

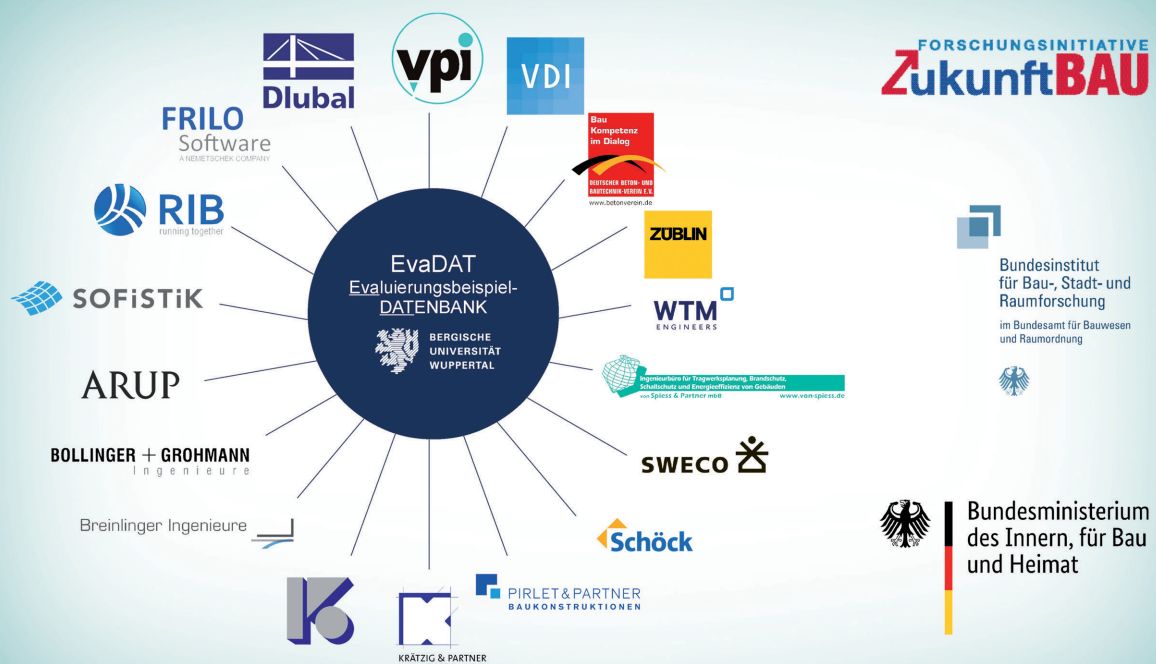
Bauingenieur

Die richtungweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen

VDI

Bautechnik

Jahresausgabe 2018/2019



K. Stopp, R. Harte

EvaDAT –

**Die neue digitale Datenbank zur Qualitätssicherung
in der softwaregestützten Tragwerksberechnung**

EvaDAT – Die neue digitale Datenbank zur Qualitätssicherung in der softwaregestützten Tragwerksberechnung

K. Stopp, R. Harte

Zusammenfassung Die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung der Planungsprozesse im Bauwesen geht auch an der Tragwerksberechnung nicht vorbei. Im Rahmen eines Forschungsprojekts wird eine standardisierte Beispieldatenbank für softwaregestützte Tragwerksberechnung in Anlehnung an VDI 6201 konzipiert, die Softwareherstellern und -anwendern als interaktives Werkzeug zur Evaluierung von Statik-Software zur Verfügung stehen soll. Ein solches Werkzeug dient der Qualitätssicherung im statisch-konstruktiven Planungsprozess und kann insofern helfen, die Verlässlichkeit von softwaregestützten Tragwerksberechnungen im Rahmen eines BIM-Planungsprozesses zu ermöglichen.

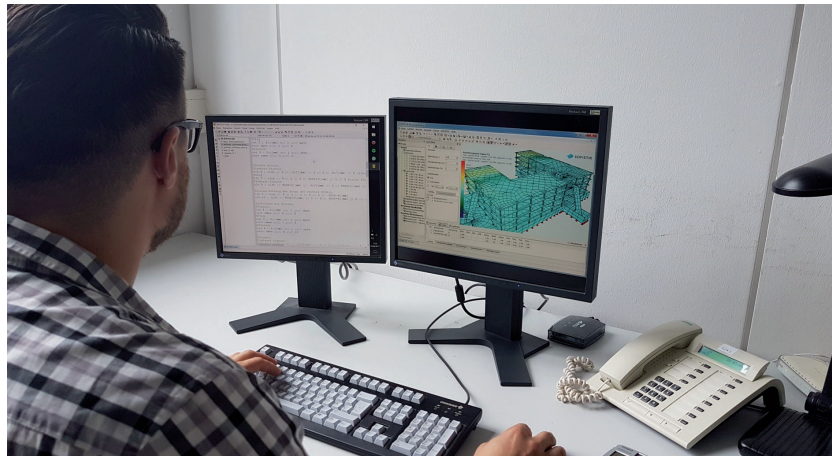


Bild 1. Baustatik-Software ist aus dem heutigen Büroalltag nicht mehr wegzudenken

1 Die Datenbank als notwendiger Meilenstein zur Digitalisierung

Planungsprozesse im Bauwesen werden zukünftig fast ausschließlich softwaregestützt ablaufen. Die Digitalisierung erfordert eine klare Standardisierung im Hinblick auf ihren verlässlichen Einsatz in einer automatisierten BIM-Prozesskette. Bisher sind Entwicklungen und Anwendungen von Software für die Tragwerksplanung kaum geregelt. In Deutschland kann Statik-Software von jedermann auf den Markt gebracht werden und ebenfalls von jedermann angewendet werden. Für die Qualitätssicherung bestehen weder auf Hersteller- noch auf Anwenderseite spezifische Vorgaben oder gar Regeln. Die unübersichtlichen Datenflüsse bei komplexen, ganzheitlichen Gebäudemodellen, wie sie bei einer durchgängigen BIM-Planung unvermeidlich sind, werden in Zukunft die Bewertung und Prüfung softwaregestützter Tragwerksberechnungen erheblich erschweren. Durch das im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau geförderte Forschungsprojekt „Konzeption und Aufbau einer standardisierten Beispieldatenbank für softwaregestützte Tragwerksberechnung in Anlehnung an VDI 6201 für den Einsatz von Statik-Software in BIM-basierten Prozessketten“ soll anhand von Evaluierungsbeispielen eine Qualitätssicherung von Statik-Software zukünftig möglich sein. 19 Forschungsbeteiligte sorgen für die Entwicklung einer praxistauglichen Beispieldatenbank.

Dr.-Ing. Kirsten Stopp

Projektleiterin
stopp@uni-wuppertal.de

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Harte

harte@uni-wuppertal.de

Bergische Universität Wuppertal

Lehr und Forschungsgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke
Pauluskirchstr. 7, 42285 Wuppertal

2 Richtlinie VDI 6201 „Softwaregestützte Tragwerksberechnung“ als Basis

Die vorgenannte Problematik hat den VDI bereits 2011 zur Bildung eines Richtlinienausschusses veranlasst. Hieraus ist die Richtlinie VDI 6201 „Softwaregestützte Tragwerksberechnung“ hervorgegangen, die aus zwei Teilen besteht. Hierzu gehört zunächst das im Dezember 2015 im Weißdruck veröffentlichte Blatt 1 [1], in dem die Grundlagen, die Anforderungen und die Modellbildung zur softwaregestützten Tragwerksberechnung geregelt werden. Weiterhin wird in Kürze Blatt 2 [2] erscheinen, in dem Form und Inhalt von Evaluierungsbeispielen geregelt und exemplarisch dargestellt werden.

2.1 Blatt 1 – Grundlagen, Anforderungen, Modellbildung

In Blatt 1 werden zunächst Begriffe definiert. Wichtig hierbei ist vor dem Hintergrund der Beispieldatenbank die Unterscheidung von Validierung und Verifizierung: Eine Software-Eigenschaft ist dann validiert, wenn sie für eine konkrete Aufgabenstellung geeignet ist, das heißt, wenn die Übertragung des Strukturmodells und des Mechanischen Modells in das Numerische Modell überhaupt sinnvoll ist. Ob das Mechanische Modell korrekt in das Software-Produkt implementiert ist, das heißt, ob richtig programmiert worden ist, lässt sich durch Vergleich der erzielten Ergebnisse mit Referenzlösungen verifizieren.

Die Anforderungen an Form und Inhalt einer softwaregestützten Tragwerksberechnung werden präzisiert, wie Darstellung und Dokumentation der Ein- und Ausgabedaten, durchzuführende Kontrollen, Beschreibung der Programminhalte und Verwendung neutraler Evaluierungsbeispiele. Auf der anderen Seite wird aber auch der Softwareanwender in die Pflicht genommen, sich aus- und weiterzubilden und an Schulungen der Softwarehäuser teilzunehmen, um fachlich in der Lage zu sein, die Ergebnisse der Softwareprodukte korrekt werten zu können. Für den Prüfenden verbleibt es bei der bereits in [3] und den Verordnungen der

Selbstverpflichtungserklärung

Softwareherstellung für die Tragwerksberechnung

gemäß Richtlinie VDI 6201 Blatt 1

Die Richtlinie VDI 6201 Blatt1 „Softwaregestützte Tragwerksberechnung“ fordert von Herstellern und Anwendern von Software in der Tragwerksberechnung besonderes Verantwortungsbewusstsein und beschreibt Maßnahmen, mit denen die Qualität sowohl bei der Entwicklung als auch bei der Anwendung der Software zur Tragwerksplanung und -prüfung sichergestellt werden soll.

Die Herstellung von Software für die Tragwerksberechnung bedarf wegen ihrer Komplexität und ihres hohen Innovationsgrads besonderer Maßnahmen zur Qualitätssicherung. Um ein möglichst hohes Maß an Qualität der Software zu erreichen, muss besonderer Wert auf die einzelnen Verfahren und Prozesse bei der Entwicklung und bei der Betreuung der Software gelegt werden. Dies erfordert die Einhaltung der in der Richtlinie VDI 6201 Blatt1 vorgesehenen Maßnahmen.

Als verantwortungsbewusstes Unternehmen bekennen wir uns zu den in Abschnitt 4 der Richtlinie VDI 6201 Blatt1 beschriebenen und geforderten Maßnahmen an die Herstellung von Software für die Tragwerksberechnung.

Wir erklären hiermit, dass wir die nachstehend markierten Maßnahmen einhalten:

- ☐ Darstellung der Grundlagen der Software
- ☐ Bereitstellung von Evaluierungsbeispielen für den Softwareanwender
- ☐ Internes System für die Qualitätssicherung
- ☐ Systematische Fehlerverfolgung und –berichterstattung
- ☐ Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter
- ☐ Einhaltung minimaler Ein- und Ausgabestandards
- ☐ Angebot von Schulungen und Anwenderberatung

Ort, Datum

Firmenname, Anschrift, Firmenstempel

Unterschrift Geschäftsführer,
verantwortliche Person

Bild 2. Selbstverpflichtungserklärung für Softwarehersteller (Beispiel) – Auszug aus [1]

Länder, zum Beispiel in Nr. 28.332 VV BauPrüfVO NRW [4], geforderten Prüfung mit unabhängigen Vergleichsberechnungen: „Wird der rechnerische Standsicherheitsnachweis mithilfe von EDV-Anlagen erstellt, muss in der statischen Berechnung dargelegt werden, in welcher Form, mit welchen Prüfprogrammen oder Systemkontrollen und mit welchen Ergebnisabweichungen die Prüfung durchgeführt wurde. Für die Prüfung und Aufstellung der Standsicherheitsnachweise sind unterschiedliche Programme zu verwenden.“ [4]. Nach Meinung des Richtlinienausschusses bedeutet das nicht zwingend die Verwendung eines anderen Software-Produkts, sondern kann auch durch eine unabhängige Software-Lösung erreicht werden, das heißt innerhalb desselben Programmsystems, aber auf einem anderen Lösungspfad (z. B. anderer Algorithmus, anderer Elementtyp, andere Vernetzung).

An der Frage der Haftung für konkrete, projektbezogene Tragwerksberechnungen ändert sich mit der VDI 6201 Blatt 1 nichts gegenüber der bisherigen Rechtsauffassung. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit des bei der Tragwerksplanung verwendeten Softwareprodukts sowie für die Vollständigkeit und Richtigkeit seiner Berechnungs- und Bemessungsergebnisse verbleibt allein beim Tragwerksplaner respektive Softwareanwender: „Da der Softwareherstel-

ler keine Möglichkeit hat, die konkrete Anwendung der Software zu überprüfen, beschränkt sich seine Haftung auf die im Allgemeinen übliche Sorgfalt bei der Entwicklung von Software und den individuell zugesicherten Eigenschaften. Die Angaben im Referenzhandbuch definieren daher noch keine zugesicherten Eigenschaften im juristischen Sinne, sondern nur solche Eigenschaften, die bei Nichterfüllung entsprechende Ansprüche auf Nachbesserung auslösen.“ [1]. Gleiches gilt für den prüfenden Softwareanwender: „... verbleibt die Verantwortung für die Anwendbarkeit des für die Prüfung verwendeten Softwareprodukts sowie für die Unabhängigkeit und Richtigkeit der Ergebnisse beim Prüfenden.“ [1].

Für die Zertifizierung eines Softwareherstellers sind die heute gebräuchlichen Zertifizierungssysteme aufgrund der Komplexität und des hohen Innovationsgrades der Prozessabläufe bei der Softwareentwicklung nicht geeignet [1], [5]. Der Richtlinienausschuss hat sich zudem gegen eine generelle Zertifizierung der Software oder Softwareversion entschieden, da eine absolute Fehlerfreiheit aufgrund der Vielseitigkeit der Programme nicht garantiert werden kann und darüber hinaus dem Softwareanwender nur die trügerische Sicherheit vermittelt würde, die Software könne bedenkenlos angewendet werden [1]. Dies soll unter allen Umständen vermieden werden.

Als Instrument der Qualitätssicherung ist deshalb eine Selbstverpflichtungserklärung sowohl des Softwareherstellers als auch des Softwareanwenders vorgesehen, aus welcher die jeweilige Bereitschaft und Befähigung

hervorgehen sollte, die Anforderungen der Richtlinie einzuhalten. Form und Inhalt einer solchen Erklärung ist beispielhaft für den Softwarehersteller in **Bild 2** wiedergegeben.

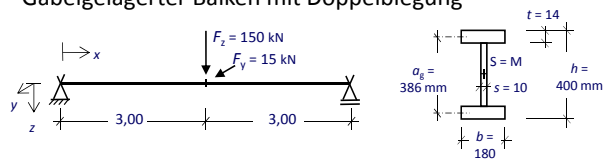
2.2 Blatt 2 – Verifikationsbeispiele

Blatt 2 gibt Hinweise zur Gestaltung von Evaluierungsbeispielen. Es sollen Beispiele gewählt werden, „für die sich Fehlerschranken für die Lösung angeben lassen und deren Überschreiten eine fehlerhafte Software vermuten lässt“ oder „die aufzeigen sollen, ob ein bestimmtes Leistungsmerkmal (z. B. Berücksichtigung der Schubverformungen) in einer Software enthalten ist“ [2].

Referenzlösungen müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen, das heißt, es muss nicht zwingend die bestmögliche wissenschaftliche Theorie und damit die wirklichkeitsnächste Lösung zugrunde gelegt werden, sondern der dem anerkannten Stand der Technik entsprechende Berechnungsweg. Den Softwareherstellern und ihren Softwareentwicklern sollen die Verifikationsbeispiele helfen, eigene konzeptionelle Fehler aufzudecken. Den Softwareanwendern sollen sie ermöglichen, die Eignung eines Software-Produktes für ihre konkrete Problemstellung festzustellen.

Anhang B Numerisches Verifikationsbeispiel

Gabelgelagerter Balken mit Doppelbiegung



Anhang C Experimentelles Validierungsbeispiel

Stahlbetonbalken mit stofflich nichtlinearem Verhalten

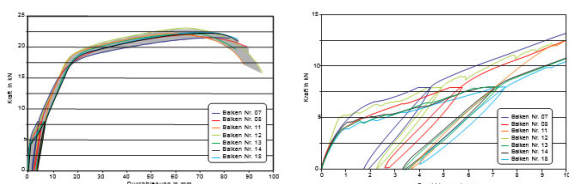


Bild 3. Evaluierungsbeispiele in Anlehnung an [2]

Es werden fünf Klassen von Evaluierungsbeispielen definiert, zu denen jeweils ein Musterbeispiel angeführt wird [2]:

- Analytisches Verifikationsbeispiel: Es liegt eine gesicherte analytische Referenzlösung vor.
- Numerisches Verifikationsbeispiel: Es liegt eine mit mindestens drei unabhängigen Softwarelösungen gesicherte numerische Referenzlösung vor.
- Experimentelles Validierungsbeispiel: Es liegen gesicherte experimentelle Referenzwerte vor.
- Normenbasiertes Verifikationsbeispiel: Es liegt eine Lösung nach den anerkannten Regeln der Technik vor.
- Systemisches Validierungsbeispiel: Eine gesicherte Referenzlösung liegt nicht vor. Die Validierung umfasst den Gesamtablauf einer praxisnahen Aufgabenstellung.

Für jede der fünf Klassen ist in VDI 6201 Blatt 2 ein Evaluierungsbeispiel angegeben (Bild 5), aus denen Form und Inhalt zukünftiger Beispiele sowie die Erwartung an die bereitgestellte Referenzlösung ersichtlich werden. Für jedes Evaluierungsbeispiel ist zudem zwecks Zuordnung eine Klassifikation nach Tragwerkstyp, Mechanik, Materialgesetz, Baustoff und Nachweisformat anzugeben [2].

3 Forschungsprojekt zur Umsetzung der Richtlinie in die Praxis

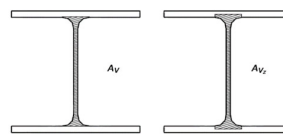
Eine digitale Datenbank mit einer umfangreichen Beispielsammlung konzeptionell zu entwickeln und aufzubauen überschreitet die Möglichkeiten eines ehrenamtlich besetzten Richtlinienausschusses, weshalb in der Richtlinie lediglich Vorgaben gemacht wurden. Die Umsetzung wird im Rahmen eines Forschungsprojekts realisiert.

3.1 Projektförderung und Projektpartner

Das Projekt mit dem Titel „Konzeption und Aufbau einer standardisierten Beispieldatenbank für softwaregestützte Tragwerksberechnung in Anlehnung an VDI 6201 für den Einsatz von Statik-Software in BIM-basierten Prozessketten“ wird gefördert durch das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) über das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau.

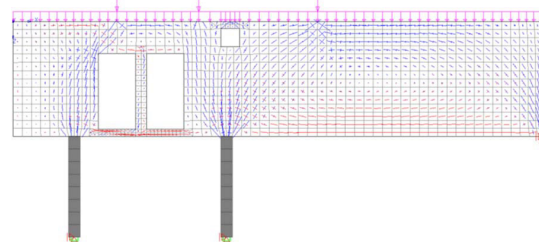
Anhang D Normenbasiertes Verifikationsbeispiel

Stahlprofil mit N,Q,M-Interaktion



Anhang E Systemisches Validierungsbeispiel

Stahlbetonscheibe mit Öffnungen



Im Hinblick auf die Praxistauglichkeit und die Akzeptanz der Datenbank wurde bei der Auswahl der Projektpartner darauf geachtet, dass Vertreter aus allen Bereichen der Softwareherstellung und Softwareanwendung involviert sind. Besonders bedeutsam ist die Beteiligung der namhaften Softwarehäuser Dlubal, Frilo, RIB und Sofistik sowie der Ingenieurverbände Deutscher Beton- und Bautechnik Verein DBV, Verein Deutscher Ingenieure VDI und Vereinigung der Prüfengeineure VPI, vertreten durch die Landesvereinigung Nordrhein-Westfalen. Neben Vertretern der Bauindustrie wie Schöck und Züblin wirken zudem neun Tragwerksplanungsbüros mit, in denen zum Teil auch Prüfengeineure tätig sind, die ein besonderes Interesse an der Qualitätssicherung von Statik-Software haben (Bild 4).

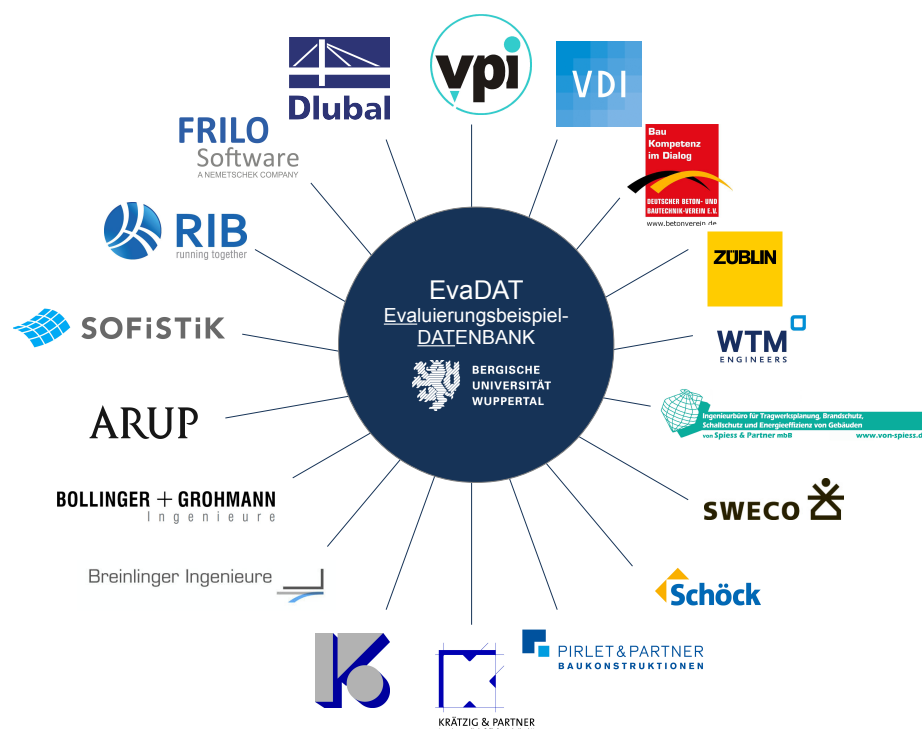
Um den unterschiedlichen bauaufsichtlichen Regelungen zur Prüfstatik in den verschiedenen Bundesländern gerecht zu werden, wurde zudem auf eine deutschlandweite Verteilung der Projektpartner geachtet. Beantragt wurde das Forschungsprojekt von der Bergischen Universität Wuppertal, Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen, Prof. Dr.-Ing. Reinhard Harte. Das Projekt ist angedockt an das BIM-Institut der Bergischen Universität Wuppertal unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus, in dem verschiedene nationale BIM-Cluster und BIM-Forschungsprojekte organisiert sind.

3.2 Kettenglied in der BIM-Prozesskette

In dem Forschungsprojekt wird eine standardisierte Beispieldatenbank für softwaregestützte Tragwerksberechnung in Anlehnung an VDI 6201 konzipiert und aufgebaut, die Softwareherstellern und Softwareanwendern als interaktives Instrument zur Evaluierung von Softwareprodukten zur Verfügung stehen soll und damit der Qualitätssicherung im statisch-konstruktiven Planungsprozess dient. Ein solches Instrument ist im Kontext der Digitalisierung der Planungs- und Herstellungsprozesse im Bauwesen zu sehen und damit ein Baustein der BIM-Prozesskette, die sich über den Lebenszyklus eines Bauwerks aus planenden, herstellenden und erhaltenden Prozessschritten zusammensetzt. Es dient als Teilprojekt einer ganzheitlich betrachteten BIM-Prozesskette, in dem ein Beitrag zur Schließung der Prozesslücke „Tragwerksplanung“ geleistet werden soll (Bild 5).



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU

Bild 4. Projektpartner und Fördermittelgeber

Nur wenn Statik-Software einwandfrei und zuverlässig arbeitet, kann sie als Teil einer BIM-Prozesskette im Sinne einer Black-Box verantwortungsvoll eingesetzt werden und nur dann kann das derzeit hohe Sicherheitsniveau beim Bau erhalten werden. Die konzeptionelle Entwicklung eines Rahmens, in dem Evaluierungsbeispiele für Statik-Software im Sinne der Richtlinie VDI 6201 eingestellt, überprüft und legitimiert werden können, soll zur Einrichtung einer Beispieldatenbank führen, die der Fachöffentlichkeit frei zugänglich zur Verfügung gestellt werden soll. Auf diese Weise lassen sich die in der BIM-Prozesskette für den Prozessbaustein „Tragwerksplanung“ zu verwendenden Software-Produkte evaluieren und im Hinblick auf ihren Anwendungsbereich klassifizieren.

3.3 Projektziele

Die Tragwerksplanung stellt nur einen kleinen Teil der Prozessketten im Lebenszyklus eines Bauwerks dar. Allerdings gehört sie neben dem Brandschutz zu den sicherheitsrelevanten Planungsprozessen. Die Zielvorstellung des BIM-basierten Bauens setzt die Digitalisierung sämtlicher Planungsprozesse voraus, damit die für die Genehmigungsplanung erforderliche Tragwerksberechnung als wesentlicher Teil der Tragwerksplanung auch in digitaler Form zuverlässig bleibt.

Andererseits wird die Digitalisierung auch die Automatisierung der Planungsprozesse und die Vernetzung und Interaktion der Prozessschritte vorantreiben. Damit kommt der Verlässlichkeit der Statik-Software zukünftig eine noch größere Bedeutung zu, wie auch der Unabhängigkeit der Softwarelösung auf Seiten des Prüfenden im Sinne des Vier-Augen-Prinzips.

Es ist daher ein Hauptanliegen des Forschungsprojekts, mit der Beispieldatenbank ein Werkzeug bereit zu stellen, mit dem die Qualität von Statik-Software für die jeweilige Problemstellung beurteilt werden kann. Neben diesem überge-

ordneten Ziel der Qualitätssicherung soll der Softwareanwender als Kunde des Softwareherstellers in die Lage versetzt werden, sich mit unabhängigen Evaluierungsbeispielen von der Qualität des Softwareprodukts und dessen Eignung für seinen Anwendungsfall zu überzeugen.

Weitere Ziele der Softwarehersteller und der Bauindustrie bestehen zudem in der besseren Akzeptanz deutscher Software im Ausland. Durch Übereinstimmung mit Evaluierungsbeispielen aufbauend auf einer anerkannten VDI-Richtlinie kann die Qualität deutscher Statik-Software auch ausländischen Auftraggebern besser vermittelt werden.

4 EvaDAT – Die Evaluierungsbeispiel-Datenbank

4.1 Konzept

Bei der Entwicklung der Beispieldatenbank sind vor allem folgende Merkmale zu beachten:

- Standardisierung – Form und Inhalt der Evaluierungsbeispiele sollen den Vorgaben der VDI 6201, Blatt 2 folgen.
- Unabhängigkeit – Entwicklung und Administration der Beispieldatenbank soll frei sein von Liefer- und Leistungsinteressen sowohl der Softwarehäuser als auch der Bauindustrie.
- Freie Zugänglichkeit – Die interaktive Nutzung der Beispieldatenbank soll der breiten Fachöffentlichkeit möglich sein, sofern die Kosten der Administration der Datenbank langfristig gedeckt werden können.
- Interaktivität – Die Beispieldatenbank soll webbasiert so angelegt werden, dass sie eine permanente Erweiterung und Verbesserung durch die beteiligten Nutzer erfährt.

Gerade das letzte Merkmal eröffnet gegenüber den meist erfolglosen Benchmarking-Ansätzen aus der Vergangenheit einen neuen Weg: Die Beispieldatenbank ist so angelegt, dass neue Evaluierungsbeispiele von den Nutzern selbst eingestellt werden können. Eine „Legitimation“ der Bei-

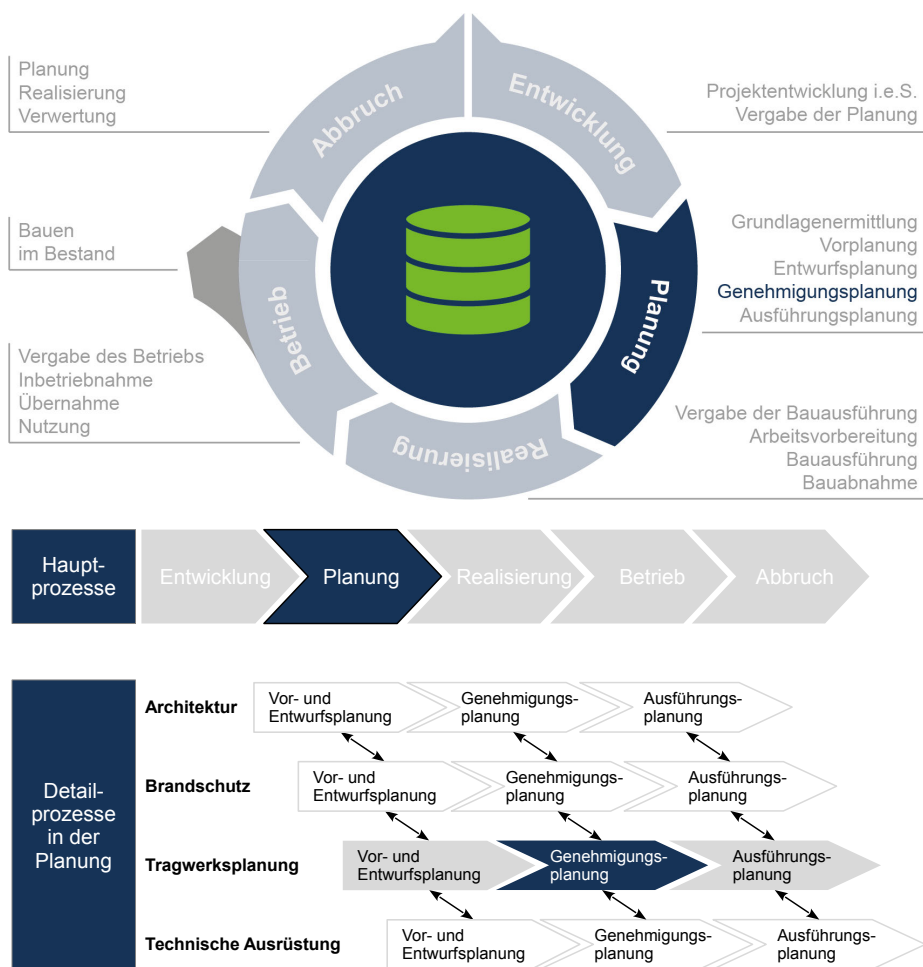


Bild 5. Einordnung des Forschungsprojektes in einen BIM-basierten Planungsprozess in Anlehnung an [6]

sie erfolgt, indem jedes Beispiel durch drei Nutzer qualifiziert berechnet wird, die mit unabhängigen Lösungsweisen zu vergleichbaren Ergebnissen kommen.

Hinsichtlich der Nutzung der Datenbank wird zwischen einer aktiven und passiven Nutzung unterschieden:

- Unter einer aktiven Nutzung der Beispieldatenbank wird die Einstellung von Beispielen sowie die Überprüfung von bereits eingestellten Beispielen verstanden, mit dem Ziel, sie durch Bestätigung der Ergebnisse zu legitimieren und der Fachöffentlichkeit zuverlässige Lösungen zur Verfügung zu stellen. Aktive Nutzer werden insofern vorrangig die Softwarehersteller sein, die bereits über eine breite Palette an Beispielen verfügen. Aber auch die

mit Software-Anwendungen befassten Mitarbeiter in Ingenieurbüros, Baufirmen oder Forschungseinrichtungen können sich an diesem aktiven Prozess der Bereitstellung und Legitimation von Beispielen beteiligen.

Darüber hinaus wird es als aktiver Nutzer ebenso möglich sein, lediglich eine Problembeschreibung in die Datenbank einzustellen, für die dann durch andere Nutzer die Ergebnisse bereitgestellt werden können.

- Unter einer passiven Nutzung der Beispieldatenbank wird die Nutzung der Beispiele zur Evaluation der eigenen Softwarelösungen im Sinne von Benchmarks verstanden. Dies werden vorrangig die Software-Anwender nutzen.

Um einem Missbrauch vorzubeugen, wird es notwendig sein, dass sich sowohl die aktiven als auch die passiven Nutzer mit einem Mindestmaß an Nutzerdaten anmelden müssen. Ausnahme hiervon bildet der Datenbank-Besucher mit lediglich eingeschränkten Zugriffsrechten.

4.2 Verfügbarkeit der Datenbank

Die Evaluierungsbeispieldatenbank EvaDAT ist online unter www.evadat.de abrufbar. Bis zum Ablauf des Forschungsprojektes Ende 2018 stehen hier im öffentlichen Bereich allgemeine Informationen rund um die Datenbank und das Forschungsprojekt zur Verfügung. Darunter auch ein Verzeichnis der bereits vorhandenen Evaluierungsbeispiele. Der Zugriff auf die Beispiele ist bis Jahresende nur den Projektbeteiligten vorbehalten. Ab 2019 wird an dieser Stelle die Datenbank veröffentlicht, die auch über das Forschungsvorhaben hinaus von der Projektleiterin Dr.-Ing. Kirsten Stopp betrieben und weiterentwickelt wird.

Literatur

- [1] VDI 6201 Blatt 1: Softwaregestützte Tragwerksberechnung: Grundlagen, Anforderungen, Modellbildung. VDI e. V., Düsseldorf, 2015.
- [2] VDI 6201 Blatt 2: Softwaregestützte Tragwerksberechnung: Verifikationsbeispiele. VDI e. V., Düsseldorf, 2018.
- [3] Ri-EDV-AP-2001: Richtlinie für das Aufstellen und Prüfen EDV-unterstützter Standsicherheitsnachweise. Ausg. 2001–04. Bundesvereinigung der Prüfen Ingenieure für Bautechnik VPI, Hamburg 2001.
- [4] Landesregierung NRW: Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über bautechnische Prüfungen. VV BauPrüfVO vom 8.3.2000.
- [5] Funke, T.; Noll, R.; Niessen, S.; Weigl, B.: Softwareentwicklung in mittelständischen Unternehmen mit ISO 9000. Springer, 2000.
- [6] Helmus, M.; Meins-Becker, A.; Kelm, A.; Kauffhold, M.; Khorrami, N.: Entwicklung einer idealtypischen Soll-Prozesskette zur Anwendung der BIM-Methode im Lebenszyklus von Bauwerken. Abschlussbericht Forschungsinitiative Zukunft Bau, Band F 3049, Fraunhofer IRB Verlag, 2018.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat (BMI) für die Förderung des Projektes im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) sowie den Praxispartnern ARUP Deutschland GmbH, B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH, Breinlinger Ingenieure Hoch- und Tiefbau GmbH, Deutscher Beton- und Bautechnikverein e. V., Dlubal Software GmbH, Frilo Software GmbH, Kempen Krause Ingenieure GmbH, Krätzig & Partner Ingenieurgesellschaft für Bautechnik mbH, Pirllet & Partner Baukonstruktionen Ingenieurgesellschaft mbH, RIB Software AG, Schöck Bauteile GmbH, Ingenieurbüro v. Spiess & Partner, Sofistik AG, Sweco GmbH, Verein Deutscher Ingenieure e. V., Landesvereinigung der Prüfen Ingenieure für Baustatik NW e. V., WTM Engineers GmbH und Ed. Züblin AG für die finanzielle, personelle und inhaltliche Unterstützung.