

**Deliverable 1 - Zielspezifikation**

**WP 1-4**

**Zusammenfassung**

Trotz unseres Technologiefortschrittes in der computerbasierten Tragwerksplanung (TP) sinkt die Qualität. Das Deliverable begründet daher zu Beginn, wie eine präventive risikobezogene Qualitätssicherung (QS) diesen Missstand ändern kann. Denn Ziel jeden Technologiefortschrittes sollte sein, die Qualität zu verbessern, d.h. Planungsfehler und damit verbundene Schäden durch vertretbaren Aufwand in der Praxis zu vermeiden und dadurch wirtschaftlicher zu planen. Auf Basis dieser Momentaufnahme skizzieren wir unseren Vorschlag zur präventiven QS, die in Abhängigkeit des vorhandenen Risikos, festgelegt über die Konsequenzklasse und die Honorarzone, auf Basis der System-FMEA aus dem Maschinenbau nach den frühen Projektphasen im Team von Planungsbeteiligten durchgeführt wird. Die Methode der System-FMEA wird kurz erläutert, und die Methode der qualitativen Verhaltensmodellierung (QV) eingeführt, um die qualitativen Arbeitsschritte des Ingenieurs formal auf ein berechenbares Modell abzubilden. Das Ergebnis ist die modellbasierte Tragwerk-FMEA, die eine computerunterstützte Arbeitsumgebung für Planer zur Durchführung einer Tragwerk-FMEA schafft. Die momentane Situation in der Praxis wird genauer beleuchtet, indem wir Ergebnisse einer Umfrage, die wir unter den Prüfungingenieuren durchgeführt haben, zum Stand der QS und der vorherrschenden Fehler in der Praxis präsentieren. Auf Basis dieser beiden Grundpfeiler stellen wir abschließend den geänderten Planungsablauf unter Einbettung der Tragwerk-FMEA vor, für welchen wir eine Richtlinie zur Anwendung der Tragwerk-FMEA sowie die erforderliche Software dafür in diesem Forschungsprojekt erarbeiten.

**Inhaltsverzeichnis**

1	Motivation	2
2	Skizze – Tragwerk-FMEA	6
3	System-FMEA auf Basis eines Modells	9
4	Problemstellung – Ist-Zustand	12
5	Zielspezifikation	16
	Literaturverzeichnis	18
	Anhang A	20

# 1 Motivation

Unser Technologiefortschritt manifestiert sich im Bauwesen in besseren und umfangreicheren Normen, die den Stand der Technik repräsentieren, sowie immer versierterer Berechnungs- und Bemessungssoftware mit höherer Rechenleistung, die uns erlauben, immer größere und anspruchsvollere Bauwerke zu planen und zu bauen. Man würde erwarten, dass mit diesem Fortschritt eine erhöhte Qualität der Bauwerke einhergeht, das heißt die Sicherheit gegenüber Schäden bzw. Einstürzen sich erhöht. Das Gegenteil ist der Fall, was vermehrte Einstürze von Bauwerken belegen.



Bild 1: Informationsflut in der Praxis eines Tragwerksplaners

Die Zunahme von weltweit spektakulären Bauunfällen und Einstürzen [AuD07] sowie die Zunahme von Bedrohungsszenarien (Explosion infolge Terroranschlägen, etc.) für Versammlungsstätten wie Stadien und großen Hallen oder auch für Hochhäuser [Die08] geben Anlass, die momentane Qualitätssicherung (QS), die auf der unabhängigen bautechnischen Prüfung oder einer internen Bürokontrolle in der Tragwerksplanung (TP) sowie der Bauüberwachung bei der Ausführung basiert, zu überdenken bzw. an die heutigen Anforderungen anzupassen.

Der Fortschritt hat eine Informationsflut mit sich gebracht, die kaum mehr von Ingenieuren und Prüfsingenieuren durch die traditionelle Arbeitsweise zu beherrschen ist, da ein Instrument zur Fokussierung auf die wesentlichen mit Risiko behafteten Teile des Tragwerkes fehlt. Eine systematische Fokussierung ist heutzutage auf Grundlage der deutschen Normen (Grundlage ist DIN 1055-100) nur eingeschränkt möglich, da der quantitative Sicherheitsbegriff ( $p = 1 - A$  mit  $A =$  Auftretenswahrscheinlichkeit des Versagens) auf Bauteil- und Anschlussebene keine Aussage über den Beitrag eines Bauteils oder Anschlusses zur globalen Standsicherheit und dem damit verbundenen Risiko für Schadensszenarien machen kann. Sicherheit wird in der aktuellen Normengeneration dadurch definiert, dass für alle Bauteile und Anschlüsse die auftretenden Einwirkungen zu jeder Zeit durch die vorhandenen geplanten Beanspruchbarkeiten aufgenommen werden können und nur in seltenen Fällen Beanspruchbarkeiten von Einwirkungen überschritten werden. Da alle Bauteile und Verbindungen a priori gleich wichtig für die Standsicherheit des Bauwerks sind, wird das Versagen eines Bauteils oder einer Verbindung mit dem globalen Ver-

sagen des Tragwerks gleichgesetzt. Dies entspricht allerdings nicht der Realität, da zum einen Bauteile ohne nennenswerten Beitrag zum globalen Lastabtrag ausfallen können, ohne dass dies einen Einsturz zur Folge hat, zum anderen da fast alle Tragwerke - gerade Hochbauten - Redundanzen im Lastabtrag besitzen, welche auch nach einem Ausfall bzw. Teilversagen einzelner Tragglieder weiterhin die Standsicherheit gewährleisten. Es kann somit für die Standsicherheit bzw. Kollapssensitivität des Bauwerks keine quantitative Aussage auf dem semi-probabilistischen Sicherheitskonzept abgeleitet werden, da die meisten Bauwerke einen komplexen seriellen und parallelen Lastabtrag besitzen [Wey04]. Anzustreben ist daher eine qualitative statische Aussage bezüglich der Standsicherheit und Robustheit eines Tragwerkes, die in Abhängigkeit der Wichtigkeit von Bauteilen und Anschlüssen in Bezug auf ein globales Bauwerksversagen oder Teilversagen formuliert werden sollte.

Bei der Untersuchung oben genannter Aspekte ist zu berücksichtigen, dass solch eine Bewertung des Tragwerkes meist in einem frühen Projektstadium (nach Vor- und Entwurfsplanung) durchgeführt werden muss, in dem meistens keine detaillierten Berechnungsmodelle vorhanden sind und daher eine Bewertung nur rein qualitativ erfolgen kann. Dies grenzt unseren Ansatz von Untersuchungen zum progressiven Kollapsverhalten von Bauwerken ab, die sich mit der realistischen nicht-linearen Analyse (gegebenenfalls auch als flexible dynamische Mehrkörpersysteme) des entworfenen Tragwerks infolge Bauteilausfällen befassen [Sta00]. Nichts desto trotz greifen wir qualitative Ansätze aus diesem Bereich auf, sofern sie für die qualitative Bewertung des Einflusses eines Bauteils auf die Standsicherheit des Bauwerks in der frühen Planungsphase anwendbar sind. Wir verwenden dabei die Einteilung von Bauwerken in Robustheitsklassen aus der VDI-Richtlinie 6200 „Standsicherheit von Bauwerken“ an (siehe Tabelle 1), welche entsprechende Hinweise hinsichtlich der Fehleranfälligkeit in Abhängigkeit von Tragsystemen und Nutzungen gibt. Ein Ziel dieses Projektes wird es sein, aus den vorhandenen Beispielen und Fallstudien aus der Praxis, statische Eigenschaften von Tragwerken zu definieren, die ihre Robustheit bzw. ihrer Tragsysteme festlegen.

Robustheitsklasse	Bauwerk/Nutzung	Beispielhafte Tragwerke
RC 1	<p>Statisch bestimmte Systeme ohne Tragreserven</p> <p>Fertigteilkonstruktionen ohne nachträgliche redundante Verbindungen</p> <p>Imperfektionsempfindliche Systeme</p> <p>Tragwerke mit spröde-elastischem und sprödem Verformungsverhalten</p>	<p>Einfeldträger</p> <p>Stützenstabilisierte Hallentragwerke ohne Kopplungen</p> <p>Schlanke Schalentragwerke</p> <p>Tragwerke aus Glas oder Gussbauteilen</p>
RC 2	<p>Statisch unbestimmte Konstruktionen mit Systemreserven</p> <p>Elastisch-plastisches Tragverhalten</p>	<p>Durchlaufträger</p> <p>Eingeschossige Rahmenkonstruktionen</p> <p>Stahlkonstruktionen</p>
RC 3	<p>Konstruktion mit großer Systemredundanz</p> <p>Tragwerksverhalten und/oder Kon-</p>	<p>Mehrgeschossige Rahmenkonstruktionen</p> <p>Vielfach statisch unbestimmte Systeme</p>

	strukturen mit großen plastischen Reserven Fehlerunempfindliche Systeme	me Seilverspannte Konstruktionen Überschüttete Bogentragwerke
RC 4	Tragwerke, bei denen alternative berücksichtigte Gefährdungsszenarien und Versagensanalysen ausreichende Robustheit zeigen	Bemessung für Stützensausfall Bemessung auf Lastfall Flugzeugabsturz

Tabelle 1: Robustheitsklassen (Robustness Classes) für Bauwerke aus VDI Richtlinie 6200

Eine fehlende Bewertung der Bedeutung einzelner Tragglieder und –systeme in Bezug auf die Standsicherheit schlägt heutzutage umso mehr ins Gewicht, da die Komplexität der Bauwerke zunimmt und häufig nur noch durch Nachweisverfahren an 3-dimensionalen Berechnungsmodellen erschlagen bzw. durch die bautechnische Prüfung wichtiger Bauteile sichergestellt werden kann. In Verbindung mit der neuen Normengeneration, die von praktizierenden Ingenieuren im Alltag nicht mehr zu bewältigen ist [Ste08], ist der vorherrschenden Computergläubigkeit bzw. –abhängigkeit, durch ein geeignetes Instrument, wie sie die Tragwerk-FMEA darstellt, entgegenzuwirken. Weyer geht sogar soweit [Wey04], dass er unter anderem folgende ingenieurmäßige intuitive Arbeitsschritte aus seiner Berufserfahrung nennt, um die Sicherheit von Bauwerken zu gewährleisten:

- Entwurf risikoarmer Tragwerkskonzepte,
- Zutreffende Abbildung der Konzepte auf übersichtliche statische Systeme,
- Überprüfung elektronischer Berechnungen durch alternative anschauliche Verfahren der Baustatik,
- Unabhängige Überprüfung der oben genannten Punkte durch einen kompetenten Prüfingenieur.

Dabei fällt auf, dass all die o. g. Punkte auf eine qualitative Beurteilung des geplanten Tragwerkes abzielen, die nicht in direktem Zusammenhang mit dem quantitativen Berechnungsmodell und Nachweisformaten stehen. Diesen Gedankengang wollen wir in unserem Projekt aufgreifen, wobei wir die Begriffe „risikoarm“ und „zutreffende Abbildung“ genauer festlegen werden. Letzter Punkt stellt dabei die unabhängige Überprüfung als wesentlichen Punkt bei der präventiven QS heraus. Das 4-Augen Prinzip wird ebenso explizit in der DIN 1055-100 gefordert, da die Sicherheitsbeiwerte keine Planungs- und Berechnungsfehler bzw. Abbildungsfehler zwischen Konzept und Modell abdecken, welche laut Schneider einen Großteil von Schäden verursachen [Sne07].

Den Umfang der QS festzulegen, obliegt dabei den verantwortlich handelnden Personen. Er sollte in Abhängigkeit der Konsequenzklassen der DIN EN 1990 und der Honorarklassen der HOAI festgelegt werden. [AuD07] führen hierzu die so genannte Gefährdungsklasse ein, die für den Schwierigkeitsgrad (Komplexität des geplanten Bauwerks mit seinem Lastabtrag und der erforderlichen Berechnung) und für das vorhandene Risiko bei Tragwerksversagen in Form des auftretenden Schadens steht. Somit sollte der Umfang der durchgeführten QS mit der Komplexität des Lastabtrages und seiner Berechnung sowie dem Schadensrisiko ansteigen. In Tabelle 2 werden Gebäudetypen und beispielhafte Bauwerke den Konsequenzklassen zugeordnet, die für das vorhandene globale Risiko (Risiko = A x F mit F = Schadensfolge) stehen.

Schadensfolge- klassen	Merkmale	Gebäudetypen und exponierte Bau- teile	Beispielhafte Bauwerke
CC 3	Hohe Folgen (Schäden an Le- ben und Gesund- heit für sehr viele Menschen, große Umweltschäden)	Insbesondere: Versammlungsstätten für mehr als 5000 Personen	Stadien, Kongresshallen, Mehrzweck- arenen
CC 2	Mittlere Folgen (Schäden an Le- ben und Gesund- heit für viele Men- schen, spürbare Umweltschäden)	Bauliche Anlagen über 60 m Höhe  Gebäude und -teile mit Stützweiten größer 12 m und/oder Auskragungen größer 6 m sowie großflächige Über- dachungen  Exponierte Bauteile von Gebäuden, soweit sie ein besonderes Gefahren- potenzial beinhalten	Hochhäuser, Fernsehtürme  Bürogebäude, Industrie- und Gewer- bebauten, Kraftwerke, Produktions- stätten, Bahnhofs- und Flughafenge- bäude, Hallenbäder, Einkaufsmärkte, Museen, Krankenhäuser, Kinos, Thea- ter, Schulen, Diskotheken, Sporthallen aller Art  Große Vordächer, angehängte Balko- ne, vorgehängte Fassaden, Kuppeln
CC 1	Geringe Folgen (Sach- und Ver- mögensschäden, geringe Umwelt- schäden, Risiken für einzelne Men- schen)	Robuste und erfahrungsgemäß unkri- tische Bauwerke mit Stützweiten klei- ner 6 m  Gebäude mit nur vorübergehendem Aufenthalt einzelner Personen	Ein- und Mehrfamilienhäuser  Landwirtschaftlich genutzte Gebäude

Tabelle 2: Schadensfolgeklassen für Bauwerke mit Beispielen (nicht vollständig) aus DIN EN 1990

Dieser Ansatz sollte um das systematische Vorgehen der Tragwerk-FMEA [And04] sowie die Festlegung von risikobehafteten Traggliedern ergänzt werden. Dabei sollte auch wenn nur heuristisch die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadens infolge eines Fehlers und die Einstufung eines Tragwerkes in seine Robustheitsklasse Berücksichtigung finden.

## 2 Skizze – Tragwerk-FMEA

Die systematische QS sollte so früh wie möglich in den bestehenden Planungsprozess mit Tragwerksplaner und Prüferingenieur integriert werden, um wichtigen Fehler zu entdecken und die Risiken, im schlimmsten Fall Personenschäden, so gering wie möglich zu halten. Bild 2 stellt anhand der sogenannten 10-Regel [DQM04] die Zusammenhänge für die TP dar, wobei die bautechnische Prüfung und Bauüberwachung im Sinne einer präventiven Qualitätssicherung zu bewerten ist. In diesem Forschungsprojekt liegt der Schwerpunkt auf der System-FMEA, die nach der Leistungsphase 2 und 3 durchgeführt werden kann und dazu dient, kritische Bauteile zu identifizieren und Maßnahmen für den Planungs- und Ausführungsprozess festzulegen, um Fehler an diesen zu vermeiden.

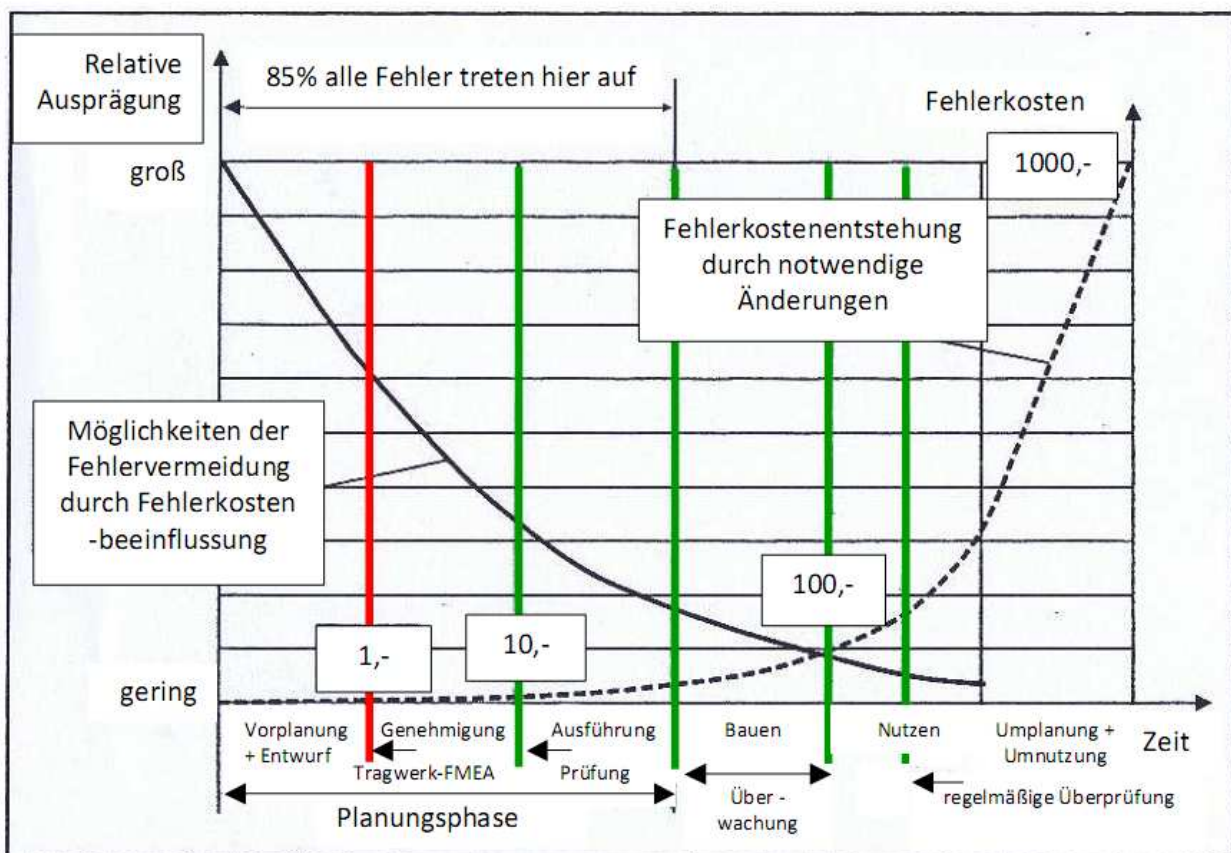


Bild 2: Aufwandsvergleich der Fehlerbehebung in verschiedenen Lebensdauerphasen

Hervorzuheben ist, dass die bautechnische Prüfung systematisch als eine Art Risikobetrachtung durchgeführt werden sollte. Dadurch ist eine transparente, selektive und risikobezogene Prüfung erst möglich, die über die Kontrolle von statischen Berechnungen – häufig durch unabhängige Vergleichsrechnungen, die zur gleichen Informationsflut beim Kontrollierenden führen, hinausgeht.

Fehlerfreiheit und Nachvollziehbarkeit entsteht bei der QS durch ein systematisches Vorgehen sowie eine genormte Dokumentation der Ergebnisse. Bei der Tragwerk-FMEA sind folgende Schritte dafür abzuarbeiten, deren Abhängigkeiten in Bild 3 dargestellt sind.

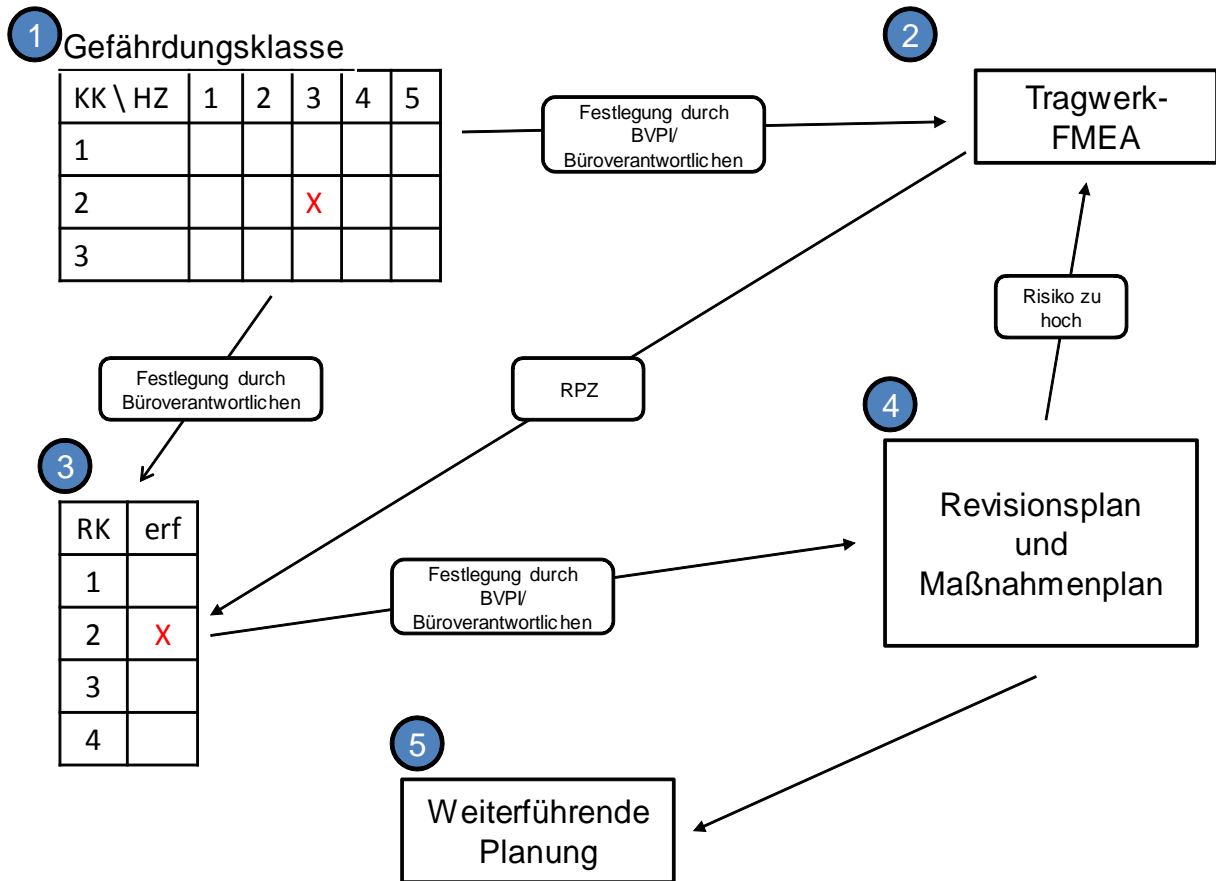


Bild 3: Grundsätzliches Vorgehen bei der Tragwerk-FMEA

1. Festlegen des erforderlichen Umfangs der Tragwerk-FMEA anhand der vorhandenen Konsequenzklasse und Honorarzone,
2. Durchführung der Tragwerk-FMEA zur qualitativen Bestimmung des globalen Risikos in Abhängigkeit von vorhandenen Risiken ( $B \times A \times E$ ) auf Traggliederebene,
3. Einstufung in eine erforderliche Robustheitsklasse (RK) in Abhängigkeit des vorhandenen Risikos,
4. Festlegen von Maßnahmen (M) zur Risikoreduzierung, die entweder korrektiv zur Änderung am Tragkonzept (Revisionsplan) oder präventiv zur Fehlervermeidung (Maßnahmenplan) im weiteren Prozessablauf benutzt werden,
5. Beginnen bei Schritt 2 bei Revision des Tragkonzeptes,
6. Weiterführung in abfolgenden Planungsphasen soweit Tragkonzept oder Maßnahmen geändert werden.

Die Schritte 1.-4. werden Inhalt der Richtlinie „Tragwerk-FMEA“ sein. Dabei kann die bautechnische Prüfung und Bauüberwachung als Fehlervermeidungsmaßnahme gedeutet werden. Ihre Umfänge richten sich nach dem Ergebnis der Tragwerk-FMEA aus, genauso wie der Umfang und die Regelmäßigkeit der Überprüfung des Bauwerks. Schritt 2 sollte außerdem nach der Vor- und Entwurfsplanung durchgeführt werden und als Ergebnis in einer Dokumentation mit Revisions-

und Maßnahmenplan münden, da ab der Genehmigungsplanung die wesentliche Arbeit der Nachweisführung anfällt, und weitere Fehler vermieden werden sollten. Das Forschungsprojekt beschränkt sich auf die oben genannten Schritte, an die eine weiterführende Qualitätssicherung, ähnlich wie in anderen Industrien anschließen kann [DQM04]. Schwerpunkt dieser Forschung ist die Entwicklung der Tragwerk-FMEA. Sie modifiziert die System-FMEA für die Anforderungen aus dem Bauwesen, bei dem Bauwerke als Unikate und nicht als seriell gefertigte Produkte hergestellt werden. Wir werden in diesem Forschungsprojekt nur Risiken für die Standsicherheit, d.h. Tragfähigkeit einzelner Bauteile und Tragsysteme sowie große Verformungen betrachten, da die meisten größeren Schäden aus Planungsfehlern bei den o. g. Punkten resultieren.

### 3 System-FMEA auf Basis eines Modells

Die Vorteile der Anwendung der System-FMEA liegen in der frühzeitigen Erkennung und Vermeidung von Planungsfehlern sowie der frühen Durchführung notwendiger Änderungen. Beides ist für die Robustheit und Zuverlässigkeit maßgebend, da gerade kritische Stellen durch ein methodisches Vorgehen herausgefunden werden und gegebenenfalls modifiziert werden können bzw. durch geeignete Maßnahmen ihr zuverlässiges Funktionieren sichergestellt werden kann. Die FMEA ist als Methode zur präventiven Fehlervermeidung genormt [DIN06] und besitzt einen hohen Verbreitungsgrad in unterschiedlichen Industriebereichen, im Besonderen im Maschinenbau und der Automobilindustrie, wo sie seit Jahren erfolgreich angewendet wird [DQM04]. Ziel der FMEA ist die qualitative Untersuchung von Systemelementen (SE) auf Fehlerarten (FA) und deren Auswirkungen auf das übergeordnete System als Fehlerfolgen (FF) sowie das Auffinden ihrer Fehlerursachen (FU). Es handelt sich also um eine induktive Methode, bei der durch Betrachtungen von SE auf FF übergeordneter Systeme geschlossen wird [Ber04]. Als Ergebnis erhält man ein qualitatives Maß des Risikos, welches sich anhand der Multiplikation der Einzelrisiken auf Bauteilebene ergibt, den sogenannten Risikoprioritätszahlen (RPZ). Maßnahmen dienen dann im folgenden dafür, bei hohen RPZ das Risiko zu reduzieren, solange ein akzeptables Risiko vorhanden ist.

Bei der FMEA wirken verschiedene Personen mit, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Als Grundlage für die Durchführung einer FMEA sowie die Erfassung von FA dienen verschiedene Informationen, wie zum Beispiel Lastenhefte, Zeichnungen, Fehlerkataloge, Schadensstatistiken und Normen. Eine konkrete FMEA umfasst in Abhängigkeit der Zieldefinition, welche den Umfang sowie die Randbedingungen beschreibt, folgende Arbeitsschritte:

1. Strukturbeschreibung: Auflistung aller SE und deren Schnittstellen sowie deren Synthese zu Teilsystemen und dem betrachteten Gesamtsystem.
2. Funktionsanalyse: Bestimmung der Abhängigkeiten zwischen den SE in Form eines Funktionsnetzes für ein- und ausgehende Zustandsgrößen und Erstellung von Funktionsbäumen für übergeordnete Teilsysteme (Bild 4 verdeutlicht für ein SE die Zusammenhänge).
3. Fehleranalyse: Bestimmung der FU – z. Bsp. Material, unzulässige Belastung, falsche Auslegung, zu geringe Kontrolle - und der FF für jede potentielle FA sowie die Auswertung der daraus resultierenden FF auf das übergeordnete Teilsystem bzw. das Gesamtsystem.
4. Risikobewertung: Berechnung des Risikos über die Risikoprioritätszahl  $RPZ = B \times A \times E$  nach Bedeutung (B) der FF, Auftretenswahrscheinlichkeit (A) der FU und gegebener Entdeckungswahrscheinlichkeit (E) der FU und FA.
5. Optimierung: Verringerung des Risikos durch mögliche Maßnahmen zur Reduzierung der A oder FF, was zur Revision des Systementwurfes führen kann.

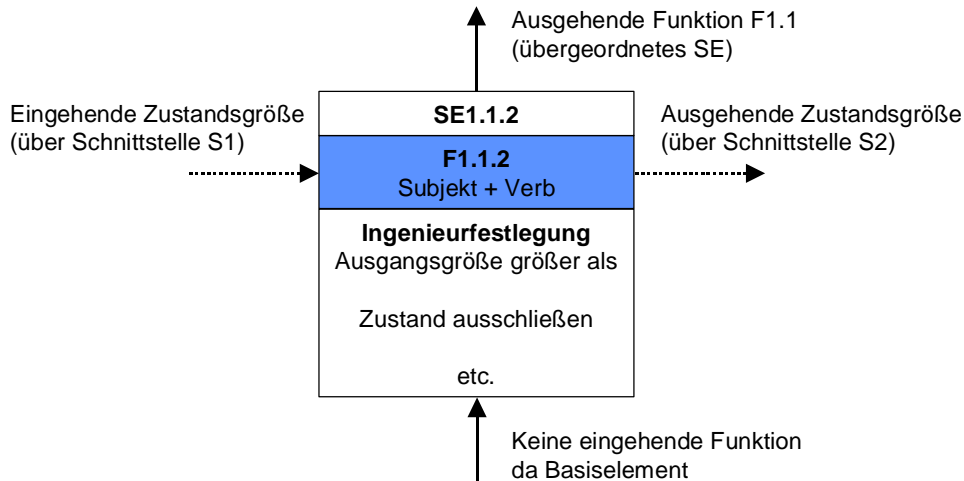


Bild 4: Funktionsbeschreibung für SE

Die obigen Arbeitsschritte werden solange durchlaufen, bis eine vorher festgelegte Risikogrenze für RPZ nicht mehr überschritten wird. Das Ergebnis wird in standardisierten Formblättern erfasst, in denen Maßnahmen, Verantwortliche und erstellte Dokumentationen festgehalten werden. Dokumentationen umfassen Ziele der FMEA, Übersicht der Systemstruktur, Funktionsnetze und –bäume, Teammitglieder sowie die Bewertungskataloge für B, A und E [EuS08].

Es existieren computergestützte Werkzeuge für diesen Prozess. Die derzeit verwendeten erfüllen im wesentlichen die Funktion von Editoren zum Erfassen der Analyseergebnisse und automatisieren lediglich deren Strukturierung. Der Kern der Aufgabe, die Ableitung der Auswirkungen von Komponentenfehlern, liegt weiter damit bei den menschlichen Experten und ist somit trotz dieser Unterstützung aufwändig und sehr zeitintensiv, da die eigentliche Analyse von Fachleuten händisch und (zumindest in der Theorie) bei Entwurfsänderungen erneut durchzuführen ist. Die Art des Schlussfolgerns ist jedoch wiederholend, aber schwierig für Experten, da diese Abhängigkeiten zwischen FA, FU und FF auf verschiedenen Hierarchieebenen des Systems gleichzeitig berücksichtigen müssen. Mit Verfahren des modellbasierten Schließens [Str08] eröffnet sich die Möglichkeit der Unterstützung und Automatisierung auch dieses Kerns. Im EU-Verbundprojekt AUTAS wurde von Firmen der Luftfahrtindustrie, sowie Software-Anbietern und Forschungseinrichtungen ein generisches Werkzeug für die modellbasierte Erzeugung von FMEA-Tabellen entwickelt [PCB04]. Für die Tragwerksplanung sind diese erarbeiteten Werkzeuge jedoch nur bedingt geeignet, da es sich bei Bauwerken um Unikate handelt und die Bestimmung von Fehlerfolgen entlang des Lastabtrages nicht-trivial ist und zum Teil auf Basis numerischer Berechnungspakete durchgeführt wird.

Wesentlich ist das Prinzip der kompositionellen Modellierung: eine Modellbibliothek umfasst Modelle von elementaren mechanischen Komponenten (für Normal- und Fehlverhalten). Hieraus wird auf der Grundlage einer Beschreibung der Systemstruktur (für jeden möglichen Komponentenfehler) ein Modell des Gesamtsystems automatisch generiert. Auf der Basis dieses Verhaltensmodells wird durch einen generischen (d.h. system- und sogar gebietsunabhängigen) Algorithmus automatisch ermittelt, ob der angenommene Komponentenfehler bestimmte vordefinierte Effekte nach sich zieht (siehe Bild 5). Dies geschieht ggf. für verschiedene angenommene Szenarien (charakterisiert durch exogene Größen und interne Zustände).

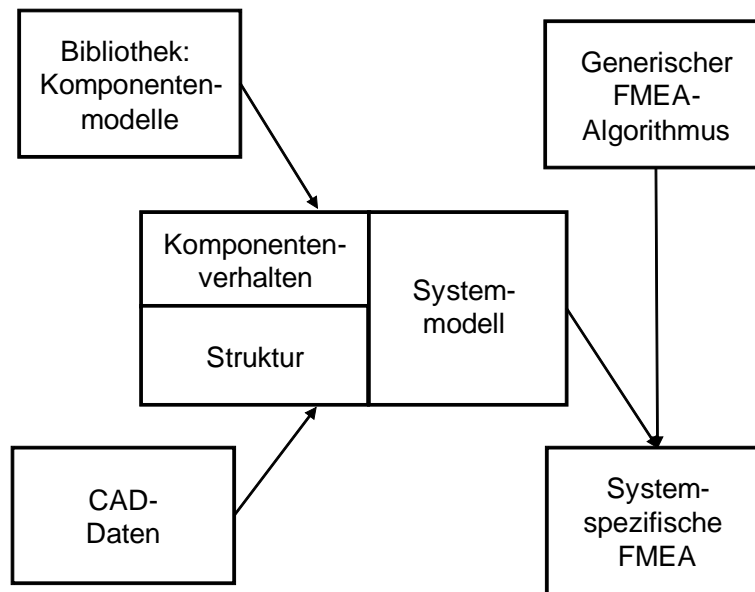


Bild 5: qualitativer Berechnungsvorgang

Aus logischer Sicht entspricht dies der Prüfung, ob das Modell und die Szenariobeschreibung einen Effekt impliziert („Effekt tritt definitiv ein“), inkonsistent mit ihm sind („Effekt trifft definitiv nicht ein“) oder keines von beidem gilt („Effekt tritt möglicherweise ein“).

Eine Repräsentation durch eine endliche Relation ist oft möglich, weil die Aufgabe FMEA sowohl im Hinblick auf die Fehler als auch die Effekte nicht an numerischen, sondern nur an qualitativen Unterscheidungen interessiert ist (z.B. im Bereich der Luftfahrtindustrie „Pumpe liefert verringerten Druck“, „Fahrgestell fährt nicht aus“) und die Modelle daher nur eine endliche Menge von Fällen beschreiben („Abweichung des Drucks  $\Delta p \in \{-, 0, +\}$ “). Oft basiert die Analyse dann auf der Fortpflanzung solcher qualitativer Abweichungen im Systemmodell.

Das Projekt Tragwerk-FMEA zielt darauf, diesen Ansatz in modifizierter Form auf Strukturen zu übertragen:

- Die Systemkomponenten sind die Elemente und Verbindungen, d.h. Stützen, Wände, Deckenunterzüge etc. und die zugehörigen Anschlüsse.
- Die Strukturbeschreibung eines konkreten Tragwerks ergibt sich aus den verwendeten Elementen und ihren Anschlüssen.
- Die Verhaltensmodelle der Elemente in der Bibliothek beschreiben den Lastabtrag.
- Fehler sind z.B. Abweichungen in der Steifigkeit von Elementen.
- Effekte sind Überlastungen, unzulässige Verformungen etc., d.h. bestimmt durch gewisse Schwellwerte.
- Szenarien könne durch unterschiedliche Lasten oder Lastverteilungen gegeben sein.

Im Unterschied zur rein qualitativen Analyse, z.B. in AUTAS, kann bei Tragwerken jedoch eine (numerische) Neuberechnung von Teilstrukturen durch ein FE-Modell nötig sein, dessen Resultat wieder in den FMEA-Prozess eingespeist und qualitativ ausgewertet werden muss. Dabei ist der erforderliche Mehraufwand durch sinnvolle Integration des Frameworks in den Planungsalltag und der vorliegenden Daten- bzw. Informationsquellen so gering wie möglich zu halten. Wie das Framework in den Planungsprozess integriert wird, wird im letzten Kapitel erläutert.

## 4 Problemstellung – Ist-Zustand

Um den Ist-Zustand bei der Qualitätssicherung im Zusammenhang mit der Tragwerksplanung einzugrenzen sowie den Bedarf für neue Werkzeuge und Hilfsmittel in der Praxis festzustellen, wurde mit Unterstützung des Internationalen Zentrums für Hochschulforschung der Universität Kassel (INCHER) im April und Mai 2009 eine Online-Umfrage bei Prüfsingenieuren und Tragwerksplanern durchgeführt.

Die Einladung an der Befragung teilzunehmen, wurde per E-Mail an etwa 150 im VDI-Nordhessen organisierte Bauingenieure und an die 650 Mitglieder des Verbandes der Prüfsingenieure (vpi) verschickt. Insgesamt 109 Prüfsingenieure nutzten den Link mit dem zugehörigen Passwort, um die Online-Befragung aufzurufen. Allerdings füllten nur 49 Teilnehmer ihren Fragebogen vollständig aus. Der Rücklauf aus dem Kreis des VDI war zu gering, um daraus eine sinnvolle Auswertung aufzubauen. Die vergleichsweise geringe Rücklaufquote lässt darauf schließen, dass bei den direkt Befragten eine vergleichsweise geringe Bereitschaft besteht, an einer Studie zur Qualitätssicherung teilzunehmen. Bei den 49 Teilnehmern, die den Fragebogen vollständig ausgefüllt hatten, zeigten insbesondere die Einträge in den „freien Feldern“ der Befragung ein hohes Interesse und eine gute Sachkompetenz.

In den Bildern A-1 bis A-3 sind die Antworten auf die Eingangsfragen zur regionalen Herkunft, zum Lebensalter und zur Bürostruktur ausgewertet.

Der Fragenkatalog zu den Erfahrungen bei der bautechnischen Prüfung wurde zwischen „Fehlern“ und „schwerwiegenden Fehlern“ unterschieden. In den Bildern A-4 und A-5 sind die Häufigkeitsverteilungen unterschiedlicher Fehlerarten dokumentiert. Außerhalb der vorgegebenen Fehlerarten wurden mehrfach folgende Fehler benannt:

- Übertragungsfehler, Schnittstellen,
- „blinde Programmanwendung“,
- Modellbildung, statische Systeme,
- Nicht ausführbare Anschlüsse (einschl. Bewehrung).

In den Bildern A-6 und A-7 werden die unterschiedlichen Fehlerarten hinsichtlich der Häufigkeit der Nennung gewichtet. „Spitzenreiter“ bei den „Fehlern“ und bei den „schwerwiegenden Fehlern“ ist die „Tragsicherheit von Anschlüssen zwischen Bauteilen“.

Weit vorne liegt auch bei beiden Fehlerkategorien die „räumliche Aussteifung“. Bei den „normalen“ Fehlern gibt es dann so etwas wie eine „Mittelgruppe“ mit „Gebrauchstauglichkeit“, „Lastannahmen“, „Schnittgrößen“, „Lastabtrag“ und „Tragsicherheit von Tragelementen“. Bei den schwerwiegenden Fehlern finden sich in der Mittelgruppe „Bauzustände“, „Gebrauchstauglichkeit“, „Tragsicherheit von Tragelementen“, „Gründung“ sowie „Lastabtrag“.

Die Häufigkeit unterschiedlicher Fehler bei den Konstruktionszeichnungen ist in den Bildern A-8 und A-9 dokumentiert. Die Einschätzung (Bild A-10), dass die häufigsten schwerwiegenden Fehler bei der Genehmigungs- und bei der Ausführungsplanung auftreten, kann auch dahingehend interpretiert werden, dass die schwerwiegenden Fehler in dieser Leistungsphase entdeckt wer-

den. Diese Deutung wird durch Bild A-11 gestützt. Dort wird dokumentiert, dass der präventiven Fehlervermeidung schon bei der Entwurfsplanung eine große Rolle zukommt.

Wie die einzelnen Prüfindgenieure bei der bautechnischen Prüfung vorgehen ist in Bild A-12 dokumentiert. Man kann aus den Antworten schlussfolgern, dass eine gute Intuition des Prüfindgenieurs und seines Sachbearbeiters eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche bautechnische Prüfung ist. Als Stichworte zum Vorgehen werden u.a. genannt:

- Checklisten, QM-System
- Ablaufschema, schriftlich formulierte Arbeitsanweisung
- Gesamtdurchsicht der Unterlagen, Lastabtrag
- Regelmäßige Gespräche zwischen Sachbearbeiter und Vorgesetztem
- Prüfung nur durch erfahrene Ingenieure

Zusammenfassend kann man folgendes aus der Umfrage hinsichtlich der durchgeführten Qualitätssicherung in der Praxis feststellen:

- knapp 30% ermitteln kritische Stellen und Robustheit intuitiv,
- ca. 50% überprüfen Berechnungsergebnisse per Hand,
- ca. 23% bzw. 30% sind für eine QS nach LP 3 bzw. 4,
- ca. 33% sehen Büropräsentation des Konzeptes als präventive QS an.

Die Antworten auf die Fragen zum Vorgehen bei der Tragwerksplanung (Bilder A-13 bis A-16) legen den Schluss nahe, dass die meisten Ingenieure noch sehr stark mit den traditionellen Verfahren verhaftet sind (Handrechnung versus 3-D-Gesamtmodell) und dass hinsichtlich der Dokumentation des Planungsprozesses unterschiedliche Standards vorhanden sind, die sehr wahrscheinlich von den Traditionen und Erfahrungen der jeweiligen Büros geprägt sind. Zu den Themen kritische Stellen und Robustheit des Tragwerks werden folgende Stichworte genannt:

- Kenntnis der häufigsten Fehler, Erfahrung
- Redundanz, Umlagerung, stat. Bestimmtheit bzw. Unbestimmtheit
- Ausnutzungsgrad von Bauteilen

Auch bei der bürointernen Qualitätssicherung dominiert das intuitive Vorgehen (Intuition gegenüber standardisiertem Vorgehen, siehe Bilder A-17 und A-18).

Eine besondere Bedeutung bei der internen Prüfung wird dem Lastabtrag und der Detailausbildung (Bild A-18) zugewiesen. Dies steht in einem logischen Zusammenhang mit den häufigsten Fehlerkategorien (Bild A-6 und A-7). Stichworte sind hier:

- Ingenieurverstand, Vergleichsobjekte
- Plausibilitätskontrollen
- Handrechnung, Lasteinzugsflächen

Die Antworten auf die Frage, wie sich Fehler im Planungsprozess am besten vermeiden lassen, beziehen sich überwiegend auf organisatorische Belange:

- Frühzeitige Abstimmung zwischen Architekt und Statiker
- mehr und vor allem frühere Dialogbereitschaft der Architekten

- reger Informationsaustausch in jeder Leistungsphase zwischen allen Planungsbeteiligten und dem Bauherrn
- Regelmäßige Projektgespräche mit den Mitarbeitern
- kein Zeitdruck bei der Berechnung- vernünftige Planungsunterlagen
- Einhaltung der Abläufe nach dem Muster der HOAI, die einen guten "Fahrplan" vorgibt
- auskömmliches Honorar, leistungsgerechte Honorierung
- Durchgängige Planung vom Tragwerksentwurf bis zur Ausführungsplanung aus einem Büro
- brauchbare Kommentare und Beispielsammlungen zu den Normen, anwendbare Normen
- in dem man sorgfätig arbeitet
- auf keinen Fall mit digitalen 3-D-Modellen, die extrem unübersichtlich sind
- Leistungsphasen abschließen, bei Planungsänderungen die Leistungsphasen wiederholen und entsprechend honorieren
- Weiterbildung, qualifizierte Mitarbeiter, interne Überwachung und Kontrolle der Mitarbeiter durch Vorgesetzten oder das Team
- Vorab Gesamtsystem und Lastabtrag überdenken, System- und Detailskizzen von Hand, Durchsprache wichtiger Punkte mit Kollegen, Vermerk aller wichtigen Punkte in der Statik für die Ausführungsplanung, Zeichnung wichtiger Detailpunkte in der Ausführungsplänen, Durchsicht der Statik und der Zeichnungen durch Kollegen,
- ungestörtes Arbeiten
- Erfahrung - Verständnis der mechanischen Prinzipien, DIN-Normen nicht als Dogma, sondern notwendigen Rahmen verstehen. Blindes Anwenden der DIN-Normen vermeiden. Rigoroses Kürzen der DIN-Normen. Forschung zum Aufstellen praxistgerechter Anleitungen nutzen und nicht wie heutzutage für die Aufstellung neuer (vielfach überflüssiger) Regelungen insbesondere europäischer Normen.
- Straffung und Vereinfachung unserer Normenwerke bei Beibehaltung der Sicherheitslevels

Dass in der Abschlussfrage nach der größten Arbeitsbelastung für den Tragwerksplaner mit Abstand am häufigsten eine „Unterstützung bei der Nutzung der mannigfaltigen DIN-Normen“ gewünscht wird, kann auch dahingehend interpretiert werden, dass die Anwendung der DIN-Normen derzeit unangemessen viel Zeit in Anspruch nimmt. Zeit, die man sowohl bei der Tragwerksplanung als auch bei der bautechnischen Prüfung besser und mit größerem Nutzen für Tragwerkskonzepte und Details einbringen sollte.

Vergleicht man die Umfrageergebnisse mit den Erhebungen von Scheer [Sch00] über Ursachen von Bauwerkseinstürzen, so ist zu erwähnen, dass ein Großteil der Ursachen deckungsgleich mit unseren Umfrageergebnissen ist. Entwurfs- und Konstruktionsfehler sowie Ausführungsfehler bei der Montage sind dabei die Hauptfehlerquellen (ca. 45% von allen Ursachen), die einer präventiven Vermeidung zugänglich sind. Einstürze infolge außergewöhnlicher wetterabhängiger Lasten dagegen werden selbst durch ein ausgefeiltes QS-System nicht vermeidbar sein. Einen Hauptgrund für Montagefehler ist nach Scheer in der fehlenden Kommunikation zwischen Planer und Ausführendem zu sehen, wodurch der Entwurf mit seinem Lastabtrag sowie sensitiven Stellen dem Ausführenden nur bedingt verständlich hinsichtlich des Lastflusses erscheint. Dieser Umstand nimmt umso stärker zu, je mehr Analyse- und Bemessungsprogramme Einzug in die Trag-

werksplanung halten und dadurch ein schlechter von einem guten Entwurf nur noch sehr schwierig zu unterscheiden ist, da es keine allgemeingültigen Bewertungen über Robustheit und Sensitivität hinsichtlich von Imperfektionen gibt. Als wichtigen Aspekt zur Vermeidung von Tragwerksversagen nennt Scheer eine offene Kritik über Tragwerke, um aus aufgetretenen Fehlern zu lernen. Dies deckt sich mit der Zielsetzung des Forschungsvorhabens, das die FMEA-Sitzung als bürointerne Kritik am Entwurf ansieht, bei der alle an der Planung beteiligten Personen auf die oben genannten Punkte wie kritische Bauteile, vorhandenen Lastfluss aufmerksam gemacht werden.

## 5 Zielspezifikation

Die Tragwerk-FMEA wird wie oben erwähnt nach der LP 3 und vor der LP 4 durchgeführt. Dabei greift sie auf die vorhandenen Daten und Dokumente des Projektes zurück. Folgende Informationen sind in Abhängigkeit des Büros vorhanden:

- a) Technischer Bericht über Vorplanung,
- b) Handskizzen,
- c) Linien- und punktbasierte Grundrisse in dwg- oder dxf Format mit Bauteilen auf verschiedenen Layern,
- d) Datensätze der selektiv berechneter Positionen, gegebenfalls als 3D-Modell, des Tragkonzeptes (auch FEM),
- e) Bauwerksmodelle in ifc-Format mit geomtrischen Informationen.

Aus diesen Informationen muss das statische Konzept manuell oder automatisch abgeleitet werden, wobei fehlende Informationen über den Lastabtrag ergänzt werden müssen. Selbiges gilt für die Beschreibung der statischen Systeme, die nur im Kopf des Ingenieurs oder in den berechneten Positionen implizit abgespeichert sind. Aus diesem Sachverhalt leitet sich der erste Werkzeugbedarf ab:

### 1. Erstellung eines elektronischen Tragkonzeptes (Struktur mit globalem Lastabtrag) durch entwerfenden Ingenieur (Schritt 1 und 2 der FMEA):

- a) und b) = Graphenbasierter Editor bzw. Tool zur Eingabe des Tragkonzeptes,
- c) = Aufsatz für Zeichenprogramme zum automatischen Ableiten des Konzeptes,
- d) = Add-on zum Mappen von Positionsdaten auf das ifc-Format,
- e) = Add-on für BIM-Software zur Vervollständigung des Tragkonzeptes aus dem Bauwerksmodell,

Im Forschungsprojekt werden a) und b) durch die Entwicklung geeigneter Tools abgedeckt, da dies die vorherrschende Praxis darstellt. Über eine Schnittstelle, die das Tragkonzept und die statischen Systeme als ifc-Modell beschreibt, können dann die Daten für das Werkzeug bei der Teamsitzung genutzt werden. Diese kann damit auch von BIM-Software für den Fall e) benutzt werden, insofern diese Software die erforderlichen Daten liefert. Selbiges gilt für Berechnungssoftware.

### 2. Durchführung einer Team-Sitzung (Schritt 3 und 4 der FMEA):

Da dieser Schritt bisher nur sehr unterschiedlich in den Büros anhand von Checklisten und brainstorming sessions oder gar nicht durchgeführt wird, kann im Projekt nur bedingt auf vorhandene Information über Fehlerkataloge, Auftretenswahrscheinlichkeiten, etc. zurückgegriffen werden. Daher sind hier diverse Werkzeuge für die Team-Sitzung sowie für die Erstellung von Bauteilbibliotheken mit Fehlerkatalogen, etc. zu entwickeln. Zur Durchführung der Fehleranalyse und Bestimmung der RPZ's wird ein interaktiver 3D-viewer implementiert, der das Festlegen von Fehlern und die visuelle Verfolgung seiner Konsequenzen auf die übrige Struktur erlaubt. Das automatische Ableiten der Fehlerfolgen auf Modellebene erfordert die Integration

des qualitativen Schlussfolgerns mit numerischen Berechnungen mit Hilfe von Einflussfunktion [Har04], die aus den Berechnungsdatensätzen der Positionen gewonnen werden. Hierfür wird ein Algorithmus entwickelt, der eine konsistent und vollständig Fehlerpropagierung auf verschiedenen Hierarchieebenen sicherstellt. Der Datenaustausch erfolgt über eine Standard-Tabellenformat.

2. Dokumentation der FMEA Ergebnisse (Nachlaufend der FMEA):

Die automatisch erstellten FMEA-Formblätter können danach in einem Tabellenkalkulationsprogramm bearbeitet werden. Zur bauteil- bzw. systembezogenen Visualisierung soll abschließend eine Annotation des Tragkonzeptes mit den Formblättern erfolgen.

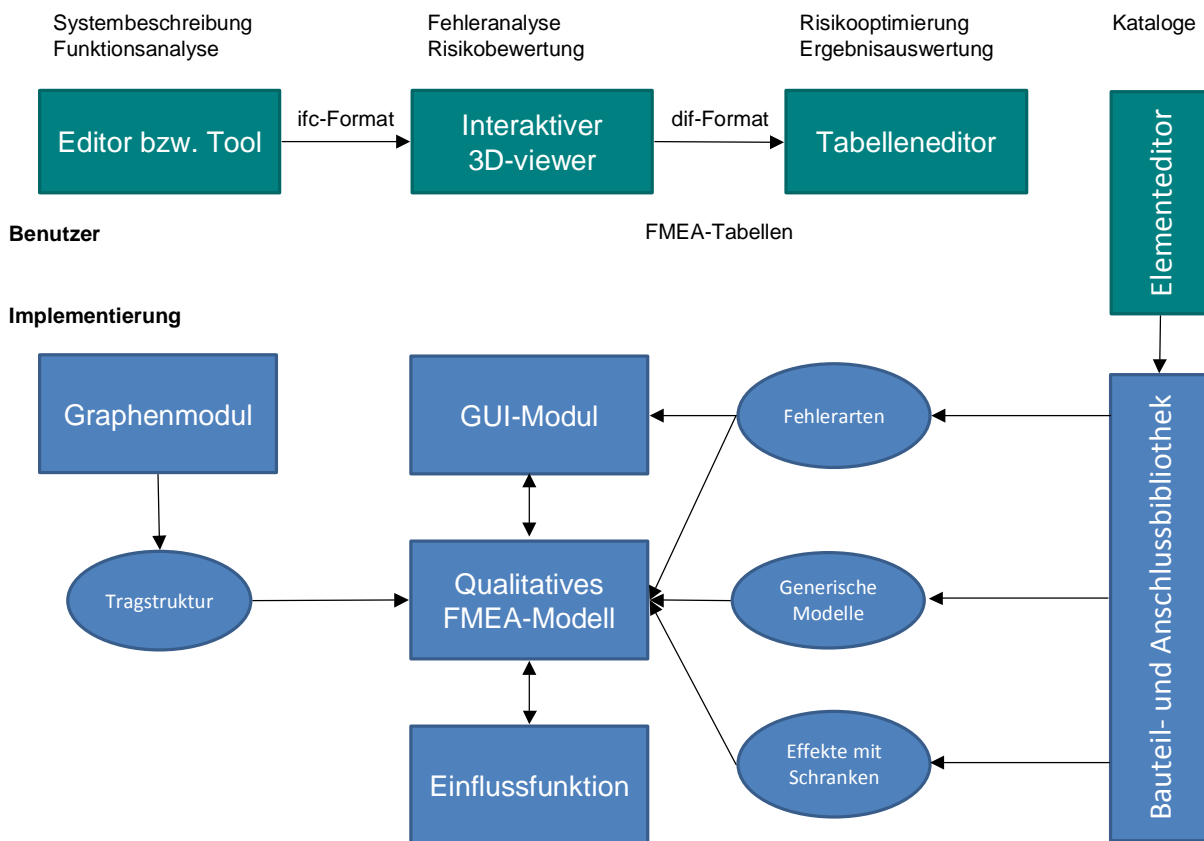


Bild 7: Werkzeuge für Tragwerk-FMEA mit Softwaremodulen

## Literaturverzeichnis

- [And04] Andrä, H.-P. *Der Prüflingenieur in Deutschland – ein Modell für die Europäische Union*. Fachzeitschrift: Der Prüflingenieur (2004), Nr. 15, S. 4-5
- [AuD07] Andrä, H., Dressel, B. *Uniform Concept for Structural Stability and Fire Protection* IABSE Symposium Weimer, 2007
- [Die08] Dietz J., *persönliche Kommunikation*, 2008
- [Ber04] Bertsche, B., Lechner, G. *Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau*. Springer Verlag, 2004
- [DIN01] *DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln*, 2001
- [DIN06] DIN EN 60812: *Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)*, Beuth Verlag, 2006
- [DQM04] Deutsche Gesellschaft für Qualität. *FMEA - Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse*. DGQ-Band 13-11, 3. Auflage, Beuth Verlag, 2004
- [Dre08] Dressel, B. *Die Rolle des Prüflingenieurs im System der vorbeugenden Gefahrenabwehr* Beitrag, 2008
- [EN19] *DIN EN 1990:2002: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*, 2002
- [ES08] Eisfeld, M., Struss, P. *Qualitätssicherung im konstruktiven Ingenieurbau*. Jahrbuch Bautechnik 2009, VDI-Verlag, 2008
- [Har04] Grätsch, T., Hartmann, F., Katz, C. *Einflussfunktionen und finite Elemente* Bauingenieur 11/2004, 2004
- [HOA01] *HOAI: Honorarordnung für Architekten und Ingenieure*, Werner Verlag, 2001
- [Nis07] NISTIR 7396 *Best Practice for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings* U.S. Department of Commerce, 2007
- [PCB04] C. Picardi, L. Console, F. Berger, J. Breeman, T. Kanakis, J. Moelands, S. Collas, E. Arbaretier, N. De Domenico, E. Girardelli, O. Dressler, P. Struss, B. Zilbermann: *AUTAS: a tool for supporting FMECA generation in aeronautic systems*. In: Valencia, Spain, pp. 750-754, 2004
- [Sch00] Scheer, J. *Versagen von Bauwerken* Band 1 und 2, Ernst und Sohn, 2000
- [Sne07] Schneider, J. *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen – Grundwissen für Ingenieure*, B. G. Teubner, 1996
- [Sta07] Starossek, U. *Progressiver Kollaps von Bauwerken (Progressive collapse of structures)* Betonkalender 2008, Part VII, Wiley-VCH, Berlin, 2007
- [Ste08] Steiner, J. *Fehlerempfindliche Wechselwirkung: Neue Normen und Computergläubigkeit* Baustatik-Baupraxis 10, 2008
- [Str08] Struss, P. *Model-based Problem Solving*. In: van Harmelen, F., Lifschitz, V., and Porter, B.(eds.). *Handbook of Knowledge Representation*, Elsevier, 2008

- [VDI08] *VDI-Richtlinie 6200 Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung*, 2008
- [Wey04] Weyer, U. *Anspruch auf Wirklichkeit semi-probabilistischen Bemessungskonzepte* Stahlbau 73 (2004), Heft 9, Ernst & Sohn, 2007

# Anhang A

## Dokumentation der Umfrageergebnisse

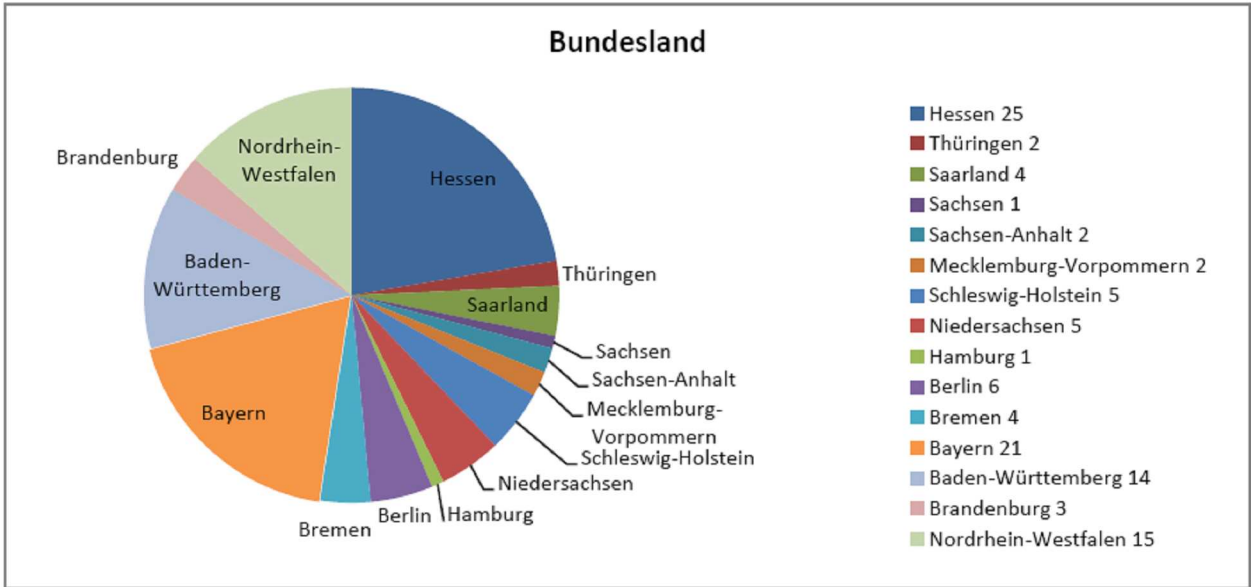


Bild A-1: Teilnehmer an der Umfrage nach Bundesländern

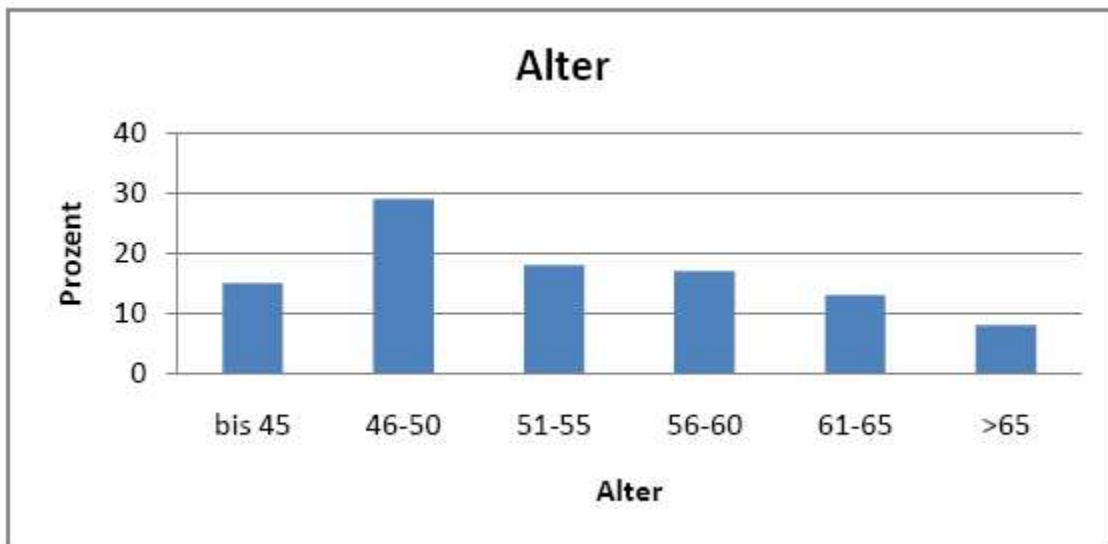


Bild A-2: Teilnehmer an der Umfrage nach Alter

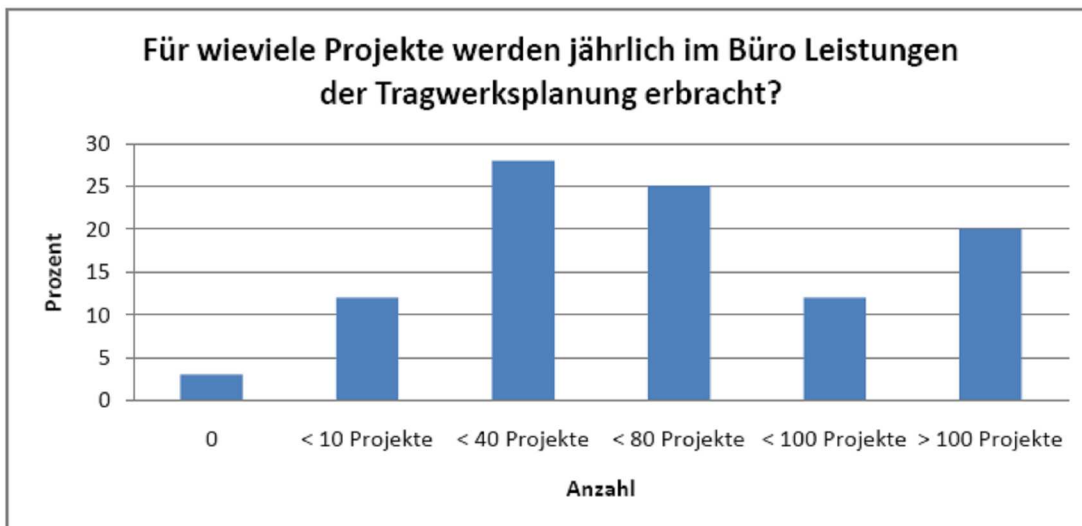
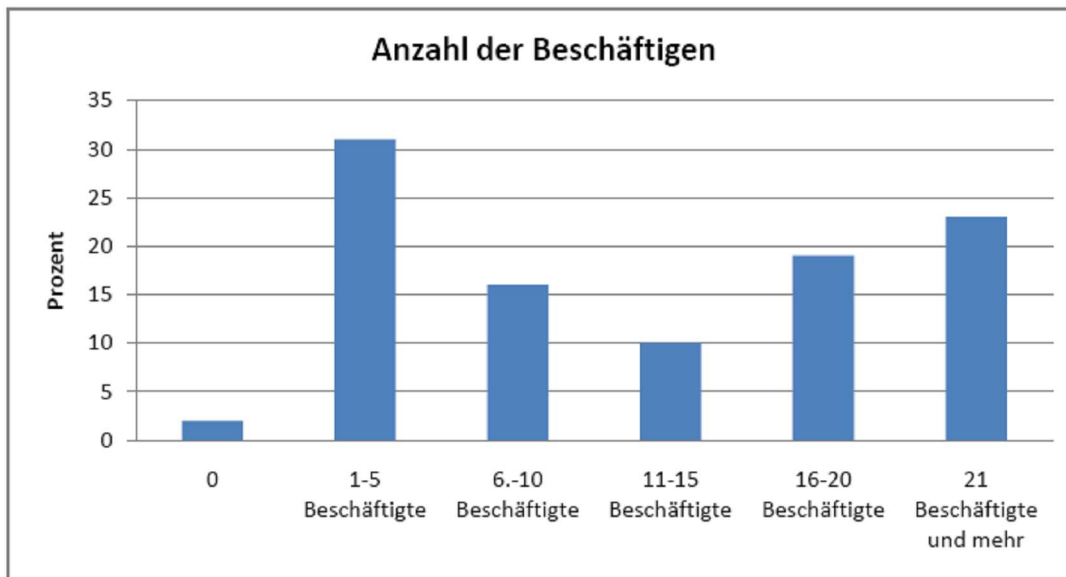
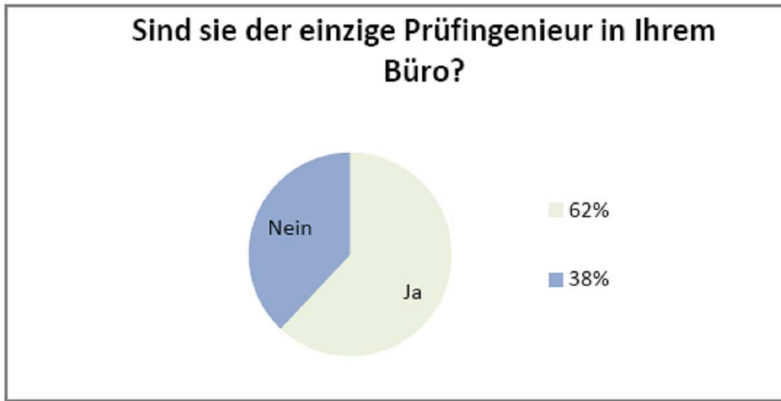


Bild A-3: Fragen zur Bürostruktur

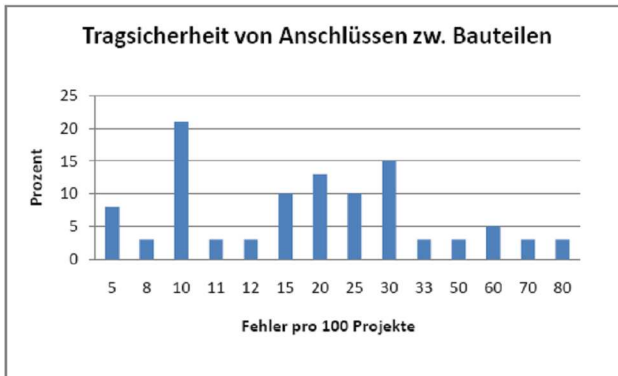
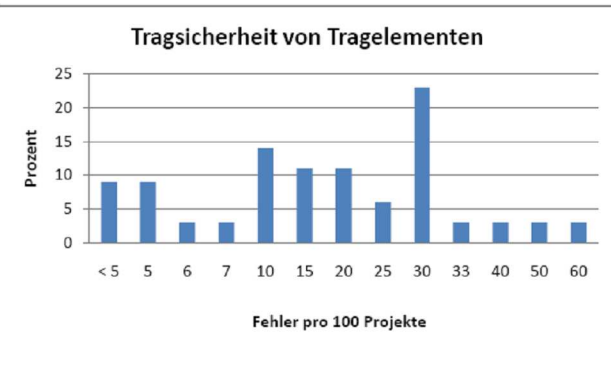
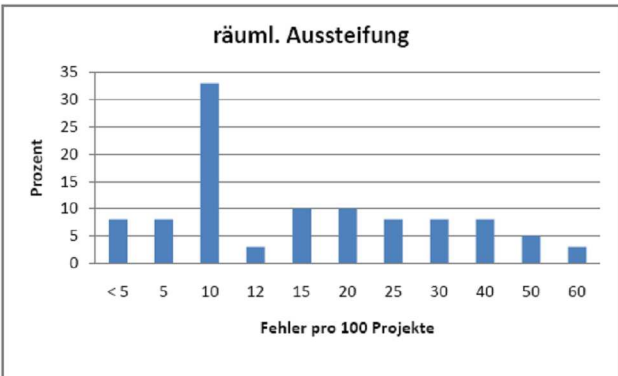
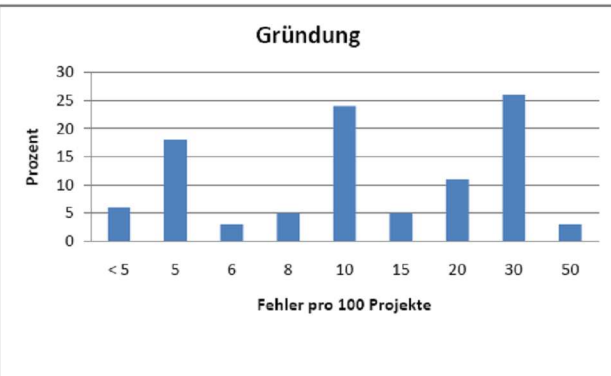
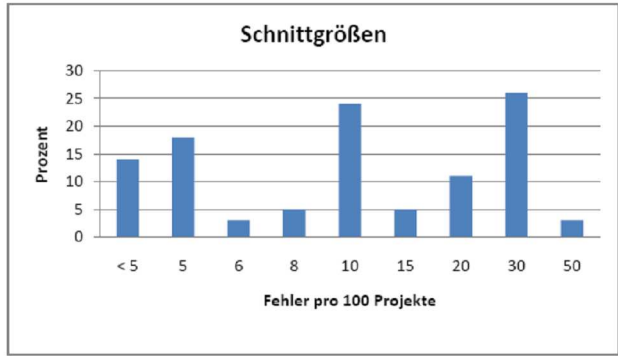
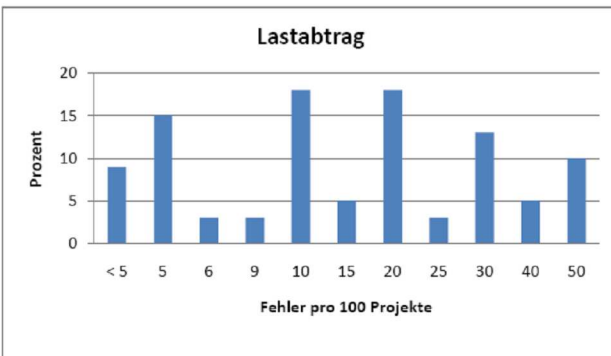
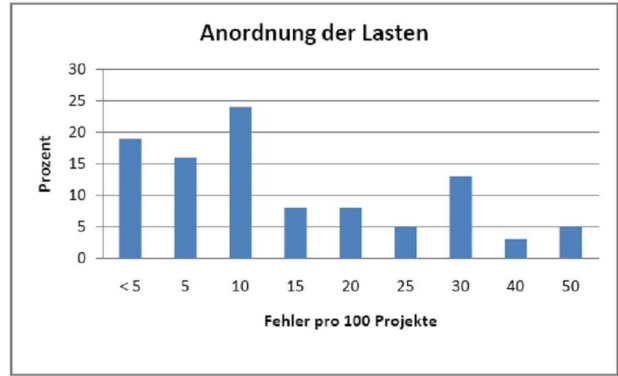
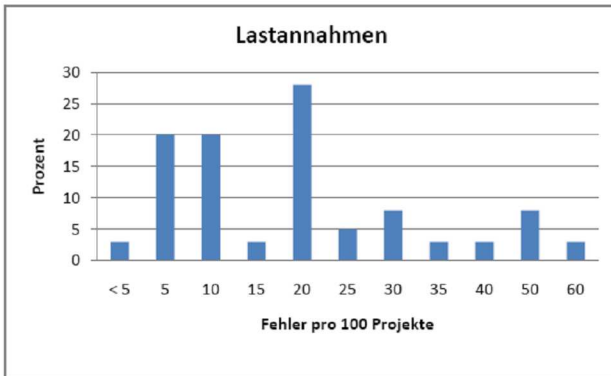


Bild A-4: Erfahrungen bei der bautechnischen Prüfung – Fehler pro 100 Projekte

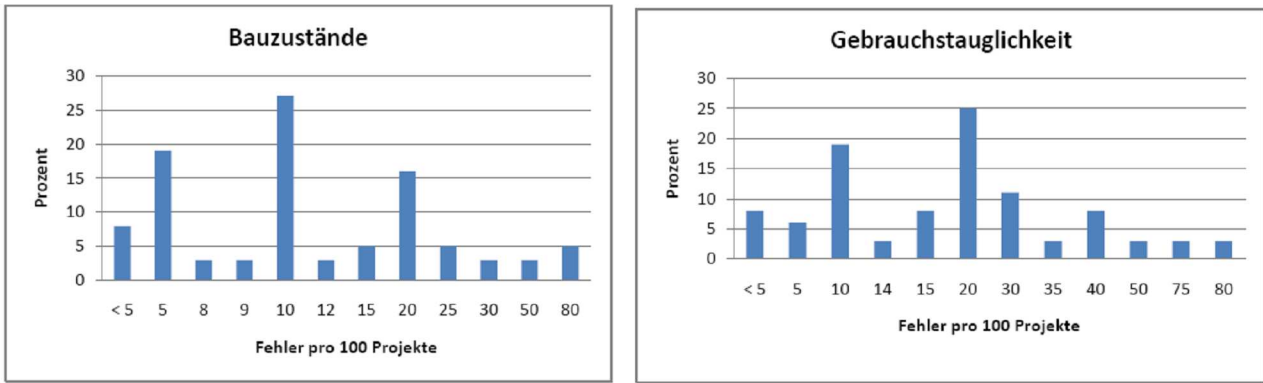


Bild A-4 (Fortsetzung): Erfahrungen bei der bautechnischen Prüfung – Fehler pro 100 Projekte

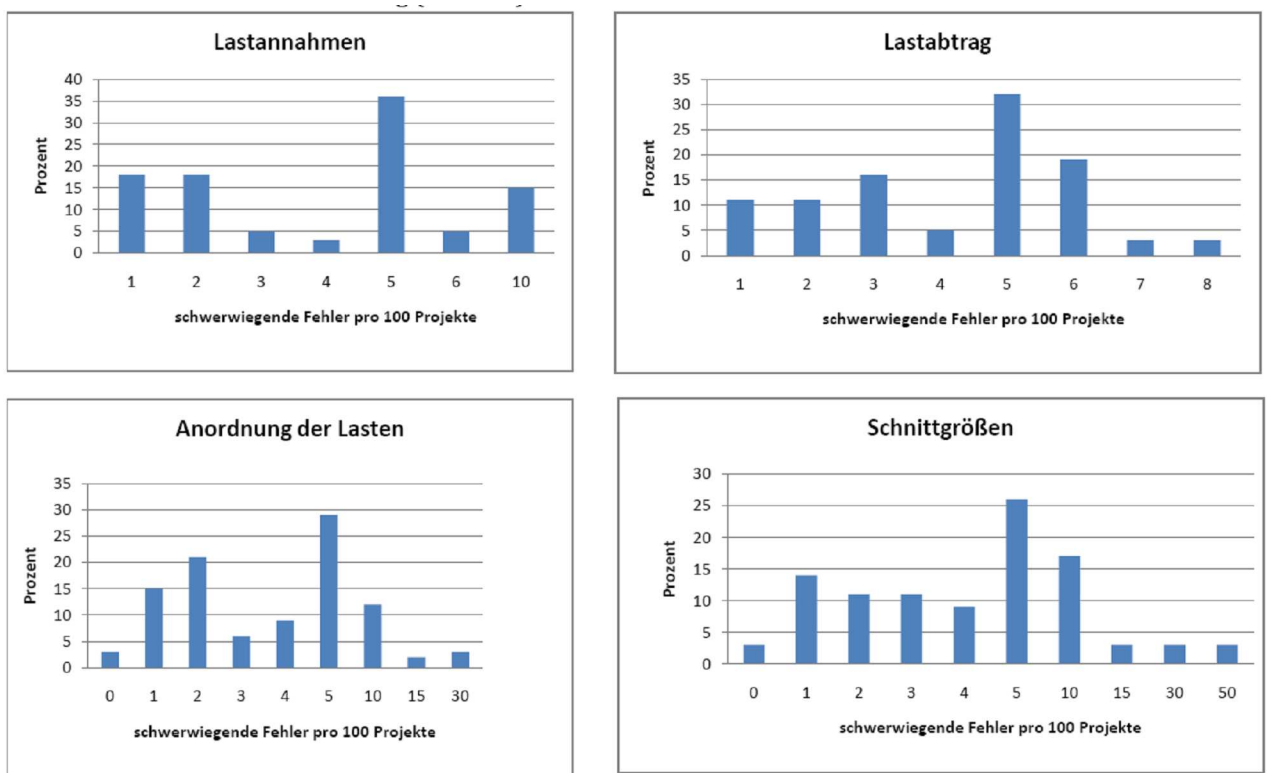


Bild A-5: Erfahrungen bei der bautechnischen Prüfung – schwerwiegende Fehler pro 100 Projekte

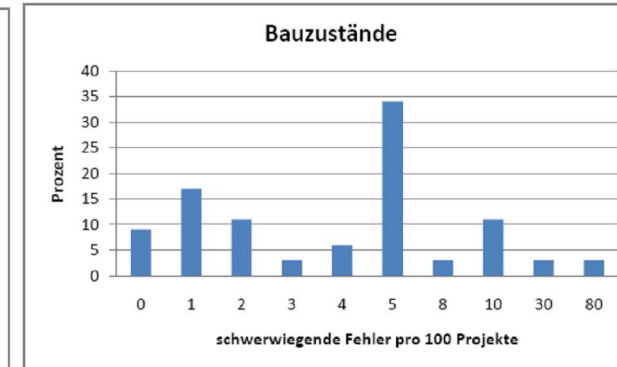
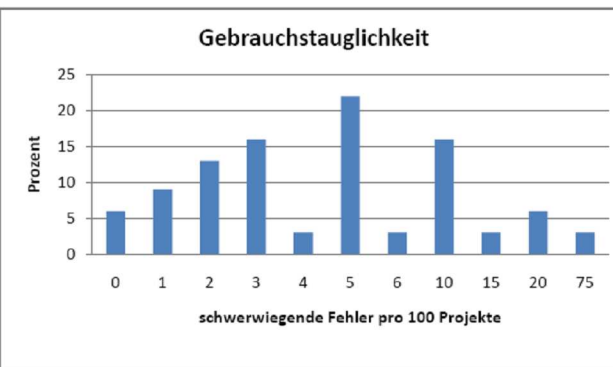
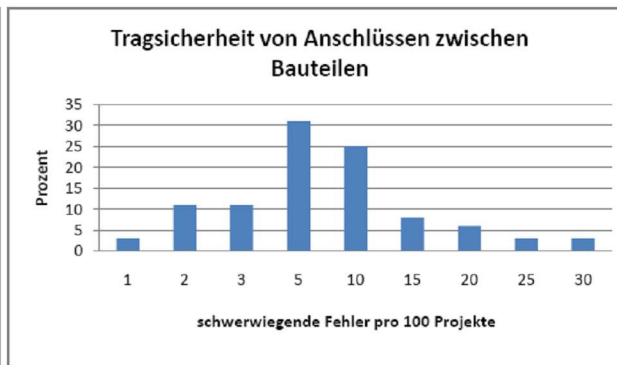
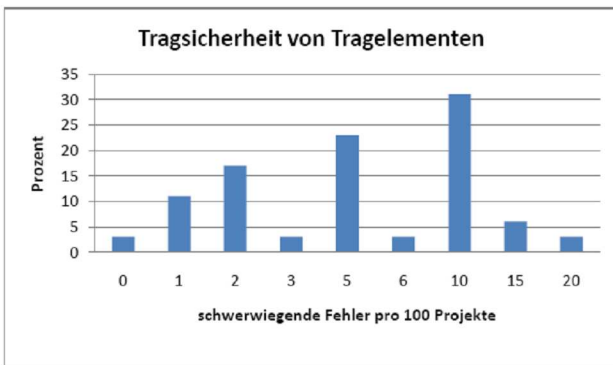
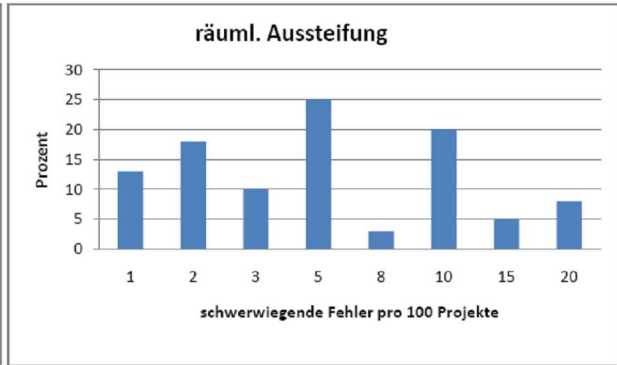
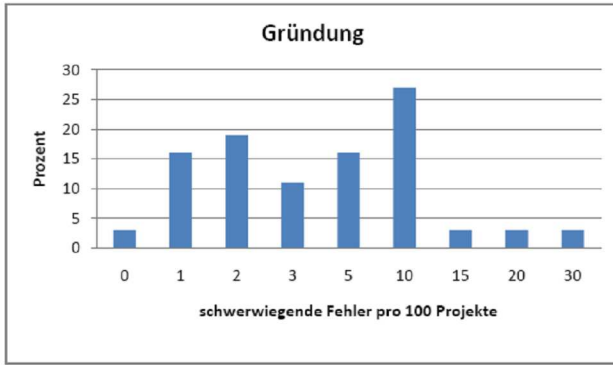


Bild A-5 (Fortsetzung): Erfahrungen bei der bautechnischen Prüfung – schwerwiegende Fehler pro 100 Projekte

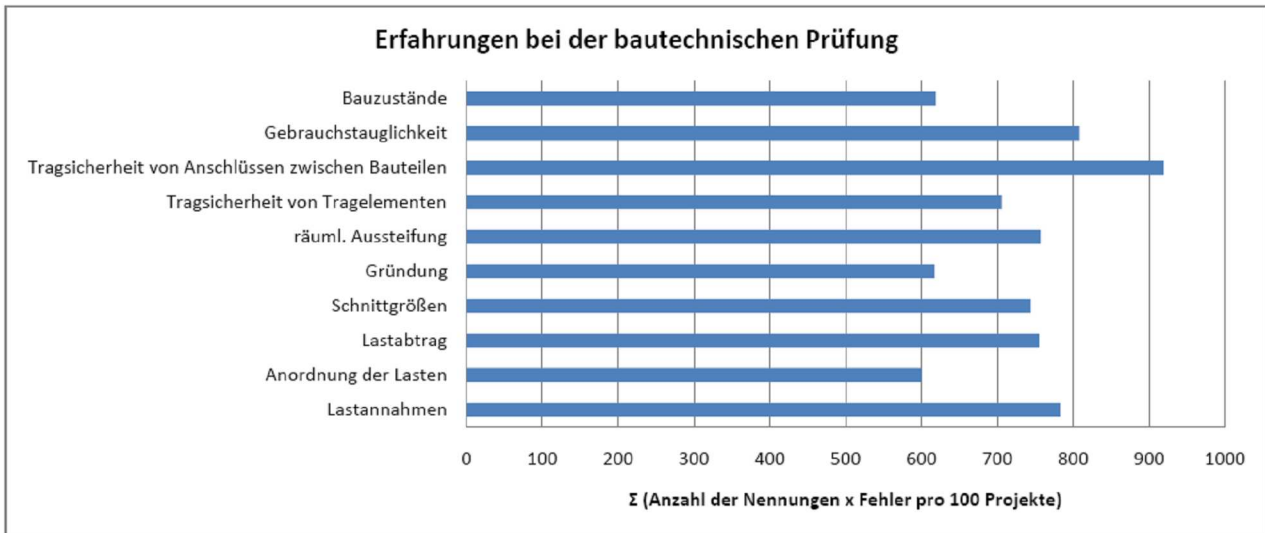


Bild A-6: Erfahrungen bei der bautechnischen Prüfung – Fehler pro 100 Projekte, Fehlerarten im Vergleich

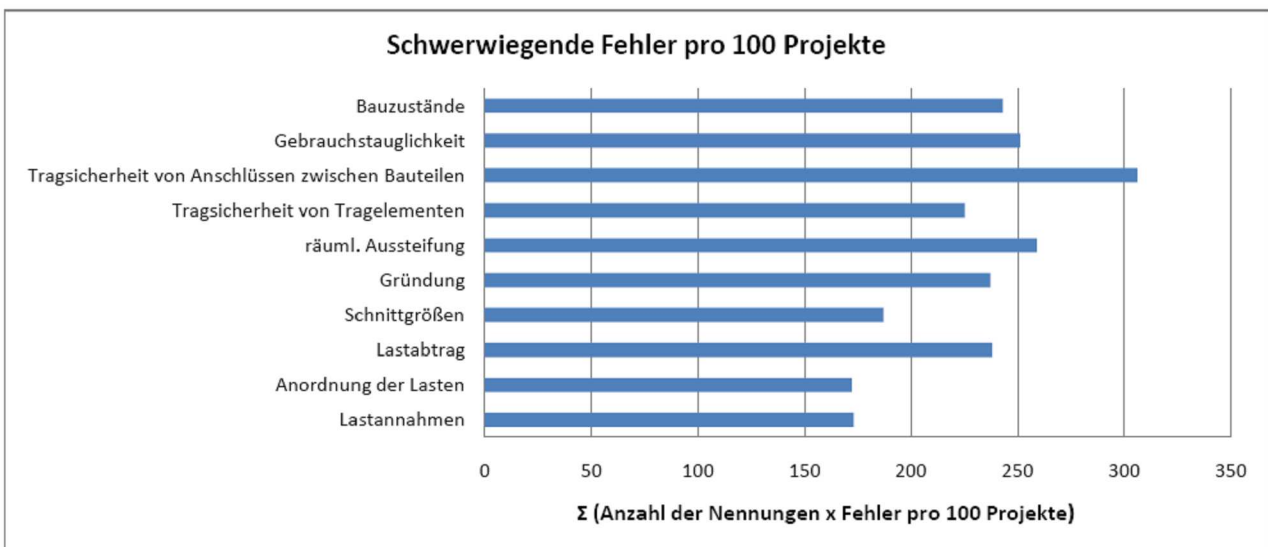


Bild A-7: Erfahrungen bei der bautechnischen Prüfung – schwerwiegende Fehler pro 100 Projekte, Fehlerarten im Vergleich

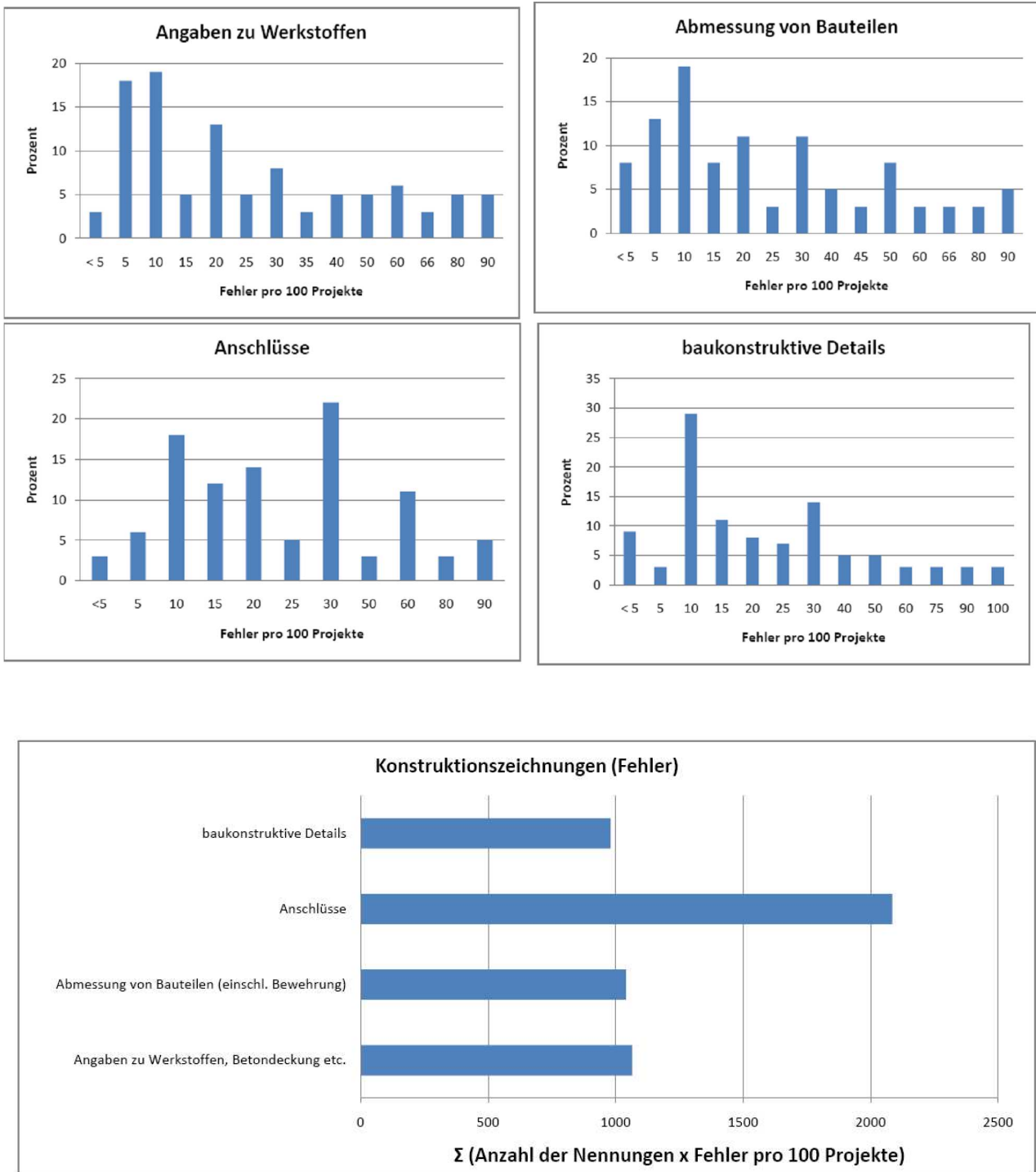


Bild A-8: Konstruktionszeichnungen – Fehler pro 100 Projekte, Fehlerarten im Vergleich

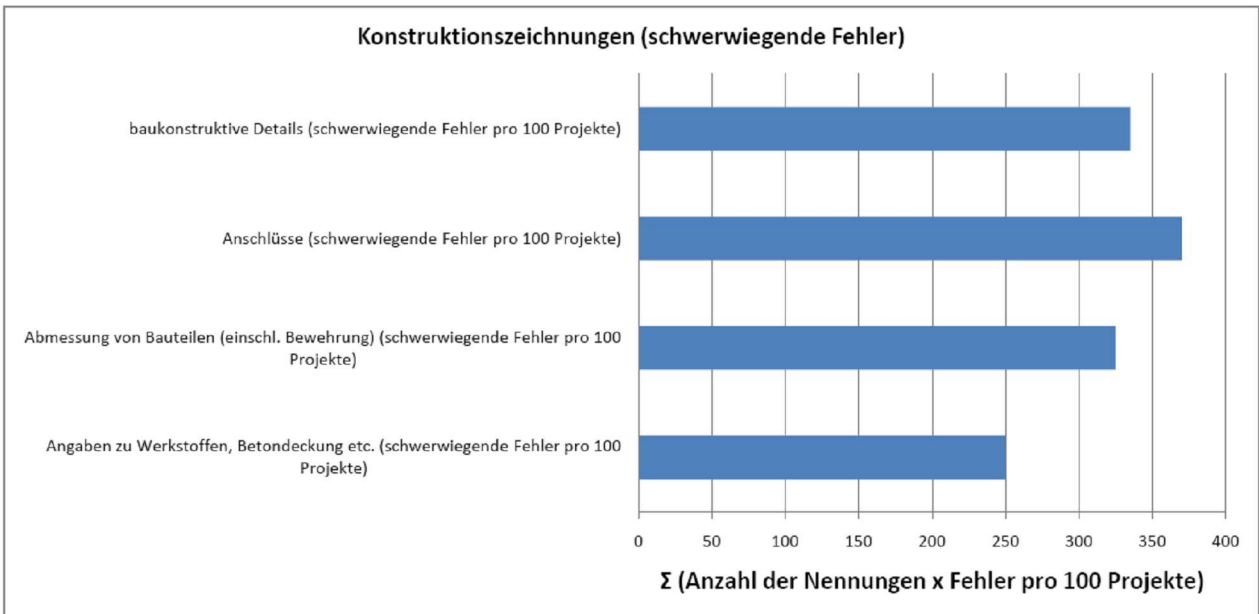
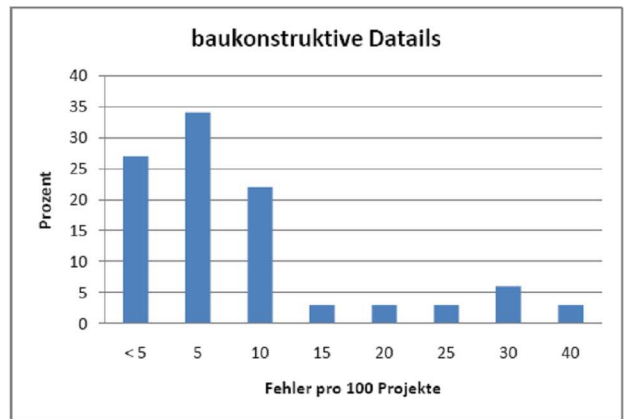
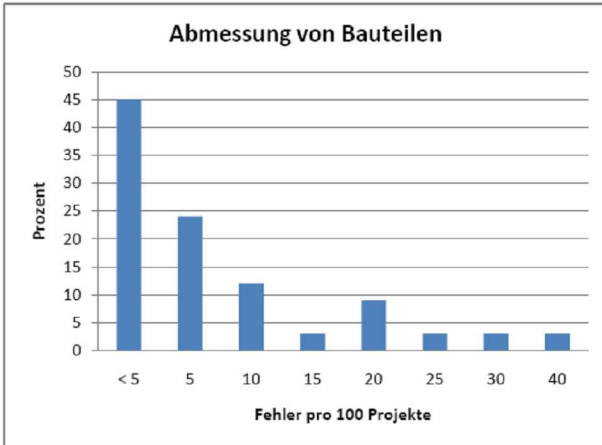
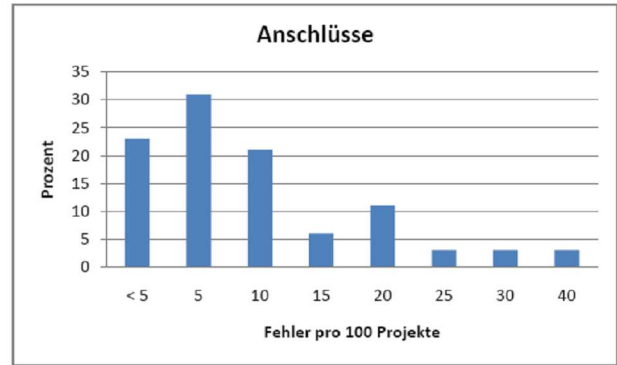
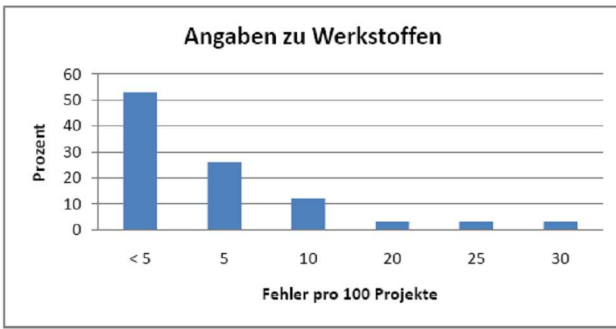


Bild A-9: Konstruktionszeichnungen – schwerwiegende Fehler pro 100 Projekte, Fehlerarten im Vergleich

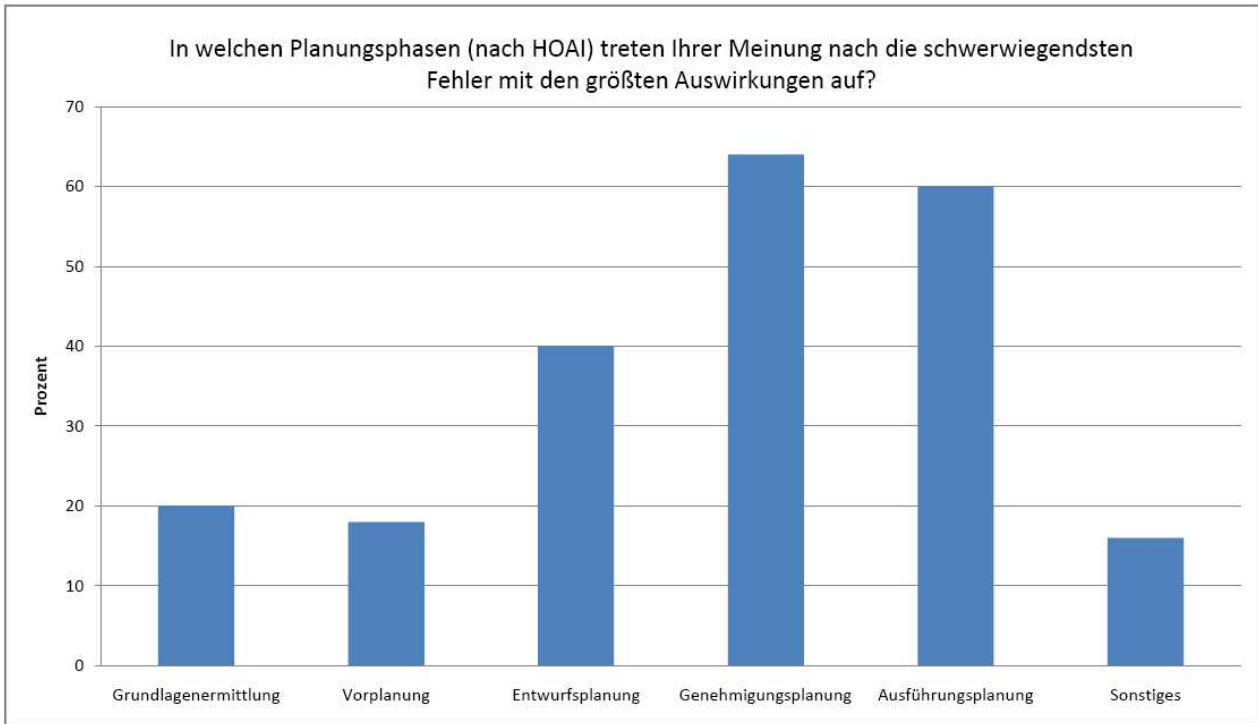


Bild A-10: Schwerwiegende Fehler nach Planungsphasen

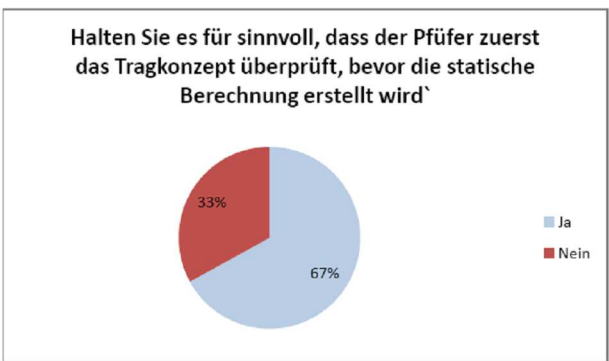
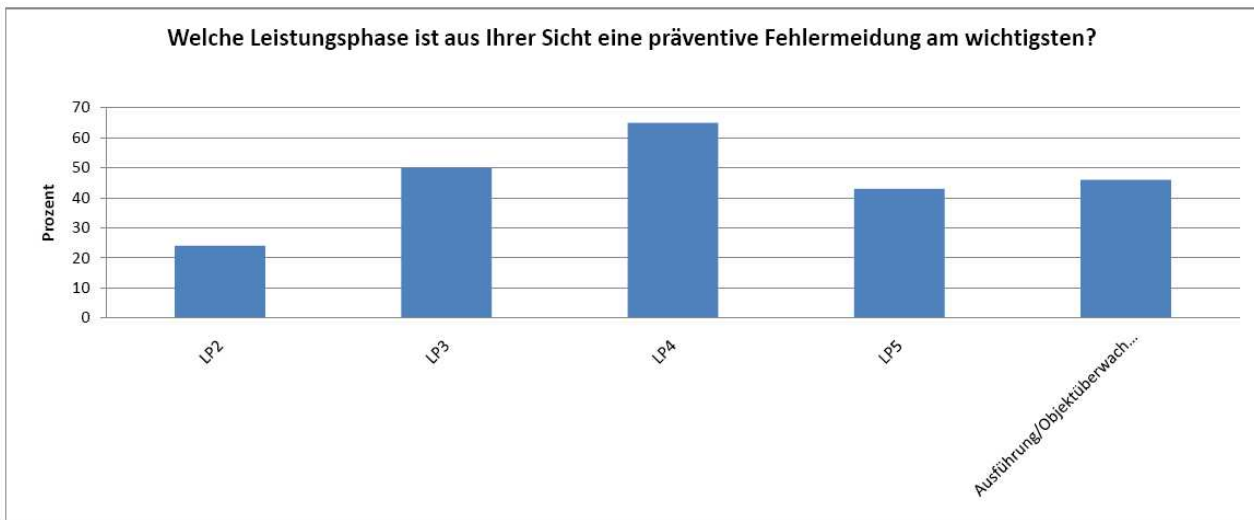


Bild A-11: Präventive Fehlervermeidung in unterschiedlichen Leistungsphasen

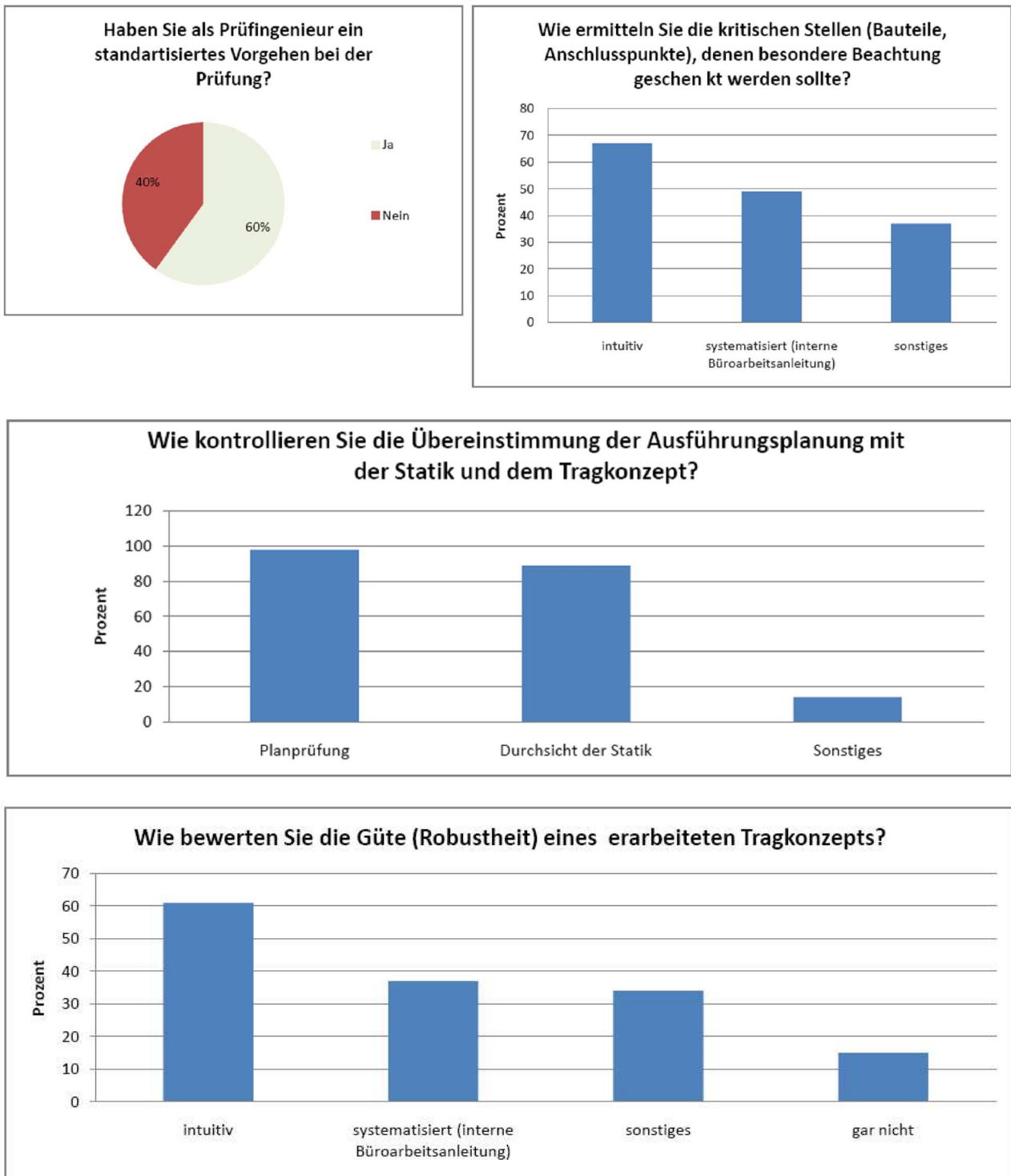


Bild A-12: Vorgehen bei der bautechnischen Prüfung

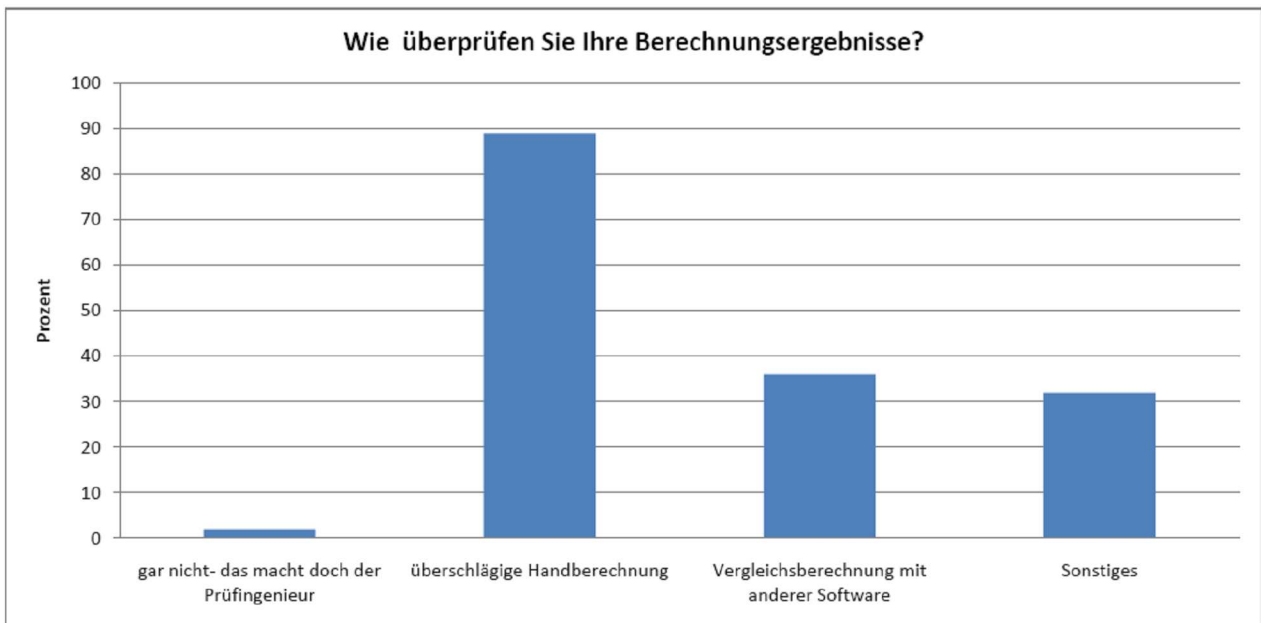
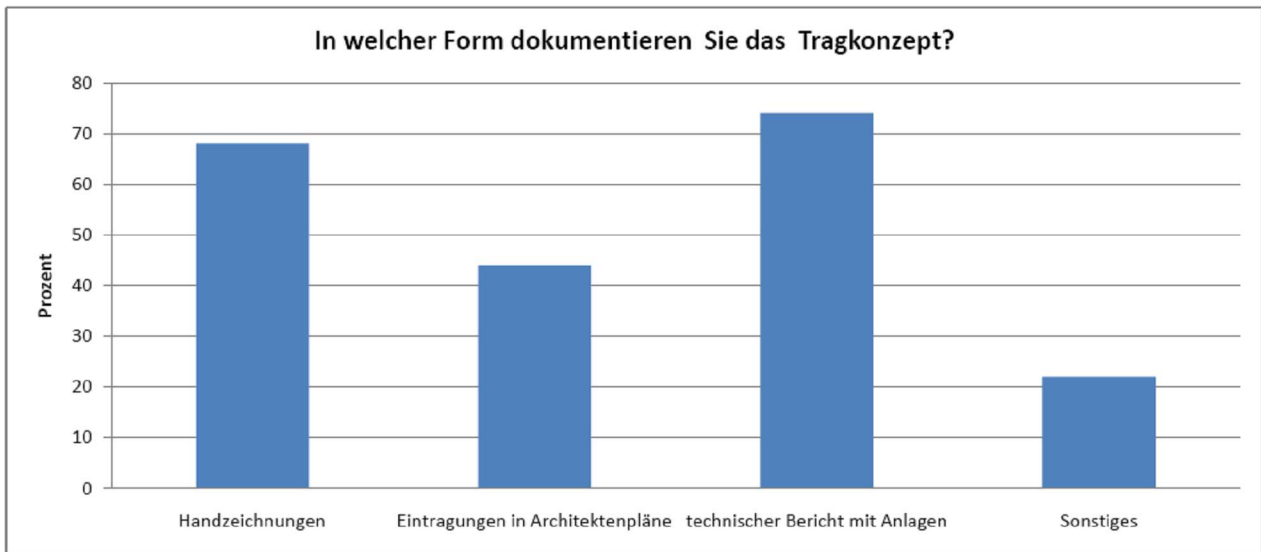


Bild A-13: Entwurf und Berechnung von Tragwerken – Dokumentation und Selbstkontrolle

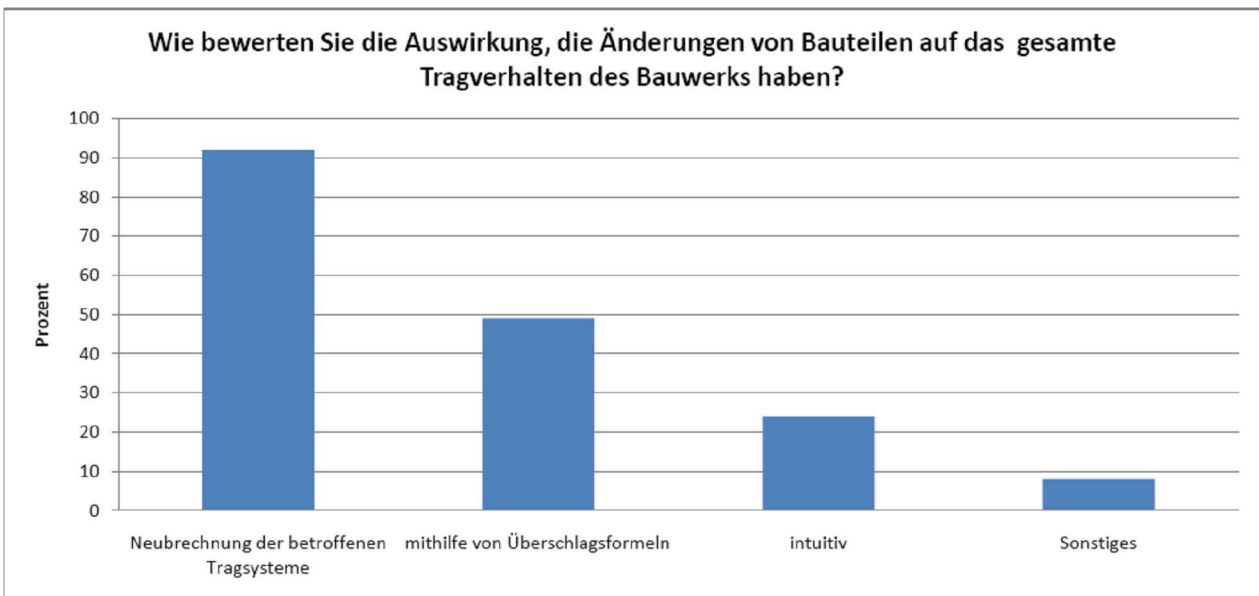
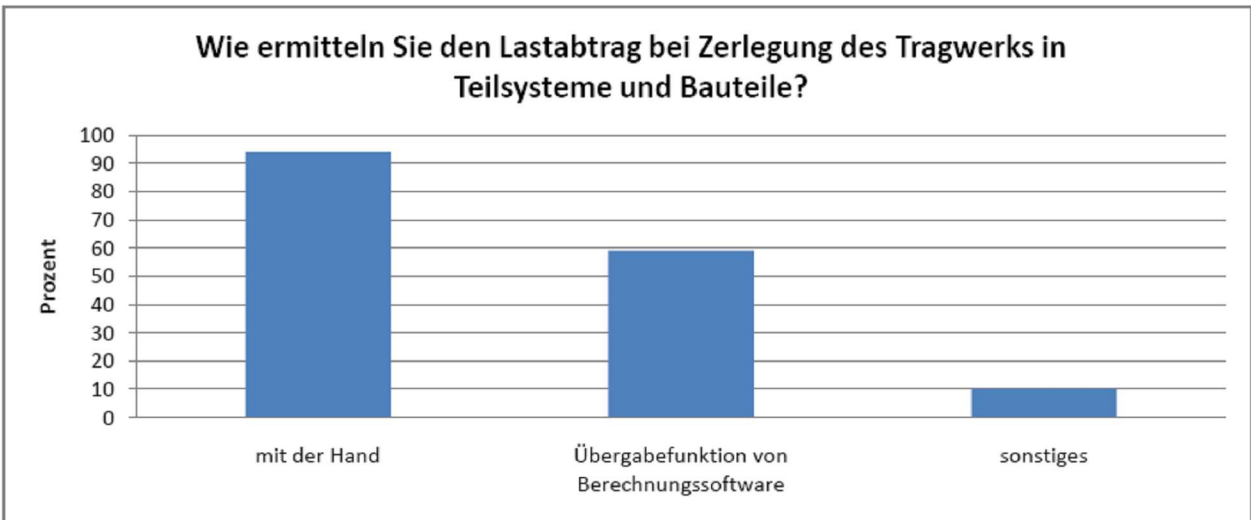
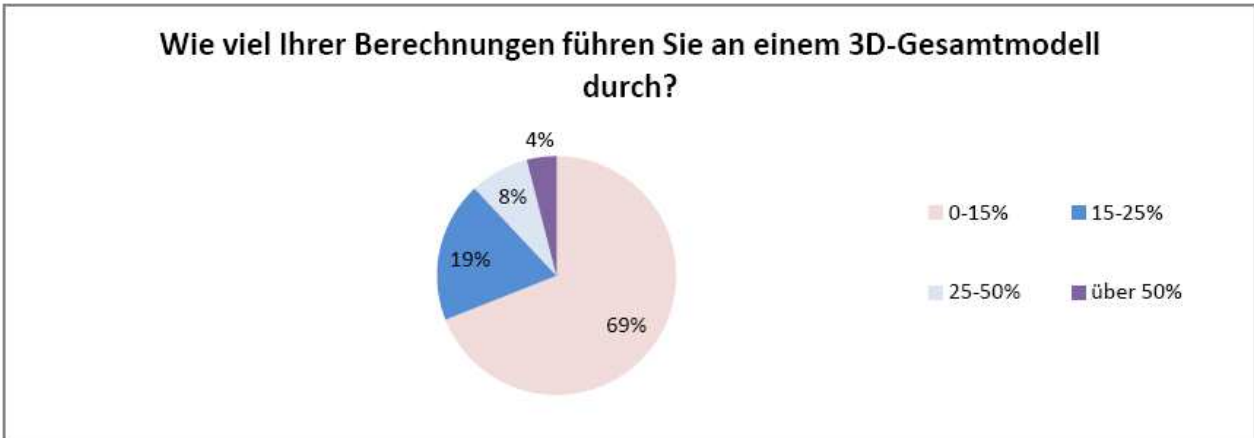


Bild A-14: Entwurf und Berechnung von Tragwerken – Lastabtrag

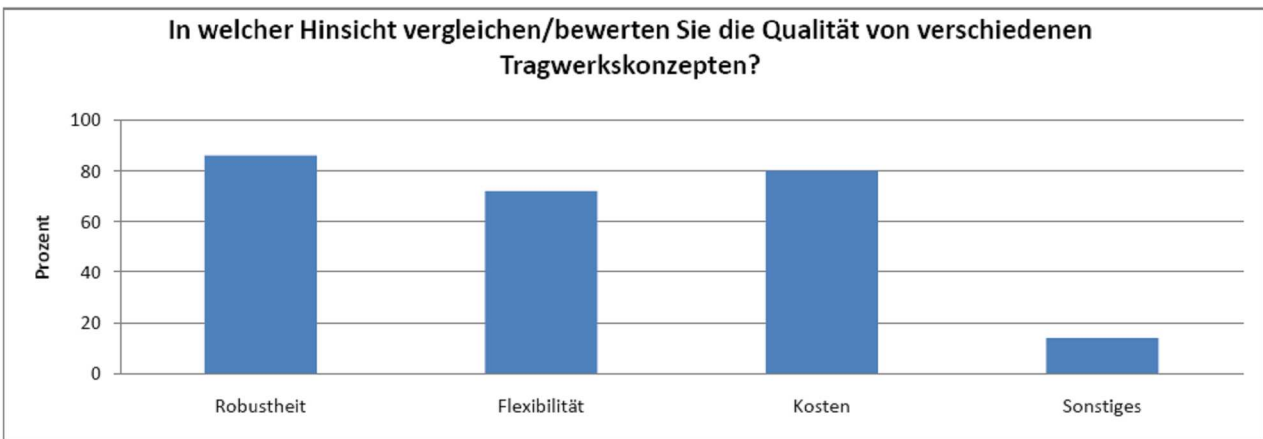
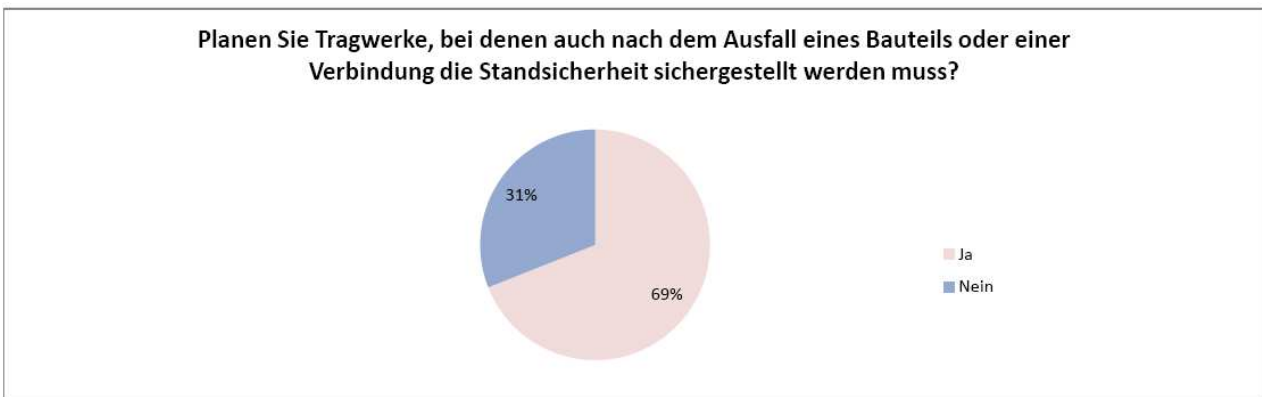
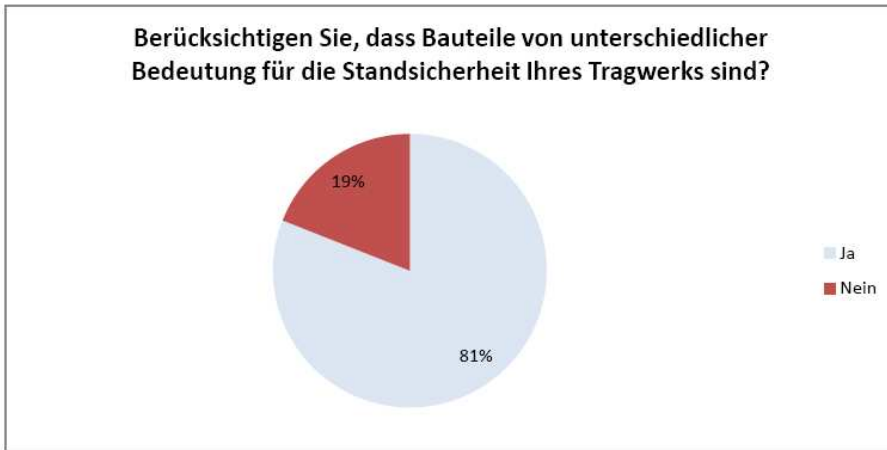


Bild A-15: Entwurf und Berechnung von Tragwerken – Bewertung von Tragwerkskonzepten

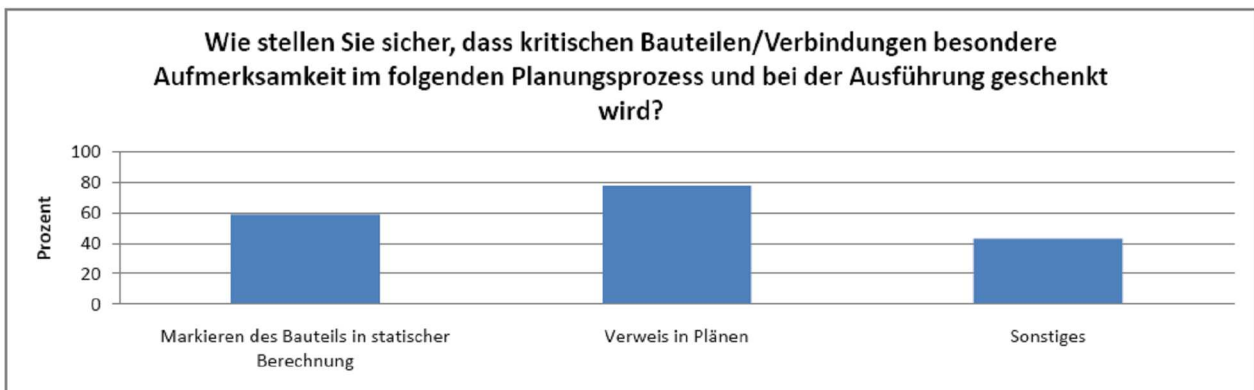
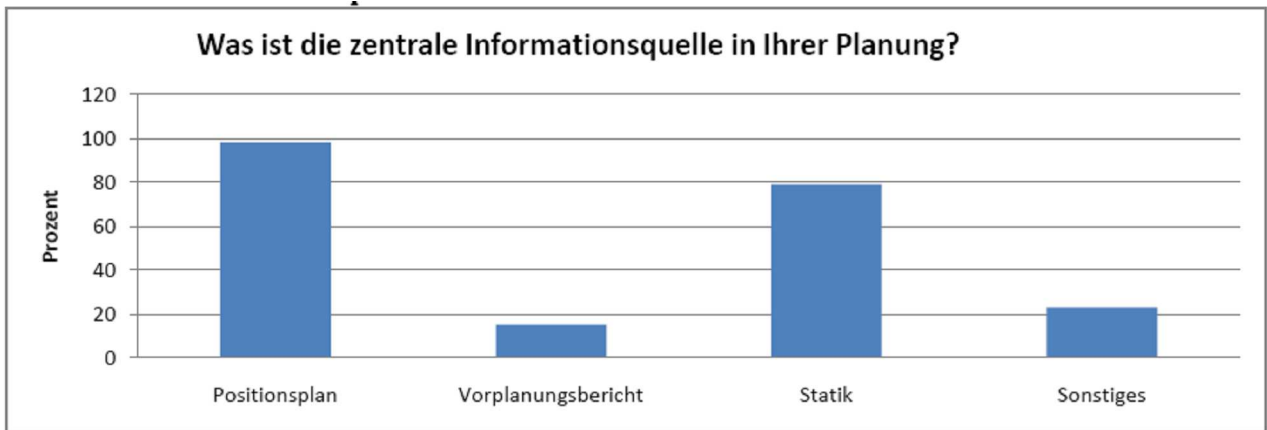


Bild A-16: Entwurf und Berechnung von Tragwerken – Dokumentation von Konzepten und Zwischenergebnissen



**Haben Sie einen standartisierten Prozess zur Aufdeckung von Planungsfehlern in Ihrem Büro?**

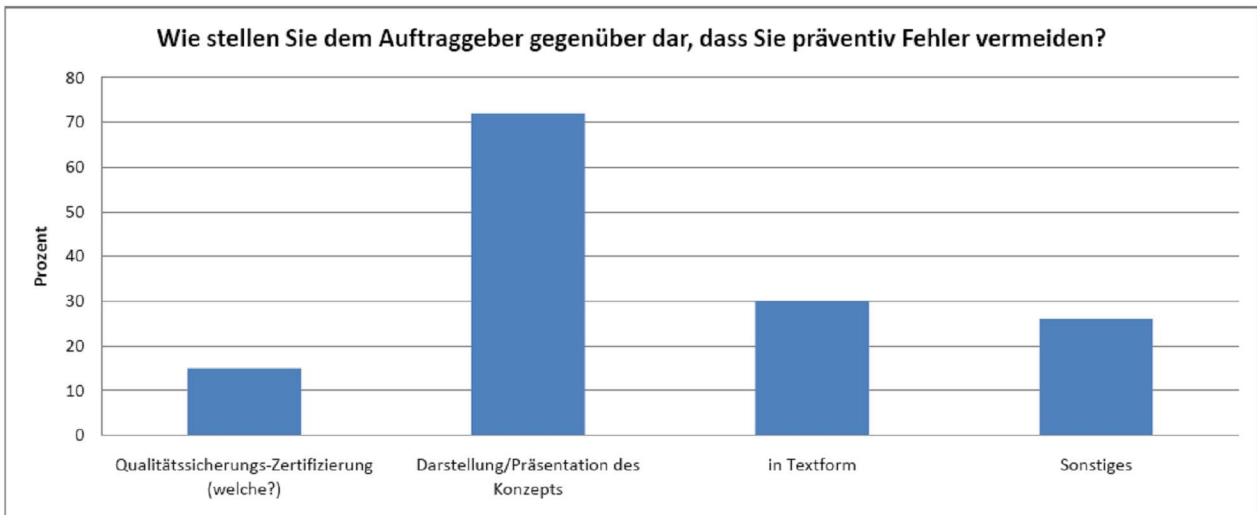
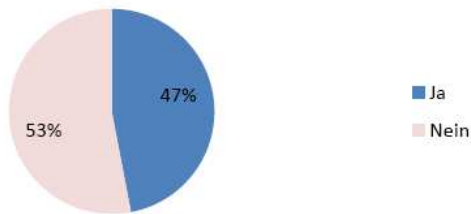


Bild A-17: Qualitätssicherung - Bürointerne Prüfung

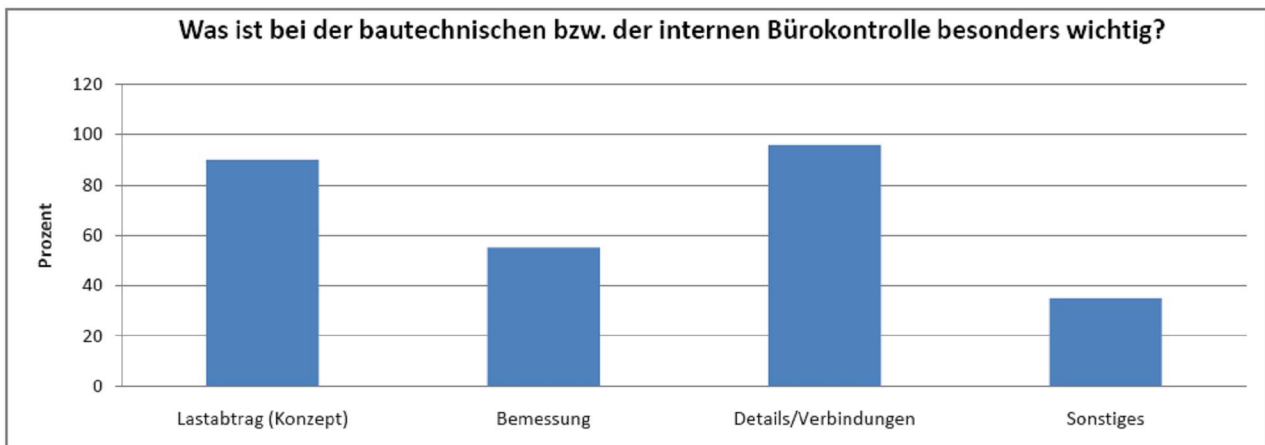
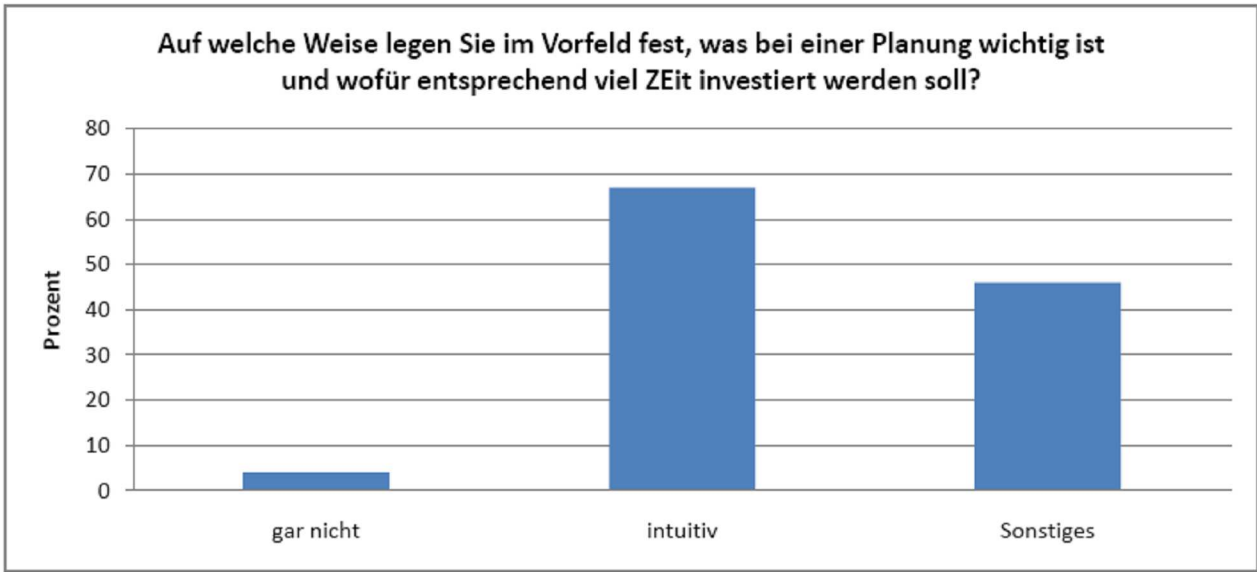


Bild A-18: Qualitätssicherung – Festlegung von Prioritäten

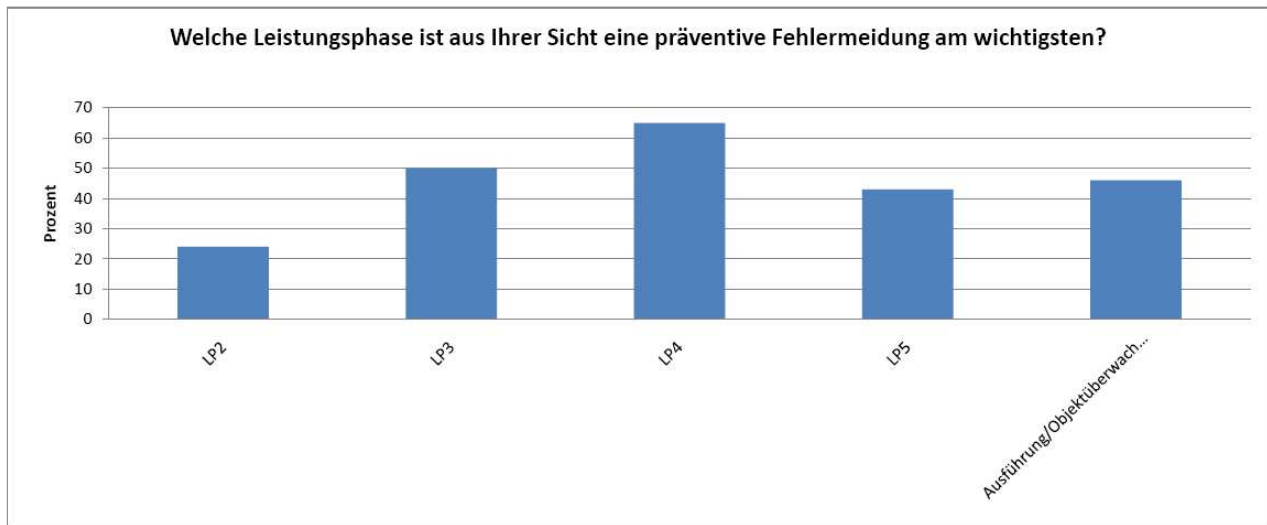


Bild A-18 (Fortsetzung): Qualitätssicherung – Festlegung von Prioritäten