

20 Tragwerksanalyse in der interdisziplinären 3D-Planung von Industrieumbauten

Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Markus Laggner, BSc

Fachhochschullektor im Bereich Betonbau – GF bei convex ZT GmbH



Dipl.-Ing. Dr. techn. Timur Uzunoglu, MICE CEng

Fachhochschullektor im Bereich Industriebau – GF bei convex ZT GmbH



20.1 Einleitung

Industrieprojekte unterliegen heute immer kürzeren Planungs- und Umsetzungszeiträumen. Oft wird das Ziel verfolgt, nahezu unmittelbar nach der Investitionsentscheidung mit dem Bau zu beginnen. Dies ist stets eine Herausforderung und erfordert eine enge und konfliktfreie Zusammenarbeit aller beteiligten Fachdisziplinen. Besonders bei neuartigen Industrieanlagen, wie derzeit im Bereich der Wasserstoffproduktion, kann das interdisziplinäre Wissen einzelner Planer:innen den Projektfortschritt wesentlich beschleunigen und die Qualität der Planung deutlich erhöhen. Aber auch bei etablierten Anlagentypen, bei denen viele Rahmenbedingungen allgemein bekannt sind, ist anzumerken, dass jedes Projekt individuelle Besonderheiten aufweist und eine gestärkte interdisziplinäre Zusammenarbeit stattfinden sollte. Eine präzise und ganzheitliche Planung entscheidet häufig über den späteren Projekterfolg. Eine ganzheitliche modellbasierte 3D-Planung, gegebenenfalls in Form einer BIM-Planung, unterstützt das gemeinsame Verständnis der Beteiligten und schafft Transparenz in der Kommunikation. Gerade bei Bestandsumbauten ermöglicht die 3D-Planung eine effiziente Abstimmung zwischen Architektur, Tragwerksplanung, Mechanik, Prozesstechnik, Rohrleitungsplanung und Elektrotechnik auf Basis eines gemeinsamen digitalen Datenmodells. Der nachfolgende Beitrag gibt einen Einblick in die besonderen Anforderungen und Herausforderungen dieses Prozesses, insbesondere aus Sicht der Tragwerksplanung.

20.2 Datenerfassung und Modellierung des Bestands

Bei Bestandsumbauten im Industriebereich stellt die präzise Erfassung und Modellierung der vorhandenen Strukturen die zentrale Grundlage jeder weiteren Planung dar. Anders als im Neubau liegen häufig keine vollständigen oder verlässlichen Bestandsunterlagen vor. Zudem sind die bestehenden Tragwerke oftmals durch jahrzehntelange Nutzung, Umbauten oder Materialbeanspruchung in ihrem Zustand schwer einzuschätzen. Eine sorgfältige statische Bestandsbewertung ist daher unerlässlich, um die vorhandenen Tragreserven und die strukturelle Integrität einzelner Bauteile richtig beurteilen zu können. Bestandspläne bilden dabei eine wichtige Ausgangsbasis, müssen jedoch in der Regel durch lokale Bauwerksprüfungen, gezielte Öffnungen oder Nachmessungen ergänzt werden. In vielen Fällen ist es erforderlich, einzelne Bauteile

detailliert zu untersuchen oder Materialkennwerte über Entnahmeprobe zu bestimmen, um die Grundlage für belastbare Nachweise zu schaffen. Zur Unterstützung des Bestandsaufmaß hat sich der Einsatz von 3D-Scan-Technologien etabliert. Mithilfe von Laserscanning und photogrammetrischen Verfahren können Punktwolken des Bestands mit hoher Genauigkeit erfasst werden. Daraus kann ein präzises 3D-Bestandsmodell abgeleitet werden, das die Grundlage für die interdisziplinäre Zusammenarbeit bildet. Gerade in komplexen Industrieanlagen, in denen Tragwerk, Rohrleitungen, Lüftungsanlagen und Kabeltrassen auf engem Raum zusammentreffen, ist die exakte räumliche Erfassung von zentraler Bedeutung. In **Abbildung 20.2-1** links wird exemplarisch ein Modell eines 3D-Scans einer Anlage gezeigt. Diese Scans können unter anderem durch eine Begehung vom Boden aus oder durch eine Drohnenbefliegung (siehe **Abbildung 20.2-1** rechts) z.B. bei Türmen und Masten aufgenommen werden. Mittlerweile können bereits einfache Scans mit standardmäßigen Smartphones aufgenommen werden. Mittlerweile können bereits einfache Scans mit standardmäßigen Smartphones aufgenommen werden. Wie in [1] dargestellt, können Smartphones mittels Augmented Reality (AR) das 3D-Planungsmodell in späteren Projektphasen auf der Baustelle sichtbar machen, sodass es beispielsweise zur einfacheren Bewehrungsabnahme genutzt werden kann.

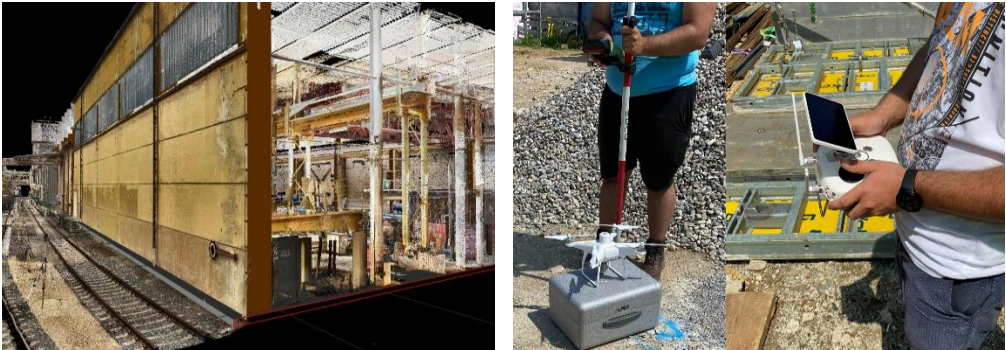


Abbildung 20.2-1: links: 3D-Scan und Punktwolke in Navisworks; rechts: Drohnenvermessung zur Befliegung und Scanaufnahme einer Bestandsanlage [convex ZT GmbH]

Die Integration der erhobenen Punktwolken in die Planungssoftware erlaubt es, bestehende Geometrien zu digitalisieren und im Modell zu Elementen weiterzuverarbeiten. So entsteht ein konsistentes und überprüfbares digitales Abbild des Bestands, das sowohl für statische Berechnungen als auch für Abstimmungen mit anderen Fachdisziplinen genutzt werden kann.

20.3 Interdisziplinäre Abstimmung und Kollaboration

Bei der interdisziplinären 3D-Planung arbeiten Fachbereiche wie Architektur, Tragwerksplanung, Prozesstechnik, Rohrleitungsbau, Elektro- und MSR-Technik (Mess-, Steuer- und Regelungstechnik) typischerweise eng zusammen. Die gemeinsame Nutzung eines zentralen 3D-Planungsmodells fördert das gegenseitige Verständnis und reduziert Konflikte in der Ausführungsphase. Dabei wird zunehmend das Building Information Modeling (BIM) als methodischer Rahmen eingesetzt. BIM ermöglicht die Verknüpfung geometrischer Daten mit technischen und administrativen Informationen. Dadurch können Planung, Ausführung und Betrieb besser aufeinander abgestimmt werden. Dieses Zusammenspiel der Beteiligten unter Einbindung zusätzlicher Informationen wird beispielsweise in [2] im Rahmen der ganzheitlichen BIM-Planung des Hospitalhofs Stuttgart beschrieben.

Gleichzeitig birgt die 3D-Planung auch Risiken. Oft entsteht der Eindruck, dass alles, was im Modell dargestellt ist, bereits technisch abgestimmt und final ausgearbeitet wurde. In der Praxis enthalten Modelle, insbesondere in frühen Planungsphasen, jedoch viele provisorische Platzhalter. Werden diese nicht eindeutig als solche gekennzeichnet oder unzureichend kommuniziert, kann dies zu Missverständnissen und Planungsfehlern führen. Daher ist es essenziell, dass alle modellierten Elemente entweder technisch korrekt sind oder eindeutig als Platzhalter gekennzeichnet und kommuniziert werden. Eine solche Transparenz sorgt dafür, dass das Modell als zuverlässige Koordinationsgrundlage genutzt werden kann, ohne falsche Verbindlichkeiten zu erzeugen. Höchstdetaillierte Platzhalter, die technisch nicht korrekt sind und aus anderen Projekten übernommen wurden, können als Fluch für die 3D-Planung betrachtet werden.

Für den Datenaustausch zwischen den Fachdisziplinen spielt das IFC-Format (Industry Foundation Classes) eine entscheidende Rolle. Es ermöglicht eine weitgehend softwareunabhängige Übertragung von 3D-Daten, was insbesondere bei Projekten mit unterschiedlichen Softwareplattformen von Vorteil ist. Eine konsequente Qualitätssicherung der Schnittstellen ist dabei wesentlich, um Informationsverluste oder Modellabweichungen zu vermeiden. Als praxisorientiertes und zugleich niederschwelliges Werkzeug für die Koordination zwischen den beteiligten Fachplaner:innen hat sich Autodesk Navisworks im Industriebau etabliert. Mit der kostenlosen Freedom-Version steht ein einfach zu bedienendes Betrachtungs- und Prüfprogramm zur Verfügung, das den Zugang zur 3D-Koordination erleichtert. Dadurch können auch Fachplaner:innen ohne BIM-spezifische Software ihre Modelle einsehen, Kollisionen prüfen und aktiv an der Abstimmung teilnehmen. Dies senkt die Einstiegshürde und fördert die durchgängige Beteiligung aller Disziplinen am digitalen Planungsprozess. Als positives Beispiel einer durchgängigen interdisziplinären 3D-Planung ist in **Abbildung 20.3-1** nachfolgend ein Bestandsumbau einer Industrieanlage gezeigt. In diesem Projekt wurde zusätzliches Equipment auf dem Dach installiert und aufgrund der lokalen Gegebenheiten musste eine aus Sicht der Tragwerksplanung und Ausführung herausfordernde, windschiefe im Raum liegende Rohrbrücke geplant werden.



Abbildung 20.3-1: links: 3D-Planungsmodell aus Navisworks; rechts: windschiefe Rohrbrücke beim Einhub mit teilweise vorinstallierten Rohrleitungen [convex ZT GmbH]

Insgesamt schafft die modellbasierte, interdisziplinäre Arbeitsweise eine robuste Grundlage für die Bewertung, Planung und Nachweisführung von Bestandsumbauten. Sie ermöglicht es, Tragwerksanalysen direkt im räumlichen Kontext der Anlage durchzuführen und die Wechselwirkungen zwischen Bauwerk und technischer Infrastruktur ganzheitlich zu betrachten.

20.4 Tragwerksanalyse im 3D-Planungsprozess

Die Nutzung ganzheitlicher 3D-Berechnungsmodelle, wie sie beispielsweise in [3] beschrieben werden, stellt eine logische Weiterentwicklung im digitalen Planungsprozess dar. Obwohl eine durchgängige Anwendung aufgrund der Komplexität industrieller Bauvorhaben und der Vielzahl an Akteuren nicht immer vollständig möglich ist. Die Tragwerksanalyse im Rahmen der interdisziplinären 3D-Planung verfolgt das Ziel, den allgemeinen Lastabtrag des Bauwerks bereits in frühen Planungsphasen zu bewerten und darzustellen sowie den Entwurf iterativ zu optimieren. Auf Basis des koordinierten 3D-Gesamtmodells wird das statische Berechnungsmodell abgeleitet (siehe [3]). Dabei erfolgt in der Regel keine direkte Übernahme der Geometrie, sondern eine gezielte Vereinfachung und Abstraktion der tragenden Elemente, um die für die Bemessung relevanten Strukturen effizient abzubilden. Zwischen Modellierung und Berechnung entsteht so ein fortlaufender Rückkopplungsprozess, bei dem Planungsentscheidungen unmittelbar anhand der statischen Auswirkungen überprüft und angepasst werden können. Eine automatisierte Rückkopplung ist technisch möglich, führt in realen Projekten jedoch in der Regel zu Mehraufwand und Problemen.

Die Erstellung und Nutzung eines ganzheitlichen Berechnungsmodells ermöglicht eine realitätsnahe Erfassung der Wechselwirkungen zwischen Boden, angrenzendem Bauwerksbestand und neuen Tragwerksteilen. Insbesondere bei Umbauten im laufenden Betrieb müssen temporäre Bauzustände und Bauphasen berücksichtigt werden, da diese die späteren Lastpfade maßgeblich prägen. So kann es beispielsweise beim schrittweisen Umbau einzelner Linien oder Teile einer Anlage zu statisch maßgebenden Belastungszuständen kommen. In Projekten mit anspruchsvollen Baugrundverhältnissen sind diese in der statischen Analyse umfassend zu berücksichtigen. **Abbildung 20.4-1** zeigt exemplarisch das Fundament einer Anlage, für das aufgrund der Bodenverhältnisse und der in den Boden einzutragenden Zugbeanspruchung eine Mikropfahl-tiefengründung auszuführen war.

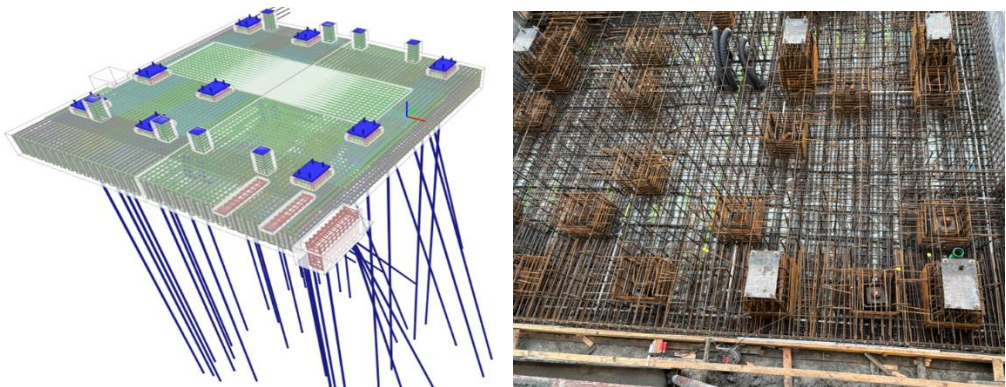


Abbildung 20.4-1: links: 3D-Modell inklusive Mikropfähle, Einbauteile und 3D-modellierter Bewehrung; rechts: Übersicht nach Start der Bewehrungsabreiten [convex ZT GmbH]

Im Industriebau dominieren Konstruktionen aus Beton und Stahl. Beton bietet aufgrund seiner Dauerhaftigkeit, Formbarkeit und Tragfähigkeit entscheidende Vorteile, während Stahl durch seine hohe Festigkeit und die Möglichkeit der flexiblen Erweiterbarkeit überzeugt. Beide Materialien sind wirtschaftlich gut verfügbar. Im Betonbau ergeben sich spezifische Anforderungen, wenn flüssigkeitsdichte Bauteile erforderlich sind, wie etwa Entladetassen bei Befüllstationen

und Auffangtassen unter Transformatoren oder Kühlgeräten. Diese Bauteile können manchmal statisch von untergeordneter Bedeutung sein. Um ihre Dichtfunktion sicherzustellen, bedarf es hinsichtlich der Rissbreitenbegrenzung infolge Zwangbeanspruchung und somit der Nachbehandlung aber höchster Sorgfalt. (siehe [4] zu den Besonderheiten der Bemessung). **Abbildung 20.4-2** zeigt links eine kleine Entladetasche einer Befüllstation nach Betonage der Bodenplatte und rechts eine voluminöse Auffangwanne für vier Großtransformatoren.



Abbildung 20.4-2: links: Entladetasche; rechts: Auffangwanne für Großtrafo [convex ZT GmbH]

Aufgrund der kurzen Bauzeiten liegt der Fokus im Industriebau auf dem Einsatz von Betonfertigteilen und Halbfertigteilen. Dabei gewinnen auch modulare Raumzellen und leicht demontierbare Träger- und Stützensysteme aus Beton an Bedeutung (vgl. [6]). Der Einsatz von Vorspannung im Fertigteilbetonbau ermöglicht zudem eine Optimierung der Bauteilgeometrie bzw. der Bewehrungsmengen, wie in [7] für vorgespannte Stützen dargestellt wird.

20.5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Umbau von Industrieanlagen ist ein interaktiver interdisziplinärer Prozess, der sich durch eine ganzheitliche 3D-Planung optimieren lässt. Die Tragwerksanalyse ist dabei ein zentraler Bestandteil. Zukünftig werden weitere digitale Tools und Automatisierungen für Verbesserungen sorgen, wenngleich der Bestandsumbau stets herausfordernd bleiben wird.

20.6 Literatur

- [1] Wegerer P. et al., clone:it -Revolutionierung der Bewehrungskontrolle auf der Baustelle durch interaktive Nutzung des BIM-Modells, 6. Grazer Betonkolloquium: Beton Graz'24, 2024 URL: https://www.convex.at/4n38bd3xxvv/wp-content/uploads/2024.09_TU-Graz_Wegerer-Uzunoglu-Laggner.pdf
- [2] Peter B. et al., Hospitalhof Stuttgart: Über räumliche Tragwerke, BIM und die Chance eines Paradigmenwechsels, Stahlbetonbau 110 (11), 775–783, 2015 DOI: [10.1002/best.201500051](https://doi.org/10.1002/best.201500051)
- [3] Laggner T. M., Ganzheitliche 3D-Gebäudemodelle in der statischen Tragwerksanalyse, Graz: TU Graz - Institut für Betonbau, 2022 DOI: [10.3217/978-3-85125-904-9](https://doi.org/10.3217/978-3-85125-904-9)
- [4] Fritzenwallner F., Beitrag zur praktischen Anwendung der Bemessung von flüssigkeitsdichtem Beton, FH Joanneum 2025
- [5] Lieb H. et al., Modulare Konstruktionen im Hoch- und Brückenbau, 5. Grazer Betonkolloquium: Beton Graz'22, 2022 URL: https://www.researchgate.net/publication/363847440_Modulare_Konstruktionen_im_Hoch-_und_Brueckenbau
- [6] Laggner T. M., Grabner M., Potential von vorgespannten Betonstützen im Logistik- und Industriebau, FH Joanneum Zukunftsplattform 2024 URL: https://www.convex.at/4n38bd3xxvv/wp-content/uploads/2024.10_FH-Joanneum_Laggner-Grabner.pdf