

Handlungsanleitung der Sicherheit im Bauwesen

Michael Hansen



Lebenszyklus Bauwerk

Phase 1: Konzeption (Idee)

Phase 2: Definition (Planung/Design)

Phase 3: Entwicklung und Konstruktion

Phase 4: Herstellung

Phase 5: Betrieb und Nutzung

Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling

Lebensdauer

Konzeption (Idee)

Technische Lebensdauer

Definition (Planung/Design)

Entwicklung und Konstruktion

Herstellung

(Rest-)Nutzungsdauer

Betrieb und Nutzung

Rückbau, Entsorgung/Recycling

Phase 1: Konzeption (Idee)

Phase 2: Definition (Planung/Design)

Phase 3: Entwicklung und Konstruktion

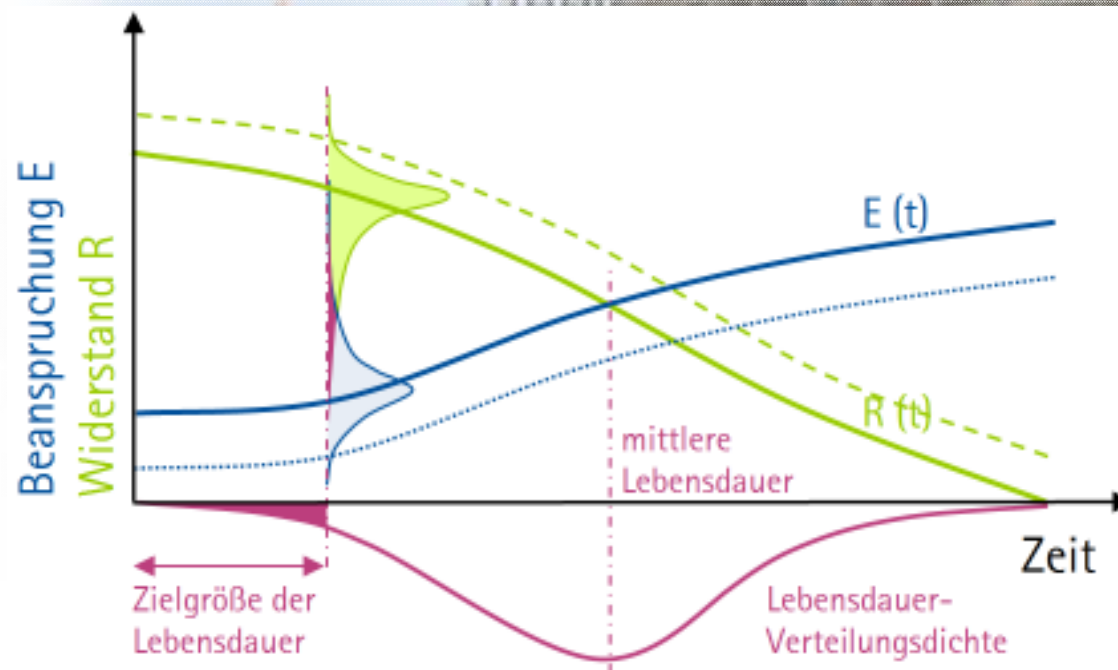
Phase 4: Herstellung

Phase 5: Betrieb und Nutzung

Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling

Festlegungen

- technische Lebensdauer des Bauwerks und seiner Systemteile
- Zuverlässigkeit am Ende der technischen Lebensdauer



Phase 1: Konzeption (Idee)

Phase 2: Definition (Planung/Design)

Phase 3: Entwicklung und Konstruktion

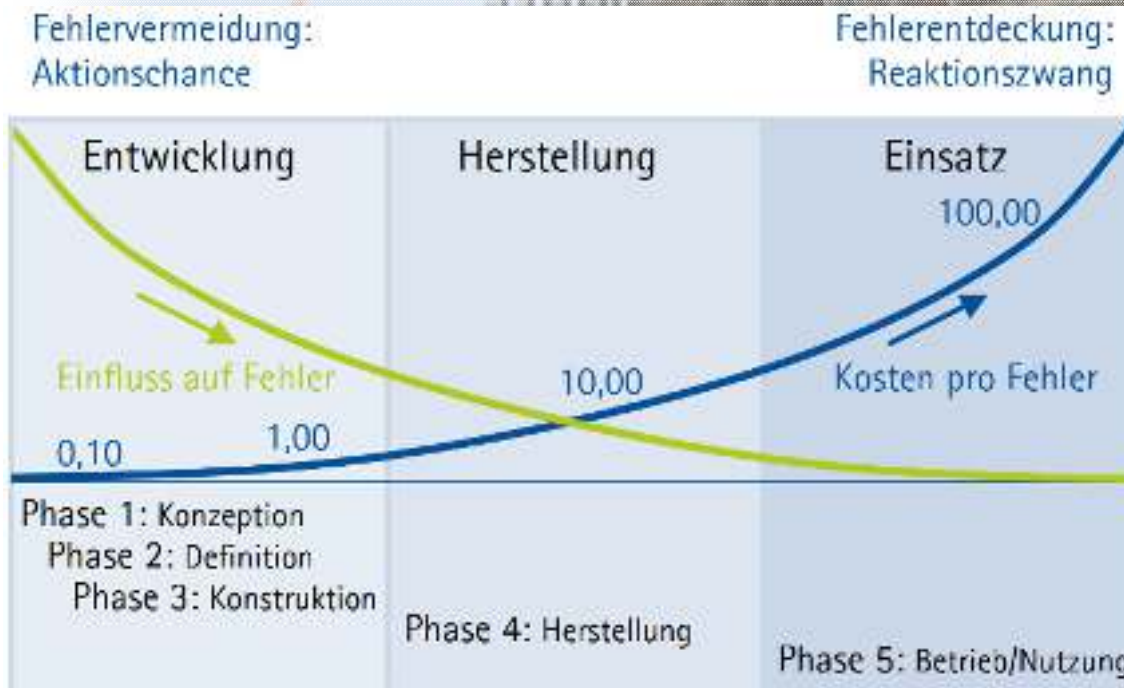
Phase 4: Herstellung

Phase 5: Betrieb und Nutzung

Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling

Festlegungen

- technische Lebensdauer des Bauwerks und seiner Systemteile
- Zuverlässigkeit am Ende der technischen Lebensdauer



Annahmen

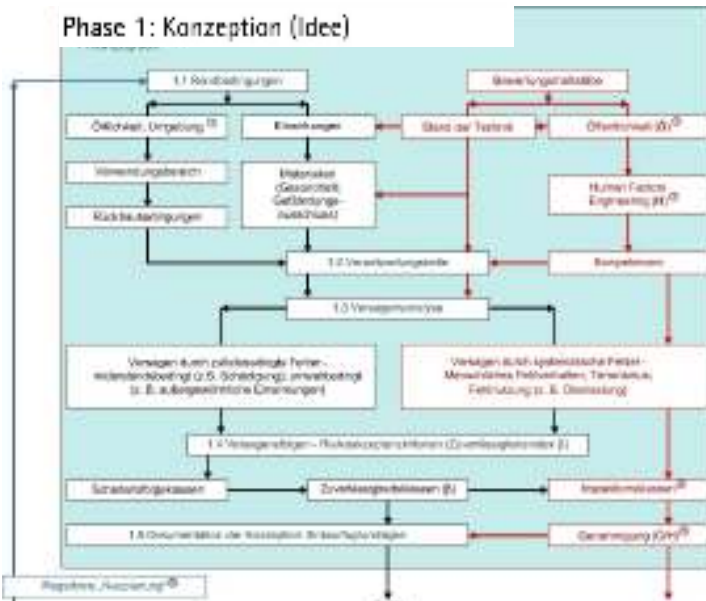
- Normen & weitere Regelwerke
- Einwirkungen und Material



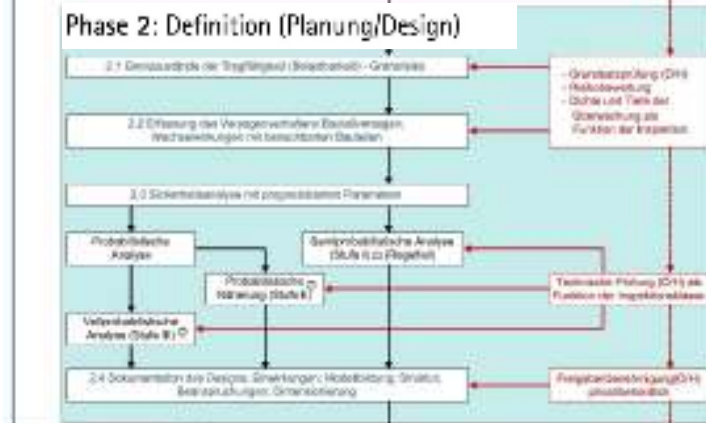
Handlungsanleitung der
Sicherheit im Bauwesen



Phase 1: Konzeption (Idee)



Phase 2: Definition (Planung/Design)



Phase 3: Entwicklung und Konstruktion



Phase 1: Konzeption (Idee)

Phase 2: Definition (Planung/Design)

Phase 3: Entwicklung und Konstruktion

Phase 4: Herstellung

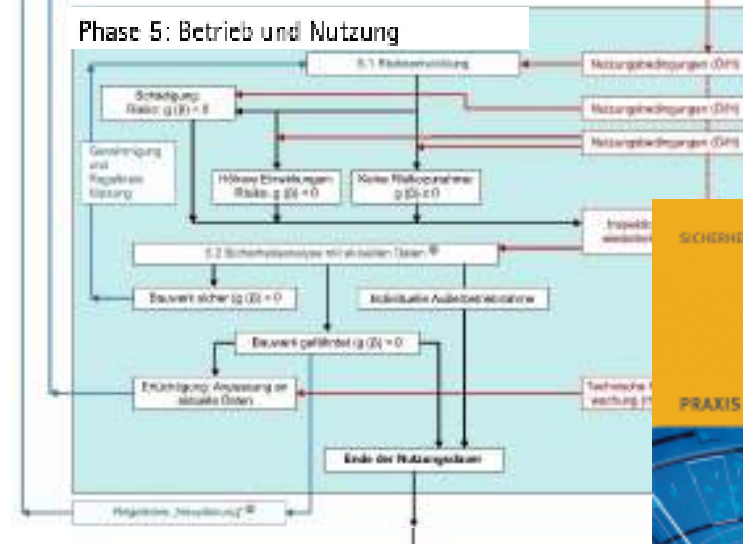
Phase 5: Betrieb und Nutzung

Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling

Phase 4: Herstellung



Phase 5: Betrieb und Nutzung

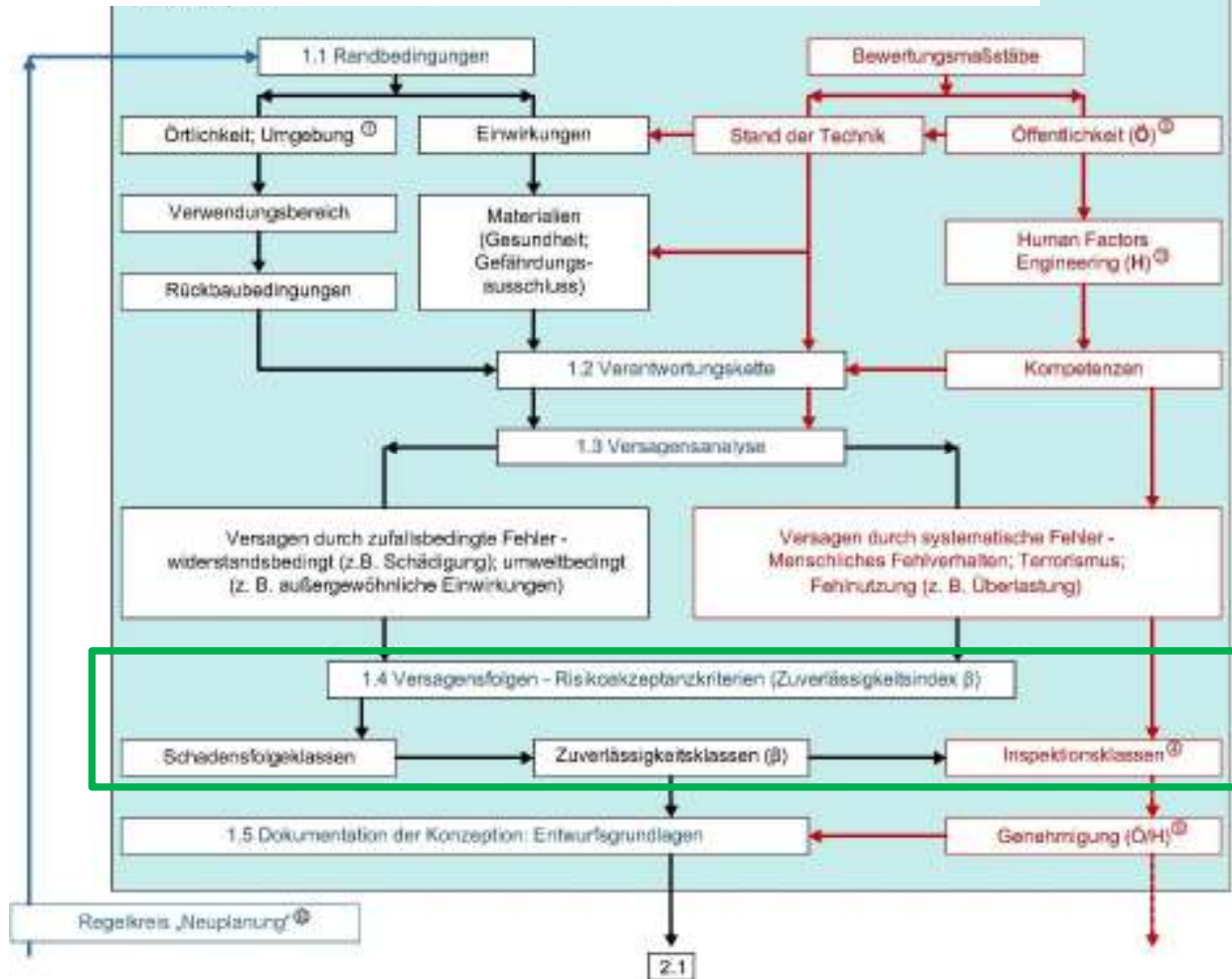


Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling



Phase 1: Konzeption (Idee)

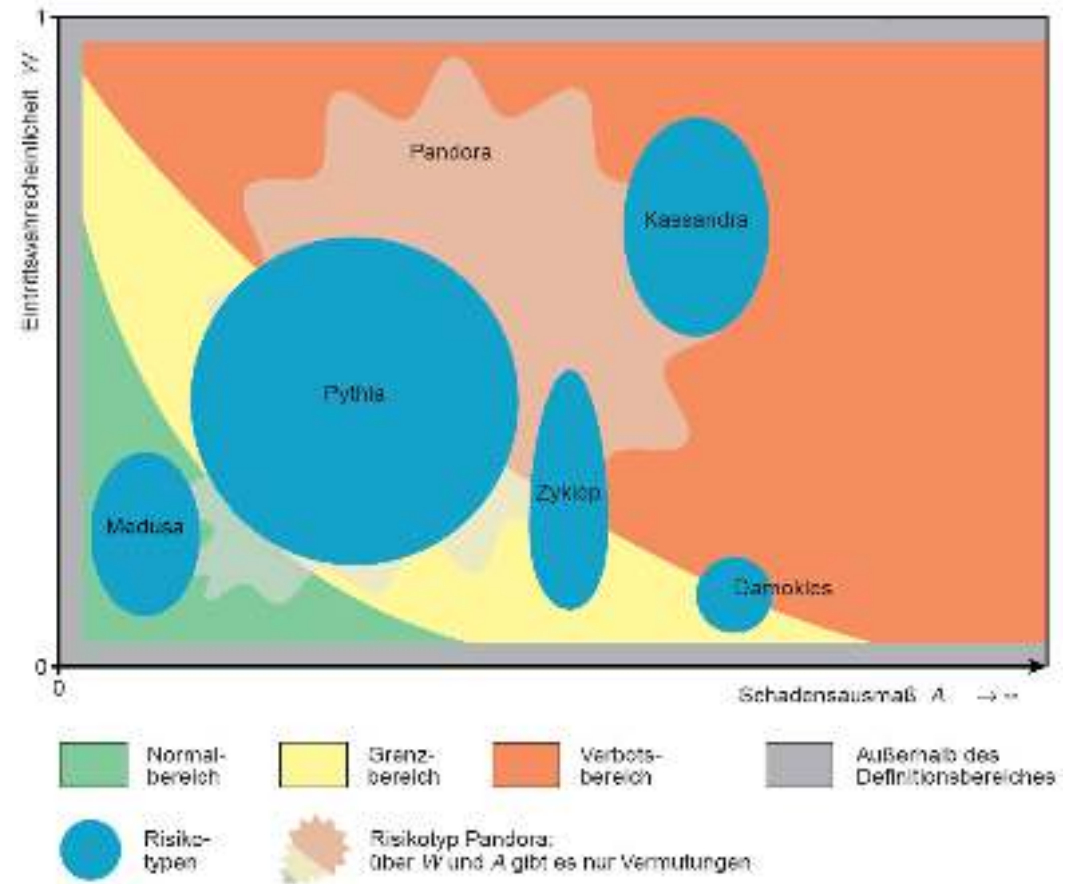
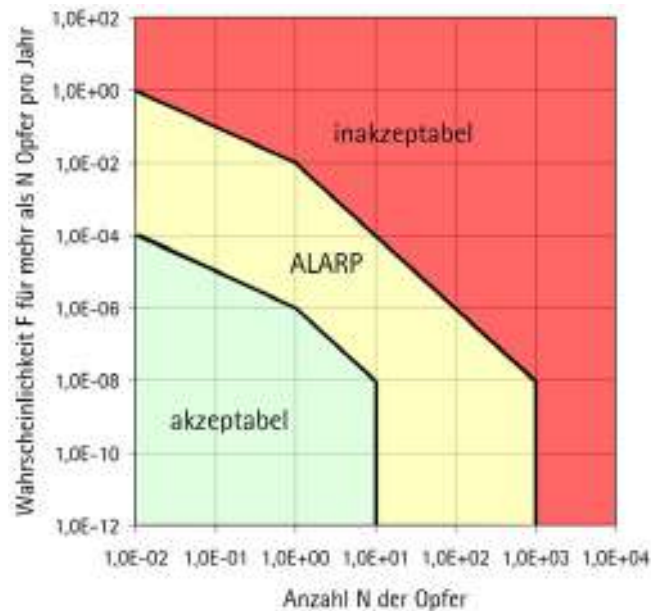
- Phase 1: Konzeption (Idee)
- Phase 2: Definition (Planung/Design)
- Phase 3: Entwicklung und Konstruktion
- Phase 4: Herstellung
- Phase 5: Betrieb und Nutzung
- Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling



Zuverlässigkeit

Risiko

- Wahrnehmung und Bewertung
- Eingangsparameter

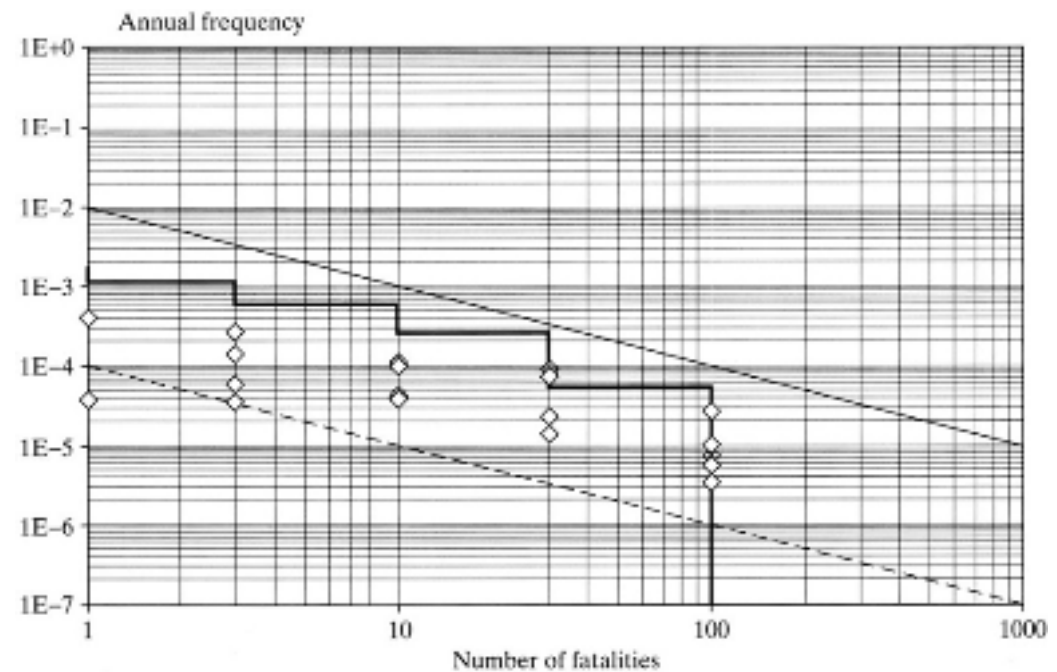
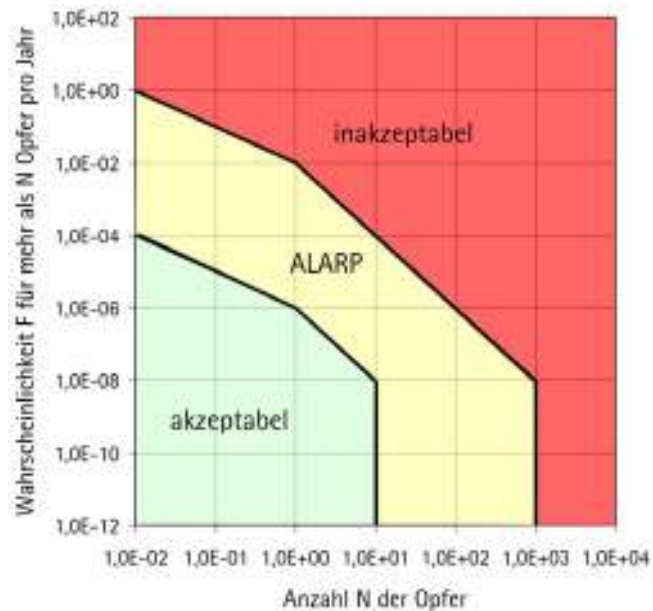


Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
 Globale Umweltveränderungen.

Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken.
 Jahresgutachten 1998.

Risiko

- Wahrnehmung und Bewertung
- Eingangsparmeter



ALARP-Regionen der Øresundbrücke

siehe [Hansen, 2014] > [2.30]

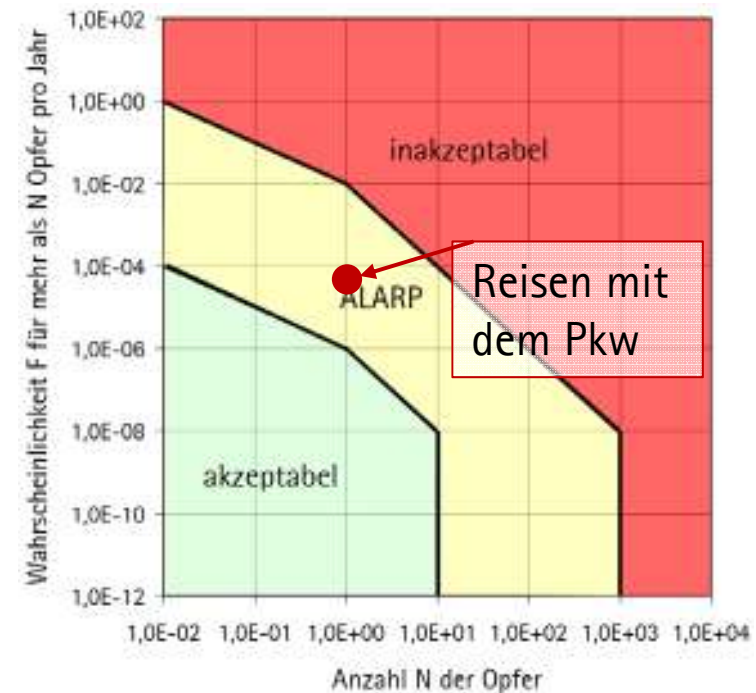
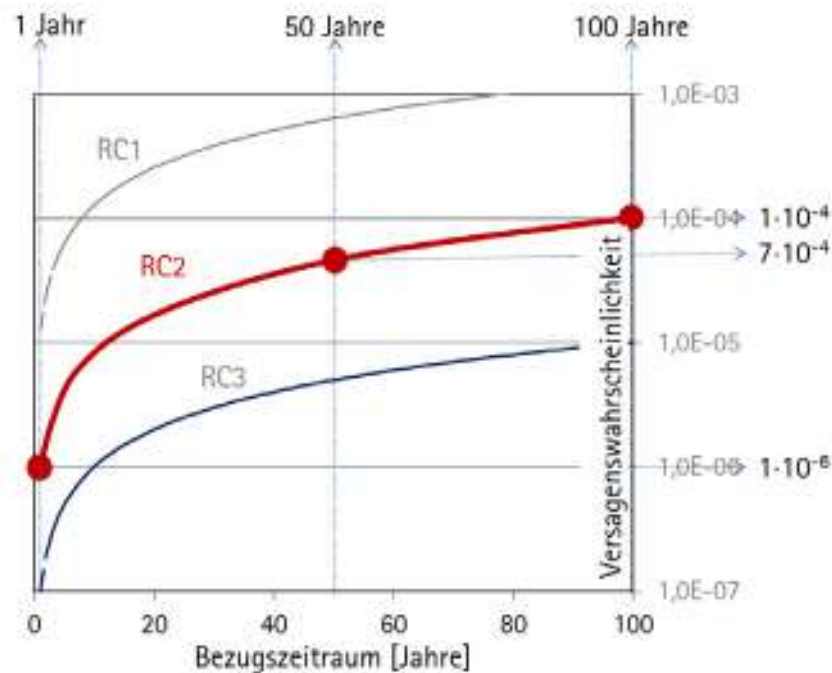
Risiko

- Risikoklassen (RC)
- Sicherheit und Zuverlässigkeit (β)
- Operative Versagenswahrscheinlichkeit



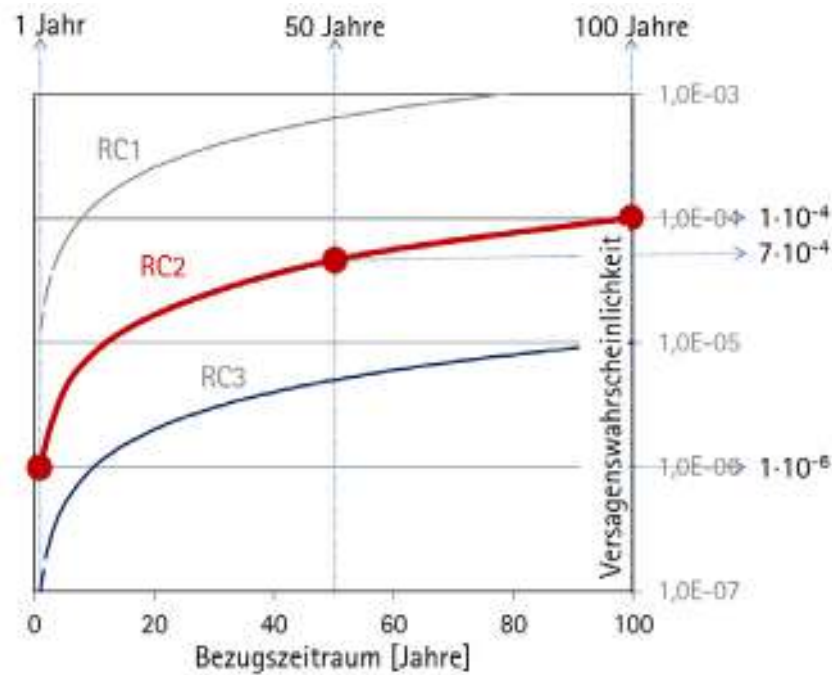
Risiko und Zuverlässigkeit

Bauwerke (EN 1990)	Lebensdauer [Jahre]
Austauschbare Tragwerksteile	10-15
Gebäude & gewöhnliche Tragwerke	50
Brücken & Ingenieurbauwerke	100

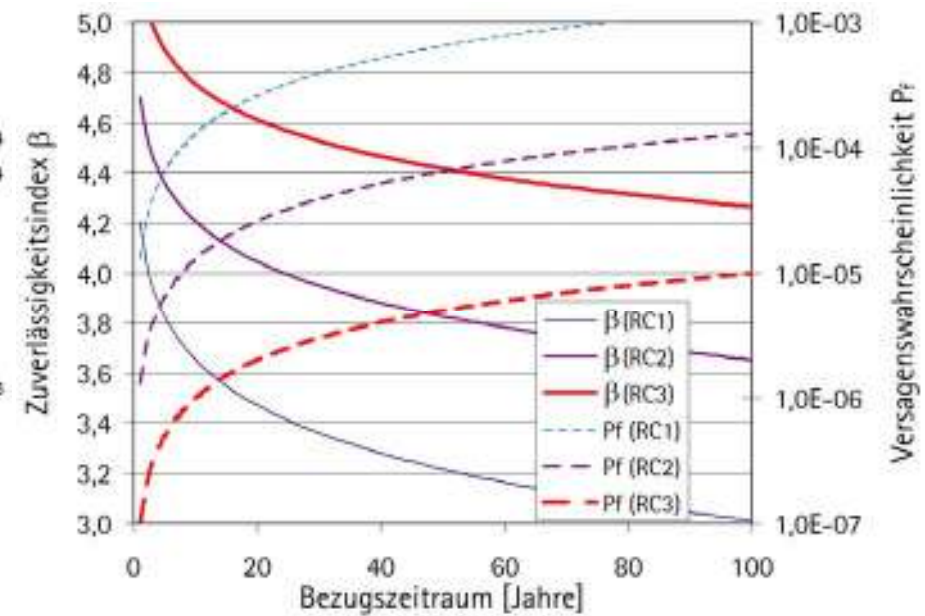


Risiko und Zuverlässigkeit

Bauwerke (EN 1990)	Lebensdauer [Jahre]
Austauschbare Tragwerksteile	10-15
Gebäude & gewöhnliche Tragwerke	50
Brücken & Ingenieurbauwerke	100



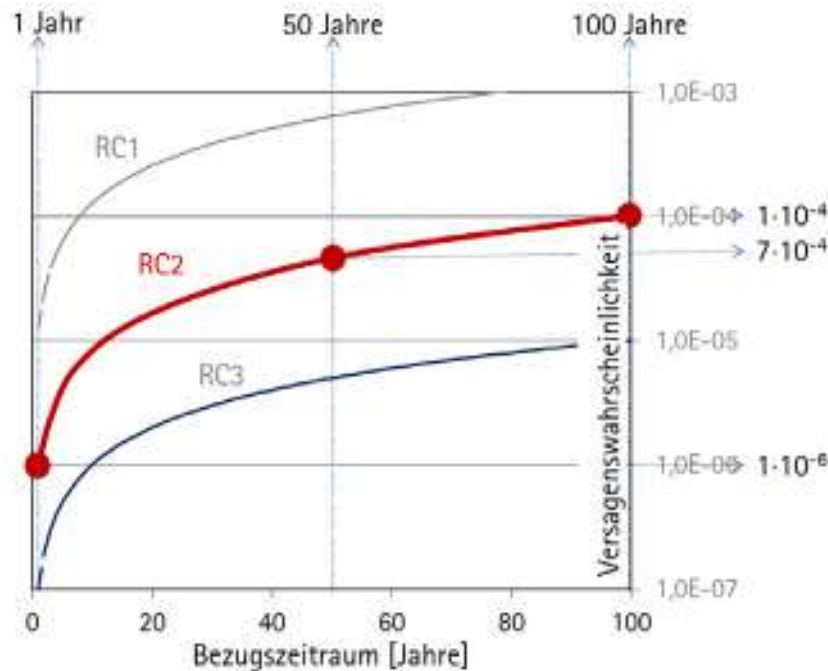
Zuverlässigkeitsindex β



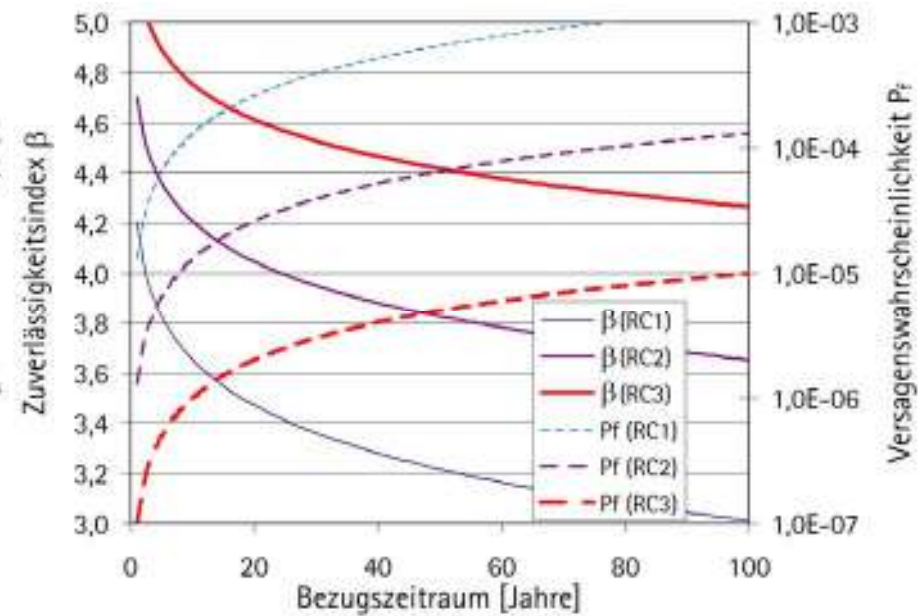
Risiko und Zuverlässigkeit

Schadens- folgeklasse	Zuverlässig- keitsklasse	Minimum β ($P_f = \Phi(-\beta)$) für den Bezugszeitraum ...				
		1 Jahr	20 Jahre	30 Jahre	50 Jahre	100 Jahre
CC3	RC3	5,2 ($1 \cdot 10^{-7}$)	4,6 ($2 \cdot 10^{-6}$)	4,5 ($3 \cdot 10^{-6}$)	4,3 ($9 \cdot 10^{-6}$)	4,3 ($1 \cdot 10^{-5}$)
CC2	RC2	4,7 ($1 \cdot 10^{-6}$)	4,0 ($3 \cdot 10^{-5}$)	4,0 ($4 \cdot 10^{-5}$)	3,8 ($7 \cdot 10^{-5}$)	3,7 ($1 \cdot 10^{-4}$)
CC1	RC1	4,2 ($1 \cdot 10^{-5}$)	3,5 ($3 \cdot 10^{-4}$)	3,4 ($4 \cdot 10^{-4}$)	3,3 ($5 \cdot 10^{-4}$)	3,0 ($1 \cdot 10^{-3}$)

farbig angelegte Werte entstammen EN 1990 (2010)

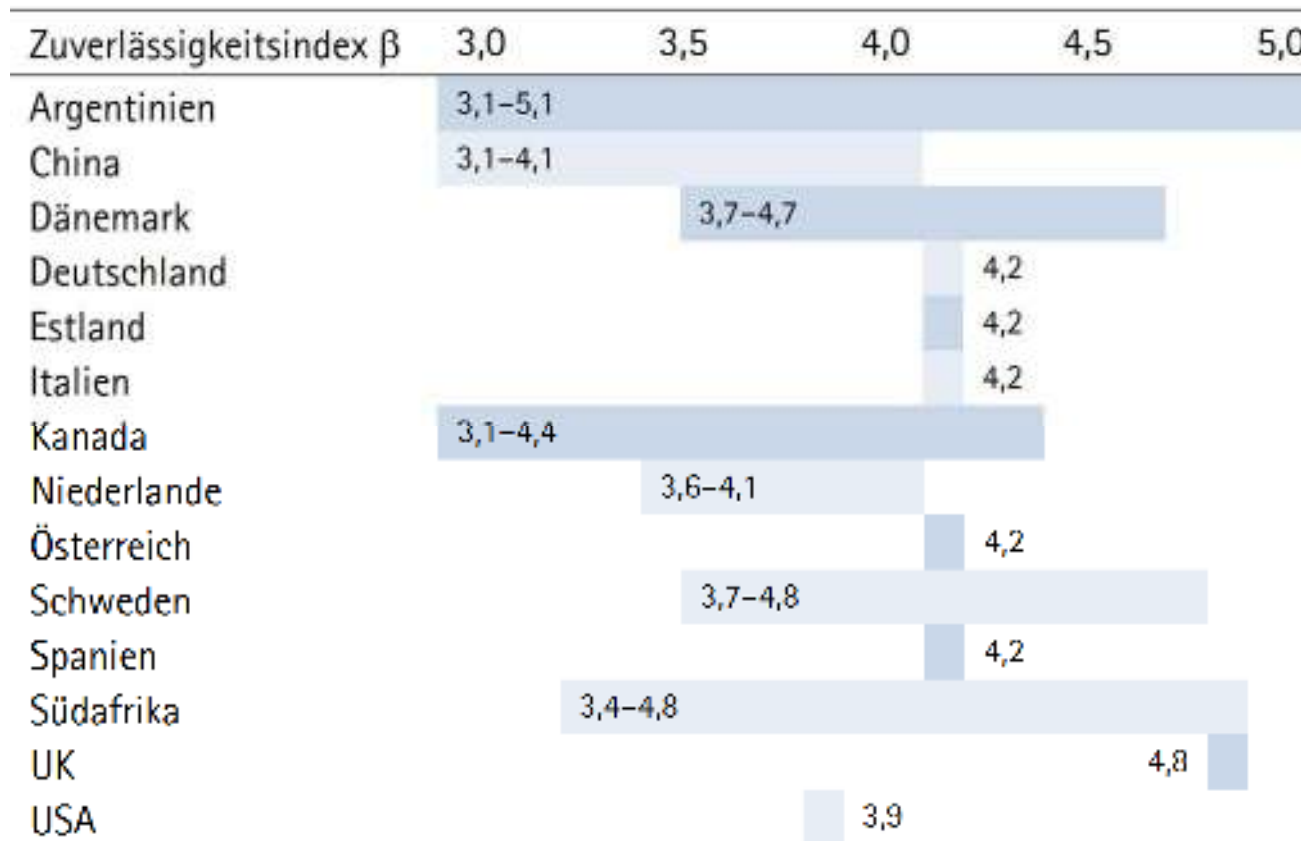


Zuverlässigkeitsindex β



Zuverlässigkeit international

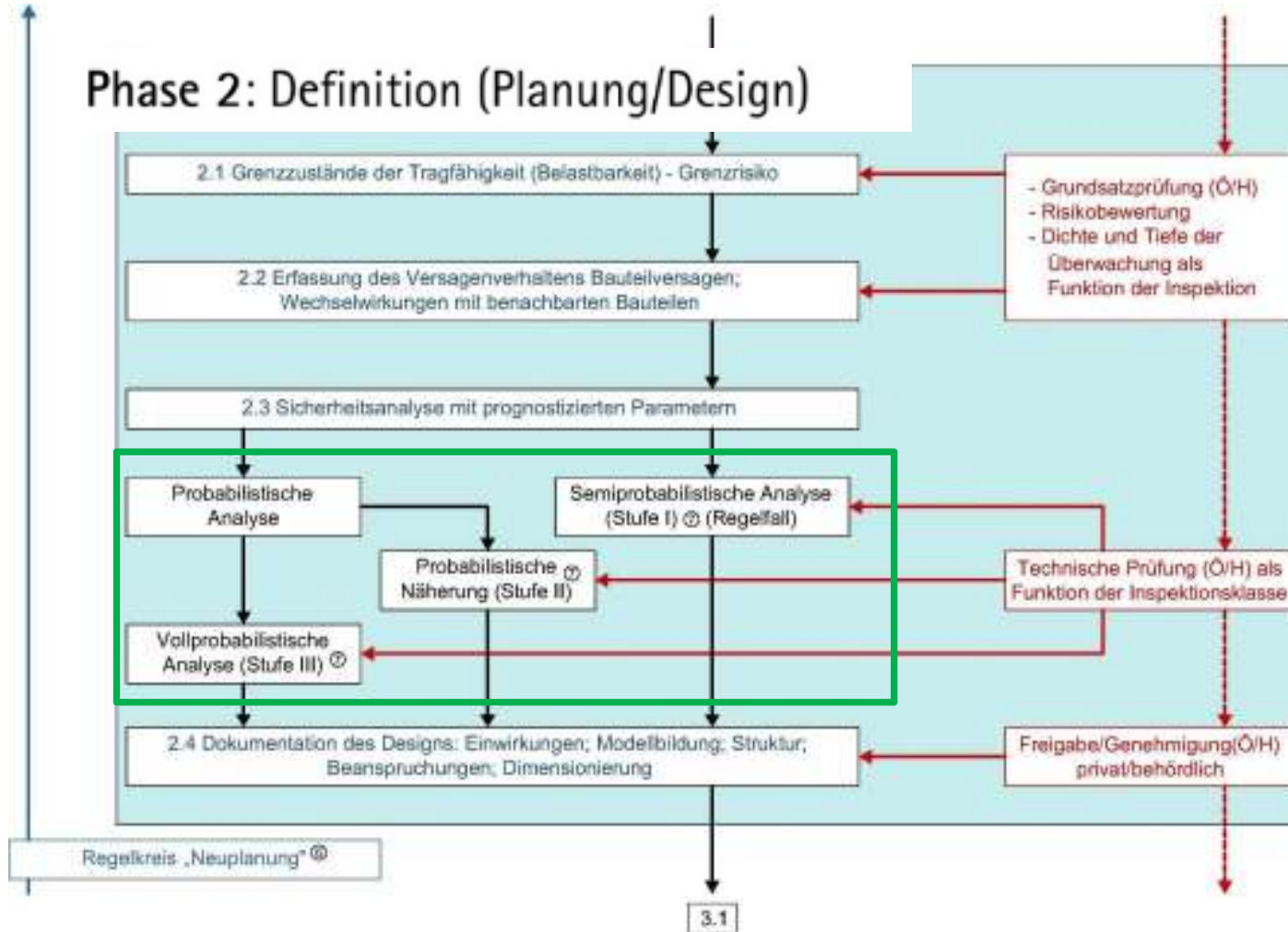
Zielwerte des Zuverlässigkeitsindex β für den Bezugszeitraum 1 Jahr nach einigen internationalen Regelwerken



Vgl. [Hansen,2014] > [2.83] und [2.319]

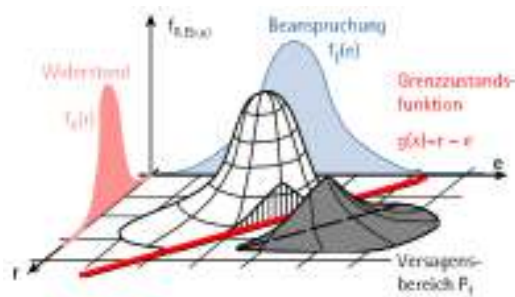
- Phase 1: Konzeption (Idee)
- Phase 2: Definition (Planung/Design)
- Phase 3: Entwicklung und Konstruktion
- Phase 4: Herstellung
- Phase 5: Betrieb und Nutzung
- Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling

Phase 2: Definition (Planung/Design)



Verfahren der Zuverlässigkeitsanalyse

Verfahren der Zuverlässigkeitsanalyse (modellbasiert)



Level IV	<p>Risikobasiertes Konzept</p> <ul style="list-style-type: none"> wie Level III, jedoch Einbeziehung der Versagenskonsequenzen (Kosten)
Level III	<p>Probabilistisches Konzept</p> <ul style="list-style-type: none"> verwendet Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Einwirkungs- und Widerstandsgrößen explizite Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit
Level II	<p>Semi-probabilistisches Konzept</p> <ul style="list-style-type: none"> basiert auf der Versagenswahrscheinlichkeit verwendet Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Einwirkungs- und Widerstandsgrößen
Level I	<p>Deterministisches Konzept</p> <ul style="list-style-type: none"> konventioneller Bemessungsansatz mit Teilsicherheitsbeiwerten basiert auf deterministischem Konzept und verwendet Einzelwerte (Quantilwerte) der Einwirkungs- und Widerstandsgrößen setzt Tragwerksversagen voraus, wenn die Beanspruchung den Tragwerkswiderstand überschreitet



Phase 3: Entwicklung und Konstruktion

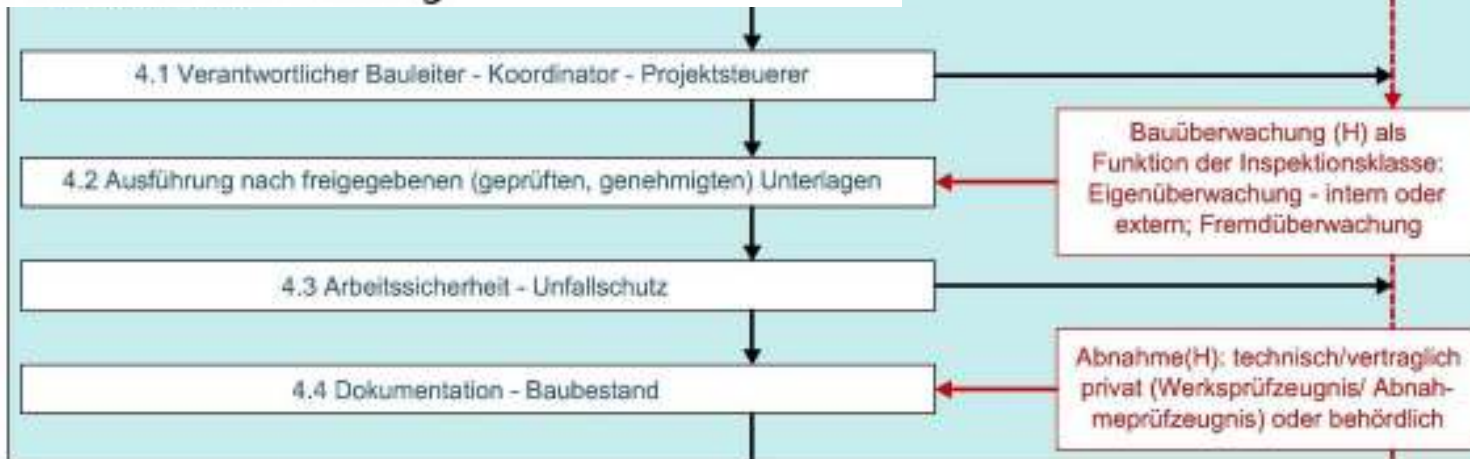


Regelkreis „Neuplanung“[®]

Prüfung und Überwachung zur Aufdeckung von Fehlern

Regelkreis „Ertüchtigung“

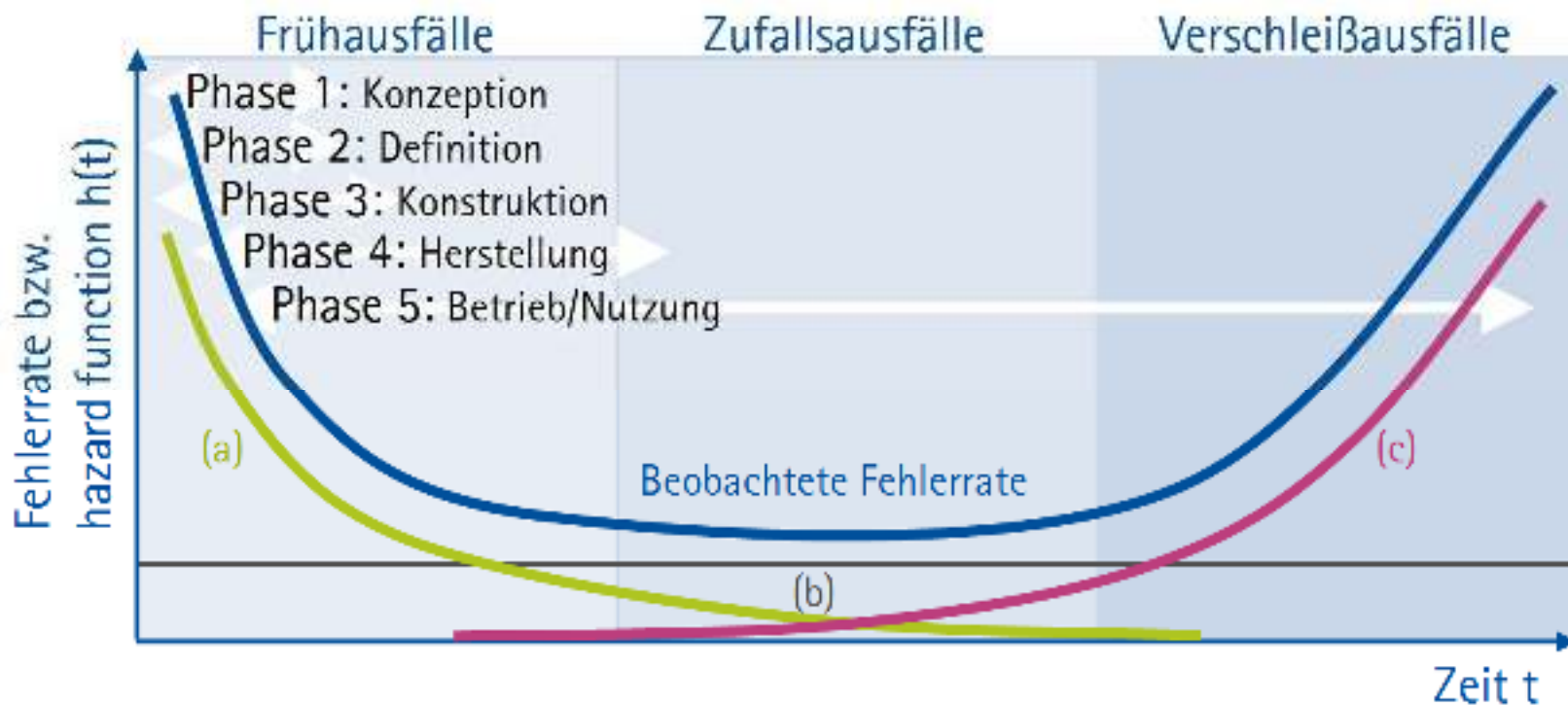
Phase 4: Herstellung



Regelkreis „Neuplanung“[®]

Fehler und Schäden in den Bauwerksphasen

- Phase 1: Konzeption (Idee)
- Phase 2: Definition (Planung/Design)
- Phase 3: Entwicklung und Konstruktion
- Phase 4: Herstellung
- Phase 5: Betrieb und Nutzung
- Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling

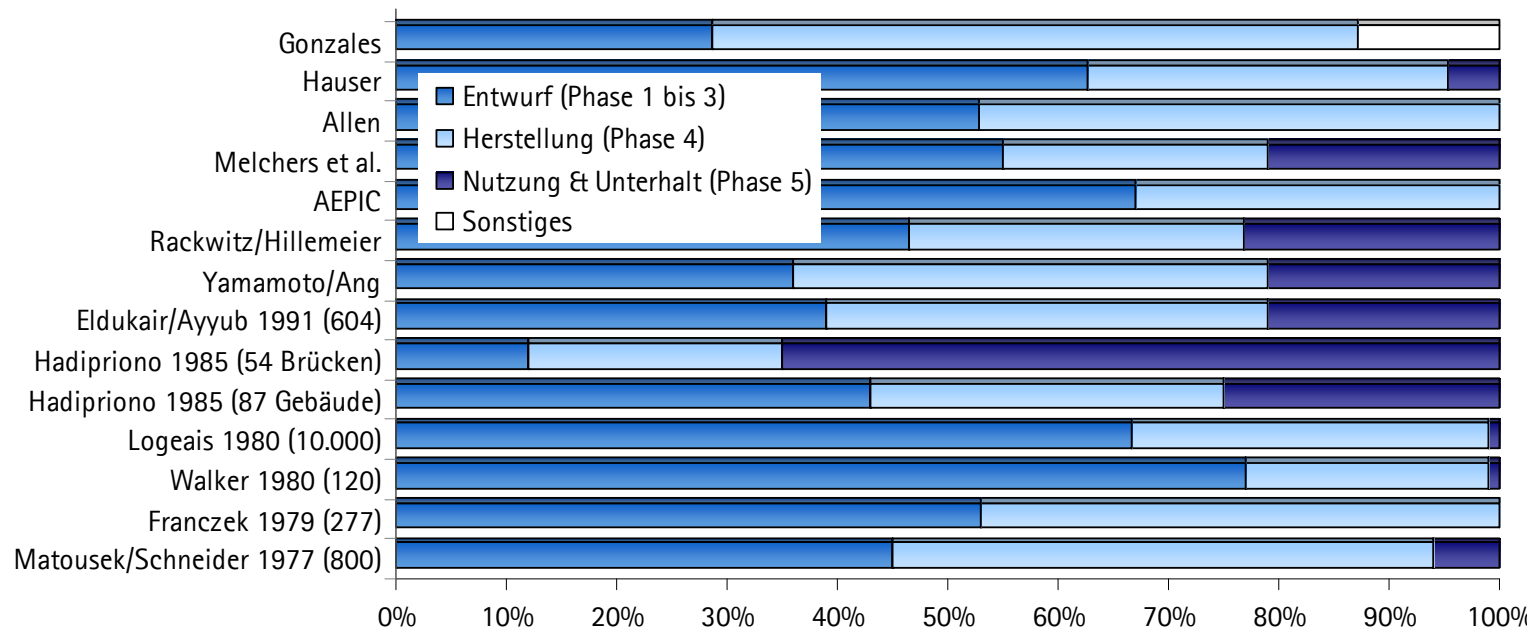


(a) Anfangsfehler (infant mortality) (b) zufällige Fehler (c) Fehler infolge Verschleiß/Alterung

Fehler und Schäden in den Bauwerksphasen



Relativer Anteil an Fehlern und Schäden in den Phasen eines Bauwerks

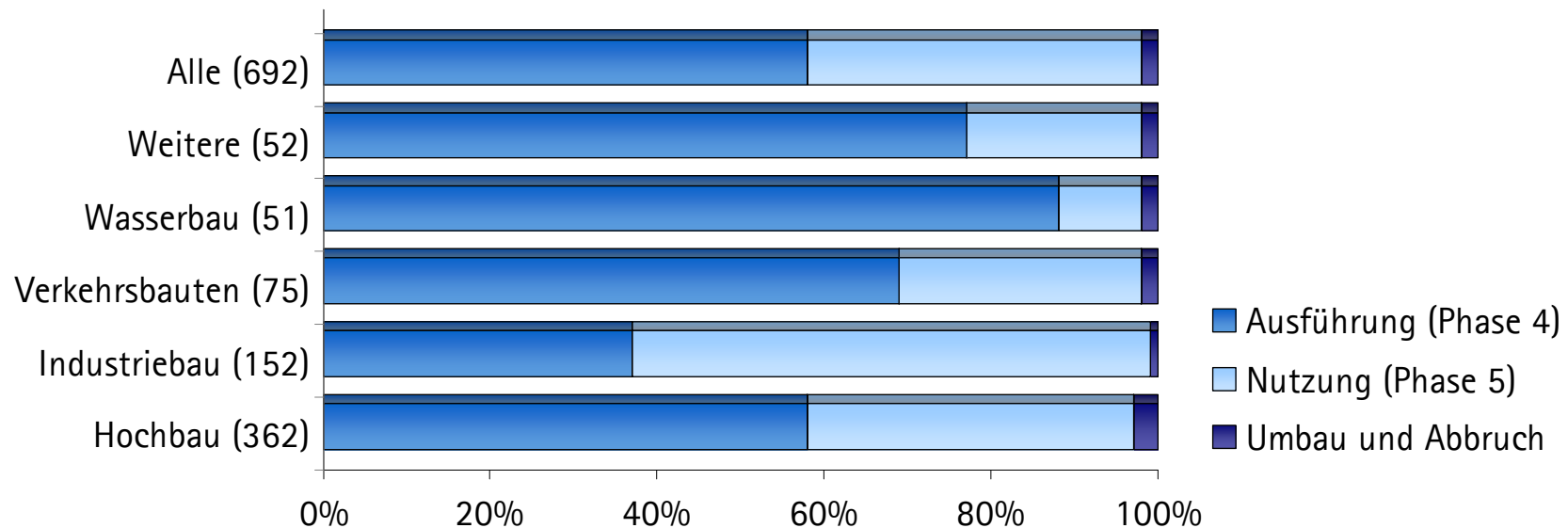


siehe [Hansen, 2014] > [2.287], [2.75] und [2.222]

Fehler und Schäden verschiedener Bauwerkstypen



Fehler in den Phasen verschiedener Bauwerkstypen



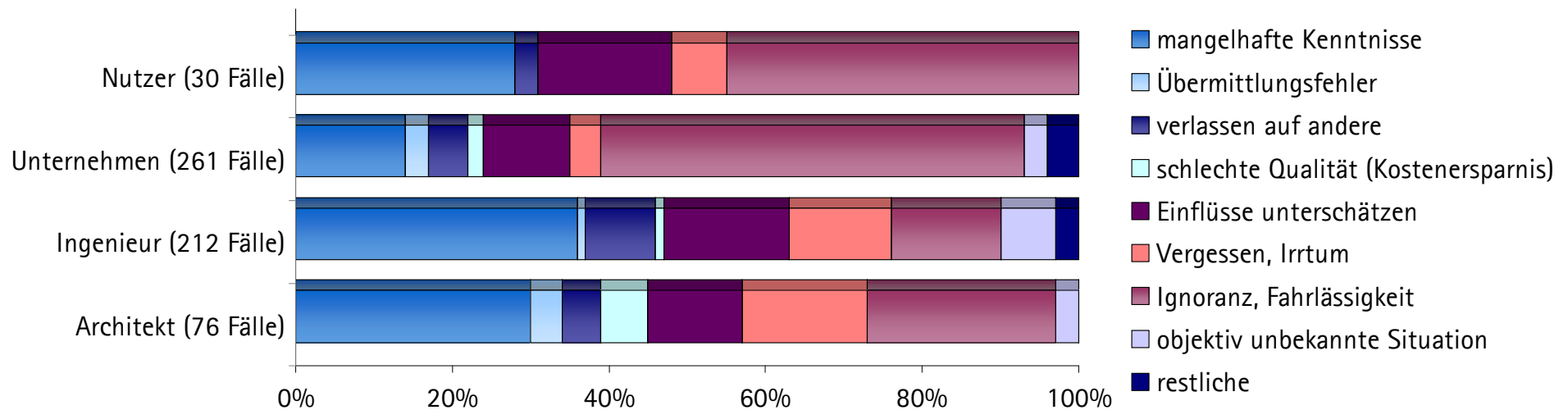
siehe [Hansen, 2014] > [2.185]

Fehler und Schäden

Menschliches Versagen

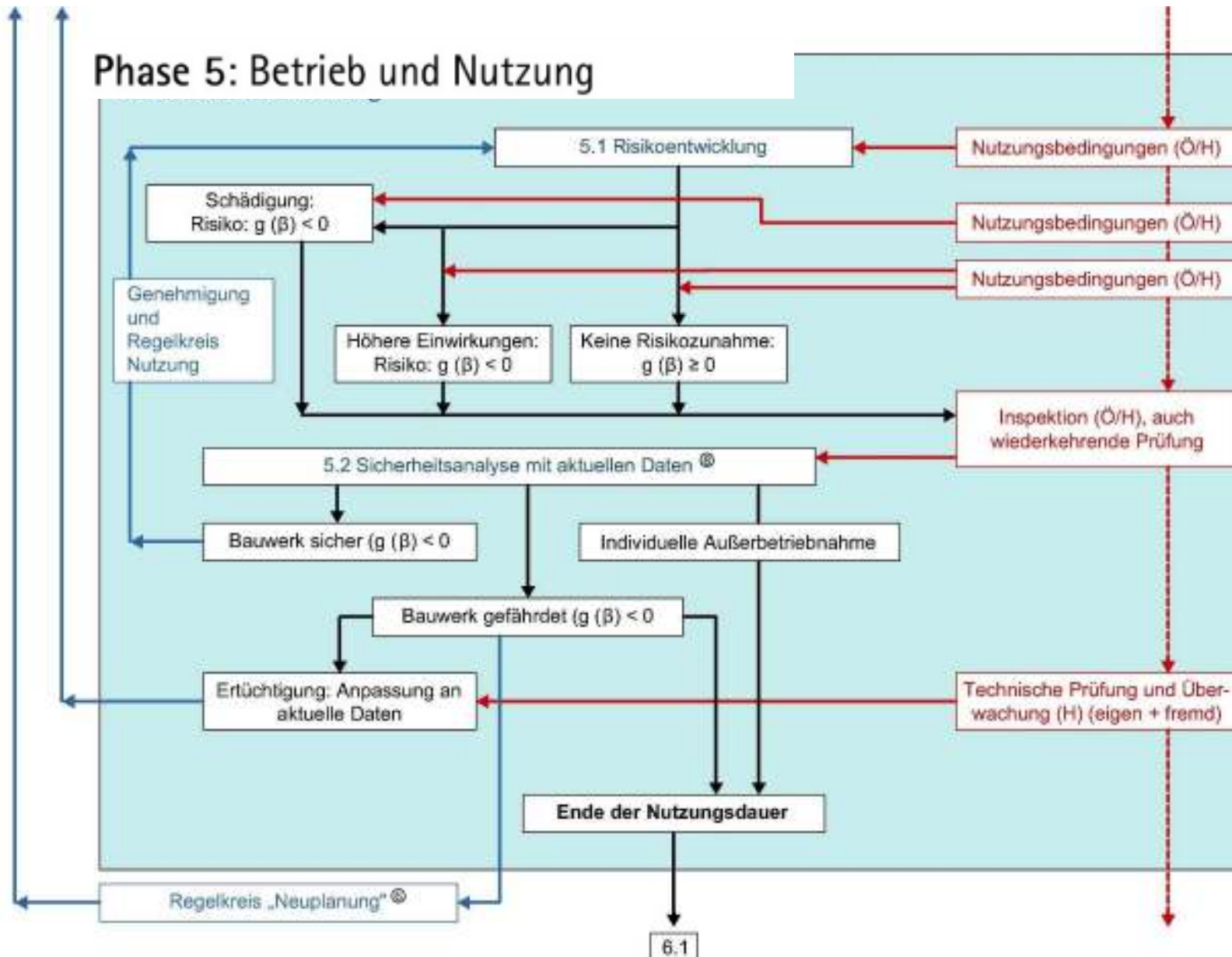


Verteilung des schadensverursachenden menschlichen Versagens



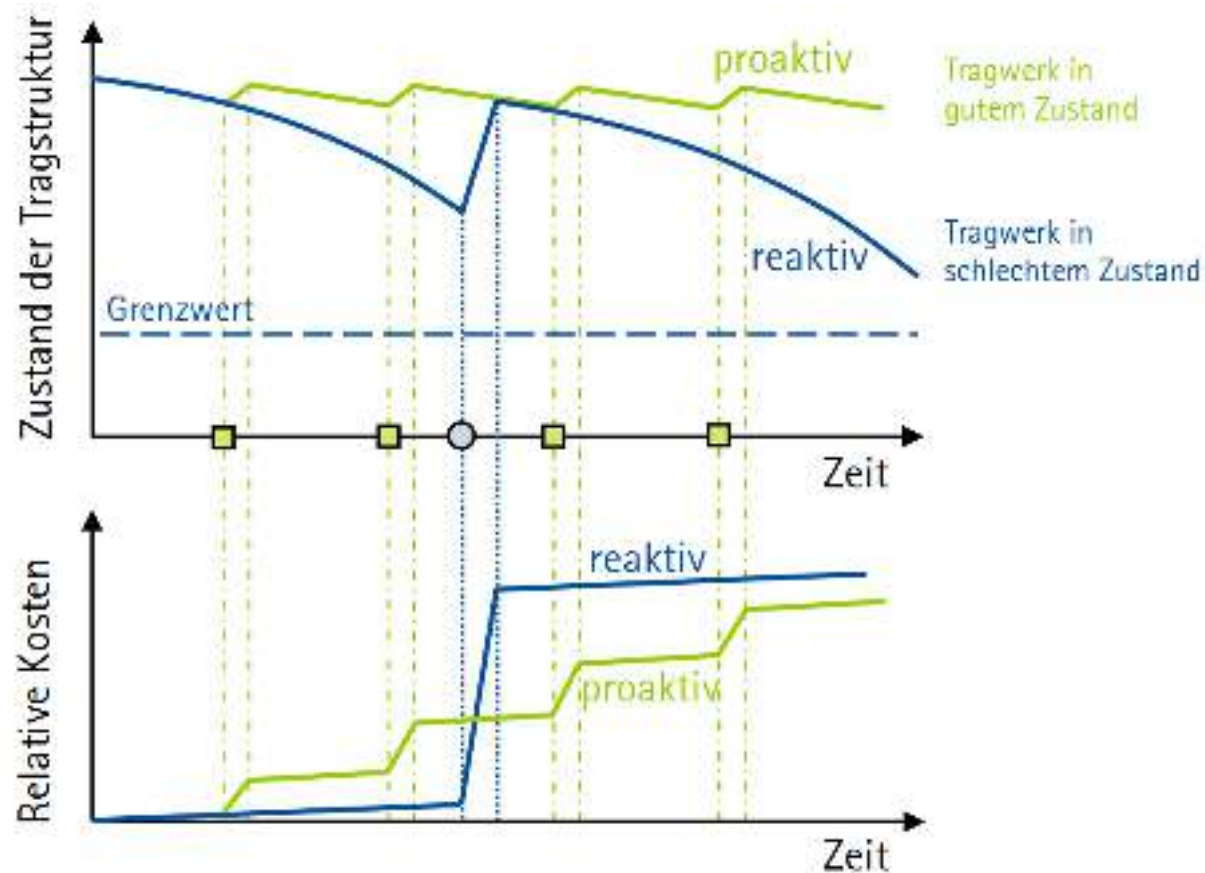
siehe [Hansen, 2014] > [2.185]

Phase 5: Betrieb und Nutzung



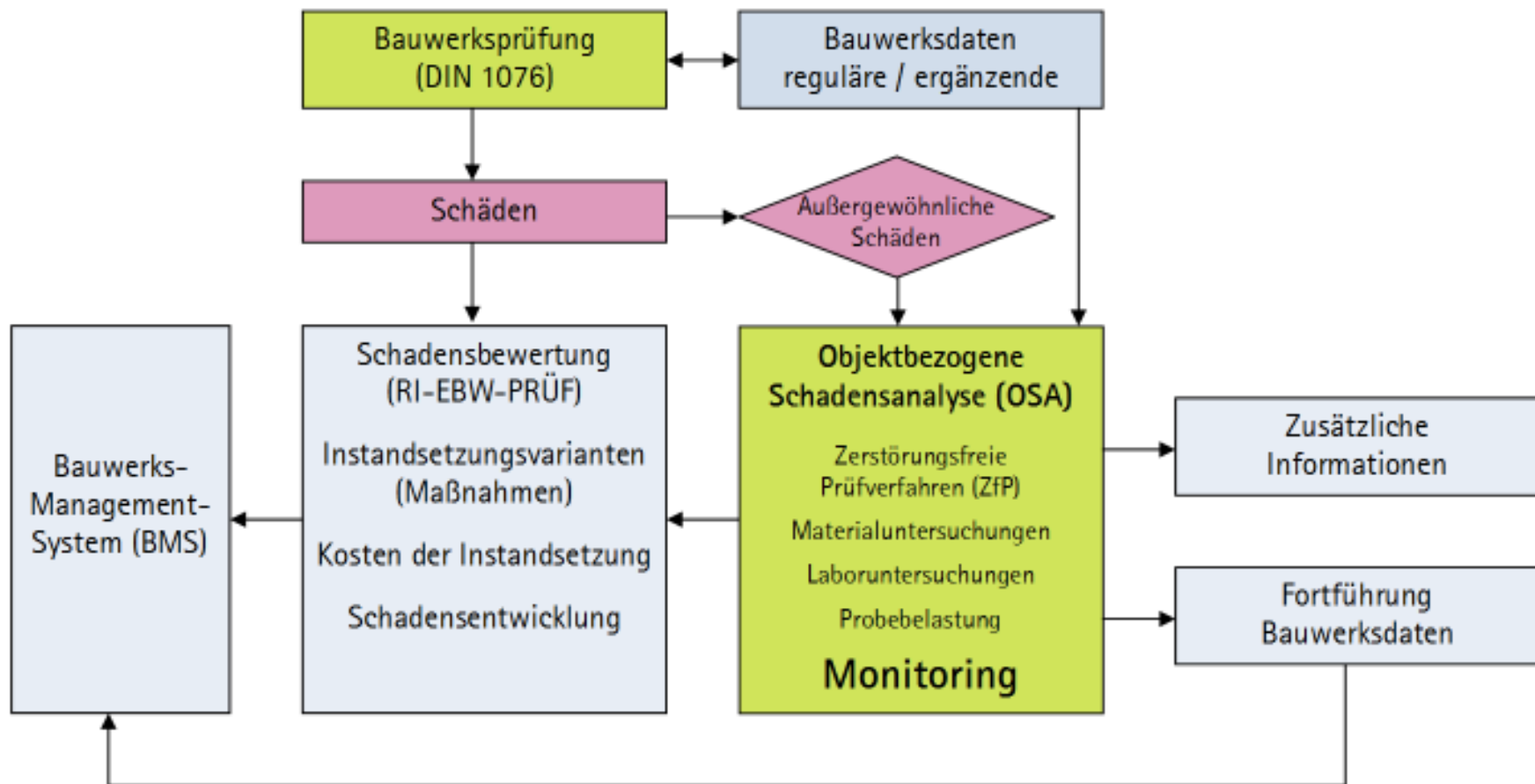
Kontrolle und Überwachung

Proaktives und reaktives Bauwerksmanagement



siehe [Hansen, 2014] > [1.2] und [1.3]

Kontrolle und Überwachung am Beispiel von Brückenbauwerken





Phase 1: Konzeption (Idee)

Phase 2: Definition (Planung/Design)

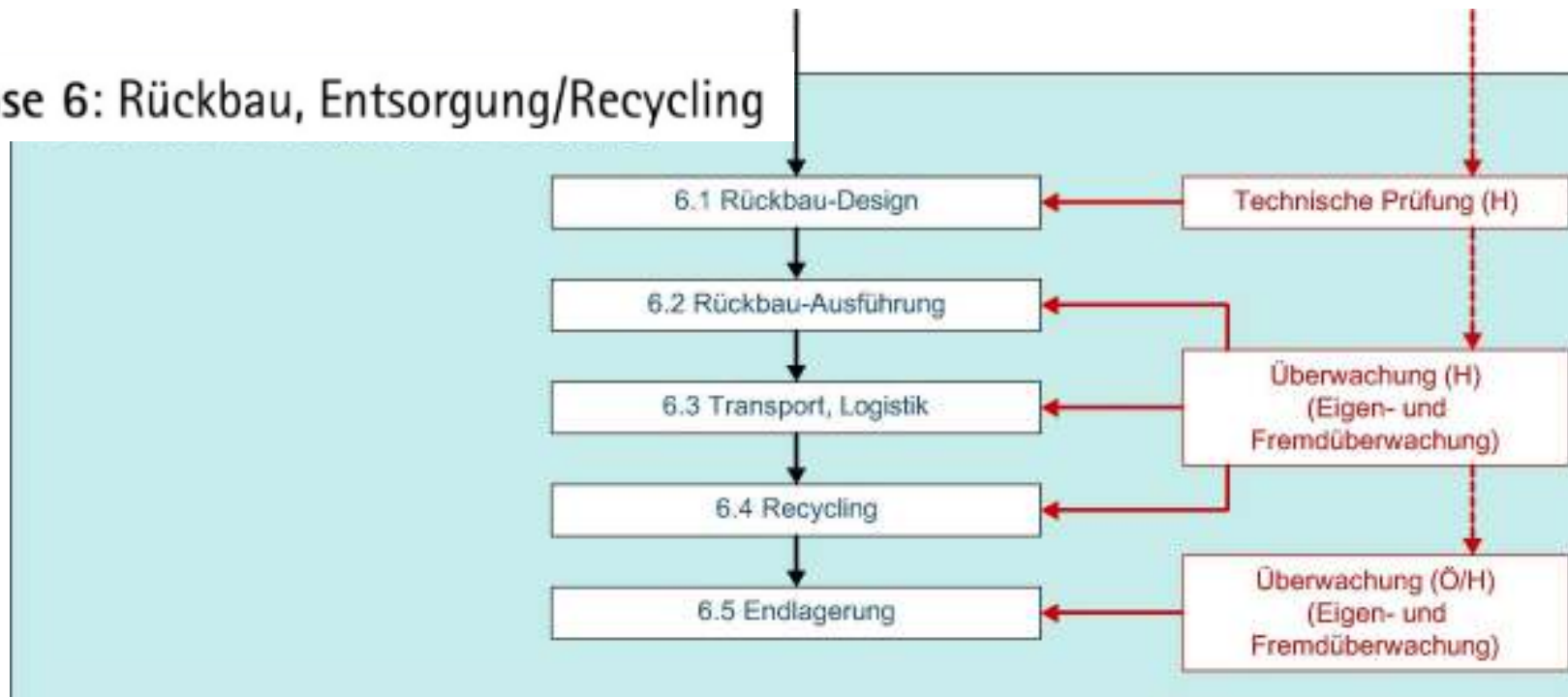
Phase 3: Entwicklung und Konstruktion

Phase 4: Herstellung

Phase 5: Betrieb und Nutzung

Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling

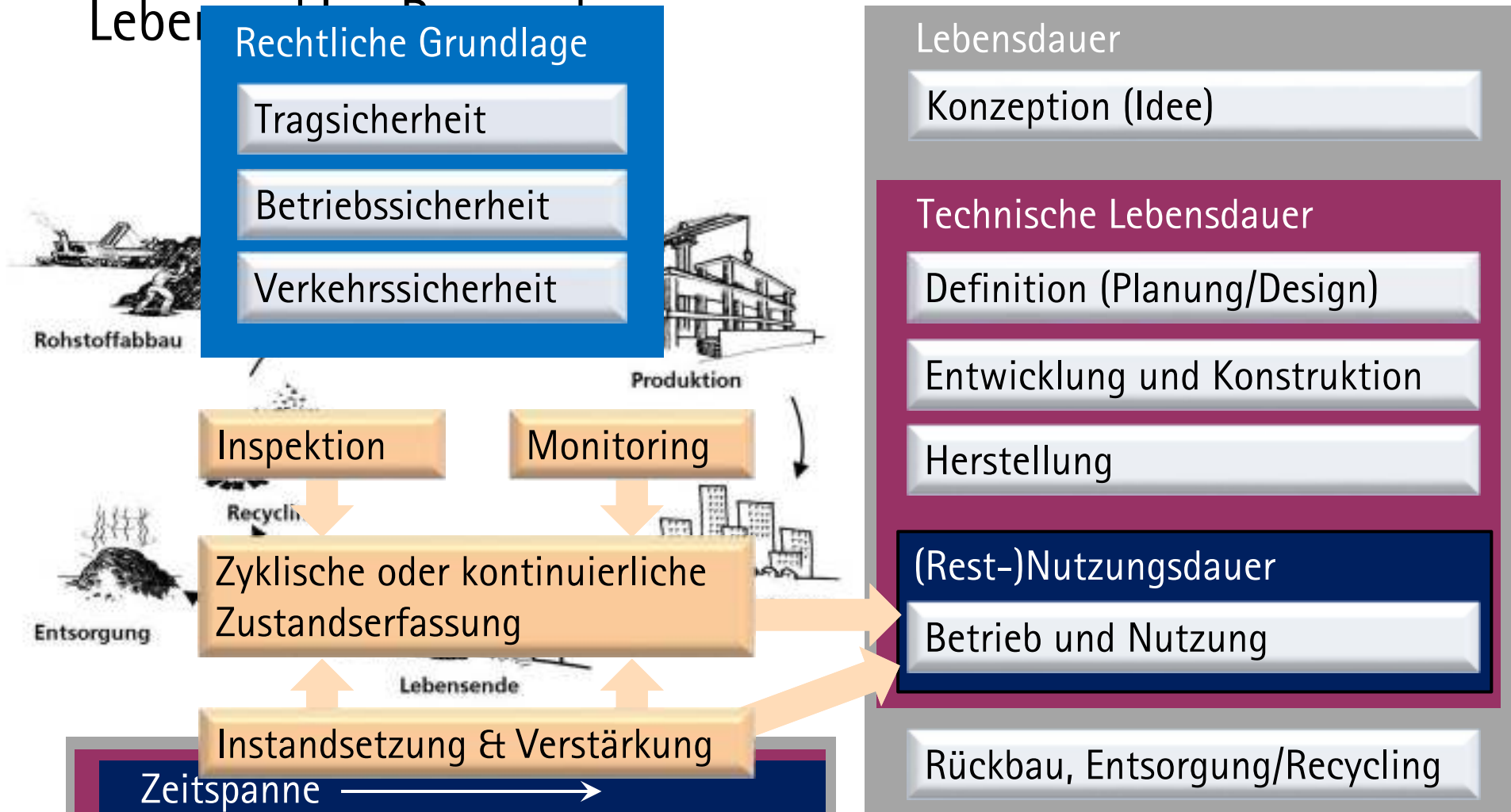
Phase 6: Rückbau, Entsorgung/Recycling



Risikoeingrenzung Robuste Tragwerke



Lebensdauer



Historie und Ausblick

Mayer, Freudenthal etc.

GRUSIBAU

Bauproduktenrichtlinie

ENV 1991-1

DIN 1055-100

EN 1990

JCSS: Probabilistic Model Code

Eurocodes (EC0 – EC9)
 bauaufsichtliche Einführung 1.7.2012

Sicherheitsrichtlinie (Organisation?)

1920 - 1950

1981

1988

1994

2001

2002

2000/01

2012

20xx ?

SFB 96 (1972-1990)
 "Zuverlässigkeit der Bauwerke"
 88 Berichte



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ein Wissenschaftler ist eine Mimose, wenn er selbst Fehler gemacht hat,
und ein brüllender Löwe, wenn er bei einem anderen einen Fehler entdeckt.

Albert Einstein



A performed inspection does not in itself improve the safety of a structure.
It improves our estimate of the safety.
A planned inspection does not in itself improve the safety of a structure.
It does not improve our estimate of the safety.

Michael Havro Faber (2011)

Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher,
und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.

Albert Einstein in „Geometrie und Erfahrung“

Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen
zugeschrieben Karl Valentin, Mark Twain, Winston Churchill u. a.

It is important in engineering applications that we avoid the tendency to model only those
probabilistic aspects that we think we know how to analyze. It is far better to have
an approximate model of the whole problem than an exact model of only a portion of it.

C. A. Cornell (1972)