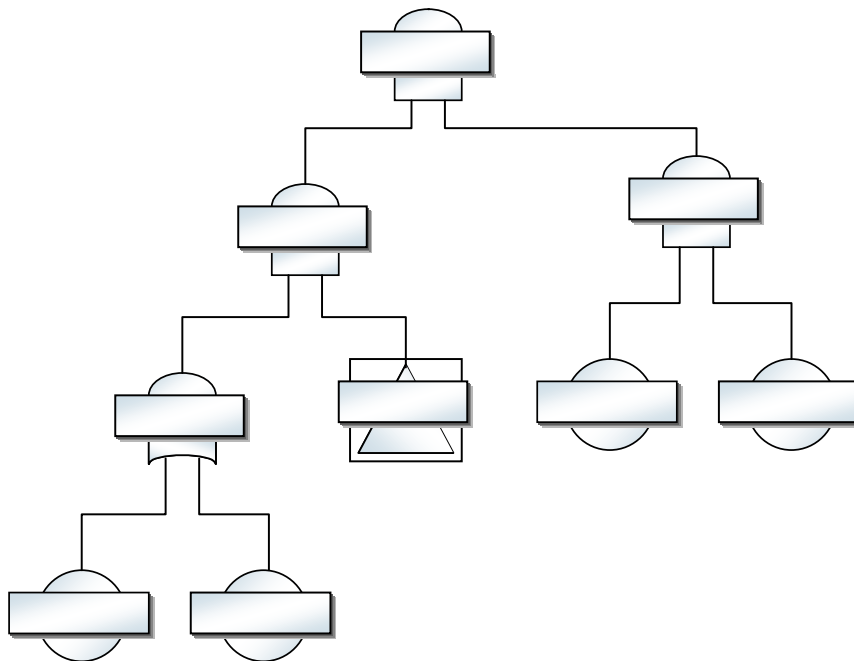


Grundlagen



Die Fault Tree Analysis, kurz FTA (Fault Tree Analysis), wurde ursprünglich im Laufe der sechziger Jahre im Bereich der amerikanischen Telekommunikations- und Flugzeugindustrie entwickelt. Erst Anfang der achtziger Jahre erfolgte auf Veranlassung amerikanischer Behörden eine Formalisierung dieser Methoden.

Die Fehlerbaumanalyse wird für Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalysen eingesetzt.

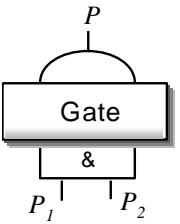
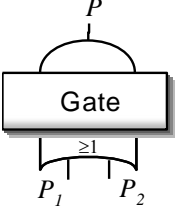
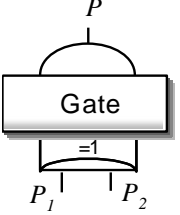
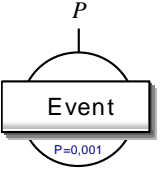
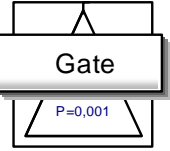
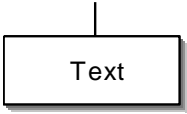
Das Ziel ist, mögliche Kombinationen von Ursachen zu bestimmen, die zu bestimmten unerwünschten Ereignissen (Events) führen können, den sogenannten Top Level Events. Weiterhin ist die Aufgabe einer FTA:

- Die Erstellung einer grafisch/logischen Baumstruktur zum Verständnis der Zusammenhänge.
- Identifizierung möglicher Ausfallursachen und deren Kombinationen.
- Berechnung der Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses.
- Vergleich von Varianten.

Aufbau und Elemente

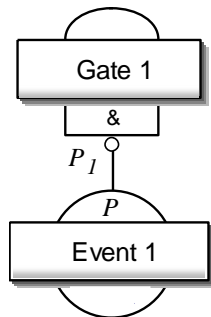
Die Verknüpfung der Events wird jeweils durch verschiedene logische Operatoren, die sogenannten Gates hergestellt. Zu den Events gehören u.a. Gerätefehler, Bedienfehler und Softwarefehler, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu unerwünschten Folgen führen können.

Verwendet wird folgende Symbolik zur Darstellung des Fehlerbaums:

	<p>Und-Verknüpfung (AND-Gate) Das Ausgangsereignis tritt nur ein, wenn alle Eingangseignisse zutreffen. Die Ausgangswahrscheinlichkeit P errechnet sich mit $P = P_1 \cdot P_2 \cdot P \dots$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>P_1</th> <th>P_2</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	P_1	P_2	P	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
P_1	P_2	P															
0	0	0															
1	0	0															
0	1	0															
1	1	1															
	<p>Oder-Verknüpfung (OR-Gate) Das Ausgangsereignis tritt ein, wenn mindestens ein Eingangseignis zutrifft. Die Ausgangswahrscheinlichkeit P errechnet sich mit $P = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P \dots)$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>P_1</th> <th>P_2</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	P_1	P_2	P	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
P_1	P_2	P															
0	0	0															
1	0	1															
0	1	1															
1	1	1															
	<p>Exklusiv-Oder-Verknüpfung (XOR-Gate) Das Ausgangsereignis tritt nur ein, wenn nur ein Eingangseignis zutrifft, aber nicht mehrere. Die Ausgangswahrscheinlichkeit P errechnet sich für 2 Eingänge mit: $P = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) - P_1 \cdot P_2$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>P_1</th> <th>P_2</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	P_1	P_2	P	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0
P_1	P_2	P															
0	0	0															
1	0	1															
0	1	1															
1	1	0															
	<p>Basis-Ereignis (Event) Primäres Basis Ereignis oder Ausfall. Die Wahrscheinlichkeit P wird direkt definiert und stammt meist aus Herstellerangaben des Bauteils. Wie beim Zuverlässigkeits-Blockdiagramm ist P von der Zeit (Bauteilalter) abhängig.</p>																
	<p>Übertragungselement (Sub-Gate) An dieser Stelle wird die weitere Darstellung unterbrochen. Die angegebene Wahrscheinlichkeit P repräsentiert die Zusammenfassung weiterer Unterelemente, die nicht weiter dargestellt werden.</p>																
	<p>Neutrales Text-Element Text-Elemente können in Pfade eingebaut werden, um zusätzliche Informationen unterzubringen, oder weitere „Knicke“ darzustellen. Bei mehreren Eingängen wirkt dieses Element wie ein OR-Gate.</p>																

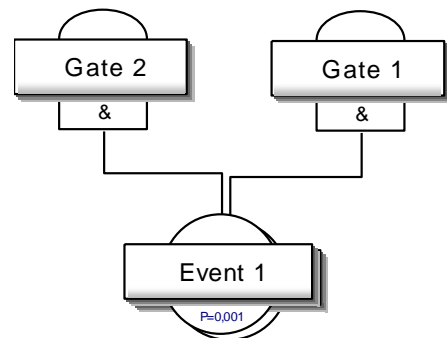
Hinweis: Die Symbole sind im Vergleich zur vereinfachten Darstellung nach DIN 25424 zur Verwendung in einer Software erweitert worden.

Zusätzlich zum OR-Gate gibt es noch ein selten verwendetes OR2-Gate, bei dem mit mindestens 3 Eingangseignissen zwei erfüllt sein müssen. Dies stellt einen Zwitter zwischen AND- und OR-Gate dar.

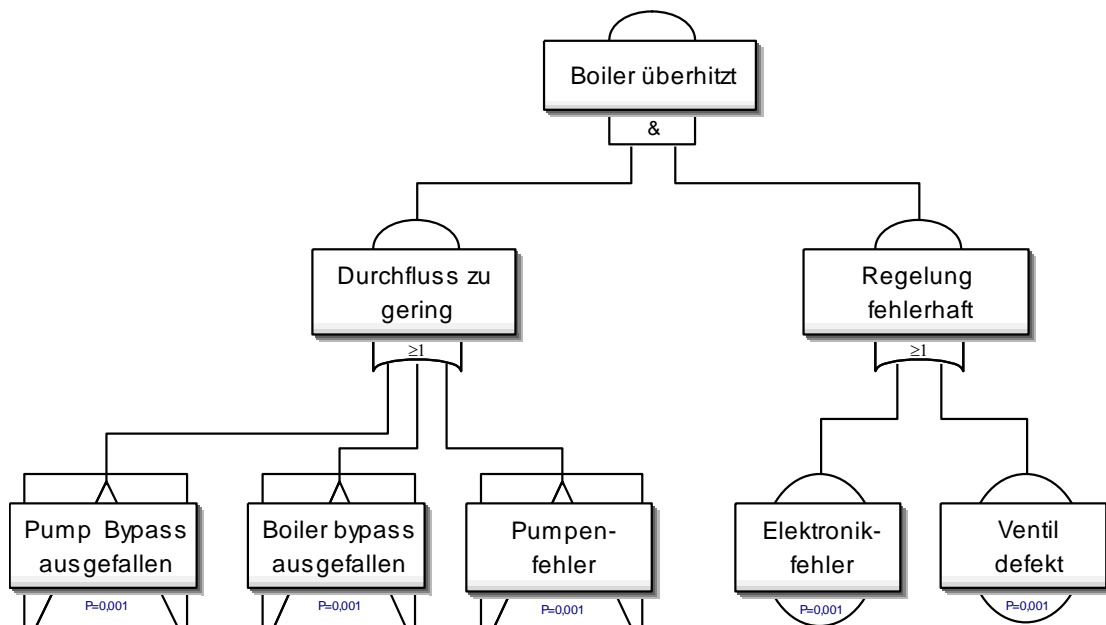


Die Ausgänge von P können negiert werden (Beispiel links). P beschreibt dann die Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis nicht eintritt. Dies wird durch ein Kreissymbol am Eingang des folgenden Gates gekennzeichnet. Dabei gilt für die Eingangswahrscheinlichkeit des folgenden Gates: $P_1 = 1 - P$.

Es kann vorkommen, dass ein Ereignis für mehrere Gates zutrifft (Beispiel rechts). Da es jeweils nur einen Ausgang gibt, muss hier Event 1 dupliziert werden. Die Anordnung kann dabei so erfolgen, dass beide Event 1 übereinander liegen, um zu verdeutlichen, dass es eigentlich dasselbe Element ist. Bei der Definition der Wahrscheinlichkeit reicht es in Visual-XSel aus, ein Event anzuklicken. Das Duplikat übernimmt P , wenn eine Überdeckung vorliegt.

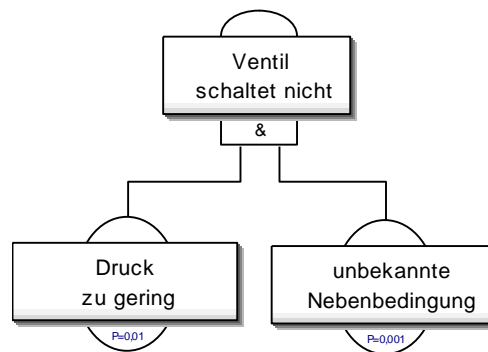


Das folgende Beispiel zeigt einen Fehlerbaum mit berechneten Wahrscheinlichkeiten.



Der Vorteile der FTA ist die leichter zu überschauende Baumstruktur als grundsätzliche Dokumentation der Fehlerpfade, auch wenn die Wahrscheinlichkeiten nicht angegeben werden. Die Betrachtung beginnt beim Top-Event an der Spitze. Nach unten hin werden die Zusammenhänge immer weiter detailliert, bis man bei den Basis-Events ankommt, oder bei den Sub-Gates die weitere Strukturierung abbricht.

Die komplette Erstellung des Fehlerbaums setzt voraus, dass man alle Komponenten und Bedingungen benennen kann. Dies ist unter Umständen nicht immer gegeben, wenn z.B. ein Fehler nur temporär auftritt und nicht bekannt ist, was für eine

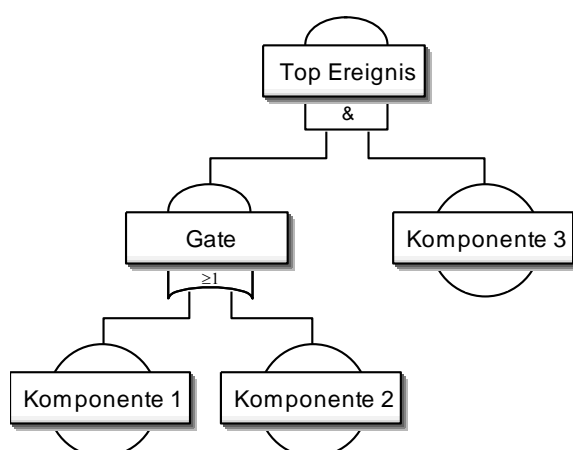


Bedingung hier noch gegeben sein muss. Dies kann zunächst durch einen „Platzhalter“ umgangen werden, der später zu bestimmen ist.

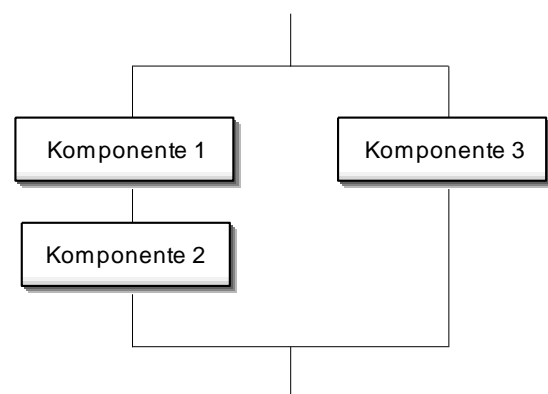
Die FTA ist besonders für den elektrisch/elektronischen Bereich geeignet. Dabei lassen sich auch Steuerungen und Software-Themen behandeln. Dagegen ist es in der FTA nicht möglich, Wirkzusammenhänge quantitativ zu beschreiben und gegenseitige Beeinflussungen darzustellen. Verrechnet werden hier lediglich die Auftretens- bzw. die Fehlerwahrscheinlichkeiten. Im Vergleich hierzu werden in einem Ursachen-Wirkungsdiagramm keine Wahrscheinlichkeiten behandelt. Man betrachtet dort nur den „kritischen“ Augenblick, wenn der Fehler als Top-Ereignis eintritt.

Vergleich mit dem Reliability-Blockdiagramm (RBD)

Auffällig ist dabei, dass hier keine Gates dargestellt werden, sondern nur die entsprechenden Komponenten, die in der FTA die Basis-Events sind.



Fehlerbaumdarstellung



Zuverlässigkeits-Blockdiagramm

Während in der FTA eine Redundanz lediglich als UND-Verknüpfung dargestellt wird, erscheint im RBD dies durch die parallele Anordnung markanter. Der

Unterschied zwischen ODER/UND-Pfad ist hier also grafisch stärker hervorgehoben. Der Vorteil ist auch, dass hier weniger „Elemente“ benötigt werden. Der Nachteil des RBD ist allerdings, dass keine Exklusiv-Oder-Verknüpfung möglich ist.

Der Vorteil der FTA ist vor allem die hierarchische Baumstruktur. Jedes Gate stellt eine entsprechende Zwischenebene oder eine Art Gruppe dar. Hierdurch ist von oben nach unten ein immer höherer Detaillierungsgrad gegeben. Durch relativ wenige Elemente in den oberen Ebenen ist ein guter Einstieg zur Darstellung der Zusammenhänge möglich.

Bei der Behandlung eines Problems, wird häufig auch der Vergleich mit einem [Wirkdiagramm](#) betrachtet. Gibt es „Bedingungen“ oder Komponenten, die noch nicht bekannt sind, so besteht in der FTA das Problem, diese zu benennen. In der Regel setzt man hier Pseudoelemente, die noch näher zu bestimmen sind. Im Wirkdiagramm wird man über die physikalisch/techn. Wirkkette eher auf die noch fehlenden Zusammenhänge hingeführt. Näheres zu Wirkdiagrammen ist unter Systemanalyse beschrieben.

Einteilung der Auftretenswahrscheinlichkeiten

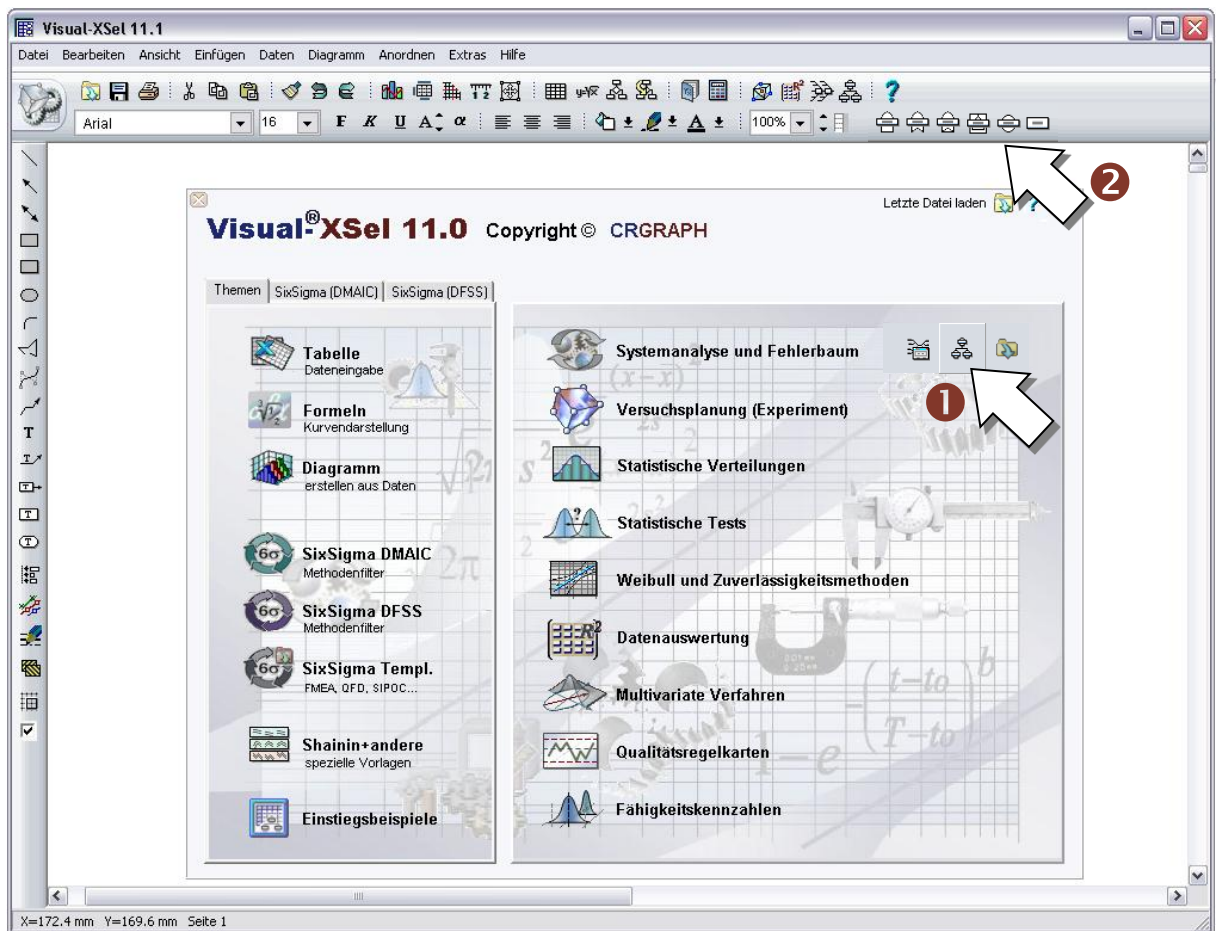
für Basis-Events oder Sub-Gates in Anlehnung an die FMEA - Bewertungsstufen.

Bewertungsstufe nach FMEA	Bedeutung		ppm	P
10	sehr hoch	Sehr häufiges Auftreten der Fehlerursache, unbrauchbarer, ungeeigneter Prozess.	100.000	0,1
9			50.000	0,05
8	hoch	Fehlerursache tritt wiederholt auf, ungenauer Prozess.	20.000	0,02
7			10.000	0,01
6	mäßig	Gelegentlich auftretende Fehlerursache, weniger genauer Prozess.	5.000	0,005
5			2.000	0,002
4			1.000	0,001
3	gering	Auftreten der Fehlerursache ist gering, genauer Prozess.	100	0,0001
2			50	0,00005
1	sehr gering	Auftreten der Fehlerursache ist unwahrscheinlich.	1	0,000001

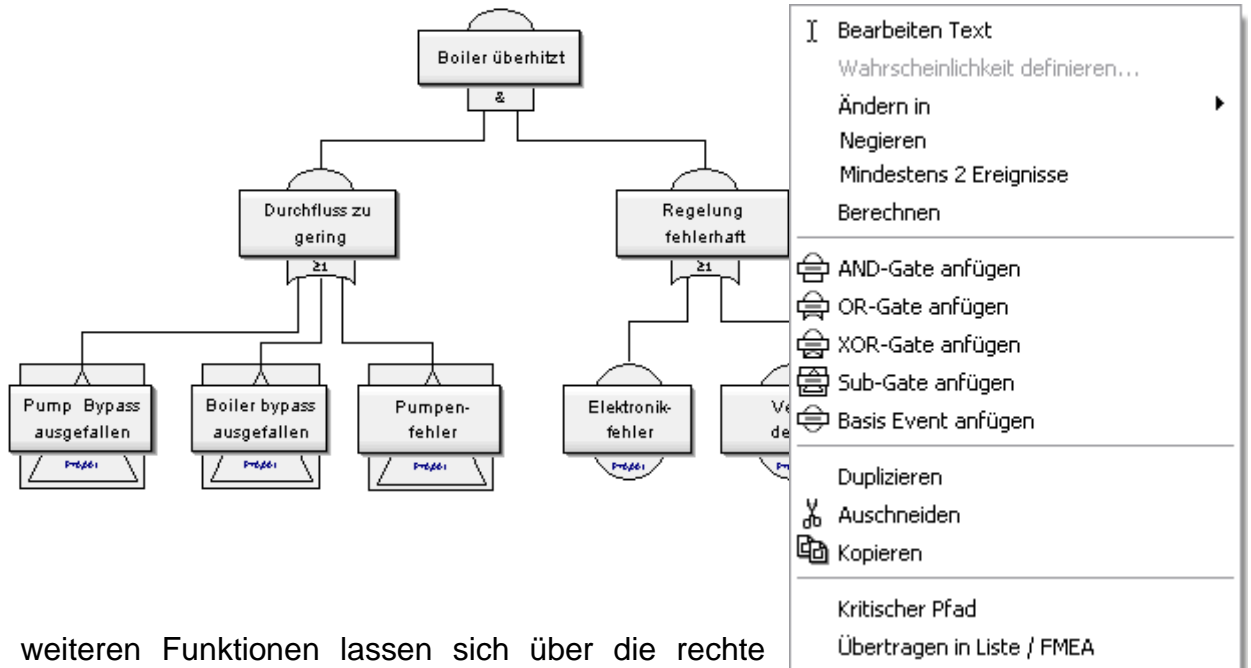


Anwendung in Visual-XSel® 11.0

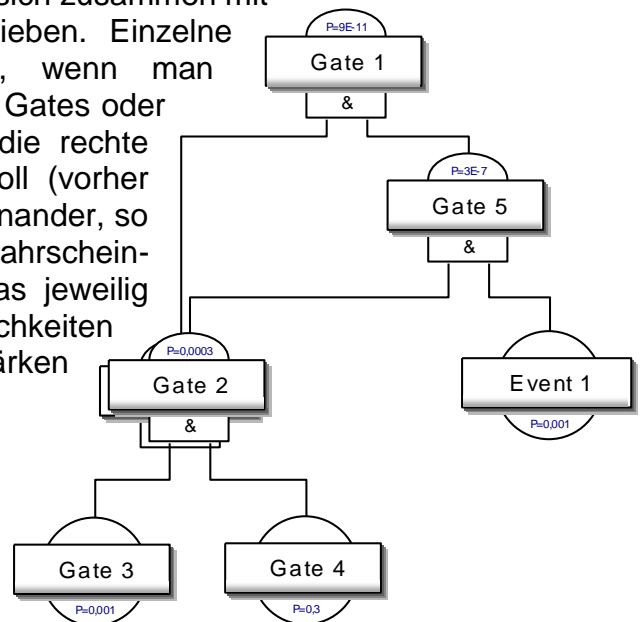
www.crgraph.de/WebDownload.htm



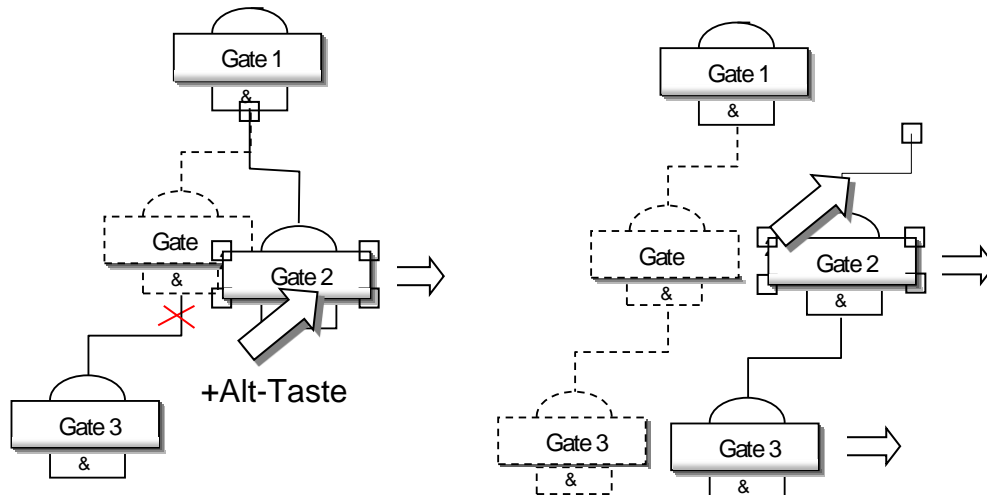
Die Fehlerbaumanalyse wird in Visual-XSel 11.0 rein grafisch erstellt. Hierzu erscheinen zusätzliche Symbole in der Icon-Bar oben, wenn der Menüpunkt Daten/Fehlerbaumanalyse aufgerufen wird.



Alle weiteren Funktionen lassen sich über die rechte Maustaste aufrufen, wenn ein Element der FTA angeklickt wurde. Die jeweiligen Gates lassen sich zusammen mit ihren Unterstrukturen mit der Maus verschieben. Einzelne Elemente können herausgetrennt werden, wenn man gleichzeitig die Alt-Taste gedrückt hält. Sollen Gates oder Events zwei Ausgänge haben, so ist über die rechte Maustaste der Menüpunkt Duplizieren sinnvoll (vorher eines anklicken). Liegen zwei Elemente übereinander, so wirken sich Änderungen hinsichtlich Wahrscheinlichkeiten oder des Typs automatisch auf das jeweilig andere aus. Anstelle von Wahrscheinlichkeiten können die Verbindungen auch durch Strichstärken hervorgehoben werden (Zeichenleiste links unten).



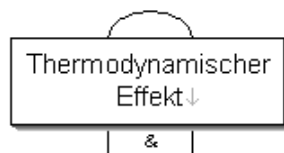
Das Verschieben von Elementen und Teilbereichen geschieht mit der Maus und optional gedrückter Alt-Taste. Mit der der Alt-Taste werden unterhalb liegende Elemente nicht mitgenommen. Dies betrifft auch doppelte Gates, die übereinander liegen. Damit ist es möglich, diese wieder zu trennen. Ohne die Alt-Taste werden alle Elemente mit einem Eingang in das angeklickte Element mitgezogen. Dabei bleibt der eigene Ausgang am oberen Ende auf seiner ursprünglichen Position (Bild links). Geht man mit der Maus auf die Ausgangsverbindung, so der Bezug nach oben getrennt (Bild rechts).



Bei der Auswahl der Titel in den Gates und Events sollte man eine möglichst eindeutige und präzise Beschreibung verwenden. Aus Platzgründen ist es aber nicht sinnvoll zu lange Texte zu verwenden. Es ist deshalb möglich für eine detaillierte Beschreibung in einem Element „verborgenen Text“ einzugeben. Dieser nicht sichtbare Text wird im Editiermodus (Doppelklick oder rechte Maustaste) durch das Pipe-Zeichen | gekennzeichnet.



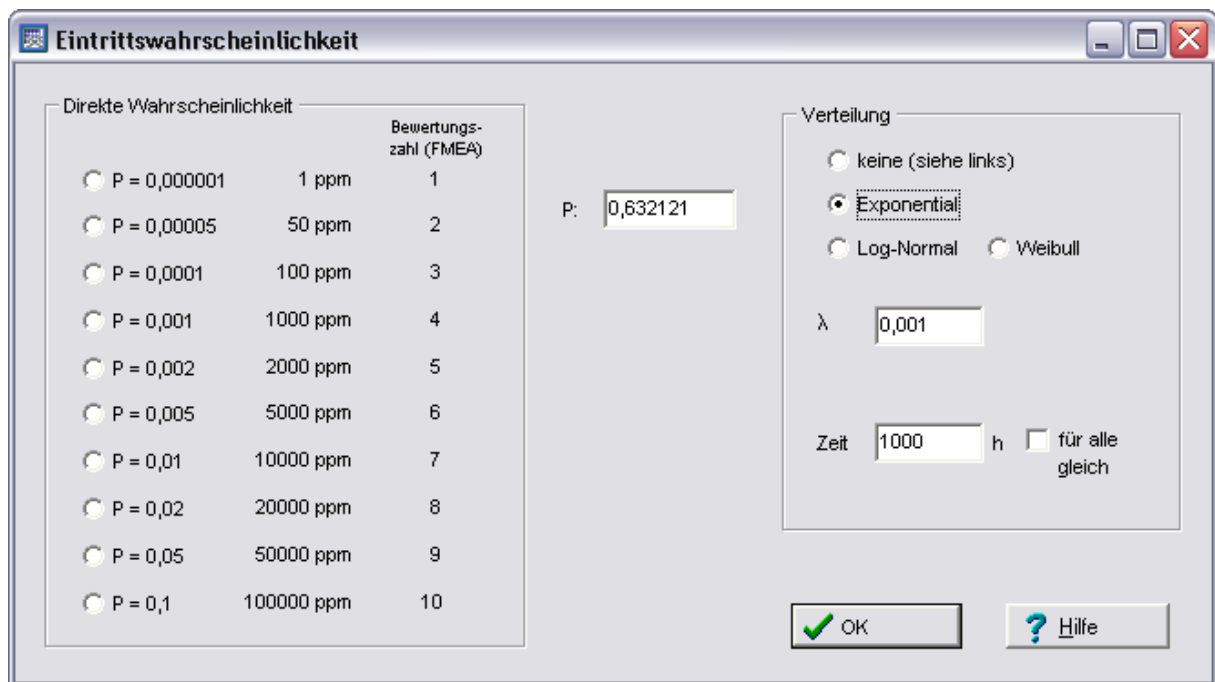
Ab hier weitere Beschreibungen, die nicht sichtbar sein sollen



Nach Doppelklick auf ein freies Feld daneben, wird Editiermodus beendet

Den Sub-Gates und Basis-Events kann man eine **Eintrittswahrscheinlichkeit** bzw. **Ausfallwahrscheinlichkeit** zuweisen. Dies erfolgt direkt mit einem zeitunabhängigen Wert (linke Seite), oder über eine zeitabhängige Verteilung (rechte Seite).

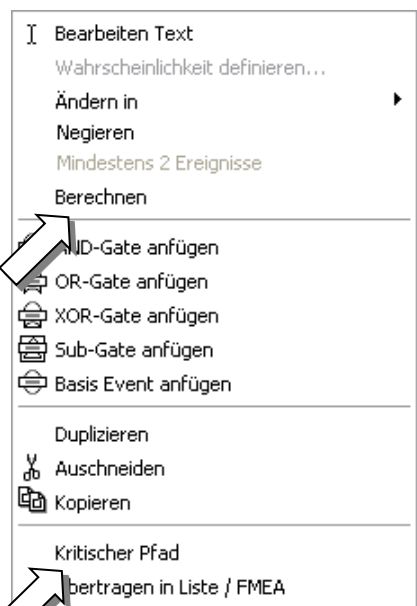
Die Auswahl der direkten Vorgabe der Wahrscheinlichkeiten orientiert sich nach der gängigen Einteilung, die auch in FMEA's verwendet wird. Als Anhaltspunkt ist die dazugehörige Bewertungszahl von 1 bis 10 mit abgebildet. Andere Werte können in der Mitte definiert werden.

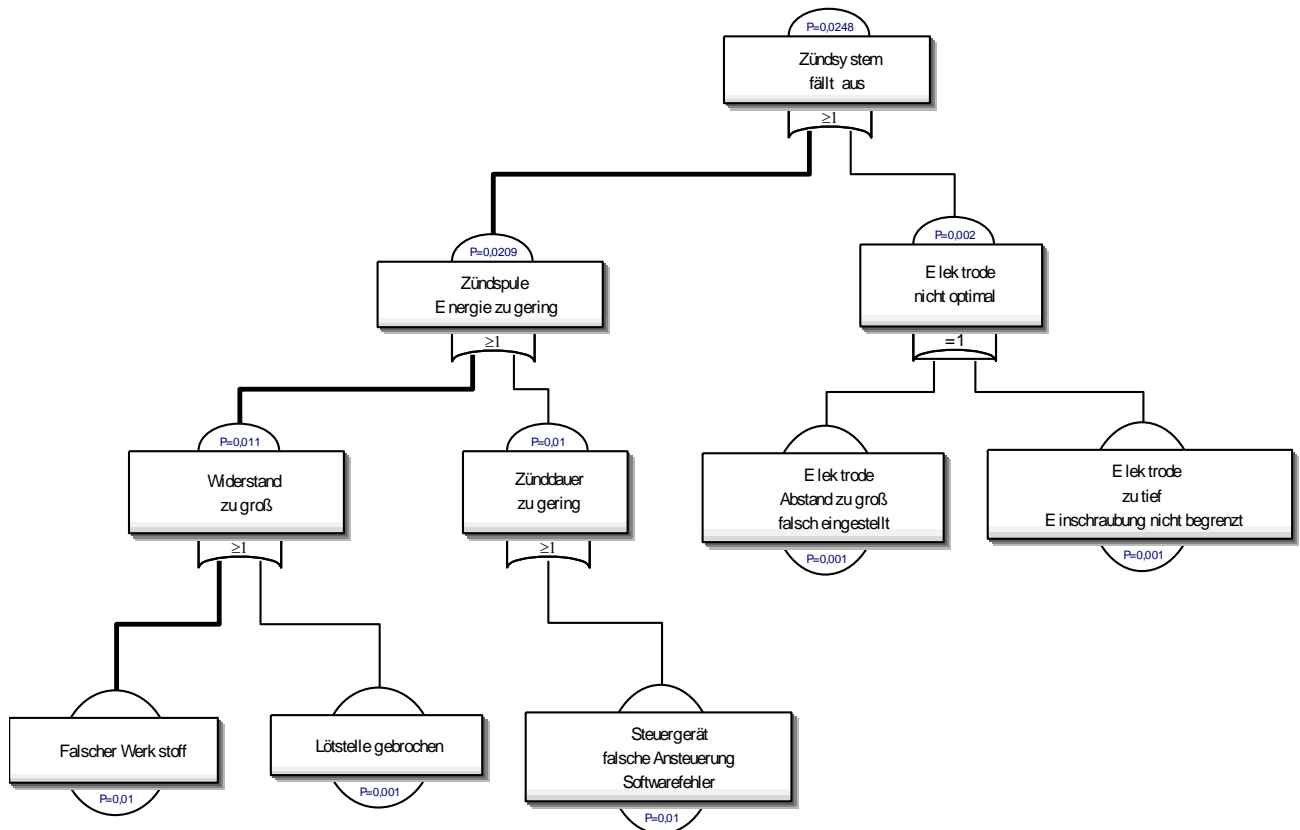


Bei der Verwendung von statistischen Verteilungen ist die meistverwendete die **Exponentialverteilung** mit der Ausfallrate λ . Die Zeitangabe ist in Stunden zu verstehen. Dabei können verschiedenen Elementen unterschiedliche „Betriebsstunden“ zugewiesen werden. Dies ist z.B. sinnvoll, wenn in einem System gewisse Komponenten unterschiedlich lange in Funktion sind und somit kalendarisch unterschiedlich belastet werden. Gilt für alle Komponenten die gleiche Betriebszeit, so ist die Option „für alle gleich“ zu setzen. Alle Elemente im Fehlerbaum erhalten dann die Zeit des gerade aktuell gewählten Wertes.

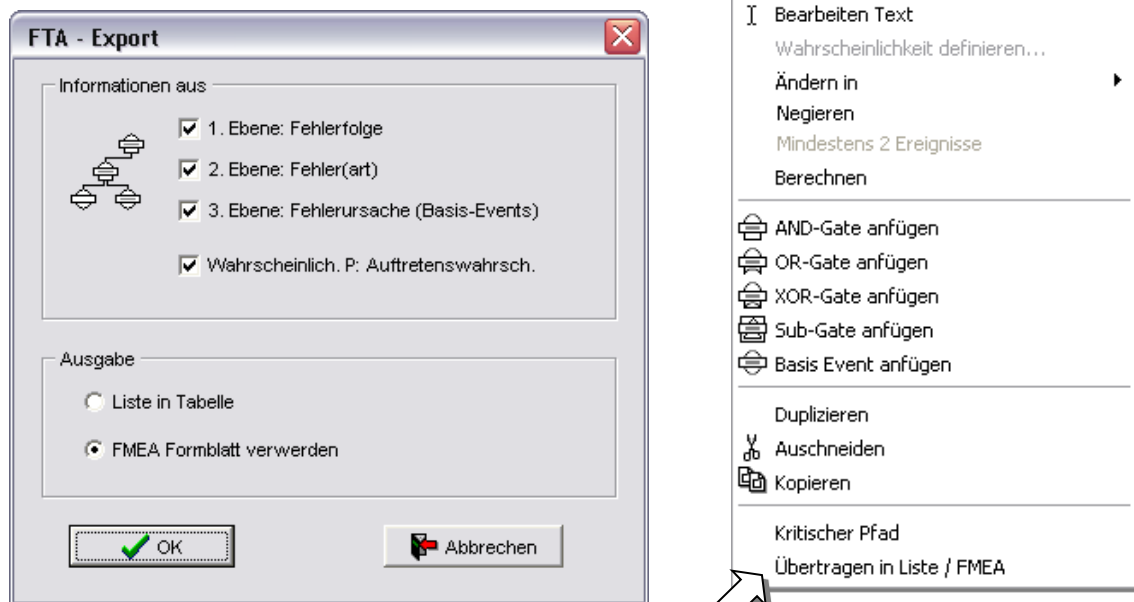
Nach Festlegung aller Eintrittswahrscheinlichkeiten kann die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des „Top-Event“ berechnet werden (Popup-Menü rechte Maustaste). Möchte man wissen, welcher „Pfad“ das Top-Event am meisten beeinflusst, so kann man dies über den Menüpunkt **Kritischer Pfad** (Popup-Menü rechte Maustaste) anhand der Strichstärke der Verbindungen grafisch darstellen. Gibt es in einer Teilstruktur gleiche Wahrscheinlichkeiten, so wird keine Markierung vorgenommen.

Die damit verbundene Änderung der Grafik kann über Rückgängig machen (Menüpunkt Bearbeiten oben) wieder zurückgesetzt werden.





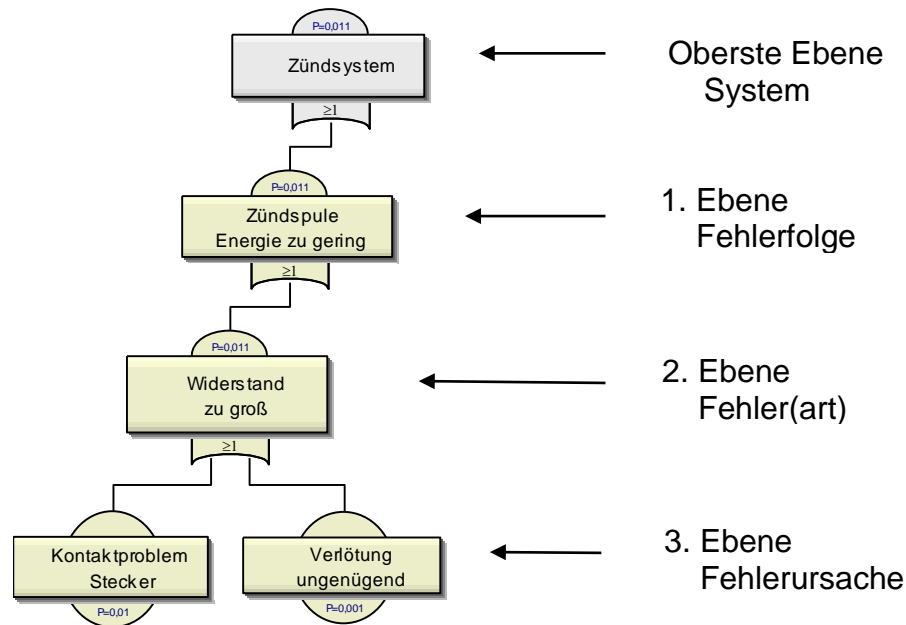
Die textlichen Inhalte der FTA-Elemente lassen sich in eine Liste oder auf ein **FMEA Formblatt** übertragen. Hierzu ist ein beliebiges FTA-Element anzuklicken, um mit der rechten Maus das Popmenü zu öffnen.



Normalerweise wird ein Fehlerbaum aus der FMEA abgeleitet. Die hier gezeigte Vorgehensweise ist umgekehrt. Was ist der Vorteil? Durch die grafische Erstellung der „Fehlerpfade“ zu Beginn ist die Gesamtheit übersichtlich und transparent.

Mit dem Fehlerbaum ist der Grundstock schnell erstellt. Für die Übernahme sollte die FTA in 3 Ebenen aufgeteilt sein. Die oberste Ebene, sonst das Top-Event, stellt

das System dar. Dies ist hier sinnvoll, damit man für ein entsprechendes Produkt/System eine vollständige FMEA erhält. Verwendet man nur ein Top-Event, so wäre der Output nur ein Teilbereich eines Gesamtproduktes und somit die FMEA ebenfalls nur ein Ausschnitt.



Danach folgen die Ebenen Fehlerfolge, Fehler(art) und Fehlerursache. Zwischen oberster Ebene und Ebene 1 können natürlich noch für eine erweiterte Strukturierung Elemente eingeschoben werden, die jedoch keine Bedeutung für die Übernahme in die FMEA haben. Die angegebene Eintrittswahrscheinlichkeit P der Basis-Events oder Sub-Gates wird optional als Auftretenswahrscheinlichkeit bzw. als entsprechend dazugehörige Bewertungszahlen interpretiert (siehe Dialogbox Eintrittswahrscheinlichkeit oder Tabelle am Ende von Teil 1).

Alle anderen Felder des FMEA-Formblattes müssen in der Tabelle gefüllt werden. Sollte es im Fehlerbaum nachträglich Änderungen geben, so wird bei erneutem Aufruf des Menüpunktes eine neue Tabellenseite angelegt. Bisherige Einträge gehen dadurch nicht verloren und können per Copy/Paste ganz, oder teilweise in das neue Formblatt übernommen werden.

Zu Grundlagen der FMEA und weiterführende Informationen sei auf die einschlägige Literatur verwiesen /3/.

In Visual-XSel kann parallel in einer Datei eine FTA mit einem **Wirkdiagramm** im Hauptfenster darzustellen. Dies ermöglicht beide „Sichtweisen“ mit ihren spezifischen Vorteilen gleichsam zu behandeln. Das Reliability-Blockdiagramm wird in einem eigenen Fenster bearbeitet (Menüpunkt Daten/ Reliability-Blockdiagramm).

Literatur

- /1/ DIN 25424 Fehlerbaumanalyse,
Teil 1 und 2
Ausgabe 1981-09, Beuth Verlag Berlin

- /2/ Reinhard Böhnert: Bauteil- und Anlagensicherheit.
Vogel, Würzburg 1992,
ISBN 3-8023-0468-3

- /3/ VDA Band 4
Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie
Produkt- und Prozess FMEA