



SGZP
FH Aargau, Brugg-Windisch
10. November 2005

Der Wert von zerstörungsfreier Prüfung

Daniel Straub

*Institut für Baustatik und Konstruktion
ETH Zürich*

Matrisk GmbH



Übersicht

- Einführung in die Entscheidungstheorie
- Was inspizieren wir?
- Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion
- Effekt einer Inspektion
- Optimieren des Prüfungsaufwandes
- Anwendungsbeispiel
- Ausblick auf zukünftige Entwicklungen



Der Wert von Informationen – Zahnarzt

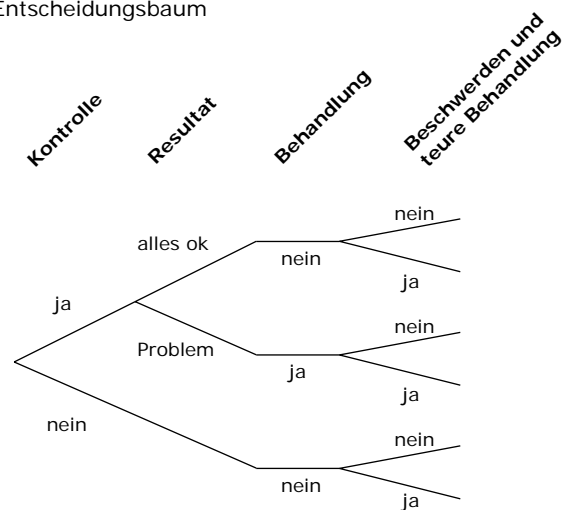
- Soll ich zur Kontrolle beim Zahnarzt gehen?



ETH

Der Wert der Kontrolle beim Zahnarzt

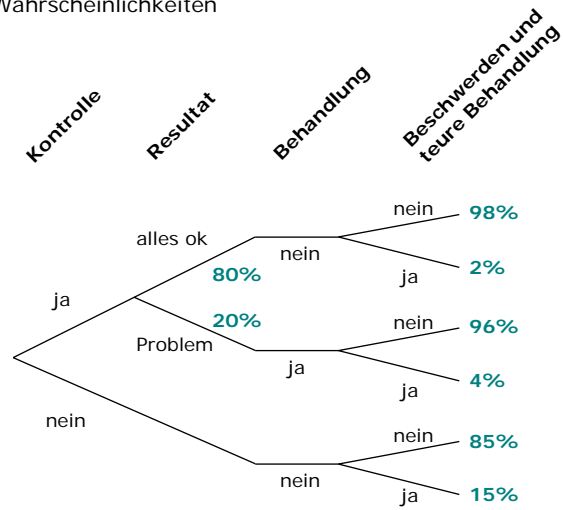
- Entscheidungsbaum



ETH

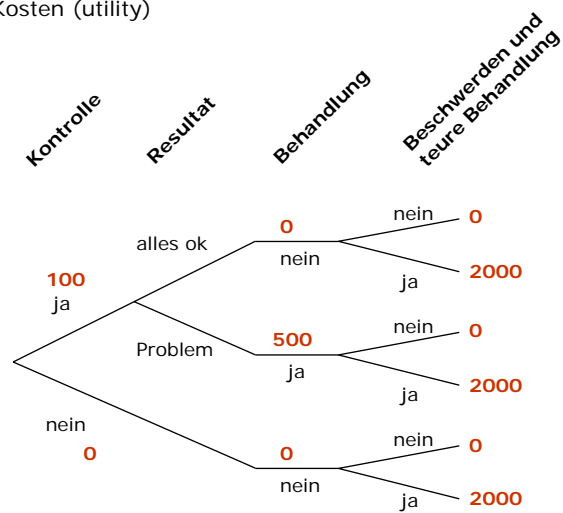
Der Wert der Kontrolle beim Zahnarzt

- Wahrscheinlichkeiten



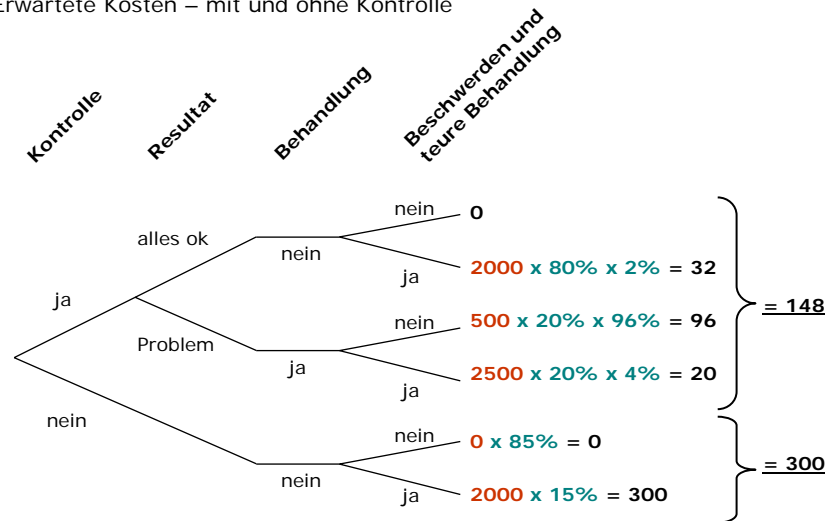
Der Wert der Kontrolle beim Zahnarzt

- Kosten (utility)



Der Wert der Kontrolle beim Zahnarzt

- Erwartete Kosten – mit und ohne Kontrolle



Der Wert der Kontrolle beim Zahnarzt

- Erwartete Kosten:
 - mit Kontrolle: 148.- (ohne Kosten der Kontrolle)
 - ohne Kontrolle: 300.-
- Wert der Kontrolle: **152.-** (value of information)
- Weil die Kontrolle 100.- kostet, lohnt sich die Kontrolle zu diesem Zeitpunkt

aber:

- Die Wahrscheinlichkeiten ändern sich mit der Zeit. Die Kontrolle lohnt sich erst ab einem bestimmten Zeitpunkt.
- Der Entscheidungsbaum muss die zeitliche Entwicklung berücksichtigen.
- Auf diese Weise können die optimalen Zeitpunkte (resp. Intervalle) für Kontrollen bestimmt werden.

Übersicht

- Einführung in die Entscheidungstheorie
- **Was inspizieren wir?**
- Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion
- Effekt einer Inspektion
- Optimieren des Prüfungsaufwandes
- Anwendungsbeispiel
- Ausblick auf zukünftige Entwicklungen



Was inspizieren wir?

- Um den Wert einer Prüfung / Inspektion zu bestimmen, müssen wir wissen, wonach wir suchen.
- Wir brauchen ein Modell zur Beschreibung der Schäden oder Imperfektionen.



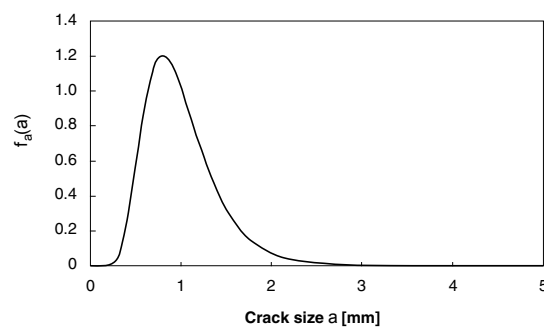
Schädigungsprozesse



ETH

Was inspizieren wir?

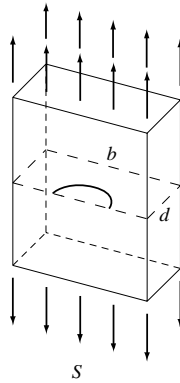
- Um den Wert einer Prüfung / Inspektion zu bestimmen, müssen wir wissen, wonach wir suchen.
- Wir brauchen ein Modell zur Beschreibung der Schäden oder Imperfektionen.
- Dieses Modell MUSS probabilistisch sein (der Zustand ist unsicher).
- Ein Beispiel:



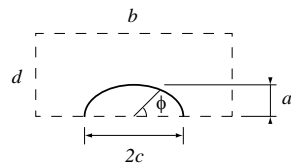
ETH

Zeitabhängige Schädigung

- Beispiel Ermüdung:



Sintef, Norway



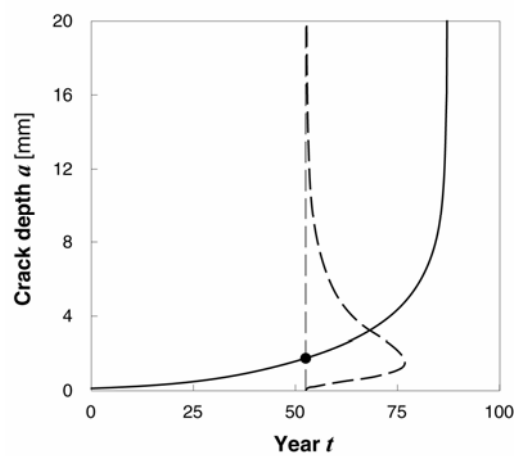
$$\frac{da}{dN} = C_{P,a} (\Delta K_a(a,c))^{m_{P,a}}$$

$$\frac{dc}{dN} = C_{P,c} (\Delta K_c(a,c))^{m_{P,c}}$$

ETH

Zeitabhängige Schädigung

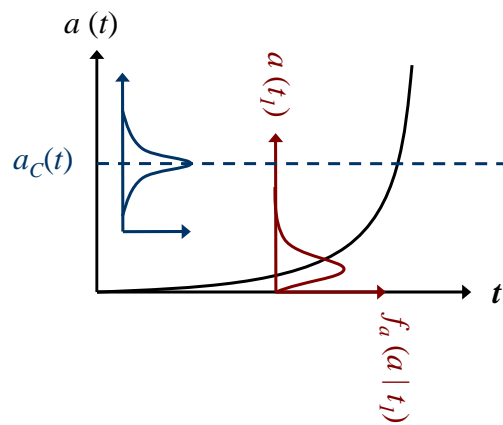
- Die zeitabhängige Schädigung kann probabilistisch beschrieben werden (mit unsicheren Parametern)



ETH

Versagenswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit

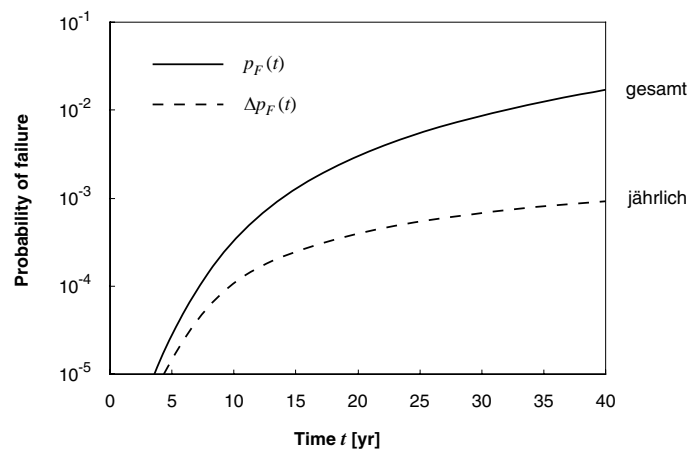
- Was ist Versagen?
- Definition durch Grenzzustandsgleichungen $g(\mathbf{X}, t) = a_c - a(\mathbf{X}, t)$



ETH

Versagenswahrscheinlichkeit als Funktion der Zeit

- Jährliche und gesamte Versagenswahrscheinlichkeit:



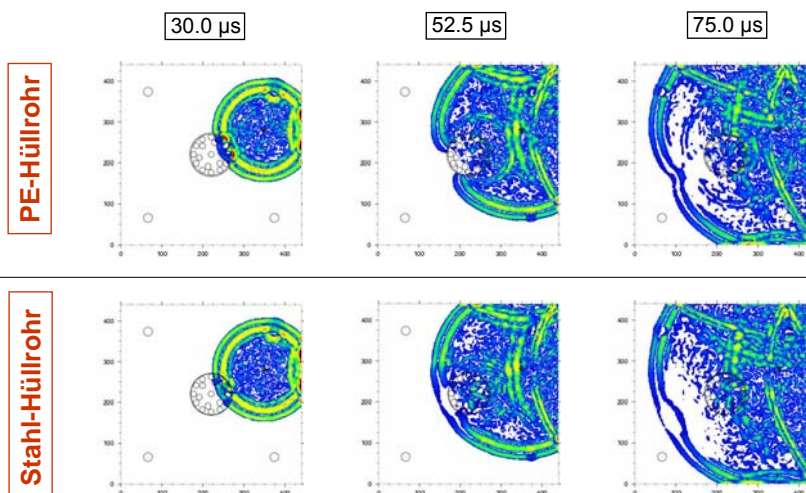
ETH

Übersicht

- Einführung in die Entscheidungstheorie
- Was inspizieren wir?
- **Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion**
- Effekt einer Inspektion
- Optimieren des Prüfungsaufwandes
- Anwendungsbeispiel
- Ausblick auf zukünftige Entwicklungen



Modellieren von Prüfverfahren



Schallausbreitung im Stahlbeton (B. Schechinger, IBK)



Prüfverfahren

- Unzählige Prüfverfahren existieren
- Resultate sind ganz unterschiedlich
- In der Regel vom Menschen interpretiert

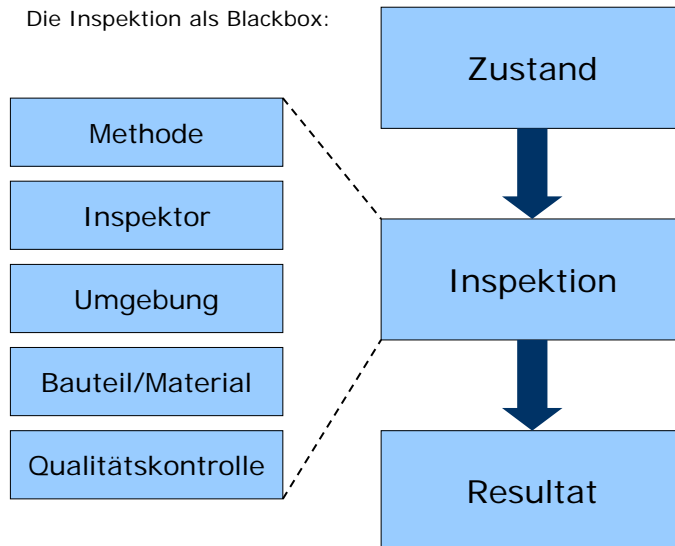


Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion

- Wir sind nicht interessiert an der physikalischen Modellierung der Prüfung
- Entscheidend ist der Zusammenhang zwischen dem Zustand des Bauteils und dem Resultat
- Zustand ist:
 - Gibt es einen (oder mehrere) Defekte
 - Geometrie des Defekts
- Resultate können sein:
 - Ein Defekt wird angezeigt (Indikation) oder nicht
 - Ein Bauteil wird akzeptiert oder nicht
 - Eine geometrische Grösse wird gemessen, z. B. Wanddicke oder Defektgrösse

Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion

- Die Inspektion als Blackbox:



ETH

Probabilistische Modellierung der Inspektions-Qualität

- Für Risse: Probability of Detection (*PoD*)
- PoD* is die Wahrscheinlichkeit einen Riss einer bestimmten Tiefe (und/oder Länge) zu entdecken

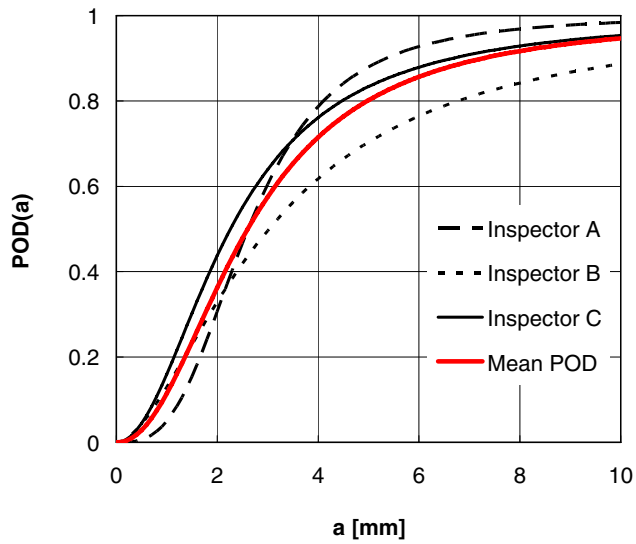
$$PoD(a) = P(D|a)$$

↑ ↑
Rissgrösse Entdeckung

- Zusammenhang zwischen Zustand (Riss) und Resultat (Entdeckung / Indikation)
- PoD* ist abhängig vom Threshold (und/oder Inspektor).

ETH

Probability of detection



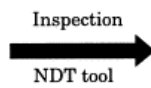
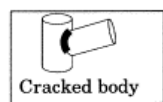
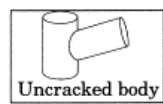
Falsche & richtige Prüfergebnisse

- Mögliche Kombinationen von Zustand und Resultaten:

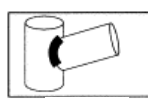
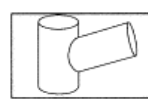
Zustand des Bauteils

Inspektionsresultate

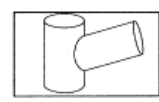
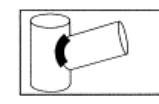
Area to be inspected



Good detections



Bad detections



Entwicklung von Inspektions-Qualitäts-Modellen

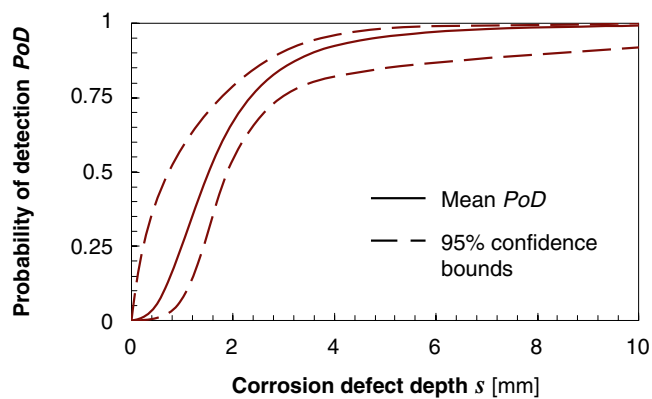
- Beispiel RACH/CRIS (Corrosion Reliability Inspection Scheduling) Joint Industrial Project mit UCL & TWI (UK)
- Ziel: Entwicklung von Inspektionsqualitätsmodellen für Inspektionen von Rohren mit Korrosionsschäden.
- Beispiel A-Scan (Ultraschall)



ETH

PoD: A-Scan:

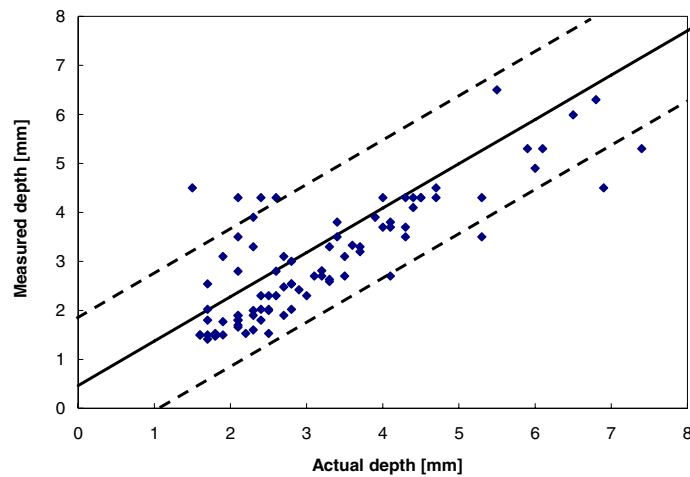
- Wahrscheinlichkeit, den tiefsten Defekt zu identifizieren:



ETH

Messungenauigkeit: A-Scan

- Lineares Regressions-Modell: $s = C + D \cdot s_M - \varepsilon_M$



Übersicht

- Einführung in die Entscheidungstheorie
- Was inspizieren wir?
- Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion
- Effekt einer Inspektion**
- Optimieren des Prüfungsaufwandes
- Anwendungsbeispiel
- Ausblick auf zukünftige Entwicklungen

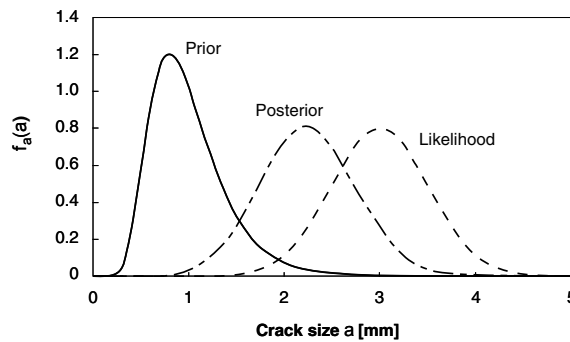
Effekt einer Prüfung/Inspektion

- Inspektionsresultate beeinflussen unser Modell des Zustandes
- Dies kann mit Hilfe des Satzes von Bayes berücksichtigt werden.

$$f_x''(x|z) = \frac{L(x|z) \cdot f_x'(x)}{\int_{\Omega_x} L(x|z) \cdot f_x'(x) \cdot dx}$$

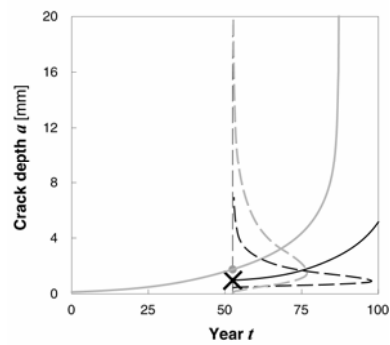
↑ Posteriori Modell
 ↑ Inspektions Modell
 ↑ Apriori Modell

- Beispiel:



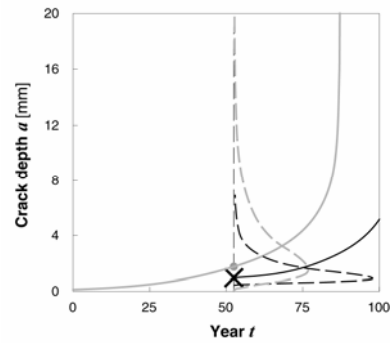
Einfluss der Inspektion auf das Schädigungsmodell

- Bei einer Prüfung wird kein Defekt gefunden:

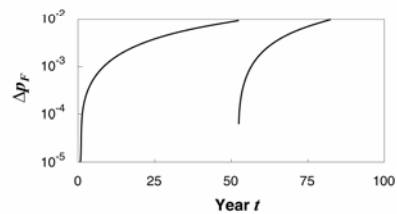


Einfluss der Inspektion auf das Schädigungsmodell

- Bei einer Prüfung wird kein Defekt gefunden:



- Aktualisieren der Versagenswahrscheinlichkeit:
- Berechnungen durchgeführt mit Hilfe von SRA (Strukturelle Zuverlässigkeitstheorie) oder Simulationsmethoden

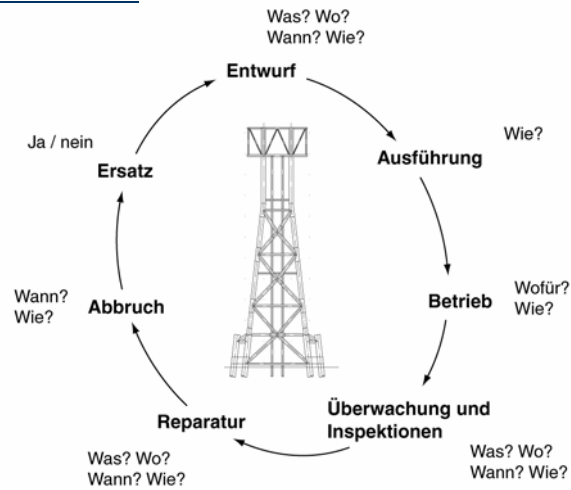


Übersicht

- Einführung in die Entscheidungstheorie
- Was inspizieren wir?
- Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion
- Effekt einer Inspektion
- **Optimieren des Prüfungsaufwandes**
- Anwendungsbeispiel
- Ausblick auf zukünftige Entwicklungen

Lebenszyklus eines Bauwerks

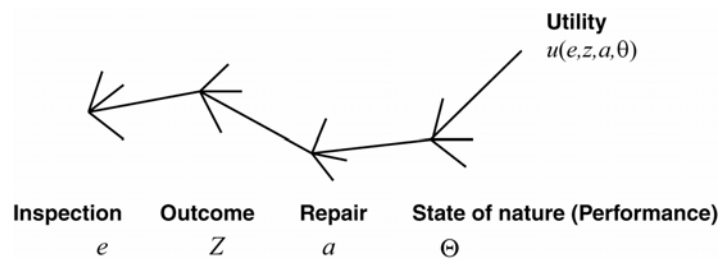
Entscheidungen müssen getroffen werden



ETH

Der Wert von Inspektionen

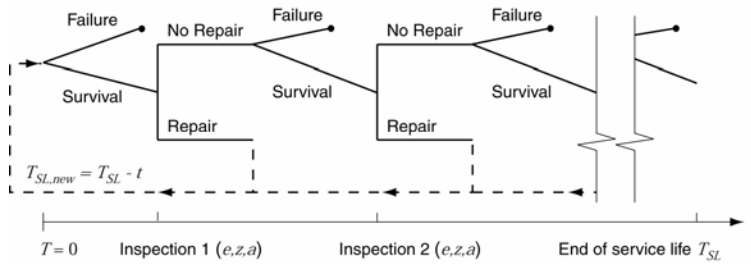
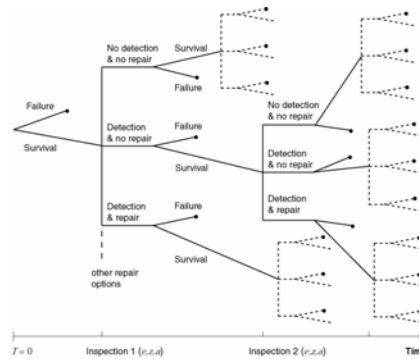
- Inspektionen liefern Informationen über den Zustand des Bauwerks
- Diese Informationen haben einen Wert, da sie die zielgerichtete Anwendung von Massnahmen zur Risiko-Reduktion erlauben.
- Der Wert dieser Information kann berechnet werden, mit Hilfe der Entscheidungsanalyse.



ETH

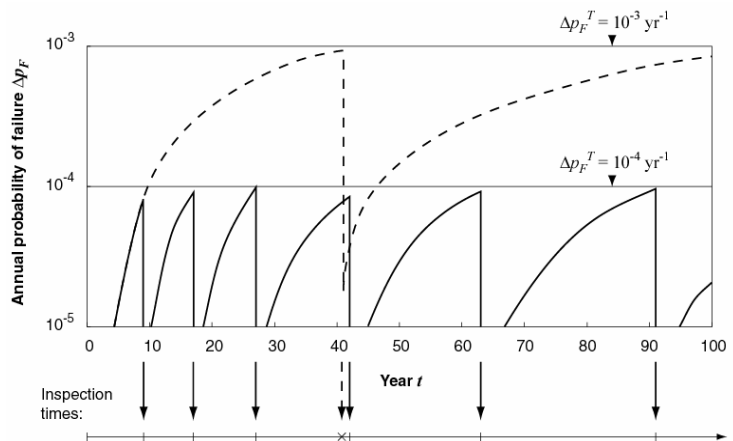
Entscheidungsbaum

- Vollständiger Entscheidungsbaum wird vereinfacht:



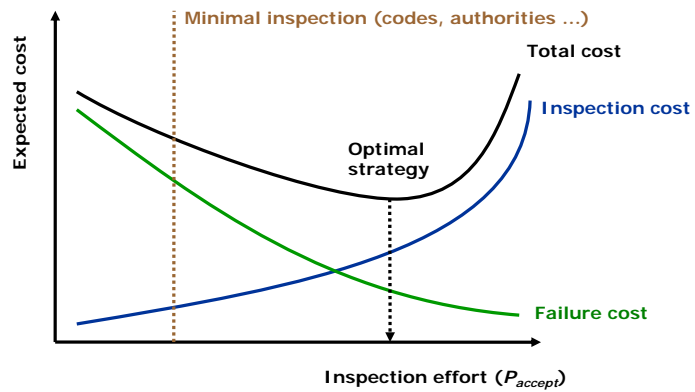
Planen von Inspektionen

- Notwendige Inspektionen um ein bestimmtes Sicherheits-Niveau nicht zu unterschreiten:



Optimieren des Inspektionsaufwandes

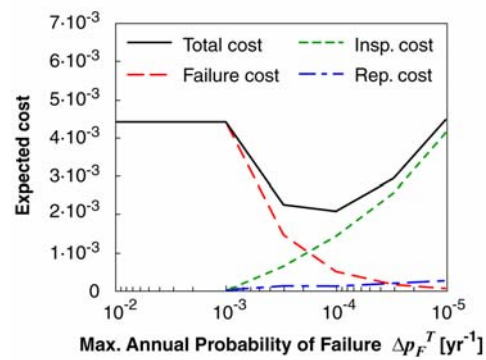
- Das Ziel ist, den Inspektionsaufwand zu optimieren.



ETH

Optimierung der Lebenszykluskosten

- Berechnen der Kosten für verschiedene maximale Versagens-Wahrscheinlichkeiten



- Akzeptanz-Kriterien müssen immer erfüllt sein

ETH

Übersicht

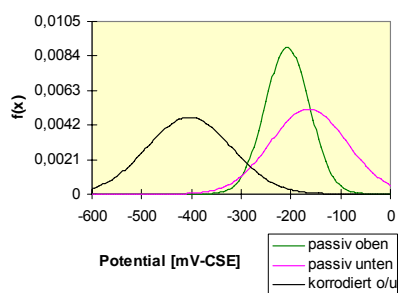
- Einführung in die Entscheidungstheorie
- Was inspizieren wir?
- Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion
- Effekt einer Inspektion
- Optimieren des Prüfungsaufwandes
- **Anwendungsbeispiel**
- Ausblick auf zukünftige Entwicklungen



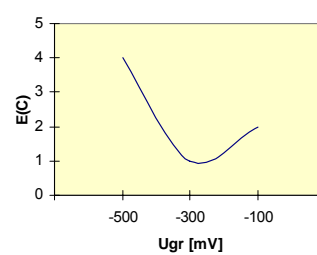
Anwendung - Optimieren des Thresholds

- Optimierung des Grenzpentials für Potentialfeldmessungen (Lentz, 2002)
- Kosten ergeben sich aufgrund der Massnahmen (falsch oder richtig)

Potential für gegebenen Zustand:



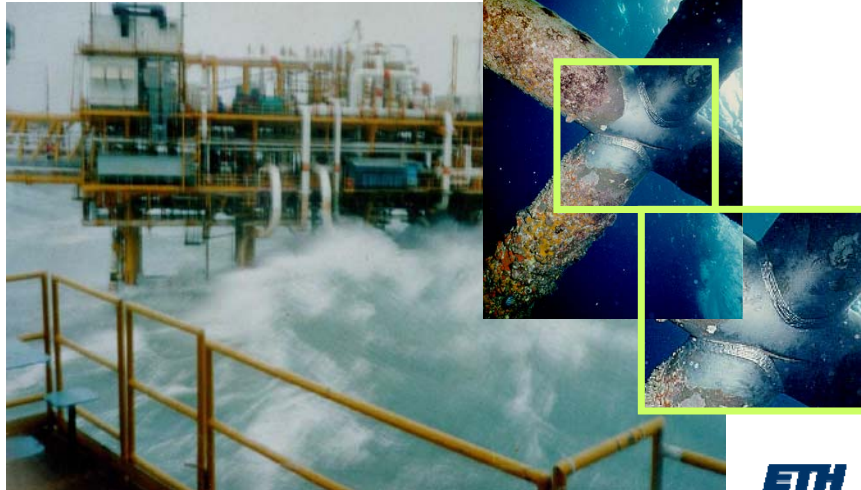
Optimales Grenzpental:



(Daten sind gültig für Platten und Bögen)



Anwendung – Ermüdung bei Installationen im Golf von Mexiko



ETH

Die Bauwerke



ETH

Beobachtungen aus vorherigen Inspektionen

- Da es sich um bestehende Bauwerke handelt, muss zuerst der Zustand der Struktur aufgenommen werden
- Bsp. Schaden wegen Sturz eines Objektes



ETH

Bauwerksmodell

- Hot spots:

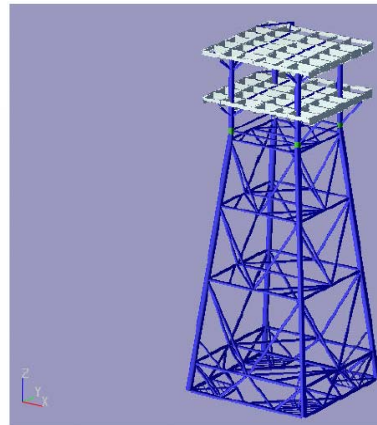
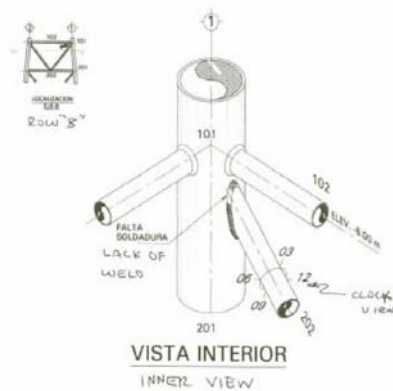
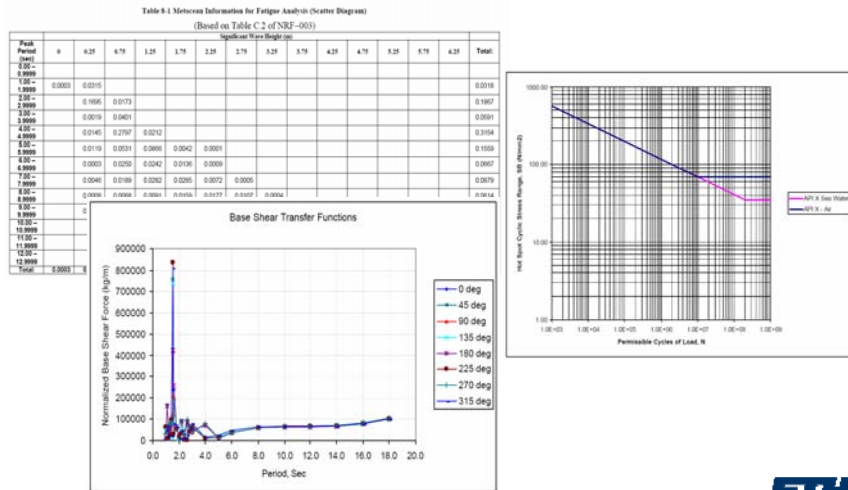


Figure 4-7 Temporal Production Platform Model – 3D View

ETH

Ermüdungsberechnungen

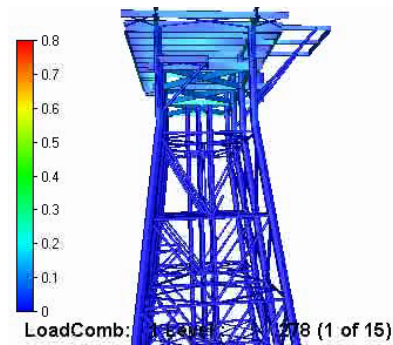
- Standard-Ermüdungsberechnungen werden durchgeführt



ETH

Redundanz

- Pushover-Analyse der Struktur



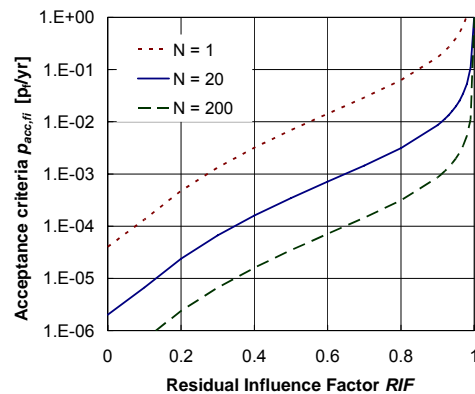
- Pushover-Analysen werden durchgeführt für die intakte Struktur und für die beschädigte Struktur
- Redundanz wird ermittelt als Funktion des Verhältnisses $\frac{\text{Widerstand der beschädigten Struktur}}{\text{Widerstand der intakten Struktur}}$

ETH

Akzeptanz-Kriterien als Funktion der Redundanz

- Redundanz wird ermittelt als Funktion des Verhältnisses

$$\frac{\text{Widerstand der beschädigten Struktur}}{\text{Widerstand der intakten Struktur}}$$



Inspektionsplanung

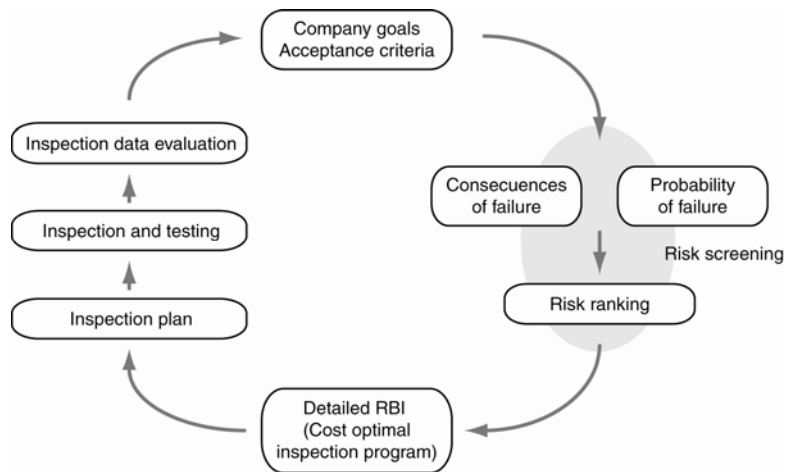
- Berechnung der Inspektionspläne mittels Software iPlan
- Parameter:
 - berechnetes Ermüdungsleben
 - Geometrie des Bauteils
 - Lage des Bauteils (über Wasser/unter Wasser)
 - Art der Spannungen (Normal/Biegung)
 - Inspektionsmethode
 - Redundanz des Bauwerks bezüglich Versagen des Bauteils (RIF)



Inspektionsplanung mit iPlan

The screenshot displays the iPlan software interface. At the top, there is a menu with options: 'iPlan', 'Evaluate Inspection Plans', 'iPlan options', 'Export inspection times', 'Computed ranges', and 'About...'. Below the menu is the 'iPlan PHD' input sheet, which includes fields for 'Project name' (Test Jacket), 'Date' (2004-01-24), 'Platform installation year', and 'Service life (Yrs)'. A table below the input sheet lists 10 cases with columns for 'Index', 'SN Curve', 'BS', 'CDV BS', 'S_AS', 'v', 'Thickness', 'Cdb', 'Inspection Model', 'Fatigue', 'Inspection model', 'Threshold', 'R/F', 'Comments', 'Inspection Repair', 'Failure', and 'Interest'. The table contains numerical data for each case. To the right of the table is a 'Cost Model' section. Below the input sheet is a 'Risk Ranking' chart showing 'Expected Total Cost' on the y-axis and 'Threshold (yrs)' on the x-axis. The chart displays several curves representing different cases. Below the chart is a table with columns for 'Index' and 'Comments', showing a grid of inspection plans for 10 cases across various time intervals.

Einbettung der Methodik in eine gesamtheitliche Strategie



Übersicht

- Einführung in die Entscheidungstheorie
- Was inspizieren wir?
- Modellierung der Qualität einer Prüfung / Inspektion
- Effekt einer Inspektion
- Optimieren des Prüfungsaufwandes
- Anwendungsbeispiel
- **Ausblick auf zukünftige Entwicklungen**



Ausblick

- Weiter zu entwickeln:
 - Erfassung von Systemeffekten (räumlich verteilte Systeme)
 - Kombination von Inspektionen und Monitoring
 - Schädigungsmodelle
 - Inspektionsmodelle
- Vermehrt industrielle Anwendungen sind zu erwarten:
 - Grössere und ältere Anlagen
 - Ansatz erlaubt das systematische Lernen aus Erfahrung
 - Methoden werden laufend verbessert und schneller



Danke für die Aufmerksamkeit...

