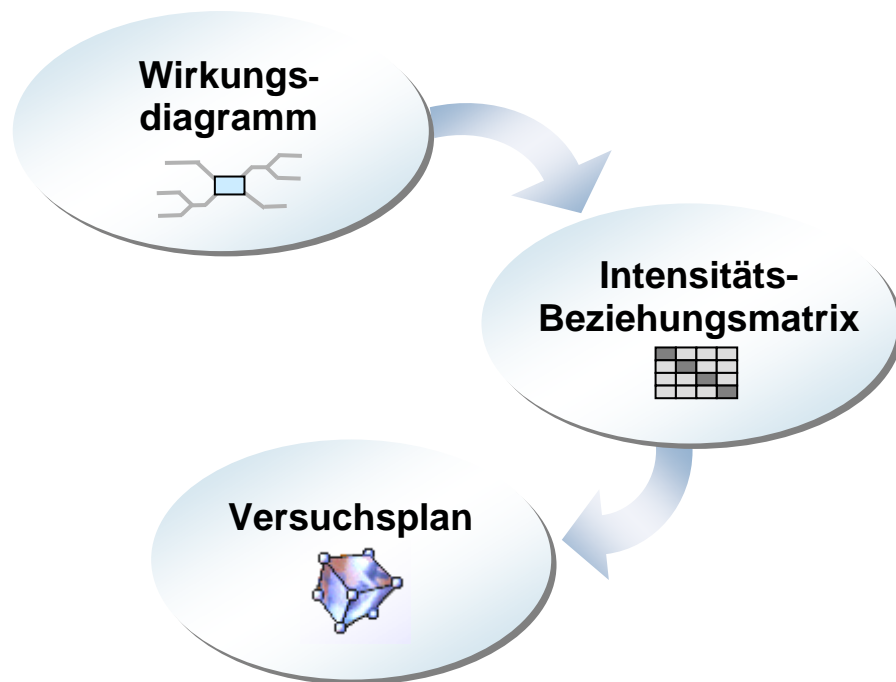


Systemanalyse Vom Wirkungsdiagramm zum Versuchsplan



Teil 1

Grundlagen

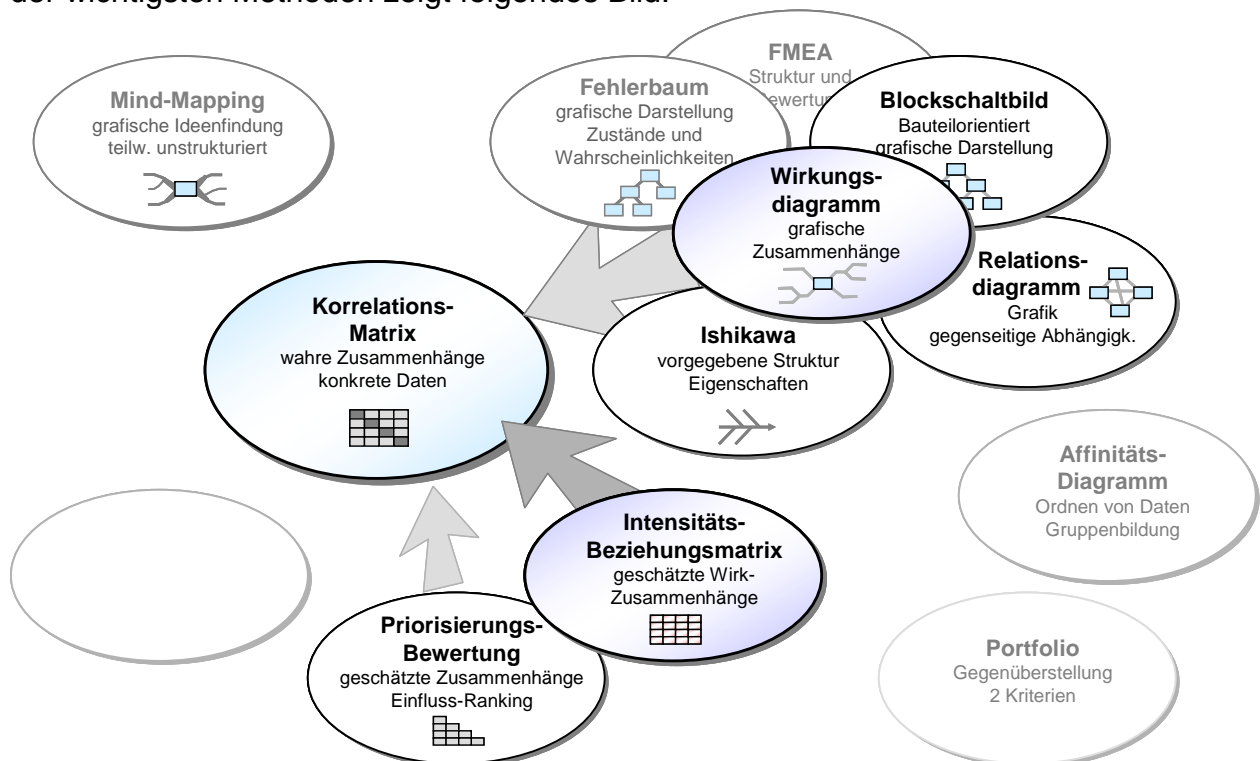
Systemanalyse

Die Lösung technischer Probleme wird u.a. aufgrund komplexer werdender Systeme immer schwieriger. In diesem Zusammenhang wird mittlerweile Design of Experiment (DoE) auch im Zusammenhang mit SixSigma häufig eingesetzt. Leider scheitern Versuchsplanungen aber an der ungenügenden Vorbereitung. Die besten statistischen Methoden können aus der Beobachtung weggelassene und unterschätzte Faktoren nicht bewerten. Anhand eines Beispiels soll gezeigt werden, wie eine bestmögliche Systemanalyse als Einstieg in eine Versuchsplanung durchgeführt werden kann.

Eine Systemanalyse ist eine systematische Untersuchung von „Elementen“ die in Beziehung zueinander stehen (Kurzfassung aus Definition Duden).

Unter dem Begriff Systemanalyse verbergen sich eine Vielzahl von Methoden und Darstellungen. Im Rahmen dieser Beschreibungen sollen einschränkend die Bausteine betrachtet werden, die für eine spätere Untersuchung, insbesondere für die Erstellung von Versuchsplänen wichtig sind.

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen grafischen Verfahren und Matrix-Strukturen die teilweise auch ineinander über gehen. Das Ziel ist es durch Abschätzung den wirklichen Beziehungen so nahe wie möglich zu kommen. Eine Gegenüberstellung der wichtigsten Methoden zeigt folgendes Bild:



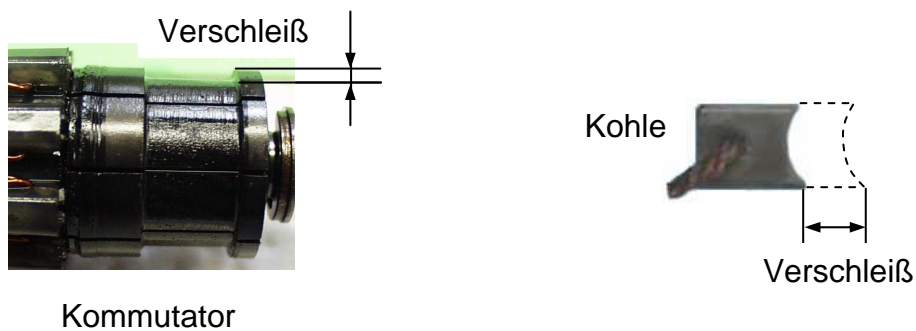
Die wirklichen Beziehungen lassen sich bei Vorhandensein der nötigen Daten als Korrelationsmatrix beschreiben. Zu Beginn der Untersuchung stellt man in der Regel ein Struktur- oder Blockdiagramm auf. Die Benennung der Darstellungen ist teilweise nicht einheitlich anzutreffen.

Je nach Methode sind unterschiedliche Betrachtungsweisen möglich. Durch Querverbindungen wird aus einer linearen Struktur eine Relation.

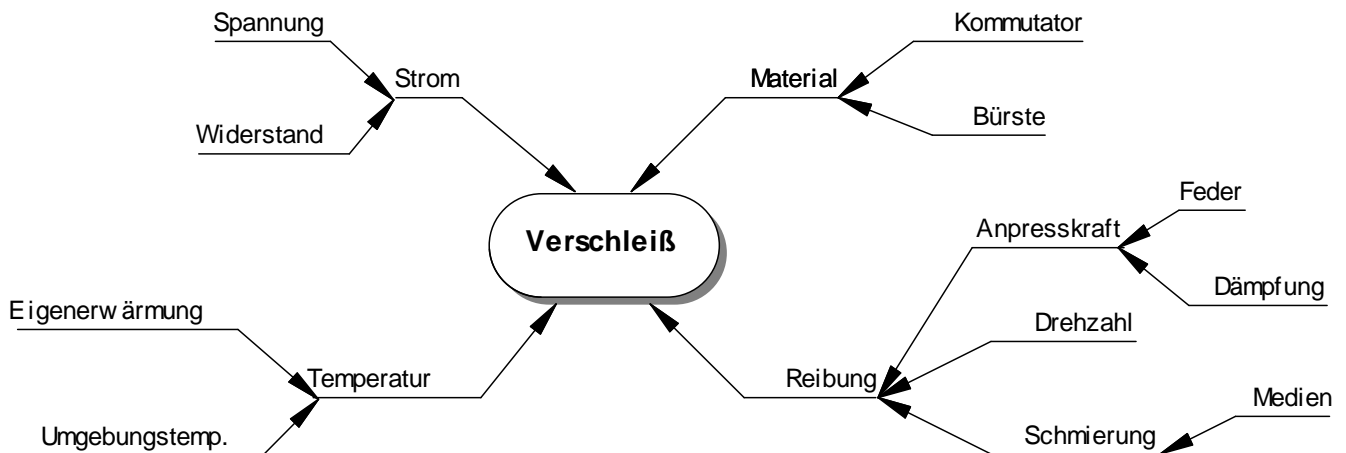
Ursachen-Wirkungs-Darstellung

Das Blockschaltbild ist meist eine rein bauteilorientierte Darstellung. Geeignet ist dieses Vorgehen für das grundsätzliche Verständnis des konstruktiven Aufbaus des Systems. Zusammenhänge der Funktionen und Wirkungen werden damit aber nur unzureichend oder gar nicht wiedergegeben.

Eine wesentlich bessere Möglichkeit für die Problemfindung ist das Fehlerbild in den Vordergrund zu stellen. In der Entwicklung eines neuen E-Motors gab es ein Verschleißproblem an Kommutator und Bürsten.



Verwendet man hier anstelle der Bauteile physikalisch/technischen Begriffe für die Ursachen von Verschleiß, so entsteht folgende mögliche Darstellung (vereinfachte Darstellung):

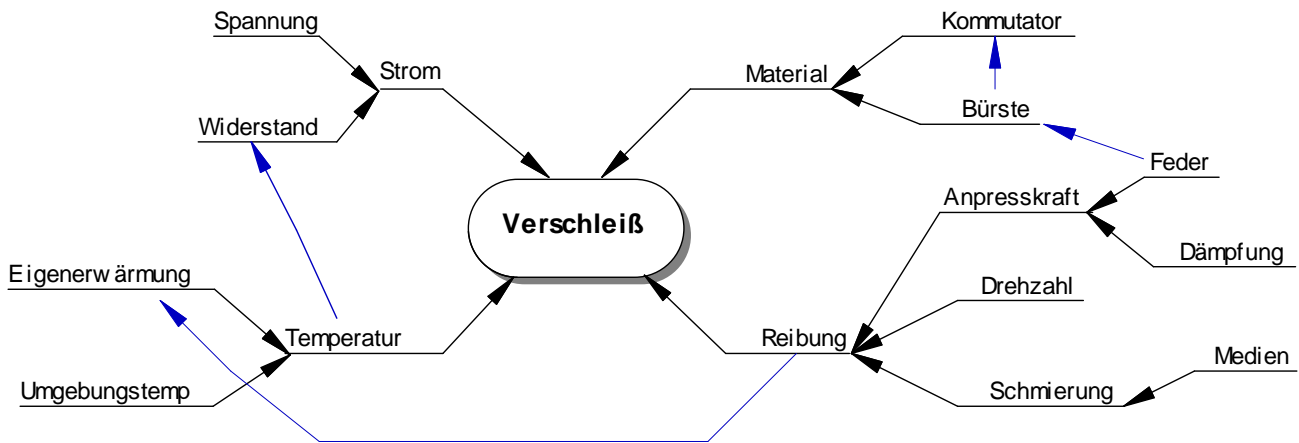


Die gezeigte Aufteilung hat den großen Vorteil, dass die Wirkreihenfolge klar erkennbar ist und eine spätere Bewertung der Ursachen den Verschleiß besser berücksichtigt.



Einbeziehung von Querverbindungen (Relationsdiagramm)

Bei näherer Betrachtung der vorhergehenden Struktur wird schnell klar, dass es weitere Abhängigkeiten gibt. Der Widerstand ist von der Temperatur und die Reibung von der Eigenerwärmung abhängig, usw.



Je nach Anzahl der Querverbindungen ergibt sich eine mehr oder weniger starke Vernetzung. Es empfiehlt sich hier diese farblich hervorzuheben.

Der nächste Schritt ist die Bewertung des Wirkdiagramms mit Hilfe der so genannten Intensitäts-Beziehungsmatrix.

Intensitäts-Beziehungsmatrix

Die so genannte Intensitäts-Beziehungsmatrix stellt eine Art Netzwerkanalyse dar und stammt aus der Methode des vernetzten Denkens zur Lösung komplexer Probleme. Diese wurde von Frederic Vester entwickelt und ist auch unter dem Stichwort „Papiercomputer“ bekannt (siehe auch Probst, Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln /1/). Mit diesem einfachen Hilfsmittel können Wirkungsintensitäten innerhalb eines komplexen Netzwerkes von Faktoren geschätzt werden. In Hinblick auf Systemanalysen und Versuchsplanung lassen sich damit die entscheidenden Faktoren für eine spätere Untersuchung herauszufinden (Variantenreduzierung).

Die Eingabe der Bezeichnungen erfolgt zunächst untereinander in einer Tabelle. Die gleichen Titel sind horizontal in der ersten Zeile einzugeben. Es sind dann die jeweiligen Wirkungen der Titel in der ersten Spalte auf die in der ersten Zeile einzutragen. Die Matrix stellt sicher, dass alle möglichen Kombinationen bewertet werden.

Der „Grad“ der Wirkungen wird in der Regel durch Experten oder Fachleute geschätzt:

- 0 = kein Einfluss
- 1 = geringer Einfluss
- 2 = mittlerer Einfluss
- 3 = großer Einfluss.

Manchmal sind wenige Wirkungen übermäßig stark im Verhältnis zu den anderen großen. Hierfür ist eine Wirkstärke von 5 möglich.

Zur besseren Übersichtlichkeit, können Felder mit Bewertung 0 weggelassen werden. Die Eingabe der 0 hat jedoch den Vorteil, dass man bei Unterbrechung der Be-

wertung später weiß, welche Felder schon bearbeitet wurden.
 Aus der vorhergehenden problemorientierten Darstellung des Elektromotors ergibt sich folgende mögliche Matrix unter Einbeziehung der Querverbindungen:

Wirkung von auf ->	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Strom	Widerstand	Spannung	Material	Bürste	Kommutator	Temperatur	Eigenerwärmung	Umgebungstemp	Reibung	Drehzahl	Anpresskraft	Dämpfung	Feder	Schmierung	Medien	
1 Strom	1																0
2 Widerstand	2	1															2
3 Spannung	3		1														3
4 Material				1													0
5 Bürste				2	1												5
6 Kommutator				3		1											3
7 Temperatur		1					1										1
8 Eigenerwärmung							3	1									3
9 Umgebungstemp							2		1								2
10 Reibung								3		1							3
11 Drehzahl										2	1						2
12 Anpresskraft										3		1					3
13 Dämpfung												2	1				2
14 Feder					3							3		1			6
15 Schmierung										3						1	3
16 Medien																3	3
	5	1	0	5	3	3	5	3	0	8	0	5	0	0	3	0	



Neu an der hier gezeigten Variante der Intensitäts-Beziehungsmatrix ist gegenüber der Literatur die Einbeziehung der vorhergehenden grafischen Betrachtung. Weiß hervorgehobene Felder bedeuten, dass aus dem Wirkdiagramm direkte Beziehungen (Pfeile) bestehen. Hell sind ebenfalls Querbeziehungen (Wirkungen - Abhängigkeiten). Diese Felder müssen unbedingt ausgefüllt werden! Die grau hinterlegten Felder sind nochmals zu überprüfen, ob hier Wirkungen übersehen wurden. Dabei ist in diesem Beispiel aufgefallen, dass eine Wechselwirkung zwischen Strom und der Eigenerwärmung, sowie zwischen Bürste und dem Kommutator vergessen wurde. Deshalb sind hier entsprechende Werte nachgetragen worden.

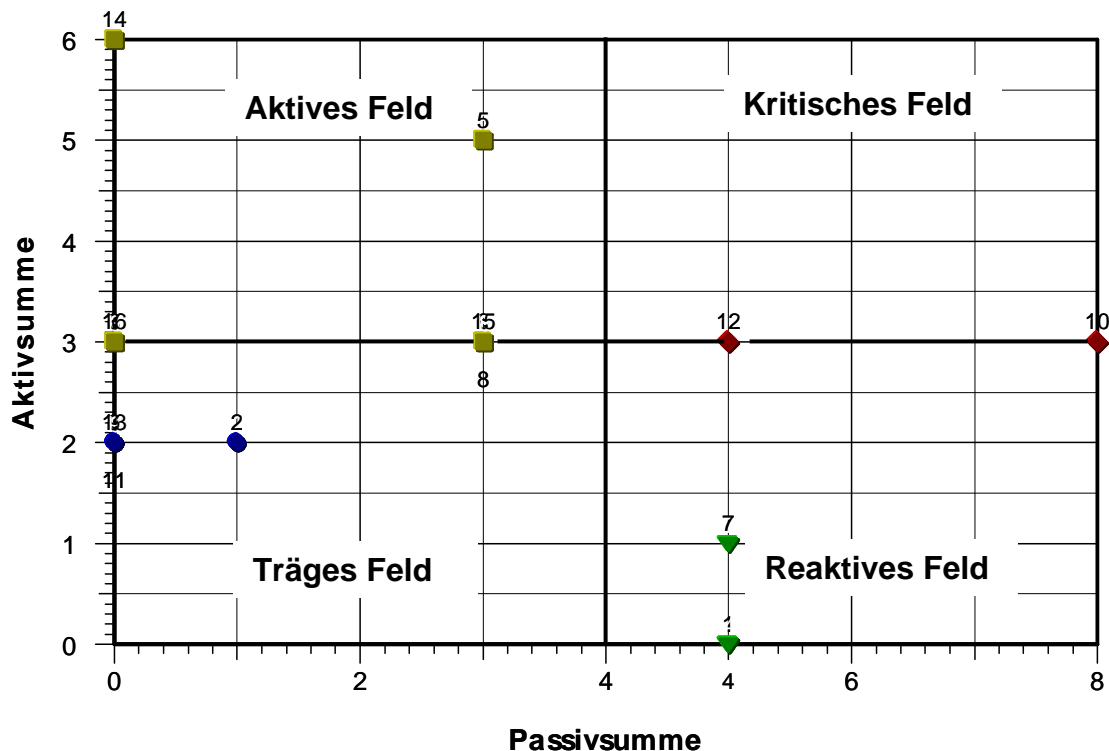
Nach der Bewertung werden der Reihe nach die Summen der einzelnen Zeilen gebildet (horizontal). Diese stellen die so genannten **Aktivsummen** dar (rechts aufgetragen). Die Summen der einzelnen Spalten (vertikal) ergeben die so genannten **Passivsummen**.

In einem Punktediagramm trägt man nach der Bewertung die einzelnen Titel über der Passiv- und Aktivsumme auf. Die Skalierung beginnt in X- und Y-Richtung immer bei 0. Der Endwert der X-Achse ist der an größten vorkommende Passivwert, der Endwert der Y-Achse der am größten vorkommende Aktivwert.

Das Diagramm wird dann horizontal und vertikal in gleich große Hälften aufgeteilt. Dabei ergeben sich 4 Felder, die für das weitere Vorgehen wichtig sind.



Diese stellen das **aktive** und **träge**, sowie das **kritische** und **reaktive** Feld dar. Für weitere Versuchspläne sind die Faktoren im aktiven und kritischen Feld zu berücksichtigen. Beim kritischen Feld handelt es sich im Allgemeinen um mögliche Wechselwirkungen mit anderen Faktoren im kritischen und aktiven Feld. Auf die Faktoren im trägen Feld kann verzichtet werden. Die Faktoren im reaktiven Feld können in der Betrachtung als weitere so genannte „uncontrolled factors“ mit aufgeführt werden, die aber im weiteren Versuchsplan nicht variiert werden. Da hier praktisch nur andere einwirken, können diese auch als weitere Zielgrößen betrachtet werden.



Im Aktivem und kritischem Feld befinden sich die unabhängigen Faktoren:

Spannung, Bürste, Kommutator, Eigenerwärmung, Feder und Medium.

Obwohl der Titel Eigenerwärmung außen liegt, ist dieser abhängig von der Reibung. Eine unabhängige Variation ist nicht ohne weiteres möglich. Deshalb wird im Versuch dieser Titel variiert durch die Umgebungstemperatur und allgemein als Temperatur weitergeführt.



Die Anzahl der (unabhängigen) Faktoren konnte von 10 auf 6 reduziert werden. Daraus ergeben sich $6 \cdot (6-1)/2 = 15$ Wechselwirkungen. Diese sind:

Spannung*Bürste				
Spannung*Kommutator	Bürste*Kommutator			
Spannung*Temperatur	Bürste*Temperatur	Kommutator*Temper.		
Spannung*Feder	Bürste*Feder	Kommutator*Feder	Temperatur*Feder	
Spannung*Medium	Bürste*Medium	Kommutator*Medium	Temperatur*Medium	Feder*Medium

Spannung*Feder, Kommutator*Temperatur (Eigenerwärmung) und Feder*Medium ergeben keinen technischen Sinn und werden herausgenommen.

Die minimale Anzahl Versuche für D-Optimales Design aus diesem Vorgehen ist:

$$n = 6 + 15 - 3 + 1 + 1^* = 20$$

Die minimale Anzahl Versuche für D-Optimales Design unter Berücksichtigung aller unabhängigen Faktoren wäre:

$$n = 10 + 10 \cdot (10-1)/2 + 1 + 1^* = 57$$

* Hinweis: +1 für die Bestimmung der Konstante und nochmal +1 als Freiheitsgrad für die Streuung.



Hieraus ergibt sich eine Einsparung von 37 Versuchen!

© Copyright CRGRAPH 2008

www.versuchsmethoden.de



Der wesentliche Punkt bei diesem Beispiel ist, dass die Bewertung nicht alleine zwischen den unabhängigen Faktoren erfolgt ist (äußerste Titel im problemorientiertem Diagramm), sondern unter Einbeziehung der abhängigen Größen Strom, Temperatur, Reibung und Material. Nur hierdurch ist eine auf das Problem fokussierte Bewertung möglich!

Besteht die Möglichkeit die Einstellungen der abhängigen Größen durch Ersatzprüfungen zu variieren (Labortest oder Simulation), so können in der Regel weitere Wechselwirkungen reduziert werden und der Versuchsplan wird noch einfacher.

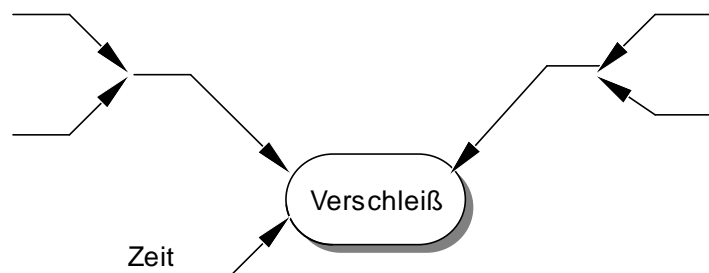
Überproportional stark wirkende Faktoren

Manchmal kann es vorkommen, dass ein Titel gegenüber anderen eine mit Abstand sehr hohe Aktiv- und evtl. Passivsumme aufweist. Durch diesen Titel wird der Achsenbereich bestimmt und alle anderen Titel erscheinen fast nur im trägen Feld. Die beschriebene Einteilung in die 4 Felder und deren Interpretation ist dann so nicht mehr sinnvoll. Abhilfe ist eine temporäre Wiederholung ohne diesen Titel.

Nicht variierte Parameter und Berücksichtigung der Zielgröße

Physikalisch betrachtet nimmt natürlich der Verschleiß über der Zeit zu. Die Zeit wurden im Wirkdiagramm aber nicht berücksichtigt. Dies kann bedeuten, dass nur ein relativer Verschleiß pro Zeiteinheit als Titel gemeint ist, oder dass ein Versuch immer mit gleicher Laufzeit gefahren wird. Der Parameter Zeit wird entsprechend als konstant angesetzt. Soll die Zeit in der Darstellung aufgenommen werden, ist folgendes zu berücksichtigen.

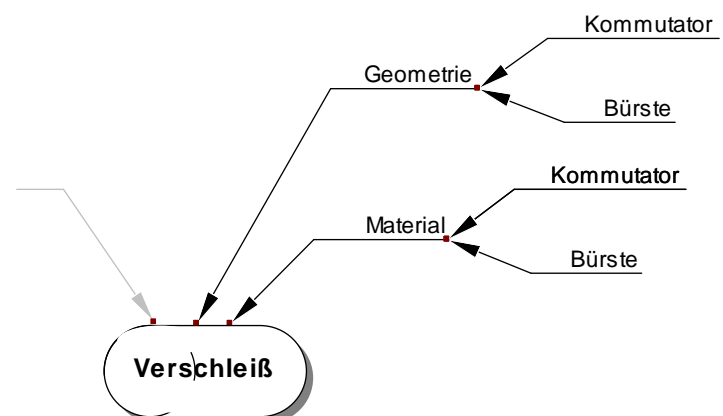
Normalerweise wird in die Bewertung der Intensitäts-Beziehungsmatrix die Zielgröße selber nicht bewertet. Gibt es allein stehende Wirkungen wie eben die Zeit, so würde wegen des fehlenden Zieles in der Tabelle kein Eintrag für die Zeit erfolgen können. Dies liegt daran, dass



es keine weiteren Wirkungseingänge in die Zeit gibt. In diesem Fall ist deshalb die Zielgröße mit aufzunehmen. Dies gilt auch, wenn anzunehmen ist, dass die Zielgröße Rückwirkungen auf Faktoren hat (Beispiel Verschleiß erhöht Reibkoeffizient -> Reibung nimmt zu).

Aufteilung in Geometrie und Material

Weiterhin wurden in die bisherige Grafik keine geometrischen Eigenschaften verwendet. Im Problemlösungsprozess sind Abmessungen und konstruktive Merkmale meist nicht veränderbar. In der Entwicklungsphase sind diese aber unbedingt mit aufzunehmen, wobei in der Aufteilung zwischen Geometrie und Material gleiche Bauteile mehrmals vorkommen können. Nicht zu vergessen sind dabei evtl. direkte physikalische



Abhängigkeiten. Z.B. können durch Verformung elastischer Werkstoffe Abmessungen zu- oder abnehmen. Als Abhängigkeit ist im Wirkungsdiagramm jedoch nicht einzutragen, wenn ein geringer Bauraum höherwertige Materialien in der Auswahl erfordert! Produktionsbedingte Anpassungen sind in dieser Vorgehensweise keine technisch physikalische Wirkungen!

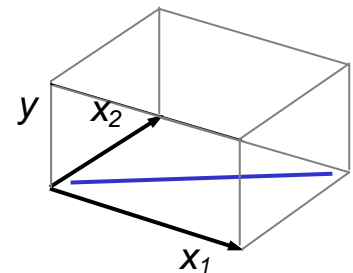
Wirkungen versus Wechselwirkungen

Bei der Darstellung von grafischen „Querverbindungen“ sind die Unterschiede zwischen Wirkungen und Wechselwirkungen zu beachten !

Wirkungen (Bewertungen in der Intensitäts-Beziehungsmatrix)

Faktoren wirken auf andere Faktoren und beeinflussen diese.

Hieraus ergeben sich bei nicht kontrollierten Prozessen korrelierende Daten. In einem kontrolliertem Prozess können Korrelationen vermieden und ein Versuchsplan generiert werden. Beispiel: Reibung erzeugt Eigenerwärmung. Dies kann durch externe Kühlung verhindert werden.

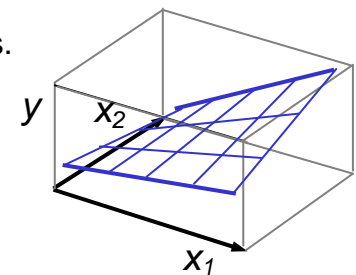


Wechselwirkungen

Eine Wechselwirkung ist die unterschiedliche Veränderung der Zielgröße bei gleichzeitiger Veränderung eines anderen Faktors.

Die direkte Wirkung eines Faktors auf einen anderen bedeutet nicht automatisch, dass eine Wechselwirkung bezogen auf eine Zielgröße) vorhanden ist. Wechselwirkungen haben eine physikalische Ursache.

Wechselwirkungen werden insbesondere in der Intensitäts-Beziehungsmatrix im kritischen Feld angenommen.



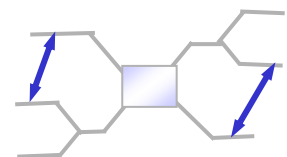
Querverbindung im Ursachen-Wirkungs-Diagramm

Wenn diese **Wirkungen** darstellen:

☞ Weitere Analyse über Intensitäts-Beziehungsmatrix

Wenn diese als **Wechselwirkungen** definiert sind:

☞ Direkte Umsetzung der Grafik in einem Versuchsplan



Die 10 Stufen im systematischen Problemlösungsprozess

Auf der folgenden Seite werden 10 Stufen des systematischen Problemlösungsprozesses dargestellt. In der Entwicklungsphase sollten die Schritte 3-10 angewendet werden. Anstelle eines Problempunktes im Wirkdiagramm werden eine oder mehrere Funktionen definiert.

Links ist im Vergleich der DMAIC-Zyklus nach SixSigma gegenübergestellt. In blau bzw. in Klammern sind nötige Beteiligte z.B. für die Teams dargestellt, sowie eine Schätzung des zeitlichen Aufwandes.

10 Stufen im systematischen Problemlösungsprozess

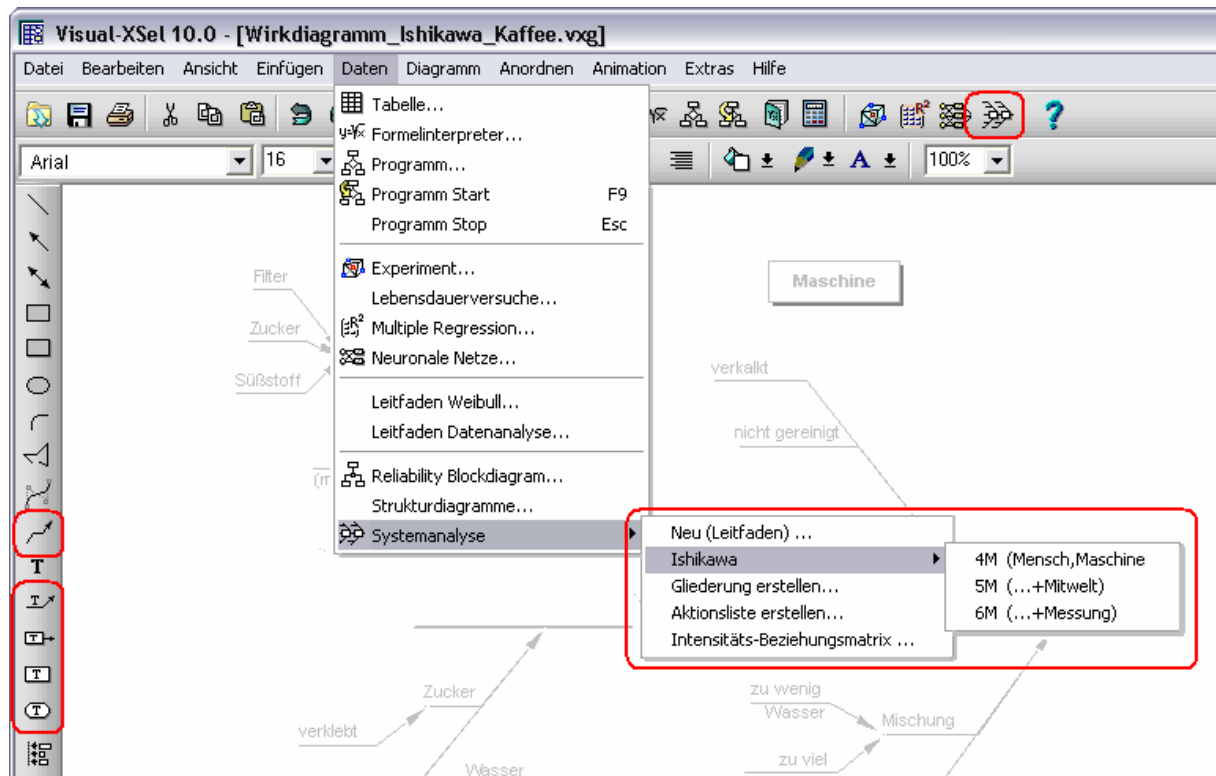
DMAIC

Define	<p>1. Vorbereitungsphase Problembeschreibung, Messungen, Beurteilungen, Auswertungen von Kundenbeanstandungen. Aufgabenbeschreibung, Zielsetzung, Grenzen und Rollen festlegen. (Auftraggeber, Fachbereich, Spezialisten, Versuch, Zulieferer)</p>	
Measure	<p>2. Auswertung bestehender Beobachtungen (Messungen) Darstellung erster Trends und Zusammenhänge. Bei korrelierenden Daten Methode Partial-Least-Square (Aufwand ca. 2h bei aufbereiteten Daten durch Statistiker)</p>	
Analyse	<p>3. Ermitteln der physikalischen Größen und Eigenschaften, sowie der Einflussfaktoren. Einbeziehung bestehender FMEA's oder Fehlerbäume. Teamarbeit - Brain-Storming (Aufwand ca. 2-4h, Fachbereich, Spezialisten, Konstruktion, Versuch, Zulieferer)</p>	
	<p>4. Grafische Darstellung als Struktur- oder Wirkdiagramm Einbeziehung von Querbeziehungen und Bewertung der Wirkstärken (idealerweise über Strickstärken) (Aufwand ca. 4-8h, Fachbereich, Spezialisten, Konstruktion, Versuch, Zulieferer)</p>	
	<p>5. Ableiten der Intensitäts-Beziehungsmatrix (Bewertung der Wirkungen hier, wenn nicht schon über Grafik erfolgt). Matrix als Checkliste aller möglichen Beziehungen. (Aufwand ca. 0,1h ohne Bewertung, durch Software)</p>	
	<p>6. Erstellen des Intensitäts-Beziehungsdiagramms Auswahl der nicht abhängigen Faktoren im aktiven und kritischen Feld und Berücksichtigung der Wechselwirkungen Evtl. Reduzierung von Wechselwirkungen (techn. Ausschlussverfahren) (Aufwand ca. 1-2h, Fachbereich, Spezialisten, Konstruktion, Versuch, Zulieferer)</p>	
Improve	<p>7. Versuchsplanerstellung mit Einbeziehung bisheriger Messungen und Berücksichtigung von evtl. Einschränkungen (D-Optimal). Faktorbereich festlegen (Beobachtungsbereich) (Aufwand ca. 0,5-2h Plan durch Statistiker, Bereich festlegen durch Fachleute)</p>	
	<p>8. Durchführung der Versuche oder einer Simulation Möglichst an einem Prüfstand, gleiche Vorrichtung usw. Erster Schritt ist die Ermittlung der Messmittelfähigkeit. Aufbereitung der Messdaten für eine statistische Auswertung. (Aufwand abh. vom Umfang, Durchführung von geschultem Personal)</p>	
	<p>9. Auswerten der Ergebnisse mit multipler Regression Modell erstellen, Optimale Einstellungen suchen. Analyse der Zusammenhänge und techn. Plausibilisierung. Unzureichendes Modell -> Wiedereinstieg Pkt. 3 oder 7. (Aufwand ca. 2h durch Statistiker + Diskussion im Team mit allen Beteiligten)</p>	
Control	<p>10. Bestätigung der Verbesserung im Versuch und im realen Umfeld Überwachung und Einhaltung der Verbesserungen im „Alltag“, Prozesskontrolle mittels Regelkarten, Monitoring, Indikatoren, usw.) (Aufwand laufend im Prozess, Verantwortung beim Prozesseigentümer)</p>	

Teil 2

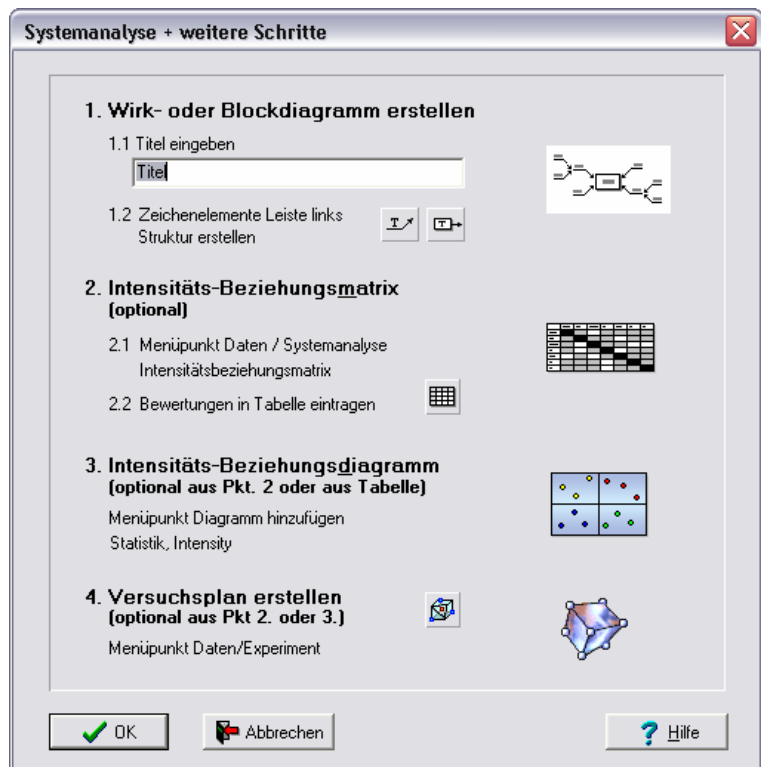
Programmbeschreibung

In der Vollversion Visual-XSel 10.0 Multivar können Strukturdiagramme, sowie Systemanalysen durchgeführt werden. Die erweiterte Funktionalität ist unter den rot markierten Bereichen zu finden.

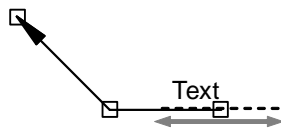
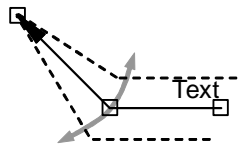
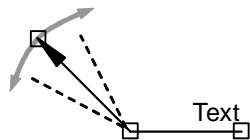


Der Einstieg in eine Systemanalyse erfolgt über den Menüpunkt *Da-
ten/Systemanalyse/Neu*

(Leitfaden). Hier sind die wesentlichen Schritte bis zur Erstellung eines Versuchsplanes aufgeführt. Zunächst wird ein Wirkungs- oder Blockdiagramm grafisch erstellt. Das zu behandelnde Thema, bzw. der Titel steht als Hauptblock in der Mitte oder beim Ishikawa-Diagramm rechts. Darum werden die Wirkungen angeordnet. Hierzu gibt es die neuen Zeichenelemente, wie Textpfeil, Blocktextpfeil und sowie einen Polygonpfeil (siehe linke Ikonenleiste). Im Gegensatz zu einem Pfeil, zeigt die Spitze des Textpfeils in Richtung des ersten Mausklicks. Der Knick in der Mitte ist an der Position, an der nach Ziehen der Maus diese losgelassen wird.

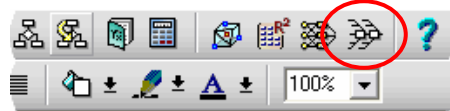


Danach kann sofort ein Text eingegeben werden. Gibt es mehrere Textzeilen, so erscheinen diese unterhalb der Linie. Die mittlere Clipmarkierung verändert die freie



Position der Linie um den Drehpunkt der Spitze. Mit der linken Markierung kann die Zielposition der Spitze bestimmt werden. An der rechten Markierung wird die Breite der Linie verändert (nur in waagrechter Richtung möglich). Klickt man zwischen die Markierungen, so kann das gesamte Element verschoben werden. Im folgenden Beispiel sind die Eigenschaften A und B mit dem Bauteil logisch verknüpft. Die Spitzen müssen dabei in den Bereich rund um den Text „Bauteil“ zeigen. Verschiebt man nun das Element Bauteil, so „kleben“ die Eigenschaften an diesem fest und werden mit verschoben. Verschiebt man aber die Eigenschaften, so gilt das nicht in umgekehrter Richtung für das Bauteil. Maßgebend ist, welche Pfeile in ein Element zeigen. Will man das Element Bauteil alleine verschieben, so ist gleichzeitig die **Alt-Taste** zu drücken.

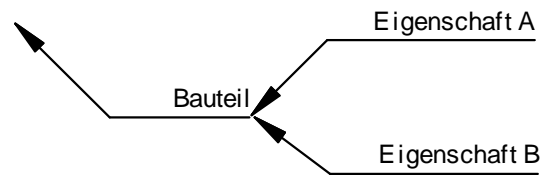
Aus diesen grafischen Darstellungen heraus kann eine Gliederung oder eine Intensitäts-Beziehungsmatrix generiert werden (Menü-



punkt *Daten/Systemanalyse, oder dargestellte Ikone*).

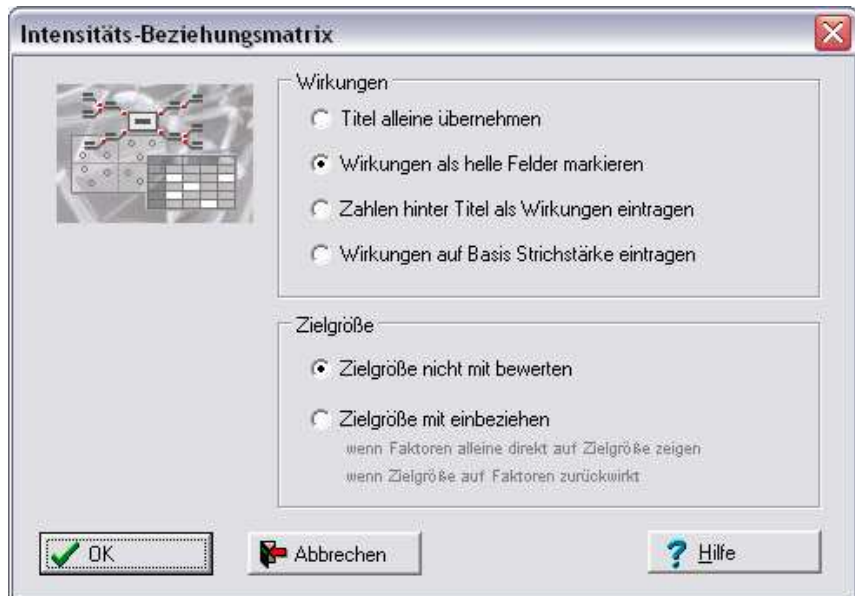
Es erscheint ein Dialogfeld mit der Auswahlmöglichkeit, was bereits

für die Bewertung der Intensitäts-Beziehungsmatrix übernommen werden soll. Werden die Wirkungseingänge nur als helle Felder übernommen, so müssen nur für diese in der Tabelle Bewertungen vorgenommen werden. Es besteht die Möglichkeit deshalb bereits in der Grafik die Bewertungen einzutragen. Dies erfolgt entweder über eine Zahlenangabe hinter dem Titel, oder über die Definition durch Strichstärken (siehe auch hierzu die weiteren Beschreibungen auf der folgenden Seite).



Normalerweise wird für die Auswertung die Zielgröße nicht benötigt. Es gibt aber Fälle, bei denen alleine eine Wirkung direkt auf die Zielgröße eingeht (z.B. die Zeit). Dies hätte zur Folge, dass kein helles Feld in der Matrix generiert wird und die Zeit vermeintlich nicht notwendig ist. In diesem Fall muss die Zielgröße mit aufgenommen werden. Dies ist auch notwendig, wenn zu erwarten ist, dass die

Zielgröße in umgekehrter Richtung auf die Faktoren zurückwirkt. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die Zielgröße eine chemische Lösung ist und die Zunahme von Ionen den Parameter Strom beeinflusst. Zurück zu unserem Ausgangsbeispiel. Es entsteht bei Auswahl der Übernahme von Zahlen in den Blockpfeilen folgendes Bild:

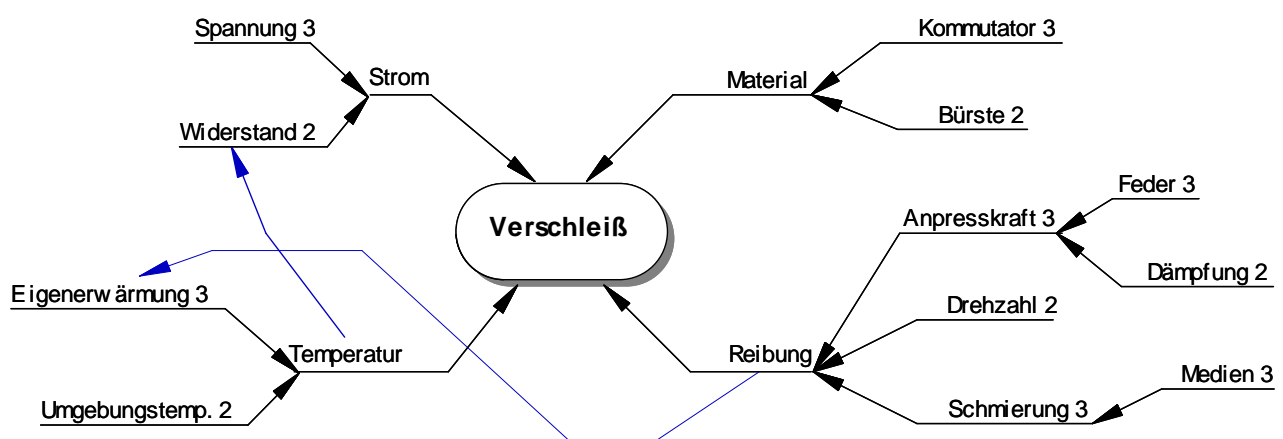


Wirkung von auf ->	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Strom	Widerstand	Spannung	Material	Bürste	Kommutator	Temperatur	Eigenwärnung	Umgebungstemp	Reibung	Drehzahl	Anpresskraft	Dämpfung	Feder	Schmierung	Medien
1 Strom																
2 Widerstand	2															
3 Spannung	3															
4 Material																
5 Bürste				2		3										
6 Kommutator				3												
7 Temperatur		1														
8 Eigenwärnung							3									
9 Umgebungstemp							2									
10 Reibung										3						
11 Drehzahl											2					
12 Anpresskraft											3					
13 Dämpfung												2				
14 Feder					3								3			
15 Schmierung															3	
16 Medien																3
	5	1	0	5	3	3	5	3	0	8	0	5	0	0	3	0

An den Stellen, an denen Pfeile auf andere „Titel“ zeigen, wird hier ein weißes Feld erzeugt und eine Bewertung ist erforderlich. Aber auch Querverbindungen von Elementen auf andere durch Pfeile oder Polygonpfeile generieren markierte Felder. Die grauen Bereiche sollten trotzdem mit Zahlenwerten ausgefüllt werden, um die vollständigen Wirkungen zu erfassen. Die Tabelle stellt auch eine Checkliste dar, damit jeder „Partner“ mit jedem anderen in Beziehung gebracht wurde.



Wenn nach der Bewertung in der Tabelle noch mal Änderungen im Strukturdiagramm notwendig sind, werden durch das erneute Erzeugen der Intensitäts-Beziehungsmatrix die Einträge in der Tabelle gelöscht. Es ist deshalb sinnvoll die Bewertungen gleich in das Diagramm einzufügen. Die entsprechende einstellige Zahl ist mit Leerzeichen an das Ende der Titel zu schreiben (möglich ist auch in neue Zeile). Siehe Beispieldatei ..\StatistikMethoden\Wirkdiagramm_Problemorientiert_Verschleiss.vxg.



Diese Einträge werden dann jeweils in die Tabelle automatisch übernommen. Eine Angabe von Zahlen ist in den Querverbindungen jedoch nicht möglich. Deshalb gibt es vorzugsweise auch die Möglichkeit die Bewertung über die Strickstärke zu definieren.

Klicken Sie auf den jeweiligen Blockpfeil oder auf die Querverbindung, die zu bewerten ist. Wählen Sie in der Zeichenleiste links (evtl. aufklappen mit Maus über



Raster) die Strichstärke.

Die Bewertung entspricht der Anzahl Punkte am unteren Rand. Es gibt die Auswahl von Wert 1, 2, 3 und als besonders hervorzuhebende Wirkung die Stärke 5 (Strichstärke 1.0). Am schnellsten lässt sich die Wirkung jedoch über das Pop-up-Menü mit der rechten Maustaste auswählen.

- Neuer Zweig am Ende
- Neuer Zweig an Spitze
- Querverbindung einfügen
- Bearbeiten Text

- 1 Bewertung niedrig
- 2 Bewertung mittel
- 3 Bewertung hoch
- 5 Bewertung sehr hoch

Linienfarbe ▶

- Ausschneiden
- Kopieren
- Einfügen
- In Vordergrund
- In Hintergrund

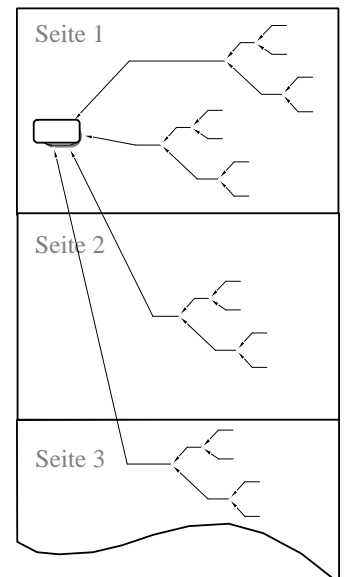


Nach vollständiger Bewertung in der Tabelle kann die Auswertung hiervon durch die Diagrammdarstellung der Intensitäts-Beziehungsmatrix erfolgen. Um dieses Diagramm zu erstellen, ist der Menüpunkt der Tabellen *Statistik/ Intensitäts-Beziehungsmatrix/Intensitäts-Diagramm* zu wählen. Änderungen in der Matrix wirken sich auf das Diagramm im Hauptfenster erst aus, wenn der Menüpunkt *Diagramm/ Diagramm aktualisieren* gewählt wird.

Nützliche Hinweise

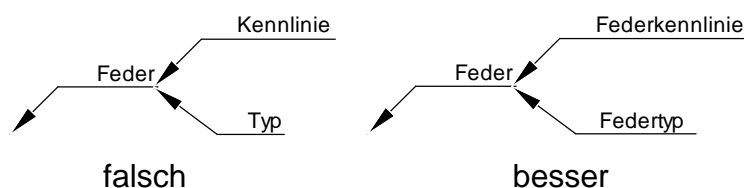
Darstellung von großen Wirkungsdiagrammen

In Visual-XSel ist das Blattformat für Wirkungsdiagramme A3 Querformat zu empfehlen. Für große Diagramme ist evtl. eine Aufteilung auf mehrere Seiten notwendig. Dabei ist es in Hinsicht auf den Ausdruck der Seiten sinnvoll, jeweils Hauptwirkungs-zweige auf folgende Seiten zu platzieren. Dies könnte etwa so aussehen wie rechts dargestellt.



Hinweise zur Benennung

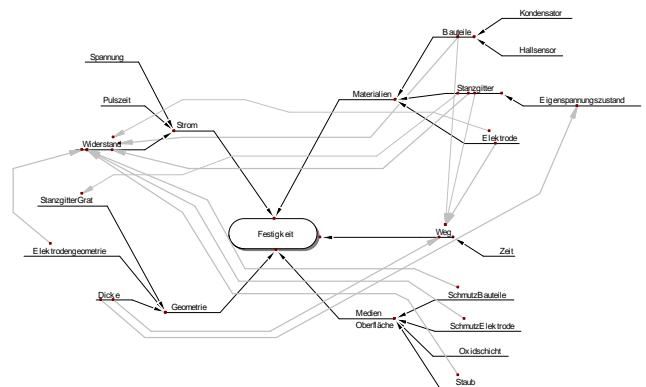
Bei der Erzeugung der Intensitäts-Beziehungsmatrix oder einer direkte Übernahme in einem Versuchsplan ist es von Vorteil in den äußersten Blockpfeilen Titel zu verwenden, die eindeutig sind und Bezug zum Objekt haben (Parameter-Namen).



Verwenden Sie als Titel nicht Begriffe wie Montage oder Fertigung. Verwenden Sie die physikalischen Auswirkungen der Montage und Fertigung (z.B. Toleranzen) und ordnen diese den Merkmalen der Bauteile zu.

Viele Querverbindungen

Aus Gründen der Übersichtlichkeit, hat sich als vorteilhaft herausgestellt Querverbindungen in grau darzustellen und diese in den Hintergrund zu stellen. Insbesondere, wenn sehr viele Querverbindungen vorhanden sind, entsteht ein dichtes Geflecht von Linien, das leicht unübersichtlich wird. Durch die graue Farbe bleiben die direkten Wirkungen der Blockpfeile im Vordergrund.



Erstellen einer Intensitäts-Beziehungsmatrix aus einer Gliederung

Liegen bereits Parameter-Listen oder Gliederungen vor, so können diese Titel als Parameter für die Intensitäts-Beziehungsmatrix übernommen werden. Nach Markierung des entsprechenden Tabellenbereiches wird hierzu der Menüpunkt der Tabelle *Statistik/ Intensitäts-Beziehungsmatrix/ Erstellen...* verwendet. Bei einer Liste werden Einrückungen, bei einer Gliederung die Nummerierung als Wirkstruktur interpretiert. Folgendes Beispiel:

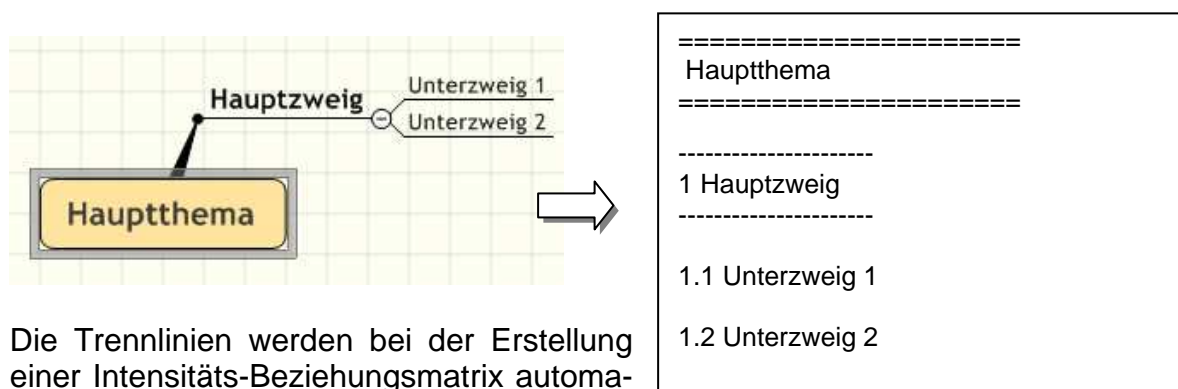
Gliederung		Liste mit Einrückungen
1.	Strom	Strom
1.1	Widerstand	Widerstand
1.2	Spannung	Spannung
2.	Reibung	Reibung
2.1	Schmierung	Schmierung
2.1.1	Medien	Medien

	St	Wi	Sp	Re	Sch	Me
Strom						
Widerstand						
Spannung						
Reibung						
Schmierung						
Medien						

Zunächst wird eine quadratische Matrix generiert mit gleichen Titeln in der ersten Zeile. Aufgrund der Gliederung oder durch Einrückungen erscheinen helle Felder (jedes Leerzeichen wird als Unterebene gesehen). Wie beim Wirkdiagramm sind hierdurch bereits die Wirkungen *von auf* hervorgehoben und müssen mit Werten belegt werden.

Import aus MindManager®

Sehr verbreitet für Strukturdiagramme ist der MindManager. Grafiken hieraus lassen sich als Text (Unicode) exportieren. Verwenden Sie hierzu den Menüpunkt *Datei/Speichern unter...* und wählen als Dateityp „*Gliederung – Plain Text*“. Die entsprechende Textdatei liegt allerdings im Format Unicode vor und kann nicht direkt eingelesen werden. Verwenden Sie zunächst Notepad oder Word zum Übertragen und kopieren den Inhalt über die Zwischenablage in die Tabelle von Visual-XSel. Folgendes Beispiel:



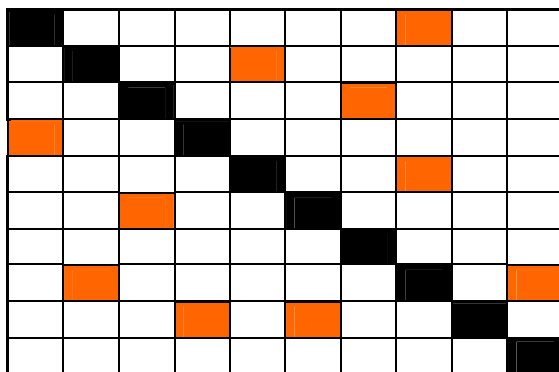
Die Trennlinien werden bei der Erstellung einer Intensitäts-Beziehungsmatrix automatisch ignoriert. Wie bei dem Beispiel mit dem Verschleiß ist jedoch das Hauptthema nicht mit zu übernehmen. In die Zwischenablage ist deshalb nur der Textbereich ab *1 Hauptzweig* zu übertragen.

Import aus IQ-FMEA®

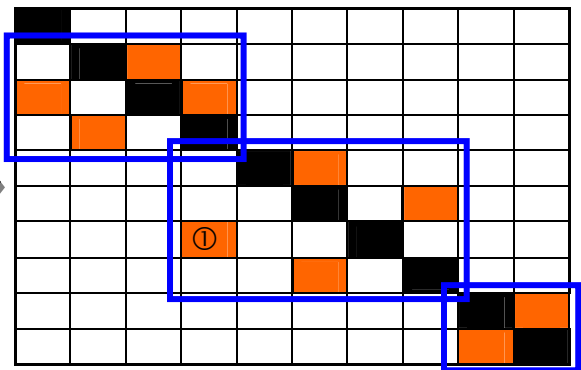
IQ-FMEA ist ein mächtiges Tool, indem auch Wirkungsdiagramm erstellt werden können. Ein direkter Export als Textdatei ist allerdings nur über dem Umweg als HTML-Datei möglich (zunächst Übertragung z.B. in Word und Abspeichern als ASCII).

Gruppenbildung von Parametern aus Intensitäts-Beziehungsmatrix

Insbesondere bei der Auflistung von Parametern aus einem Brain-Storming und Bildung einer Intensitäts-Beziehungsmatrix ohne vor geschaltetes Wirkungsdiagramm ergeben sich unstrukturiert verteilte „Wirkungsfelder“ (rote Felder Wirkung > 0, siehe linke Matrix). Die Frage ist, ob sich durch eine bessere Anordnung der Parameter bzw. deren Reihenfolge zusammengehörige Gruppen finden lassen. Dies hat eine große Bedeutung um herauszufinden, welche Gruppen evtl. für sich alleine z.B. durch Versuchspläne untersucht werden können.



Intensitäts-
Beziehungsmatrix
Ausgangsmatrix



Titel in Reihenfolge so
angeordnet, dass möglichst
unabhängige Gruppen entstehen

Mit Hilfe der Clusteranalyse können möglichst zusammenhängende unabhängige Gruppen gebildet werden (eingerahmt in rechter Tabelle). Ziel ist es, damit Untersuchungen in kleineren Einheiten durchzuführen, die wegen ihres geringeren Um-

fanges leichter zu beherrschen sind. Natürlich gibt es real immer Überschneidungen. Das bedeutet aber nur, dass einige Parameter in verschiedenen Einzeluntersuchungen gleichzeitig zu berücksichtigen sind. Zum Beispiel hat die Temperatur sowohl auf die Gruppe oben links, als auch auf die in der Mitte eine Wirkung (Feld ① in der mittleren Gruppe).

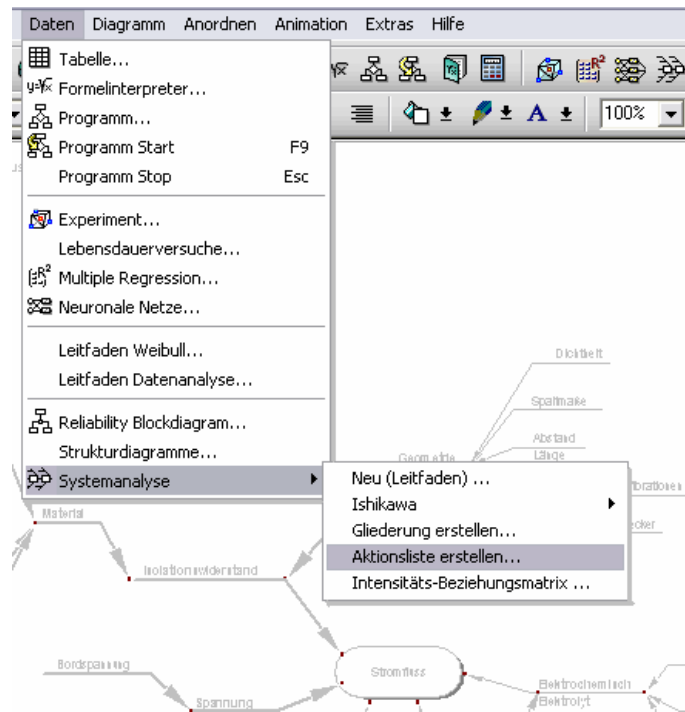
Zur Durchführung dieser Gruppenbildung ist der Menüpunkt *Statistik/Intensitäts-Beziehungsmatrix Nach unabhängigen Gruppen umstellen* zu wählen, wenn das aktuelle Tabellenblatt die Ausgangs-Intensitäts-Beziehungsmatrix zeigt. Nach der Umstellung der Reihen-

folge, sieht die Beziehungsmatrix optisch völlig anders aus als vorher (Das Ergebnis steht in Tabellenblatt „IntGroup“). Das Erzeugen des Intensitäts-Beziehungsmatrixdiagramms muss aber aus beiden vor und nach der Umstellung das gleiche Bild ergeben. Als konkretes Beispiel dient die Datei

[Beispiel_Intensitätsmatrix_Groupen.vxg](#).

Erstellung einer Aktionsliste aus Wirkdiagramm

Das Wirkdiagramm ist auch eine ideale Darstellung für zu untersuchende Systeme und die daraus abgeleiteten Arbeitsschritte. Über den Menüpunkt des Hauptfensters



Daten/Systemanalyse/Aktionsliste erstellen kann eine Liste von Arbeitspunkten generiert werden.

Die Reihenfolge dieser Liste ist so aufgebaut, wie beim Erzeugen einer Gliederung. Damit sind auch die grundsätzlichen Strukturen der Hauptäste abgebildet. Die Titel sind in der ersten Spalte durchnummeriert. Die weiteren Spalten können frei definiert werden und sind mit den Rubriken *Priorität, Untersuchung, Verantwortlich, Termin* und *Ergebnis/Bemerkung* vorbelegt.

Die Priorität wird optional gebildet aus der Bewertung der Intensitäts-Beziehungsmatrix. Hierzu muss diese neu aufgebaut oder aktualisiert werden. Vorteilhaft ist hierbei, wenn Wirkungen bereits mit Strichstärken definiert sind. Aus der

Intensitäts-Beziehungsmatrix ergeben sich Aktiv- und Passivsummen. Hiermit wird ein Gewichtungsfaktor gebildet: $\text{Gewichtungsfaktor} = 3 \cdot \text{Aktivsumme} + \text{Passivsumme}$. Daraus ergibt sich eine zahlenmäßige Rangfolge der Titel. Der mit dem höchsten Gewichtungsfaktor erhält die Priorität 1, der nächst niedrigere die Priorität 2 usw. Damit kann auch die zeitliche Reihenfolge der Untersuchungen festgelegt werden. Als Beispiel ist die folgende Aktionsliste dargestellt.

	A	B	C	D	E	F	
	Nr.	Titel	Prio	Untersuchung	Verantwortlich	Termin	Ergebnis/Bemerkungen
1	1	Spannung	7				
2	2	Spannungsspitzen	10	Messung am Prüfstand A	Müller	tt.mm.jj	
3	3	Bordspannung	3	Messung am Prüfstand A	Müller	tt.mm.jj	
4	4	Temperatur	7				
5	5	Temp_Differenzen	10	Messung im Fahrzeug	Schmidt	tt.mm.jj	
6	6	Temp_Zyklus	10	Messung im Fahrzeug	Schmidt	tt.mm.jj	
7	7	Temp_Umgebung	10	Messung im Fahrzeug	Schmidt	tt.mm.jj	
8	8	Geometrie	9				
9	9	Kräfte	8	Berechnung / Simulation	Maier	tt.mm.jj	
10	10	Stecker	10				

Ranking aus Aktiv- und Passivsumme

Über den Menüpunkt der Tabelle *Statistik/Intensitäts-Beziehungsmatrix* können Pareto-Diagramme für Aktiv- und Passivsummen erzeugt werden. Die Zusammenfassung aus beiden Summen stellt das Ranking-Pareto dar. Die Summe wird wie bei der Aktionsliste aus $\text{Gewichtungsfaktor} = 3 \cdot \text{Aktivsumme} + \text{Passivsumme}$ gebildet. Das sich hieraus ergebende Ranking ist die umgekehrte Reihenfolge der Priorität der Aktionsliste (wichtiger Faktor steht mit höchster Zahl bzw. Gewichtung vorne).

Zu beachten ist, dass vor Aufruf dieser Darstellungen die aktuelle Tabelle den Inhalt der Intensitäts-Beziehungsmatrix zeigen muss (normalerweise Tabellenseite #Int).

Erstellung eines Versuchsplanes

Aus dem Wirkungsdiagramm oder dem Intensitäts-Beziehungsdiagramm kann direkt ein Versuchsplan erstellt werden. Durch die Ikone Experiment oder dem Menüpunkt *Daten/Experiment* erscheint folgende Auswahl.



Es können auch Faktoren aus der Tabelle eingelesen werden um z.B. Versuchspläne aus anderen Anwendungen zu importieren. Mit dieser Option lässt sich aber auch aus einer Gliederung eines Wirkungsdiagramms eine nachträglich editierte Faktorenliste übernehmen. Dabei geht aber die Möglichkeit verloren, systematisch unwichtige Faktoren zu reduzieren.



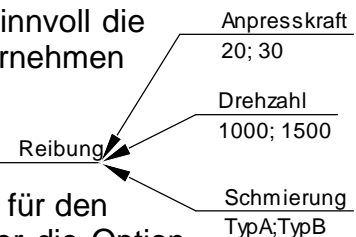
Wird der Versuchsplan aus einem Wirkungsdiagramm erstellt, so können Querverbindungen direkt als Wechselwirkungen übernommen werden.

Beachten Sie dabei unbedingt den Unterschied zwischen Wirkungen (Abhängigkeiten) und Wechselwirkungen (siehe Teil 1). In der späteren Dialogbox Experiment erscheint unter *Design/Modell* dann Wechselwirkungen.

In der tabellarischen Auflistung befinden sich nur die Paare, die durch die Grafik verbunden sind.

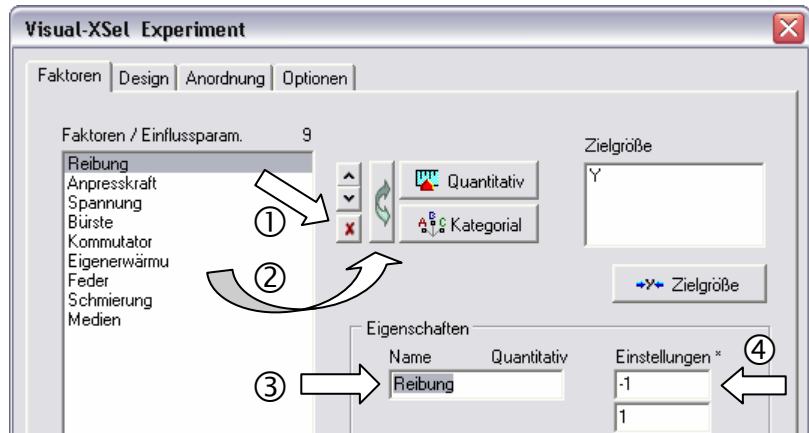
Drücken Sie die Option *Wechselwirkung* hier nochmals, so werden alle möglichen Kombinationen an Wechselwirkungen erzeugt. Dies trifft auch zu, wenn dort das Modell *Quadratisch* gewählt wird. Deshalb sollte schon in dem hier dargestellten Dialogfenster *Quadratisch* angeklickt werden, um nur die quadratischen Terme ohne vollständige Wechselwirkungen zu übernehmen.

Wenn sich in der Struktur Änderungen ergeben, so ist es sinnvoll die Wertebereiche der Faktoren gleich in die Grafik zu übernehmen (siehe Beispiel rechts). Diese sind in einer neuen Zeile unter dem Titel getrennt mit Semikolon zu schreiben (ohne Einheiten). Angaben, die nicht Zahlen sind, werden als kategoriale Faktoren interpretiert. Um dies für den Versuchsplan zu übernehmen ist zusätzlich im Dialogfenster die Option „*mehrzeilige Texte: Range oder kategoriale Ausprägungen*“ zu wählen. Zu beachten ist, dass bei Aufnahme abhängiger Faktoren sich diese später evtl. nicht frei einstellen lassen. Sinnvoll sind diese Faktoren deshalb nur, wenn sich die Wertebereiche im Versuch entsprechend verändern lassen, oder simuliert werden können.





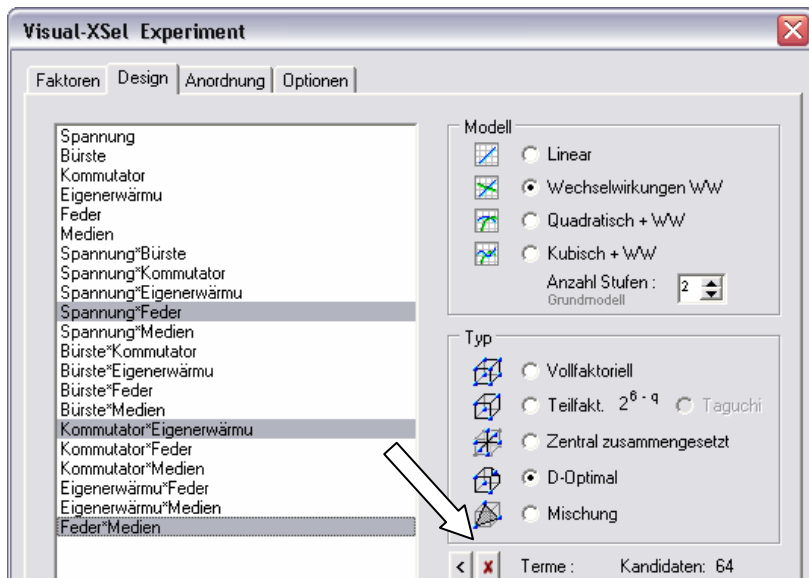
Die beste Variante ist die Erstellung des Versuchsplans aus dem Intensitäts-Beziehungsdiagramm. Bei Auswahl der 4. Option wird auf die Tabellenseite #/nt zugriffen. Standardmäßig sind nur die Faktoren aus *Aktivem* und *Kritischem* Feld gewählt. Hierdurch ergibt sich eine sinnvolle Reduzierung der Faktorenanzahl. Zunächst befinden sich in der Auswahl der Faktoren evtl. auch abhängige Faktoren, die durch andere bestimmt werden. Diese sollten gelöscht werden ①. Ist ein Faktor kategorial, so lässt sich dies unter ② ändern. Titel können nachträglich geändert werden ③ und die Einstellungen/ Ausprägungen werden unter ④ eingegeben.



Zunächst befinden sich in der Auswahl der Faktoren evtl. auch abhängige Faktoren, die durch andere bestimmt werden. Diese sollten gelöscht werden ①. Ist ein Faktor kategorial, so lässt sich dies unter ② ändern. Titel können nachträglich geändert werden ③ und die Einstellungen/ Ausprägungen werden unter ④ eingegeben.

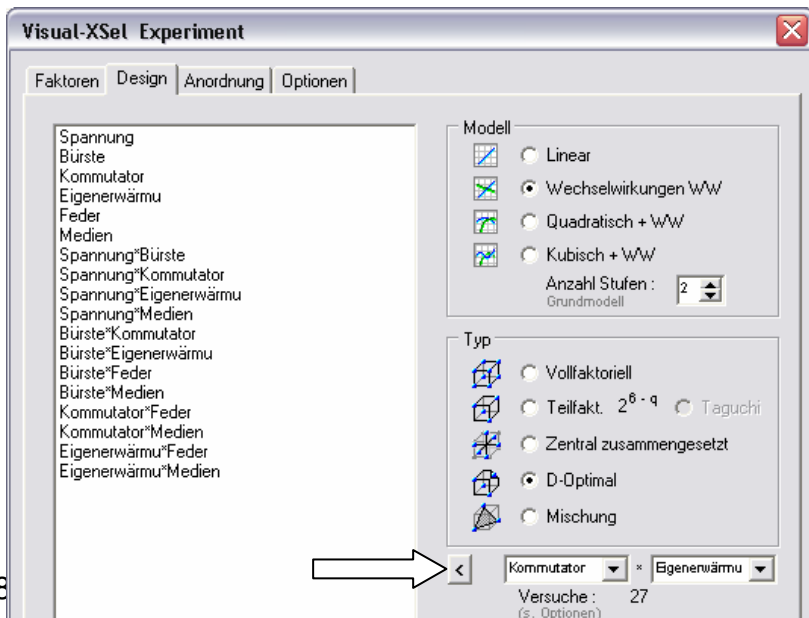
Sind nur *Wechselwirkungen aus kritischem Feld* gewählt, so werden alle „Partner“ des kritischen Feldes untereinander, aber auch kritische mit den Faktoren aus dem aktivem Feld aufgenommen. Wechselwirkungen der aktiven Faktoren untereinander sind unberücksichtigt. Da diese aber eine hohe Aktivsumme haben, ist zu erwarten, dass auch hier Wechselwirkungen zwischen den „Aktivfaktoren“ existieren.

Auf der Seite Design können dafür technisch/ physikalisch nicht sinnvolle Wechselwirkungen manuell entfernt werden.



Durch die Pfeiltaste *Modellterme* hinzunehmen, können nicht (mehr) vorhandene Wechselwirkungen (wieder) aufgenommen werden. Wählen Sie hierzu nach Anklicken der Pfeiltaste die Faktor-Partner in der dann erscheinenden Auswahl aus und klicken erneut die Pfeiltaste. Sind beide Faktortitel gleich, so erzeugt man einen quadratischen Term, z.B. Feder².

Weiterführende Beschreibungen zu DoE sind in XSelDoE10.pdf zu finden.



Über diese beschriebene Vorgehensweise lassen sich effektiv die wichtigen von unwichtigen Einflüssen trennen. Bei der Aufwandsreduzierung von Versuchsplänen ist es möglich, die Faktoren mit dem wahrscheinlich geringsten Einfluss herauszulassen. Die Ausgangstabelle für die Erzeugung eines Versuchsplanes ist immer *#Int*, unabhängig davon, ob die Intensitäts-Beziehungsmatrix durch ein Wirkdiagramm generiert wurde, oder eine eigenständig bearbeitete Tabelle ist. Die Umbenennung der Tabellenseite erfolgt durch einen Doppelklick auf den entsprechenden Tabben unten in der Tabelle.

Literatur

/1/ Literatur:

Ulrich, H., Probst, G.J.B.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln.
Haupt, 1991

Visual-XSel[®] 10.0

© Visual-XSel ist ein eingetragenes Warenzeichen