

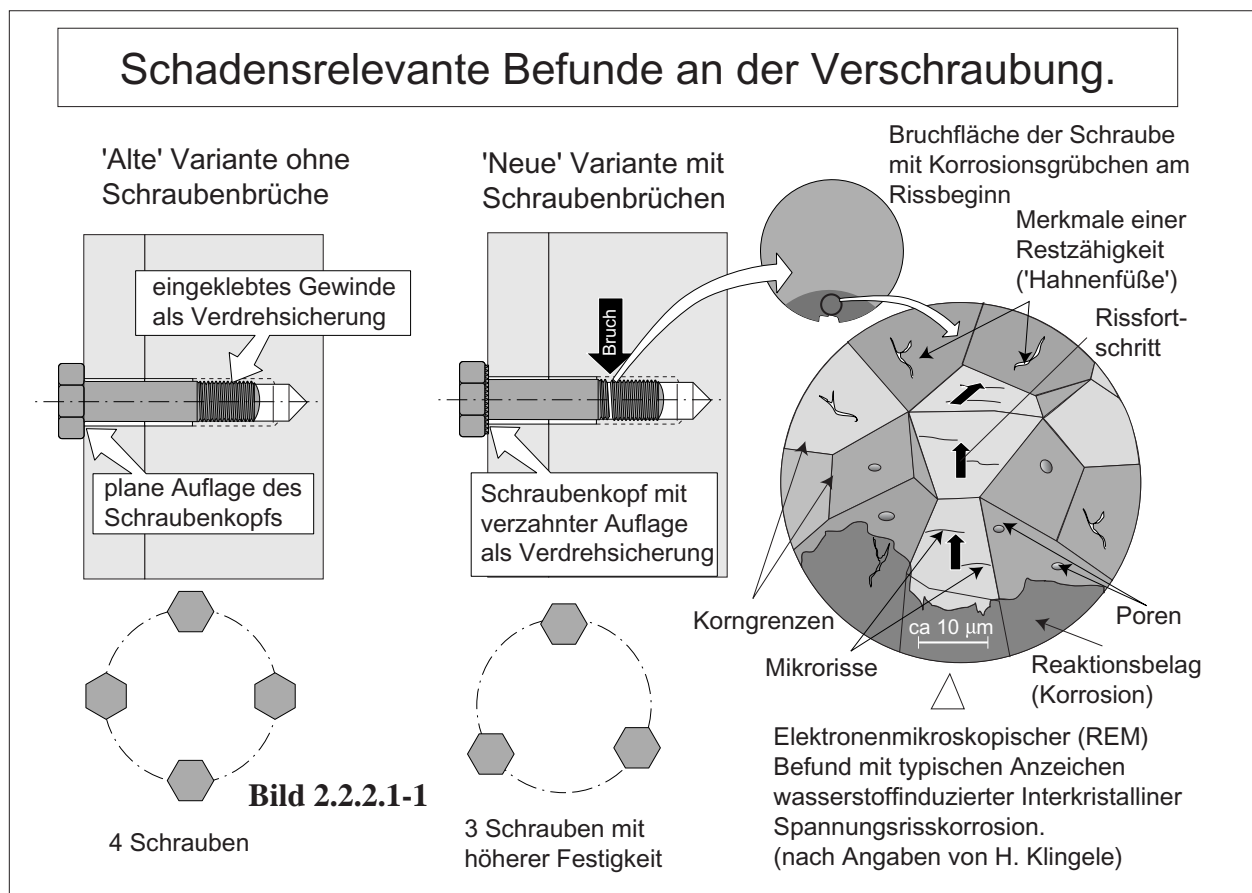
## 2.2.2.1 Praktische Beispiele

Die Beispiele beruhen auf echten Vorkommnissen, wurden jedoch geeignet angepasst und anonymisiert. Es wurden typische, durchaus komplexe Fälle ausgewählt. Meistens lässt sich in der Praxis der erhebliche Aufwand fallspezifisch deutlich eingrenzen. Oft wirken neben der Hauptursache mehrere beitragende Ursachen. Auch wenn nicht unbedingt erforderlich, wurden jeweils die in Bild 2.2.1-2 dargestellten Analysen exemplarisch durchgeführt. Es handelt sich um

- Situationsanalyse.
- **Problemanalyse**/Schadensanalyse,
- Entscheidungsanalyse und
- Analyse Potenzieller Probleme.

Bei der Problemanalyse wurde auf Nachvollziehbarkeit besonderer Wert gelegt.

### Beispiel 2.2.2.1-1:



An einem Fahrzeug brachen an einer hochsicherheitsrelevanten Komponente Schrauben. Es handelte sich um eine von drei funktionskritischen Schrauben. Diese Vorfälle begannen

ab einem gewissen Zeitpunkt nach sehr unterschiedlichen Betriebszeiten. Die ursächlichen Einflüsse waren zu ermitteln und Abhilfen zu erarbeiten.

Hilfreich ist vorab und entsprechend weiterer Erkenntnisse die Erarbeitung des **Ursache-Wirkungs-Diagramms** (Bild 2.2.1-1) das später auch bei der kreativen Erarbeitung der Hypothesen hilft.

Die **Recherchen zur Faktensammlung** ergaben (Bild 2.2.2.1-1):

Schrauben

- Schrauben in **Sacklöchern** des Gehäuses.
- In der Neuteilfertigung wird das Gehäuse einer **Badbehandlung** unterzogen. Dabei sind die Schraubenbohrungen nicht verschlossen. Die verwendete Ätzflüssigkeit wird **mit Druckwasser ausgewaschen**. Danach wird das Gehäuse **getrocknet**. Laborversuche zeigten, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass Wasser alleine die schadenstypische Spannungsrisskorrosion auslöst. Dagegen konnte das in der Fertigung verwendete Ätzmittel auch in wässriger Verdünnung **Spannungsrisskorrosion** an den hochfesten Stählen des neuen Schraubentyps auslösen.
- Brüche erfolgten nach unterschiedlichen Betriebszeiten.
- Nur Schrauben einer neuen Konstruktionsvariante (Skizze rechts in Bild 2.2.2.1-1) waren betroffen.

Besonderheiten:

- Statt 4 Schrauben nur noch 3 Schrauben.
- Werkstoff mit höherer Festigkeit/Härte.
- Die Verdrehsicherung durch Einkleben des Gewindes wurde von einer **Verzahnung der Kopfaufklappe** ersetzt.

Eine **Begehung der Fertigung und Montage** ergab:

- Die **Waschvorrichtung** für die Sacklöcher ist unbemerkt **beschädigt** worden, sodass eine Reinigung der Schraubenbohrungen nicht mehr gewährleistet war.
- In den Bohrungen der in der Montage aufgestapelten Gehäuse waren größere Mengen **eingetrocknetes Ätzmittel** zu erkennen.

Laboruntersuchung:

Makroskopisch

- Der **Bruch erfolgte im Gewinde in den ersten Gängen** zum Schaft.

- Es handelt sich um einen **spröden Betriebsanriss** und **zähen Restbruch**.

- **Härte der Schrauben über HRC 32**. Alte Schraubenvariante geringere Härte.

Metallografie:

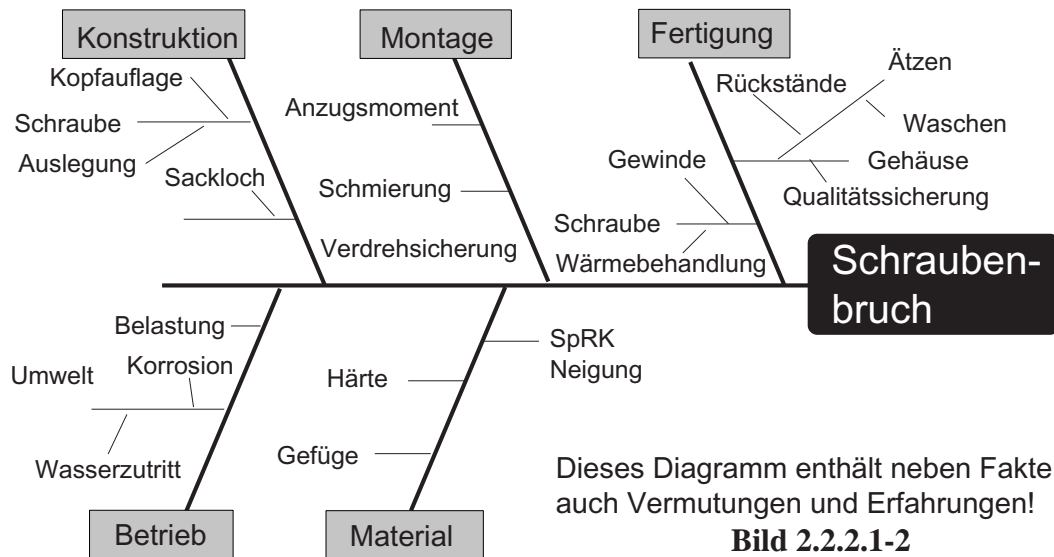
- Keine Gefügebesonderheiten, Verlauf des Betriebsrisses 'interkristallin', typisch für **Risskorrosion**.

Mikroskopische (REM) Bruchflächenbewertung:

- im Betriebsrissbereich typische Merkmale für **Spannungsrisskorrosion** (Detail rechts in Bild 2.2.2.1-1, Lit. 2.2.2-6).

Diese **Fakten** sind im **Arbeitsblatt** in Bild 2.2.2.1-4 in den beiden linken Spalten zusammengestellt.

Ursache-Wirkungs-Diagramm eines Schraubenbruchs zur Übersicht und Unterstützung der Kreativität bei der Hypothesenerstellung.



**Bild 2.2.2.1-2:** Dieses Ursache-Wirkungs-Diagramm (Bild 2.2.2-1) gehört zum **Beispiel 2.2.2.1-1**. Gewöhnlich wird es vor der eigentlichen **Problemanalyse** erstellt. Es lässt sich später bei neuen Beobachtungen und Zusammenhängen iterativ aktualisieren. Enthalten sind alle **denkbaren Einflüsse und Zusammenhänge**, also nicht nur abgesicherte. Fallspezifisch werden vier **Ursachengruppen betrachtet**. Sie ergeben sich aus **Erfahrung und Eindrücken**.

Man erkennt die Komplexität potenziell ursächlicher Einflüsse. Damit wird die Vollständigkeit der Faktensammlung (Bild 2.2.2.1-4) unterstützt.

Manchmal ist es nicht einfach das zu analysierende Problem zu erkennen. Hier kann eine Systematik, die 'Warum-Treppe' helfen.

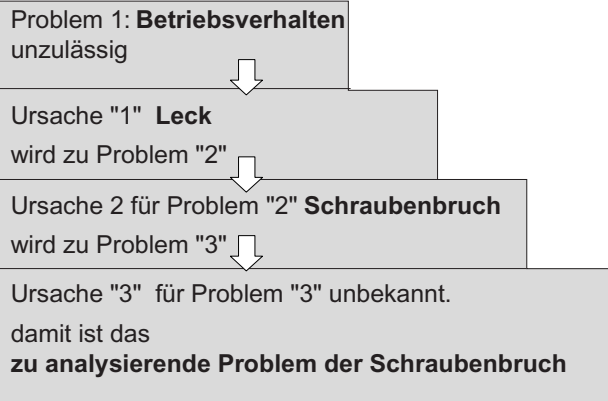


Bild 2.2.2.1-3

## Arbeitsblatt

Definition des Problems: Schraubenbrüche im Betrieb (Beispiel 2.2.2.1-1).

	Fakten (Beschreibung)		
	Am Schadensteil (ist)	Abgrenzung (ist nicht)	Besonderheiten aus Vergleich 'ist' mit 'ist nicht'.
<b>was?</b>	<b>Objekt:</b> - Neue Schraubenvariante - Härte/Festigkeit erhöht (>32 HRC) - Verdrehsicherung mit Verzahnung an Kopfauflage <b>Schaden:</b> Betriebsbruch Spannungsrisskorrosion (SpRK)	frühere Variante: - kein Bruch - Härte niedriger - 4 Schrauben - Verdrehsicherung durch Einkleben des Gewindes - Beilage unter dem Kopf - Kein Schaden an 'Problem-version' als Neuteil	- Neue Schraubenvariante - Schraubensicherung durch Verzahnung an Kopfauflage - Höhere Festigkeit/Härte >32HRC - Höhere Schraubenbelastung (weniger Schrauben). - Anriss: SpRK - Werkstofffehler
<b>wo?</b>	<b>Objekt:</b> Gewinde am Übergang zum Schaft <b>Schaden:</b> im Betrieb - durch äußere Inspektion oder Betriebsverhalten bemerkbar.	- Andere Stellen z.B. im Kopfradius - Im Aufbewahrungslager - an Neuteilen	- Anriss im Gewinde - Betriebseinfluss - Schaden bei erstem Schraubenbruch bemerkbar
<b>wann?</b>	<b>Erstmalig?</b> Nach Einführung neuer Version <b>Sonst noch?</b> - bei Laborversuchen nur mit wässrigem Ätzmittel nicht. - Rissbildung wie Schaden bei Ätzmittel und Wasser. <b>Im Bauteilleben?</b> nach unterschiedlichen Betriebszeiten	- Vorher - Schrauben der alten Version im Versuch deutlich unempfindlicher - nicht nach ähnlich langer Betriebszeit	- Neue Schraubenversion - Alte Variante mit gleichem Ätzmittel ohne Schäden - Verhalten im Laborversuch bei alter Version günstiger - Allein bei Wassereinwirkung keine schadenstypische Rissbildung.
<b>wie Viele?</b>	<b>Objekt:</b> weniger als 10 Fälle. Bezogen auf die Gesamtzahl wenige <b>Schaden:</b> Nur 1 Bruch pro Gehäuse <b>Tendenz:</b> Steigend	- Bezogen auf die Gesamtzahl viele. - Mehrere gebrochene Schrauben pro Gehäuse - Tendenz nicht gleichbleibend oder abnehmend	- Individuelle Unterschiede im Betriebseinfluss der Anwendung - Steigt mit der Zahl der Teile im Betriebseinsatz.

Bild 2.2.2.1-4

**Bild 2.2.2.1-3:** Im vorliegenden Fall ist das zu analysierende Problem der Schraubenbruch, leicht zu erkennen. Die Frage ist: „Warum tritt der Fehler/Schaden auf? Die Systematik der ‘Warum-Treppe’ (Bild 2.2.2-3) soll hier lediglich beispielhaft angewandt werden.

**Bild 2.2.2.1-4:** Mit Hilfe der Fakten lassen sich ursachenrelevante Besonderheiten erkennen (dritte Spalte).

Unter Zuhilfenahme des Ursachen-Wirkungs-Diagramms in Bild 2.2.2.1-2 ergeben sich die Hypothesen.

Diese werden in der letzten Spalte anhand der Fakten/Besonderheiten überprüft, was die wahrscheinlichste (widerspruchsloseste) ergibt.

„A und „B“: Erklärt nicht den schadens-typischen SpRK-Einfluss.

„C“, „D“ und „E“: Warum kein Problem bei „alter“-Version?

„F“: Es fehlt die Erklärung für Betriebseinfluss.

„G“: Dagegen spricht, dass bei Versuchen keine schadens-typische SpRK allein durch Wasser auftrat.

„H“: Schraubenlockerung lässt Schwingbruch erwarten. Würde Schwingungsrisskorrosion (SRK) erwarten lassen, nicht aber SpRK.

Kombiniert man die schadensursächlichen/-beitragenden Einflüsse, bietet sich das Bild eines komplexen Zusammenwirkens von

„C“, „D“, „E“, „F“, „G“ und „H“.

Dabei ist noch keine Aussage über Hauptursachen, Nebenursachen und begünstigende/beitragende Ursachen gemacht. Dies ist besonders schwierig und wenn überhaupt erst nach ausreichender Erfahrung sowie eventuell absichernden Untersuchungen zu erwarten.

**Wahrscheinlichste Problemstehung bzw. Schadensursache mit dem Ablauf:**

Mit der konstruktiven Umstellung von 4 auf nur noch 3 höher belastete (Zugspannungen!) Schrauben aus einem festeren Stahl mit einer Härte > 32 HRC (Festigkeit > 1030 MPa, Härte > 304 HRB, > Vickers 530) waren die Voraussetzung für ein hohes SpRK-Risiko bei einem wässrigen Elektrolyten mit Ätzmittelrückständen gegeben. Diese Rückstände konn-

Erstellt von (Teammitglieder, Verantwortlicher):

.....

Datum: .....

Hypothesen (mögliche Ursachen)

Zusammenstellung	Prüfung (an den Fakten bzw. Besonderheiten)
"A" Schrauben im Gewinde zu hoch belastet durch Montageeinfluss	"A" Erklärt SpRK allein nicht "B" Erklärt SpRK allein nicht
"B" Schrauben im Gewinde zu hoch belastet durch Betriebseinfluss	"C" Erklärt SpRK allein nicht "C" Erklärt SpRK allein nicht
"C" Eindringen von Wasser im Betrieb	"E" Erklärt SpRK allein nicht "E" Erklärt SpRK allein nicht
"A" "B" und "C" kombiniert	"D", "E" und "F" ist möglich "G" und H erklärten SpRK allein nicht.
"D" SpRK durch Ätzmittelrückstände.	
"E" SpRK durch Betriebseinfluss.	siehe hierzu die Bildbeschreibung.
"F" Werkstoffeinfluss	
"D", "E" und "F" kombiniert	
"G" Kopfauflage der neuen Schraubenversion. Undichtigkeit ermöglicht Wassereintritt im Betrieb.	
"H" Keine Verdrehsicherung durch Einkleben des Gewindes	
"G" und "H" kombiniert	

**Widerspruchsfeie Hypothese**

**als wahrscheinlichste: Kombination von notwendigen (ursächlichen) und beitragenden Einflüssen "C", "D", "E", "F", "G" und "H"**

**Bild 2.2.2.1-4**

Weitere Kombinationen möglich!

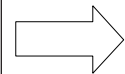
## Eine Entscheidungsanalyse sichert Maßnahmen ab.

### Definition: Abhilfe gegen Schraubenbrüche

Ziele		Alternative "1"			Alternative "2"			
Beschreibung der Alternative		3 dickere Schrauben mit Härte < 32 HRC			4 Schrauben statt 3 mit Härte < 32 HRC			
Mussziele Sicherheit kurzfristig nachrüstbar		Verfügbarkeit		Erfüllung <b>Ja</b>		Erfüllung <b>Ja</b>		
Wunschziele	Bedeutung B 1 - 10	Informationen	'Wert' C1 0-10	BxC1	Informationen	'Wert' C2 0-10	BxC2	
		Schrauben käuflich			Schrauben käuflich			
- Kostengünstig	7	Teile nacharbeitbar	10	70	vorhandene Teile verschrotten!	2	35	
- keine Investitionen	6	Vorrichtungen für größere Gewindebohrungen erforderlich	5	30	Vorrichtungen für neues Bohrbild erforderlich	3	18	
- Vor Ort tauschbar	10			100			100	
- Einfacher Tausch	5			50			50	
- vorhandene Teile wieder einsetzbar, keine Änderung des Gehäuserohrtells	10	Nachgearbeitete Bauteile vor Ort tauschbar	10	100	Neue Bauteile vor Ort tauschbar Änderung des Gehäuses	10 0	0 0	
Gesamterfüllung				350	Gesamterfüllung 203			

W = Wahrscheinlichkeit  
T = Tragweite

Risikobewertung (siehe APP in Bild 3.1.2.1-6)											
Alternative "1"	W	T	Alternative "2"	W	T	Alternative "3"	W	T	Alternative "4"	W	T
Risiken:	0-10	0-10	Risiken:	0-10	0-10	Risiken:	0-10	0-10	Risiken:	0-10	0-10
W1 T1			W2 T2			W3 T3			W4 T4		

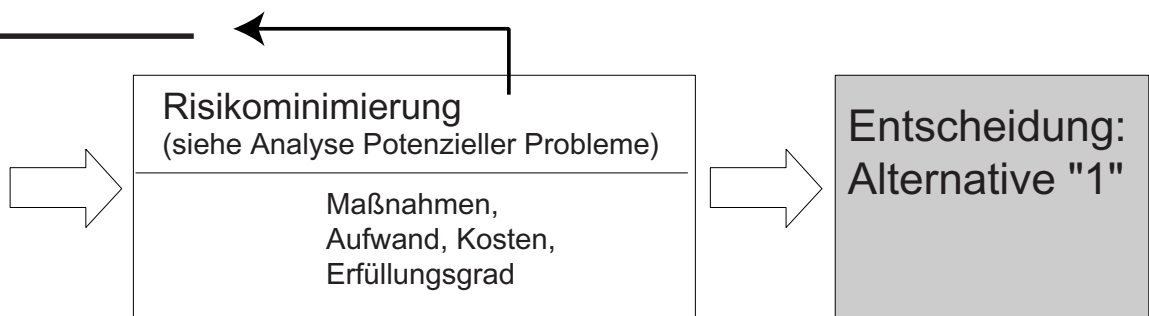


**Bild  
2.2.2.1-5**

ten in den Sacklöchern verbleiben, weil die **Spülvorrichtung** in der Produktion unbemerkt beschädigt war. Die **Schraubensicherung über eine Verzahnung der Kopfauflage** war offenbar nicht vollkommen wasserdicht. Damit konnte **im Betrieb Wasser in die Sacklöcher**

zu den eingeschraubten Gewinden gelangen. Der so entstandene Elektrolyt löste die Schraubenbrüche in Form einer **Wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion** aus. Daraus ergeben sich mehrere mögliche Abhilfen die alle auf der Elimination einer der 3 Voraussetzungen für SpRK beruhen:

(Beispiel 2.2.2.1-1)			
Alternative "3"		Alternative "4"	
Einkleben der Schrauben und dichte Kopfauflage (kein Zahnprofil)		Unproblematisches Medium im Fertigungsprozess.	
Dichtigkeit auf Dauer im Betrieb nicht sicher. Ausreichende Anbringung der Dichtmasse nicht nachträglich überprüfbar.	<b>Erfüllung</b>  <b>nein</b> (nicht ausreichend sicher)	Möglichkeit von SpRK in Salzwasser oder Wasserstoffversprödung in der Fertigung.	<b>Erfüllung</b>  <b>nein</b> (nicht ausreichend sicher)
	'Wert' C3 0-10	BxC3	'Wert' C4 0-10
Gesamterfüllung			



**Bild 2.2.2.1-5**

- Gefährliche Zugspannungen (Abhilfe „1“).
- Empfindlicher Werkstoff (Abhilfe „1“ und „2“) für
- 'geeigneten' Elektrolyt (Abhilfe „3“ und Abhilfe „4“).

**Bild 2.2.2.1-5:** Um die **Bereitschaft zu einer Entscheidung** und deren Sicherheit zu erhöhen, empfiehlt sich eine **Entscheidungsanalyse**. Sie dient gleichzeitig einer verbesserten **Transparenz**, fördert die **Teamarbeit** und **minimiert Risiken**. Eine **Risikobewertung** kann im Rahmen dieser Analyse erfolgen.

Beispiel eines Arbeitsblatts für eine Analyse

Absicherung von Maßnahmen/Abhilfen des technischen Problems/Schadens:						
Kritische Realisierungsschritte (Planschritte)		Potenzielle Probleme	W	T	Denkbare Ursachen	W
warum? wo? wann?	Sichere Reinigung der Gewindebohrungen	Rückstände des Ätzmittels	H	H	- Vorrichtung - Kontrollverfahren	H
	Umkonstruktion	Termine	H	H	Personalressourcen	H
	Nachrüstung verbauter Teile	- Verfügbarkeit - Schadensrisiko beim Betreiber	H	H	- Zulieferer - Produktionskapazität - Schadensfall im Zeitraum bis zur Umrüstung	H

Ergebnis der Maßnahmen/Abhilfen im Idealfall:		
Mögliche Auswirkungen und Nebenwirkungen der potenziellen Probleme	T	Eventualmaßnahmen
- Personalengpässe in anderen Bereichen	H	Umschichten nach Priorität
- Risiko verbauter Teile bis zur Umüstung	H	Zwischenkontrollen mit Rückmeldung

W = Wahrscheinlichkeit (H = hoch, M = mittel, N = niedrig),  
T = Tragweite (H = hoch, M = mittel, N = niedrig)

**Bild 2.2.2.1-6**

Eine Zuordnung von **Bedeutung** („**B**“), auch als Gewichtung bezeichnet. Sie erfolgt steigend von 1-10. Die Einschätzung der **Werte** („**C**“, steigend von 0-10) der vier Alternativen dieses Beispiels erfordert fallspezifische Detailkenntnis. Die „Werte“ werden aus den „**Informationen**“ jeweils für die verschiedenen Wunschziele geschätzt. Sie werden mit **B** multipliziert, so erhält man die **Erfüllungen**. Deren Summe gibt die **Gesamterfüllung** der jeweiligen Alternative. Je höher diese ist, umso größer ist ihre Attraktivität. Das Vorgehen ist in den Tabellen unten dargestellt. Auf eine Ausarbeitung wurde jedoch hier

verzichtet. Die **Analyse Potenzieller Probleme (APP)** in Bild 2.2.1.2-6 soll dazu dienen. Sie bewertet die Alternativen indirekt anhand ihrer **kritischen Realisierungsschritte**.



### Potenzieller Probleme. (Beispiel 2.2.2.1-1)

Aktionen zur Problem- /Schadensverhütung		
Vorbeugend	Zusätzliche Aktionen	Aufwand
- Zuverlässige Reinigung realisieren und nachweisen	- Organisation der Prüf- und Kontrollvorgänge	- Vorrichtungen - Prüfverfahren - Schulung
Personalplanung		
Erarbeitung von Kontrollen beim Betreiber bis zur Nachrüstung	- Ermittlung aller betroffenen Betreiber. - Sofortige Benachrichtigung der Betreiber mit Anweisungen	Reisekosten der eigenen Mitarbeiter Aufwand der Betreiber
Planung der Nachrüstung	Erarbeitung aller erforderlicher Daten (siehe unten)	Auswertung und Zeitplan erstellen
Meldesystem		
Meldesystem	Zusätzliche Aktionen	Aufwand
Betroffene Organisationseinheiten an Personalabteilung	Überprüfung aller anderen entsprechenden Konstruktionen	Konstruktion
Betreiber an Hersteller	Auswertung der Betreiberinfos.	Auswertung und Dokumentation

**Bild 2.2.2.1-6**

**Bild 2.2.2.1-6:** Mit einer Analyse potenzieller Probleme (Bild 2.2.1-2) lassen sich Schwachstellen im Vorgehen bei Abhilfen bzw. Maßnahmen erkennen. Aus diesem Grund ist eine solche Analyse rechtzeitig durchzuführen. Damit besteht die Chance, Abweichungen von der Planung zu vermeiden und so die Erfolgssicherheit in der vorgesehenen Zeit zu erhöhen. Nicht zuletzt kann eine solche Analyse neue Einsichten und damit zusätzliche Chancen ermöglichen.

Auch die **Entscheidungsanalyse** (Bild 2.2.2.1-5) enthält eine Risikoabschätzung. Hier finden wir die relevanten Merkmale der einzelnen Alternativen in der Spalte „**Kritische Reali-**

**sierungsschritte**“ verschiedenen Alternativen für die Abhilfe bzw. Maßnahmen bewertet.