

## **Vorbeugende Instandhaltung - Schäden vermeiden, nicht reparieren**

Vorbeugende Instandhaltung ist zunächst aus technischer Sicht periodische Wartung und Inspektion und die Beseitigung der direkten Ursachen von Schwachstellen. Hingegen ist die periodische Instandsetzung (z.B. Teilewechsel) fast immer unwirksam und unwirtschaftlich.

Leider reichen diese Maßnahmen nicht aus. Sie sind oft nicht anwendbar oder nicht wirksam. Daher muss die Vorbeugende Instandhaltung sich zusätzlich anderer Taktiken bedienen, von denen es eine Fülle gibt.

Die meisten Schäden sind auf Fehler zurück zu führen, die nicht technischer Natur sind. Gegen diese wirkt das Null Fehler Management.

In jedem Falle sollte (und kann) man Schäden vermeiden; nicht beherrschen (was oft sehr schwierig ist).

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>WAS WOLLEN SIE MIT VORBEUGENDER INSTANDHALTUNG ERREICHEN? .....</b>	<b>3</b>
1.1	Was ist Instandhaltung.....	3
1.2	Was will wirtschaftliche Instandhaltung erreichen? .....	4
<b>2</b>	<b>WENN SIE SCHÄDEN BEKÄMPFEN WOLLEN, MÜSSEN SIE DIESE KENNEN .....</b>	<b>6</b>
2.1	Die "Badewannenkurve", ein Phantom! .....	7
2.2	Welche Schäden dulden Sie überhaupt, und welche nicht?.....	8
2.3	Welche Schäden könnten Sie eigentlich rechtzeitig erkennen? .....	13
2.4	Vorauswahl von Taktiken für die Vorbeugende Instandhaltung.....	15
2.5	Chronisch oder sporadisch - ein wichtiger Unterschied.....	16
<b>3</b>	<b>PERIODISCHE INSTANDSETZUNG IST NICHT DIE ANTWORT .....</b>	<b>18</b>
3.1	Die Theorie.....	18
3.2	Die Praxis ist anders .....	18
3.3	Wann könnte Periodische Instandsetzung sinnvoll sein?.....	19
3.4	Eine ganzheitliche Alternative: Die Akustische Kamera .....	19
<b>4</b>	<b>EIN GANZ NEUES VERSTÄNDNIS DER INSTANDHALTUNG .....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>DIE GANZHEITLICHE SCHADENS- UND STÖRUNGSVERHÜTUNG .....</b>	<b>22</b>
5.1	Bekämpfungskategorie a): Zustandsabhängige Instandhaltung (Condition Based Maintenance) .....	22
5.2	Bekämpfungskategorie b): "Sonstige Vorbeugende-Taktiken" .....	23
5.3	Bekämpfungskategorien c): und d): Nicht routinemäßig akzeptieren .....	24
5.4	Bekämpfungskategorie e): Gültigkeit des Standards überprüfen; diese gemäß KVP verbessern .....	24
5.5	Bekämpfungskategorie f): Bei Schwachstellen den <i>einne</i> technischen Auslöser beseitigen; und mit Null Fehler Management die Risiko-Ursachen beseitigen .....	24
5.6	Bekämpfungskategorie g): Mit Null Fehler Management die Risiko-Ursachen beseitigen..	24

## **1 Was wollen Sie mit Vorbeugender Instandhaltung erreichen?**

### **1.1 Was ist Instandhaltung**

Die Komponenten der Betriebsmittel erleiden im Laufe der Zeit nachteilige Veränderungen ("Zustandsverschlechterungen"). Wenn diese einen unerträglichen Umfang (definiert durch eine "Schadensgrenze") erreicht haben, sprechen wir von einem "Schaden".

Instandhaltungstätigkeiten bestehen aus

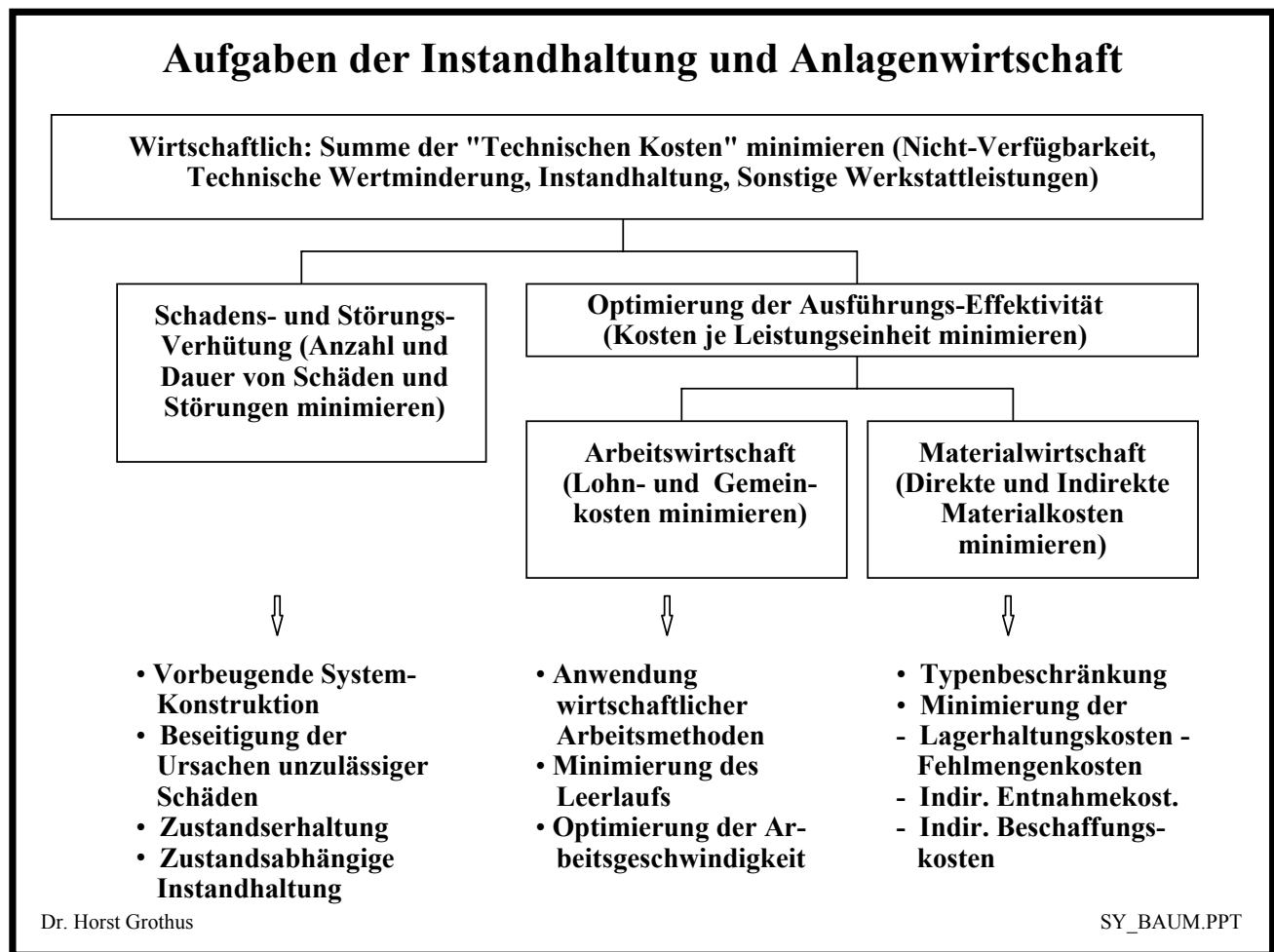
- **Wartung** (durch Reinigen, Schmieren, Imprägnieren und Konservieren Verhütung oder Verlangsamung von Zustandsverschlechterungen der Komponenten),
- **Inspektion** (Überwachen von Zustand und/oder Funktion der Komponenten, Betriebsmittel oder Prozesse und Interpretation der Überwachungsergebnisse mit dem Ziel, Zustandsverschlechterungen so rechtzeitig zu erkennen und zu beseitigen, dass diejenigen nachteiligen Folgen verhütet oder vermindert werden, die eintreten würden, wenn diese Schäden nicht rechtzeitig erkannt und beseitigt worden wären),
- **Instandsetzung** (Beseitigen eines tatsächlich eingetretenen oder vermuteten Schadens an einer Komponente durch Herstellung entweder des ursprünglichen oder eines Zustandes, der den Bedürfnissen des Prozesses und den technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten entspricht).

**1.2 Was will wirtschaftliche Instandhaltung erreichen?**

Wir erkennen, dass es zunächst zwei unterschiedliche Ansatzpunkte gibt: Wir können vermindern

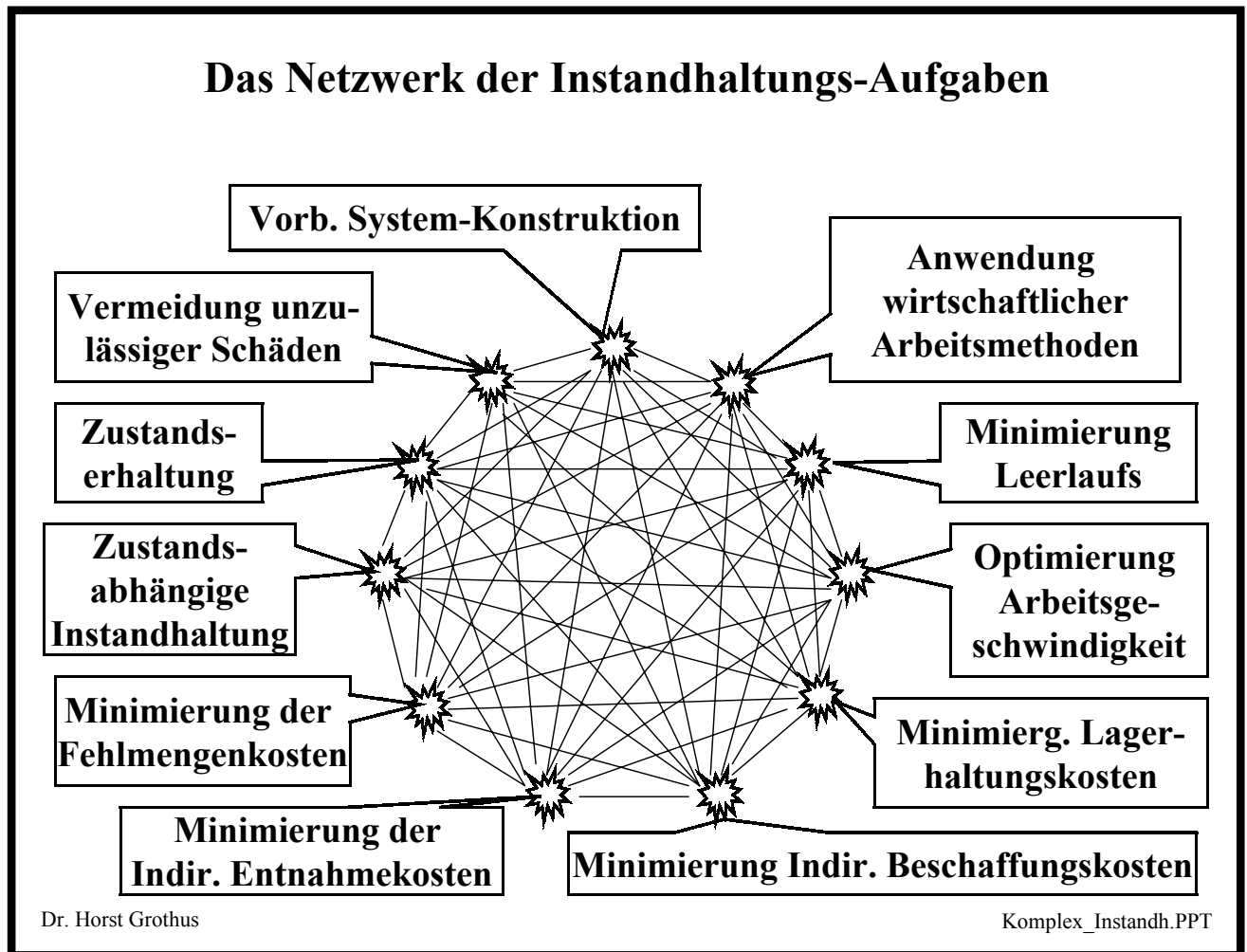
- einerseits die Anzahl der Schäden und der von ihnen weiter ausgelösten nachteiligen Folgen
- und andererseits die Kosten je Ereignis.

Wenn man zunächst als "Vorbeugende Instandhaltung" diejenigen Maßnahmen betrachten würde, welche die Anzahl der schadensbedingten Ereignisse vermindern könnten, gehören dazu die in der linken Spalte der nachfolgenden Abbildung gezeigten Maßnahmen.



Ich will Sie aber gleich darauf hinweisen, dass Sie dieses Bild nicht hierarchisch betrachten dürfen. Vielmehr wirken die verschiedenen Funktionen auf einander ein wie in einem Netzwerk.

Das macht es auch schwer, die Auswirkungen einer einzelnen dieser Instandhaltungsfunktionen isoliert zu betrachten.



## **2 Wenn Sie Schäden bekämpfen wollen, müssen Sie diese kennen**

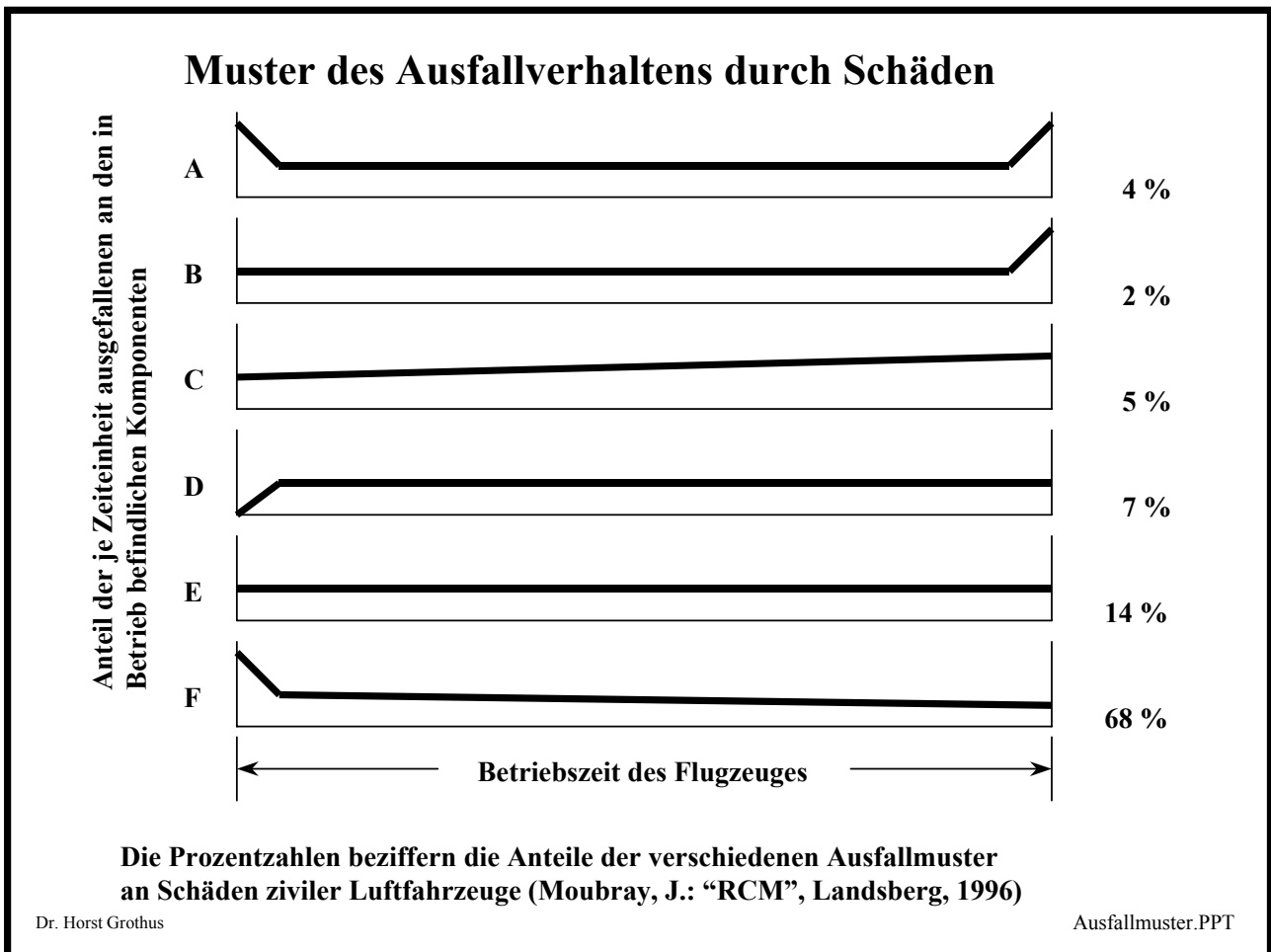
Die Strategie, mit der Sie Schäden bekämpfen, muss sich zunächst richten danach, welche Eigenschaften die Schäden haben, die an den Komponenten Ihrer Betriebsmittel tatsächlich auftreten.

In diesem Abschnitt werden Sie sehen,

- dass Ihre Schäden es Ihnen sehr schwer machen
- und dass Sie eine maßgeschneiderte Kombination verschiedener Taktiken anwenden müssen.

## 2.1 Die "Badewannenkurve", ein Phantom!

Zunächst betrachten Sie hier, welche unterschiedlichen Ausfallverhalten die Komponenten in einem einzigen Betriebsmittel haben können:



- A: Dies ist die "Badewannenkurve": Nach anfänglich vielen Kinderkrankheiten folgt eine relativ zuverlässige Betriebszeit; erst kurz vor Ende der Nutzungsdauer des Betriebsmittels häufen sich die Ausfälle - ganze 4%!
- B: So sollte es theoretisch sein: Keine Kinderkrankheiten; lange zuverlässig; erst kurz vor der Ausmusterung vermehrte Ausfälle - noch weniger, 2%!
- C: Annähernd gleiche, allerdings ganz leicht ansteigende Ausfallrate; das Ende der Nutzungsdauer kündigt sich nicht an - 5%!
- D: Sehr hohe Zuverlässigkeit am Anfang; dann konstante Ausfallrate; kein Ansteigen der Ausfälle bei Ende der Nutzungsdauer des Betriebsmittels - 7%!
- E: Absolut konstante Zuverlässigkeit während des gesamten Lebens; kein Ansteigen der Ausfallrate am Ende - 14%!
- F: Und jetzt kommt die Überraschung: Die Ausfallrate sinkt mit dem Alter - 68%!

Vergessen Sie also alles, was man Ihnen über den Nutzungsvorrat erzählt hat! z.B.

<http://64.233.183.104/search?q=cache:-2W7HzXG3JYJ:www.competence-si>

[te.de/instandhaltung.nsf/9BCAEE5DE236013CC1256F510042F922/%24File/leseprobe\\_praxishandbuch\\_instandhaltung\\_werner.pdf+%2Babnutzungsvorrat++DIN+31051&hl=de](http://te.de/instandhaltung.nsf/9BCAEE5DE236013CC1256F510042F922/%24File/leseprobe_praxishandbuch_instandhaltung_werner.pdf+%2Babnutzungsvorrat++DIN+31051&hl=de)

## **2.2 Welche Schäden dulden Sie überhaupt, und welche nicht?**

Sie wissen:

- Es gibt "Verschleißteile", von denen Sie von vorn herein erwarten und sich auch nicht darüber beklagen, dass sie regelmäßig und relativ häufig kaputt gehen.
- Und es gibt - glücklicher Weise - sehr viele Teile, die - fast - nie ausfallen. Wenn sie es doch tun, dann ist etwas nicht in Ordnung, dann bezeichnen Sie diese als "Schwachstellen" und bemühen sich, durch einmalige Maßnahmen weitere Ausfälle zu vermeiden.

Um realistisch Standards zu definieren, habe ich Millionen von Schäden analysiert und seit 30 Jahren die zugegebener Maßen äußerst dürftigen - Veröffentlichungen zu diesem Thema studiert.

Daraus habe ich eine "Schadensnorm" entwickelt:

[http://www.grothus.org/bq\\_schadnorm\\_de.htm](http://www.grothus.org/bq_schadnorm_de.htm).



Nr.	Schadensbild-Bezeichnung	Mittlere Zeit ZS [a]	Zulässig- keits- klasse	Wartungs- wirk- sam-keit	Beherrsch- barkeit
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
01.1	Alterung (elektronisches Element)	30	E	nein	nein
01.2	Alterung (mechanisches meß/regeltechnisches Element, Membran/Schlauch)	10	E	nein	nein
01.3	Alterung/Versprödung (Gummi/Kunststoff/Leder)	10	E	ja	ja
01.4	Alterung (chemisch/physikalisch von Auskleidung)	30	E	nein	ja
01.5	Alterung (Metall, thermisch beansprucht)	3	M	nein	ja
02.1	Auslösen/Ansprechen (mechanische Überlastsicherung)	100	N	nein	nein
02.2	Auslösen/Ansprechen (elektr. Schutz/Relais/Sicherung)	100	N	nein	nein
03.1	Blockieren/Festsitz/Fressen	100	N	ja	nein
04.1	Bruch/Riß/Anriß (außer von Auskleidung)	1.000	N	nein	nein
05.1	Erosion/Auswaschung durch Gas/Flüssigkeit	10	E	nein	ja
06.1	Isolations-Durchschlag Kurzschluß (elektrische Leitung)	1.000	N	nein	nein
06.2	Isolations-Durchschlag Kurzschluß (elektrische Wicklung)	300	N	ja	nein
07.1	Kennlinien-Abweichung an MRS-Element	10	E	nein	ja
08.1	Kontakt-Schaden (Meßwertgeber, der Produkt berührt)	3	M	nein	ja
08.2	Kontakt-Schaden (Gleitkontakt: Kohlebürste/	3	M	nein	ja
08.3	Kontakt-Schaden (Niederspannungs-Schaltkontakt mit < 100 Schaltungen/Tag)	30	E	nein	nein
08.4	Kontakt-Schaden (Niederspannungs-Schaltkontakt mit > 100 Schaltungen/Tag)	10	E	nein	nein
08.5	Kontakt-Schaden (Leistungsschalter für Mittel-	10	E	nein	ja
08.6	Kontakt-Schaden (Mittel-/Hochspannung, außer Leistungsschalter)	100	N	nein	ja
09.1	Korrosion/Rost/Oxidation (Innenfläche, nicht korrosionsbeständiger Werkstoff)	30	E	nein	ja
09.2	Korrosion/Rost/Oxidation (Außenfläche, mit Korrosions-	30	E	ja	ja
09.3	Korrosion/Rost/Oxidation (Innenfläche, korrosionsbeständiger Werkstoff)	100	N	nein	ja
10.1	Lampenschaden an Leuchtelement	3	M	nein	nein
11.1	Leiter-Bruch/Unterbrechung (unbewegter elektr. Leiter)	1.000	N	nein	nein
11.2	Leiter-Bruch/Unterbrechung (bewegter elektrischem Leiter)	100	N	nein	nein
12.1	Lockerung/Wackelkontakt (elektrischer Leiteranschluß)	1.000	N	nein	ja
12.2	Lockerung (mechanisches Befestigungs-Element)	1.000	N	nein	ja
13.1	Undichtigkeit (bewegte Dichtung: Ventil/Kolben/Welle/	10	E	ja	ja
13.2	Undichtigkeit (unbewegte Dichtung: Flansch/Leitung)	100	N	nein	ja

Nr.	Schadensbild-Bezeichnung	Mittlere Zeit ZS [a]	Zulässig- keits- klasse	War- tungs- wirk- sam- keit	Be- herrsch- barkeit
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
14.1	Verformung/Verbiegen von Maschinenelement; "Setzen" von Feder	1.000	N	nein	ja
15.1	Verlagerung von Maschinenteil; Befestigung war noch fest	1.000	N	nein	ja
16.1	Verlust von Hilfsstoff (planmäßig erforderlicher Verbrauch von Kühlmittel/Schmierstoff/Hydraulikflüssigkeit/ Gas)	0,03	M	nein	ja
16.2	Verlust von Hilfsstoff (planmäßig nicht erforderlicher Verbrauch von Kühlmittel/Schmierstoff/)	1	M	nein	ja
17.1	Verschleiß (Gleitlager/Scharnier/Gelenk/Zahn- oder Spindelflanke)	30	E	ja	ja
17.2	Verschleiß (Wälzlager: Kugel-/Rollen-/Nadellager)	300	N	ja	nein
17.3	Verschleiß (Führung/Aufnahme/ Transportelement/ Lauffläche durch Berührung mit Vormaterial/Produkt/ Laufflächenpartner oder Nicht-Anlagenteil, wie Rohstoff/)	3	M	nein	ja
17.4	Verschleiß (ungeschmiertes Element, wie (Riemen/Seil/	3	M	nein	ja
17.5	Verschleiß (Reibbelag: Bremse/Kupplung)	3	M	nein	ja
17.6	Verschleiß (durch unerwünschtes Berühren von oder Reiben an anderen Anlagenkomponenten oder Produkt)	100	N	nein	ja
18.1	Verstopfung/Hemmung (durch Produkt in durchströmtem Förderer oder Behälter)	10	E	nein	ja
18.2	Verstopfung (durch Hilfsstoff in durchströmter Leitung)	1.000	N	nein	ja
18.3	Verstopfung (nicht durchströmte Leitung: Meßleitung)	10	E	nein	nein
19.1	Verunreinigung/Ablagerung (von/auf/in Oberfläche/Flüssigkeit/ Filter/Sieb/Schmutzfänger/Abscheider)	0,3	M	nein	ja

## Erläuterungen:

"Schadensbild" beschreibt das Aussehen eines Schadens, nicht seine Ursache.

Spalte (a): Eine gleiche Zahl vor dem Trennungspunkt ist allen Schadensbildern gemeinsam, die das gleiche Aussehen besitzen; mit der hinter dem Trennungspunkt stehenden Zahl werden Schadensbilder voneinander unterschieden, welche voneinander abweichende sonstige Merkmale der nachfolgenden Spalten.

Spalte (b): Beschreibung des Schadensbildes. Unterscheidungsmerkmale stehen in Klammern.

Spalte (c): Statistischer Wert. Er ergibt sich, wenn geteilt wird die Gesamtzahl der im Betrieb eingesetzten Elemente, an denen dieses Schadensbild vorkommen könnte, durch die Anzahl der je Jahr tatsächlich hieran eingetretenen Schäden mit diesem Schadensbild. Wird auch "MZZS" genannt.

Spalte (d): Ergibt sich aus Spalte ©. "M" (mehrmals) wenn MZZS 9 Jahre oder kürzer; "E" (einmal) wenn MZZS 9 bis 30 Jahre, "N" (nie) wenn MZZS länger als 30 Jahre.

Spalte (e): "ja" bedeutet: Bei mehr als 50% aller Elemente, an denen dieses Schadensbild auftreten könnte, würde er häufiger auftreten, wenn diese Elemente nicht gereinigt, geschmiert, imprägniert und/oder konserviert würden.

Spalte (f): "ja" bedeutet: Bei mehr als 50% aller Elemente, an denen dieses Schadensbild auftreten könnte, könnte man den Schaden mit periodischen Inspektionen so rechtzeitig erkennen (und anschließend beheben), daß keine Störung aufzutreten brauchte.

"Verschleißteile", an deren Elementen Schadensbilder der Zulässigkeitsklasse "Mehrere" auftreten, habe ich Ihnen in einer weiteren "Norm der Verschleißteile" aufgelistet:

[http://www.grothus.org/br\\_verschleib\\_de.htm](http://www.grothus.org/br_verschleib_de.htm)

Nr.	Beschreibung	beherrschbar?
1	Elektrischer Akkumulator - Alterung	ja
2	Filter, Sieb, Abscheider - Ablagerung von Stoffen	ja
3	Flüssigkeitsvorrat - Alterung	ja
4	Flüssigkeitsvorrat - Verlust	ja
5	Gasvorrat - Verlust	ja
6	Kette, Riemen, Seil - Verschleiß	ja
7	Kohlebürste und Partner - Verschleiß	ja
8	Komponente, die feste Produkte berührt, führt, fixiert, bearbeitet - Verschleiß, Erosion	ja
9	Lampe - Schaden	nein
10	Laufend eindosiertes Medium (z.B. Impfflüssigkeit) - Verbrauch	ja
11	Lauffläche von Laufrad und Partner - Verschleiß	ja
12	Mittel- oder Hochspannungs-Leistungsschalter - Kontaktbrand	ja
13	Reibelement von Bremse, Kupplung - Verschleiß	ja
14	Sensor, der Produkte berührt - Verunreinigung, Verschleiß, Verlagerung	ja
15	Stopfbuchse oder Gleitringdichtung - Undichtigkeit	ja
16	Stromabnehmer und Partner - Verschleiß	ja
17	Thermisch belasteter Baustoff (Brenner, Ofenausmauerung) - Alterung	ja
18	Wärmeaustauschfläche - Verunreinigung	ja
19	<i>Isolation von bewegtem Kabel - Verschleiß</i>	ja
20	<i>Mantel von bewegtem Schlauch für Flüssigkeit oder Gas - Verschleiß</i>	ja
21	<i>Positionsschalter - Verlagerung, Lockerung</i>	nein

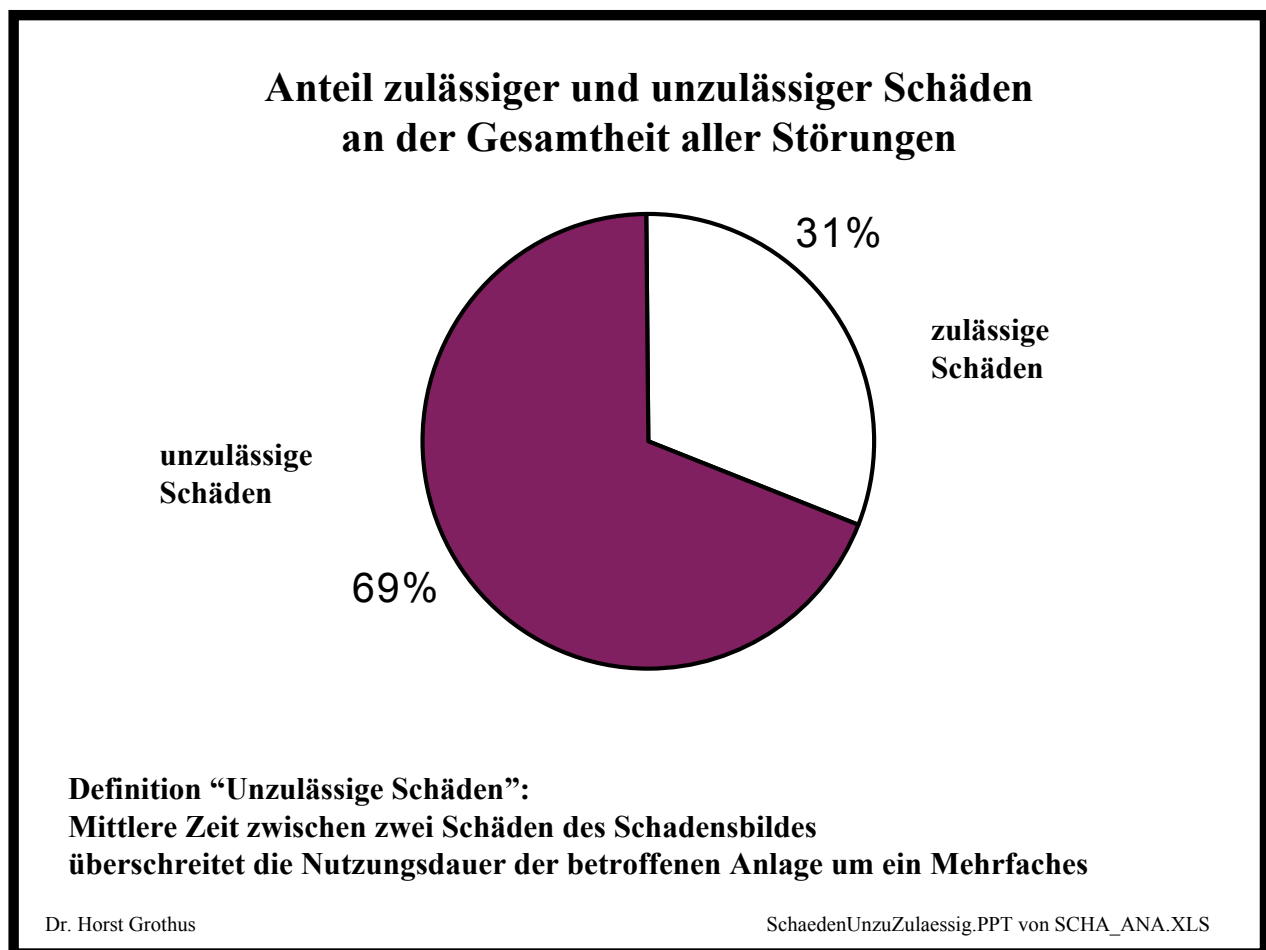
Diese Komponenten erleiden mit den angegebenen Schadensbildern besonders häufig Schäden (Mittlere Zeit zwischen zwei Schäden, d.h. Durchschnitts-Nutzungsdauer, kürzer als 5 Jahre). - Die grau angelegten, kursiv geschriebenen Elemente sind "Standard-Schwachstellen" und eigentlich nicht explizit kurzlebig konstruiert. Sie fallen in der Praxis aber durch schlechte Konstruktion, Betriebsweise und/oder Instandhaltung unzulässiger Weise oft aus und bedürfen daher besonderer Aufmerksamkeit. - Die Schäden an den in der letzten Spalte mit "ja" versehenen Komponenten können durch periodische Inspektionen erkannt und anschließend so rechtzeitig beseitigt werden, dass Störungen ausgeschlossen sind (Strategie "Zustandsabhängige Instandhaltung").

Wie viele Schäden treten nun auf mit den Zulässigkeitsklassen

- einerseits "Nie"
- und andererseits "Mehrere" oder "Einmal"?

Hier ist die Antwort in einem "durchschnittlichen" Betrieb mit einem normalen Mix von Betriebsmitteln (also z.B. nicht in einem Steinbruch, der natürlich viele Verschleißteile betreibt):

Zwei Drittel aller Schäden treten an Komponenten auf, die an anderen Einbaustellen entweder überhaupt nicht oder sehr viel seltener ausfallen.



### **2.3 Welche Schäden könnten Sie eigentlich rechtzeitig erkennen?**

Die "Zustandsabhängige Instandhaltung" (die Sie später besser kennen lernen werden) versucht, Schäden rechtzeitig zu erkennen, bevor sie Störungen auslösen.

Dazu dienen

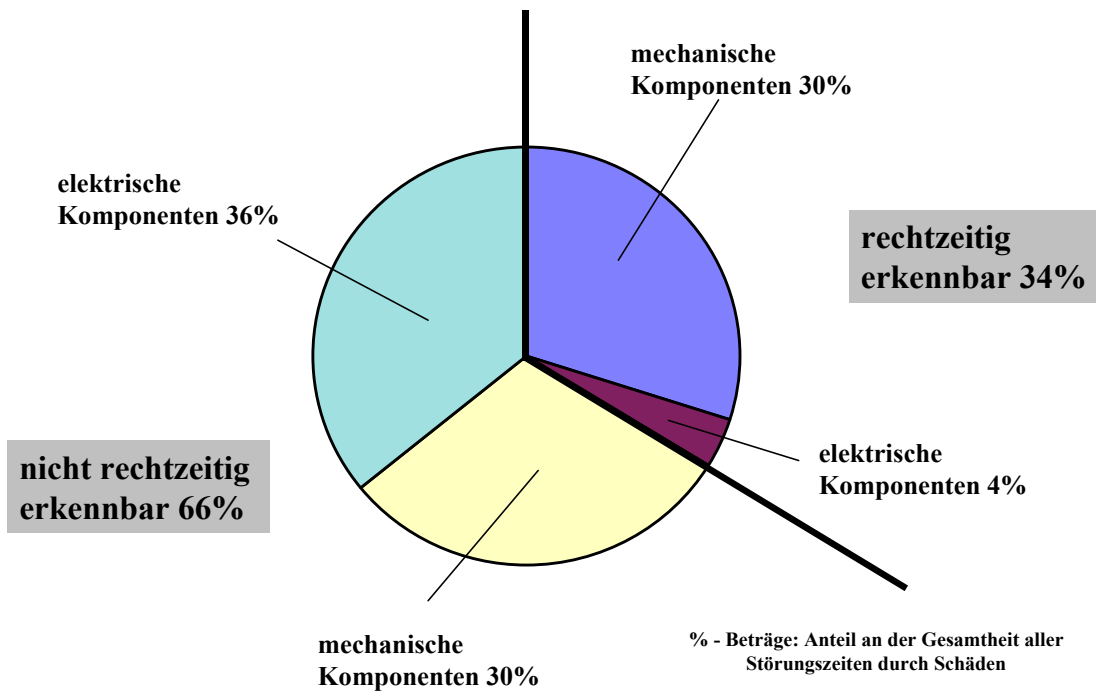
- a) periodische (d.h. nach vorgeplanten Intervallen durchgeführte) Inspektionen,
- b) laufende Überwachung durch Menschen, die sich z.B. ständig in unmittelbarer Nähe des Betriebsmittels oder der sie überwachenden oder steuernden Einrichtungen befinden,
- c) kontinuierlich arbeitende Sensoren, welche individuell bestimmte Komponenten oder Funktionen überwachen (sie erfordern Kosten für Abschreibung und Instandhaltung, die fast immer viel höher als die manueller Inspektionen; sie wären also dem gegenüber nur konkurrenzfähig, wenn die zu überwachenden Stellen für Menschen nicht zugänglich sind.
- d) kontinuierlich arbeitende Sensoren, welche gleichzeitig mehrere verschiedene (im Idealfalle alle) möglichen Abweichungen erkennen. Dies geschieht z.B. mit dem Spektrum der gesamten Schallemission einer Anlage <http://www.acoustic-camera.com/start.htm>,
- e) Prozessregel- und Steuerungseinrichtungen, die sich Parameter bedienen, welche entweder automatisch oder nach Interpretation mit zusätzlich installierten Werkzeugen Abweichungen vom Standard signalisieren

Damit Sie diese Abweichungen vom Standard rechtzeitig erkennen können, müssen die von der Inspektion verwendeten Parameter (z.B. Verschleißtiefe, Schwingungsamplitude) rechtzeitig vor Erreichen der Schadensgrenze (d.h. dem Ausfall) sichtbar werden. Die Zeitspanne zwischen dem ersten Sichtbarwerden eines verdächtigen Symptoms und dem endgültigen Ausfall der Komponente oder Funktion nenne ich „Zeitperspektive“. Je länger sie ist, um so länger können die Intervalle periodischer Inspektionen sein und um so mehr Zeit steht zur Verfügung, um die Komponente oder die Funktion wieder herzustellen.

Die Zeitperspektive hängt hauptsächlich ab von der Art der Zustands-/Funktionsverschlechterung und von der eingesetzten Technologie. Leider ist die Zeitperspektive oft sehr kurz.

Und es gibt noch ein weiteres Problem: Wenn die Zeitperspektive im Verhältnis zur durchschnittlichen Nutzungsdauer (oder der Mittleren Zeit zwischen zwei Ausfällen) einer Komponente oder eines Prozesses sehr kurz ist, muss man den Mangel nicht nur mit kurzen Intervallen suchen, sondern auch sehr oft, bevor das Ende der Nutzungsdauer erreicht ist: Mir ist z.B. kein Verfahren bekannt, das Wälzlagerschäden zuverlässig länger als einen Monat im Voraus erkennen könnte. Die durchschnittliche Nutzungsdauer aller Wälzlager eines Betriebes überschreitet oft 100 Jahre weit. Man müsste also ein Wälzlager (100 mal 12 =) 1.200 mal inspizieren, um im Durchschnitt einen einzigen Wälzlagerschaden zu finden. Das dürfte meist unwirtschaftlich und überdies keinem Mitarbeiter zuzumuten sein.

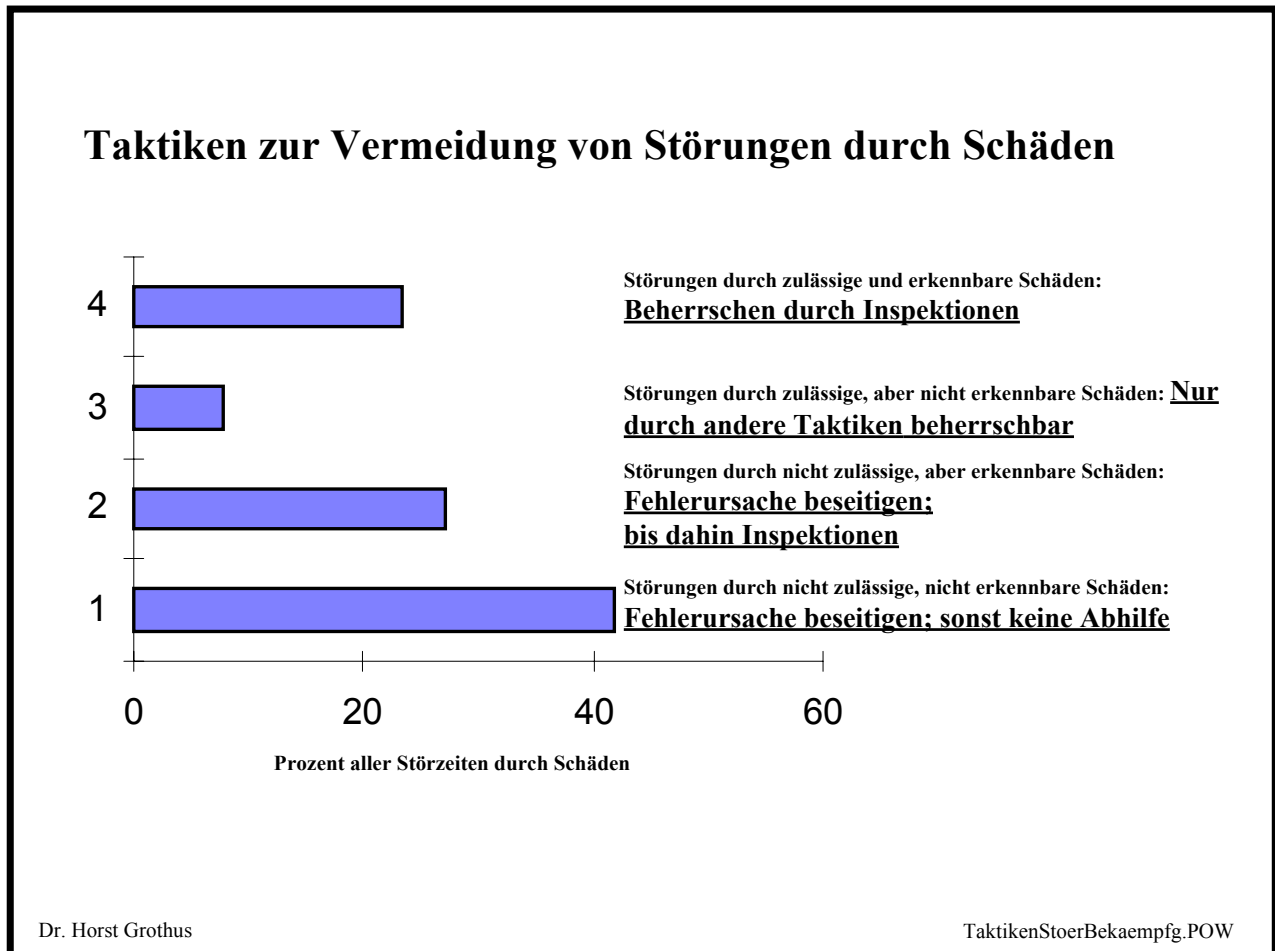
### Wie können Schäden durch Inspektionen rechtzeitig erkannt werden?



% - Beträge: Anteil an der Gesamtheit aller Störungszeiten durch Schäden

## 2.4 Vorauswahl von Taktiken für die Vorbeugende Instandhaltung

Je nach ihrer Zulässigkeit und rechtzeitigen Erkennbarkeit müssen wir Schäden mit sehr unterschiedlichen Verfahren bekämpfen.



2.5 Chronisch oder sporadisch - ein wichtiger Unterschied

<b>Chronische und Sporadische Störungen</b>	
<b><u>Chronische Störungen</u></b> (an "Schwachstellen")	<b><u>Sporadische Störungen</u></b> ("Pannen", "Zwischenfälle", fast alle Unfälle)
<b><u>treten auf</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• an derselben Stelle,</li><li>• mit dem gleichen Symptom,</li><li>• regelmäßig;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• an verschiedenen Stellen,</li><li>• mit verschiedenen Symptomen,</li><li>• völlig unregelmäßig;</li></ul>
<b><u>sind ausgelöst</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• durch einen oder mehrere Fehler,</li><li>• der/die dauernd wirkt/wirken,</li><li>• meist technischer Natur ist/sind, und</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nicht nur durch einen einzigen Fehler, der lediglich auf dieses Element wirkt, sondern</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• durch mehrere verschiedene - meist dauernde - Fehler,<ul style="list-style-type: none"><li>• die u.U. nur gelegentlich gleichzeitig wirken,</li><li>• oft auch nicht-technischer Natur sind</li></ul></li><li>• und durch "Allgemeine Risiko-Ursachen" ARU zu beschreiben sind,</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• dazu gehört auch der Grund, warum diese Schwachstelle bisher noch nicht beseitigt wurde</li></ul>	
<b><u>sind zu bekämpfen</u></b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• und des Fehlers, der nur an dieser Stelle wirkt</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• durch Beseitigen dieser Allgemeinen Risiko-Ursachen</li></ul>

Dr. Horst Grothus Chro\_Spo.PPT

Generationen von Instandhaltern sind mit der Vorstellung (die zeitweise auch nach DIN genormt gewesen war) aufgewachsen, dass jede Komponente einen gewissen "Abnutzungsvorrat" besitze; wie z.B. die Verschleißfläche eines Autoreifens außerhalb der "Schadensgrenze" von 2 mm Profiltiefe. Das gesamte Geschehen von Zustandsverschlechterungen sollte nach diesem Modell des Abnutzungsvorrates verlaufen (so wie das gleichmäßige Verschleiben der Lauffläche).

Folgerichtig haben wir Instandhalter seit Jahrzehnten versucht, Schwachstellen zu erkennen, indem wir die Schäden irgendwie registrierten einschließlich Informationen darüber, wo sie aufgetreten waren. Dann wollten wir finden, an welchen Stellen ("Schwachstellen") sich Schäden häuften (der Abnutzungsvorrat unzulässig schnell verschwindet). Und da haben wir - hoffentlich - eingegriffen.

Ist Ihnen auch schon aufgefallen, dass Sie damit nur einen Teil aller Schäden beeinflussen konnten?

Weil sehr viele Schäden sich überhaupt nicht wiederholt an der selben Stelle ereignen. Dies sind "Sporadische Schäden".



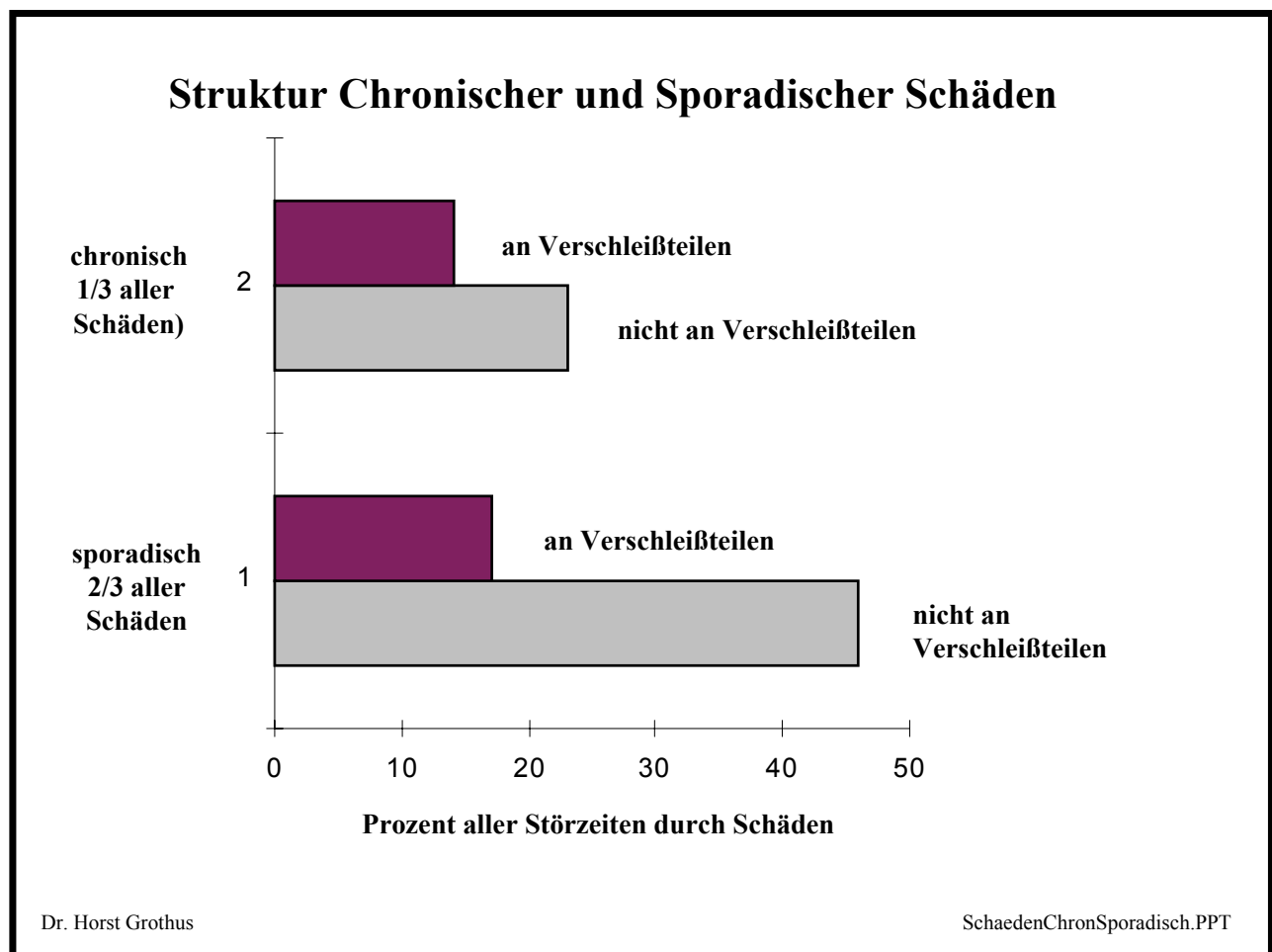
In den meisten Betrieben, in denen ich gearbeitet habe, sind etwa

- nur ein Drittel aller Schadensereignisse chronisch
- und zwei Drittel sporadisch.

Das bedeutet aber nicht, dass

- alle - oder die meisten - chronischen Schäden an Verschleißteilen
- und entsprechend die sporadischen Schäden ausschließlich nicht an Verschleißteilen aufgetreten sind.

Das Bild ist viel komplizierter



- Die chronischen und nicht an Verschleißteilen auftretenden Schäden sind Hinweise auf Schwachstellen (= wiederholt aufgetreten, obwohl überhaupt nicht oder nur einmal zulässig)
- Nicht alle Verschleißteile zeigen so häufig Schäden, wie man das erwarten könnte.

### **3 Periodische Instandsetzung ist nicht die Antwort**

#### **3.1 Die Theorie**

Die "Gute Alte Vorbeugende Instandhaltung" (Generationen von Instandhaltern haben davon geträumt, es allerdings nur sehr selten verwirklicht) bedeutet dies:

- a) Man bestimmt für jedes Betriebsmittel oder lediglich für die kritischen,
  - welche Komponenten wahrscheinlich Schäden erleiden und hierdurch zu einer Störung führen werden
  - und nach welcher Nutzungsdauer dies jeweils zu erwarten ist.
- b) Wenn verschiedene Komponenten sehr unterschiedliche Lebensdauer-Werte aufweisen sollten, gruppiert man sie in verschiedene Gruppen von Intervallen, deren Längen ein gemeinsames Vielfaches sind (z.B. 1 Jahr, 2 Jahre, 4 Jahre).
- c) Nach Ablauf des kürzesten Intervalls ist die erste Überholung fällig, welche die Komponenten der kürzesten Intervallgruppe erneuert oder auswechselt (**unabhängig davon, ob sie jetzt bedrohliche Zustandsverschlechterungen zeigen**). In den folgenden Intervallgruppen bearbeitet man so die jeweils fälligen Komponenten, also
  - nach dem ersten Jahr Gruppe 1J
  - nach dem zweiten Jahr Gruppen 1J und 2J
  - nach dem dritten Jahr Gruppe 1J
  - nach dem vierten Jahr Gruppen 1J, 2J und 4J.

Die Instandsetzung nach Ablauf des entsprechenden Intervalls unterstellt eben, dass die Komponente jetzt definitiv das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht hat und - wenn sie auch noch nicht unbedingt sichtbare Mängel zeigt - jetzt bald (vor der nächsten Revision) ausfallen wird.

#### **3.2 Die Praxis ist anders**

Zunächst - nur um Ihre Enttäuschung zu mildern - folgender Hinweis: Die führenden Fluggesellschaften praktizieren dieses Modell (der "Guten Alten Vorbeugenden Instandhaltung") bei nur drei Prozent aller Komponenten, die tatsächlich ausfallen. Vom Rest, also 97% der schadensanfälligen Bauteile,

- werden zwei Drittel mit "Zustandsabhängiger Instandhaltung" betreut,
- lässt man ein Drittel ohne vorherige Überwachung ausfallen und erst alsdann instand setzen.

Da Sie, der/die Leser/in dieser Zeilen, meist weniger kritische Betriebsmittel als Verkehrsflugzeuge betreuen, müsste der Prozentsatz der periodisch instand zu setzenden Komponenten noch wesentlich kleiner sein als drei Prozent.

Aus verschiedenen Gründen ist die Strategie der Periodischen Instandsetzung meist nicht sinnvoll:

- a) Die voraussichtliche Nutzungsdauer und ihre statistische Häufigkeitsverteilung werden Sie sehr selten kennen: Sie selbst haben glücklicher Weise mit den paar Schäden zu wenig Erfahrung.
- b) Auch die Hersteller wissen nicht viel mehr. Der Konstrukteur dimensioniert die Komponenten mit unterschiedlichen Sicherheitsfaktoren und mit Rücksicht auf die Typenbeschränkung nur grob. Die Auswirkung dieser Über-Dimensionierung kann der Konstrukteur nicht vorher sehen. Und die Hersteller pflegen leider auch nicht die Erfahrungen ihrer Kunden.
- c) Wenn der/die Instandhalter/in die statistische Verteilung der Lebensdauer kennen würde, würde er/sie finden, dass diese eine enorm breite Streuung aufweist: Bei den meisten Komponenten, die an einem einzigen Einbauort eingesetzt werden, erreichen die zehn Prozent langlebigsten Komponenten eine mehr als zehn mal so lange Lebensdauer als die zehn Prozent kurzlebigsten. Welches Intervall sollte dann die Periodische Instandsetzung wählen? Wenn vor der Revision nicht mehr als zehn Prozent aller Komponenten unerwartet ausfallen dürfen, müssten 90% der Komponenten viel zu früh erneuert werden, im Durchschnitt also wenigstens fünf mal so oft, als wenn sie erst nach Eintreten des Schadens instand gesetzt würden.
- d) 1960 - dies war ein Meilenstein moderner Instandhaltung - haben amerikanische Fluggesellschaften etwas sehr Unangenehmes heraus gefunden: Ihrer Flugzeuge waren am **unzuverlässigsten** unmittelbar nach der sogenannten Vorbeugenden Instandhaltung (der "guten alten") und am zuverlässigsten unmittelbar, bevor sie mit einer erneuten Revision wieder kaputt gemacht wurden.
- e) Revisionen nach dem Muster der "Guten Alten Vorbeugenden Instandhaltung" erfordern fast immer, dass die Betriebsmittel still stehen, also nicht funktionieren können. Das tut weh, denn es kostet viel Geld. Schöner wäre, Sie brauchten die Stillstände nicht zu erbitten (meist werden Sie diese ohnehin nicht erhalten).

### **3.3 Wann könnte Periodische Instandsetzung sinnvoll sein?**

Selten, aber doch manchmal:

Wenn die Instandsetzung (Auswechseln, Erneuern) der betrachteten Komponente sehr billig ist (vielleicht sogar billiger als die Überprüfung), sollten Sie das tun: Beispiele: Ölwechsel von kleinen Vorräten (wenn die Ölanalyse mehr kosten würde); Reinigen von Druckfiltern in Hydrauliken (mit einem Handgriff, wenn die Druckdifferenz nicht abgelesen werden kann).

Mehr nicht.

Sonst sind andere Strategien (Abschnitt 5.2) wahrscheinlich wirtschaftlicher.

### **3.4 Eine ganzheitliche Alternative: Die Akustische Kamera**

Die gezielte Überwachung von Komponenten hat also – wie ich bisher gezeigt habe - ihre engen technischen und wirtschaftlichen Grenzen.

Einen interessanten Ausweg bietet manchmal vielleicht die „Akustische Kamera“ <http://www.acoustic-camera.com/>. Sie beruht auf folgendem: Viele Anlagen - vor allem solche mit rotierenden Komponenten – erzeugen mit den verschiedenen Schwingungen eine bestimmte „Musik“, also ein individuelles Spektrum. Man kann dieses in einem Computer als Standard speichern und anschließend – ohne Demontage und Beschädigungsrisiko – periodisch oder kontinuierlich die momentane „Musik“ (Spektrum) aufnehmen und automatisch mit dem Standard vergleichen. Wenn jetzt eine Abweichung (also eine Veränderung) entdeckt wird, könnte das auf einen Schaden schließen lassen.

## 4 Ein ganz neues Verständnis der Instandhaltung

Sie sehen:

Früher hatte ich (nicht die Anhänger der "Guten Alten Vorbeugenden Instandhaltung") unter Vorbeugender Instandhaltung verstanden (ich hatte das seit 1973 "Total Vorbeugende Instandhaltung" genannt)

- Periodische Wartung und Inspektion
- Beseitigung der technischen Ursachen von Schwachstellen
- Konstruktion neuer Anlagen mit Eigenschaften, welche die Kosten durch Schäden, Störungen und Technische Wertminderung minimieren.

Jetzt aber müssen wir offensichtlich umlernen

(siehe auch [http://www.grothus.org/bp\\_paradigma\\_de.htm](http://www.grothus.org/bp_paradigma_de.htm))

<b>bisheriges Verständnis</b>	<b>neues Verständnis</b>
Die Komponenten nützen sich zwangsläufig ab; sie verbrauchen ihren "Abnutzungsvorrat". Schließlich - bei Erreichen der "Schadensgrenze" - ist aus der Zustandsverschlechterung ein Schaden geworden.	Vergleichbare Komponenten (z.B. Lager, Schalter usw.) zeigen kein einheitliches Abnutzungsverhalten. Ein großer Teil der Schäden tritt nicht ein, weil ihre vorhersehbare Lebensdauer abgelaufen ist, sondern weil sie zerstört wurden aus Gründen, die nicht in diesem Bauteil sondern (z.B. in Fehlern an Bedienung, Umwelt, Produkt) liegen. Vergleichbare Bauteile an anderer Stelle fallen nie aus, obwohl sie scheinbar gleich belastet werden.
Die Schäden sind also eine normale und beabsichtigte Konsequenz aus der gewählten Konstruktion der Anlage.	Die meisten Schäden, die an den Komponenten eintreten, sind also konstruktiv nicht beabsichtigt; sie sind "anormal" und unerwünscht.
Eine Komponente, an der ein Schaden auftritt, wird - nach Ablauf einer bestimmten Zeitspanne - wieder defekt sein. Die allermeisten Schäden sind also "chronisch".	Eine Komponente erleidet nur dann am selben Einbauort relativ regelmäßig einen Schaden, wenn sie entweder ein Verschleißteil oder eine ständig überbeanspruchte "Schwachstelle" ist. Dies ist aber nur bei dem kleineren Teil aller Schäden der Fall. Der größere Teil aller Schäden ereignet sich nicht wiederholt an der gleichen Stelle, sondern "sporadisch" mal hier mal dort.

<p>Schäden entstehen also hauptsächlich aus technischen Gründen.</p>	<p>Die meisten Schäden entstehen als Folge von Fehlern. Dies gilt sogar für die chronischen Schäden an "Schwachstellen". Denn sie sind durch nicht-technische (z.B. menschliche) Fehler während der Planung und Konstruktion oder durch ständige Bedienungsfehler entstanden. - Und wenn sie bereits mehrmals aufgetreten waren, hätten diese Schwachstellen eigentlich bereits erkannt und beseitigt werden müssen; dass dies nicht geschehen ist, ist kein technischer Fehler.</p>
<p>Man kann vorhersagen, an welcher Stelle welche Bauteile mit welcher Wahrscheinlichkeit ausfallen werden. Mit dieser Kenntnis kann man für die voraussichtlich ausfallenden Bauteile a) das Ausfallrisiko berechnen (z.B. "Failure Mode and Effects Analysis" oder "Reliability Centered Maintenance"), sowie den Bedarf an b) "Vorbeugender Instandhaltung" und c) Ersatzteilen planen.</p>	<p>Die Mehrheit der Schäden tritt an Bauteilen und Einbauorten auf, wo man sie individuell nicht vorher gesehen hatte. Man kann daher hierfür nicht a) quantitative Prognosen des Ausfallrisikos und seiner Kosten machen, b) gezielt Vorbeugende Instandhaltung planen und durchführen, c) anhand individueller Ausfallprognosen und -bewertungen gezielt die Ersatzteil-Logistik steuern.</p>
<p>Diese Schäden können nur durch Wartung (Reinigen, Schmieren, Imprägnieren und Konservieren) verlangsamt und durch "Zustandsabhängige Instandsetzung" (z.B. Inspektionen) beherrscht werden</p>	<p>Schäden muss man verhüten, nicht zu beherrschen versuchen. Schwachstellen muss man beseitigen, nicht immer wieder warten, inspizieren und reparieren. Das Entstehen neuer Schwachstellen und von Sporadischen Schäden muss man durch verbessertes Management ("Null Fehler Management") verhüten</p>

## 5 Die ganzheitliche Schadens- und Störungsverhütung

Jetzt wissen Sie: Ihre Vorbeugende Instandhaltung muss sich **nach den unterschiedlichen Eigenschaften der zu bekämpfenden Schäden richten**. Es gibt also nicht nur eine einzige Strategie, sondern eine Mischung von verschiedenen Taktiken.

<b>Die Taktiken zur Bekämpfung eines Schadens</b>				
<b>Der "Schaden" ( Zustandsverschlechterung)</b>				
	<b>zulässig nach Standard (30%?)</b>		<b>nicht zulässig nach Standard (70%?)</b>	
<b>technisches Merkmal</b>	<b>Abweichung rechtzeitig erkennbar (20%?)</b>	<b>Abweichung nicht rechtzeitig erkennbar (10%?)</b>	<b>chronisch (20%?)</b>	<b>sporadisch (50%?)</b>
<b>Routine-Taktik</b>	<b>a) Symptome suchen; zustandsabhängig beseitigen</b>	<b>b) sonstige Vorbeuge-taktiken anwenden</b>	<b>c) keine (nicht akzeptieren)</b>	<b>c) keine (nicht akzeptieren)</b>
<b>Abhilfe-Taktik</b>	<b>e) Gültigkeit des Standards überprüfen; örtliche Besonderheiten bedenken; Komponente tech-nologisch verbessern</b>		<b>f) den einen techn. Auslöser <u>und</u> die Allg. Risiko-Ursache beseitigen (Null Fehler Mgt.)</b>	<b>g) die Allg. Risiko-Ursache besei-tigen (Null Fehler Mgt.)</b>

Dr. Horst Grothus Bekämpf\_Takt.PPT

Die Prozentzahlen sagen, welche ungefähren Anteile die hierzu gehörenden Schäden an der Gesamtheit aller in einem „normalen“ Fabrikationsbetrieb auftretenden Schäden haben. Hier folgen die Erläuterungen zu den einzelnen Positionen.

In den Zeilen "Routine-" bzw. "Abhilfe-Taktik" sind die unterschiedlichen "Bekämpfungskategorien" mit kleinen Buchstaben gekennzeichnet - a) bis g).

### **5.1 Bekämpfungskategorie a): Zustandsabhängige Instandhaltung (Condition Based Maintenance)**

Sie beobachten den Zustand bzw. die Funktion der Komponente mit Inspektionen, mit fest installierten Sensoren oder Steuerungsparametern oder durch laufende Beobachtung (z.B. der Bedienungsleute bei TPM). Und wenn Sie Hinweise auf unzulässige Abweichungen wahrnehmen, greifen Sie ein z.B. durch gründlichere oder häufigere Überprüfung, durch Auswechseln usw.

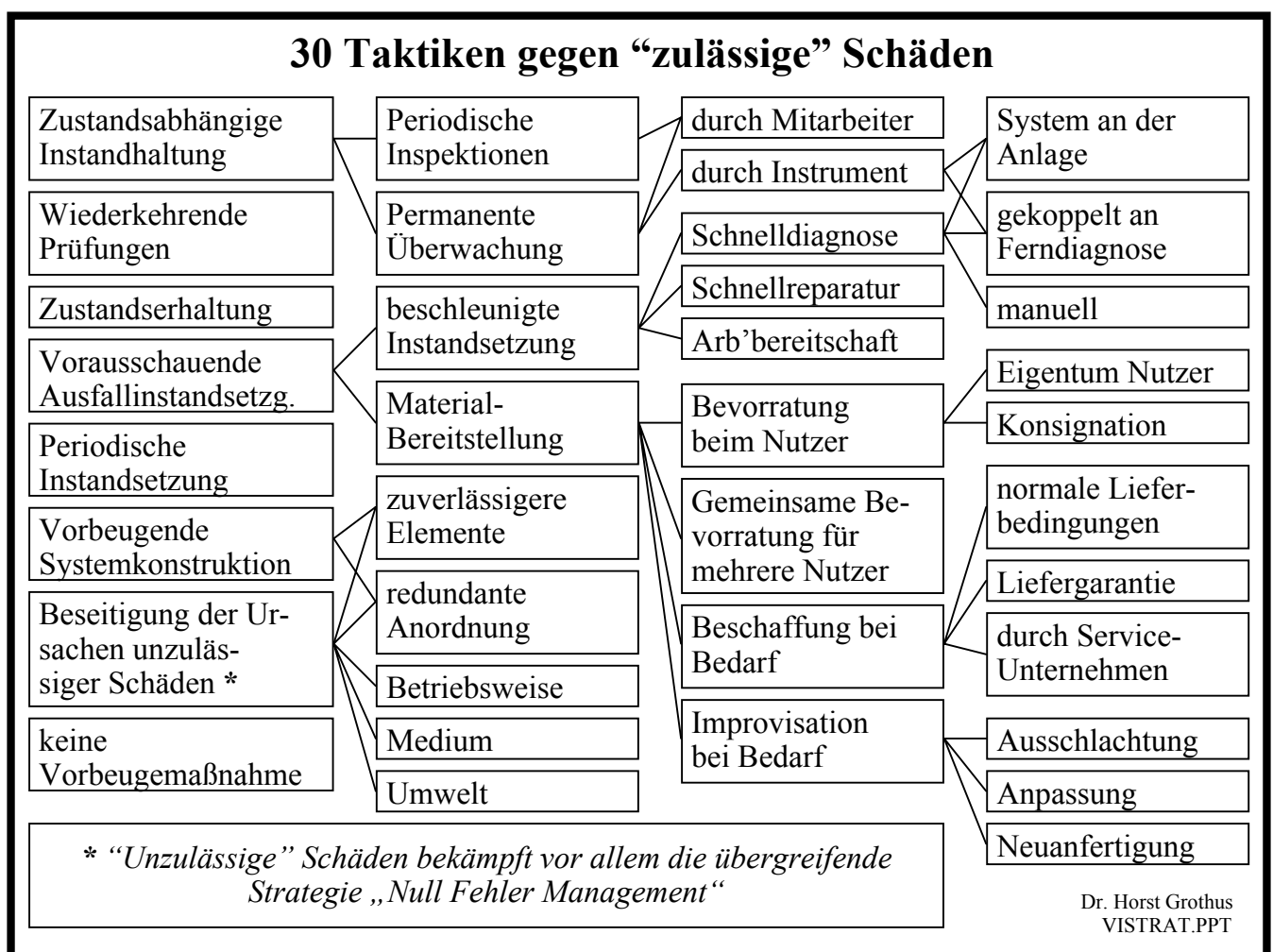
**5.2 Bekämpfungs-Kategorie b): "Sonstige Vorbeugende-Taktiken"**

Wenn Sie alle Taktiken betrachten, mit denen Sie direkt Schäden bekämpfen könnten, unterscheiden Sie zunächst zwischen

- "zulässigen Schäden", die Sie nach dem Stand der Technik durch den Prozess und die Konstruktion tolerieren müssen (auch wenn sie nur Kosten und keinen Nutzen hervorbringen)
- und "unzulässigen Schäden", die eigentlich überhaupt nicht auftreten dürften.

In einem späteren Abschnitt werden Sie erkennen, dass Sie klar definieren können, wohin jeder einzelne Schaden gehört.

Betrachten Sie zunächst die "zulässigen Schäden", so bietet sich Ihnen eine große Anzahl unterschiedlicher "Taktiken" an:



**5.3**

### **Bekämpfungs-Kategorien c): und d): Nicht routinemäßig akzeptieren**

Das sagt sich so leicht: Schäden, die eigentlich nicht vorkommen dürfen, darf ich weder weiter auftreten lassen noch (z.B. mit periodischer Instandhaltung) betreuen. Unter den 30 Taktiken gibt es einige, die auch hier helfen könnten.

Wenn das nur mal Jeder täte, dann würden viele Milliarden gespart.

### **5.4 Bekämpfungs-Kategorie e): Gültigkeit des Standards überprüfen; diese gemäß KVP verbessern**

Eigentlich könnten Sie die "Zulässigen Schäden" ja akzeptieren. Aber das Bessere ist des Guten Feind. Und der Kontinuierliche Verbesserungsprozess lebt davon, dass man das, was man gestern noch standardisiert hatte, morgen nicht mehr dulden will.

### **5.5 Bekämpfungs-Kategorie f): Bei Schwachstellen den *einne* technischen Auslöser beseitigen; und mit Null Fehler Management die Risiko-Ursachen beseitigen**

Eine Schwachstelle ist zunächst individuell auf eine einzige Stelle (z.B. ein Element) oder auf eine einzige Störbedingung (z.B. Handlung eines/er nicht hinreichend unterwiesenen MitarbeitersIn) beschränkt. Und die hier wirkenden Ursachen richten sich speziell hierauf; die müssen Sie beseitigen.

Aber fragen Sie sich einmal:

- Warum sind früher überhaupt die Fehler gemacht worden, durch die dieser Mangel heute existiert?
- Und warum ist bis heute Nichts oder nichts Wirksames unternommen worden, damit dieser Mangel endlich beseitigt wurde?

Da gibt es vielleicht "Allgemeine Risiko-Ursachen" [http://www.grothus.org/bj\\_grundman\\_de.htm](http://www.grothus.org/bj_grundman_de.htm), die nicht nur diese Schwachstelle verursachen und weiter dulden lassen, sondern auch Fehler an anderen Stellen. Hierzu gehören z.B. Fehler in Organisation, Kommunikation, Qualifikation, Instandhaltungsmanagement, Sicherheitsmaßnahmen, Prioritätenbildung.

Diese Mängel beseitigen Sie mit "Null Fehler Management" <http://grothus.org>

### **5.6 Bekämpfungs-Kategorie g): Mit Null Fehler Management die Risiko-Ursachen beseitigen**

Hier hilft wirklich nur <http://grothus.org>