



U N I K A S S E L  
V E R S I T Ä T

WIRTSCHAFTS UNIVERSITÄT  
WIEN



## Tragwerk-FMEA

Wie geht nichts Wichtiges beim Prüfen und Planen verloren?

---

Interdisziplinäres Forschungsprojekt mit 67 MM über 21 Monate

Frage: Wie können Prüfsingenieure/Planer sinnvoll unterstützt werden?

Ergebnis:

- 1) Risikobezogene Prüfmethodik für Bauwerke nach DIN EN 60812
- 2) Einfache und nachvollziehbare Computerunterstützung

# Informationsflut



Immer mehr Änderungen



Immer mehr Berechnungen

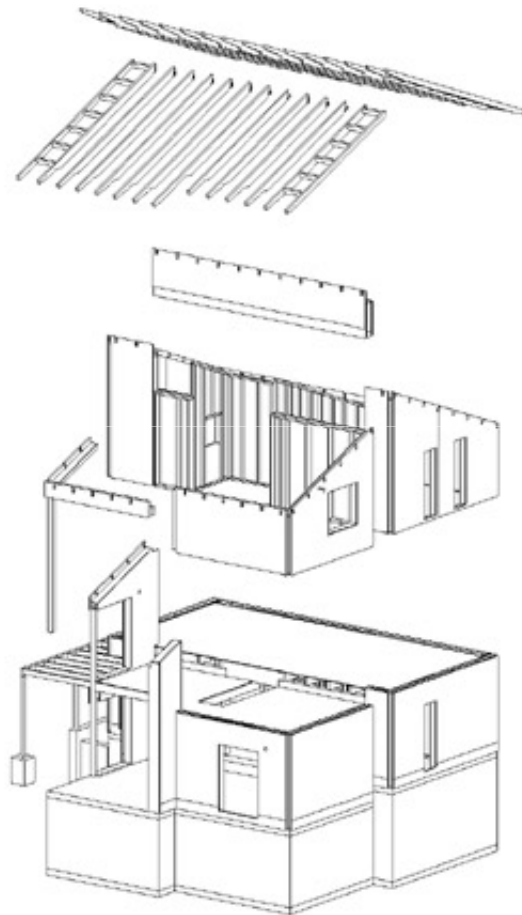


**Habe ich alle  
wesentlichen Dinge  
berücksichtigt?**



Immer mehr Papier

## Tragwerk-FMEA = Auswirkungenanalyse

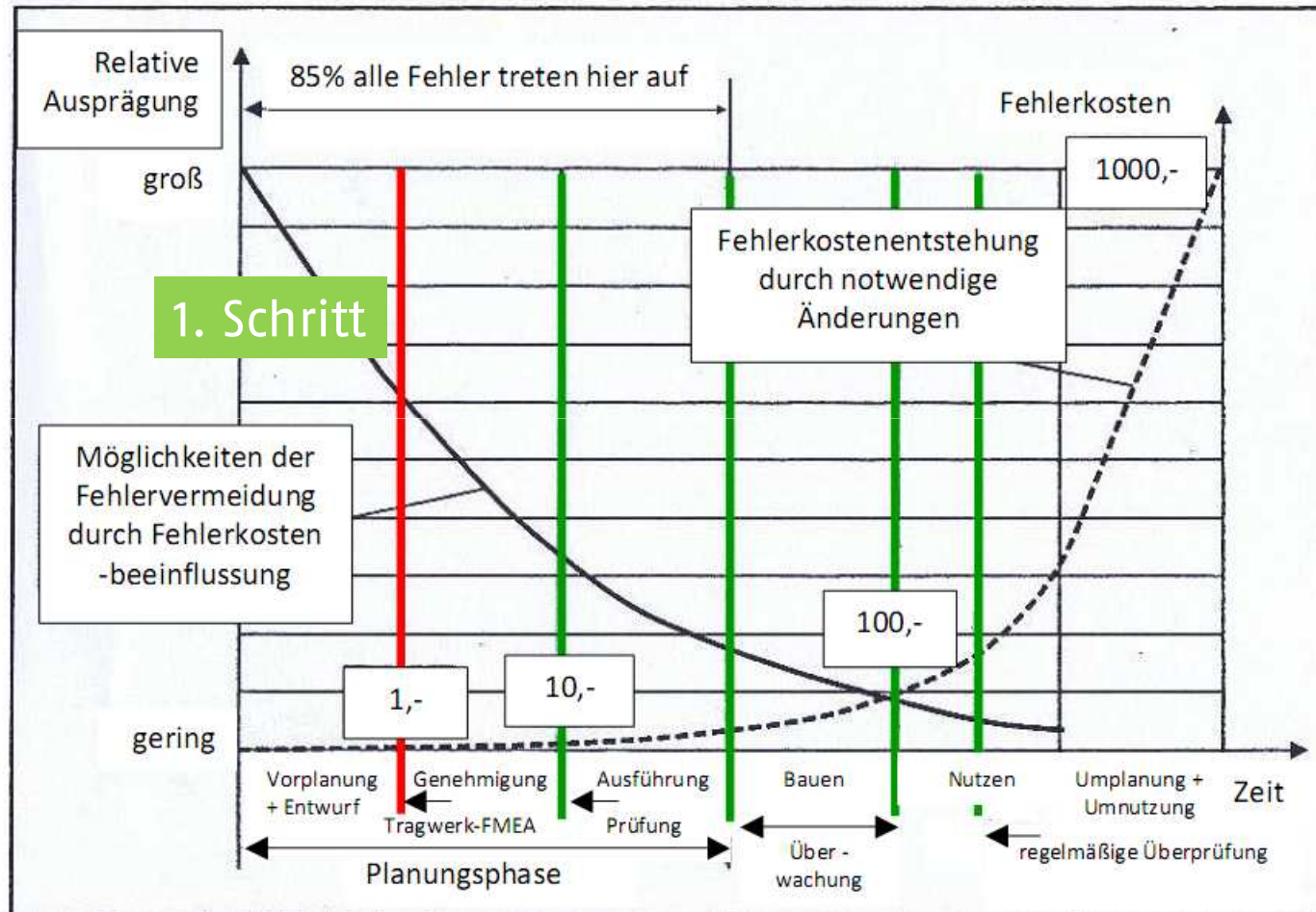


Was bedeutet Tragwerk-FMEA konkret?

- 1) Umfang und Tiefe der Prüfung in Abhängigkeit des Risikos festlegen
- 2) Wirkzusammenhänge (Lastabtrag) ermitteln
- 3) Abschätzen von Fehlern in Teamsitzung
- 4) Festlegen von Maßnahmen zur Fehlervermeidung

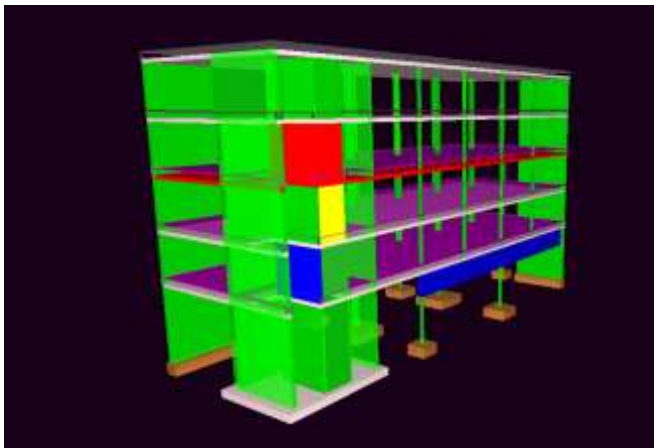
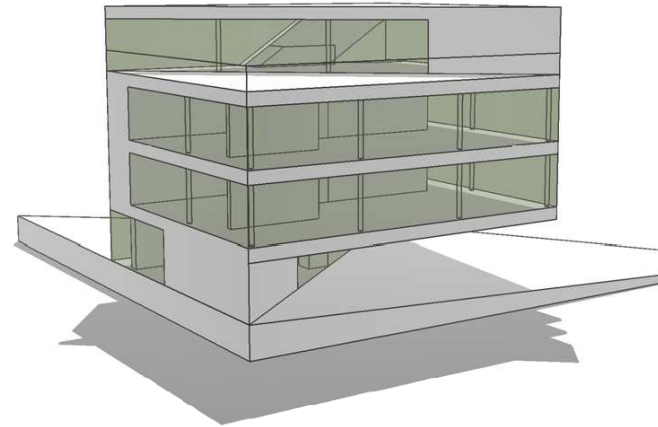
Ziel ist Fehler und Kosten zu reduzieren  
und das aufwandsoptimal!

# Wann setzt Tragwerk-FMEA ein?

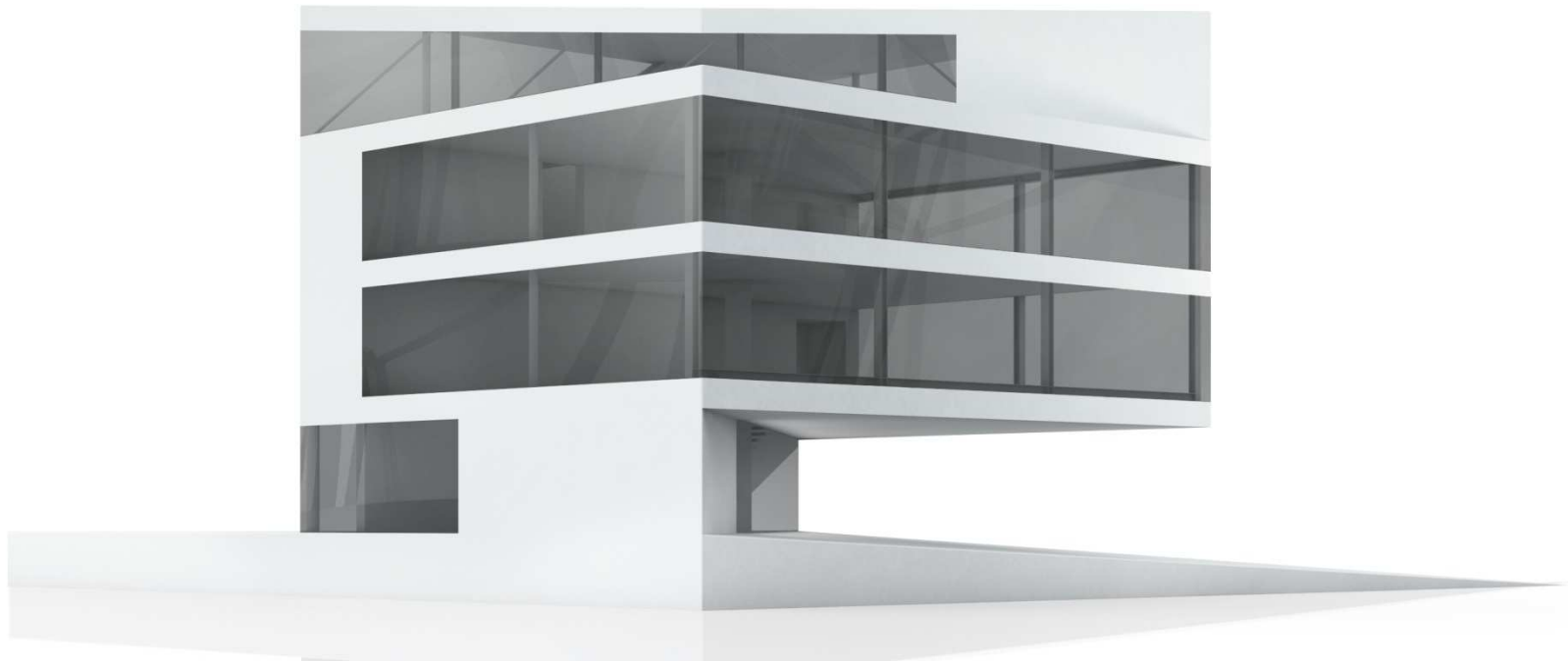


# EISFELDINGENIEURE

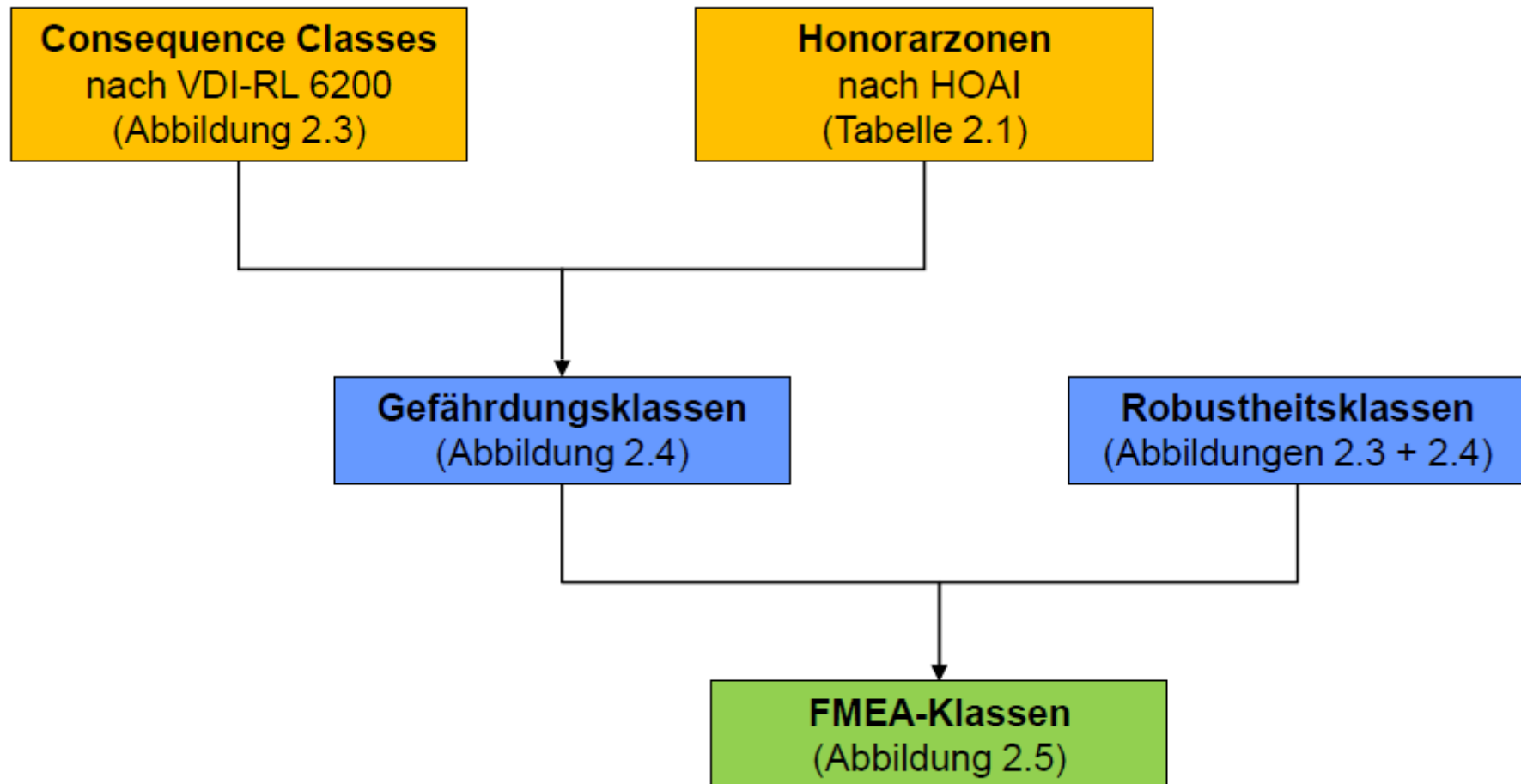
## FMEA-Fallstudien



## Beispiel Bürohaus X



# 1) Umfang/Tiefe der FMEA festlegen



## Globales Risiko

Schadens- folgeklasse	Merkmale	Gebäudetypen und exponierte Bauteile	Beispielhafte Bauwerke
CC 3 Kategorie 1 gemäß [1]	hohe Folgen (Schäden an Leben und Gesundheit für sehr viele Men- schen, große Um- weltschäden)	insbesondere: Versammlungsstätten für mehr als 5000 Personen	Stadien, Kongresshallen, Mehrzweckarenen
CC 2 Kategorie 2 gemäß [1]	mittlere Folgen (Schäden an Leben und Gesundheit für viele Menschen, spürbare Umwelt- schäden)	bauliche Anlagen mit über 60 m Höhe Gebäude und Gebäudeteile mit Stützweiten größer 12 m und/oder Auskragungen größer 6 m sowie großflächige Überda- chungen exponierte Bauteile von Gebäu- den, soweit sie ein besonderes Gefährdungspotenzial beinhalten	Hochhäuser, Fernsehtürme Bürogebäude, Industrie- und Gewerbe- bauten, Kraftwerke, Produktionsstätten, Bahnhofs- und Flughafengebäude, Hallenbäder, Einkaufsmärkte, Museen, Krankenhäuser, Kinos, Theater, Schulen, Diskotheken, Sporthallen aller Art, z. B. für Eislauf, Reiten, Tennis, Radfahren, Leichtathletik große Vordächer, angehängte Balkone, vorgehängte Fassaden, Kuppeln
CC 1	geringe Folgen (Sach- und Vermö- gensschäden, geringe Umwelt- schäden, Risiken für einzelne Menschen)	robuste und erfahrungsgemäß unkritische Bauwerke mit Stütz- weiten kleiner 6 m Gebäude mit nur vorübergehen- dem Aufenthalt einzelner Men- schen	Ein- und Mehrfamilienhäuser landwirtschaftlich genutzte Gebäude

[e.V08] E.V., VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Herausgeber): *Entwurf der VDI-Richtlinie 6200: Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung*. VDI-Gesellschaft Bautechnik, 2008.

Merkmale	Aussage	trifft zu:					$RZ_i$
		gar nicht	wenig	mittel	viel	absolut	
Redundanz Tragwerk	Alternative Lastpfade sind vorhanden	<u>-4</u>	-2	0	+2	+4	
	Es liegt ein statisch unbestimmtes Tragwerk vor	-2	<u>-1</u>	0	+1	+2	
	lokale Schwächen haben keine großen Auswirkungen	<u>-4</u>	-2	0	+2	+4	
Redundanz Verbindungen	Die Verbindungen tragen auch wenn einzelne Verbindungsmittel ausfallen	-4	<u>-2</u>	0	+2	+4	
	Die Verbindungen können auch Lasten aufnehmen, die durch das Anspringen alternativer Lastpfade hervorgerufen werden	-4	<u>-2</u>	0	+2	+4	
Baustoff/- verhalten	Die Bauteile haben eine ausreichende Duktilität, so dass ein Versagen ohne Vorankündigung ausgeschlossen werden kann	-8	-4	0	<u>+4</u>	+8	
Sicherheit der Bauteile	Es sind keine Bauteile vorhanden, bei denen mit einer erhöhten Ausfallgefährdung zu rechnen ist	-8	-4	0	<u>+4</u>	+8	
Wartungs- freundlichkeit	Wartungsrelevante Bauteile und Anschlüsse sind gut zugänglich und gut überwachbar	-6	-3	0	<u>+3</u>	+6	
Robustheitszahl $RZ = \sum RZ_i$							-2

Tabelle 2.4: Vorschlag eines Bewertungsverfahrens zur Ermittlung der Robustheit von Tragwerken

# 1) Umfang/Tiefe der FMEA festlegen

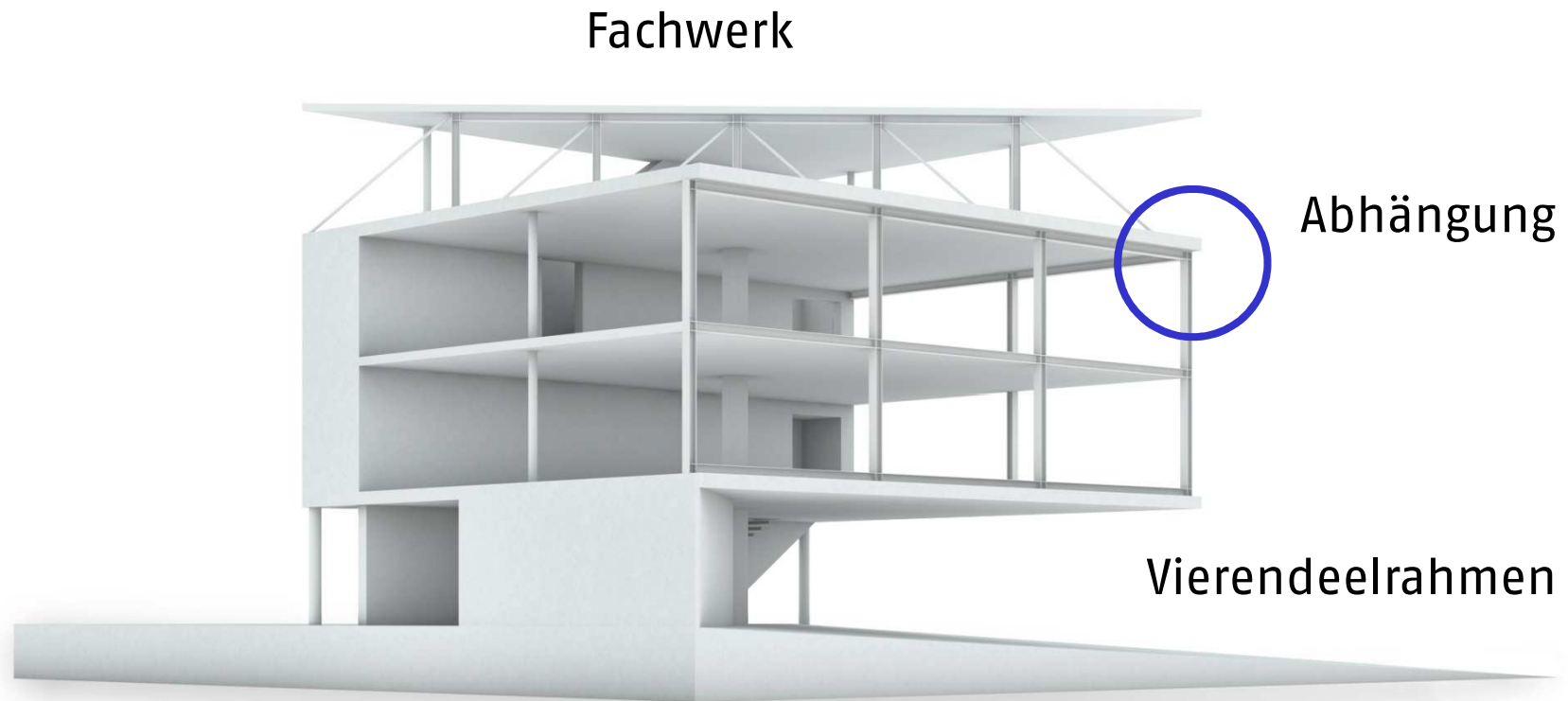
		Honorarzonen nch HOAI		
		HZ I/II	HZ III	HZ IV/V
Consequence Classes	CC 1	1	1	2
	CC 2	1	2	3
	CC 3	2	3	3

		Robustheitsklasse		
		RK 3	RK 2	RK 1
Gefährdungsklasse	GK 1	1	2	3r
	GK 2	2	2	3r
	GK 3	3g	3g	4

Robustheitsklasse	Robustheitszahl
1	< -10
2	-10 bis +10
3	> +10

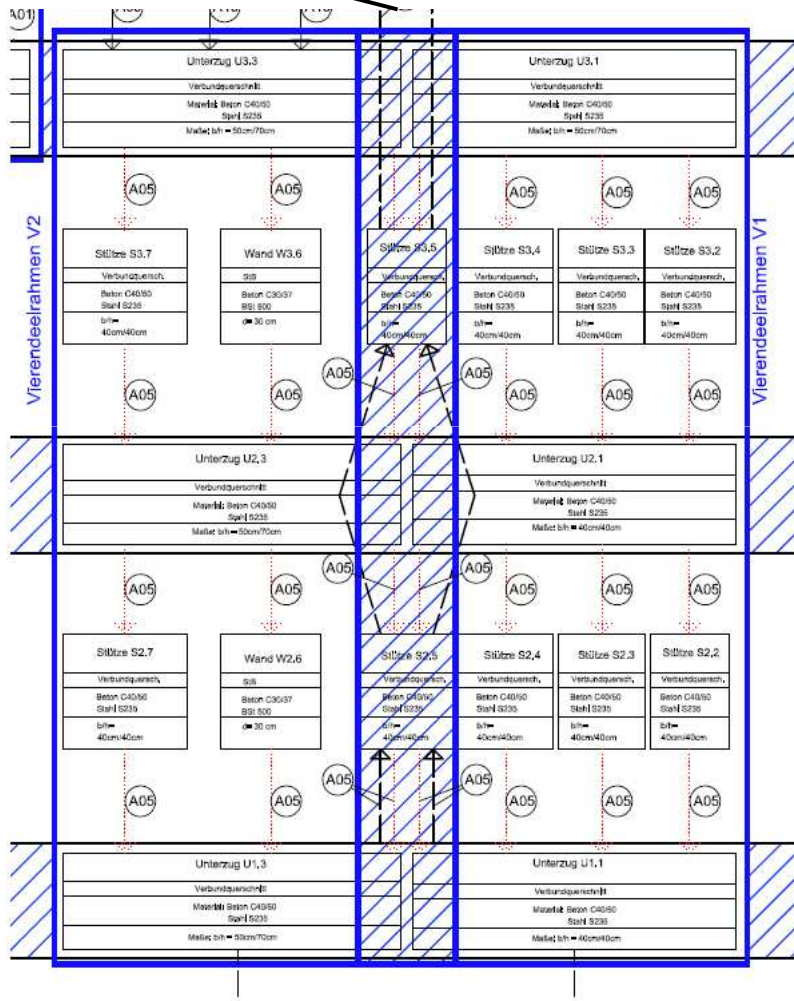
FMEA-Klasse	Genauigkeit/Tiefe der Betrachtung	Anzahl zu erfassender Elemente
1	–	–
2	gering	gering
3g	hoch	gering
3r	gering	hoch
4	hoch	hoch

## 2) Lastabtrag ermitteln



Fachwerk

Abhängung



Annotierter gerichteter Graph auf Basis der Tragstruktur

Fortpflanzung der Fehler entlang des Lastabtrags

Unterstützung durch Editor oder Programm sinnvoll

## 3) Fehleranalytisesitzung

---

### bürointerner Teilnehmerkreis

---

- Tragwerksplaner, der statischen Entwurf erstellt und Vorbemessung durchgeführt hat
- Verantwortlicher des Projekts (Vorgesetzter des Tragwerksplaners)
- Konstrukteur
- andere bürointern am Projekt Beteiligte

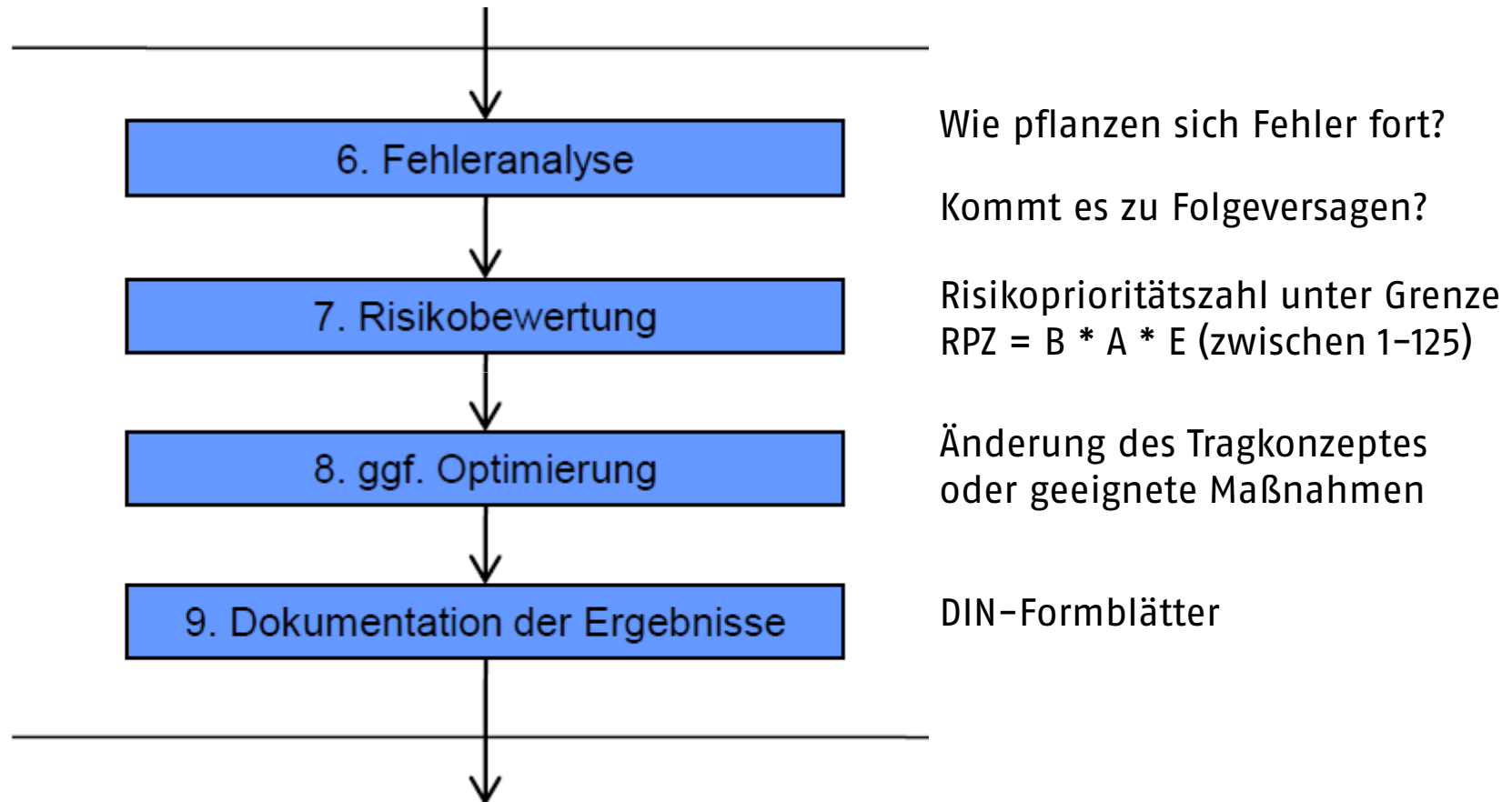
---

### zusätzlich im erweiterten Teilnehmerkreis

---

- Prüfenieur
  - Architekt
  - Bauleiter der ausführenden Firma
  - andere am Projekt Beteiligte (z.B. Bodengutachter)
  - evtl. Bauherr
-

# Sitzungsablauf



# Fehlerliste

Bauteil	Pos.-Nr.	Fehlerart	Fehlernr.
Hauptstütze	S3.1 (S2.1, S1.1)	gibt nach (Verformungen)	01a
		versagt komplett	01b
Gründung / Einzelfundament	F0.2	große Setzung	02
	(S.2.2, S.2.3, S.2.4, S.2.5, S.2.7)	gibt nach (Verformungen)	03a

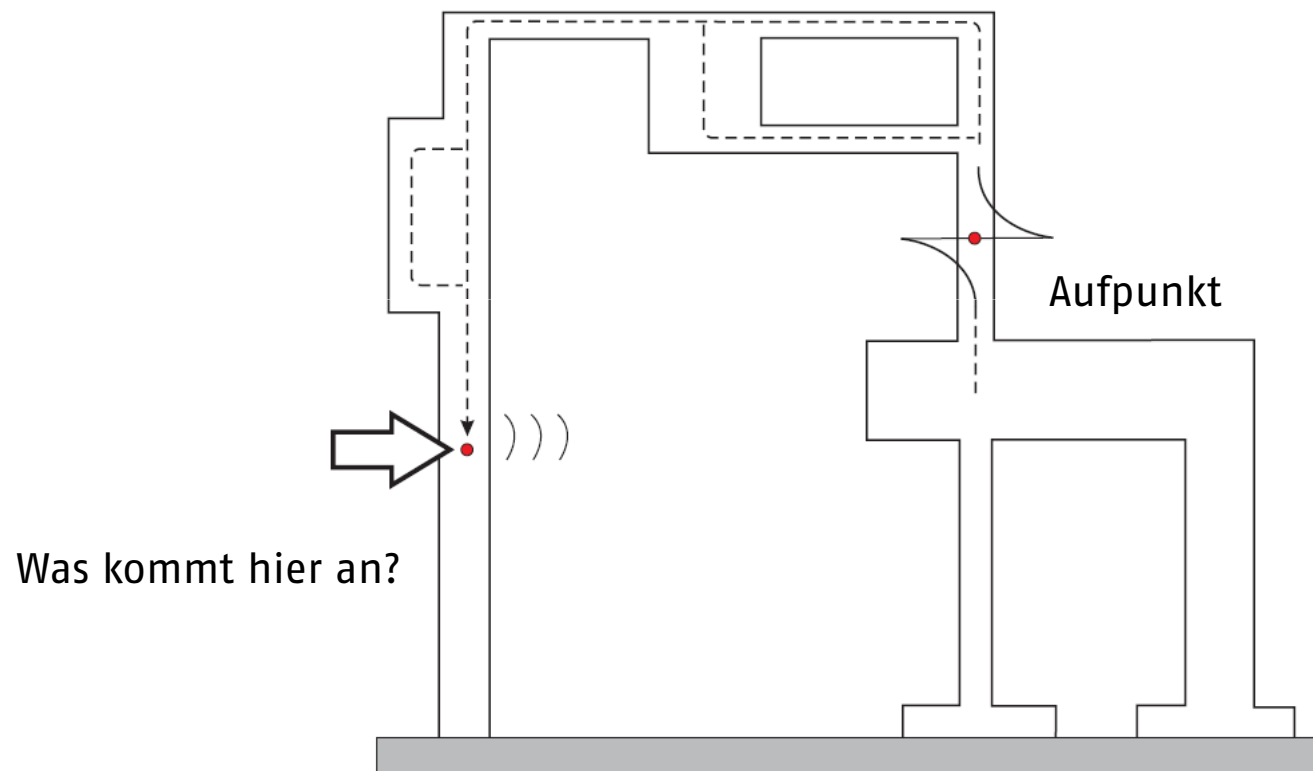
Anschluss Vierendeelrahmen - Fachwerk	(A06)	gibt nach (Verformungen)	09a
		versagt komplett	09b
		nicht ausführbar (zu hohe Lasten)	09c
Anschluss Fachwerk an zugbeanspruchte Wand	(A03)	gibt nach (Verformungen)	10a
		versagt komplett	10b
		nicht ausführbar (zu hohe Lasten)	10c
Anschluss Fachwerk: Gurt- Stütze	(A04)	gibt nach (Verformungen)	11a
		versagt komplett	11b
		nicht ausführbar (zu hohe Lasten)	11c
	(A02)	gibt nach (Verformungen)	12a

### 3) Ergebnis der Sitzung

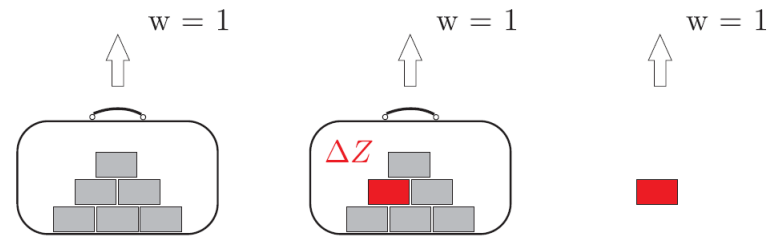
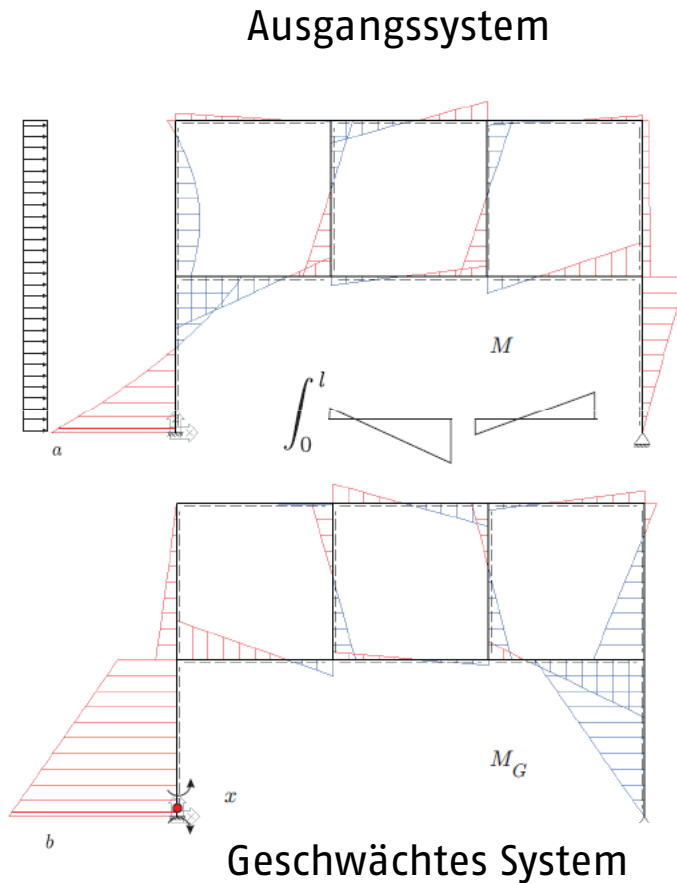
Bauteil / Anschluss		Anschluss des Vierendeelrahmens an das Fachwerk								
Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler (Fehlerart)	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmaßnahmen	E	RPZ	Verantwortlicher / Termin	
Vierendeelrahmen verliert ein Auflager, große Schäden bis hin zu Einsturz des auskragenden Bereichs	5	Anschluss VR-FW versagt komplett	fehlerhafte Lastermittlung	Zertifizierte Programme verwenden	1	Lastannahmen sorgfältig dokumentieren und mit erfahrenem Kollegen durchsprechen	2	10	M. Eisfeld S. Schauenburg  30.06.2009	
				Checkliste mit wichtigen Punkten erstellen						
			fehlerhafte Schnittgrößenermittlung	Zertifizierte Programme verwenden	1	Ergebnisse durch Handrechnung und allgemein auf Plausibilität prüfen	2	10		M. Eisfeld  30.06.2009
				Checkliste mit wichtigen Punkten erstellen						
			fehlerhafte Bemessung	Zertifizierte Programme verwenden	1	Ergebnisse durch Handrechnung oder 2. Programm überschlägig prüfen	2	10		Uwe Wolf  30.06.2009
				Checkliste mit wichtigen Punkten erstellen						
<div style="border: 1px solid black; background-color: #ADD8E6; padding: 5px; display: inline-block;">                     Manuelle Erstellung der Formblätter                      → Automatisierung sinnvoll                 </div>										

Intuitive Bestimmung  
 → Einflussmodell hilfreich

# Fehleranalyse mit Einflussfunktionen



## Die neue Formel

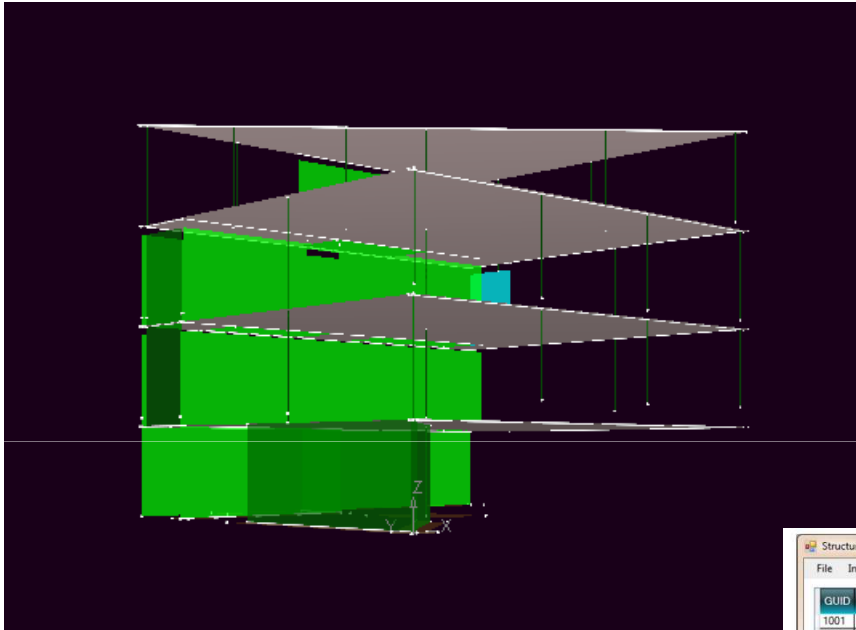


$$\Delta M = \frac{\Delta EI}{EI} \int_0^l \frac{M M_G}{EI} dx$$

Vorteil:

- Fokus auf einen Punkt
- Änderungen am alten System verfolgen

# Computerunterstützung



Viewer für Fehlerfortpflanzung

Editor für Formblätter

Structure FMEA Table Editor

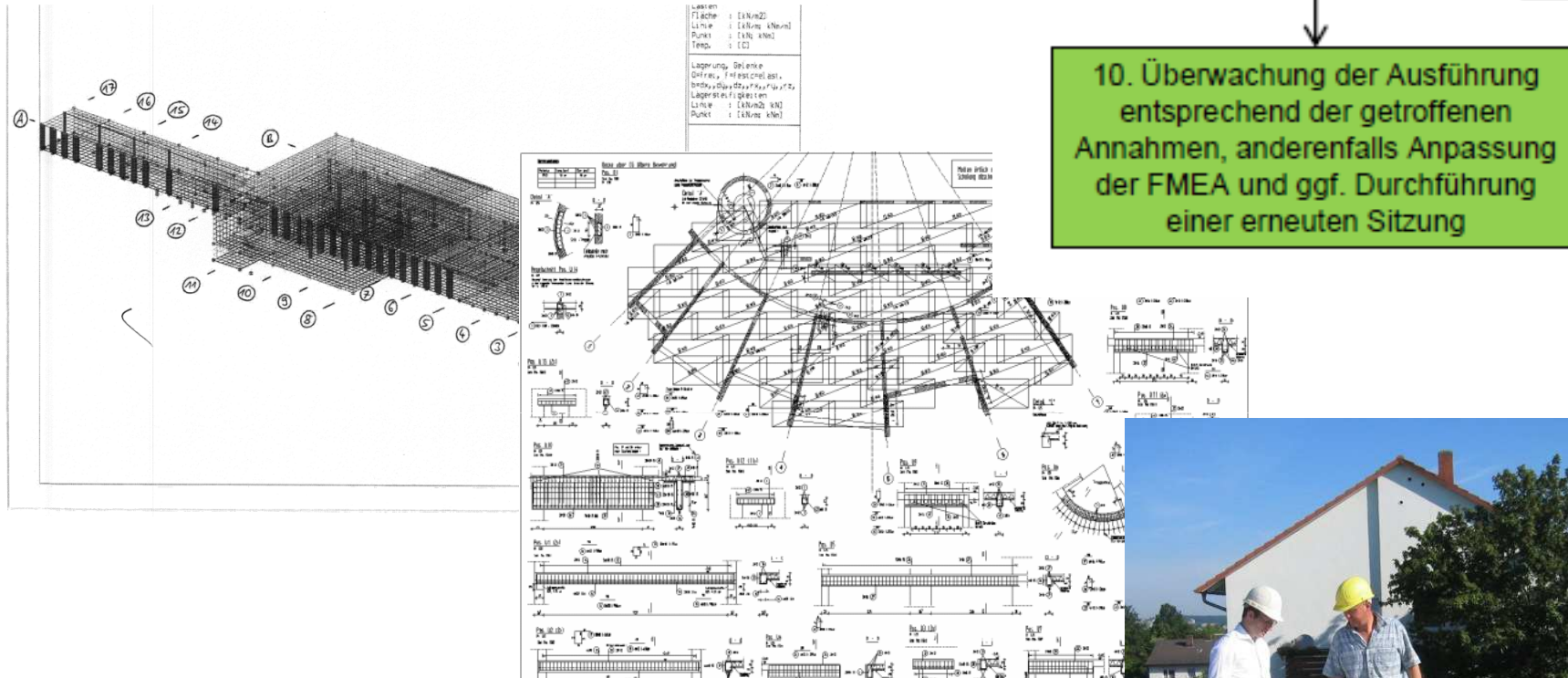
GUID	Name	Function	Fault Type	Possible Cause	A	Remedial Action	Local Effect	System Level Effects	B	Detection Means	E	RPN	Control
1001	Beam01	support	Reduction in stiffness of structural element	Reduced section, mechanical damage	0		Reduced stiffness	Resulted in unstable	0		0	0	
1001	Beam01	support	Overstressing	Loads are more than what the section is	0		Fails due to	Resulted in unstable	0		0	0	
1002	Column04	support	Reduction in stiffness of structural element	Reduced section, mechanical damage	0		Reduced stiffness	Resulted in unstable	0		0	0	

Iteration Level	Element ID	Element Name	Reaction Type	Local Actual Value	Percentage Change	Effect	Resultant Fault	Comment
1	1003	Beam03	SHEAR_Z	102.98	21.1	Carrying capacity of the element is exhausted	Yielding	
1	1004	Column04	SHEAR_Z	106.47	25.3	Carrying capacity of the element is exhausted	Yielding	
1	1006	Column06	SHEAR_Z	114.06	34.2	Structural element collapses	Overstressing	
2	1003	Beam03	SHEAR_Z	130.1	53.1	Structural element collapses	Overstressing	
2	1004	Column04	AXIAL	-358.93	19.6	Structural element collapses	Overstressing	
2	1004	Column04	SHEAR_Z	119.81	41	Structural element collapses	Overstressing	
2	1004	Column04	TORSIONAL	92.19	84.4	Carrying capacity of the element is exhausted	Yielding	
2	1005	Beam05	SHEAR_Z	104.28	22.7	Carrying capacity of the element is exhausted	Yielding	
2	1006	Column06	SHEAR_Z	144.17	69.6	Structural element collapses	Overstressing	
2	1006	Column06	TORSIONAL	105.77	111.5	Structural element collapses	Overstressing	

Rows: 3

## 4) Begleitende Kontrolle



- Risikomanagement transparent (Auftraggeber)
- Verbesserte Zusammenarbeit
- Durchgängigkeit der Methode (Entwurf bis Ausführung)
- Höhere Datentransparenz bei komplexen Bauwerken

## Fazit



- Ergebnisse unter:  
[www.tragwerk-fmea.de](http://www.tragwerk-fmea.de)
- Sehr unterschiedliche Anforderungen aus Praxis: Ihr Input ist gefragt
- Imagebildend
- BBR unterstützt Nachfolgeprojekt
- Ihre Unterstützung sehr hilfreich (Arbeitskreis, Finanzierung)