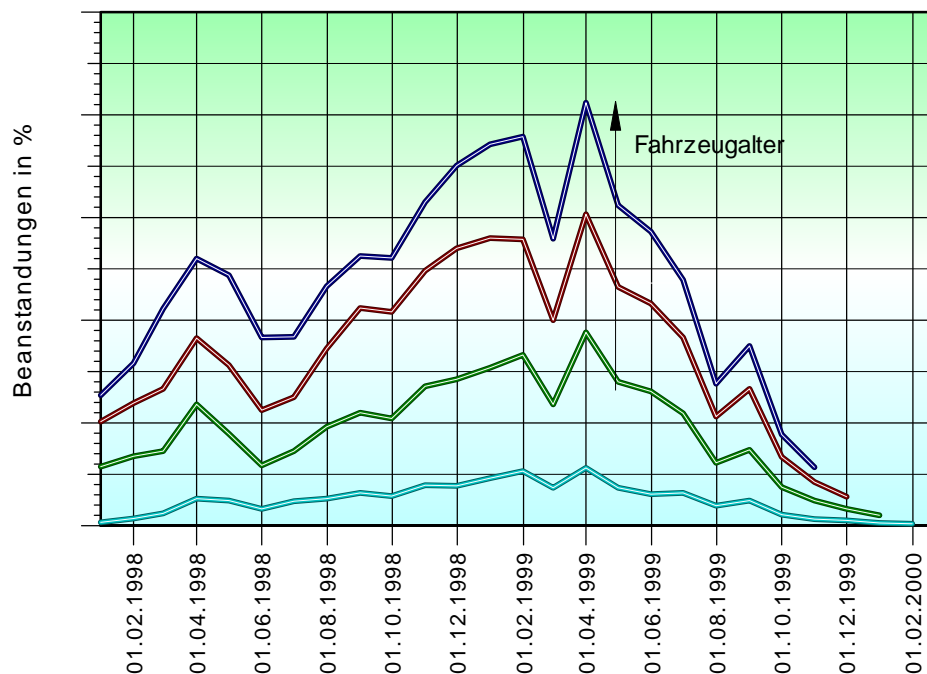


## Schichtlinien

In den sogenannten Schichtlinien werden die Beanstandungen über dem Produktionsmonat aufgetragen. Dabei stellt man Linien mit konstantem Fahrzeugalter dar, weshalb dieses Diagramm auch Isochronendarstellung genannt wird. Betrachtet man z.B. die Linie mit dem Fahrzeugalter 6 Monate. Alle aktuellen Beanstandungen von Fahrzeugen, die 6 Monate alt sind, werden zu dem aktuellen Zeitpunkt um 6 Monate zurück eingetragen (Produktionsmonat). Alle Fahrzeuge mit dem Fahrzeugalter 12 Monate werden in der nächsten Linie um 12 Monate zurück eingetragen. Im zeitlichen Verlauf, ergibt sich so ein „historischer“ Verlauf der Beanstandungen.



In der Regel ist es so, dass die produzierten Teile in Ihrer Toleranz und Eigenschaft, sowie im Montageprozeß von Monat zu Monat unterschiedlich sind, es zeigen sich meist stark schwankende Verläufe.

### Vorteile der Schichtlinien

- ☞ Überblick über die Qualitäts- und Prozeß-Veränderung in der Produktion
- ☞ Zuordnung von Massnahmen in der Serie möglich

## Nachteile

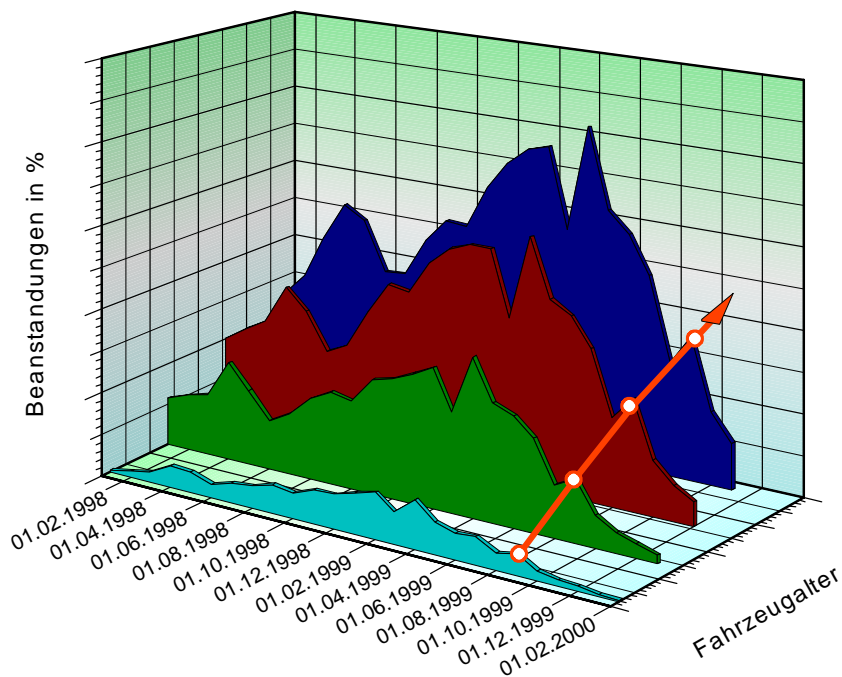
- ☞ Ursachen der Beanstandungen werden nicht aufgezeigt
- ☞ Linien mit weiter zurückliegendem Fahrzeualter brechen zeitig ab, Weiterführung nur als Prognose möglich
- ☞ Anteil der Wiederholungsbeanstandungen nicht erkennbar

Die Weibull-Analyse für jeden Monat durchzuführen, bedeutet meistens einen relativ großen Aufwand der Datenaufbereitung und ist dementsprechend zeitaufwendig.

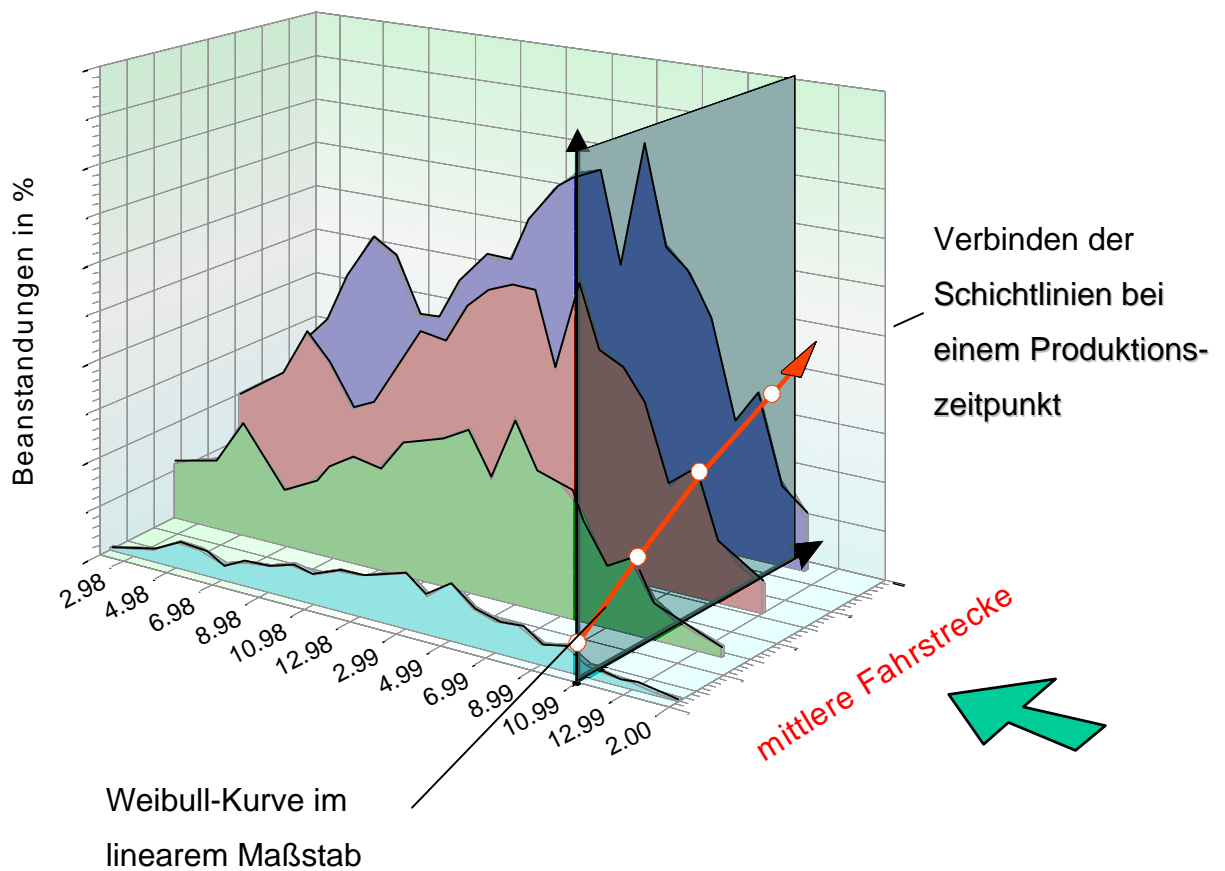
Es gibt aber eine Möglichkeit schnell und einfach direkt aus den Schichtlinien die Weibull-Parameter zu schätzen.

## Weibull-Parameter b aus Schichtlinien

Betrachtet man die Schichtlinien als 3D-Darstellung, so wird in die Tiefe das Fahrzeualter aufgetragen. Bei bekannter Laufleistung der Fahrzeuge und unter der vereinfachten Annahme konstanter Laufleistung über dem Fahrzeualter, entspricht diese Achse auch den km-Werten.



Schaut man dann von rechts auf das Diagramm, so ist die Darstellung nichts anderes, als ein Weibull-Diagramm mit linearen Achsen.



Für einen bestimmten Produktionsmonat ergeben sich, entsprechend der Anzahl der Schichtlinien, Punkte (rot), aus denen man paarweise die Weibull-Parameter bestimmen kann (in der zweiparametrischen Form werden jeweils zwei Punkte benötigt). Durch Umstellung der Weibull-Funktionen nach T

$$H_1 = 100\% \left( 1 - e^{-\left(\frac{t_1}{T}\right)^b} \right) \quad H_2 = 100\% \left( 1 - e^{-\left(\frac{t_2}{T}\right)^b} \right)$$

und Gleichsetzung, sowie nach anschließender Auflösung nach b, ergibt sich für die zwei Punkte  $(t_1, H_1)$  und  $(t_2, H_2)$ :

$$b = \frac{\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{H_2}{100\%}\right)\right) - \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{H_1}{100\%}\right)\right)}{\ln(t_2) - \ln(t_1)}$$

Im Nenner werden offensichtlich die km-Werte benötigt, die sich aus dem Fahrzeugalter mal der mittleren Laufstrecke pro Monat ergeben ( $t = A \cdot L_{proM}$ ). Da aber die Logarithmen der t-Werte voneinander abgezogen werden, ist die Umrechnung auf tatsächliche km-Werte nicht notwendig, es reicht die Angabe der Monate, denn es gilt:

$$\ln(A_2 \cdot L_{proM}) - \ln(A_1 \cdot L_{proM}) = \ln(A_2) - \ln(A_1)$$

$$e^{\ln(A_2 \cdot L_{proM}) - \ln(A_1 \cdot L_{proM})} = e^{\ln(A_2) - \ln(A_1)}$$

$$\frac{A_2 \cdot \cancel{L_{proM}}}{A_1 \cdot \cancel{L_{proM}}} = \frac{A_2}{A_1}$$

Somit kann mit  $A =$  Fahrzeugalter in Monaten einfach geschrieben werden:

$$b = \frac{\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{H_2}{100\%}\right)\right) - \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{H_1}{100\%}\right)\right)}{\ln(A_2) - \ln(A_1)}$$

Die Fahrstreckenverteilung wird also für die Bestimmung von  $b$  alleine nicht benötigt. Es reichen alle Informationen aus der Schichtlinie. Allerdings ist für  $A_1$  und  $A_2$  die tatsächliche Einsatzzeit zu verwenden. Die sogenannte Verzugszeit, die zwischen der Produktion und dem tatsächlichen Fahrzeugeinsatz liegt, ist abzuziehen. Sie hat einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß und muß, wenn keine konkreten Angaben vorliegen, zumindestens geschätzt werden.

Aus der Umstellung der zweiparametrischen Weibull-Formel ergibt sich weiterhin die charakteristische Lebensdauer  $T_{durch}$ :

$$T = e^{\frac{b \ln(t_1) - \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{H_1}{100\%}\right)\right)}{b}}$$

für die allerdings der km-Wert von  $t$  jetzt benötigt wird. Man kann aber anstelle der charakteristischen Lebensdauer  $T$  in km auch eine charakteristische Fahrzeuglebensdauer  $T^*$  in Monaten verwenden, wobei gilt:

$$T = T^* \cdot L_{proM}$$

In die 2-parametrische Weibull-Gleichung eingesetzt, entsteht:

$$H = 100\% \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}\right) = 100\% \left(1 - e^{-\left(\frac{A \cdot L_{proM}}{T^* \cdot L_{proM}}\right)^b}\right) = 100\% \left(1 - e^{-\left(\frac{A}{T^*}\right)^b}\right)$$

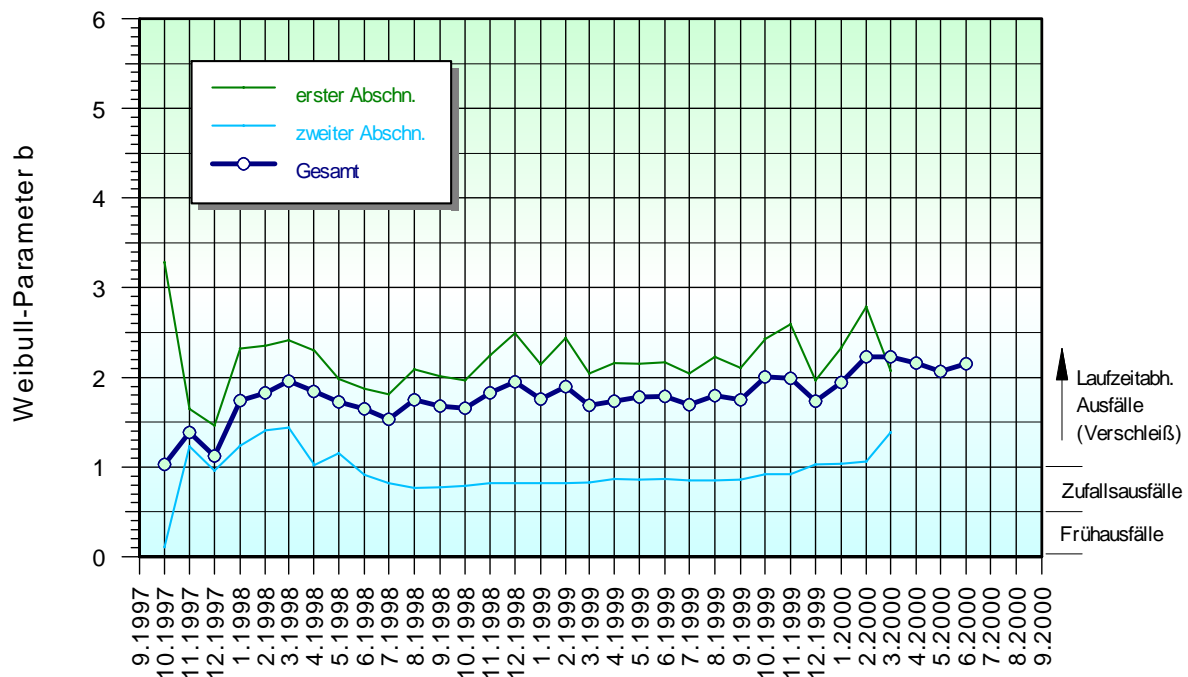
und nach Umstellung wird  $T^*$  zu:

$$T^* = e^{\frac{b \ln(A_1) - \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{H_1}{100\%}\right)\right)}{b}}$$

Auch hier muß die Verzugszeit berücksichtigt werden. In der Regel interessiert aber meist nur der Formparameter  $b$  aus dem bekanntlich zwischen Früh-, Zufalls- und Verschleissausfällen unterschieden werden kann.

Bildet man aus den Punkten der Schichtlinie für jeden Produktionsmonat eine Weibull-Gerade, so lässt sich ein gesamthafes  $b$  und  $T$  ermitteln, welche dem gewohnten Weibull-Netz entsprechen.

Trägt man nun das jeweils berechnete  $b$  über der Produktionszeit auf, so gewinnt man ein sogenanntes „**b-Chart**“ und somit einen Überblick über den „Fertigungsprozess“.



Aus dem oberen Diagramm sind folgende zusätzliche Informationen zu erhalten:

Die mittlere dicke Kurve zeigt das jeweilige  $b$  des gesamten Weibull-Verlaufes eines jeden Produktionsmonates. Die dünneren Kurven stellen zwei Teilausschnitte des Weibull-Verlaufes dar. Die hellblaue ist der erste Abschnitt, die hellgrüne der zweite Abschnitt im Weibull-Netz.

Liegt nun die hellblaue Kurve für den zweiten Abschnitt unter der für den ersten Abschnitt, so ist die Weibull-Kurve nach oben hin flacher und rechtsabknickend. Hieraus lassen sich u.U. Rückschlüsse auf fehlerhafte Chargen führen. Ist der erste Abschnitt unterhalb des zweiten, so ist die Weibull-Kurve linksabknickend, wird also nach hinten hinaus steiler. Dabei handelt es sich wahrscheinlich um eine Mischverteilung, die näher zu untersuchen ist. Zu erwarten sind dann unterschiedliche Ausfallmechanismen.

Das Ziel sollte es sein, dass  $b$  möglichst groß und die Ausfallrate klein ist (entspricht einer steilen und weit rechts liegenden Geraden im Weibull-Netz). Ist  $b \leq 1$ , so liegen Zufalls- und Frühausfälle vor, der „Prozess“ ist nicht i.O. Eine große Differenz zwischen kleinstem und größtem  $b$  innerhalb eines Produktionsmonates deutet auf eine stark gekrümmte Weibull-Kurve hin. In diesen Fällen ist es sinnvoll für diesen Zeitraum das Weibull-Diagramm darzustellen, was aus dem beschriebenen Verfahren leicht möglich ist.

Mit den relativen Beanstandungen als „Ausfallhäufigkeiten“ und dem jeweiligen Fahrzeugalter multipliziert mit der mittleren Laufstrecke lässt sich direkt das Weibull-Netz erzeugen. Aus der Fahrstreckenverteilung ist jedoch bekannt, dass zu jedem Fahrzeugalter 50% der Fahrzeuge die mittlere Laufstrecke zu dem Zeitpunkt, an dem die Daten aufgenommen wurden, noch nicht erreicht haben. Es ist zu erwarten, dass diese Fahrzeuge mit der gleichen Ausfallwahrscheinlichkeit ebenfalls noch beanstandet werden. Genauso, wie bei der Prognoseberechnung, ergeben sich somit „Anwärter“. Diese berechnen sich aus der Produktionsmenge für den betrachteten Produktionsmonat abzüglich der bereits beanstandeten Fahrzeuge multipliziert mit 50%.

$$H_{Anw} = 100\% \left( \frac{n - n \cdot H / 100\%}{n} \right) \cdot \frac{50\%}{100\%} \cdot H = (100\% - H) \cdot 0,5 \cdot H / 100\%$$

Die prognostizierte Gesamtausfallhäufigkeit für den jeweiligen Punkt ist dann:

$$H_{ges} = H + H_{Anw} = H + (100\% - H) \cdot 0,5 \cdot H / 100\%$$

$$H_{ges} \approx 1,5 \cdot H$$

Zu beachten ist, dass in den Daten der Schichtlinien evtl. Doppelbefundungen (wiederholte Beanstandungen eines Fahrzeuges) enthalten sein können, was in der Weibull-Auswertung unerwünscht ist. Außerdem wird vernachlässigt, dass die Fahrzeuge mit einem bestimmten Fahrzeugalter nicht alle die gleiche Fahrstrecke pro Monat zurücklegen (Laufstreckenverteilung). Man betrachtet aber im Weibull-Netz die Ausfallpunkte bezogen auf jeweils einen km-Wert. Es findet somit eine Art Klassierung statt. Führt man eine klassische Weibull-Auswertung durch und vergleicht diese mit dem beschriebenen Verfahren, so liegen die tatsächlichen Ausfallpunkte in der Waagrechten weiter auseinander. Im Vergleich der jeweiligen  $b$ -Werte zeigen sich dadurch entsprechende Abweichungen. Streng genommen müsste man die Anwärter auch für die Bestimmung der einzelnen  $b$ -Werte berücksichtigen. Da aber durch die Anwärter das Ausfall-Niveau für alle Punkte um etwa die gleichen relativen Häufigkeiten nach oben verschoben wird, ändern sich die  $b$ -Werte nur unwesentlich. Die Anwärterberechnung soll deshalb aus Gründen der Vereinfachung nicht berücksichtigt werden.