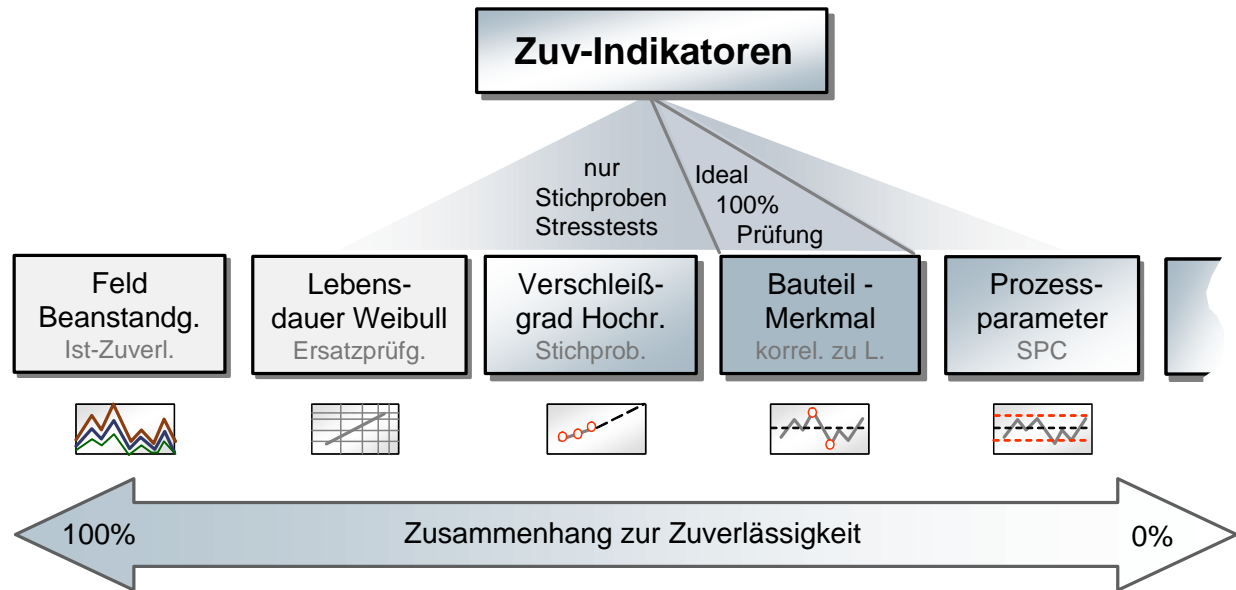


# Methoden zur Bestimmung von Zuverlässigkeits-Indikatoren

## Definition

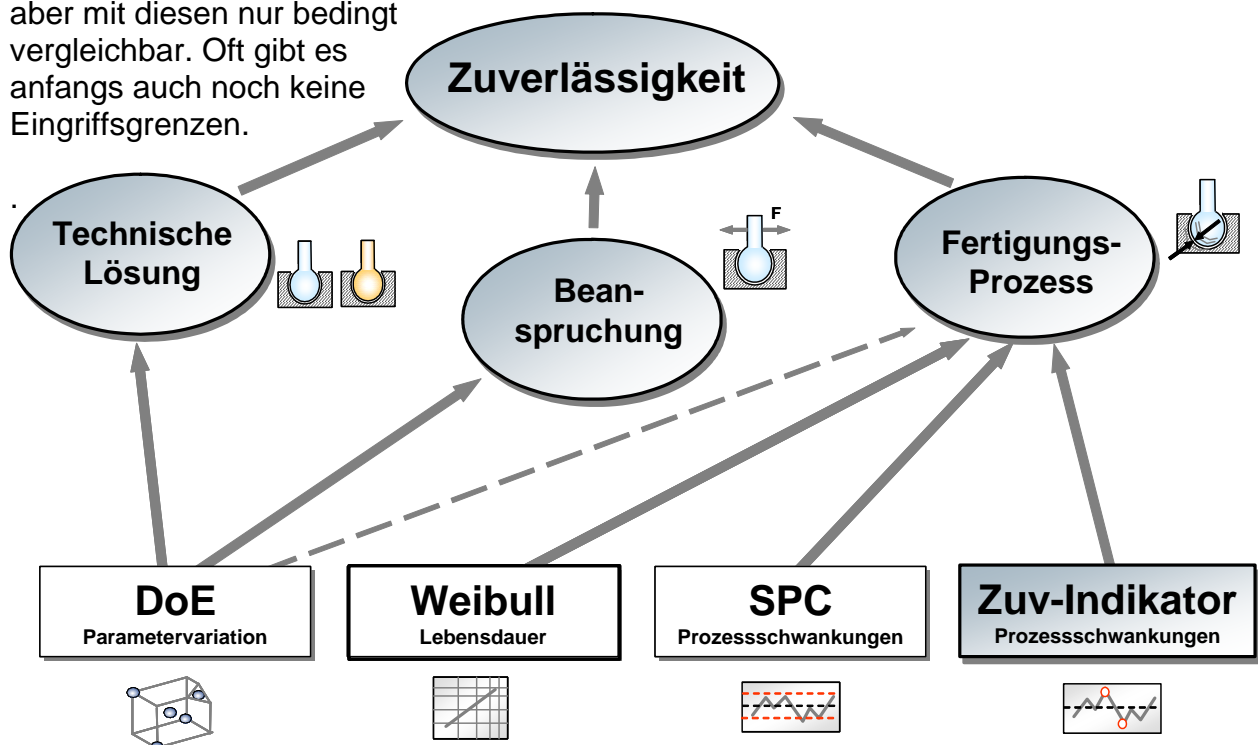
Zuverlässigkeits-Indikatoren oder kurz Zuv-Indikatoren haben zum Ziel möglichst frühzeitig lebensdauer- oder beanstandungsrelevante Prozessschwankungen aufzuzeigen.

Hierzu sind Lebensdauerersuche bzw. spezielle Raffungstest gut geeignet. Jedoch ist hier wegen des Aufwandes jeweils nur eine Stichprobe möglich. Ideal ist es ein Merkmal zu definieren, dass mit der Lebensdauer möglichst gut korreliert und für jedes Bauteil gemessen werden kann (vollständige Kontrolle).



## Positionierung

Die Zuverlässigkeit eines Produktes lässt sich grundsätzlich in 3 Kategorien aufteilen. Zuv-Indikatoren „monitoren“ ähnlich wie SPC-Merkmale den Fertigungsprozess, sind aber mit diesen nur bedingt vergleichbar. Oft gibt es anfangs auch noch keine Eingriffsgrenzen.



## Abgrenzung

In der Entwicklungsphase sind Bauteile und Komponenten robust zu entwickeln. Dabei sollten sie so unempfindlich wie möglich gegen unvermeidliche Toleranz- und Prozessschwankungen sein. Erst nach Festlegung des optimalen Designs mit Hilfe von Design of Experiment werden möglich Zuv-Indikatoren festgelegt.

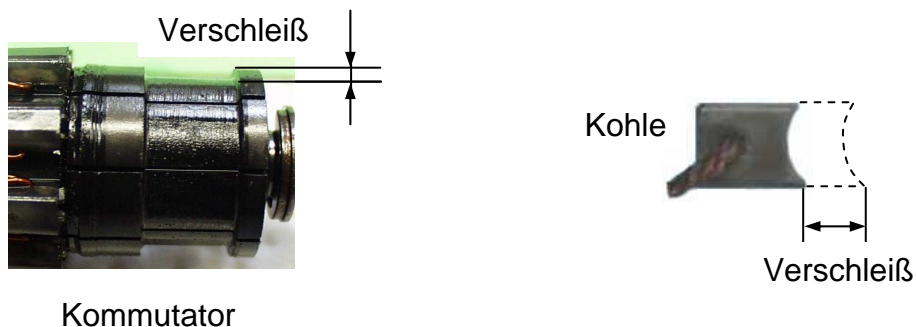
## Bestimmung von Zuv-Indikatoren

Das wichtigste Instrumentarium ist die **Risiko-, Schwachstellen- oder Systemanalyse!** Eine Risiko- oder Schwachstellenanalyse stellt mögliche Probleme in den Vordergrund.

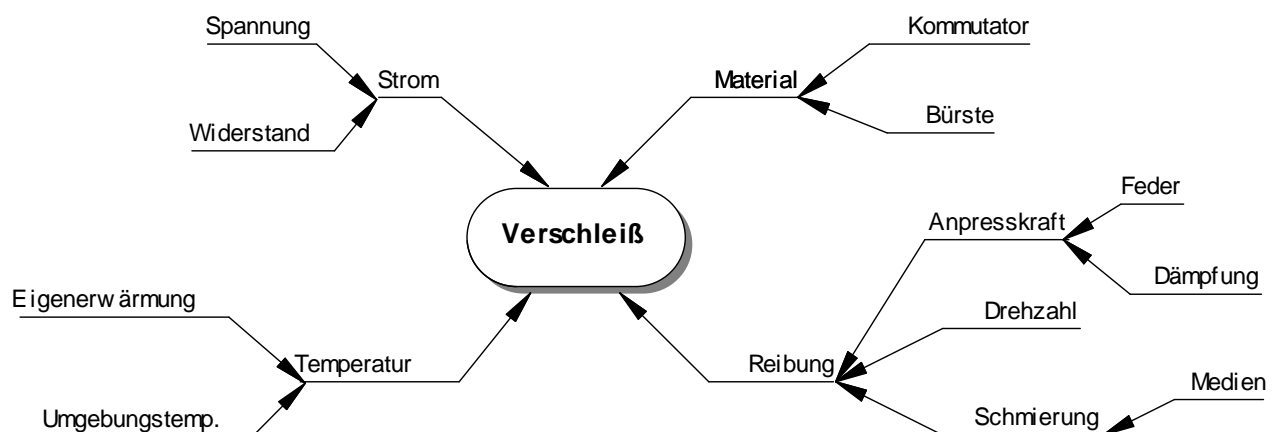
Eine Systemanalyse ist eine systematische Untersuchung von Parametern die in Beziehung zueinander stehen. Für Zuv-Indikatoren werden auch hier Schwachstellen/Probleme/Lebensdauereinflüsse in den Mittelpunkt gestellt. Die Darstellung erfolgt hier zunächst durch ein **Ursachen-Wirkungs-Diagramm**. Die Vorbereitungen hierfür sind u.a. FMEA (System + Prozess) und/oder Fehlerbaumanalyse FTA, bzw. Reliability-Blockdiagramm. Weiterhin sollten Erfahrungen aus Vorgängerprojekten und einer Versuchsplanung einfließen.

## Methode

An einem E-Motor ist als Schwachstelle aus der FMEA der Verschleiß an Kommutator und Bürsten identifiziert worden. In der Vergangenheit gab es hier immer wieder Probleme.



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

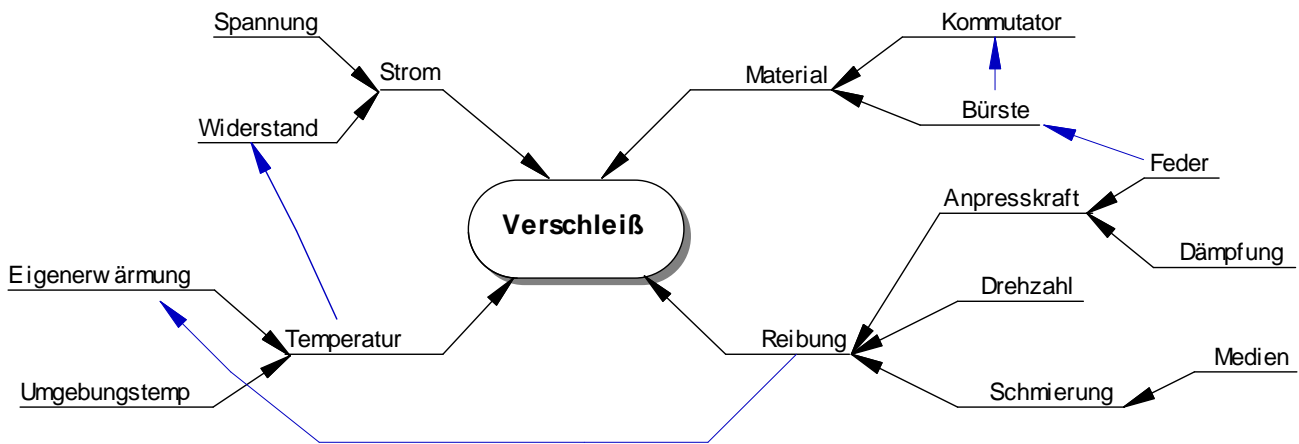


Die gezeigte Aufteilung hat den großen Vorteil, dass die Wirkreihenfolge klar erkennbar ist und eine spätere Bewertung der Ursachen den Verschleiß besser berücksichtigt.



## 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 Vernetzungen kann die Darstellung jedoch relativ schnell unübersichtlich werden. Außerdem ist es schwierig zu überschauen, ob man alle Bauteile oder Funktionen gegenseitig durchgeprüft hat.

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.

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

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

Sinnvoll ist häufig auch eine nichtlineare Staffelung, z.B. 0, 1, 4, 9. Damit ist es möglich starke Einflüsse höher zu gewichten.

Zur besseren Übersichtlichkeit, können Felder mit Bewertung 0 weggelassen werden. Die Eingabe der 0 hat jedoch den Vorteil, dass man bei Unterbrechung der Bewertung 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															
2 Widerstand	2	2														
3 Spannung	3		2													
4 Material				2												
5 Bürste				2	2											
6 Kommutator				3		2										
7 Temperatur		2					2									
8 Eigenerwärmung							3	2								
9 Umgebungstemp							2									
10 Reibung									2							
11 Drehzahl										2						
12 Anpresskraft										3						
13 Dämpfung											2					
14 Feder											3					
15 Schmierung										3						
16 Medien															3	



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. Weiß sind ebenfalls Querbeziehungen (Wirkungen - Abhängigkeiten). Diese Felder müssen unbedingt ausgefüllt werden! Die grau hinterlegten Felder können als Priorität 2 betrachtet werden und können bei Zeitmangel später behandelt werden. Man sollte sie aber trotzdem prüfen. 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 sie 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.

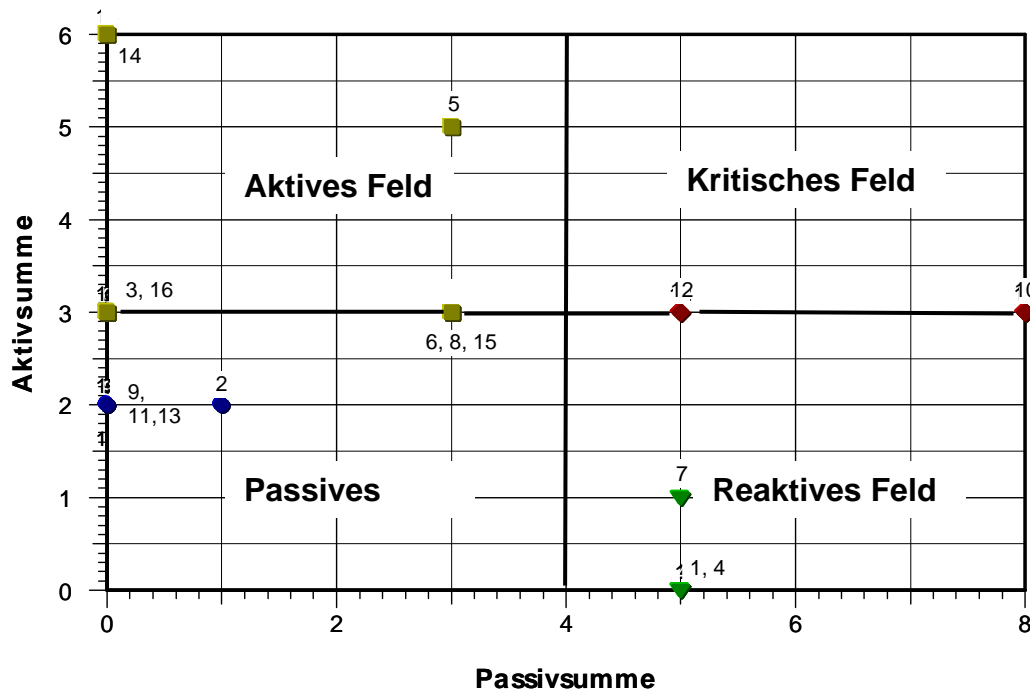
Das Diagramm wird dann horizontal und vertikal in gleich große Hälften aufgeteilt. Dabei ergeben sich 4 Felder, die für das weitere Vorgehen wichtig sind.



Diese stellen das **aktive** und **passive**, sowie das **kritische** und **reaktive** Feld dar. Bei Versuchsplänen sind die Faktoren im aktivem Feld zu berücksichtigen. Auch die im kritischen Feld sind wichtig. Hierbei handelt es sich im Allgemeinen um mögliche Wechselwirkungen mit anderen Faktoren im kritischen und aktivem Feld. Da diese Faktoren Einfluss nehmen auf den Verschleiß, ist die Überwachung der Toleranzen in der Produktion wichtig (**Statistische Prozessregelung -> SPC**). In der Regel sind

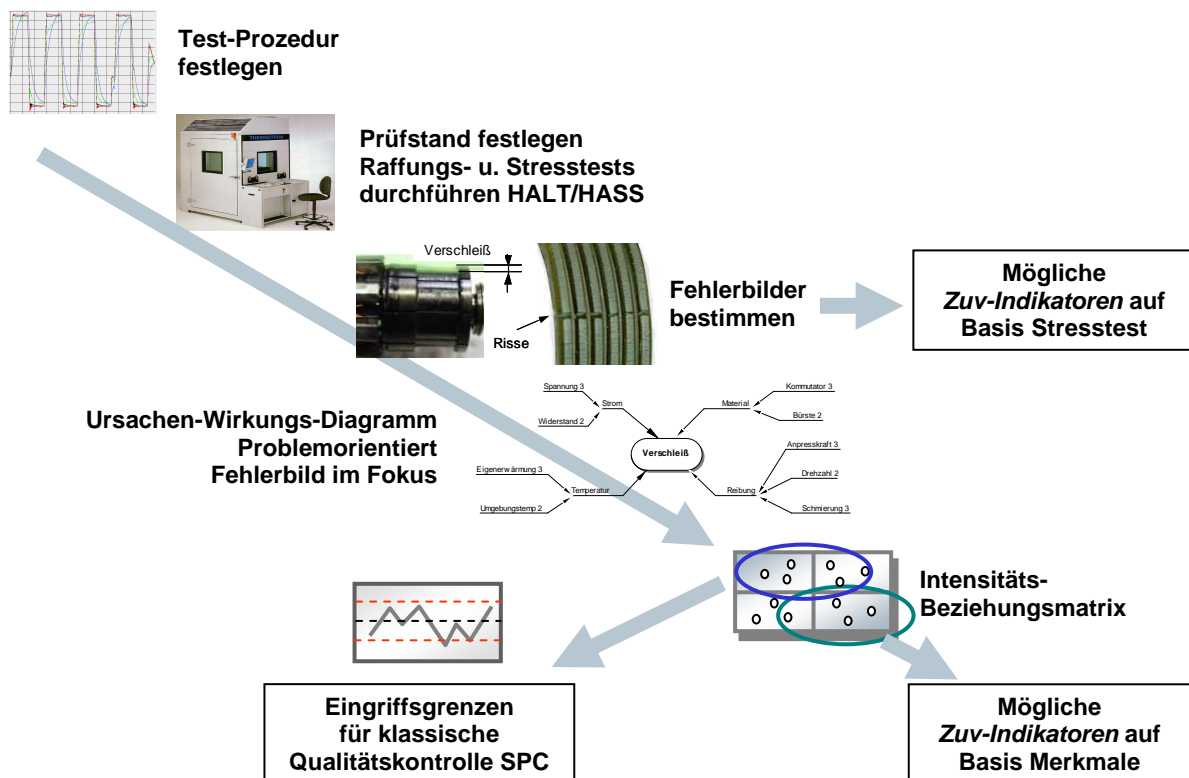
SPC-kontrollierte Merkmale keine Zuv-Indikatoren, außer es handelt sich um lebensdauerrelevante Merkmale. Dies sind z.B. die direkt betroffenen Bauteile Bürste (5) und der Kommutator (6).

Im passivem und reaktivem Feld finden sich die **Zuv-Indikatoren** (abhängige Parameter als Merkmale). In diesem Beispiel sind mögliche Indikatoren Dämpfung (13) und Material (4), sowie u.U. der Widerstand (2). Ausgewählt werden also prozessrelevante Bauteilmerkmale



### Vorgehensweise

Die folgende Übersicht zeigt das Vorgehen und die Einteilung der gefundenen Ergebnisse:



## **Tool**

Die Methode der Ursachen-Wirkungsdiagramme und der Intensitäts-Beziehungsmatrix wird mit der Software

## **Visual-XSel® 9.0 DoE&Weibull+System**

durchgeführt.

Ausführliche Beschreibung unter

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

Thema Systemanalyse

