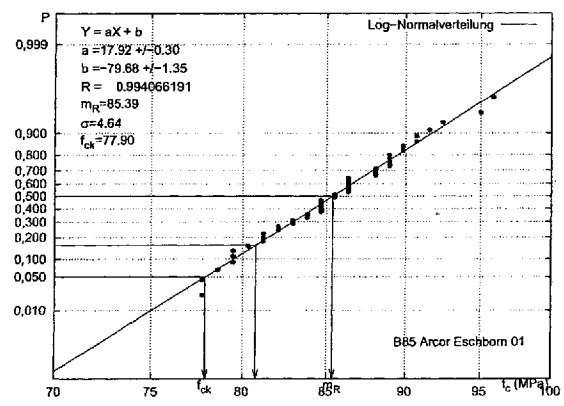
(a) Versuchswerte



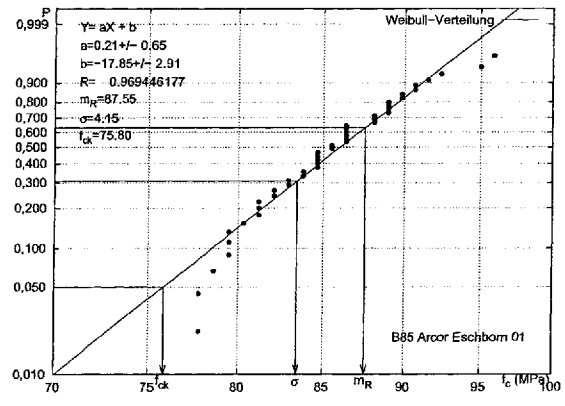
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

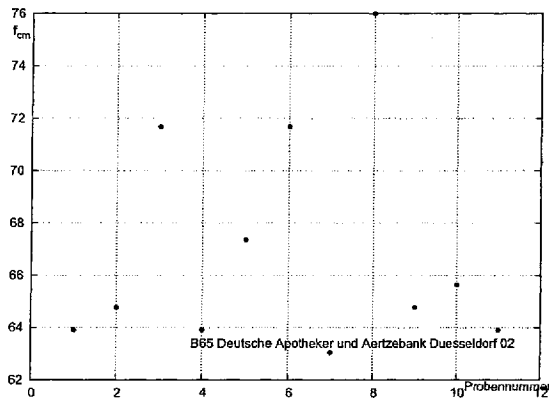


(e) Weibull-Verteilung

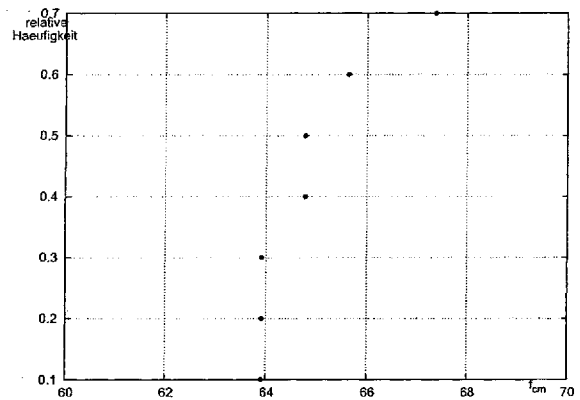
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 85.3870606259864$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.63514970250918$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 77.8965975772666$ MPa
Anzahl	$n = 44$

(f) gewählte Verteilung

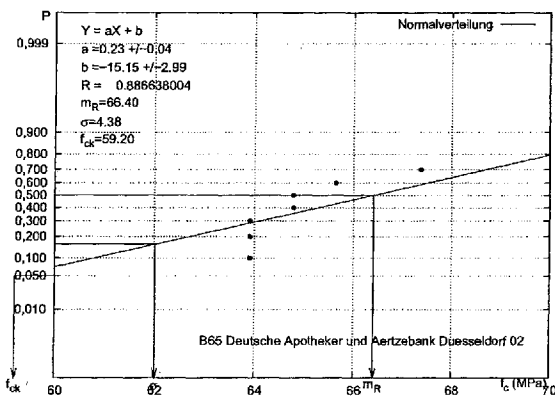
Bild B.66.: B85 Arcor Eschborn 01



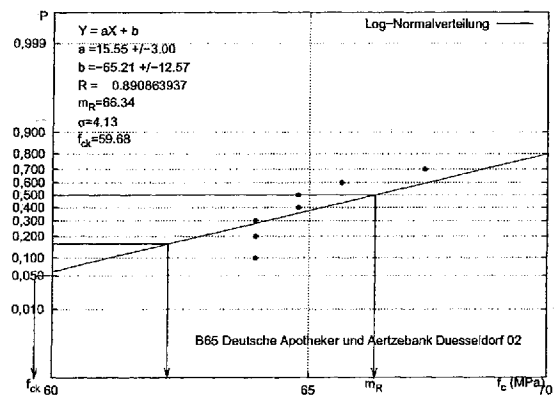
(a) Versuchswerte



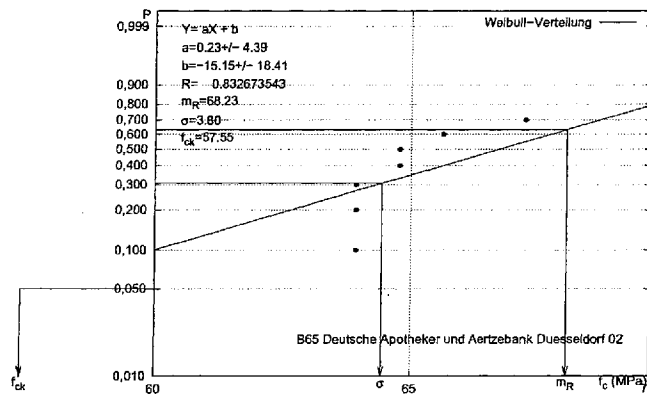
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

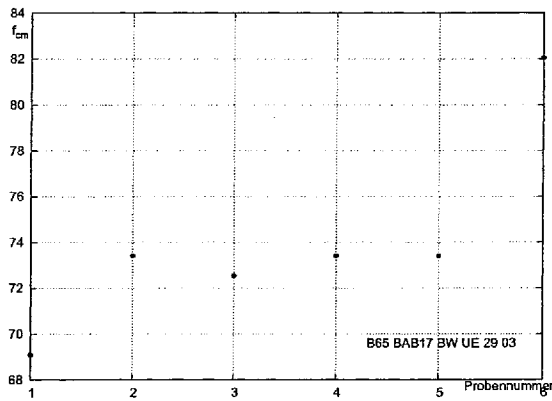


(e) Weibull-Verteilung

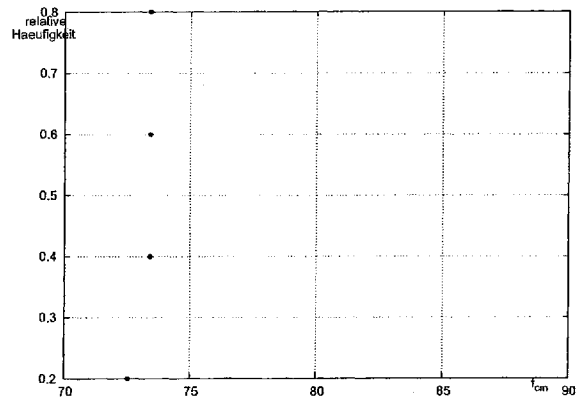
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 66.3379827039306 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 4.1329758048342 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 59.6768691300658 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 9$

(f) gewählte Verteilung

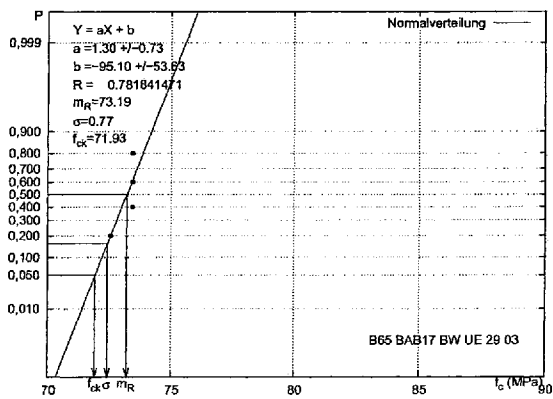
Bild B.67.: B65 Deutsche Apotheker und Aertzebank Duesseldorf 02



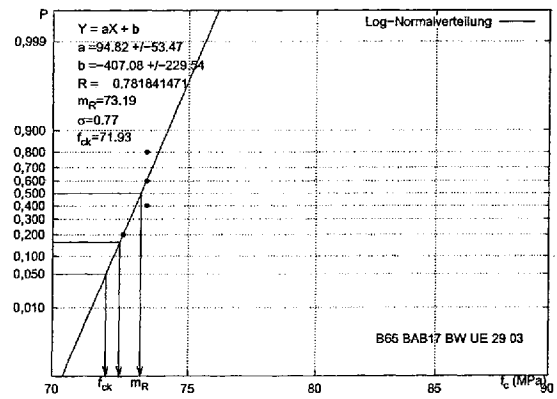
(a) Versuchswerte



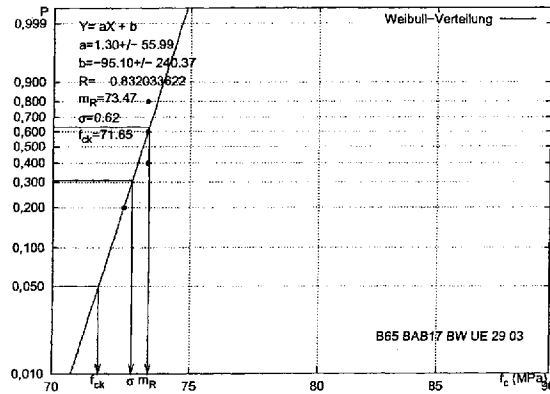
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



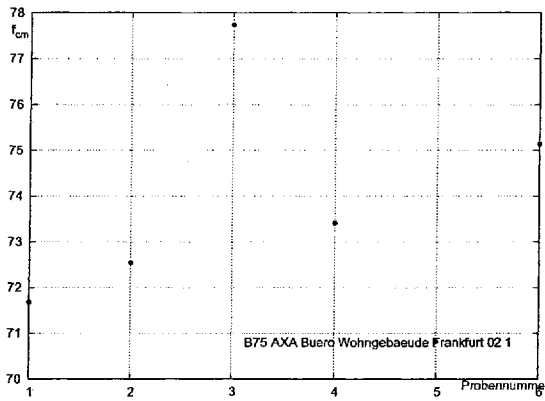
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 73.4674762289588$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 0.615998603312818$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 71.6530291522835$ MPa
Anzahl	$n = 4$

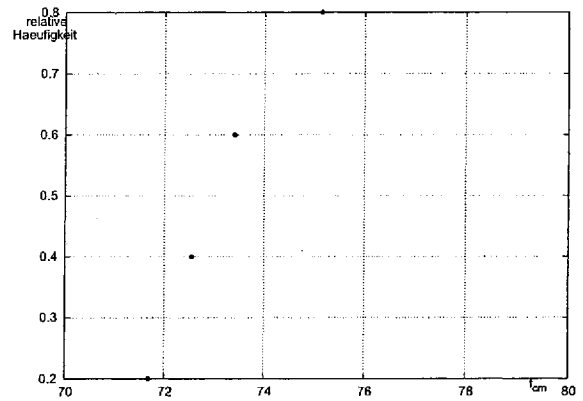
(f) gewählte Verteilung

Bild B.68.: B65 BAB17 BW UE 29 03

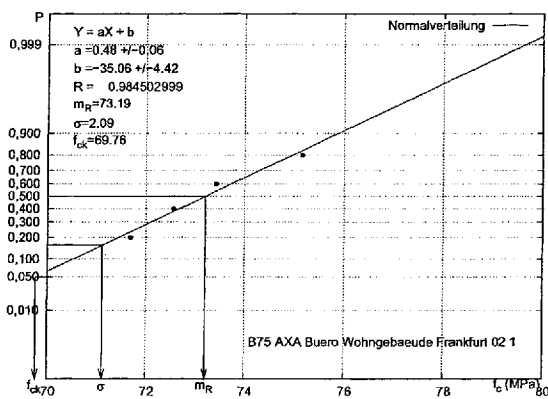




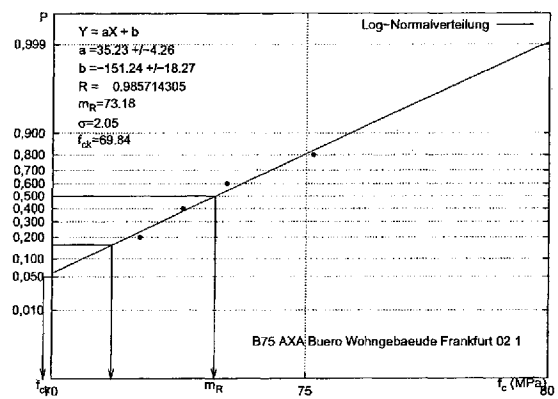
(a) Versuchswerte



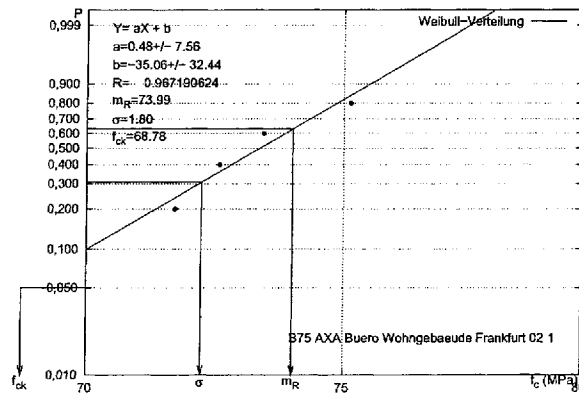
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

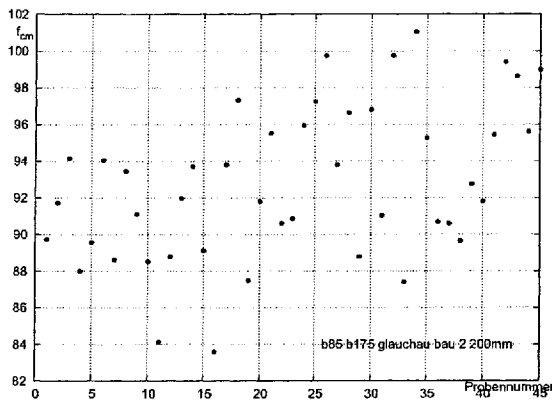


(e) Weibull-Verteilung

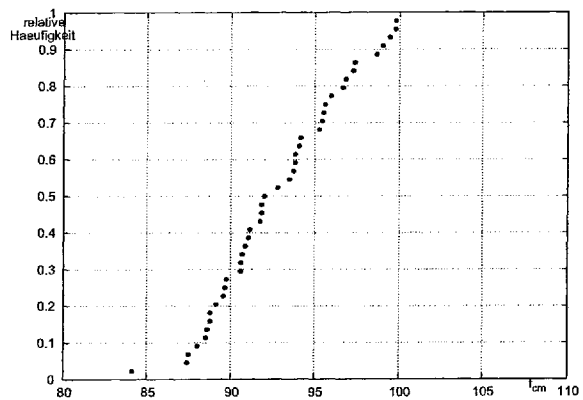
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 73.182090172352$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.04806183106051$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 69.8435373616566$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

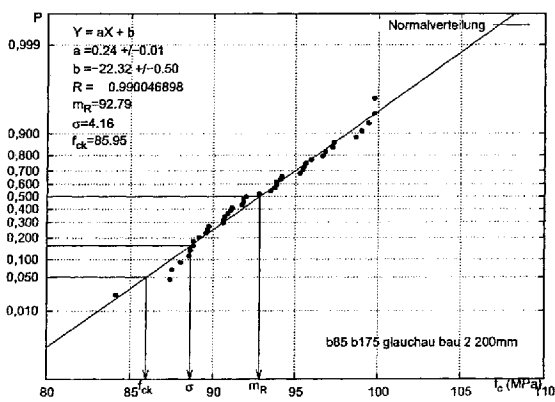
Bild B.69.: B75 AXA Buero Wohngebäude Frankfurt 02 1



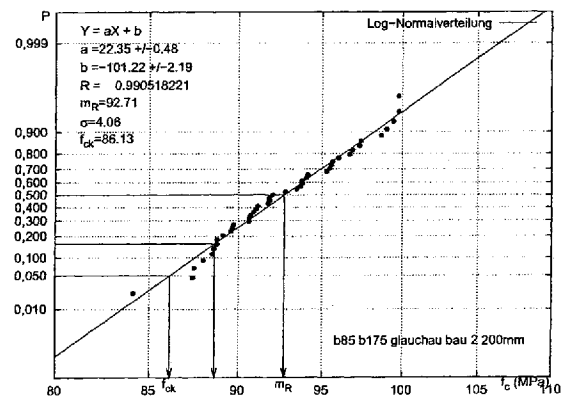
(a) Versuchswerte



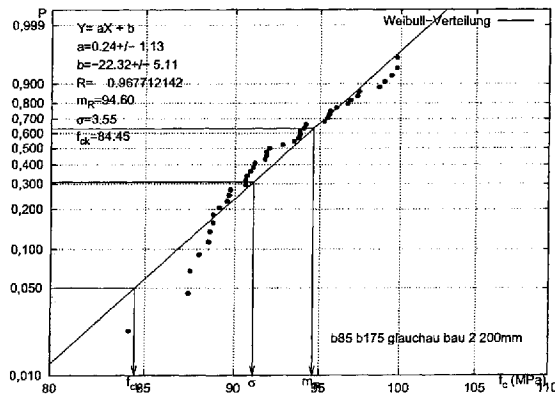
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

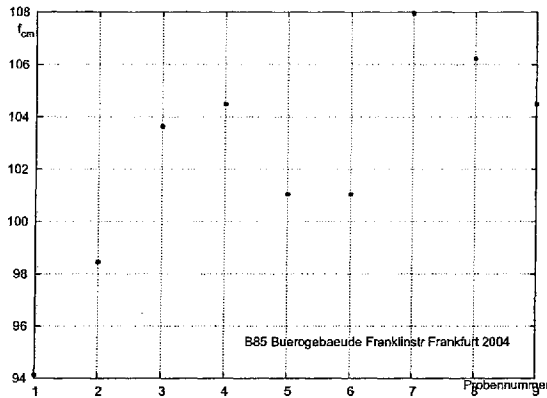


(e) Weibull-Verteilung

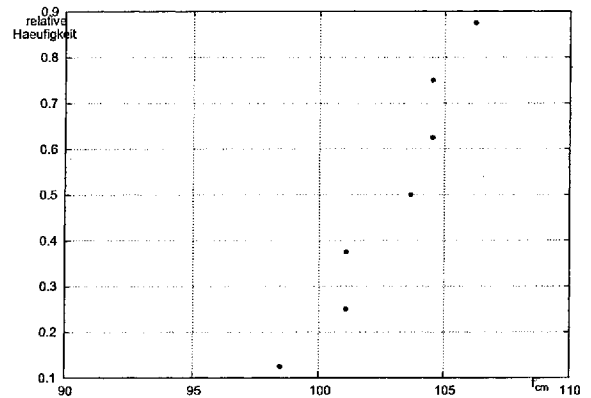
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 92.7107255753262$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.0572813078746$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 86.1311897572601$ MPa
Anzahl	$n = 43$

(f) gewählte Verteilung

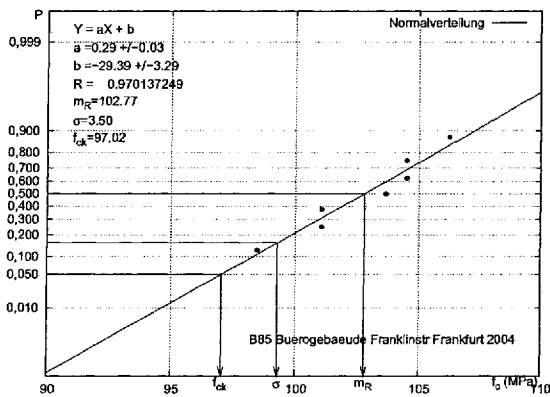
Bild B.70.: b85 b175 glauchau bau 2 200mm



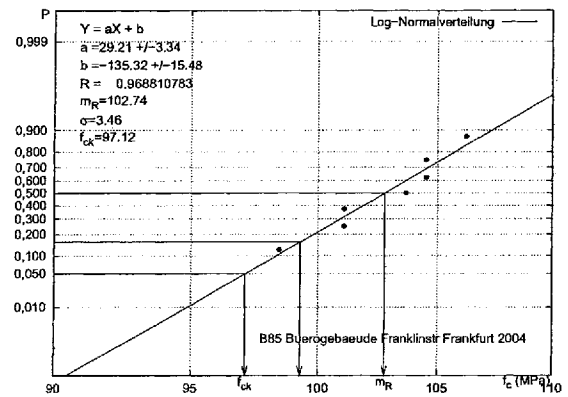
(a) Versuchswerte



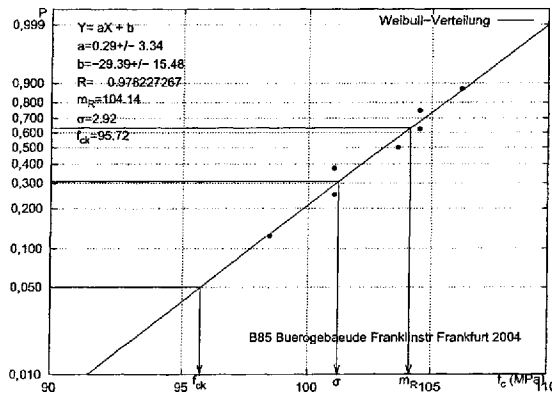
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

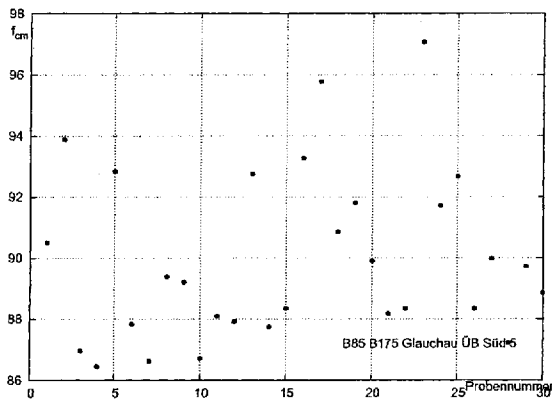


(e) Weibull-Verteilung

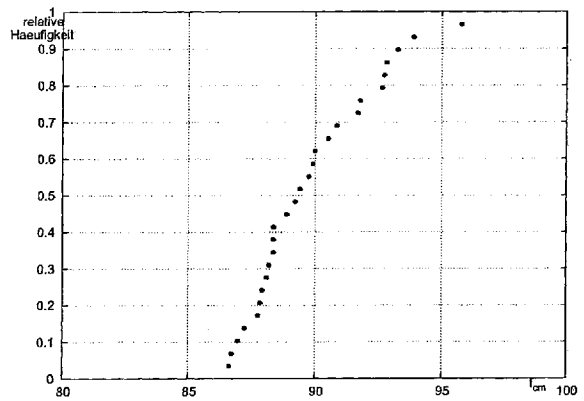
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 104.144712309477$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.91588902738764$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 95.7211940193688$ MPa
Anzahl	$n = 7$

(f) gewählte Verteilung

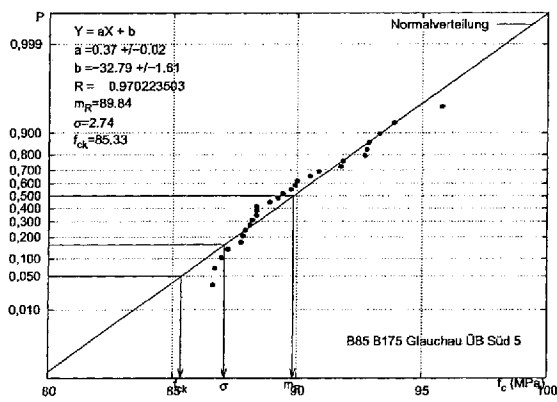
Bild B.71.: B85 Buerogebaeude Franklinstr Frankfurt 2004



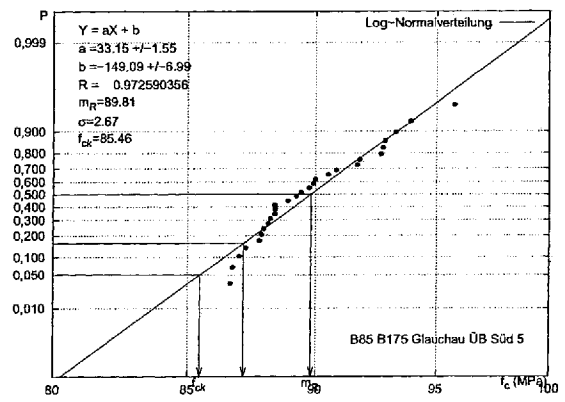
(a) Versuchswerte



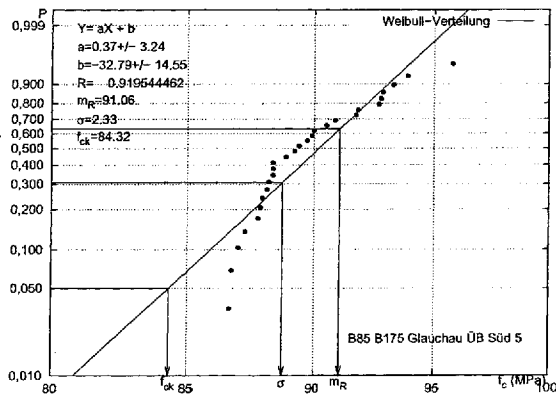
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

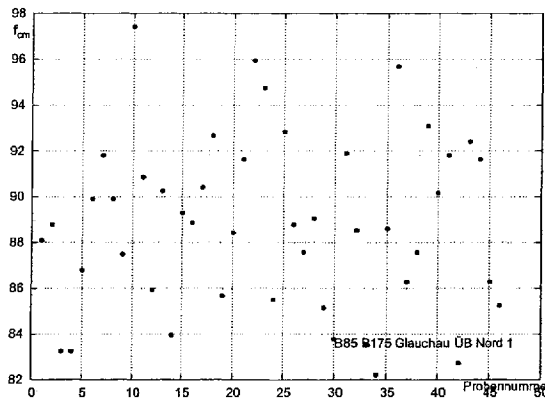


(e) Weibull-Verteilung

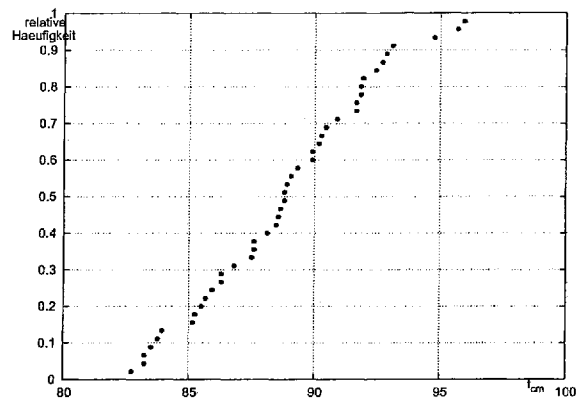
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 89.8085019877595$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.66889078569687$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 85.4604026375517$ MPa
Anzahl	$n = 28$

(f) gewählte Verteilung

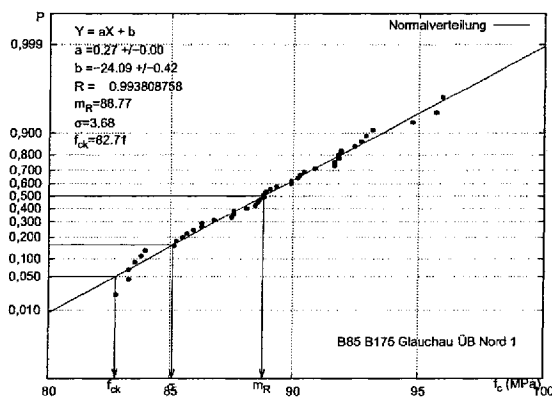
Bild B.72.: B85 B175 Glauchau ÜB Süd 5



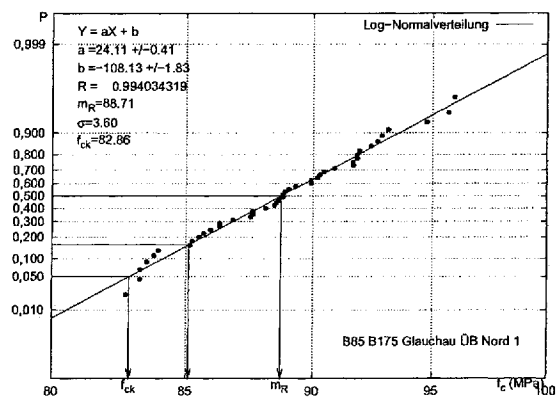
(a) Versuchswerte



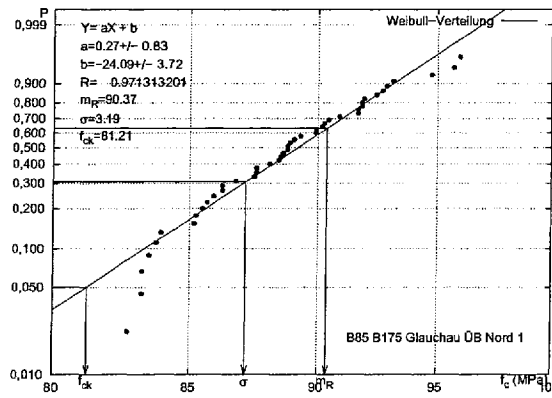
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

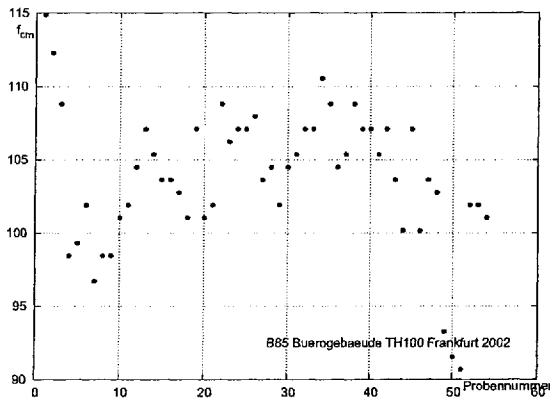


(e) Weibull-Verteilung

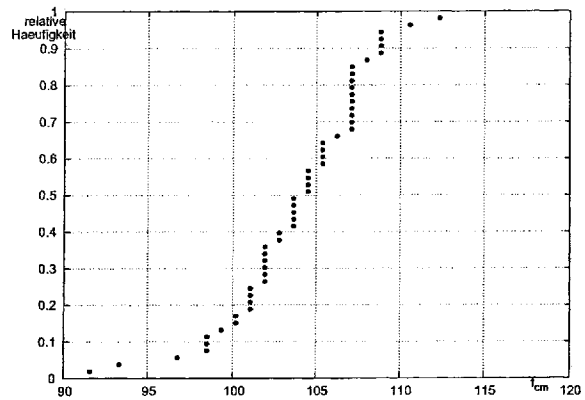
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 88.7092590255319$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.60434459463482$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 82.8581834879437$ MPa
Anzahl	$n = 44$

(f) gewählte Verteilung

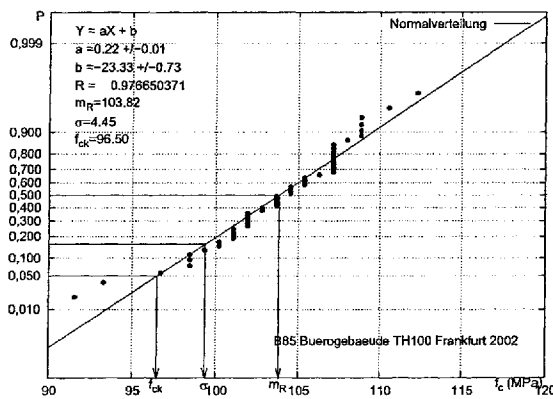
Bild B.73.: B85 B175 Glauchau ÜB Nord 1



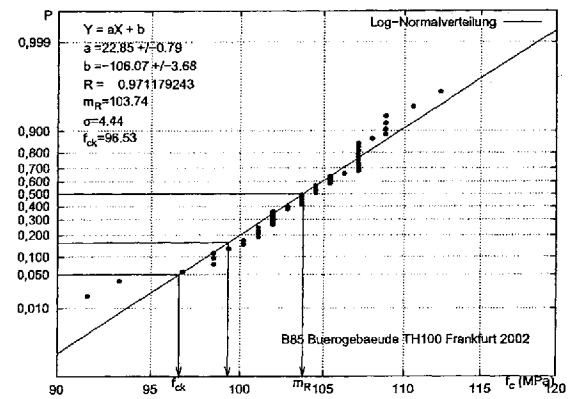
(a) Versuchswerte



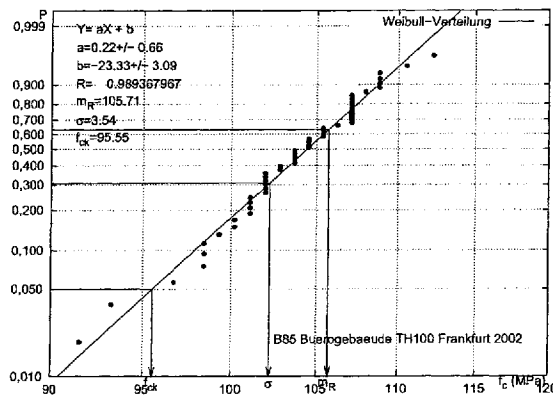
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

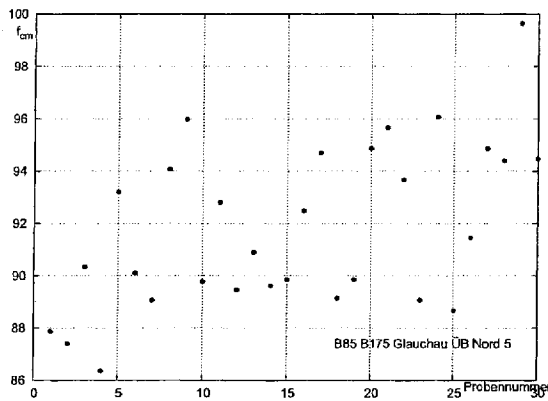


(e) Weibull-Verteilung

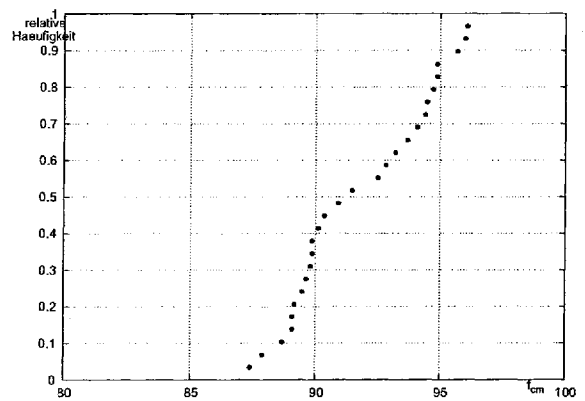
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 105.713927525473$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.53669179337992$ MPa
5%-Fraktilewert	$f_{ck} = 95.5523501352658$ MPa
Anzahl	$n = 52$

(f) gewählte Verteilung

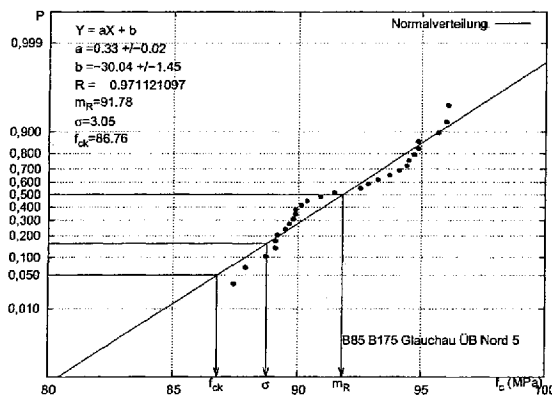
Bild B.74.: B85 Buerogebaeude TH100 Frankfurt 2002



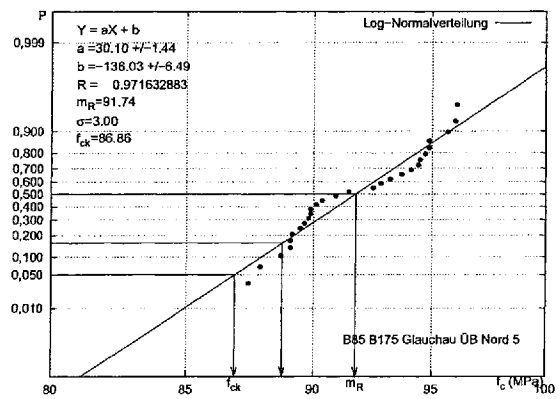
(a) Versuchswerte



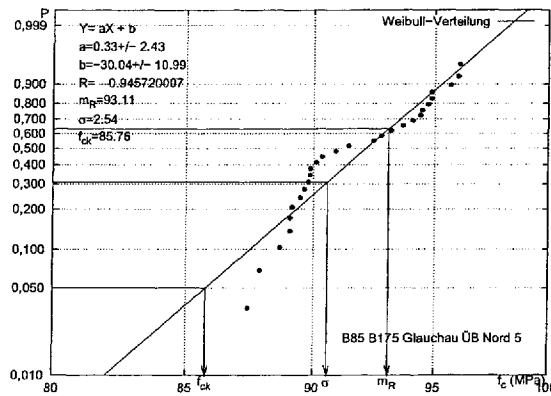
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

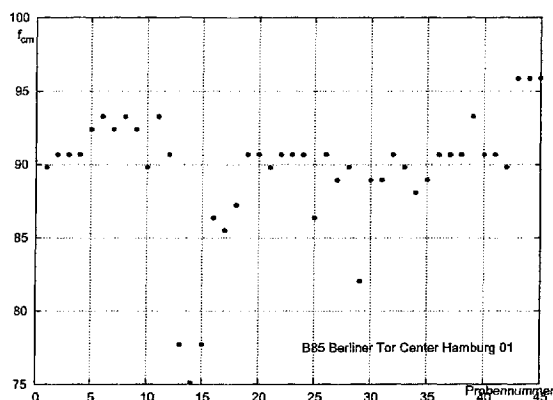


(e) Weibull-Verteilung

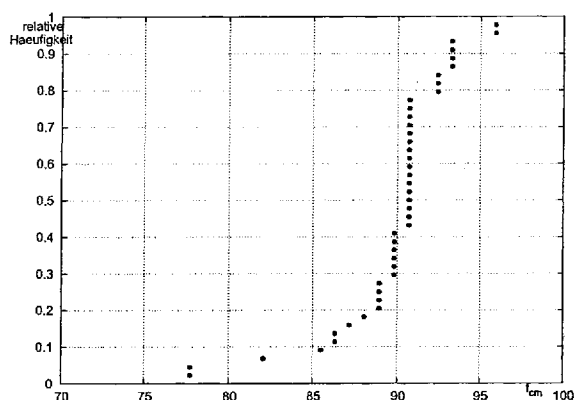
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.7432357662827$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.99763543490175$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 86.8642898423551$ MPa
Anzahl	$n = 28$

(f) gewählte Verteilung

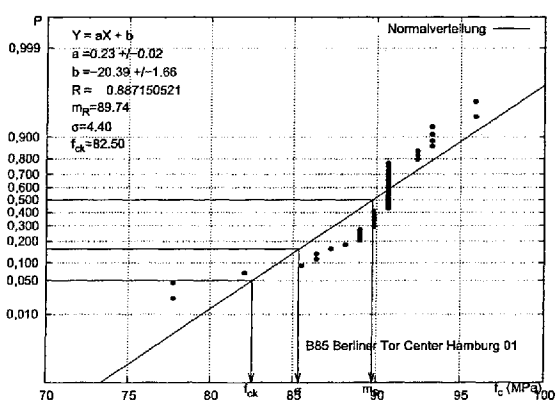
Bild B.75.: B85 B175 Glauchau ÜB Nord 5



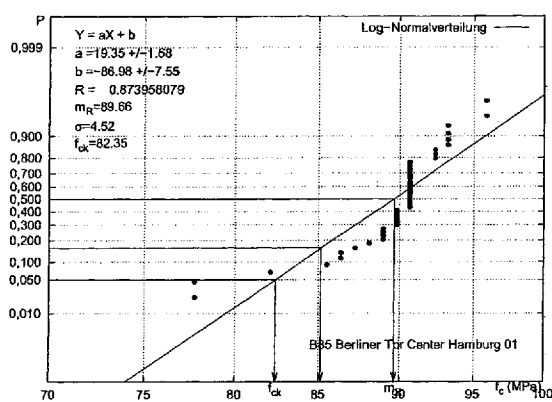
(a) Versuchswerte



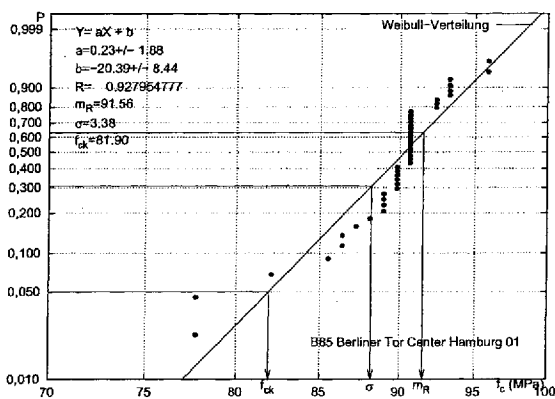
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



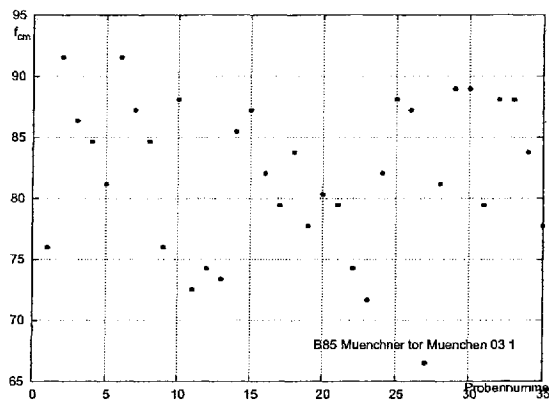
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.5645738932758$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.37668538706528$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 81.8957626667676$ MPa
Anzahl	$n = 43$

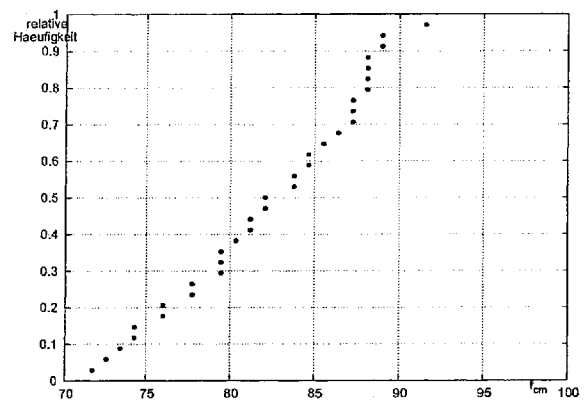
(f) gewählte Verteilung

Bild B.76.: B85 Berliner Tor Center Hamburg 01

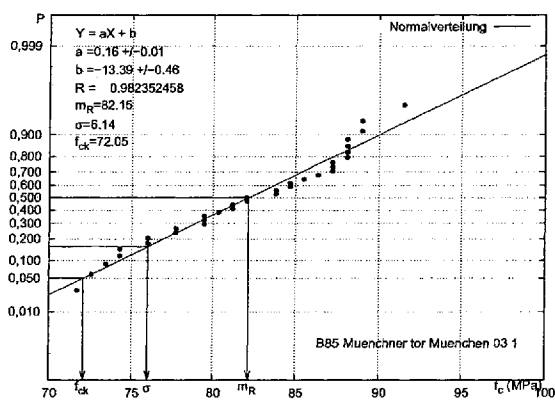




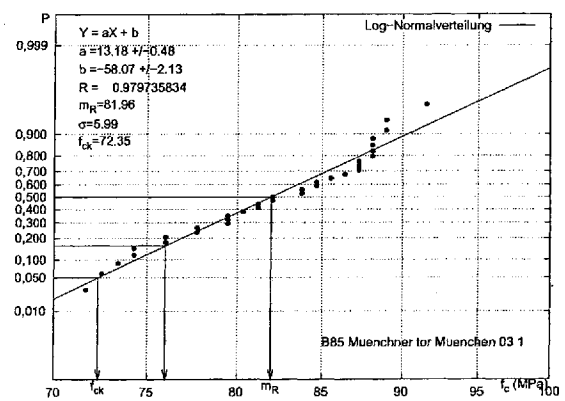
(a) Versuchswerte



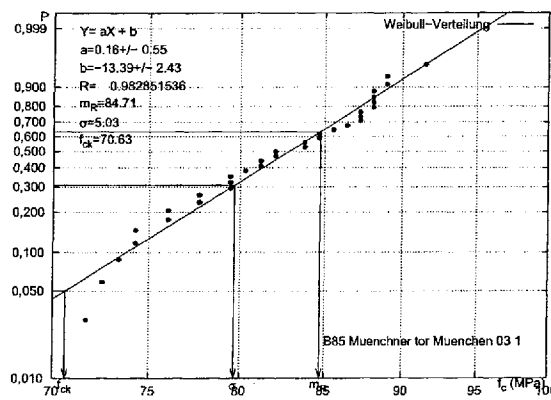
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

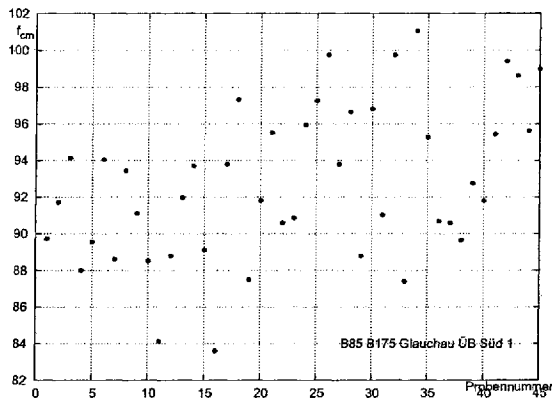


(e) Weibull-Verteilung

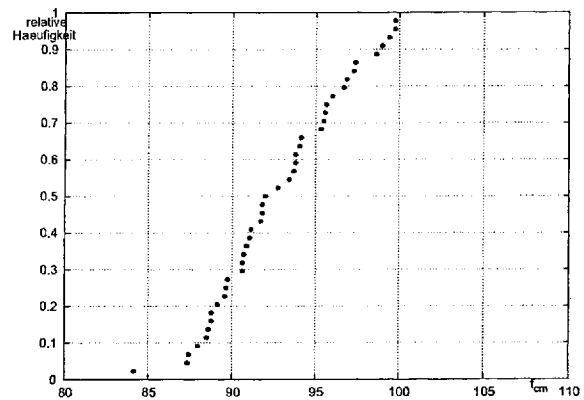
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 84.7134089560319$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.03066054275442$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 70.6295167002557$ MPa
Anzahl	$n = 33$

(f) gewählte Verteilung

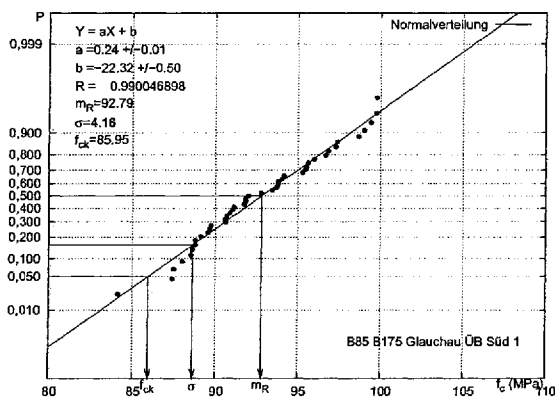
Bild B.77.: B85 Muenchner tor Muenchen 03 1



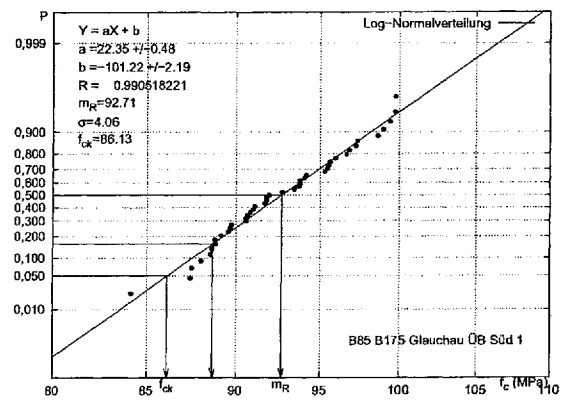
(a) Versuchswerte



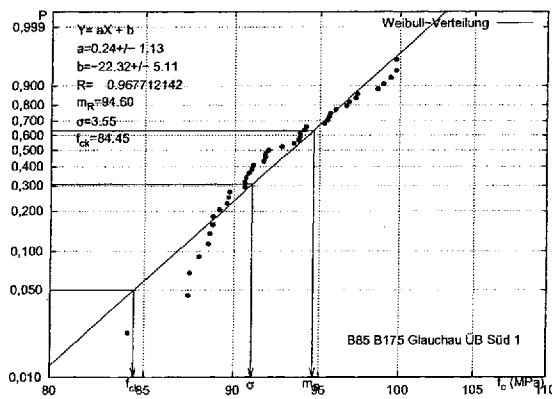
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

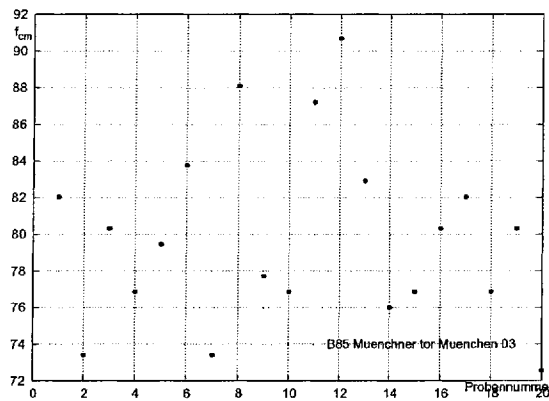


(e) Weibull-Verteilung

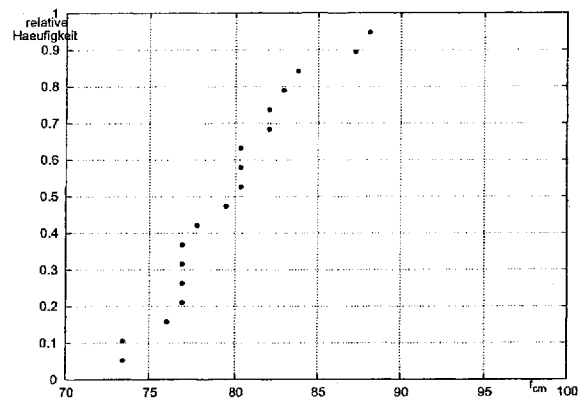
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 92.7107255753262$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.0572813078746$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 86.1311897572601$ MPa
Anzahl	$n = 43$

(f) gewählte Verteilung

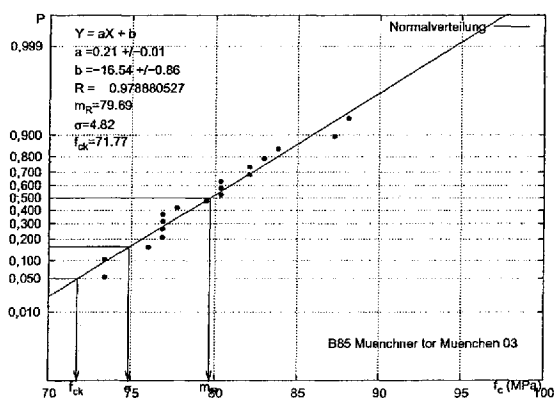
Bild B.78.: B85 B175 Glauchau ÜB Süd 1



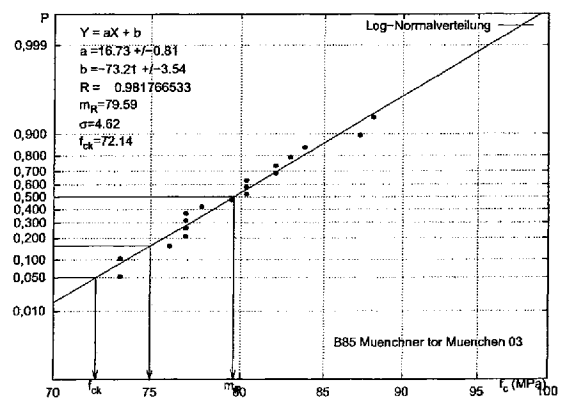
(a) Versuchswerte



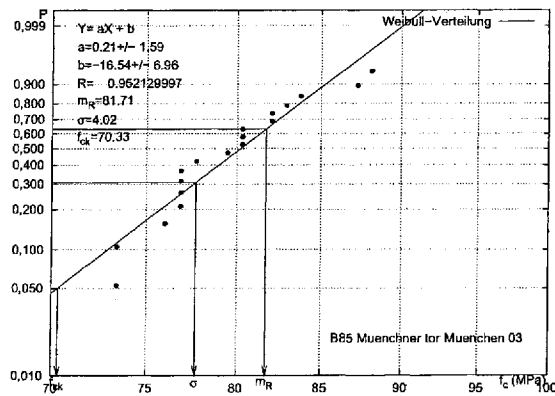
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

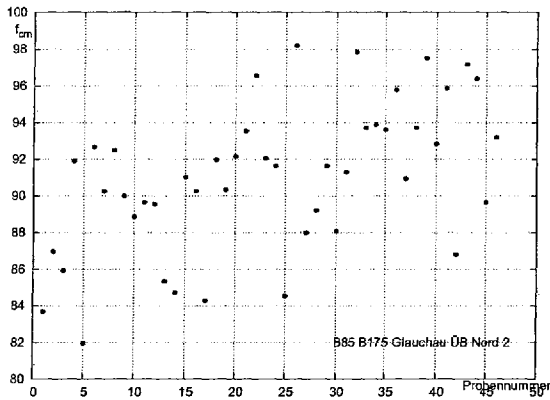


(e) Weibull-Verteilung

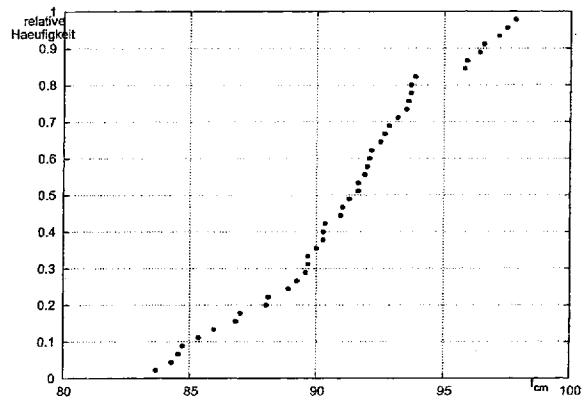
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 79.592799222321$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.61891187725506$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 72.1378859508788$ MPa
Anzahl	$n = 18$

(f) gewählte Verteilung

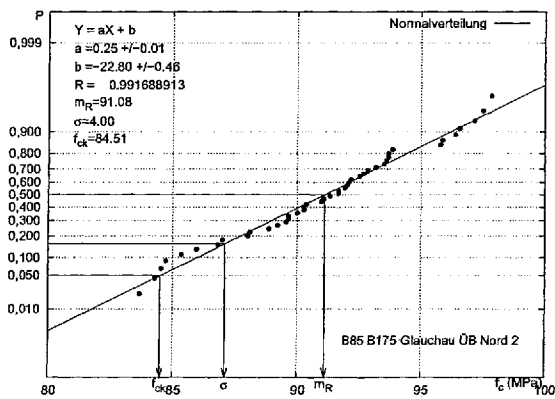
Bild B.79.: B85 Muenchner tor Muenchen 03



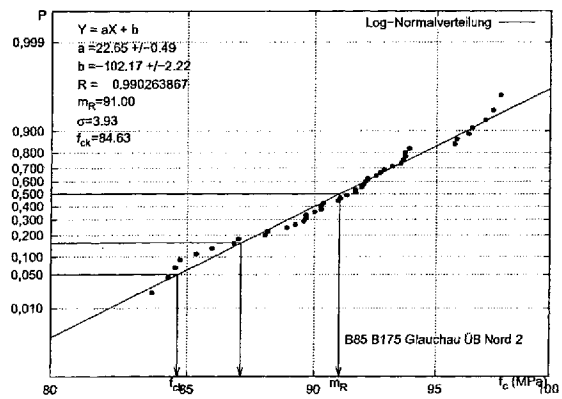
(a) Versuchswerte



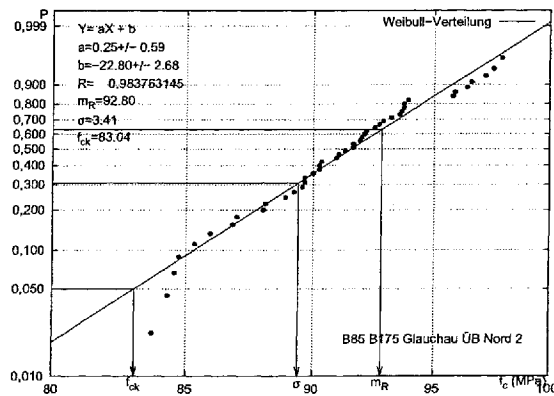
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

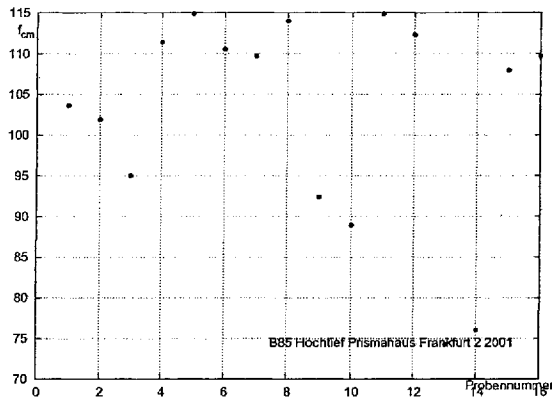


(e) Weibull-Verteilung

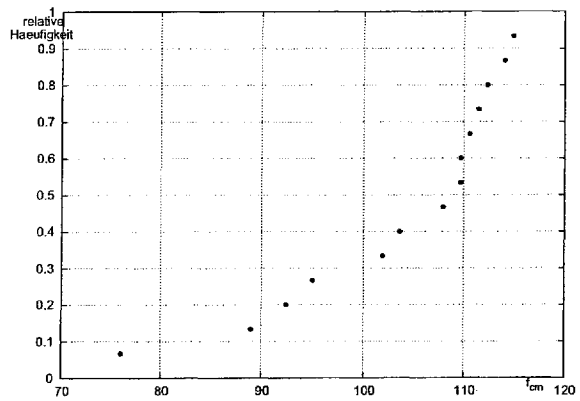
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.0783057850994$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.99540792963209$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 84.5058597408546$ MPa
Anzahl	$n = 44$

(f) gewählte Verteilung

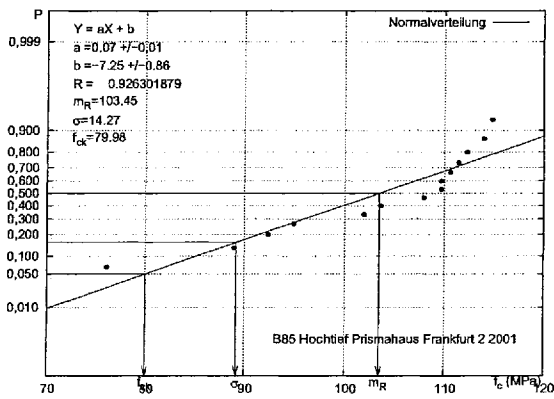
Bild B.80.: B85 B175 Glauchau ÜB Nord 2



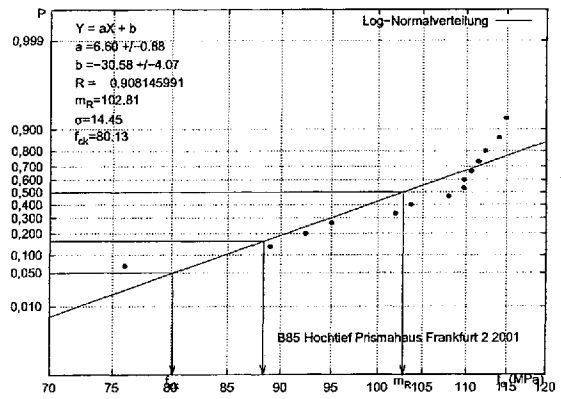
(a) Versuchswerte



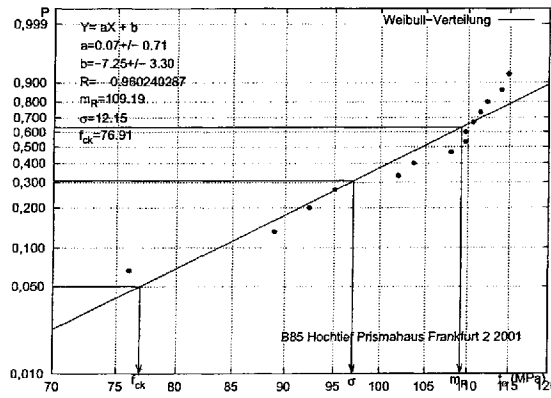
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

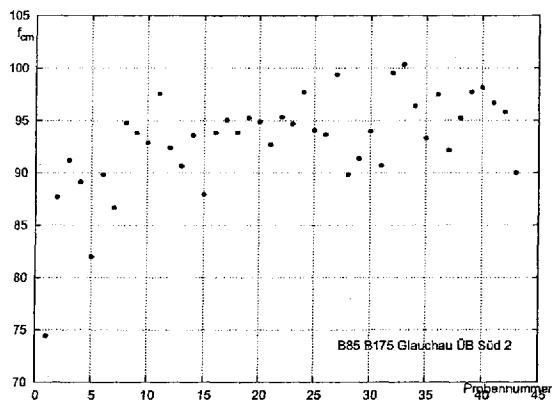


(e) Weibull-Verteilung

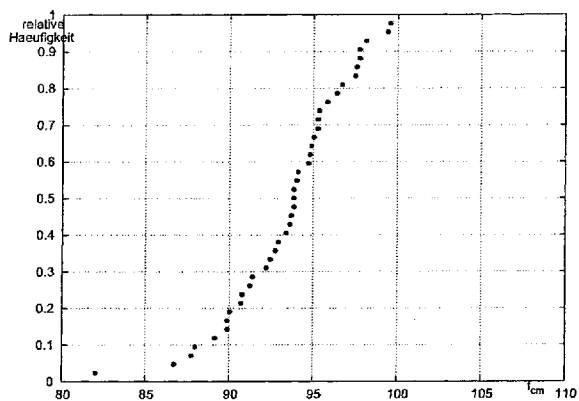
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 109.187898323107$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 12.154001174806$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 76.9057727358912$ MPa
Anzahl	$n = 14$

(f) gewählte Verteilung

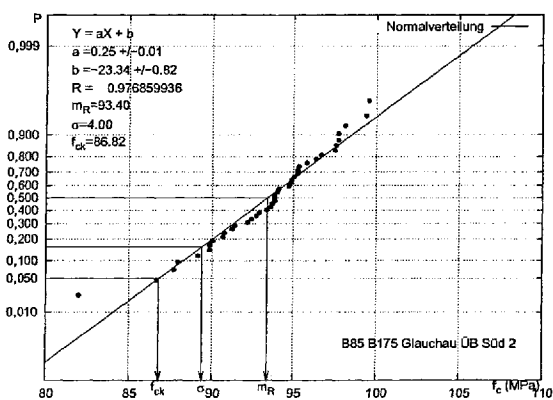
Bild B.81.: B85 Hochtief Prismahaus Frankfurt 2 2001



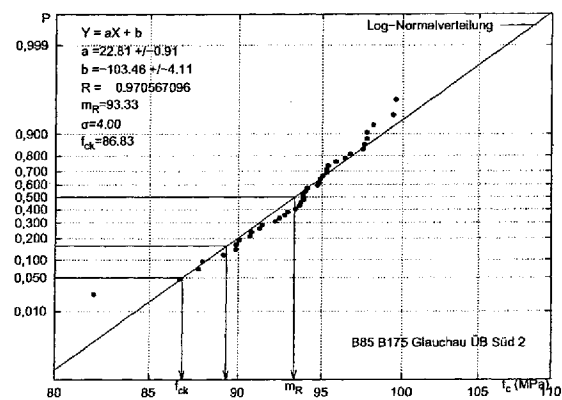
(a) Versuchswerte



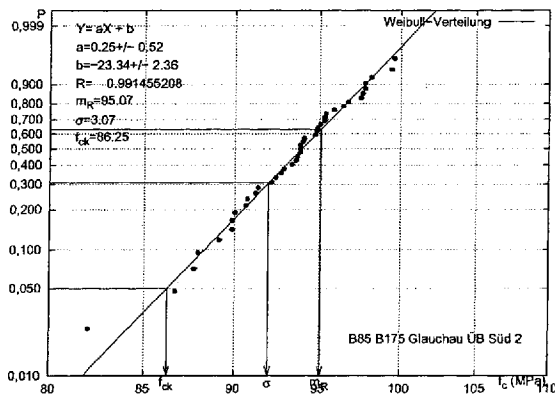
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

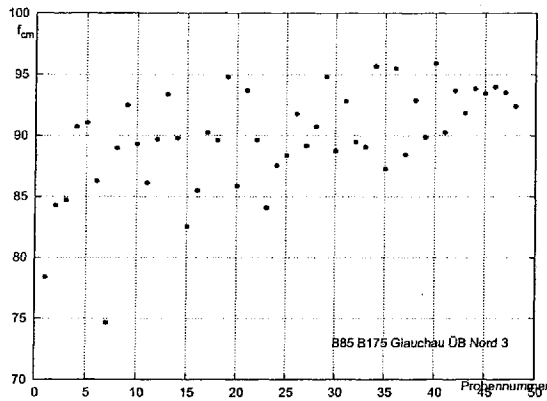


(e) Weibull-Verteilung

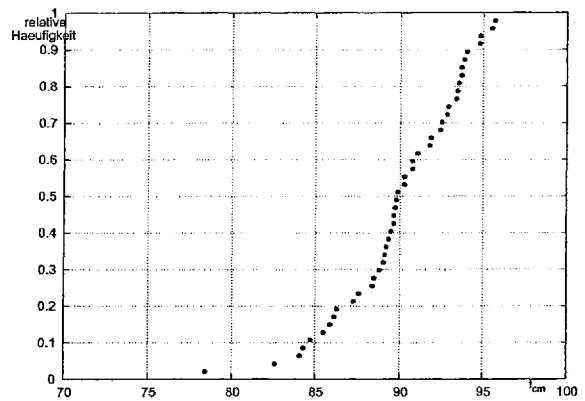
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 95.0680887288214$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.06522945971575$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 86.2504662022823$ MPa
Anzahl	$n = 41$

(f) gewählte Verteilung

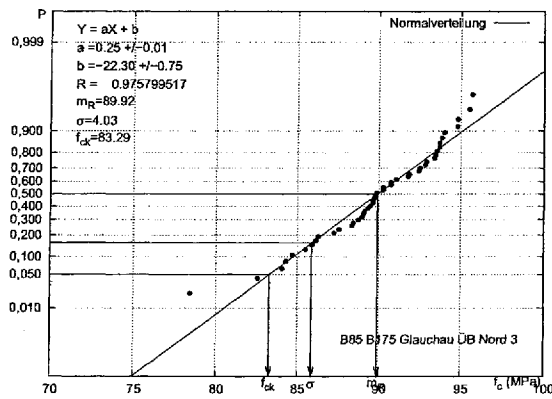
Bild B.82.: B85 B175 Glauchau ÜB Süd 2



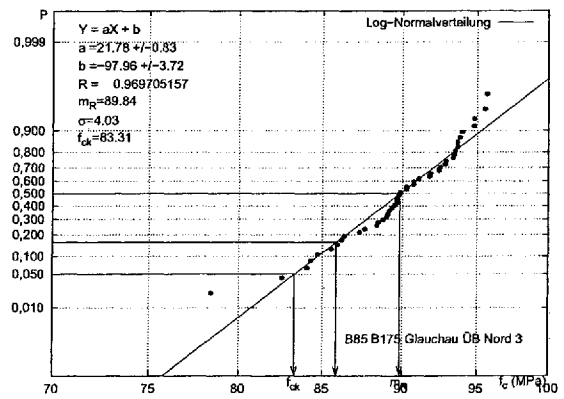
(a) Versuchswerte



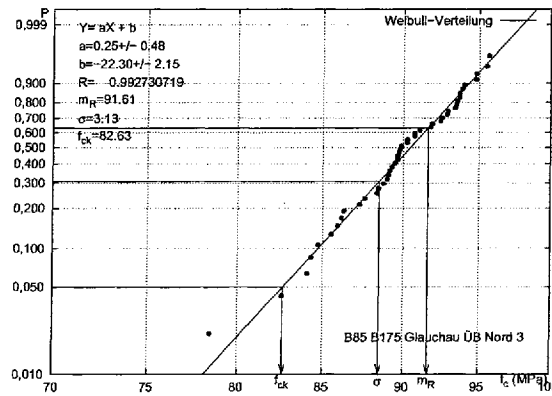
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

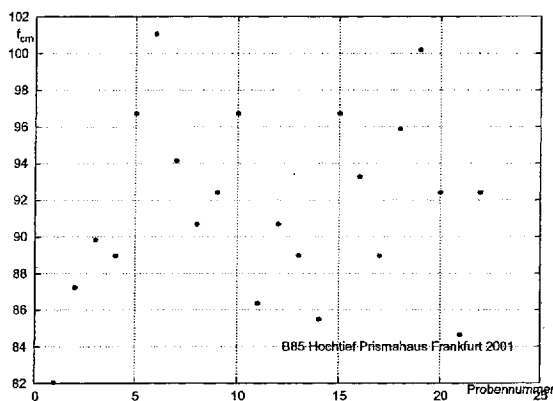


(e) Weibull-Verteilung

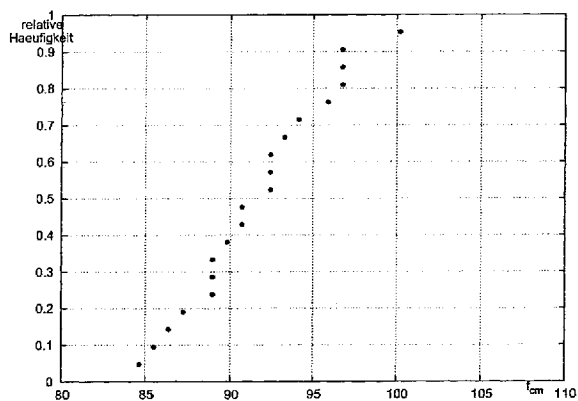
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.6080531540479$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.1254268719521$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 82.6340380761786$ MPa
Anzahl	$n = 46$

(f) gewählte Verteilung

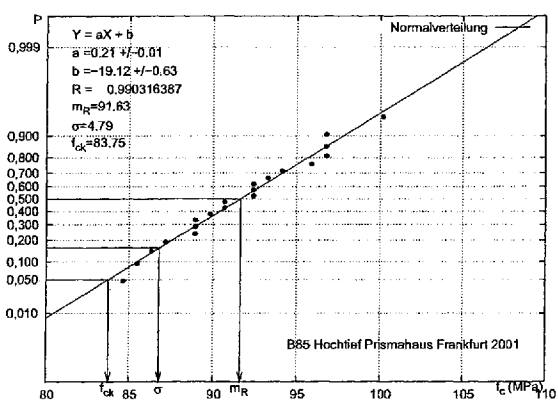
Bild B.83.: B85 B175 Glauchau ÜB Nord 3



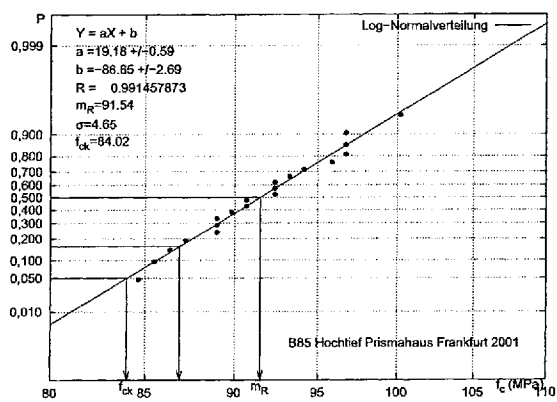
(a) Versuchswerte



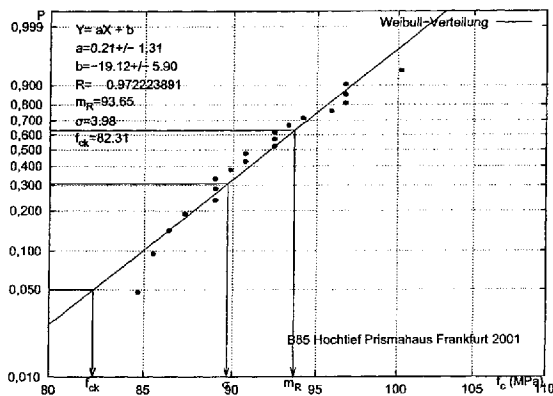
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



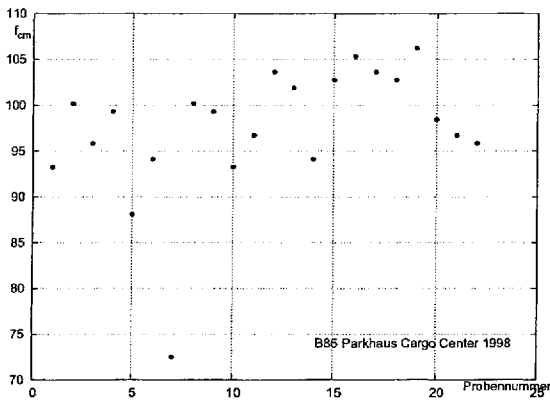
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.5394005361411$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.64939215999752$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 84.0171961449202$ MPa
Anzahl	$n = 20$

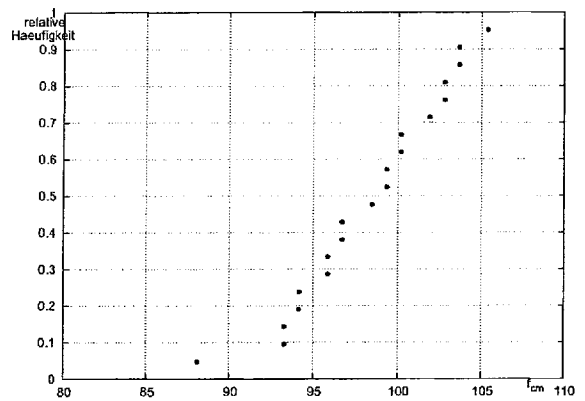
(f) gewählte Verteilung

Bild B.84.: B85 Hochtief Prismahaus Frankfurt 2001

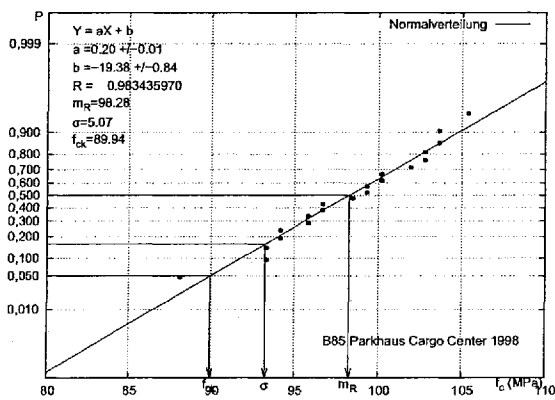




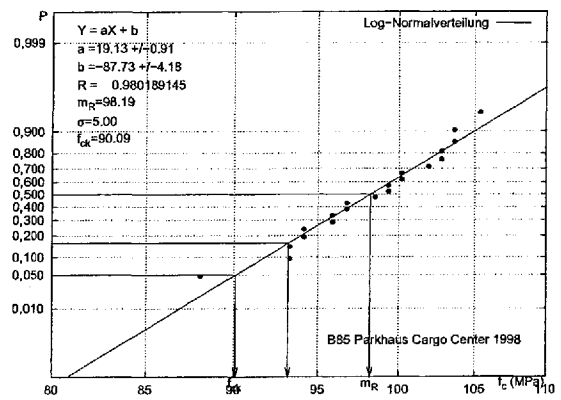
(a) Versuchswerte



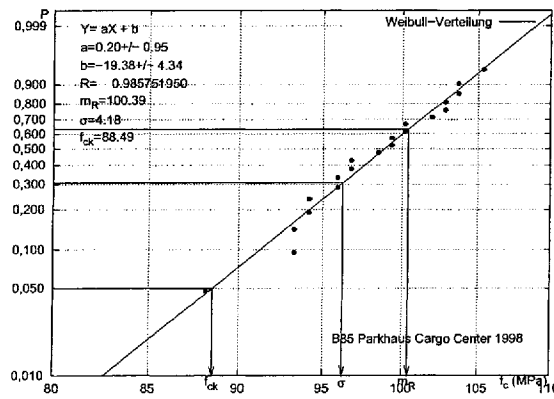
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

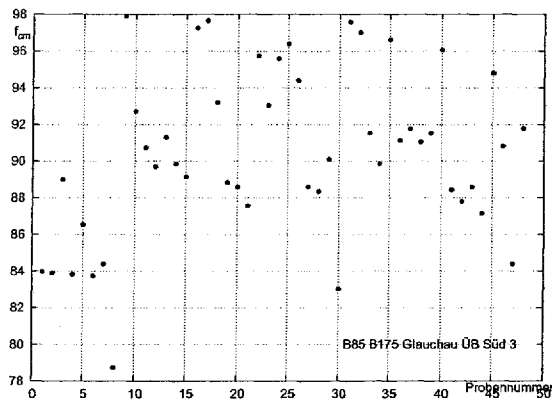


(e) Weibull-Verteilung

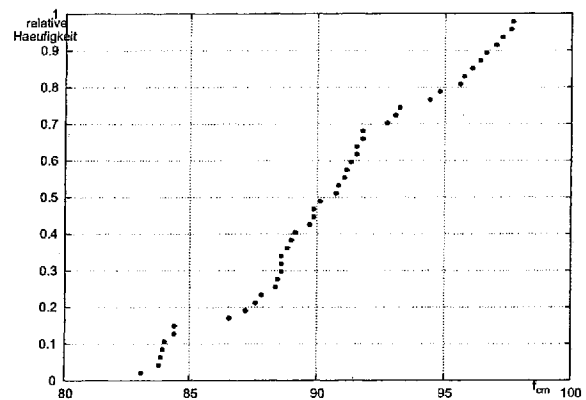
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 100.393824047447$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.1763853228708$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 88.4913820546915$ MPa
Anzahl	$n = 20$

(f) gewählte Verteilung

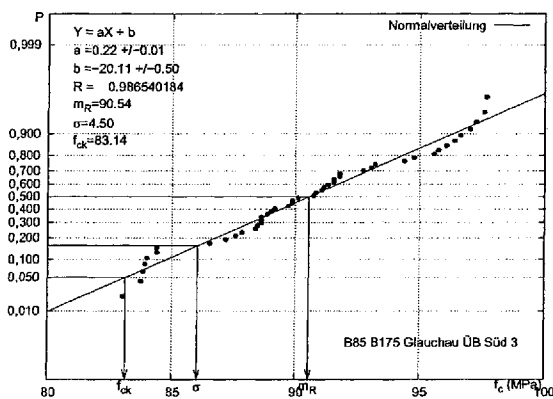
Bild B.85.: B85 Parkhaus Cargo Center 1998



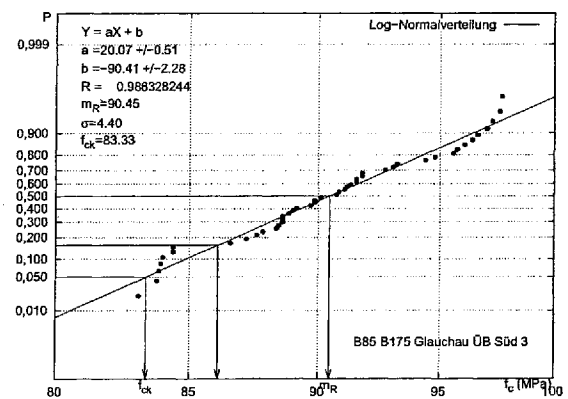
(a) Versuchswerte



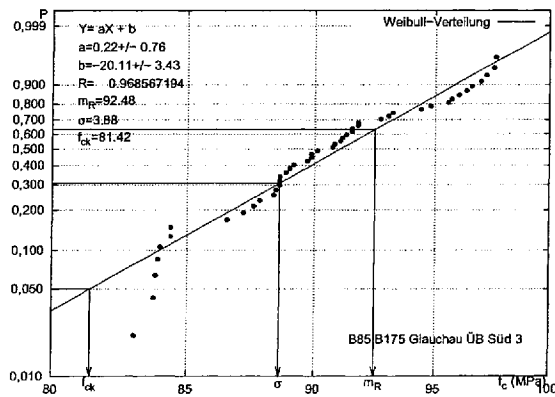
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

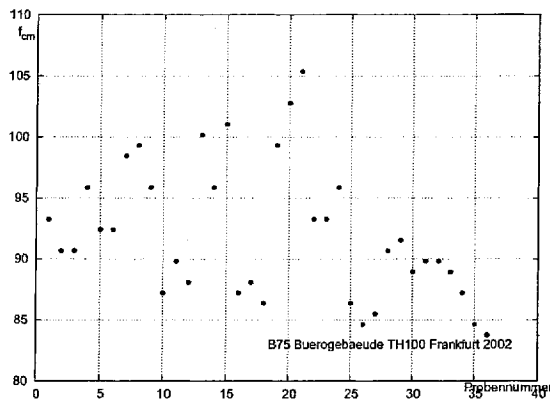


(e) Weibull-Verteilung

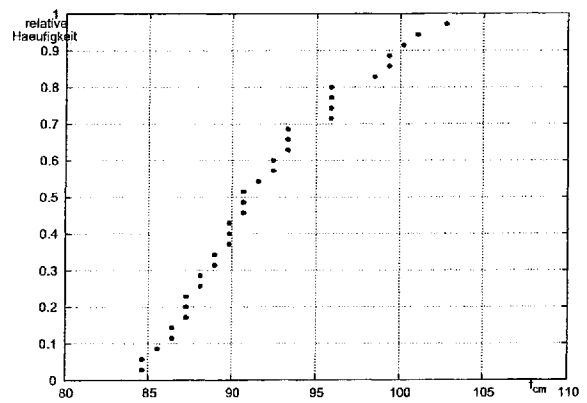
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 90.5434486165885$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.50319491003708$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 83.1356929895775$ MPa
Anzahl	$n = 46$

(f) gewählte Verteilung

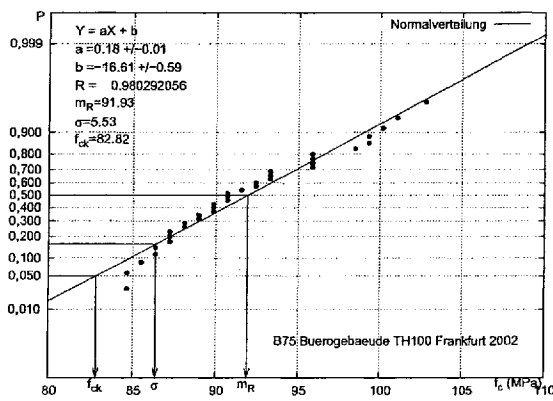
Bild B.86.: B85 B175 Glauchau ÜB Süd 3



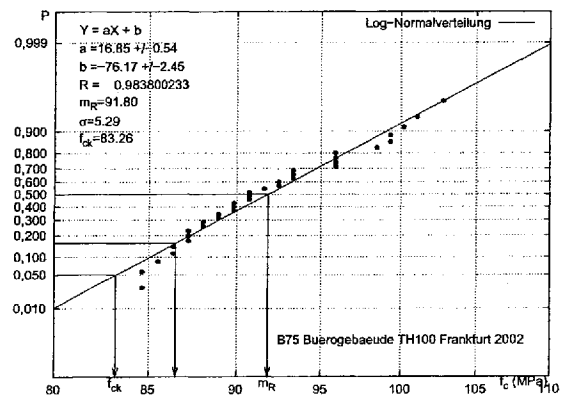
(a) Versuchswerte



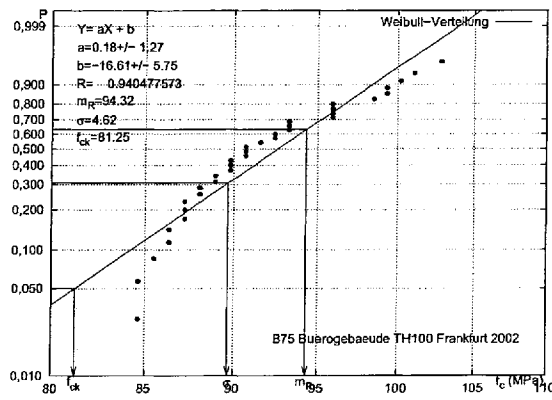
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

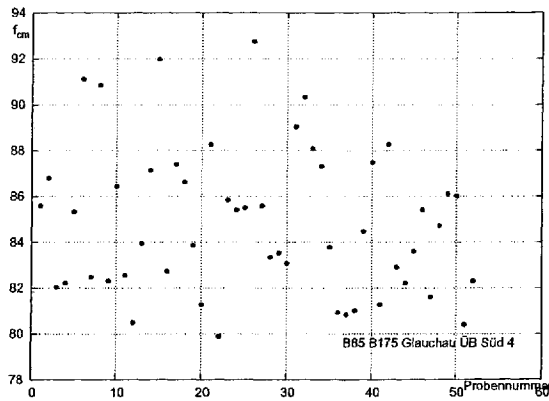


(e) Weibull-Verteilung

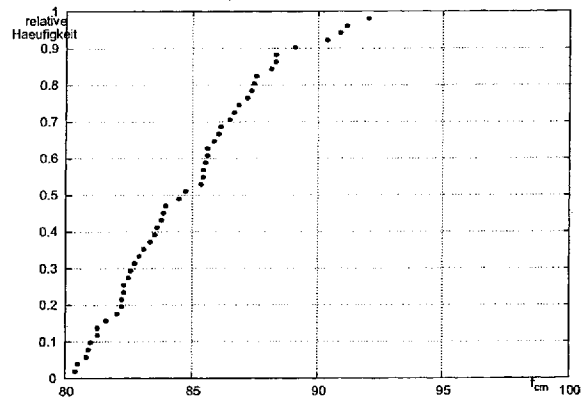
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.7957865108707$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.28823395626526$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 83.2593851844892$ MPa
Anzahl	$n = 34$

(f) gewählte Verteilung

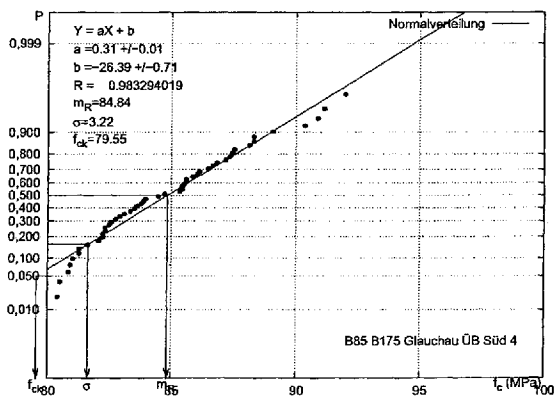
Bild B.87.: B75 Buerogebaeude TH100 Frankfurt 2002



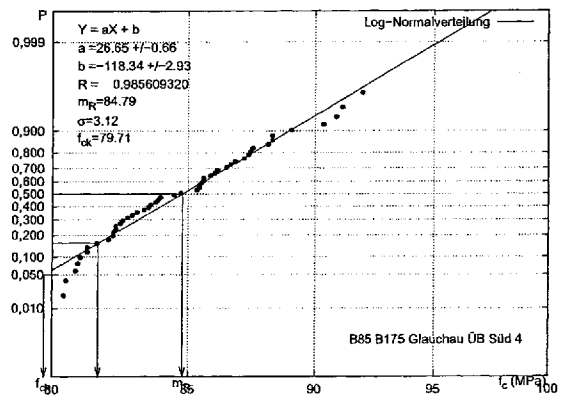
(a) Versuchswerte



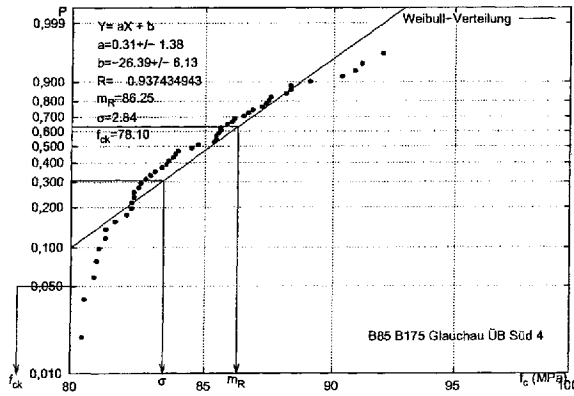
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

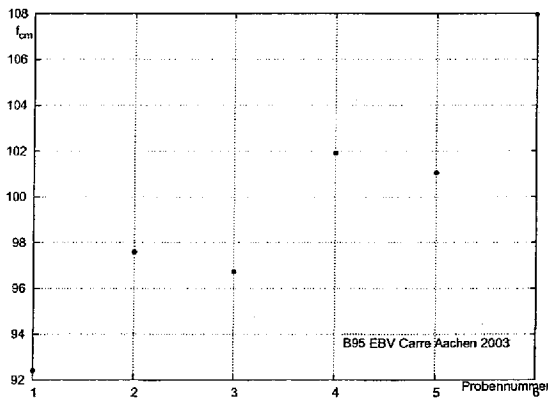


(e) Weibull-Verteilung

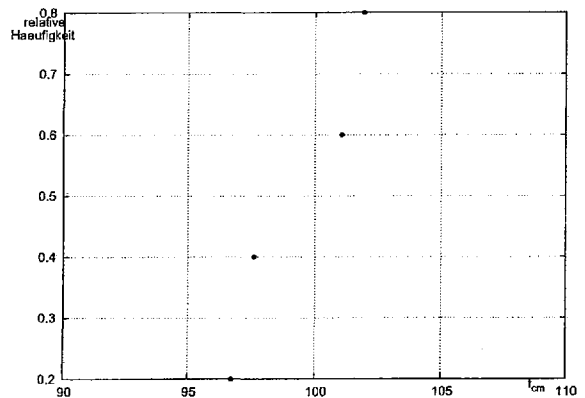
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 84.7860023293748$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.12233807365674$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 79.7110256045364$ MPa
Anzahl	$n = 50$

(f) gewählte Verteilung

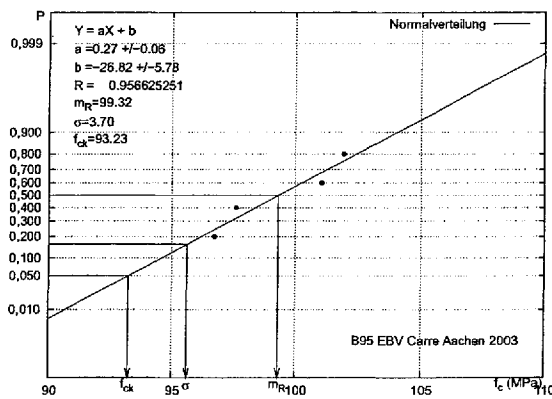
Bild B.88.: B85 B175 Glauchau ÜB Süd 4



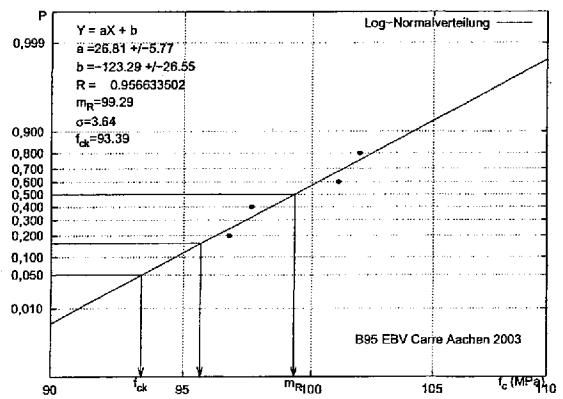
(a) Versuchswerte



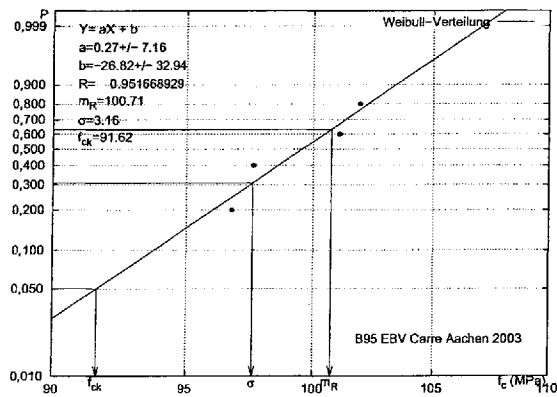
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

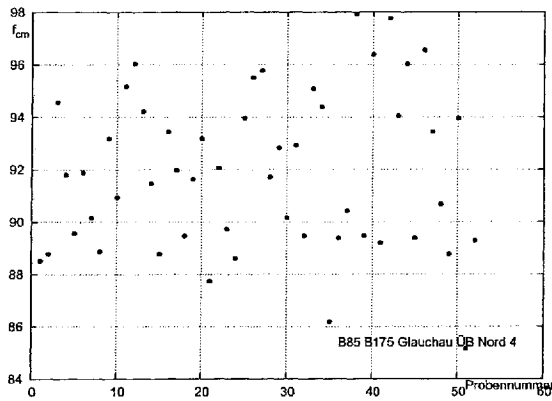


(e) Weibull-Verteilung

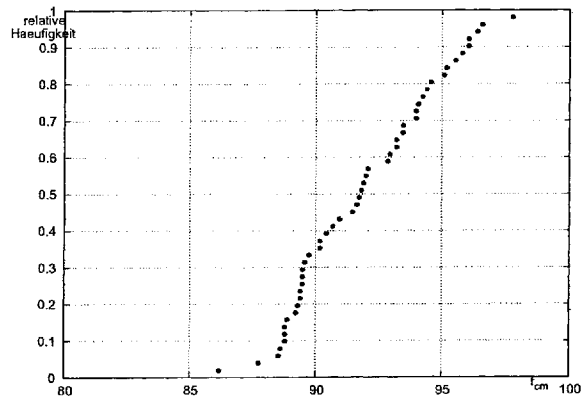
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 99.2937708158923$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.63504684354197$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 93.3850266559703$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

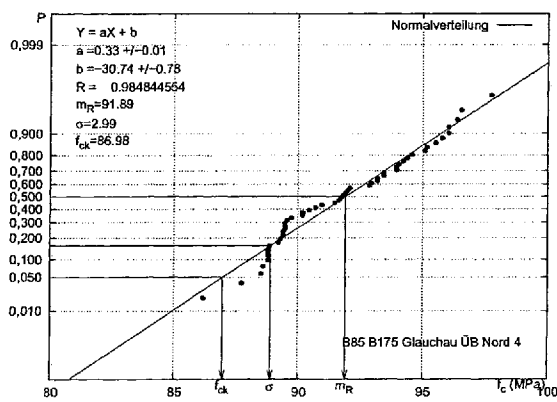
Bild B.89.: B95 EBV Carre Aachen 2003



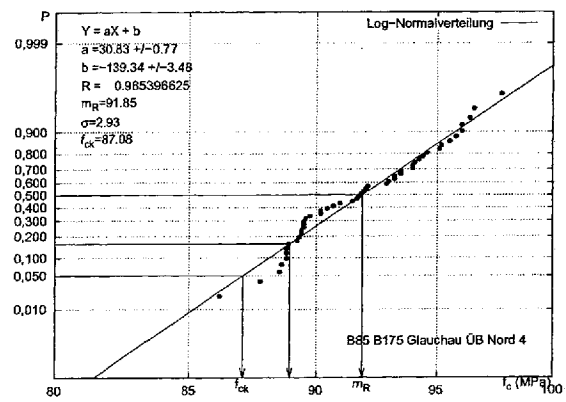
(a) Versuchswerte



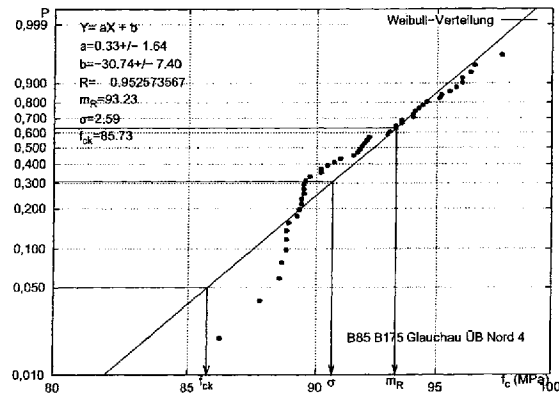
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

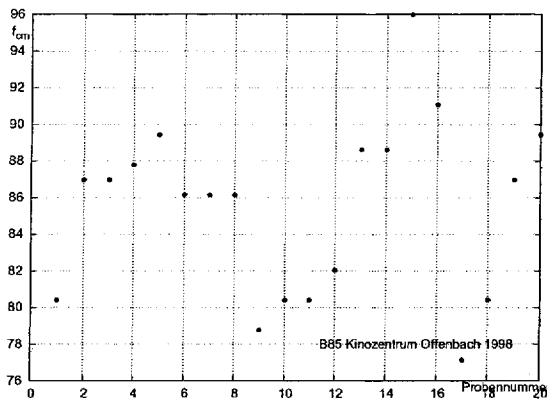


(e) Weibull-Verteilung

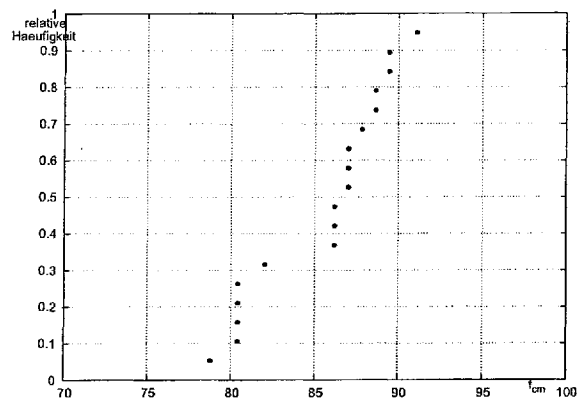
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.8534543641116$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.93197901941721$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 87.0801887725013$ MPa
Anzahl	$n = 50$

(f) gewählte Verteilung

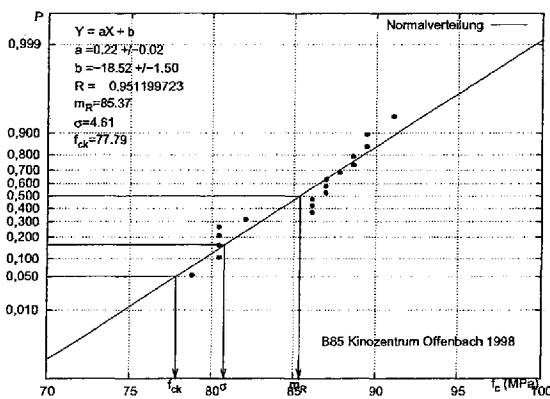
Bild B.90.: B85 B175 Glauchau ÜB Nord 4



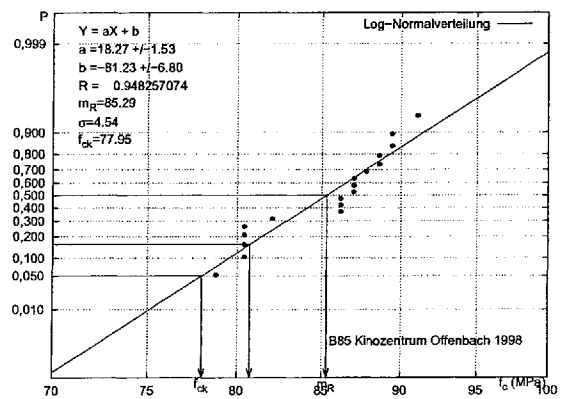
(a) Versuchswerte



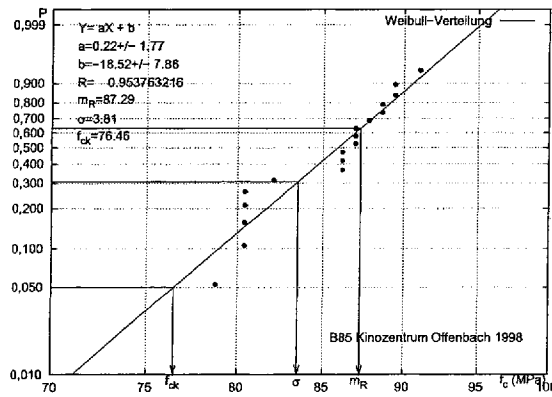
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

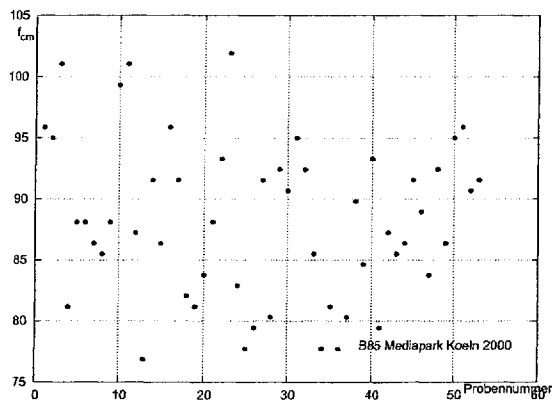


(e) Weibull-Verteilung

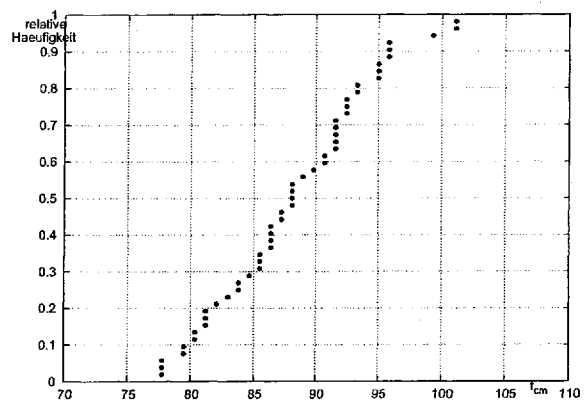
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 87.2880089657319$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.80554023533139$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 76.4640777511515$ MPa
Anzahl	$n = 18$

(f) gewählte Verteilung

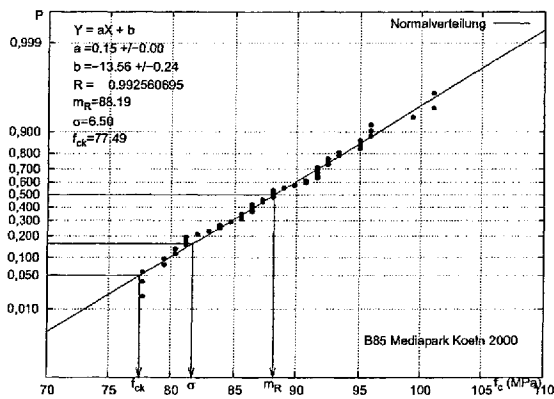
Bild B.91.: B85 Kinozentrum Offenbach 1998



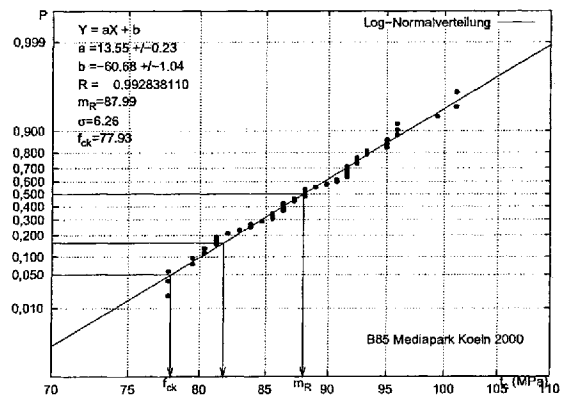
(a) Versuchswerte



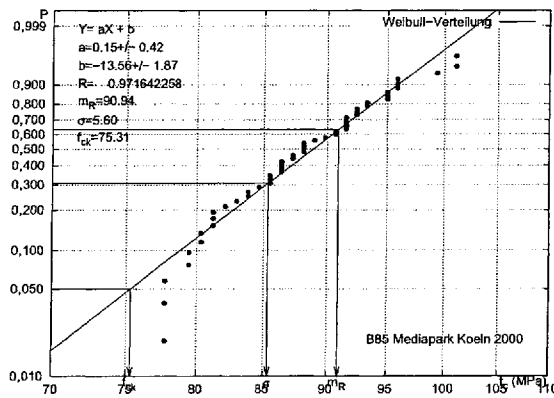
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



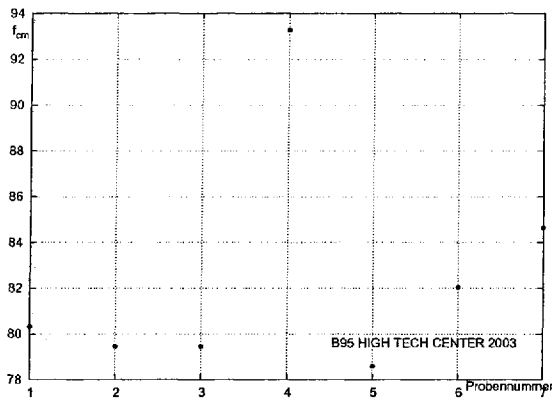
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 87.9865742794353$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 6.25803761402693$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 77.9302717380095$ MPa
Anzahl	$n = 51$

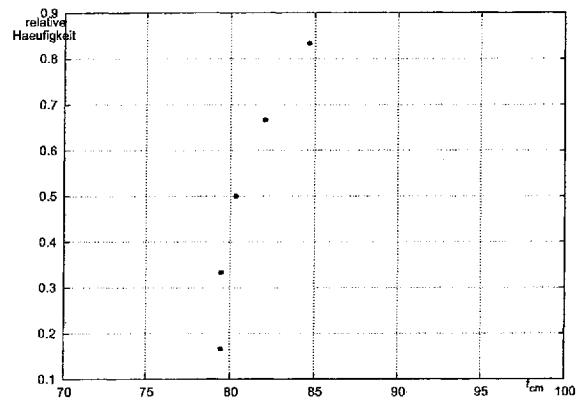
(f) gewählte Verteilung

Bild B.92.: B85 Mediapark Koeln 2000

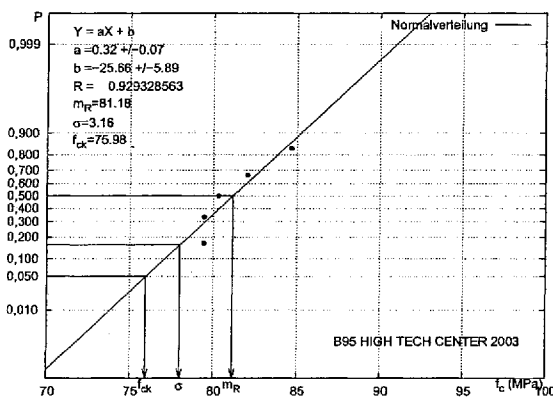




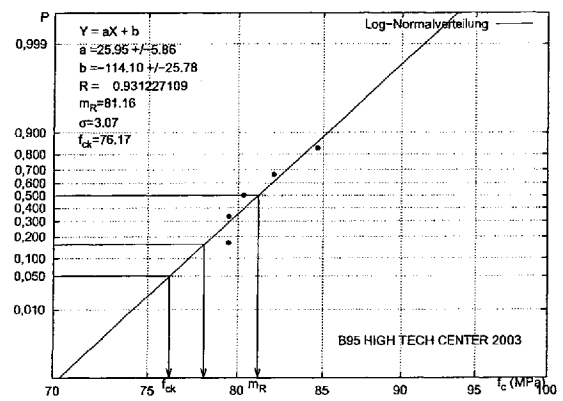
(a) Versuchswerte



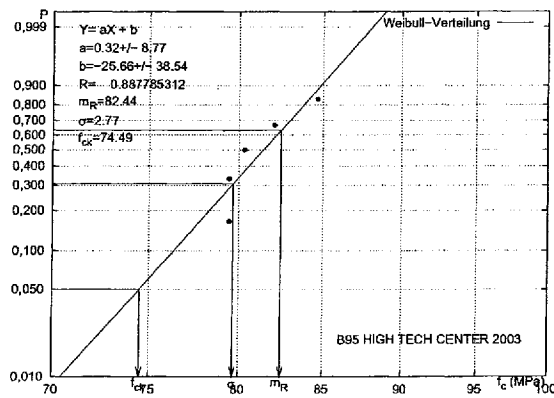
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

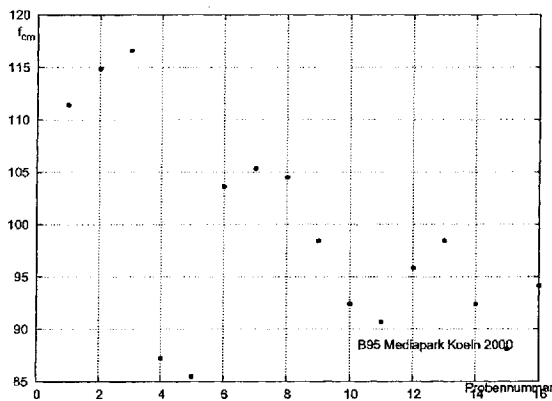


(e) Weibull-Verteilung

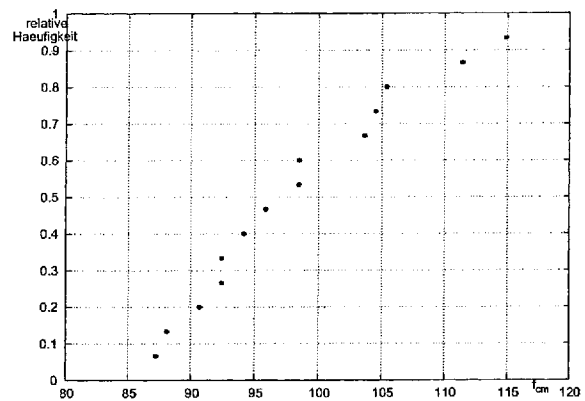
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 81.1582318963085$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.06763655528778$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 76.1737620457589$ MPa
Anzahl	$n = 5$

(f) gewählte Verteilung

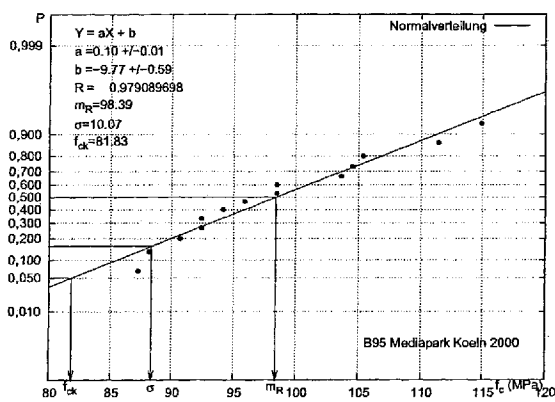
Bild B.93.: B95 HIGH TECH CENTER 2003



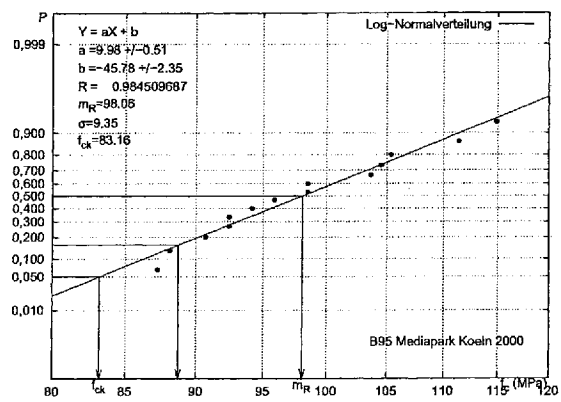
(a) Versuchswerte



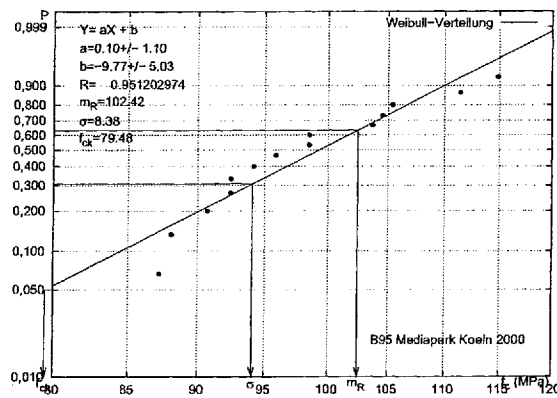
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

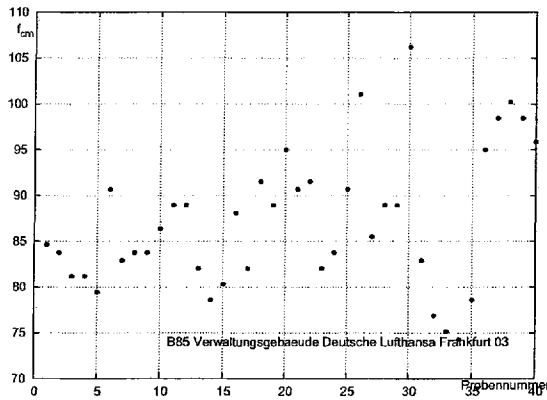


(e) Weibull-Verteilung

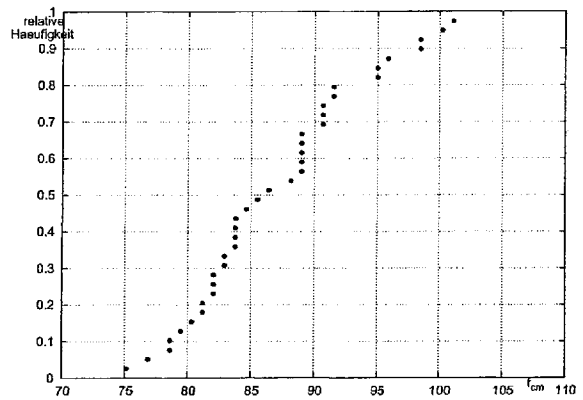
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 98.0592228717159$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 9.34666398520021$ MPa
5%-Fraktilewert	$f_{ck} = 83.1621008211044$ MPa
Anzahl	$n = 14$

(f) gewählte Verteilung

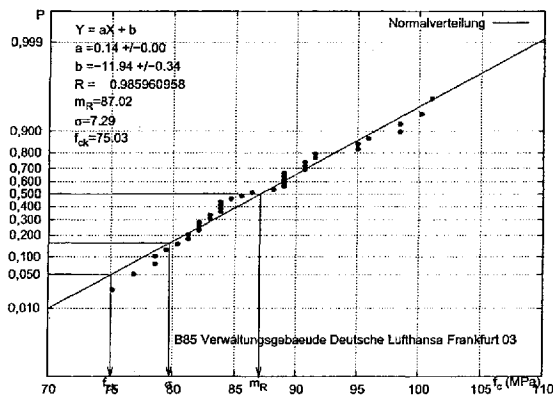
Bild B.94.: B95 Mediapark Koeln 2000



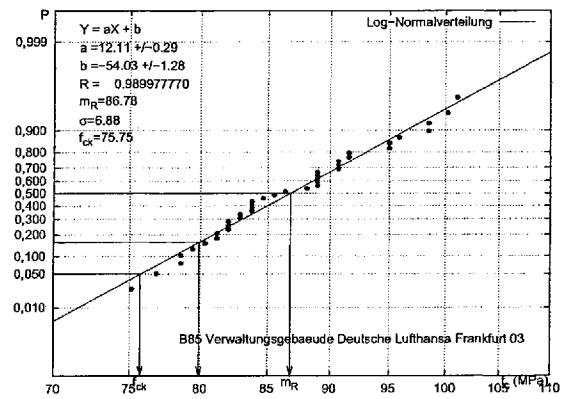
(a) Versuchswerte



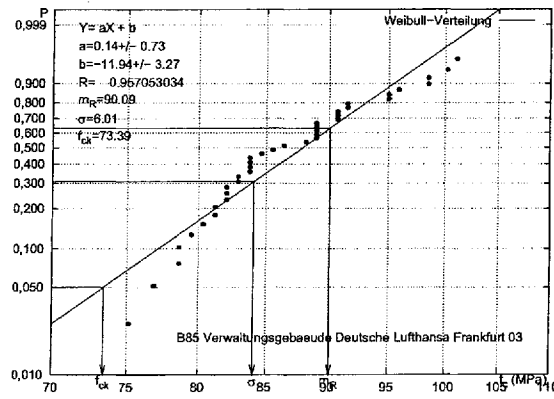
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

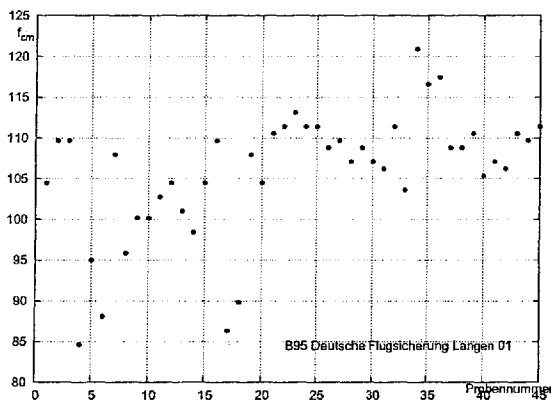


(e) Weibull-Verteilung

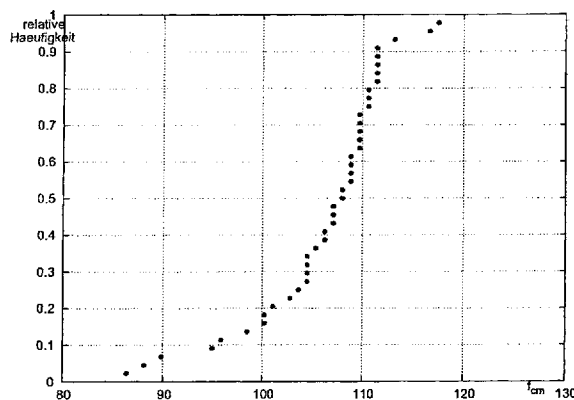
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 87.0227272727273$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 7.53552194005769$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 74.6267936813324$ MPa
Anzahl	$n = 38$

(f) gewählte Verteilung

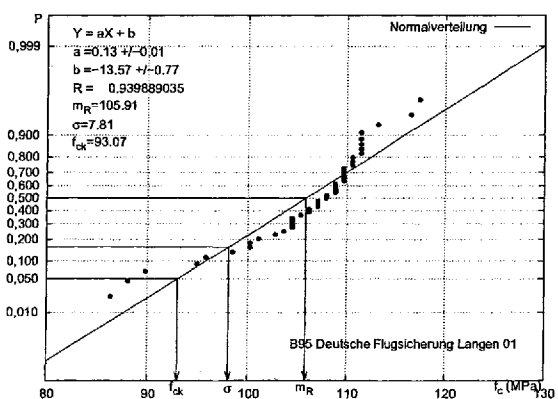
Bild B.95.: B85 Verwaltungsgebäude Deutsche Lufthansa Frankfurt 03



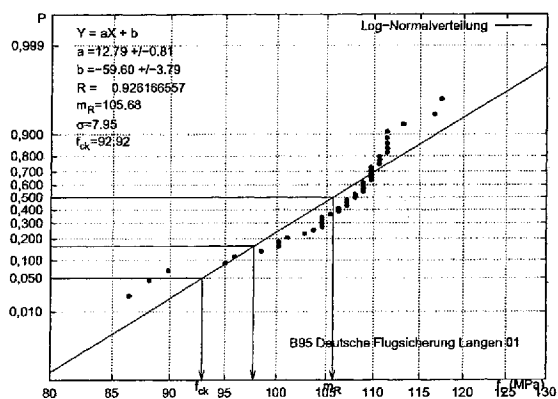
(a) Versuchswerte



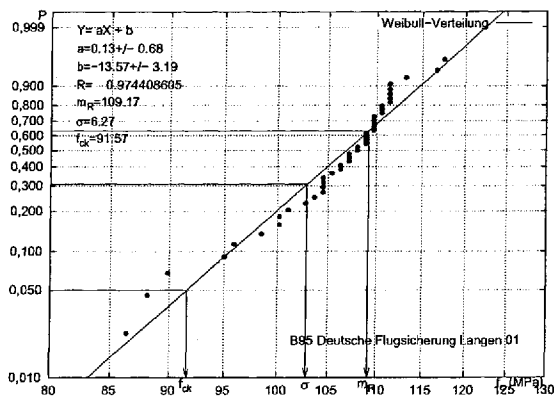
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

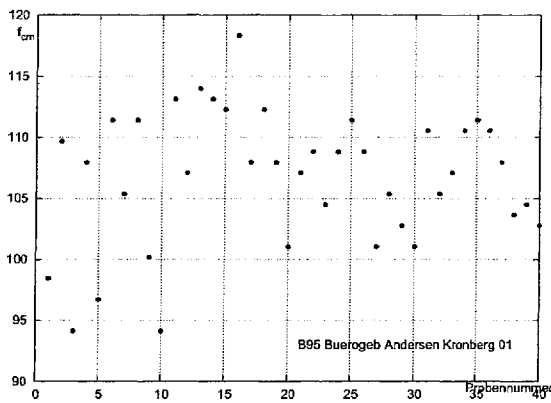


(e) Weibull-Verteilung

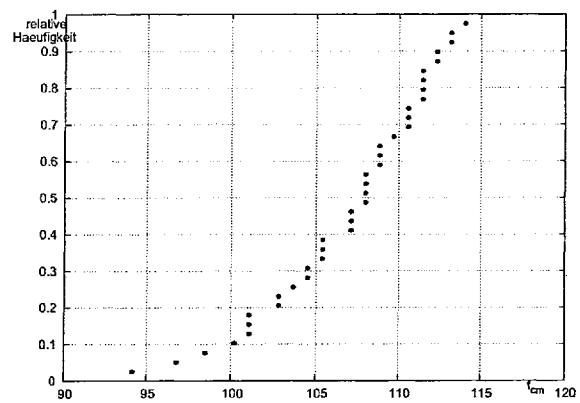
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 109.170104219125$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 6.27423270517772$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 91.5709191023309$ MPa
Anzahl	$n = 43$

(f) gewählte Verteilung

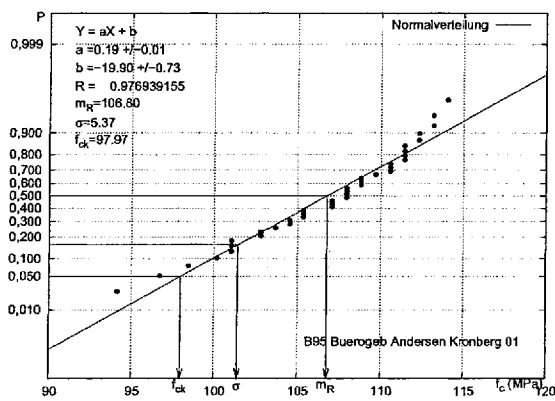
Bild B.96.: B95 Deutsche Flugsicherung Langen 01



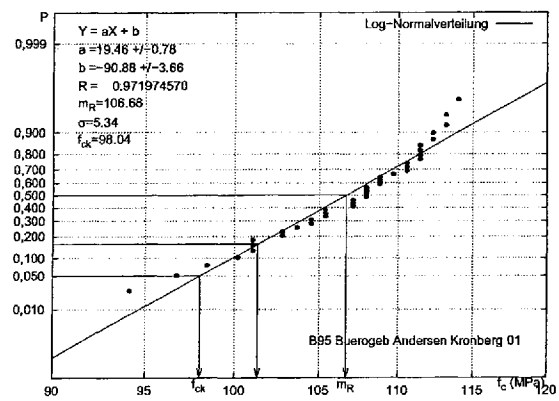
(a) Versuchswerte



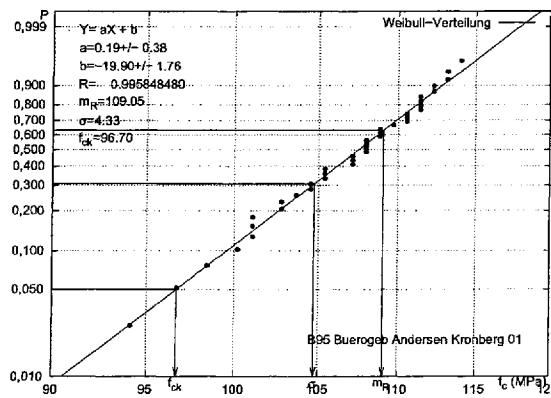
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

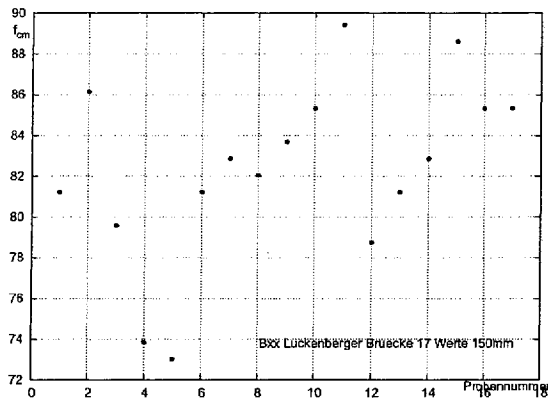


(e) Weibull-Verteilung

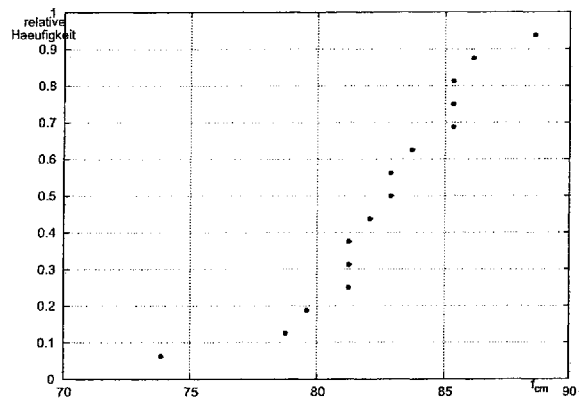
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 109.053777370281$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.32781410308077$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 96.6961661359538$ MPa
Anzahl	$n = 38$

(f) gewählte Verteilung

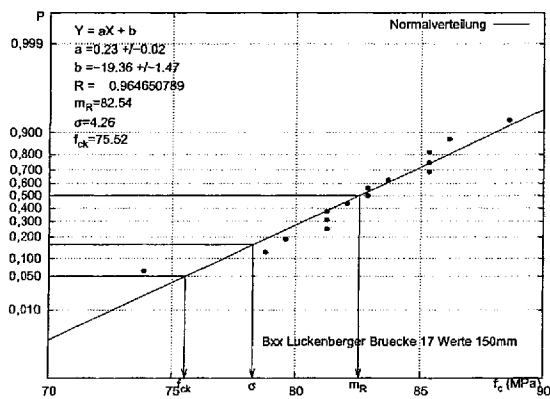
Bild B.97.: B95 Buerogeb Andersen Kronberg 01



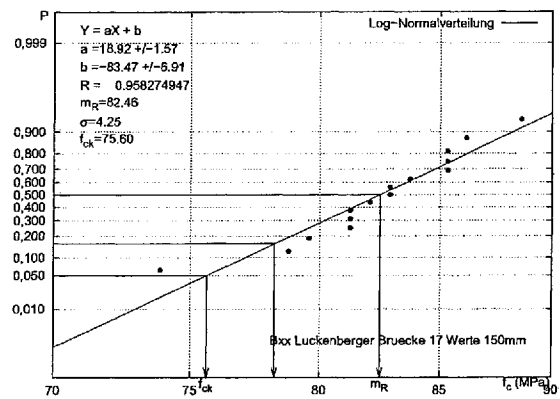
(a) Versuchswerte



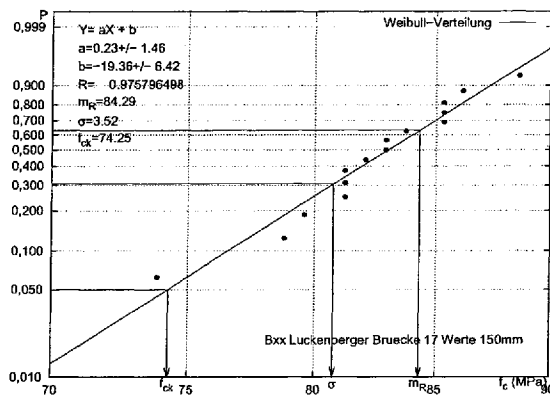
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

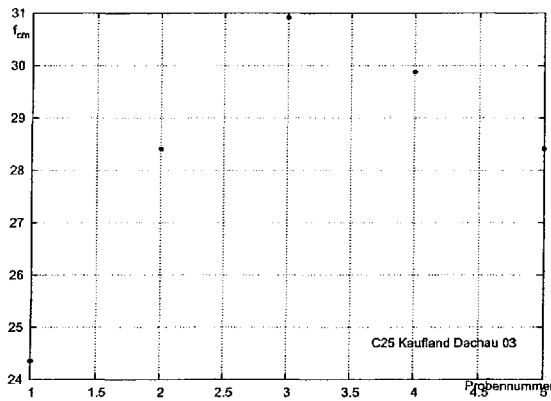


(e) Weibull-Verteilung

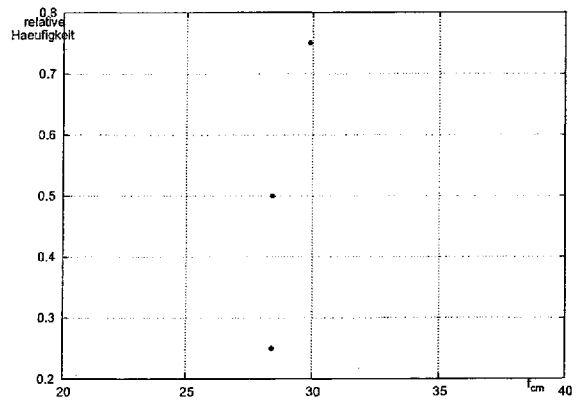
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 84.2895119449955$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.52303626535347$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 74.2510485818616$ MPa
Anzahl	$n = 15$

(f) gewählte Verteilung

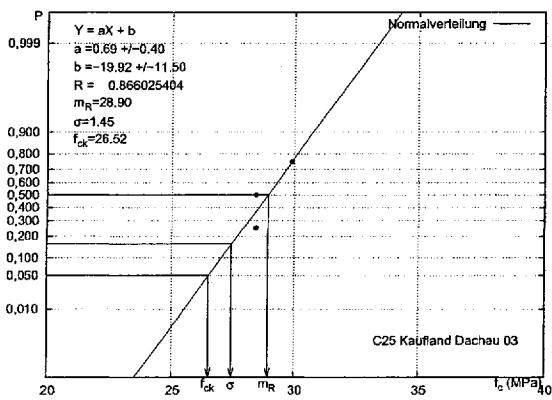
Bild B.98.: Bxx Luckenberger Bruecke 17 Werte 150mm



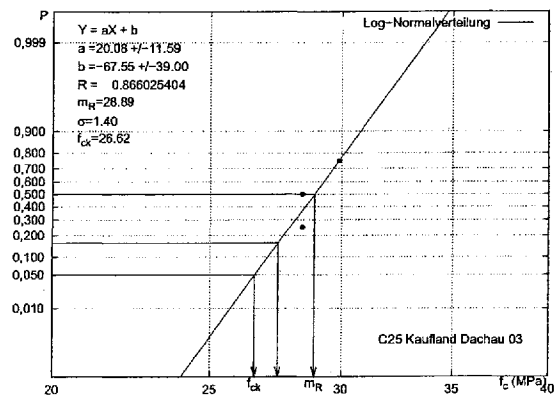
(a) Versuchswerte



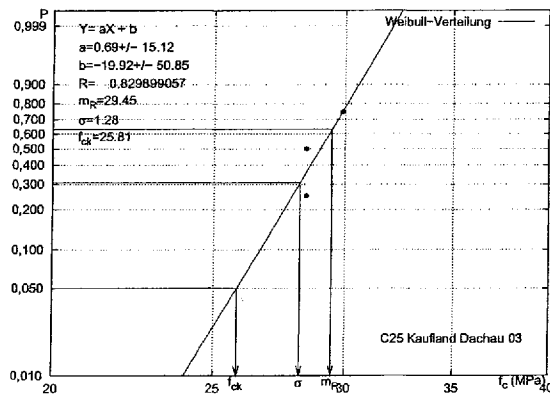
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

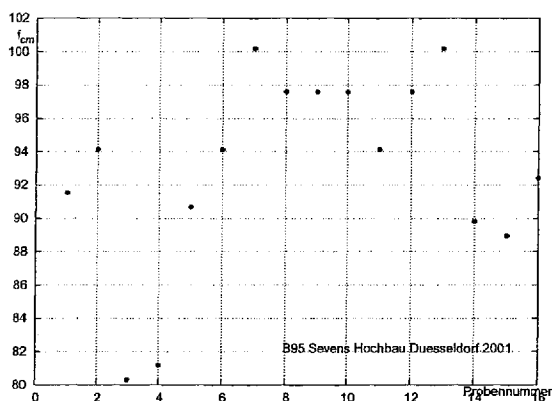


(e) Weibull-Verteilung

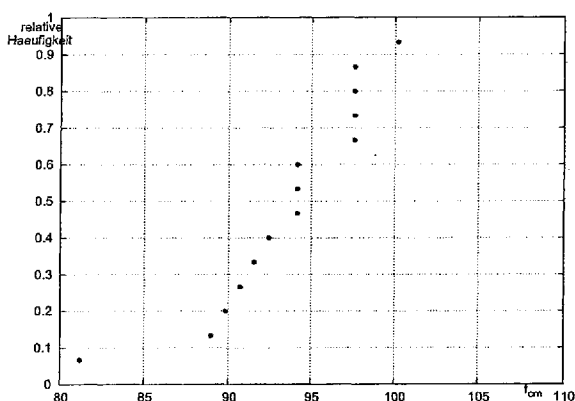
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 28.9030303028371$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.45115309748106$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 26.5158834574807$ MPa
Anzahl	$n = 3$

(f) gewählte Verteilung

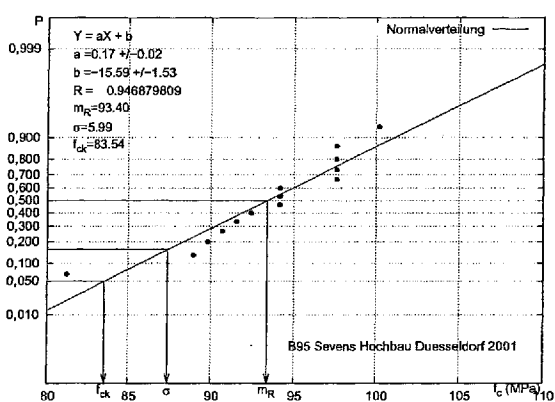
Bild B.99.: C25 Kaufland Dachau 03



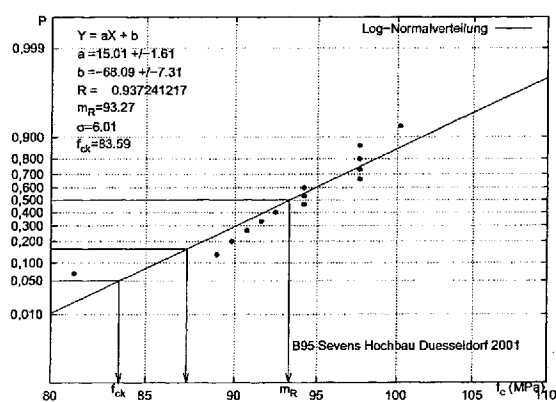
(a) Versuchswerte



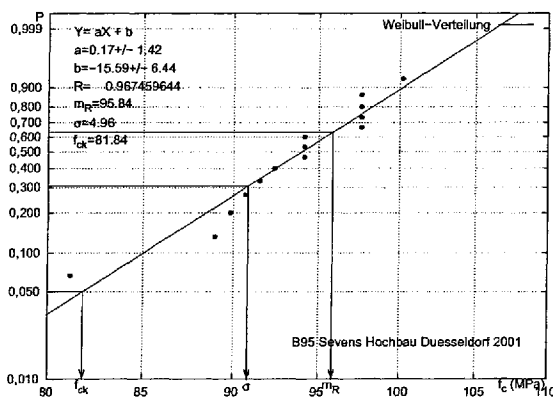
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



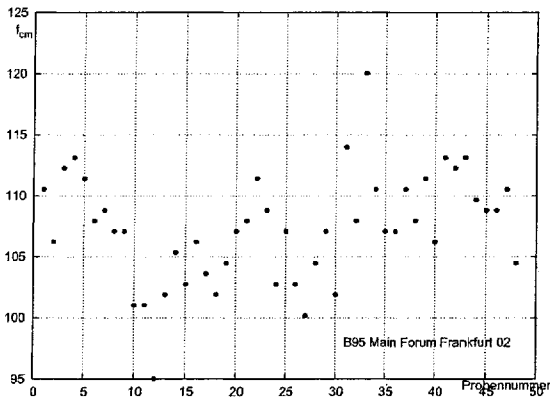
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 95.8360554701251$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.96122134543981$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 81.8399945819237$ MPa
Anzahl	$n = 14$

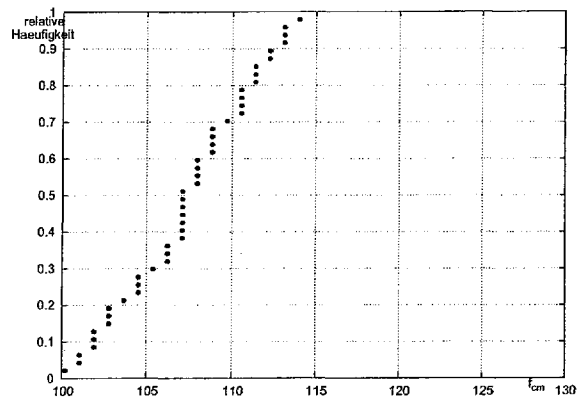
(f) gewählte Verteilung

Bild B.100.: B95 Sevens Hochbau Duesseldorf 2001

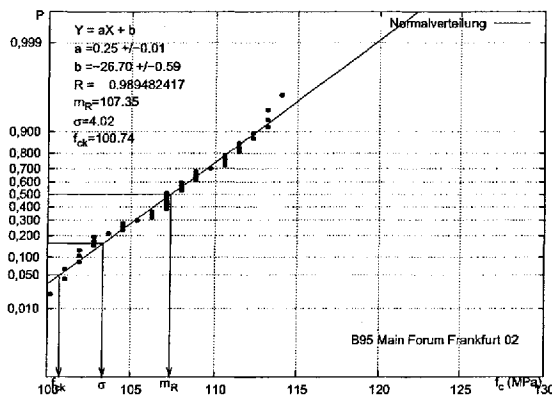




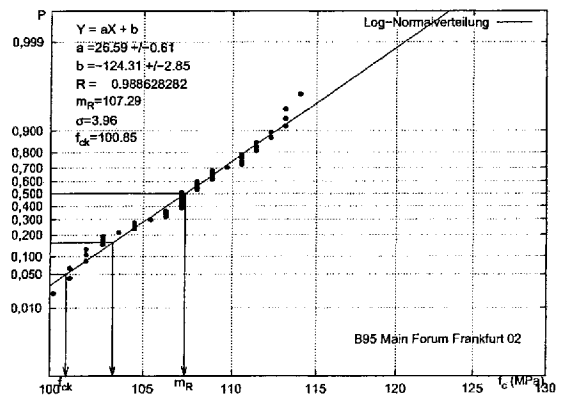
(a) Versuchswerte



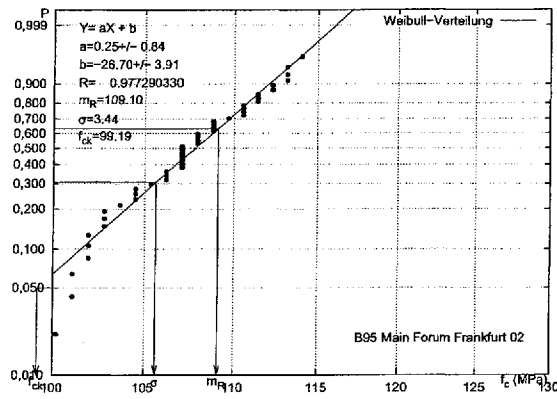
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

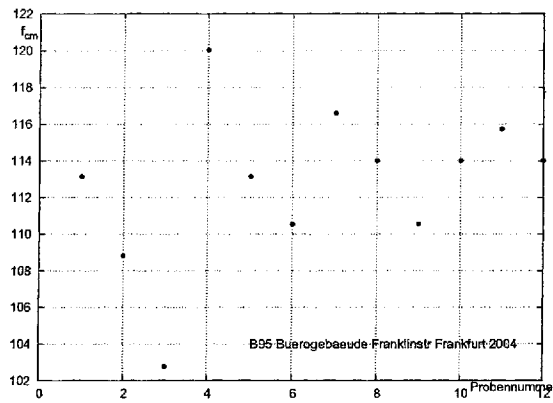


(e) Weibull-Verteilung

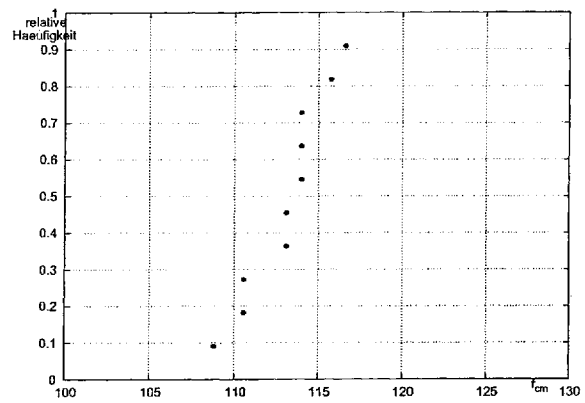
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 107.353754940582$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.02102175760469$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 100.739174149322$ MPa
Anzahl	$n = 46$

(f) gewählte Verteilung

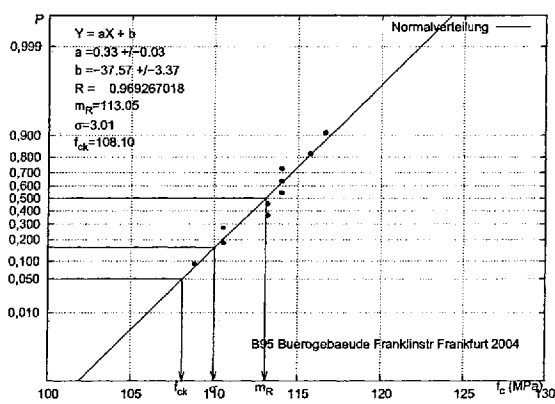
Bild B.101.: B95 Main Forum Frankfurt 02



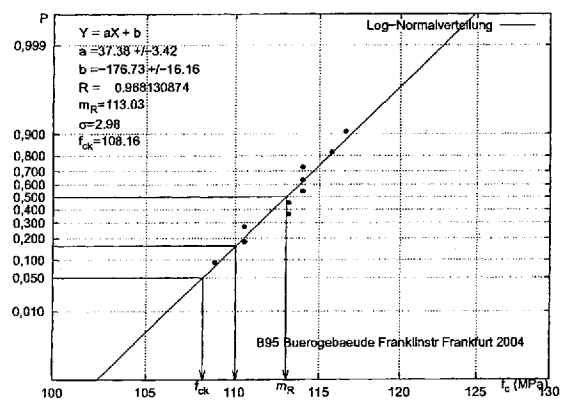
(a) Versuchswerte



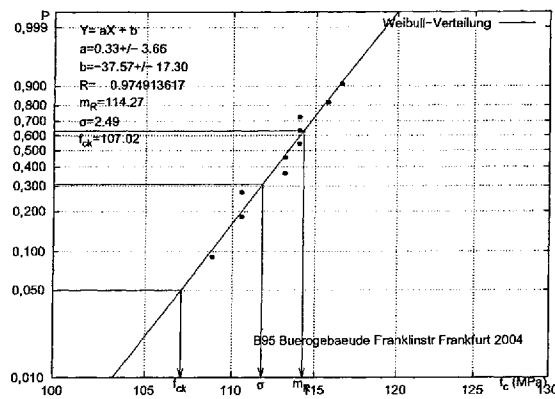
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

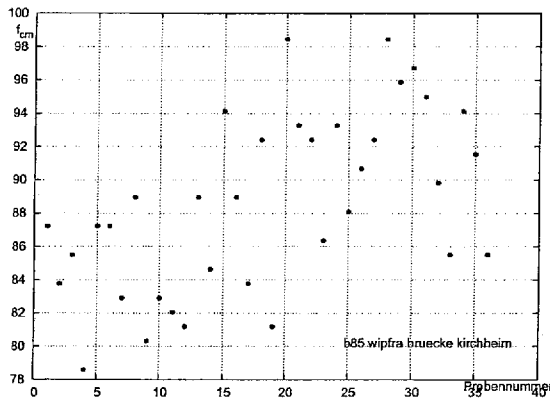


(e) Weibull-Verteilung

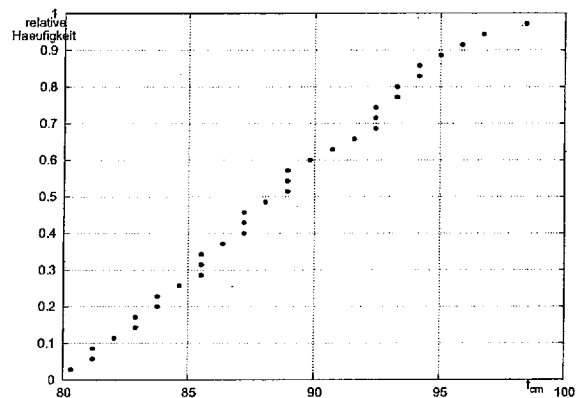
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 114.267718055681$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.49259780080348$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 107.022645107686$ MPa
Anzahl	$n = 10$

(f) gewählte Verteilung

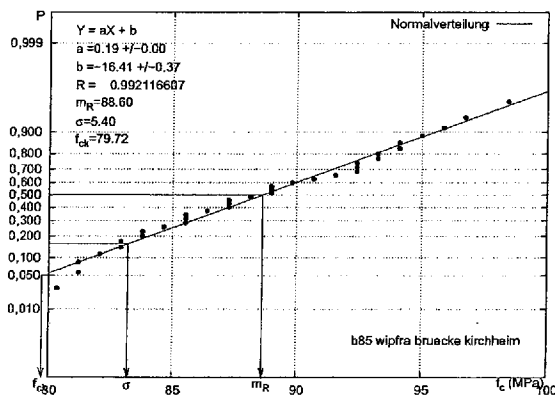
Bild B.102.: B95 Buerogebaeude Franklinstr Frankfurt 2004



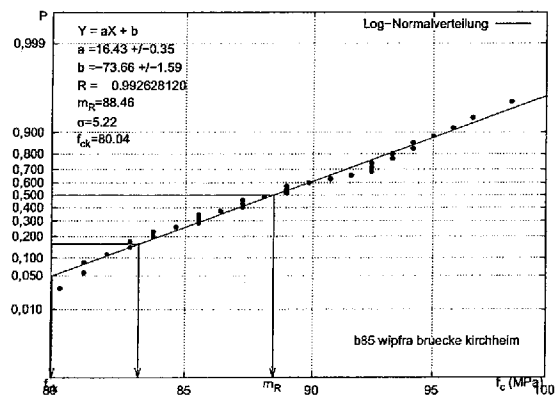
(a) Versuchswerte



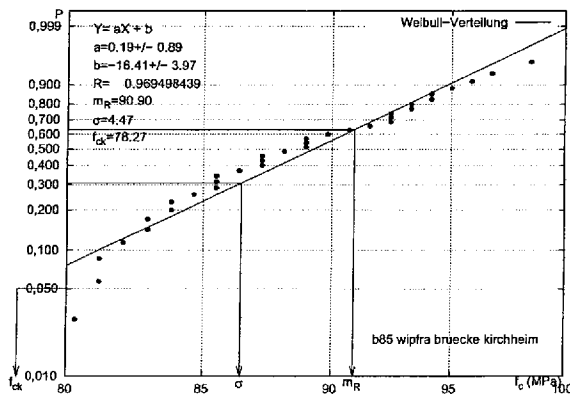
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

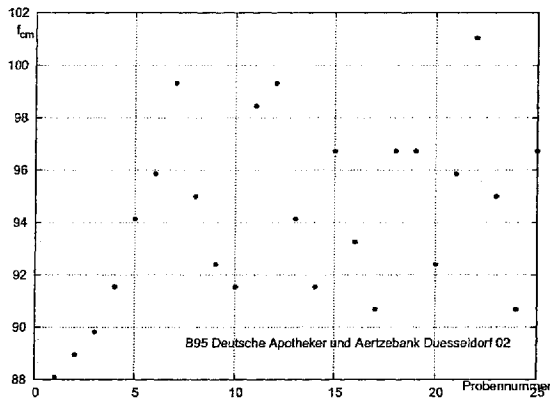


(e) Weibull-Verteilung

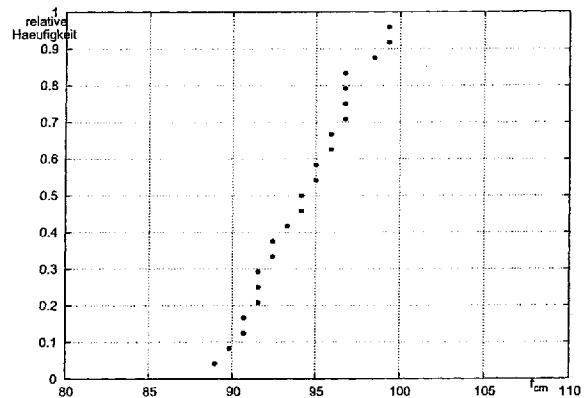
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 88.4649736717415$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.22287961386063$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 80.0380883823118$ MPa
Anzahl	$n = 34$

(f) gewählte Verteilung

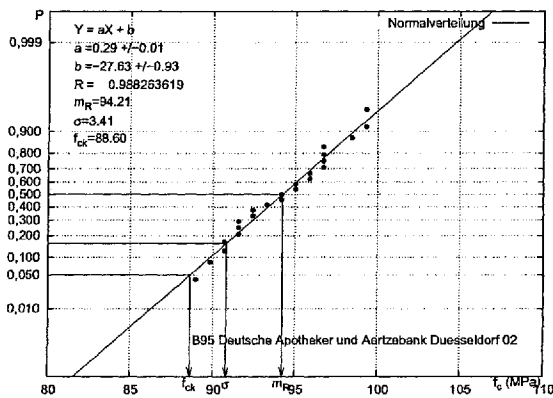
Bild B.103.: b85 wipfra bruecke kirchheim



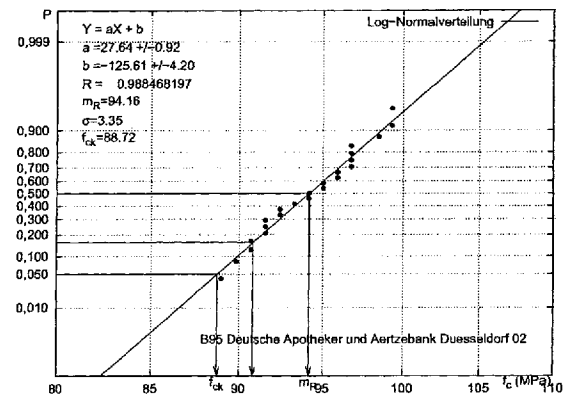
(a) Versuchswerte



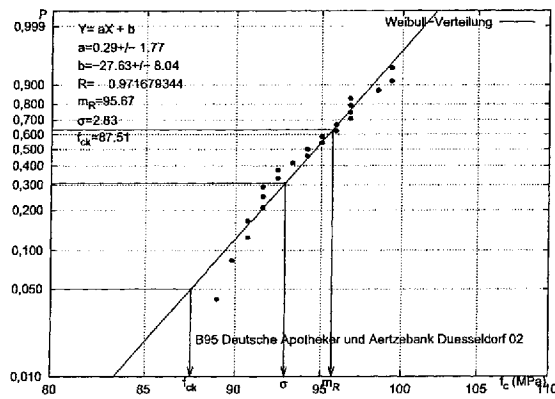
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

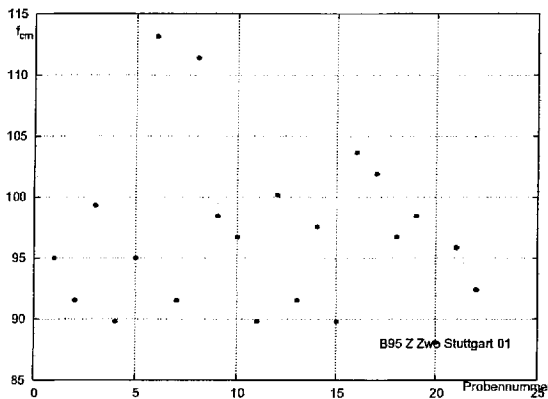


(e) Weibull-Verteilung

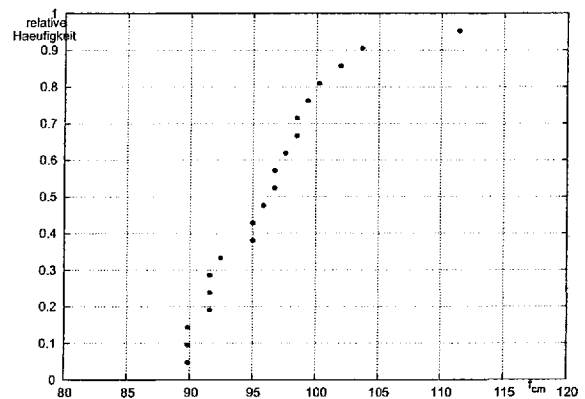
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 94.1646929724555$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.34629684213888$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 88.7233897075629$ MPa
Anzahl	$n = 23$

(f) gewählte Verteilung

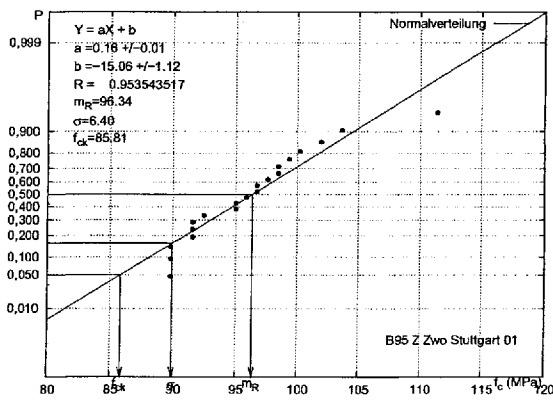
Bild B.104.: B95 Deutsche Apotheker und Aertzebank Duesseldorf 02



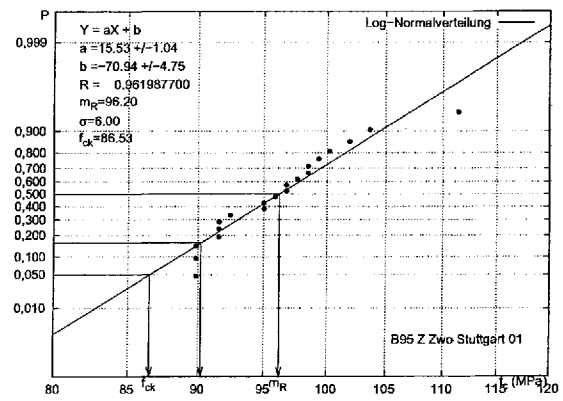
(a) Versuchswerte



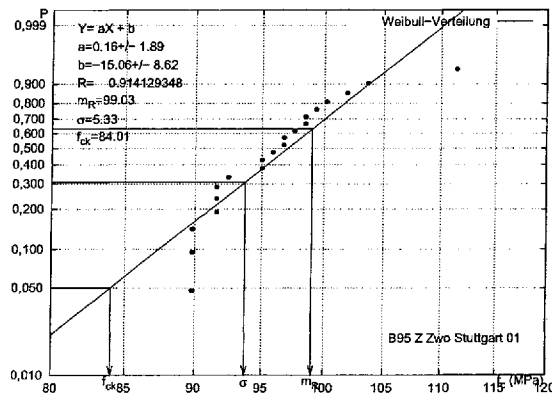
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

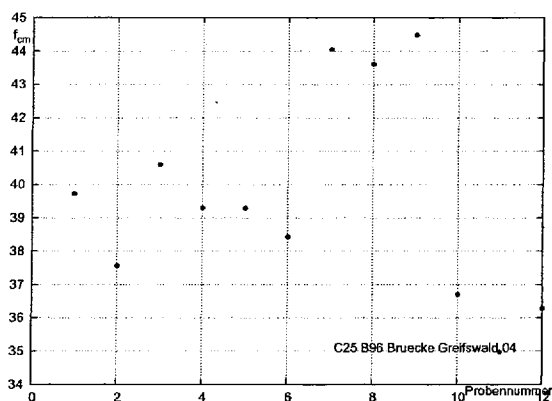


(e) Weibull-Verteilung

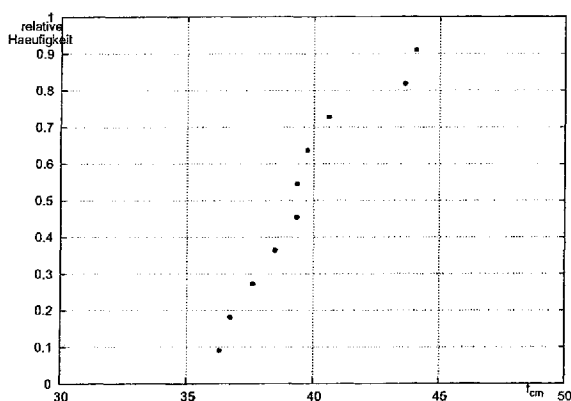
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 96.1973384667009$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.99721332690554$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 86.5317673640337$ MPa
Anzahl	$n = 20$

(f) gewählte Verteilung

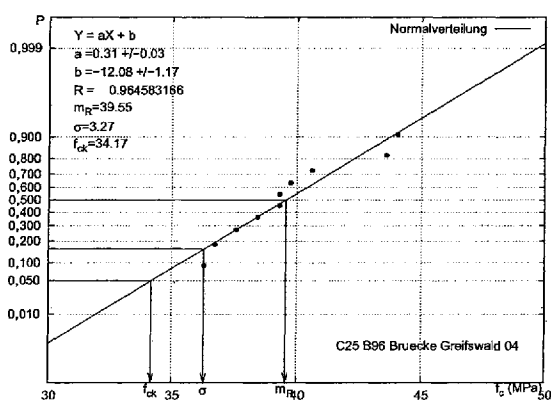
Bild B.105.: B95 Z Zwo Stuttgart 01



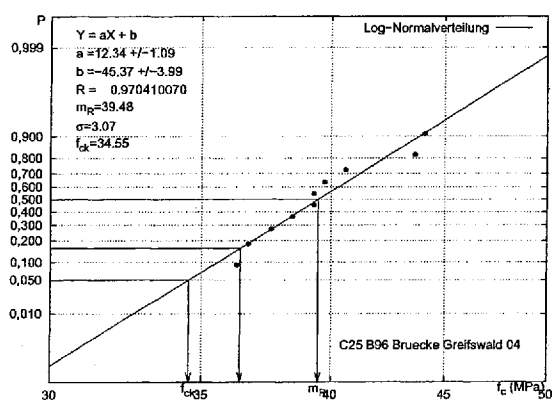
(a) Versuchswerte



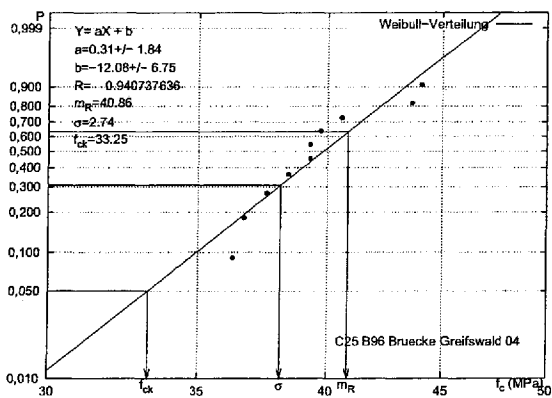
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

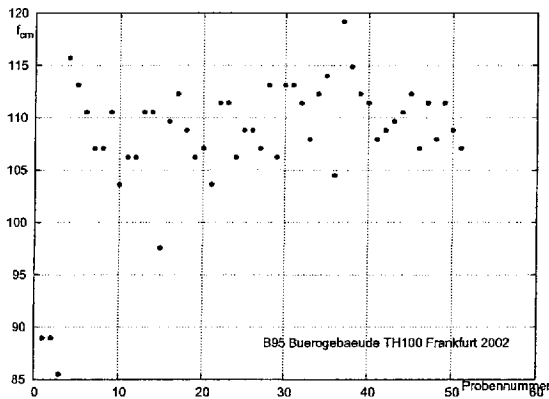


(e) Weibull-Verteilung

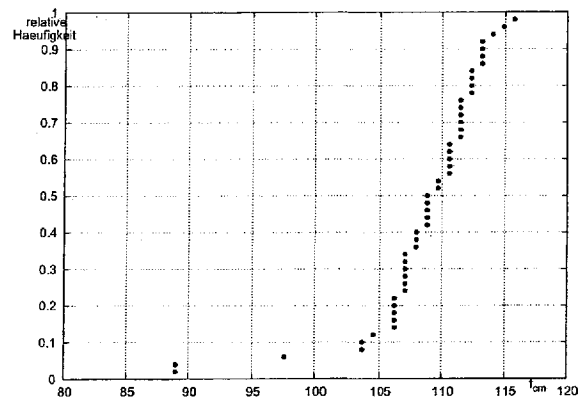
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 39.4778663724027$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.07221217258971$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 34.5521138686359$ MPa
Anzahl	$n = 10$

(f) gewählte Verteilung

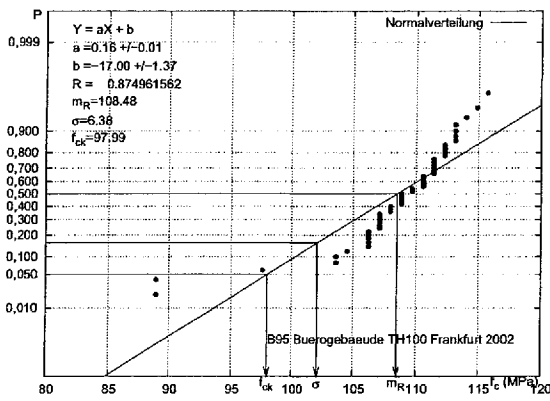
Bild B.106.: C25 B96 Bruecke Greifswald 04



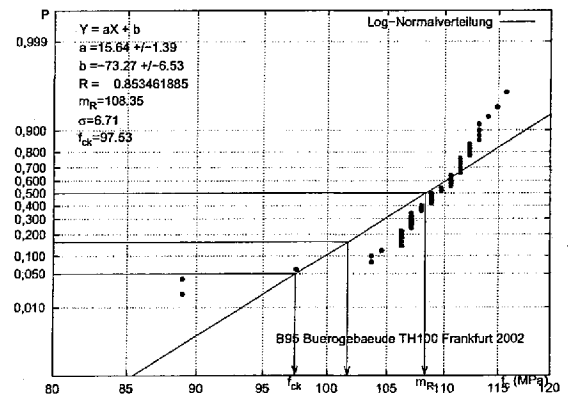
(a) Versuchswerte



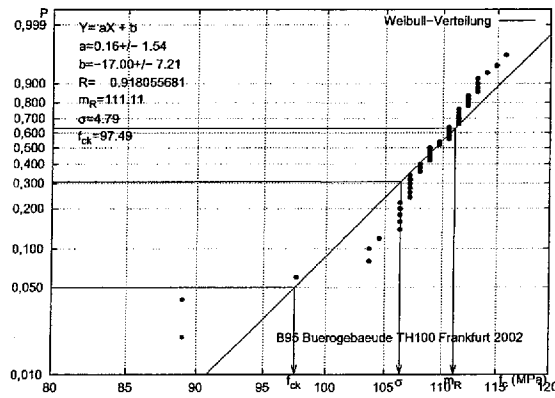
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

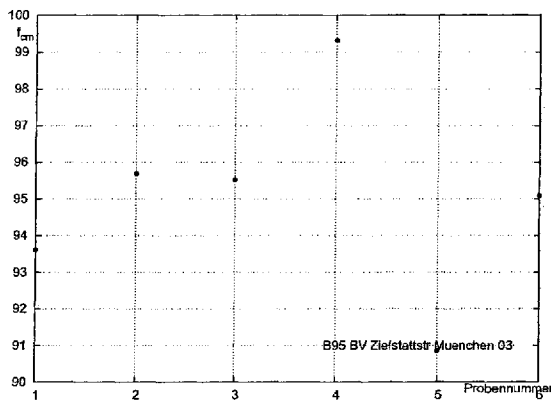


(e) Weibull-Verteilung

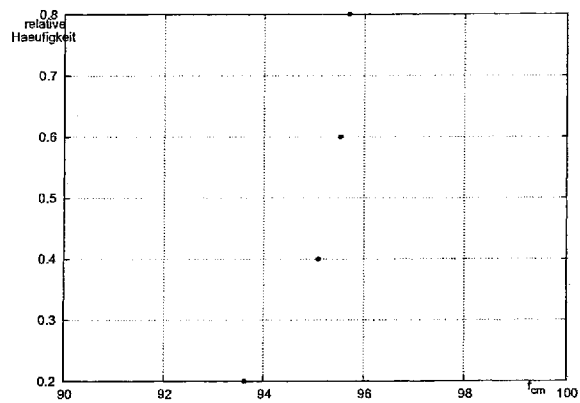
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 111.110324974054$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.78684807334257$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 97.4882853787856$ MPa
Anzahl	$n = 49$

(f) gewählte Verteilung

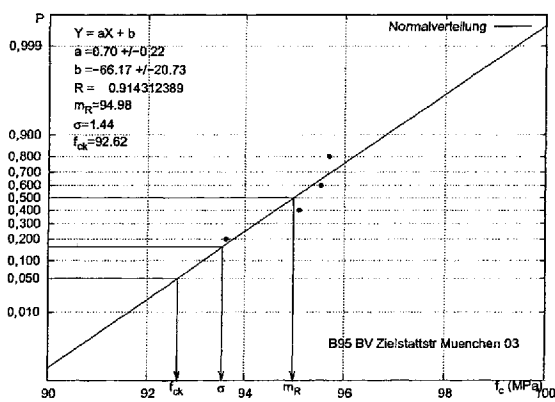
Bild B.107.: B95 Buerogebaeude TH100 Frankfurt 2002



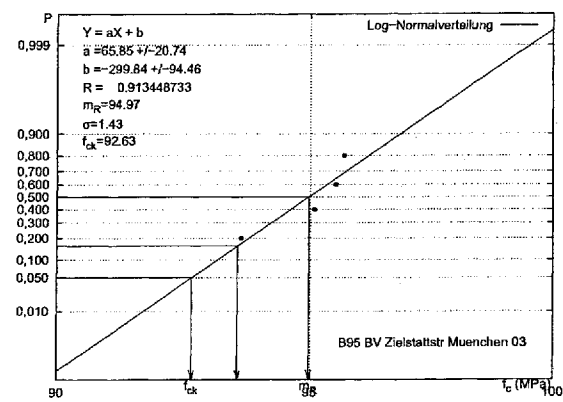
(a) Versuchswerte



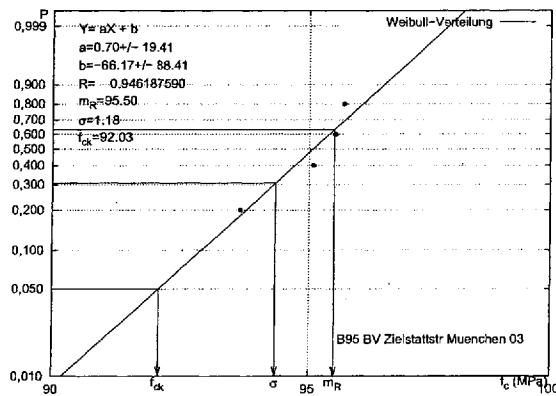
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



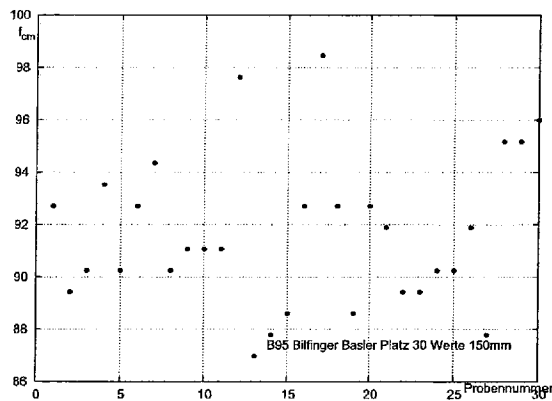
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 95.5037921155713$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.18233008405532$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 92.0349206311459$ MPa
Anzahl	$n = 4$

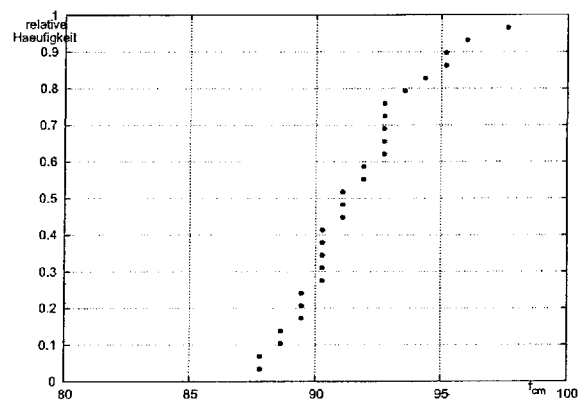
(f) gewählte Verteilung

Bild B.108.: B95 BV Zielstattstr Muenchen 03

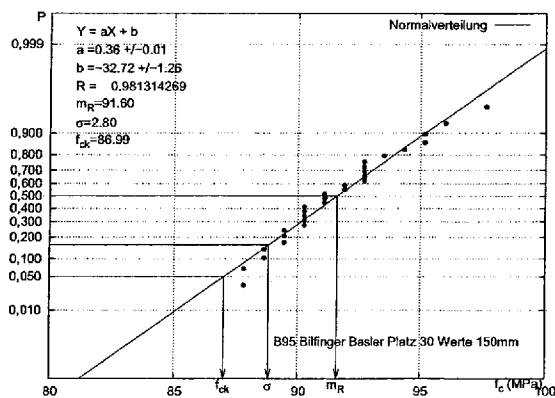




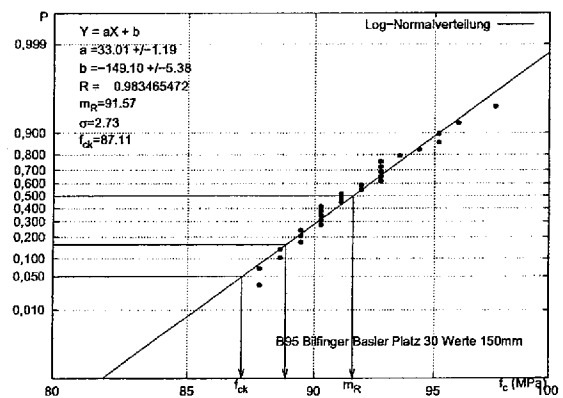
(a) Versuchswerte



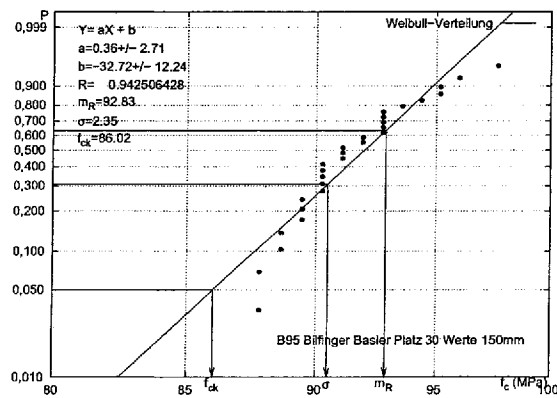
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

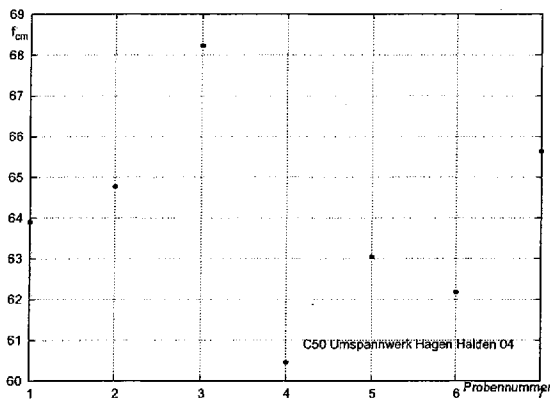


(e) Weibull-Verteilung

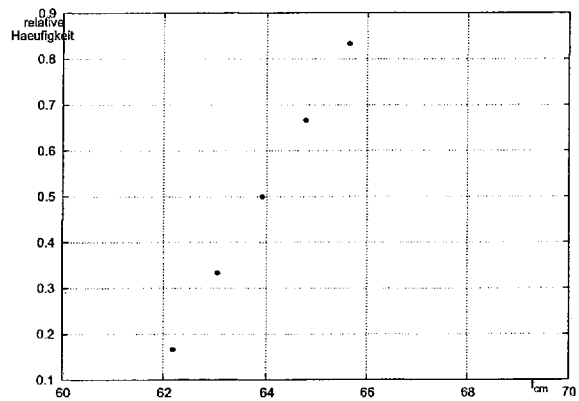
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 91.5650557008539$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.7323649168967$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 87.1137254123184$ MPa
Anzahl	$n = 28$

(f) gewählte Verteilung

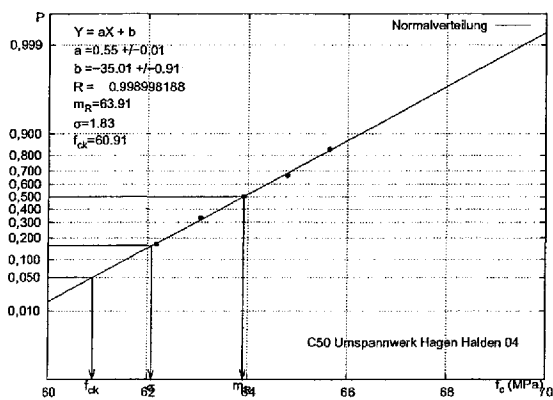
Bild B.109.: B95 Bilfinger Basler Platz 30 Werte 150mm



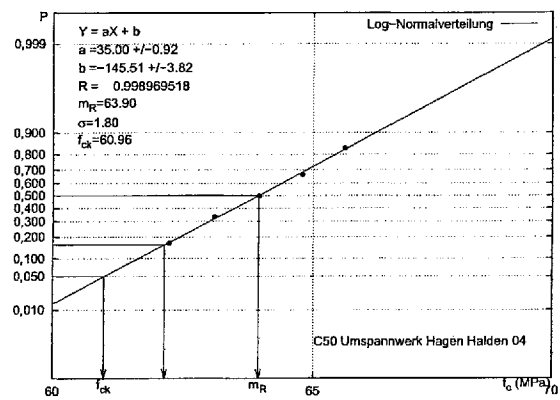
(a) Versuchswerte



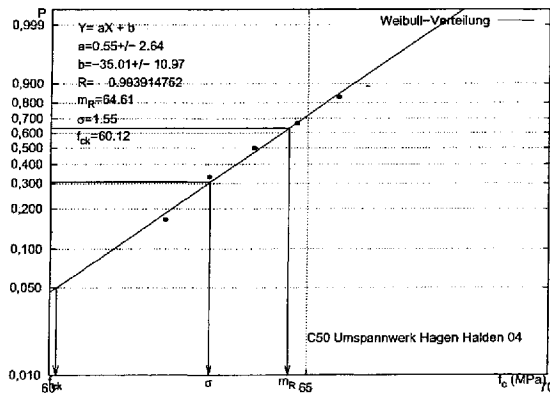
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

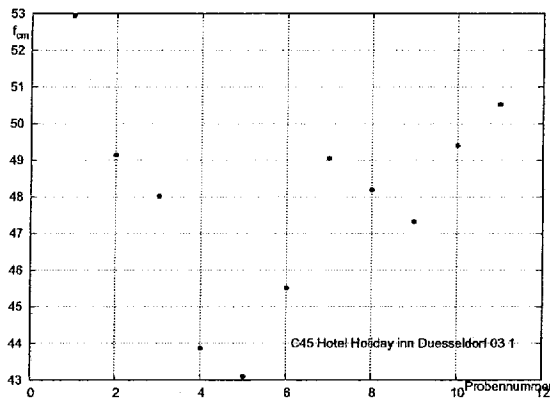


(e) Weibull-Verteilung

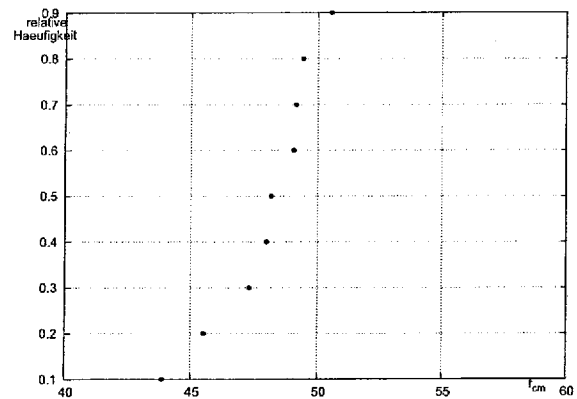
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 63.9090909090909$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.82542940201064$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 60.9062595427834$ MPa
Anzahl	$n = 5$

(f) gewählte Verteilung

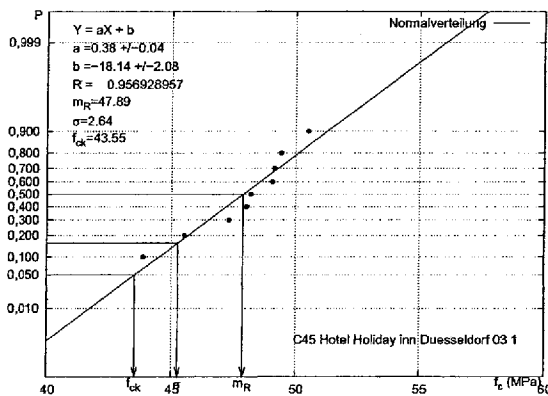
Bild B.110.: C50 Umspannwerk Hagen Halden 04



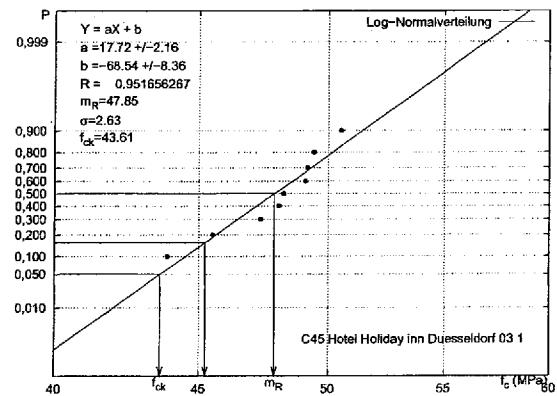
(a) Versuchswerte



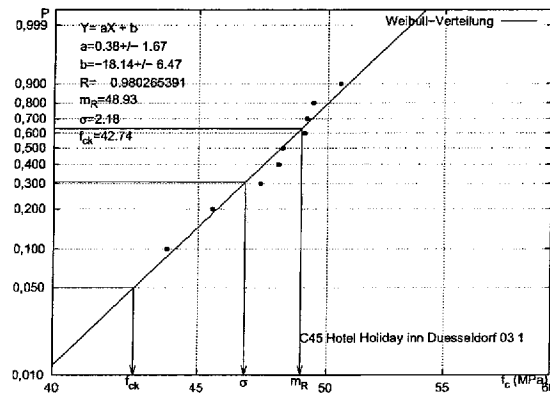
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

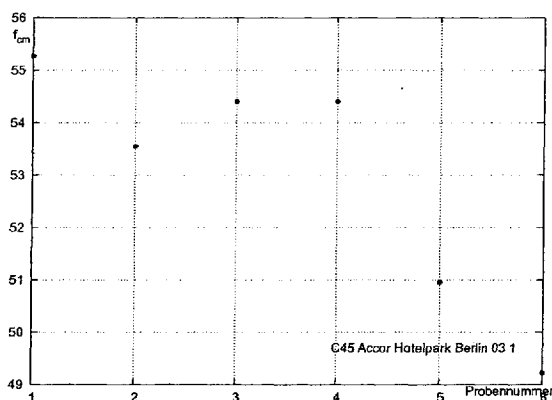


(e) Weibull-Verteilung

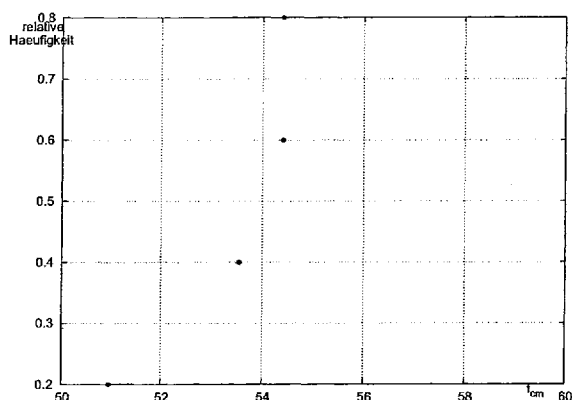
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 48.9343592909695$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.18150966798895$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 42.7356802877253$ MPa
Anzahl	$n = 9$

(f) gewählte Verteilung

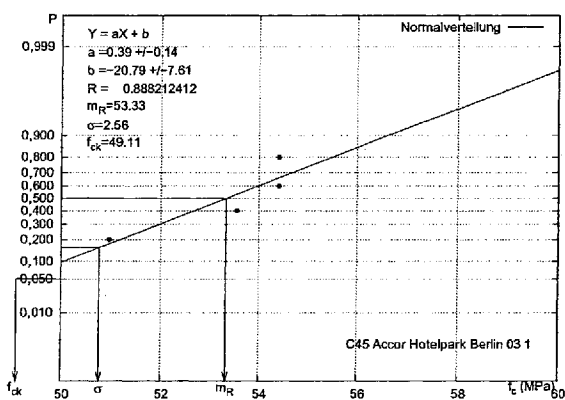
Bild B.111.: C45 Hotel Holiday inn Duesseldorf 03 1



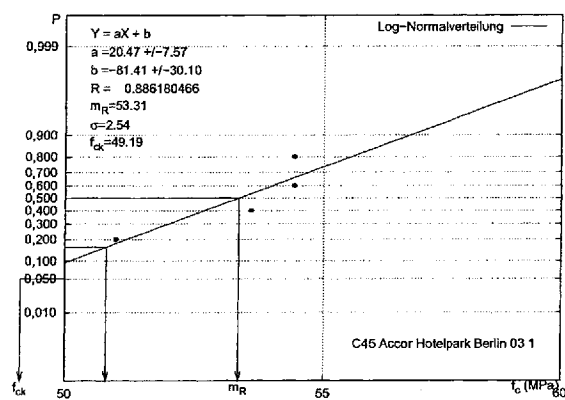
(a) Versuchswerte



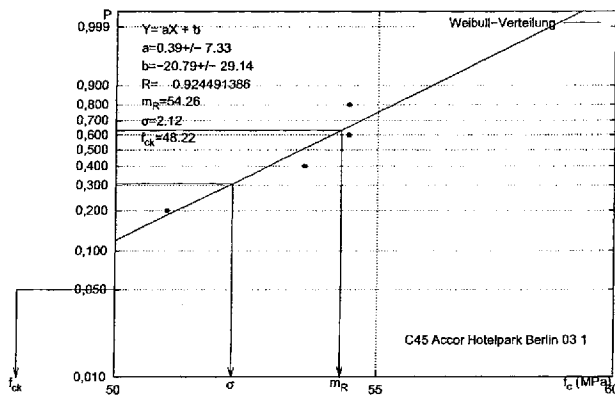
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

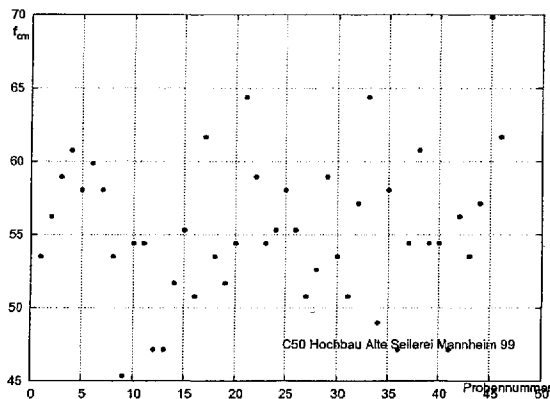


(e) Weibull-Verteilung

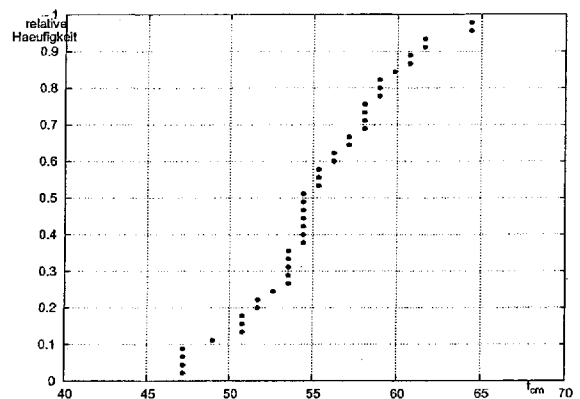
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 54.2642385844982 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 2.11621487293708 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 48.2174691951558 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

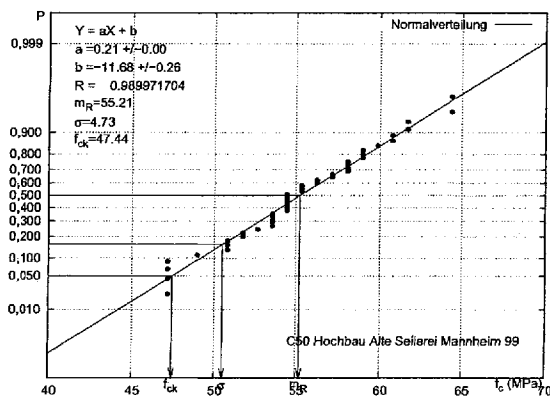
Bild B.112.: C45 Accor Hotelpark Berlin 03 1



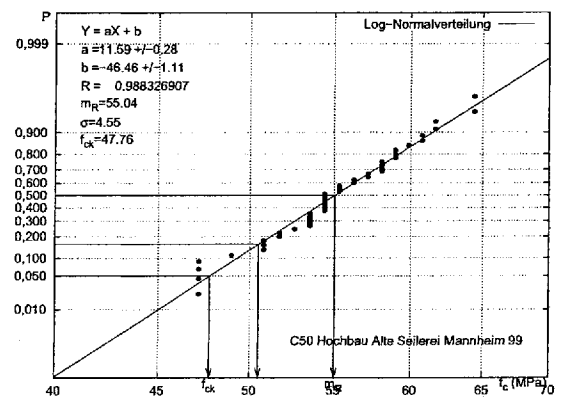
(a) Versuchswerte



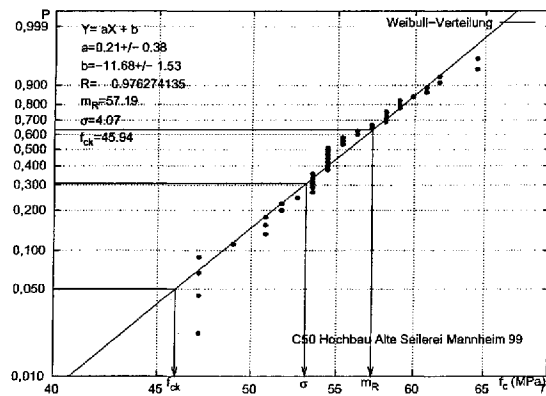
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

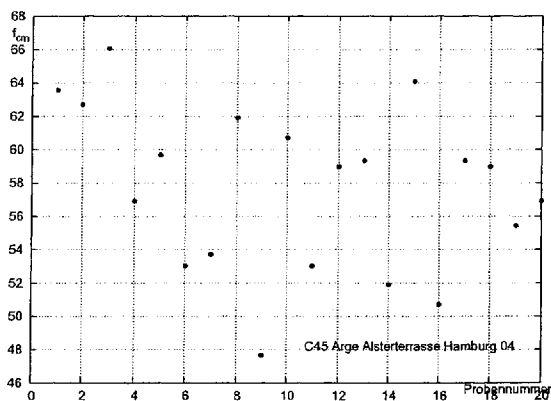


(e) Weibull-Verteilung

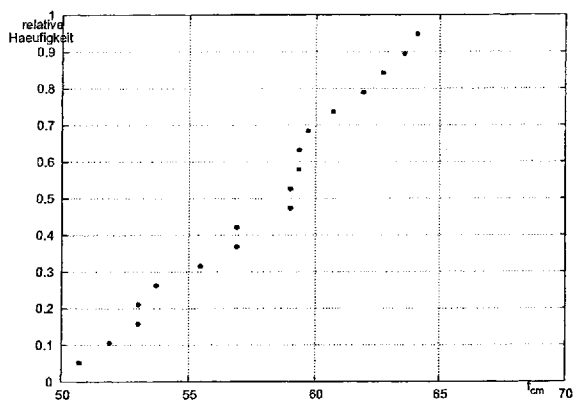
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 55.2128615702479$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.72573443288513$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 47.4390284281519$ MPa
Anzahl	$n = 44$

(f) gewählte Verteilung

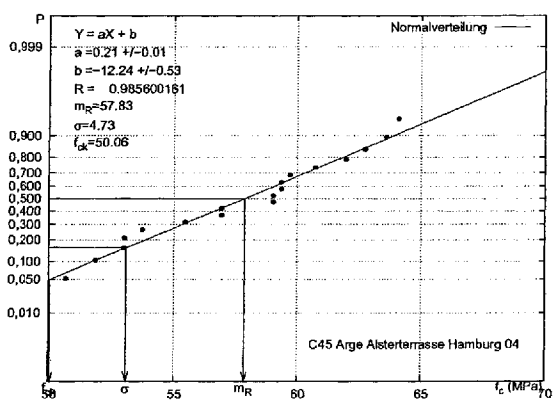
Bild B.113.: C50 Hochbau Alte Seilerei Mannheim 99



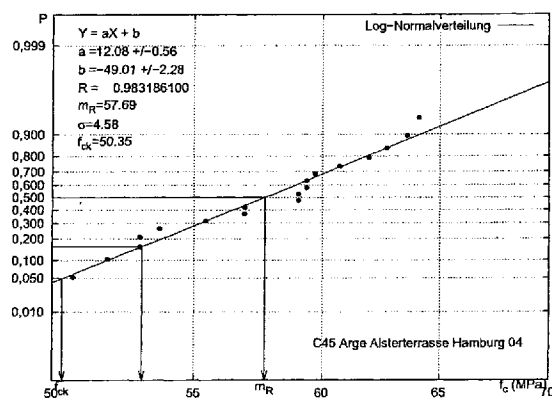
(a) Versuchswerte



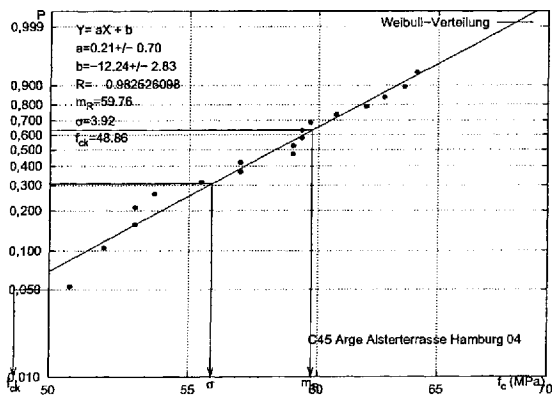
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

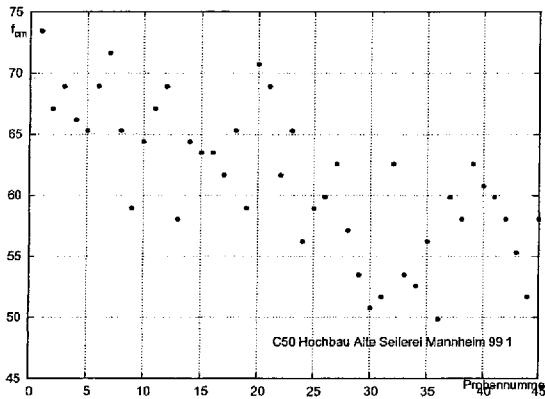


(e) Weibull-Verteilung

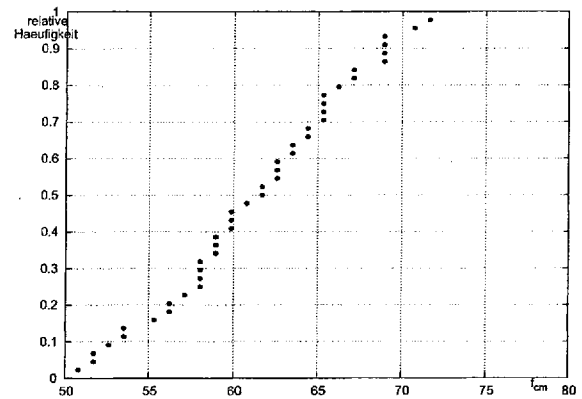
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 57.8300505050491$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.72515978166594$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 50.0571626642086$ MPa
Anzahl	$n = 18$

(f) gewählte Verteilung

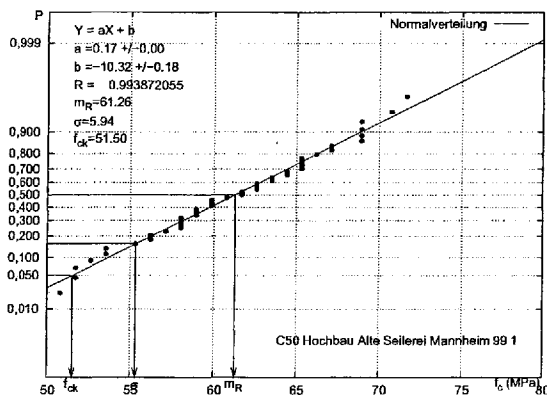
Bild B.114.: C45 Arge Alsterterrasse Hamburg 04



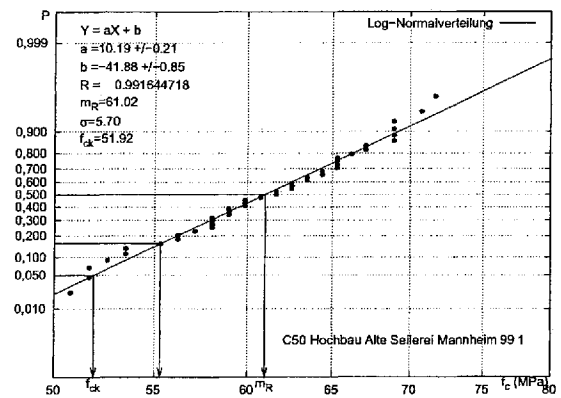
(a) Versuchswerte



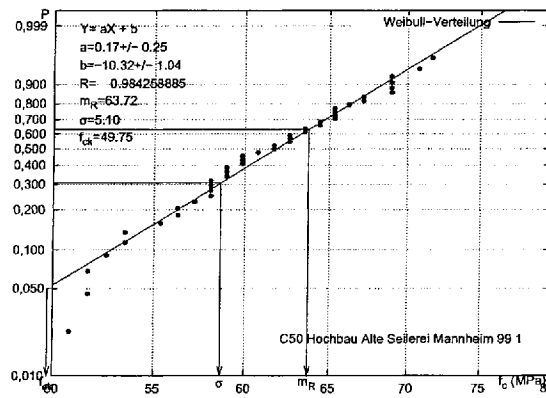
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

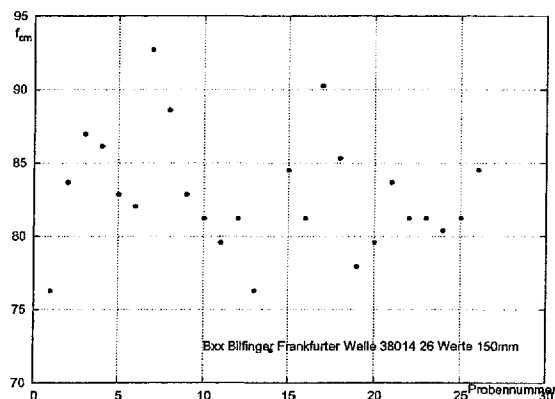


(e) Weibull-Verteilung

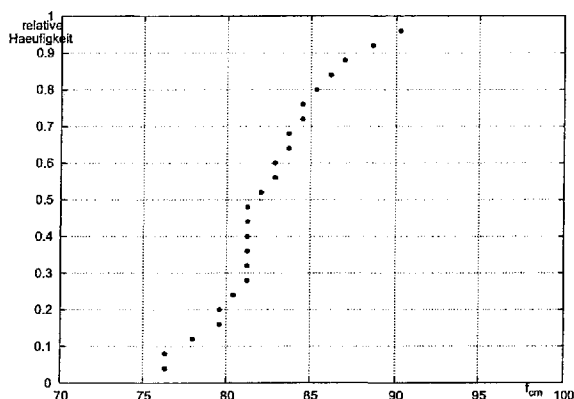
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 61.2629492600423$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.93586779760616$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 51.4984467329801$ MPa
Anzahl	$n = 43$

(f) gewählte Verteilung

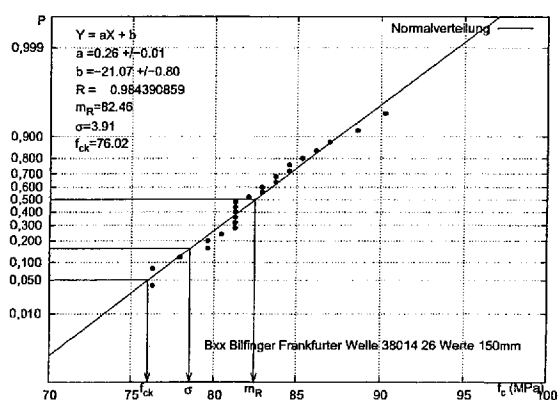
Bild B.115.: C50 Hochbau Alte Seilerei Mannheim 99 1



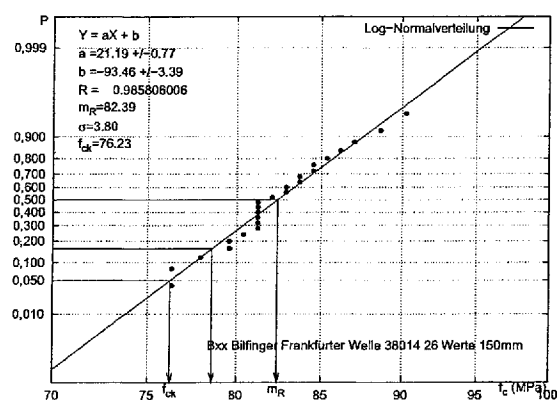
(a) Versuchswerte



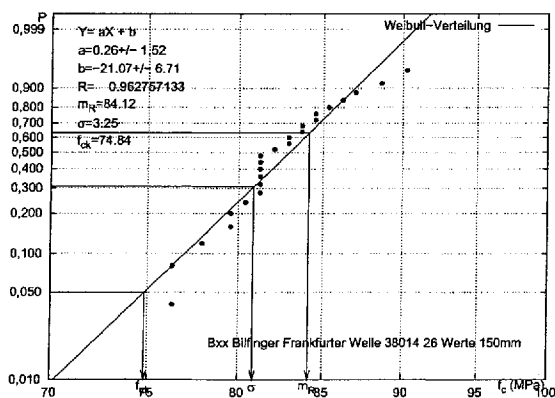
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



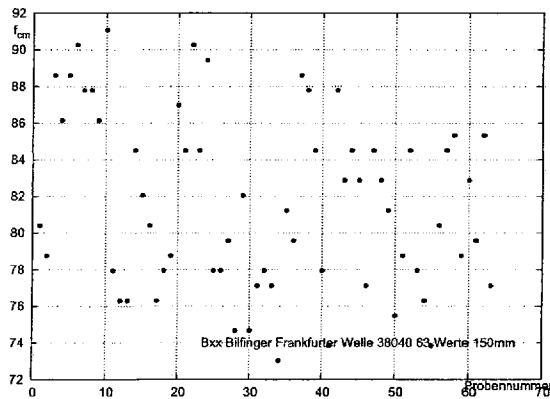
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 82.3856782073923$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.79844654101463$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 76.2306572394872$ MPa
Anzahl	$n = 24$

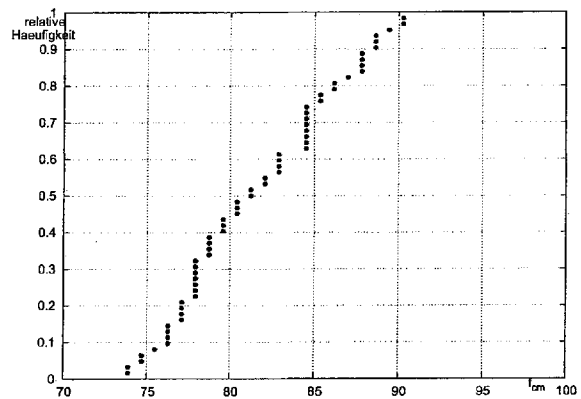
(f) gewählte Verteilung

Bild B.116.: Bxx Bilfinger Frankfurter Welle 38014 26 Werte 150mm

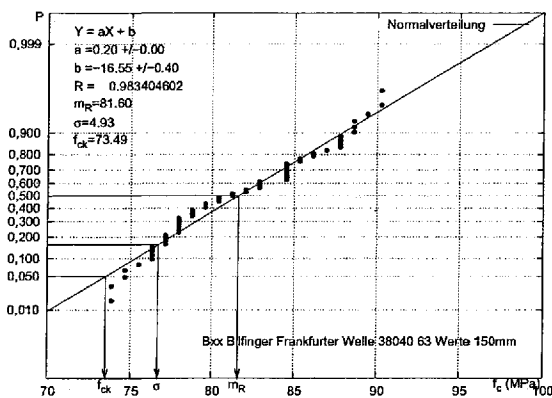




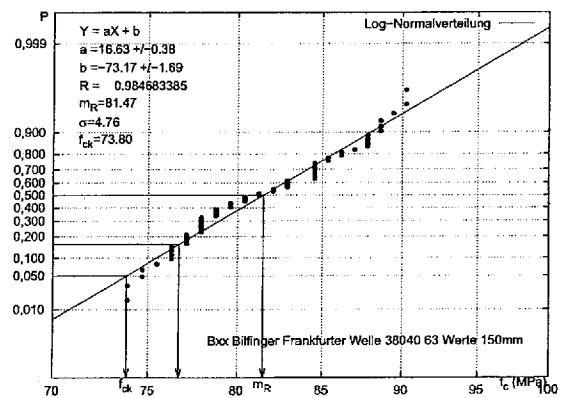
(a) Versuchswerte



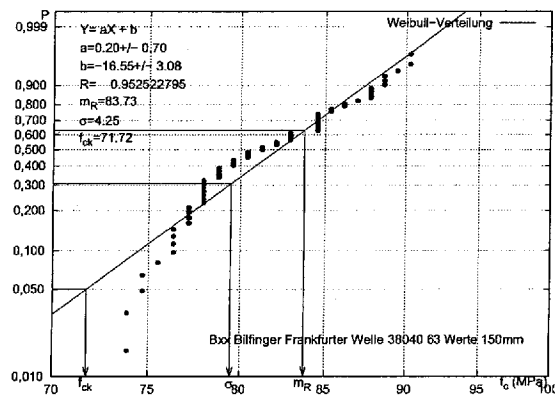
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

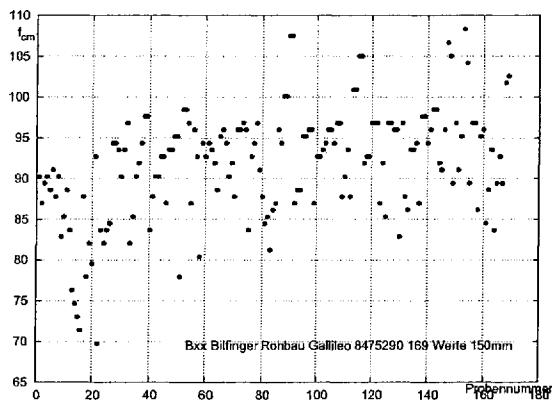


(e) Weibull-Verteilung

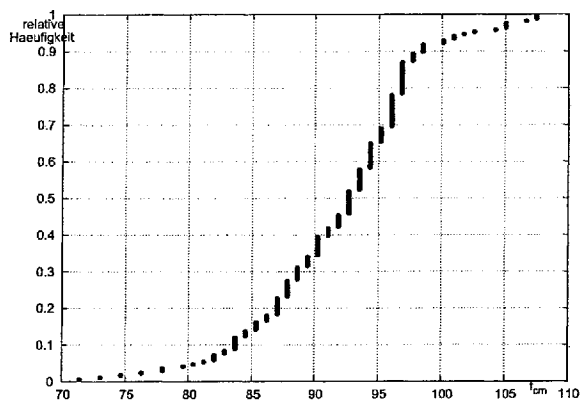
Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 81.4744004139164$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.75540585919359$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 73.8000435349566$ MPa
Anzahl	$n = 61$

(f) gewählte Verteilung

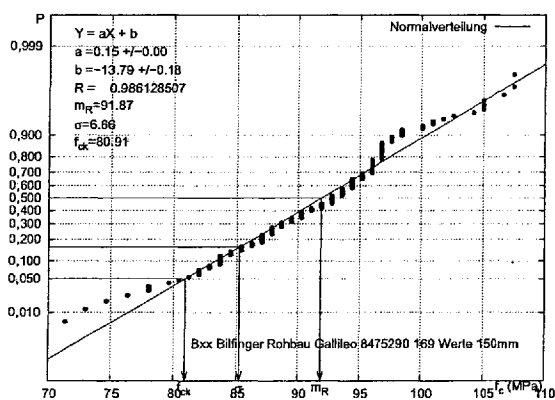
Bild B.117.: Bxx Bilfinger Frankfurter Welle 38040 63 Werte 150mm



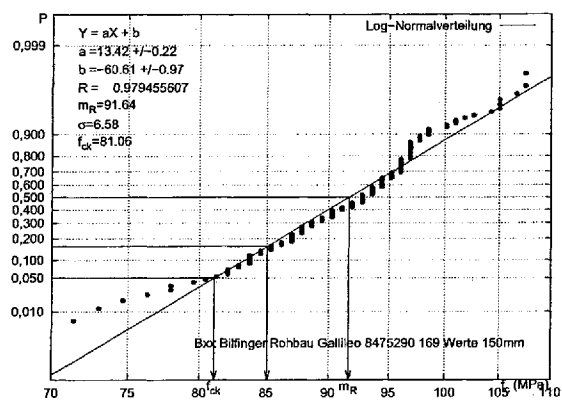
(a) Versuchswerte



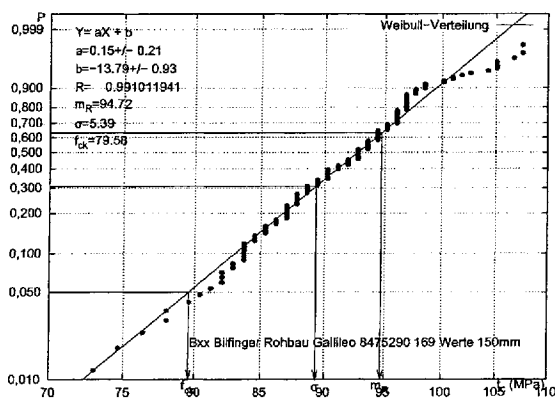
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

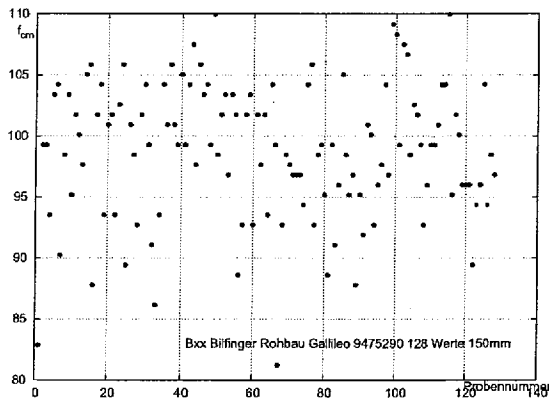


(e) Weibull-Verteilung

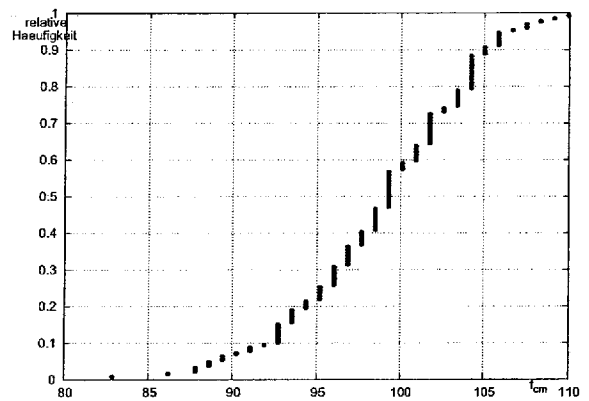
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 94.7184534937954$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 5.39338549157051$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 79.5819738649961$ MPa
Anzahl	$n = 167$

(f) gewählte Verteilung

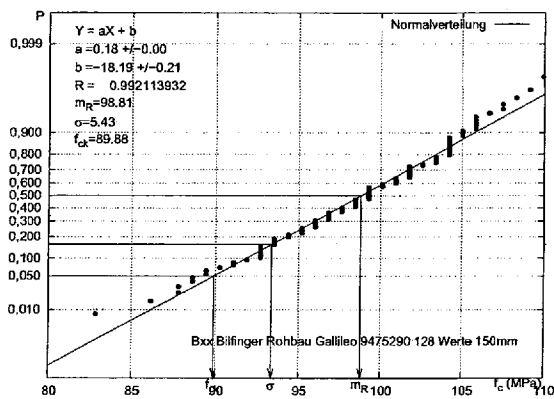
Bild B.118.: Bxx Bilfinger Rohbau Galileo 8475290 169 Werte 150mm



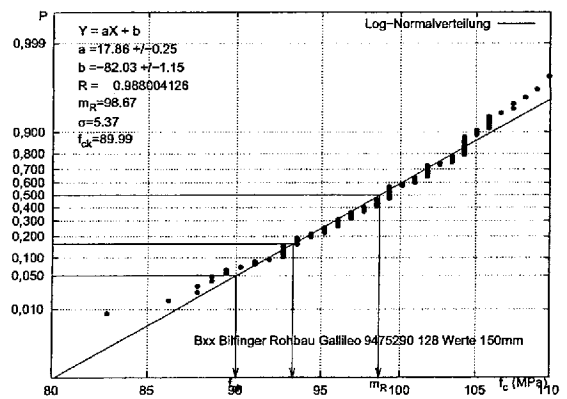
(a) Versuchswerte



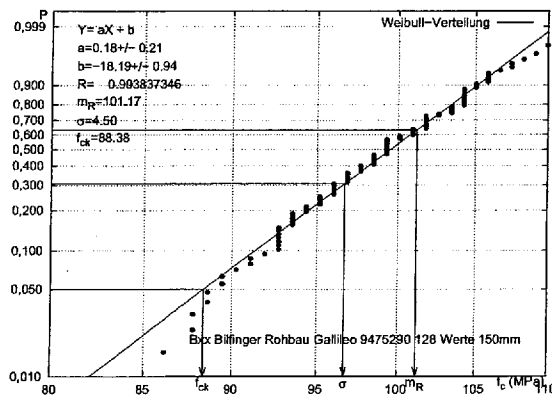
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

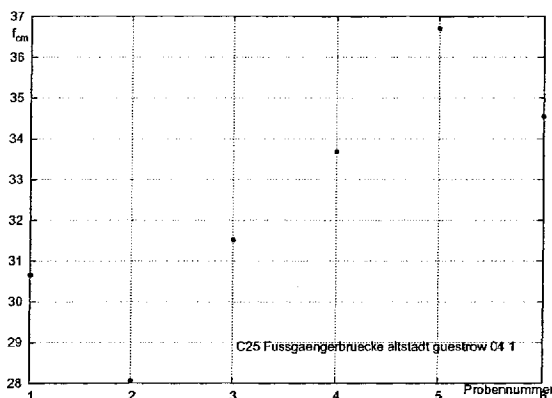


(e) Weibull-Verteilung

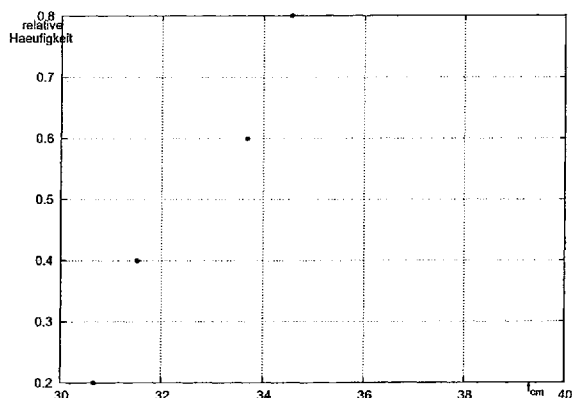
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 101.170730296244$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.5000050511551$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 88.3828410363595$ MPa
Anzahl	$n = 126$

(f) gewählte Verteilung

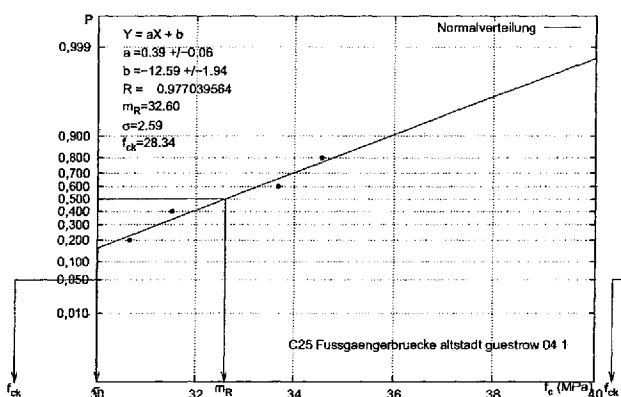
Bild B.119.: Bxx Bilfinger Rohbau Galileo 9475290 128 Werte 150mm



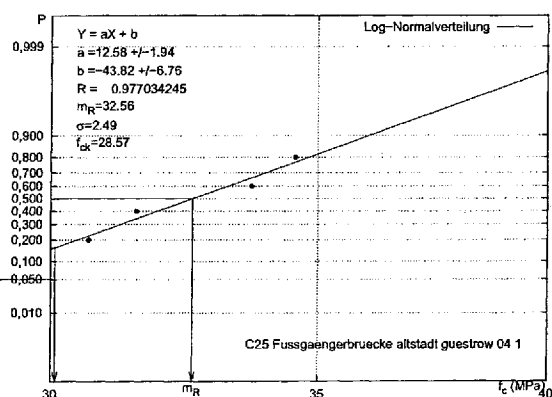
(a) Versuchswerte



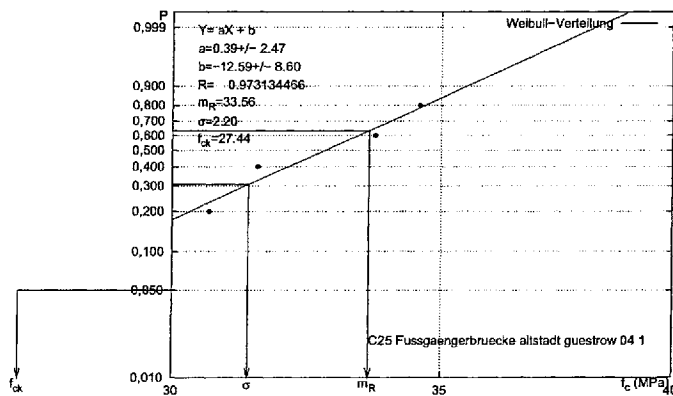
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

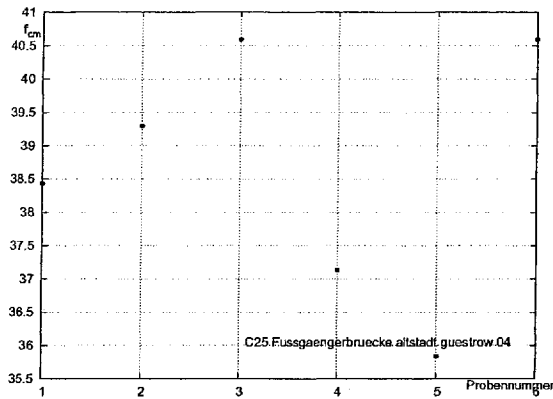


(e) Weibull-Verteilung

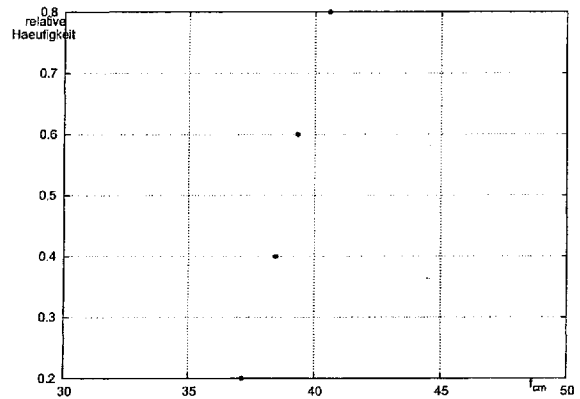
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 32.4943181818182$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.63642873994751$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 26.5123929046045$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

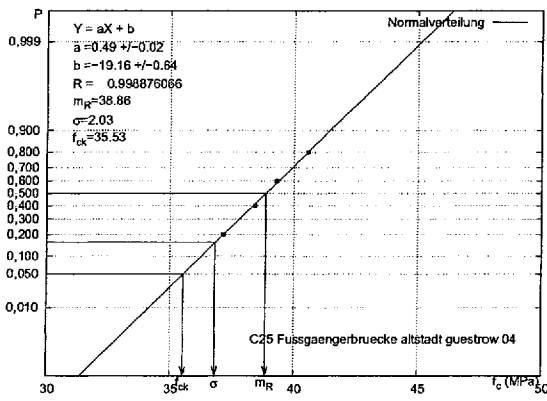
Bild B.120.: C25 Fussgaengerbruecke altstadt guestrow 04 1



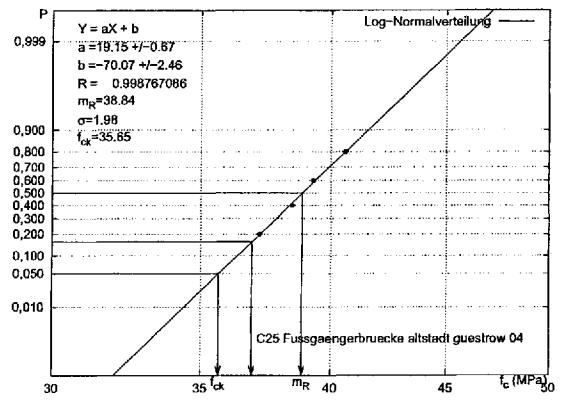
(a) Versuchswerte



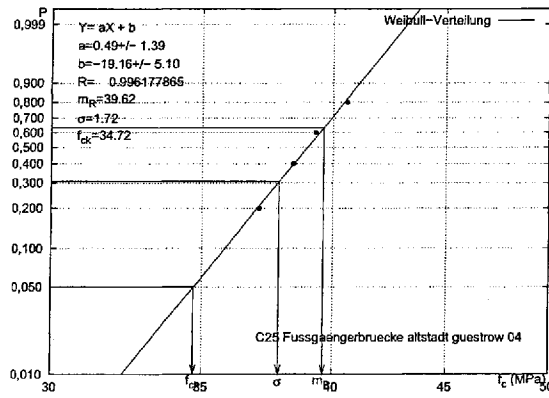
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

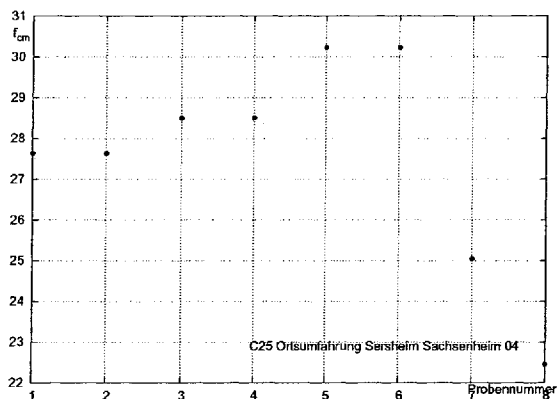


(e) Weibull-Verteilung

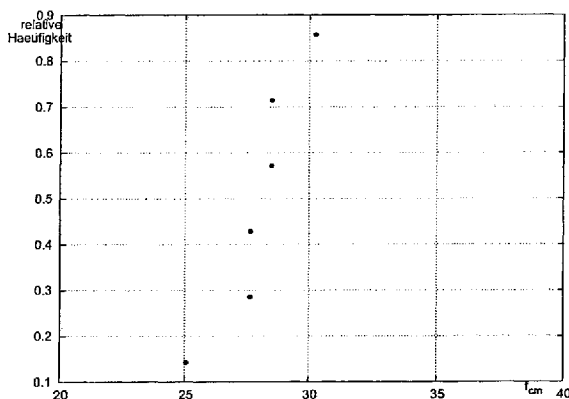
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 38.2159090909091$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 2.13010850872747$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 34.7118805940524$ MPa
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

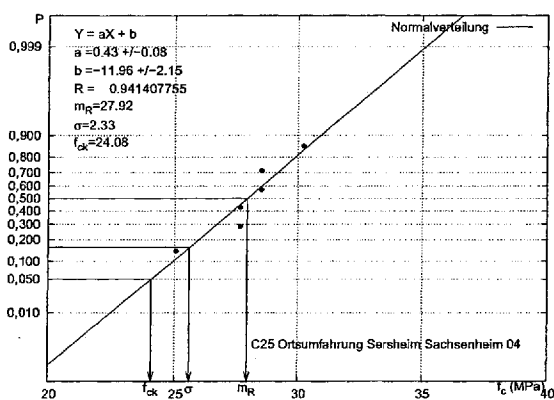
Bild B.121.: C25 Fussgaengerbruecke altstadt gwestrow 04



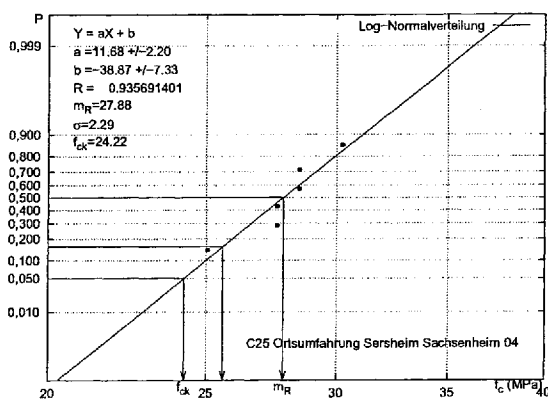
(a) Versuchswerte



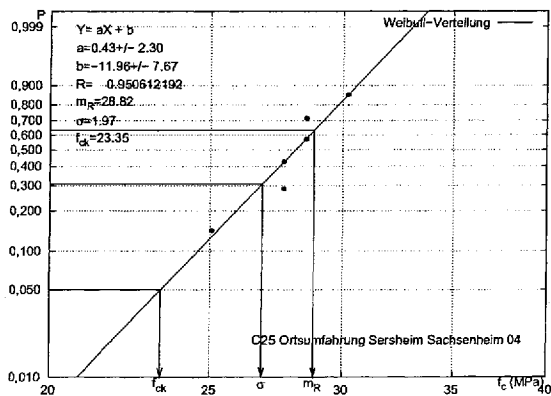
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

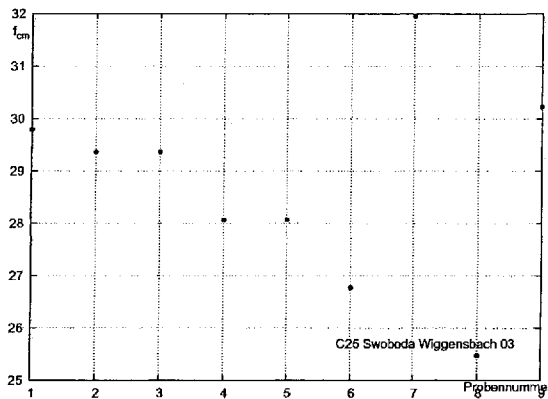


(e) Weibull-Verteilung

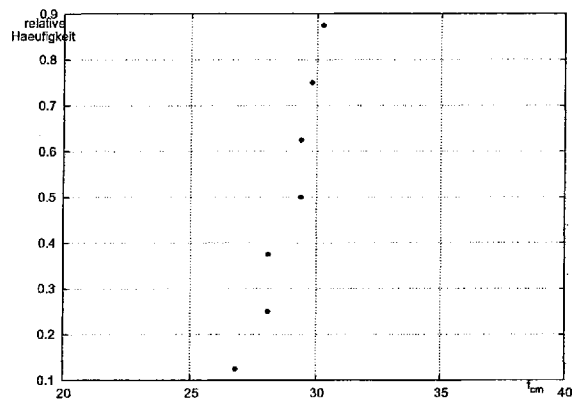
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 28.8223861001519$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.97158464612334$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 23.3525911991163$ MPa
Anzahl	$n = 6$

(f) gewählte Verteilung

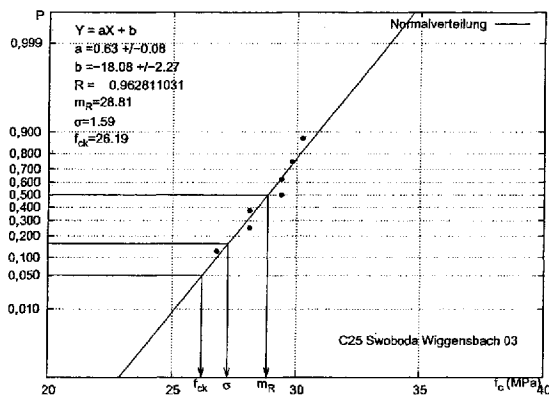
Bild B.122.: C25 Ortsumfahrung Sersheim Sachsenheim 04



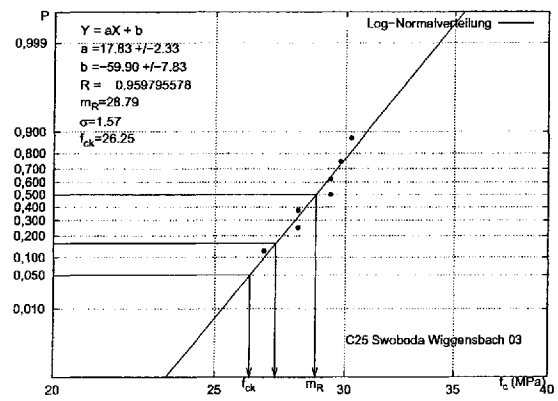
(a) Versuchswerte



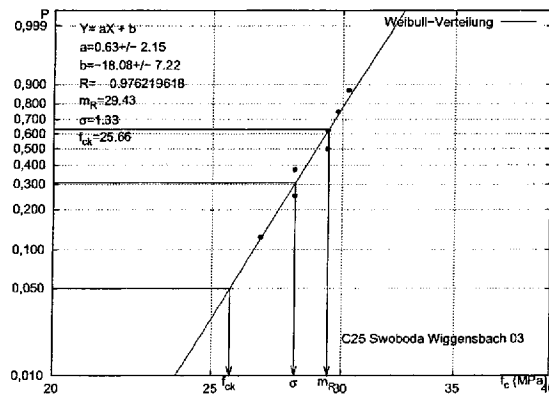
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

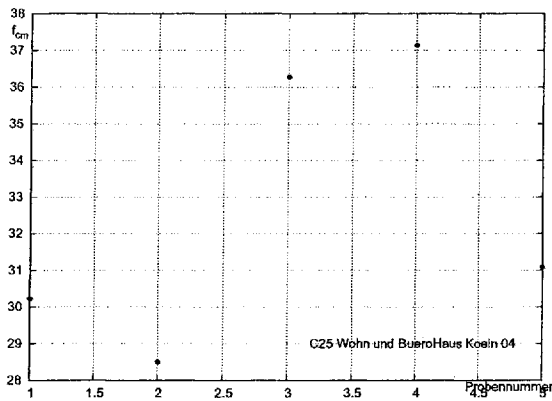


(e) Weibull-Verteilung

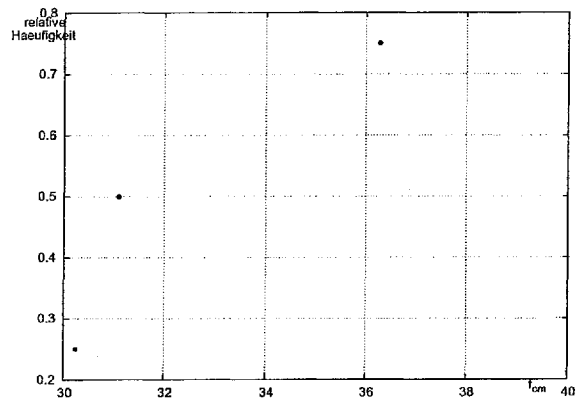
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 29.4279951630413$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.32845778543371$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 25.6553534838809$ MPa
Anzahl	$n = 7$

(f) gewählte Verteilung

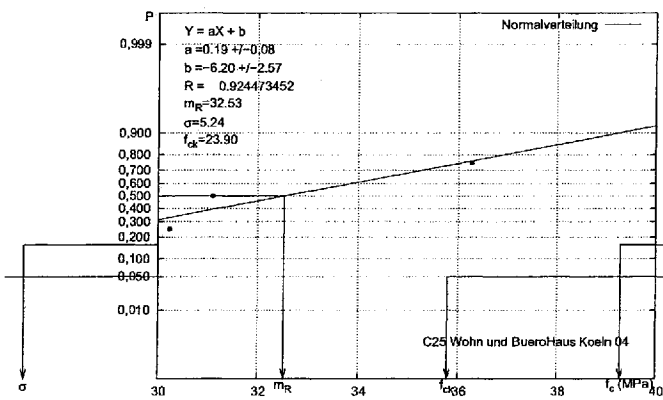
Bild B.123.: C25 Swoboda Wiggensbach 03



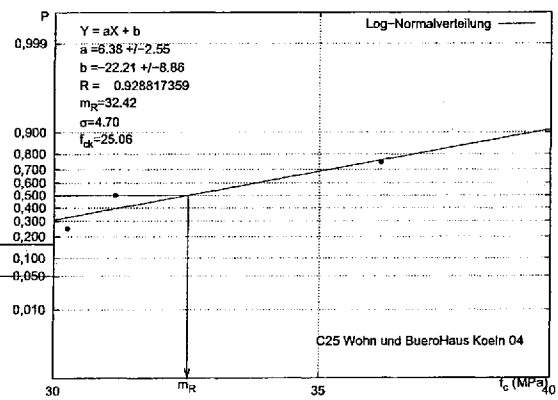
(a) Versuchswerte



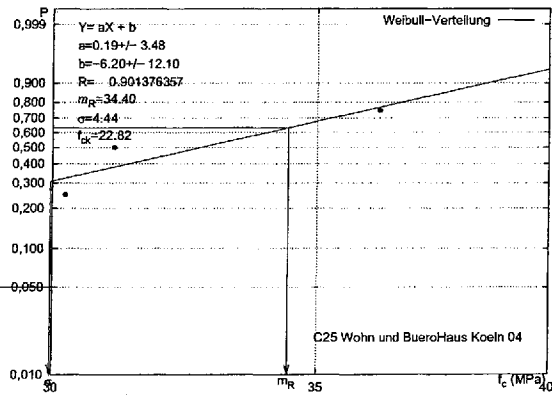
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



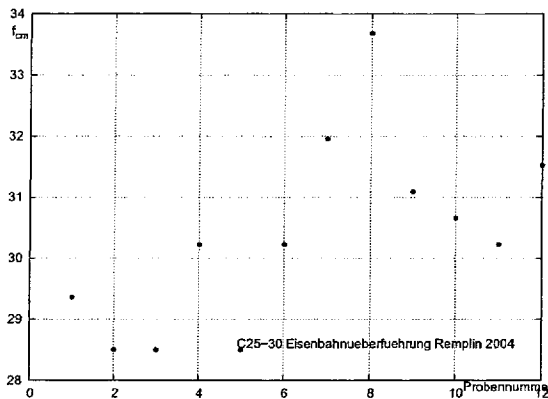
(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 32.4243191366846$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 4.70183689058256$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 25.0580412275602$ MPa
Anzahl	$n = 3$

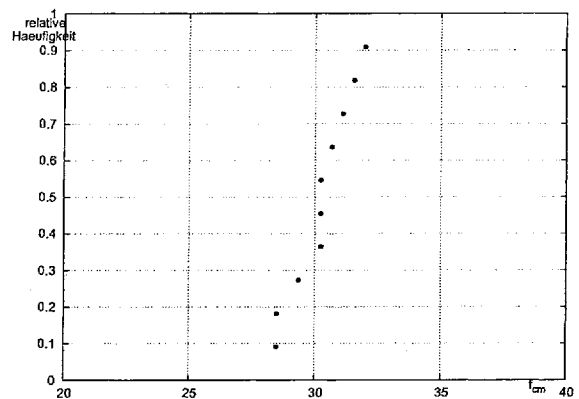
(f) gewählte Verteilung

Bild B.124.: C25 Wohn und BueroHaus Koeln 04

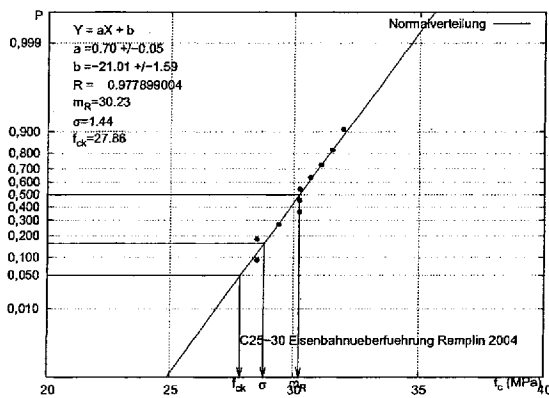




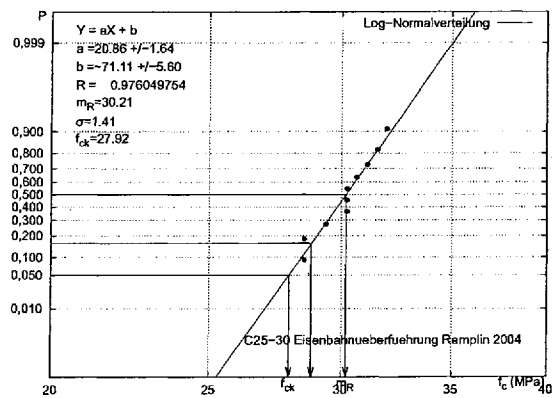
(a) Versuchswerte



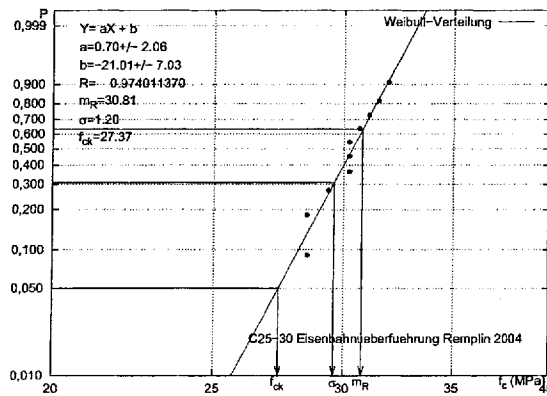
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

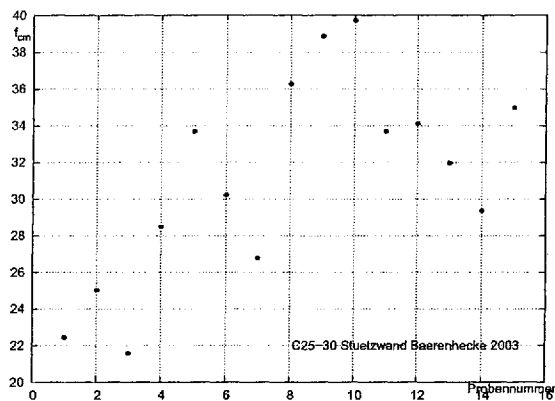


(e) Weibull-Verteilung

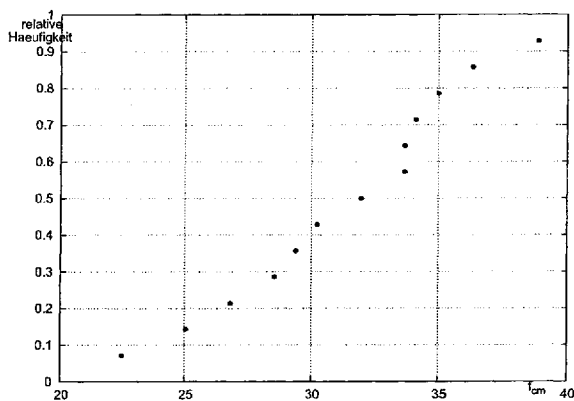
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 30.2272727272715$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.43883264569536$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 27.8603930251026$ MPa
Anzahl	$n = 10$

(f) gewählte Verteilung

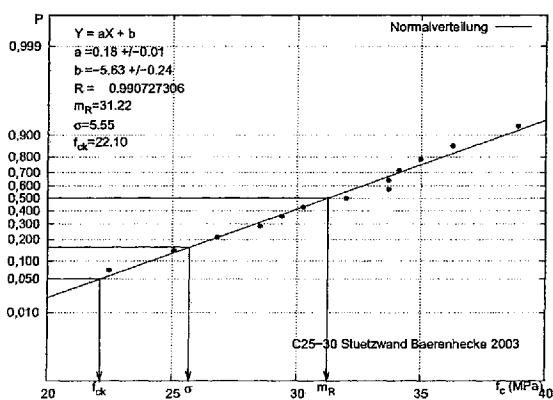
Bild B.125.: C25-30 Eisenbahneoberfuehrung Remplin 2004



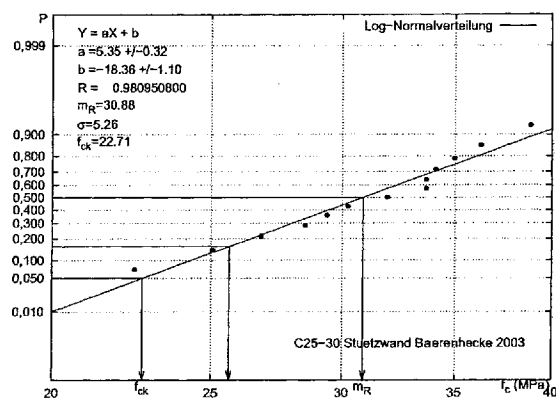
(a) Versuchswerte



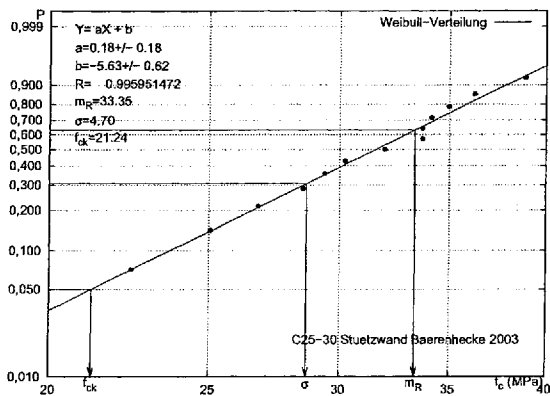
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

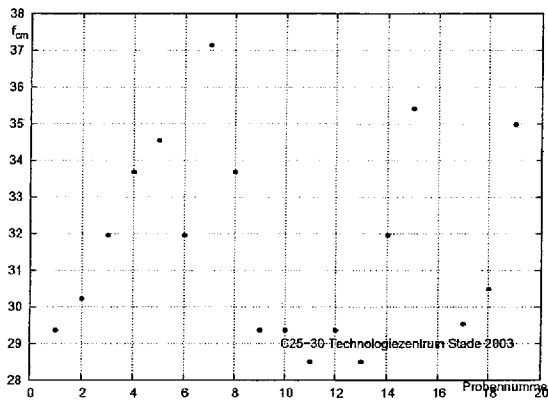


(e) Weibull-Verteilung

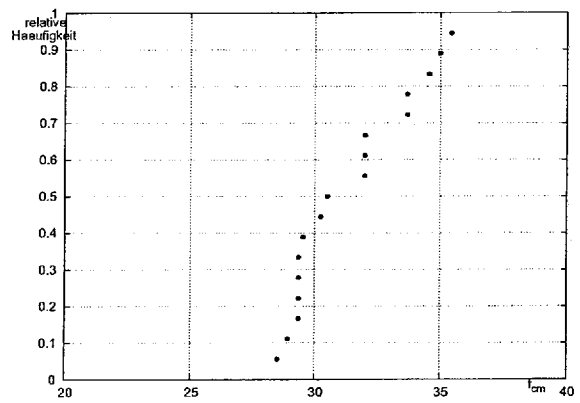
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 33.3519190568413 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 4.69882620287182 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 21.2447363067679 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 13$

(f) gewählte Verteilung

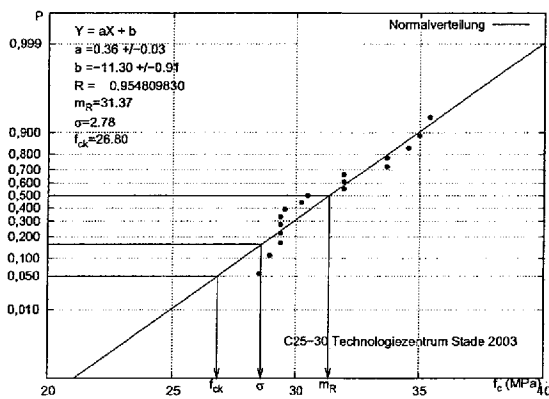
Bild B.126.: C25-30 Stuetzwand Baerenhecke 2003



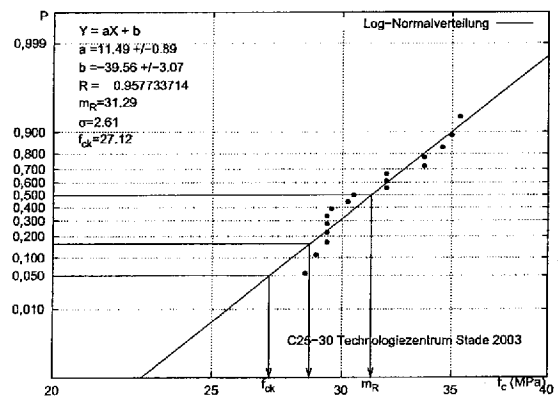
(a) Versuchswerte



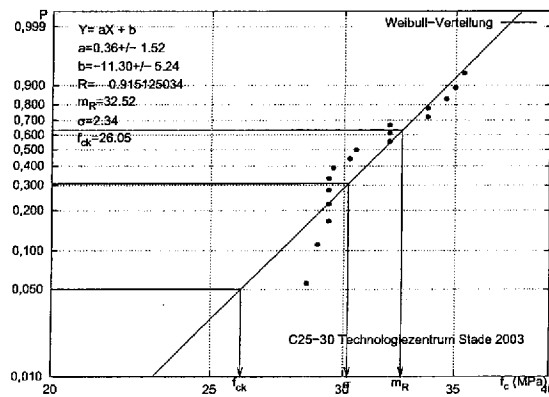
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

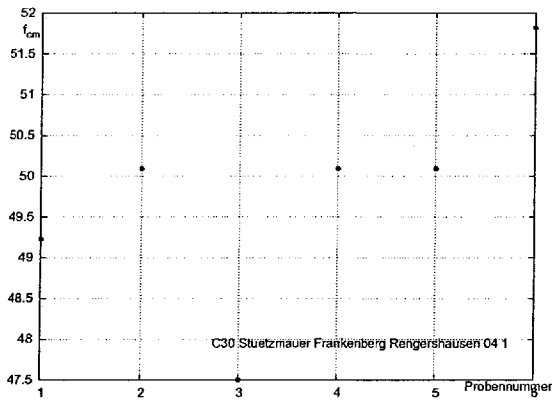


(e) Weibull-Verteilung

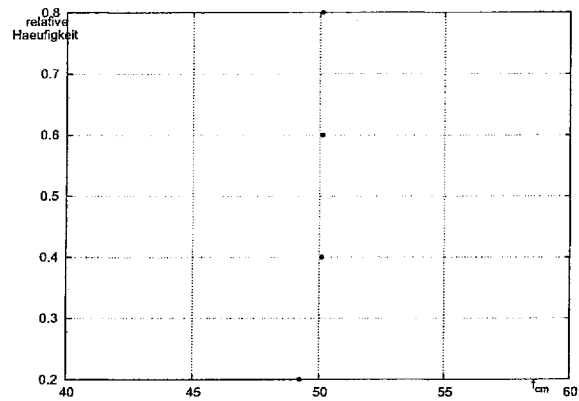
Verteilung		Log-Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} =$	31.2904560118734 MPa
Standardabweichung	$\sigma =$	2.60807734039764 MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} =$	27.1166650152032 MPa
Anzahl	$n =$	17

(f) gewählte Verteilung

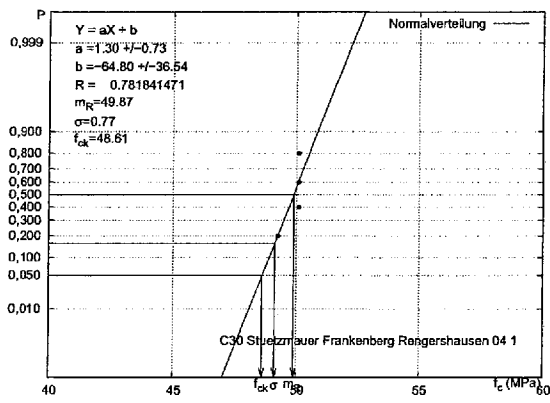
Bild B.127.: C25-30 Technologiezentrum Stade 2003



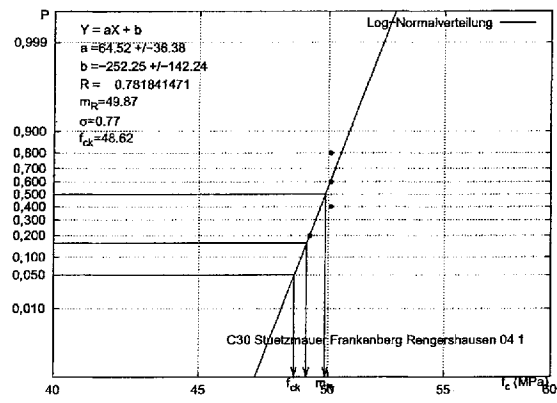
(a) Versuchswerte



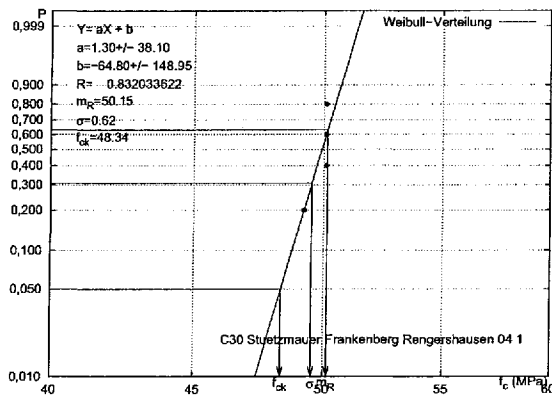
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

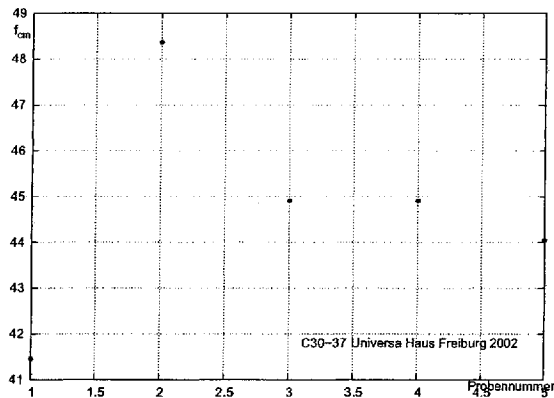


(e) Weibull-Verteilung

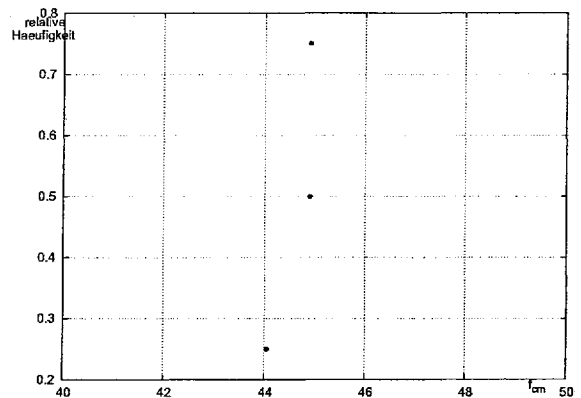
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 50.1494674037158 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 0.616720780496316 \text{ MPa}$
5%-Fraktilewert	$f_{ck} = 48.3399057077801 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 4$

(f) gewählte Verteilung

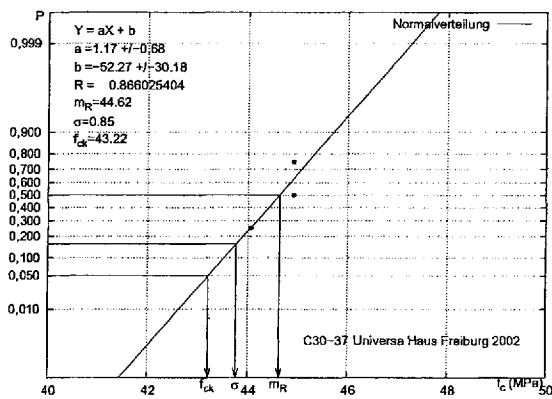
Bild B.128.: C30 Stuetzmauer Frankenberg Rengershausen 04 1



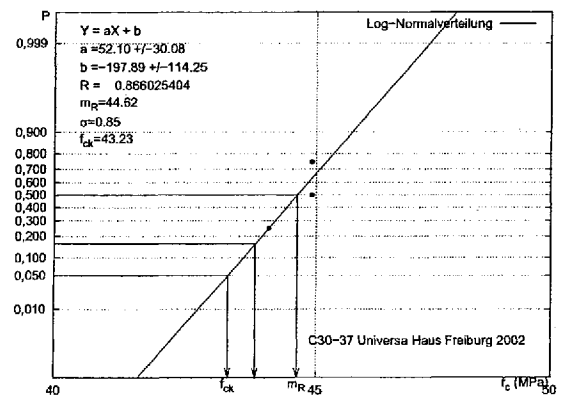
(a) Versuchswerte



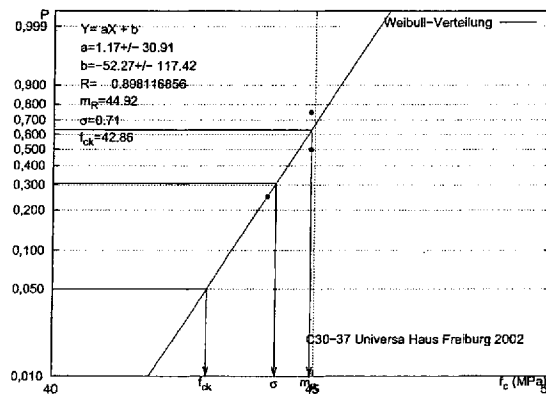
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

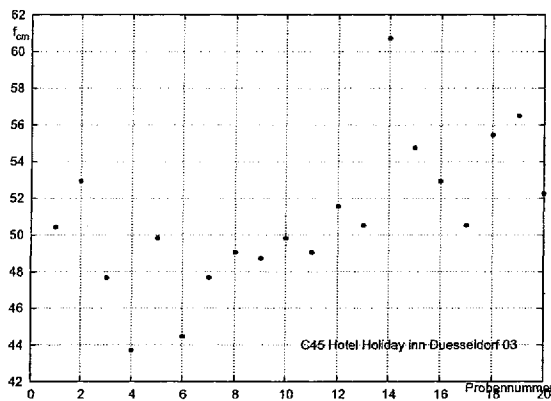


(e) Weibull-Verteilung

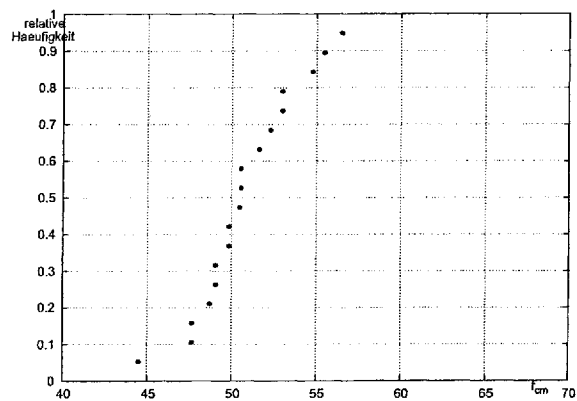
Verteilung	Weibull-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 44.9232763940465 \text{ MPa}$
Standardabweichung	$\sigma = 0.705938224498176 \text{ MPa}$
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 42.8589279407926 \text{ MPa}$
Anzahl	$n = 3$

(f) gewählte Verteilung

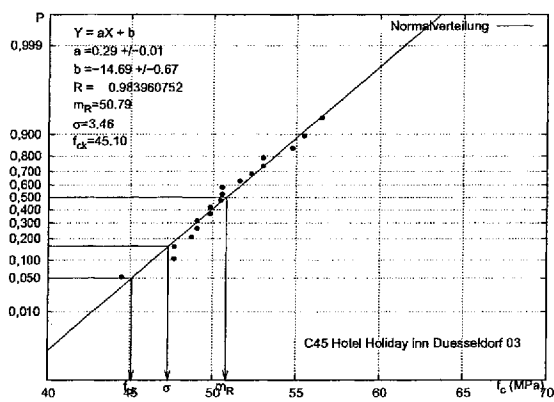
Bild B.129.: C30-37 Universa Haus Freiburg 2002



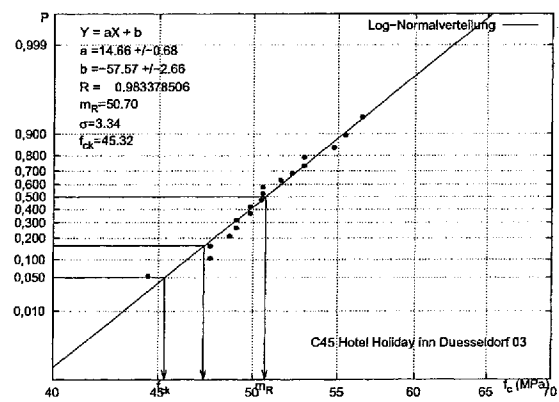
(a) Versuchswerte



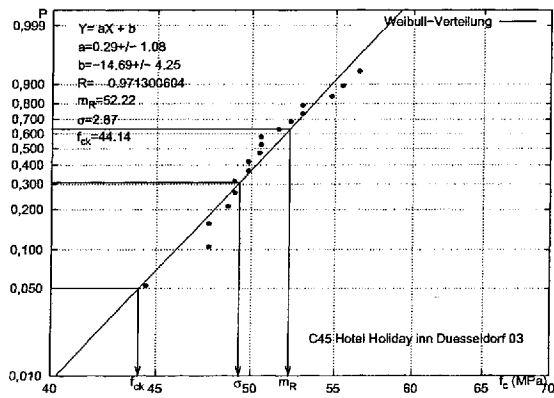
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung

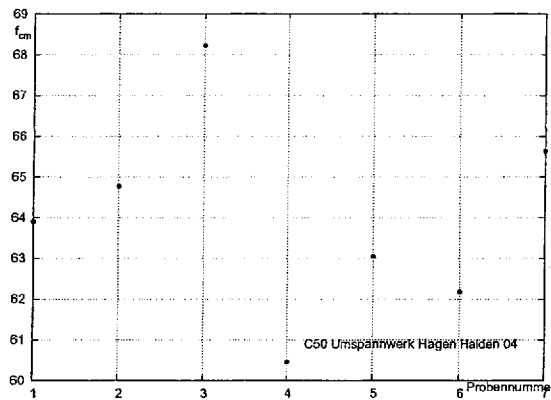


(e) Weibull-Verteilung

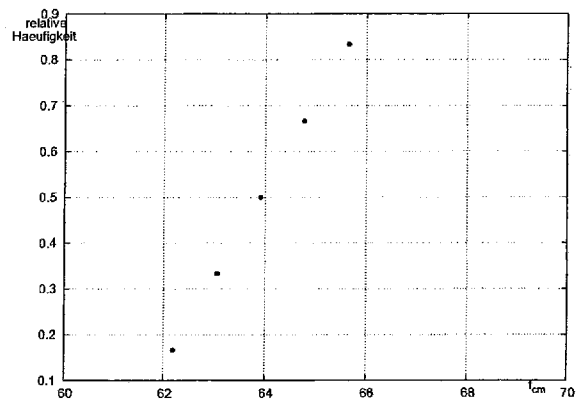
Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 50.7866161616149$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 3.45692107289392$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 45.0999809967044$ MPa
Anzahl	$n = 18$

(f) gewählte Verteilung

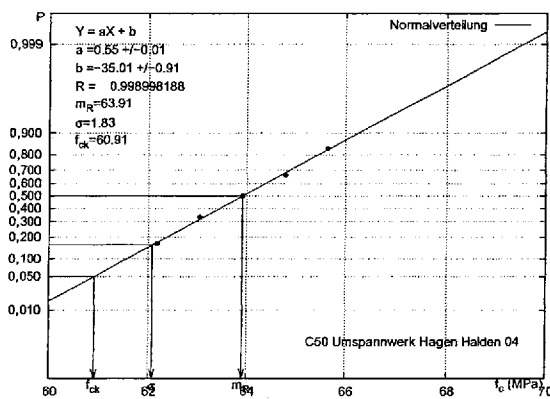
Bild B.130.: C45 Hotel Holiday inn Duesseldorf 03



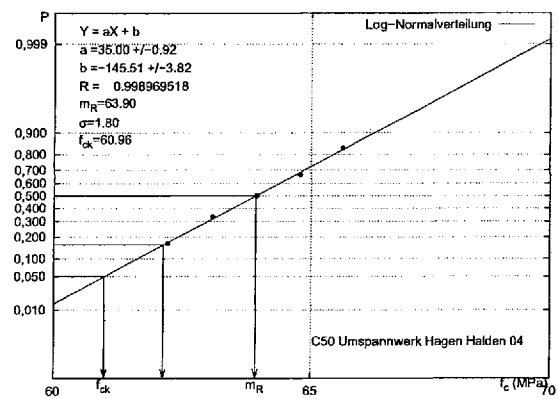
(a) Versuchswerte



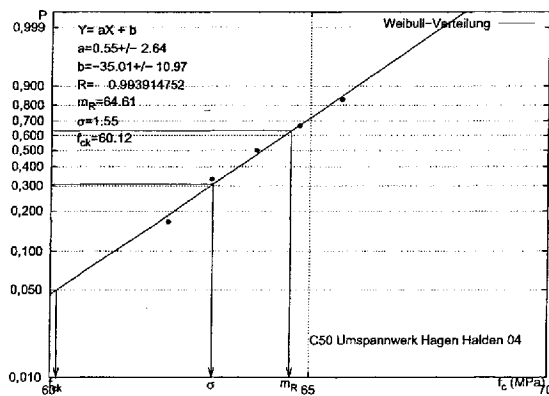
(b) Summenhäufigkeiten der Festigkeit



(c) Normalverteilung



(d) Log-Normalverteilung



(e) Weibull-Verteilung

Verteilung	Normal-Verteilung
Mittelwert	$f_{cm} = 63.9090909090909$ MPa
Standardabweichung	$\sigma = 1.82542940201064$ MPa
5%-Fraktilwert	$f_{ck} = 60.9062595427834$ MPa
Anzahl	$n = 5$

(f) gewählte Verteilung

Bild B.131.: C50 Umspannwerk Hagen Halden 04