

# Durchgängige digitale Pipelines – vom 3D-Modell zum Normennachweis

Die BIM-Planung hat sich, auch dank der zunehmenden BIM-Anforderung in öffentlichen Ausschreibungen, immer mehr zum Standard etabliert, auch in Deutschland. In Bezug auf die Tragwerksplanung lässt sich feststellen, dass sich die Arbeitsweise trotz BIM-Planung im Durchschnitt kaum verändert hat. Zumeist sind die Koordination und Kollaboration (Geometrisches Projektwissen – häufig in einer Dopplung aus PDF-Markups und BIM-Modell) und die statische Berechnung voneinander entkoppelt. Hingegen hat sich in vielen BIM-Projekten durch AG-seitige Modellqualitätsprozesse tendenziell eher ein Mehraufwand eingestellt. Aus Sicht der Verfasser:innen befinden sich für eine durchgängige softwaresystemübergreifende statische Berechnung und entsprechende potenzielle Effizienzsteigerungen alle Figuren auf dem Spielfeld. Mit diesem Beitrag soll eine digitale Design Pipeline vorgestellt werden, die eine Verbesserung der internen und externen Abläufe bei der Tragwerksplanung herbeiführen kann – vom 3D-Modell zum Normennachweis.

**Stichworte** BIM; Design Pipeline; Computational Design; Digitale Normennachweise

## 1 Einleitung

### 1.1 Überblick

Ein Blick in die vergangenen zwanzig Jahre zeigt, dass außer der Einführung der BIM-Arbeitsmethodik keine merklichen Veränderungen in der Arbeitsweise der Planenden stattgefunden haben. Die Planungsprozesse finden lediglich in einer anderen Umgebung statt. Die Bearbeitungsfunktion der PDF-Programme ersetzt das Transparentpapier, die Modellerstellung für BIM und FE-Berechnungen erfolgt überwiegend händisch und voneinander entkoppelt. Eine Arbeit mit nutzbaren Daten eines Modells wird häufig nicht zielführend genutzt. Dabei sind es gerade diese Daten bzw. deren Struktur, welche für den künftigen Einsatz von KI in der Tragwerksplanung essenziell sind. Zusammenfassend kann man einige Bestandteile der aktuellen Arbeitsweise als digitalisierten analogen Planungsprozess verstehen.

### 1.2 Status Quo

Die Planung eines Bauvorhabens lässt sich grob in drei Bearbeitungsvarianten unterteilen: Erstens die klassische Planung auf Basis zweidimensionaler Pläne, zweitens

### End-to-end digital pipelines – From 3D-model to code verification

BIM has become increasingly established as the standard, primarily due to the growing number of BIM requirements in the public tenders, also in Germany. With regard to structural design, it can be said that, despite the ongoing BIM implementation, working methods have hardly changed on average. In most cases, coordination and collaboration (geometric project knowledge — often duplicated in PDF markups and BIM models) and structural analysis are decoupled from each other. On the other hand, model quality processes on the client side have tended to result in additional work in many BIM projects. From the authors' point of view, all the pieces are in place for a consistent, cross-software system for structural analysis, and thus for potential efficiency gains. This article aims to present a digital design pipeline that can bring about improvements in internal and external processes in structural design from the 3D Model to design code verifications.

**Keywords** BIM; Design Pipeline; Computational Design; Digital Code Calculations

eine modellbasierte dreidimensionale Planung ohne Einbindung der BIM-Arbeitsmethodik und drittens eine modellbasierte dreidimensionale Planung mit Einbindung der BIM-Arbeitsmethodik. Hinsichtlich der Kommunikation unterscheiden sich die Varianten wie folgt: Bei der ersten Variante erfolgt der Informationsabgleich über die Planungsergebnisse durch den Austausch der Pläne. Änderungen bzw. Anmerkungen werden häufig über Kommentare in den Plänen vermittelt. Bei den Varianten 2 und 3 erfolgt er durch den Austausch der Modelle der jeweiligen Fachplanung.

Basierend auf der ersten Entwurfsidee werden in der Leistungsphase 2 verschiedene Varianten erarbeitet. In der Leistungsphase 3 werden auf der finalen Variante die Bauteile seitens der Tragwerksplanung im Anschluss dimensioniert. Die Dimensionierung der Bauteile erfolgt, wenn nicht auf Grundlage von Erfahrungswerten, anhand einzelner losgelöster Bemessungen der aus dem Plan abstrahierten statischen Systeme. Bei komplexeren Fragestellungen kann mitunter eine zusätzliche händische Modellierung eines FE-Modells erforderlich sein.

In der Genehmigungsplanung werden abschließend für sämtliche tragende Bauteile die statischen Berechnungen durchgeführt und dokumentiert. Der Bericht der

statischen Berechnung größerer Bauvorhaben umfasst nicht selten mehr als 1000 Seiten, ein Umfang, der in vielen Fällen in Frage gestellt werden kann. Der Bericht ist zuweilen ein digital-analoger PDF-Hybrid, bestehend aus einer Vielzahl zusammengeführter PDF-Kapitel, die wiederum aus verschiedensten PDF-Dateien bestehen. Er wird häufig nach der digitalen Zusammenstellung in mehrfacher Ausfertigung gedruckt und an die verschiedenen Projektbeteiligten zur weiteren Verwendung übergeben. Zumindest das Drucken entfällt durch die fortschreitende Digitalisierung des Prüfwesens.

### 1.3 Notwendigkeit einer digitalen Planung

Der im Abschn. 1.2 beschriebene Arbeits- bzw. Projektablauf ist geprägt von einer Vielzahl an Schnittstellen, einem hohen Bedarf an Informationsaustausch und einer Abhängigkeit unter den einzelnen Fachplanungsdisziplinen. Nicht jedes Projekt benötigt ein dreidimensionales digitales Gebäudemodell und die Integration komplexer Workflows. Mit steigender Komplexität und Größe des Projekts sollte der Einsatz digitaler Planungsmethoden aus Sicht der Verfasser:innen jedoch stets forciert werden, da sich hier eine Reihe von Vorteilen für die Planungsbeizteiligten ergeben kann, auf die nachfolgend eingegangen wird.

Nachteile gegenwärtiger Planungsmethoden sind ihr zeitintensiver und ineffizienter Bearbeitungscharakter. Aus Sicht der Tragwerksplanung läuft eine Vielzahl von Bearbeitungsschritten parallel und nicht miteinander verknüpft ab. Beispielhaft seien hier die parallele Modellierung eines BIM-Modells und eines FE-Gesamtmodells genannt. Sofern die Komplexität eines Projekts intensive rechnerische Betrachtungen in den frühen Leistungsphasen erfordert, führen Änderungen bzw. Variantenbetrachtungen zu einem erheblichen Arbeitsaufwand, sofern die Modelle händisch modelliert werden. Eine Digitalisierung des Prozesses zur Erstellung des FE-Modells mittels einer parametrisierten Grundlage kann hier zu einem deutlichen Effizienzgewinn führen. Nicht zuletzt bietet die Erstellung der Gebäudemodelle in Interaktion zwischen Konstrukteur:in und Ingenieur:in das Potenzial, Engstellen bzw. Detailfragen aus der Ausführungsplanung zu erkennen und frühzeitig zu lösen.

Der Einsatz digitaler Planungsmethoden kann die Kommunikation deutlich verbessern. Dies betrifft sowohl die Kommunikation zwischen den an der Planung beteiligten Akteur:innen als auch die softwareseitige Kommunikation über Schnittstellen. Dreidimensionale Gebäudemodelle sowie Visualisierungen tragen zu einer klareren Kommunikation bei, da 2D-Planungen aufgrund ihres Abstraktionsgrades von den Beteiligten unterschiedlich interpretiert werden können.

Auf Softwareebene führen gemeinsame Dateistandards zu einem verbesserten Austausch von Planungsergebnissen; beispielhaft sei hier das GAEB-Format bzw. partiell das IFC-Format genannt. Darüber hinaus ermöglichen

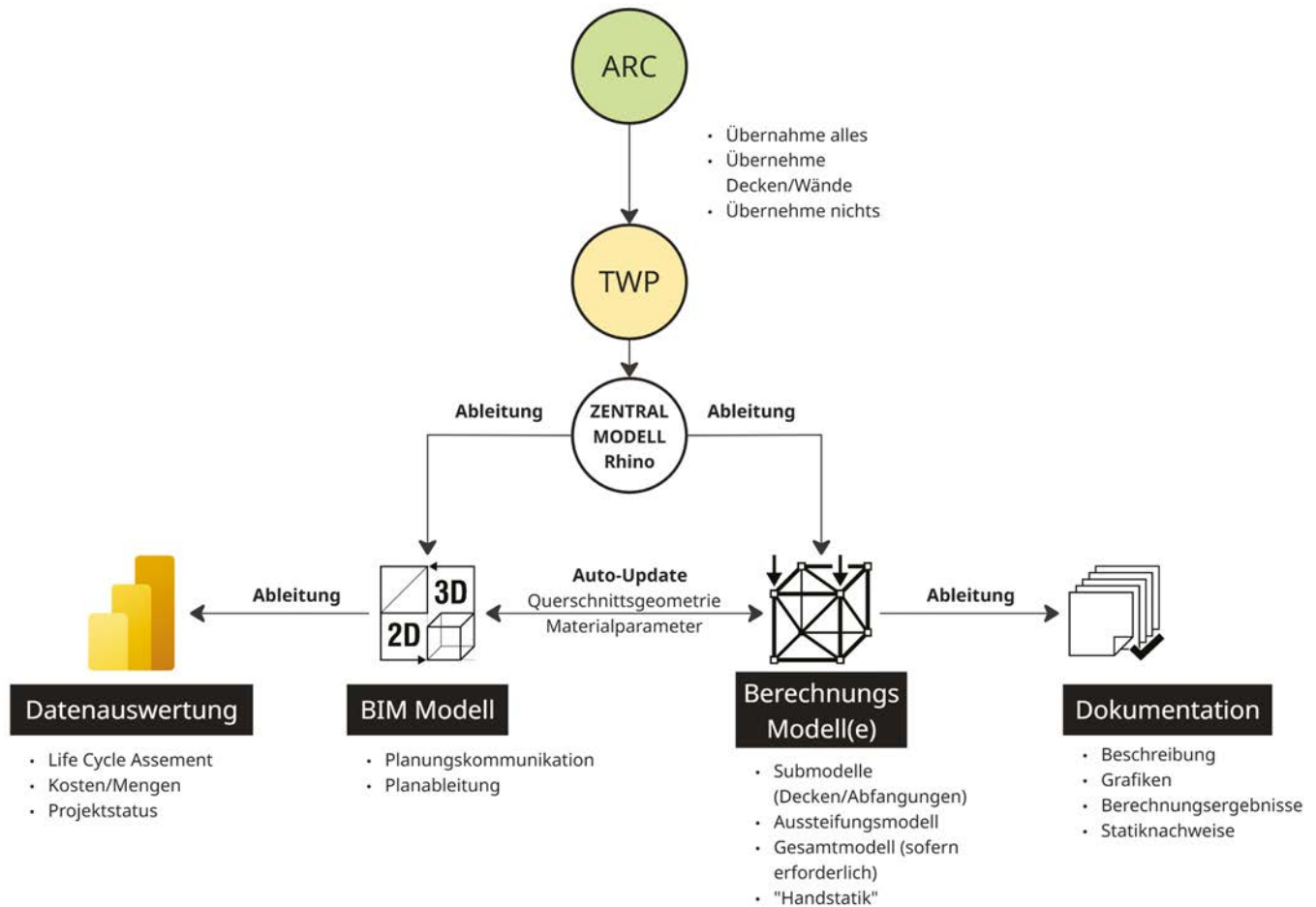
Softwareschnittstellen wie API (Application Programming Interface) die Kommunikation zwischen verschiedenen Programmen. Dadurch können Ergebnisse automatisiert von Software A an Software B übermittelt werden, wodurch Fehler infolge manueller Eingaben reduziert werden. Allerdings bietet nur eine geringe Anzahl von Softwareanbietern eine offene API an und die Bedienung bzw. Ansteuerung der Schnittstelle benötigt Programmierkenntnisse. Gleichzeitig ermöglichen digitale Planungsmethoden in Zukunft die Implementierung von künstlicher Intelligenz (KI). Allerdings eignen sich die eingangs erwähnten Berichte statischer Berechnungen in ihrer aktuellen Form nur bedingt für den Einsatz von KI, da das Endprodukt von Dokumenten in „gesprengter Form“ im besten Falle vektorisiert bzw. im schlechtesten Falle eine Pixelgrafik ist. Die Zusammenhänge erschließen sich dem Menschen durch die Deutung beim Lesen, kombiniert mit Sachverstand. Maschinell leichter zu verstehen sind reine Datensätze mit hinterlegten Abhängigkeiten, die nicht erst aus Dokumenten mittels Texterkennung (OCR) und damit einhergehenden Verlusten/Fehlern zurückübersetzt werden müssen.

Nicht zuletzt besteht in der Baubranche ein massives Digitalisierungsdefizit. Eine Digitalisierung der Prozesse auf den Baustellen bedingt zwingend eine vollständig digitale Planung. Aufgrund der Nachteile analoger und der Vorteile digitaler Planungsmethoden ist die Notwendigkeit einer digitalen Planung eindeutig gegeben, insbesondere im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit am Markt. Unternehmen, die sich diesem Wandel nicht anpassen, riskieren langfristig den Verlust ihrer Marktposition. Trotz des bislang noch schleppenden Digitalisierungstempos in der Bauindustrie ist dieser Schritt in absehbarer Zeit unvermeidbar.

### 1.4 Zielsetzung der digitalen Planung

Die Verfasser:innen dieses Beitrags verfolgen mit der Implementierung einer ganzheitlichen digitalen Planung mehrere Ziele. Diese lassen sich in drei übergeordnete Themen zusammenfassen: Qualitätsmanagement, nachhaltige Datennutzung und Wirtschaftlichkeit der Planung. Auf der Ebene des Qualitätsmanagements ist das wichtigste Anliegen der digitalen Planung die Reduktion interner planerischer Schnittstellen zwischen den eingesetzten Prozessen und den Software-Tools. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass jede „händisch“ betriebene Schnittstelle im Prozess eine potenzielle Fehlerquelle ist. Häufigste Fehler sind hier Tippfehler, Vorzeichenfehler bzw. schlichtweg Übertragungsfehler. Im günstigsten Fall und bei frühem Entdecken führen diese Fehler lediglich zu einer Überarbeitung der Planung. Im schlimmsten Fall kann ein Konstruktionsfehler im fertiggestellten Gebäude entstehen, der meist kostenintensiv beseitigt werden muss.

Weiterhin soll mithilfe digitaler Planungsmethoden die Qualität der Statik hinsichtlich ihrer Verständlichkeit und der anschließenden Nutzung der enthaltenen Informationen verbessert werden. Vergleicht man eine händische



**Bild 1** Idealtypus einer digitalen Pipeline (Quelle: B+G)  
Ideal type of a digital pipeline

statische Berechnung mit einer FE-Berechnung inklusive tabellarischer Ausgabe hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit, so ist die Handrechnung i. d. R. überlegen. Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit steht die FE-Berechnung an erster Stelle. Eine Kombination beider Arbeitsmethoden kann das oben beschriebene Ziel erreichen. Eine digitale statische Berechnung sollte der Struktur und Verständlichkeit einer Handrechnung entsprechen bei gleichzeitiger Leistungsfähigkeit computergestützter Berechnungsverfahren. Um dieses Ziel zu erreichen, können Plattformen genutzt werden, auf denen durch individuell programmierte Skripte Berechnungen parametrisiert und somit automatisiert durchgeführt werden können. Gleichzeitig bildet dieser datenbasierte Aufbau eine Grundlage, die Informationen dieses Berichts maschinell in Form von KI zu verwerten.

Mit der Implementierung neuer digitaler Planungsmethoden verfolgen die Autor:innen auch eine kosteneffiziente Optimierung der Planungsprozesse. Ziel ist es, durch die Nutzung eines zentralen digitalen Gebäudemodells den Arbeits- und Personalaufwand zu reduzieren. Aus dem Modell sollen FE-Modelle mittels Schnittstellen abgeleitet werden. Dies kann im besten Fall durch eine Person erfolgen. Somit entfällt zum einen der doppelte Modellierungsaufwand für die jeweiligen Modelle, gleichzeitig kann der Personalbedarf für das jeweilige Projekt minimiert werden. Wie bereits bei den Vorteilen auf das Qualitätsmanagement erwähnt, können durch die Reduk-

tion händischer Schnittstellen ebenfalls Fehlerquellen und somit Kostenrisiken minimiert werden.

### 1.5 Idealtypus einer digitalen Pipeline

Grundlage der Pipeline (Bild 1) bildet ein zentrales dreidimensionales Gebäudemodell, aus Sicht der Autor:innen nicht das BIM-Tool, sondern die 3D-CAD-Software Rhinoceros3D (Rhino). Das digitale Modell erfüllt zwei wichtige Funktionen. Es bildet zum einen das Grundgerüst für statische Berechnungen, etwa für FE-Berechnungen. Zum anderen sollen aus diesem Modell BIM-prozesskonforme Gebäudemodelle erzeugt werden, die zugleich als Kommunikationsgrundlage mit anderen Fachplanungsdisziplinen dienen. Gerade im Hinblick auf die frühen Leistungsphasen soll durch das Ableiten von Berechnungsmodellen eine schnelle statische Bewertung ermöglicht werden. Komplexe Modellanpassungen sind in CAD-Tools zumeist schneller umsetzbar als in den User-Interfaces der FE-Software. Somit wären bei gleicher Planungszeit mehr Variantenbetrachtungen möglich als in herkömmlichen Planungsprozessen.

In der Genehmigungsplanung wird an die Prozesskette angeschlossen. Auf Basis der finalisierten FE-Modelle sowie deren Ergebnisse lässt sich eine Vielzahl von Optimierungen in den Planungsprozessen vornehmen. Die Idee ist es hier, die Ermittlung der Schnittgrößen und die



**Bild 2** Rendering des Projekts Officehome Spark der Pandion (Quelle: PANDION AG, Entwurf: ASTOC ARCHITECTS AND PLANNERS)  
Rendering of the Officehome Spark project by Pandion

ware. Abschließend werden die Pläne zur Ausführung an das Bauunternehmen übergeben.

## 2 Projektbeispiel Officehome Spark

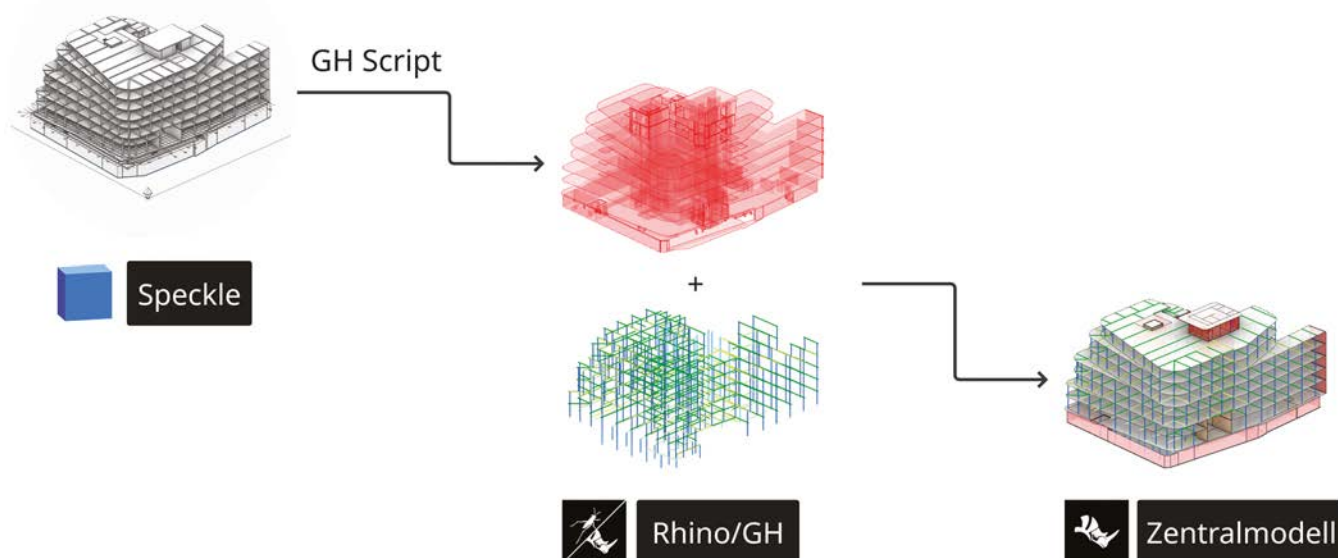
### 2.1 Kurzbeschreibung des Vorgehens

Das Projekt Officehome Spark (Bild 2) ist ein Bürogebäude in Holz-Hybrid-Bauweise in direkter Nähe des Kölner Bahnhofs. Als Bauherr fungiert der Projektentwickler Pandion, während der architektonische Entwurf vom Architekturbüro ASTOC ARCHITECTS AND PLANNERS erarbeitet wurde. Im Rahmen der Digitalisierungs-Agenda von Bollinger + Grohmann wurden am Projekt neue digitale Methoden und Workflows etabliert.

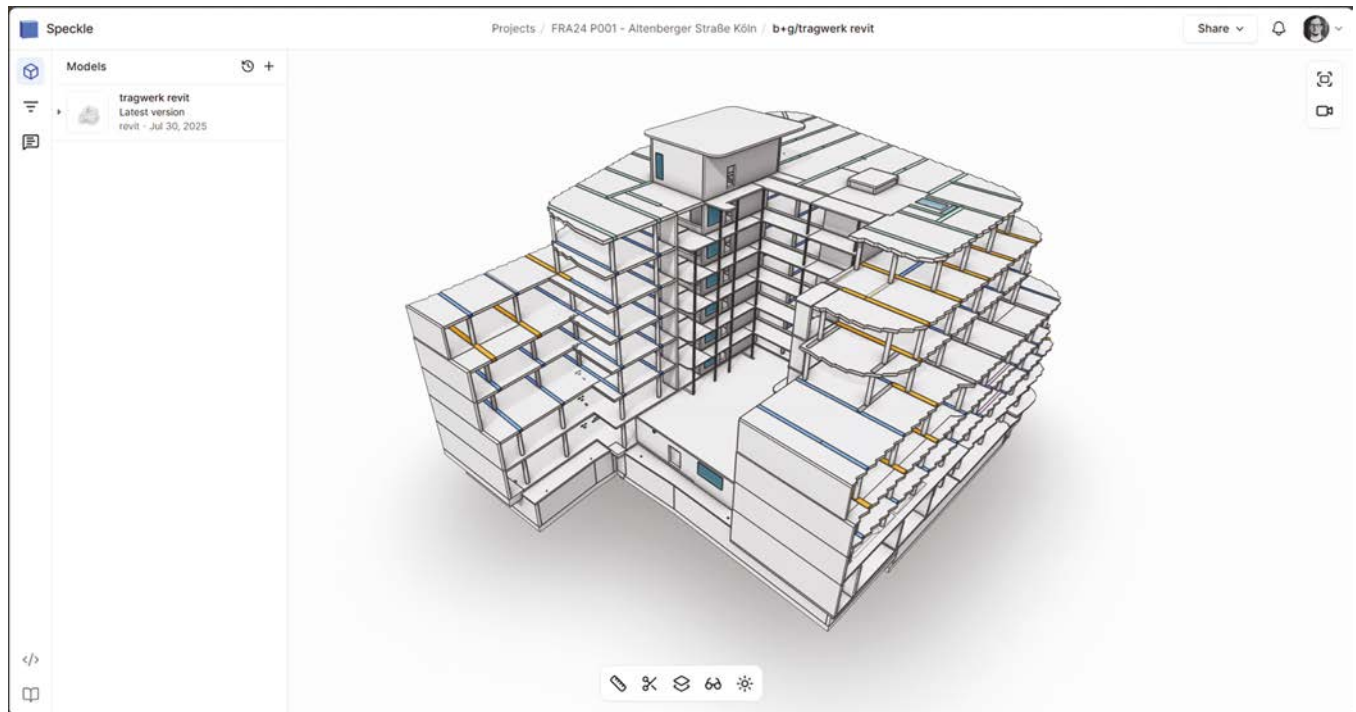
Bemessung in einen nahezu lückenlos miteinander verknüpften Prozess zu überführen. In der Praxis ist es mitunter noch üblich, Schnittgrößen im globalen FE-Modell zu berechnen und die lokalen Bauteilnachweise anschließend mit einer zweiten Software durchzuführen. Die Übergabe der Schnittgrößen erfolgt hier häufig händisch. Zur Reduktion dieser Fehlerquelle sollte die Bemessung entweder mit den angebotenen Plugins der jeweiligen FE-Software oder mit einem selbst entwickelten Bemessungstool erfolgen. Übergeordnetes Ziel ist an dieser Stelle die automatisierte Bemessung sich wiederholender Standardbauteile, um sich intensiver mit der Berechnung und der konstruktiven Durchbildung von Details beschäftigen zu können. Die wichtigsten Ergebnisse, wie bspw. maßgebende Schnittgrößen, Bewehrungswahl oder das gewählte Stahlprofil, sollen im zentralen Modell hinterlegt werden.

Innerhalb der Ausführungsplanung wird das zuvor erstellte BIM-Modell des Gebäudes zur Ausführungsreife gebracht. In einem idealen Planungsprozess erfolgt die Erstellung der Schal- und Bewehrungspläne in einer Soft-

Für die geometrische Kollaboration zwischen Architektur und Tragwerk bzw. Konstrukteur:in und Ingenieur:in kam die Onlineplattform des Startups Speckle zum Einsatz. Speckle erlaubt den versionierten Austausch von geometrischen und nichtgeometrischen Daten zwischen CAD- und FE-Tools und besitzt einen Online-Viewer als Kommunikationsumgebung. Am Projekt wurde des Weiteren das Statik-Webtool Calctree pilotiert. Calctree ist im Kern ein Computer-Algebra-System wie Mathcad oder Maple. Das Novum des Tools besteht darin, dass es speziell für die Tragwerksplanung entwickelt wurde und daher an gängige Tools des Bauwesens, wie z. B. die grafische Programmierumgebung Grasshopper gedockt werden kann. Neben der Mathematikumgebung können die ohne Programmiererfahrung erzeugten Nachweisblätter entweder an Excel für Massennachweise (Beispiel Schraubanschlüsse) gekoppelt oder um komplexe Python-Codes (Nachweisbibliotheken – z. B. Structural Codes des FIB, Solver-Schleifen, parametrische Skizzen, Ergebnisdiagramme etc.) ergänzt werden. Der Orchestrierungsworkflow, der eine Verbindung der Tools hin zu einer Design Pipeline



**Bild 3** Workflow Rhino als Zentralmodell (Quelle: B+G)  
Workflow Rhino as a central model



**Bild 4** Übersicht über das Speckle-Modell der Tragwerksplanung (Quelle: B+G)  
Overview of the speckle model for structural engineering

erlaubt, wurde bereits in mehreren Projekten erfolgreich eingesetzt und soll im Abschn. 2.2 beschrieben werden.

## 2.2 Rhino/Grasshopper

Ein kontinuierlich verzahnter Ablauf im Sinne einer „Fließbandproduktion“ ist im Planungsalltag noch Wunschdenken. Dafür sind die Entwurfs- und Planungsprozesse zu heterogen und dynamisch, um sie in ein zu streng durchgetaktetes Prozesskorsett zu zwingen. Hingegen ist der Ansatz einer automatisierten Verkettung modularer Teilprozesse durchaus auf die Tragwerksplanung übertragbar. Eine universelle Lösung nach dem Motto „One Size Fits All“ gibt es dafür nicht. Sinnvoll

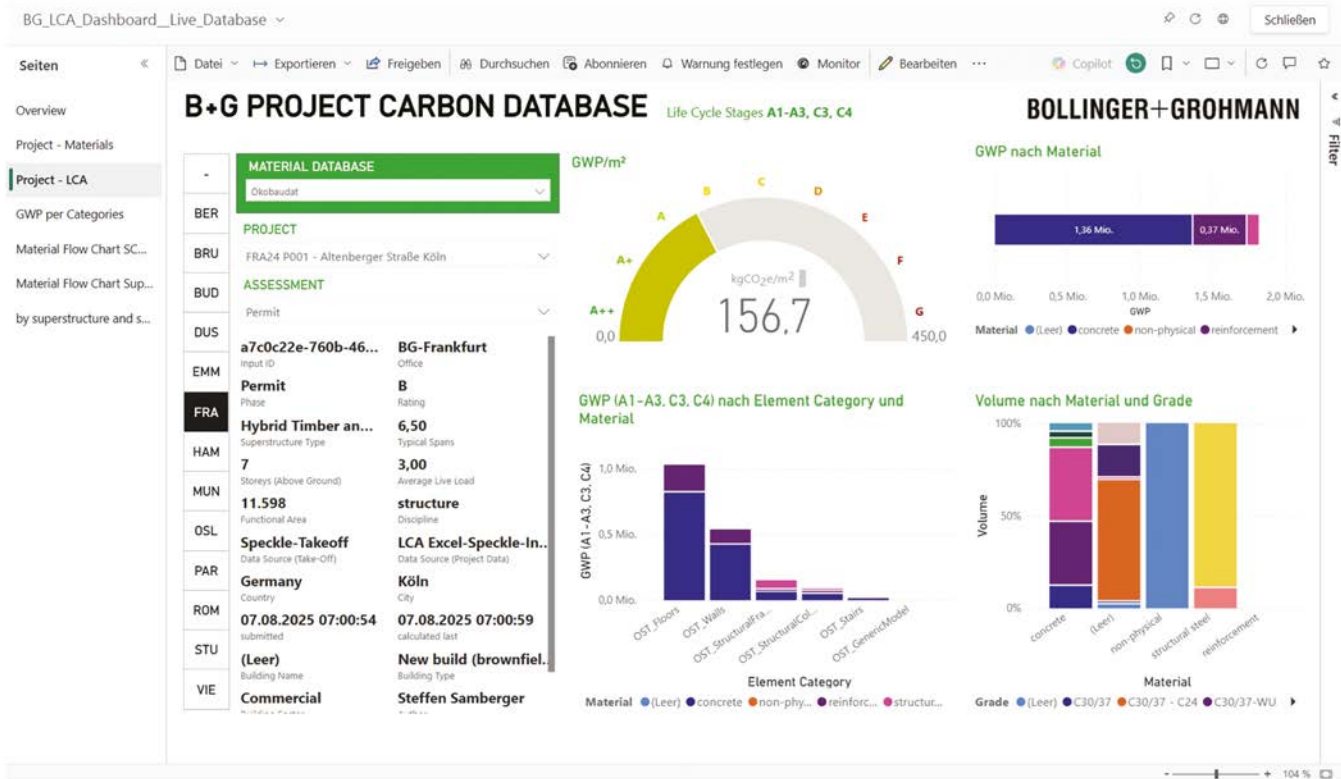
ist vielmehr ein modularer Baukasten, der sich an Organisation, Softwarelandschaft, Projektspezifikationen, bestehende Prozesse und digitale Kompetenz anpassen lässt.

Für die Workflows von B+G hat sich die 3D-Modellierungssoftware Rhinoceros3D in Kombination mit der visuellen Programmierumgebung Grasshopper3D als zentraler Verteilerknoten etabliert. Diese Kombination hat das parametrische Design in den letzten zwanzig Jahren maßgeblich geprägt, indem Grasshopper über seine grafische Oberfläche parametrische Werkzeuge für den computergestützten Entwurf auch Anwendenden ohne klassische Programmierkenntnisse zugänglich gemacht hat. Zudem ermöglichen zahlreiche Plugins die Vernetzung von Tools über API sowie die Automatisierung von Prozessen, die weit über die reine Geometriegenerierung hinausgehen. Genau diese Funktionalität schafft die Grundlage für eine effiziente Kommunikation zwischen den bislang weitgehend entkoppelten Programmen der Softwarelandschaft der Tragwerksplanung.



**Bild 5** Modellbasierte Kommunikation mit Speckle (Quelle: B+G)  
Model-based communication with Speckle

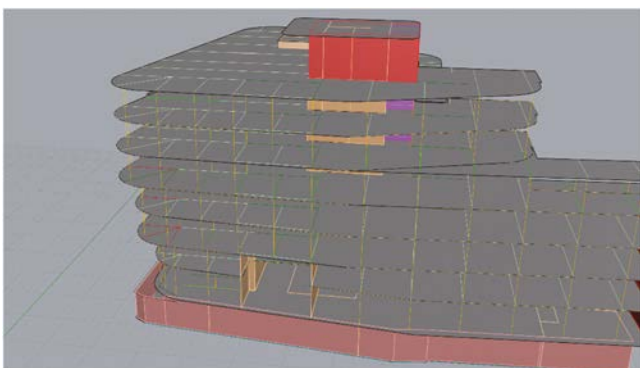
Die Rolle des Zentralmodells übernimmt ein Rhino-Modell, das die analytische Geometrie der tragenden Bauteile dreidimensional abbildet (Bild 3). Ergänzend wird die Geometrie um Metadaten wie Materialität, Querschnittsabmessungen, Exzentrizitäten oder Gelenkdefinitionen angereichert. Diese Verknüpfung von Geometrie und Informationen bildet die Grundlage für die nachfolgenden Prozessschritte und ermöglicht die Übertragung als native Elemente in die Zielsoftware (z.B. RFEM, Revit). Bei signifikanten Änderungen in der Geometrie, wie etwa im Grundrisslayout, können manuelle Schritte trotz Automatisierung nicht ausgeschlossen



**Bild 6** Dashboard der B+G LCA Datenbank (Quelle: B+G)  
Dashboard of the B+G LCA database

werden. Diese Anpassungen werden bewusst in der Pipeline berücksichtigt, um eine Überparametrisierung zu vermeiden.

In interdisziplinären Projekten stellt die CAD-Software der Architektur eine zusätzliche Variable dar, die den Rahmen für Geometrie- und Datenaustausch maßgeblich bestimmt. Im Projektbeispiel wurde das Architekturmodell in ArchiCad erstellt. Da ArchiCad nicht Teil der B+G-Softwarelandschaft ist, ergeben sich zusätzliche Anforderungen an den Modelltransfer. Der konventionelle Weg über IFC ermöglicht zwar einen neutralen, softwareunabhängigen Austausch, führt jedoch häufig zu Informationsverlust und fehlerhaften Geometrien. Ursachen hierfür sind i. d. R. Vereinfachungen, unterschiedliche Interpretationen oder unzureichende Unterstützung durch die Softwarehersteller. Die Konsequenzen sind eingeschränkte Weiterverwendbarkeit,



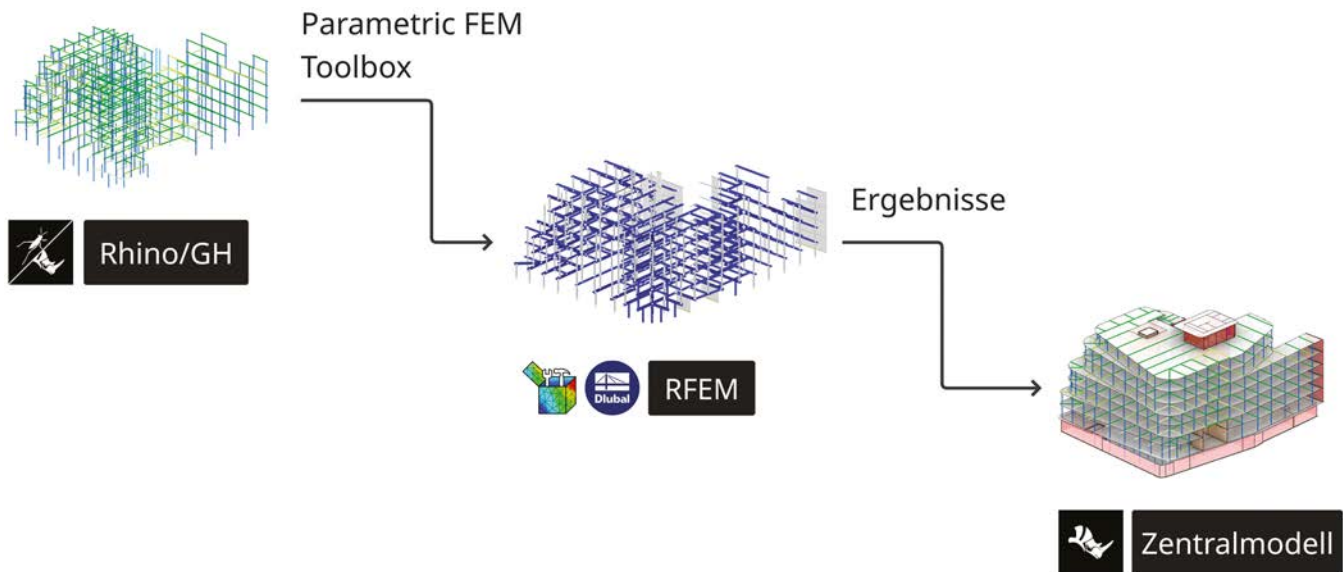
**Bild 7** Rhino Achsmodell (Quelle: B+G)  
Rhino axis model

erhöhter Modellierungsaufwand, manuelle Nachbearbeitung sowie eine Latenz bei der Aktualisierung des Planungsstands.

Um diese Einschränkungen in der digitalen Pipeline zu umgehen, wurde Speckle als technische Kommunikationsebene etabliert. Speckle agiert dabei als unabhängiger „Übersetzer“ zwischen verschiedenen Softwareumgebungen. Die Plattform ermöglicht den direkten Zugriff auf Modellinhalte und mittels systeminterner „Connectors“ die selektive oder vollständige Übertragung, Versionierung sowie native Rekonstruktion in der Zielsoftware. Im Projekt wurde die Geometrie aus dem ArchiCad-Architekturmodell mithilfe des Grasshopper-Plugins von Speckle dekonstruiert (Bild 4). Zunächst erfolgte die Extraktion der Achsen der tragenden Bauteile. Die Wände und Decken wurden dabei übernommen und mit eigener Stützen- und Trägergeometrie kombiniert. Das kombinierte Modell gewährleistet die Konsistenz des Tragwerksmodells sowie die Genauigkeit des Berechnungsmodells. Durch die kontinuierliche Zusammenführung mit dem Architekturmodell lassen sich Änderungen an Positionen, Querschnitten oder Bauteilparametern frühzeitig erkennen und kommunizieren. Die Modellabstimmung und Änderungsverfolgung erfolgen über Speckle. Dadurch werden alle Anpassungen transparent dokumentiert, kommuniziert und in den weiteren Planungsprozess integriert.

## 2.3 BIM-Modell

Wie in Abschn. 2.1 einleitend beschrieben, besitzt das Projekt Officehome Spark eine BIM-Anforderung. Es musste



**Bild 8** Von der Geometrie zum Berechnungsmodell (Quelle: B+G)  
From geometry to calculation model

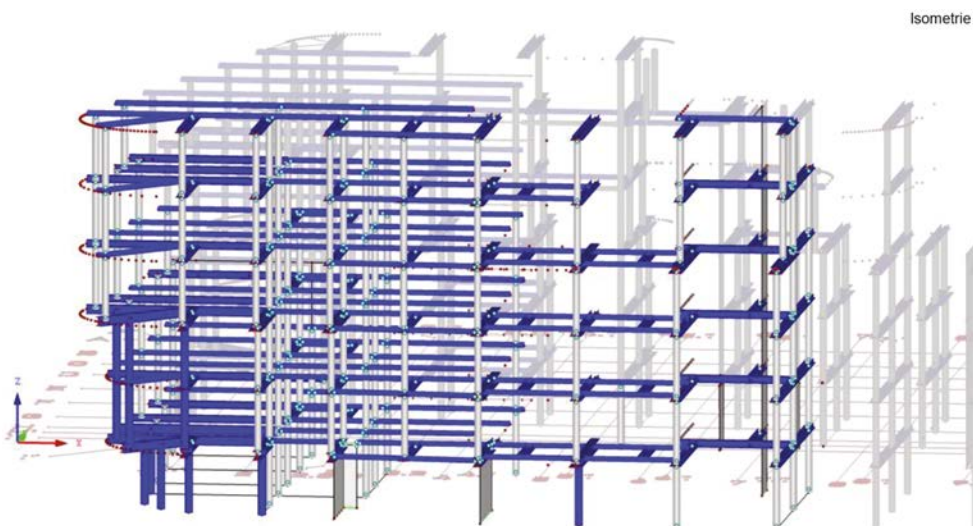
daher ein BIM-Modell des Rohbaus in regelmäßigen Abständen (sog. Datadrops) in den Koordinationsprozess integriert werden. In diesem Fall erfolgte der Datenaustausch zur Qualitätsprüfung (BIM-Gesamtkoordination bzw. BIM-Management) klassisch über den Projektraum PKMconclude. Speckle kam lediglich in der planerseitigen Zusammenarbeit zwischen Architektur und Tragwerk zum Einsatz. Das modellbasierte Aufgabenmanagement erfolgte in diesem Projekt, insbesondere für die Modellqualitätsaspekte (AG-seitige Informationsanforderungen, Kollisionen etc.), über die Issue-Management-Plattform BIMcollab. Die Änderungsanfragen zwischen Architektur und Tragwerk wurden zu großen Teilen auch über die Plattform Speckle durchgeführt (Bild 5), da die Bedienung intuitiver ist und die Kommentare auch in Nicht-BIM-Software verfügbar sind.

Die physische Geometrie in Revit dient als Koordinationsgeometrie und enthält die notwendigen Bauteileigen-

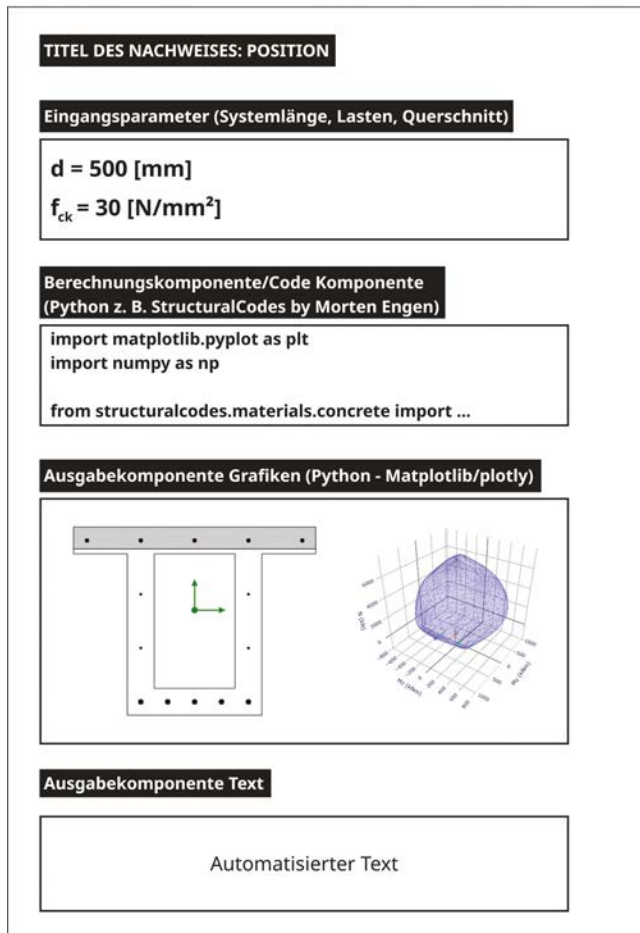
schaften für Planbeschriftung, Mengenermittlung/LCA-Berechnung bzw. die AG-seitigen Informationsbedarfe (Level of Information Need, kurz: LOIN). Im gesamten Prozess war das Revit-Modell das Endresultat; nur die Rhino-Geometrie durfte angepasst werden. Der/die Konstrukteur:in kam daher erst gegen Ende der Leistungsphasen für die Planableitung zum Einsatz. Neben dem BIM-Austausch konnte das Revit-Modell zudem in die hauseigene LCA-Datenbank (Bild 6) überführt werden, um Projektbenchmarks mit Vergleichsprojekten zu erhalten [1].

## 2.4 RFEM-Modell

Charakteristisch für den Entwurf des Referenzprojekts sind zahlreiche Vor- und Rücksprünge, die miteinander interagieren. Für die Bewertung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks war in



**Bild 9** Berechnungsmodell in RFEM (Quelle: B+G)  
Calculation model in RFEM



**Bild 10** Generisches Interface einer Nachweisumgebung (Quelle: B+G)  
Generic Interface of a verification environment

der Entwurfsplanung ein globales Modell erforderlich. Dem Idealtypus der digitalen Pipeline folgend, wurde das FE-Modell aus dem Rhino-Modell (Bild 7) abgeleitet.

Die Ableitung des FE-Modells erfolgte über die für Grasshopper entwickelte PARAMETRIC FEM TOOL-BOX, welche eine Schnittstelle zwischen Grasshopper und RFEM bildet.

Die Schnittstelle ermöglicht den Zugriff auf alle Modell- und Berechnungsdaten über die RF-COM-API, die offene Programmierschnittstelle (COM-Interface) von RFEM. Damit lassen sich Geometrien, Materialien und Lasten parametrisch von Grasshopper an RFEM übergeben und Berechnungsergebnisse zurückholen. So ist ein bidirektionaler Workflow (Bild 8) von Modellierung, Analyse und Optimierung in Echtzeit möglich [2]. Neben der Ableitung des Modells erfolgen bereits im Workflow die Lastgenerierung und die Lastkombinatorik, sodass am Ende dieser Prozesskette ein funktionierendes FE-Modell steht (Bild 9). Die durch den Workflow eingesparte Bearbeitungszeit kann für eine intensivere Betrachtung komplexerer Punkte genutzt werden.

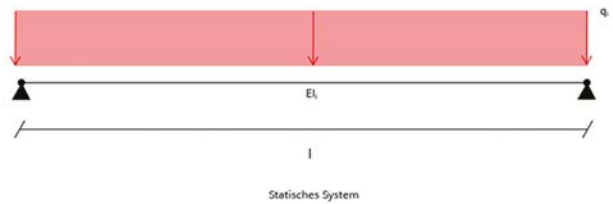
## 2.5 Digitaler Bauteilnachweis

Aufgrund der Anforderungen an die lichte Raumhöhe musste ein möglichst niedriges Deckenträgersystem ent-

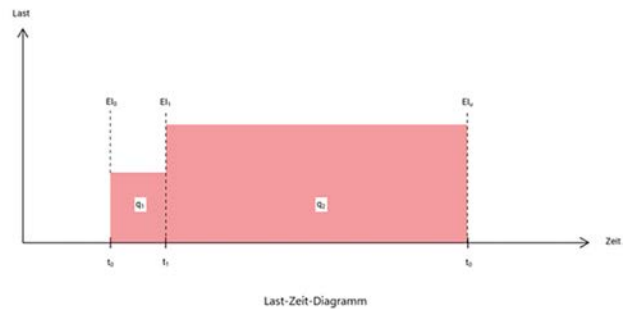
## Zeitabhängige Verformung Verbundträger

Type a paragraph

### Statisches System



### Konzept



**Bild 11** Statisches System calctree Bemessungstool (Quelle: B+G)  
Structural System calctree verification tool

wickelt werden. Aufgrund der niedrigen Höhe der deckengleichen Verbundträger und der damit einhergehenden niedrigen Steifigkeit musste ein besonderes Augenmerk auf die Verformungsbetrachtung gelegt werden. Im ersten Schritt wurde hierzu eine gängige Bemessungssoftware genutzt, deren Verformungsbetrachtung leider nicht die erforderliche Detailtiefe liefern konnte. Es wurde daher beschlossen, ein eigenes Tool für diese Fragestellung zu entwickeln.

Die Entwicklung eines solchen Tools kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Neben Excel können auch cloudbasierte (calctree, engineeringpaper.xyz) oder lokale Entwicklungsumgebungen (Jupyter Notebook, Maple, Calcpad etc.) genutzt werden. In diesen können, ähnlich wie mit Excel, Bauteilnachweise eigenständig programmiert bzw. ohne Code entwickelt werden. Die Plattform (Bild 10) ist als leistungsstarkes digitales Notizheft zu verstehen, in dem Textblöcke, Grafiken und Berechnungen eingefügt und anschließend als PDF ausgegeben werden können. Die Berechnungen und Grafiken basieren hier auf im Hintergrund laufenden Python-Codes. Durch eine Vielzahl von Schnittstellen (GraphQL, Excel, ETABS, Grasshopper, CSV) können neben einer händischen Eingabe auch andere Wege zur Parameterdefinition gewählt werden.

Diese Arbeitsweise führt zu einer Vielzahl von Vorteilen für die Anwendenden. Bemessungstools, die auf dem oben beschriebenen Workflow beruhen, sind flexibler in der Anwendung und schnell an den Bedarf des Nutzenden anpassbar. Ursächlich hierfür ist die direkte Zugänglichkeit des Python-Skripts, wodurch die Abhängigkeit vom Softwarehersteller entfällt. Dank der Vielzahl an

## Eingabeparameter

System

$$l_1 = 8.1 = 8.1$$

<u>Stahl</u>	<u>Beton</u>	<u>Zeitpunkte</u>	<u>Lasten</u>
$e_a = 21000 = 21000$	$e_c = 3400 = 3400$	$t_0 = 28 = 28$	$q_0 = 21.6 = 21.6$
$a_a = 149.25 = 149.25$	$a_c = 2340 = 2340$	$t_1 = 56 = 56$	$q_2 = 21.6 = 21.6$
$i_a = 8965 = 8965$	$i_c = 29160 = 29160$	$t_u = 18250 = 18250$	
$z_{sa} = 11.3 = 11.3$	$h_c = 12 = 12$		

**Bild 12** Eingabeparameter calctree Bemessungstool (Quelle: B+G)  
Input parameters calctree verification tool

Schnittstellen lässt sich das Bemessungstool in verschiedene Prozesse integrieren. In Kombination mit einer variablen Definition der Eingangsparameter im Bemessungsskript ist es zudem möglich, Nachweise automatisiert für unterschiedliche Parameterkonstellationen zu führen. Dadurch ergibt sich ein erhebliches Automatisierungspotenzial, insbesondere für die Bemessung einfacher Bauteile. Die Entwicklung solcher Bemessungstools setzt zudem eine intensive Auseinandersetzung mit der jeweiligen Theorie voraus. Somit führt die Entwicklung zu einem tiefergehenden Verständnis der Materie sowie zur Reduktion des Black-Box-Phänomens.

Wie eingangs erwähnt, konnte mit der vorhandenen Software die gewünschte Detailtiefe bei der Verformungsberechnung nicht erreicht werden. Zielsetzung war es, die Verformungen des Trägers zu verschiedenen Zeitpunkten und Laststellungen zu untersuchen, um eine genauere Beurteilung der Differenzverformung zu ermöglichen. Der gewählte Bemessungsansatz verfolgt die Idee, dass zwischen dem Lösen der Montageunterstützung und dem Aufbringen der Ausbau- und Nutzlasten erfahrungsgemäß ein längerer Zeitraum liegt. In diesem Zeitraum stellen sich bereits zeitabhängige Verformungen infolge des Kriechens und Schwindens des Betons ein. Dieser Anteil soll bei der Bestimmung der Differenzverformung unberücksichtigt bleiben. Bild 11 zeigt das statische System sowie die zeitabhängigen Steifigkeiten und die dazugehörigen Laststellungen.

Für die Entwicklung dieses Bemessungsansatzes wurde die Plattform Calctree genutzt. Für die Verformungsberechnung wurden für die folgenden Berechnungen Python-Skripte programmiert:

- Ermittlung der Kriech- und Schwindparameter
- Ermittlung der Biegesteifigkeit des Verbundträgers
- Ermittlung der Biegelinie
- Grafische Darstellung der Biegelinie

Die Skripte können in der Anwendung als Funktionen genutzt werden. Dadurch entsteht für die Anwendenden

eine Reihe von Vorteilen. Jede Funktion kann für beliebige Eingabeparameter durchgeführt werden. Bild 12 zeigt die möglichen Eingangsparameter im entwickelten Skript.

Somit ist es möglich, die einzelnen Parameter für die Verformungsbemessung für individuelle Zeitpunkte zu bestimmen. In Bild 13 sind die Ergebnisse der Python-Skripte für die zuvor festgelegten Parameter dargestellt. Durch diesen gewählten Aufbau war es möglich, die definierte Zielsetzung zu erreichen und die Verformungen, wie in Bild 14 zu erkennen, zu den gewählten Zeitpunkten und Lasten zu berechnen.

## 2.6 Bewertung Projektworkflow

Im Projekt sollten zur Weiterentwicklung der Erkenntnisse zwei primäre Ziele verfolgt werden: Einerseits die flüssigere Integration der Architekturgeometrie in den Planungsablauf, um das Nachzeichnen von Veränderungen – der übliche Modus Operandi bei BIM-Projekten – zu vermeiden, andererseits die Verkettung der Designprozesse der Tragwerksplanung (Geometrie und Nachweise). Die Verwendung der Architekturgeometrie konnte mit

### Ergebnisse

#### Kriechzahlen

$$py_{\phi, t, 0} = 0$$

$$py_{\phi, t, 1} = 1.01993653$$

$$py_{\phi, t, u} = 2.30494344$$

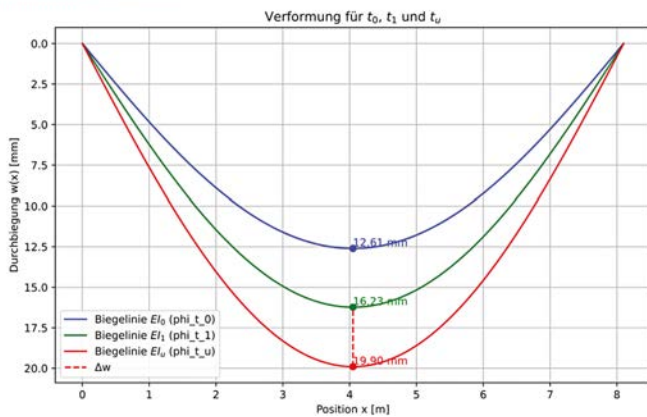
#### Biegesteifigkeiten

$$EI_0 = 96.0353548$$

$$EI_1 = 74.5928264$$

$$EI_u = 60.8341565$$

**Bild 13** Ergebnisse calctree Bemessungstool (Quelle: B+G)  
Results calctree verification tool

**Grafische Darstellung**

**Bild 14** Ergebniskurven calctree Bemessungstool (Quelle: B+G)  
Result curves calctree verification tool

Ausnahme der üblichen unterschiedlichen Modellierungsstandards technisch umgesetzt werden. Der Workflow innerhalb der Tragwerksplanung zur FE-Software war bereits eine Best-Practice und wurde für Deckenmodelle, Aussteifungs- und Gesamtmodelle ohne großen Aufwand durchgeführt. Lediglich die automatisierte Modellerstellung des BIM-Modells konnte die Erwartungshaltung an das Ergebnis nicht vollumfänglich erfüllen und erforderte einen erhöhten Betreuungsaufwand durch eine/n Konstrukteur:in. Im Rahmen eines Reviews wurden Verbesserungspotenziale für Folgeprojekte identifiziert.

**Literatur**

- [1] Pfanner, D.; Feldmann, A.; Preuschoff, K. (2025) *Ökobilanzierung in der Tragwerks- und Fassadenplanung*. Bautechnik 102, H. 1, S. 20–29. <https://doi.org/10.1002/bate.202400083>
- [2] Appelániz, D.; Vierlinger, R. (2022) *Enhancing structural design with a parametric FEM toolbox*. Steel Construction 15, H. 3, S. 188–195. <https://doi.org/10.1002/stco.202200004>

**Autor:innen**

Lars Ahlfeld, M.Sc. (Korrespondenzautor:in)  
lahlfeld@bollinger-grohmann.de  
B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH  
Westhafenplatz 1  
60327 Frankfurt am Main



Dipl.-Ing. Ljuba Tascheva, M.Sc.  
ltascheva@bollinger-grohmann.de  
B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH  
Westhafenplatz 1  
60327 Frankfurt am Main



Alexander Hofbeck, M.Sc.  
ahofbeck@bollinger-grohmann.de  
B+G Ingenieure Bollinger und Grohmann GmbH  
Westhafenplatz 1  
60327 Frankfurt am Main

**Zitieren Sie diesen Beitrag**

Ahlfeld, L.; Hofbeck, A.; Tascheva, L. (2026) *Durchgängige digitale Pipelines – vom 3D-Modell zum Normennachweis*. Beton- und Stahlbetonbau 121, H. 5, S. 460–469.  
<https://doi.org/10.1002/best.70089>

**3 Erkenntnisse und Ausblick**

Neben den vielfach genannten technischen Aspekten mit ihren Vor- und Nachteilen darf der menschliche Aspekt in diesem Themenfeld nicht vergessen werden. Die voranschreitende Digitalisierung der Planung wird mittelfristig zu weiteren Änderungen im Arbeitsalltag vieler Planer:innen führen. Nach Auffassung der Autor:innen führen die vorgeschlagenen softwarebasierten Lösungen und Workflows nicht zu einer Rationalisierung der Ingenieursarbeit. Vielmehr sind die Automatisierungen als assistierende Systeme zu verstehen, die eine aktive Steuerung durch den Menschen voraussetzen. Dies bedingt jedoch eine aktive Auseinandersetzung bzw. Offenheit mit diesem Themenfeld.

Auf Seiten der Softwareanbieter bedarf es ebenfalls einer Auseinandersetzung mit den Nutzenden. Viele der aktuell am Markt erhältlichen Lösungen sind noch nicht so intuitiv zu bedienen bzw. haben offene Schnittstellen, sodass sich ein Mehrwert für die tägliche Anwendung nicht erkennen lässt. Hier besteht Optimierungspotenzial auf Seiten der Softwareanbieter. Sofern sich alle Projektbeteiligten durch Offenheit und Veränderungsbereitschaft annähern, können sich das volle Potenzial und die damit verbundenen Vorteile der digitalen Planung entfalten. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Idealzustand einer digitalen Planung noch nicht erreicht ist. Allerdings ist mit den aktuell zur Verfügung stehenden Methoden und Softwarelösungen eine vielversprechende Näherung möglich.