

# Nutzung von Künstlicher Intelligenz in der BIM-basierten Tragwerksplanung



**EISFELDINGENIEURE**

Prof. Dr.-Ing. Michael Einfeld MSc



**Tragwerksplaner  
in dritter Generation**

**BIM & AI Pioniere  
in Deutschland**

**Interesse an Umsetzung  
von Ideen für die Praxis**

## ZERTIFIKATE UND MITGLIEDSCHAFTEN:



**6,5 Mio. Euro Umsatz**

**200+ Projekte pro Jahr**

**Planer & Prüfsingenieure**

**Ca. 70 Mitarbeiter**

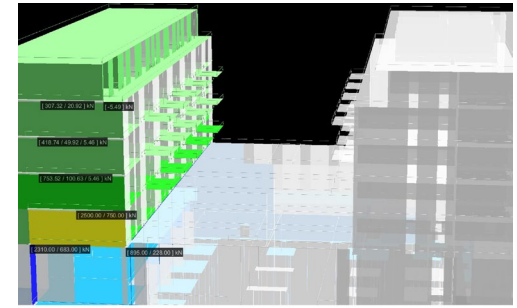
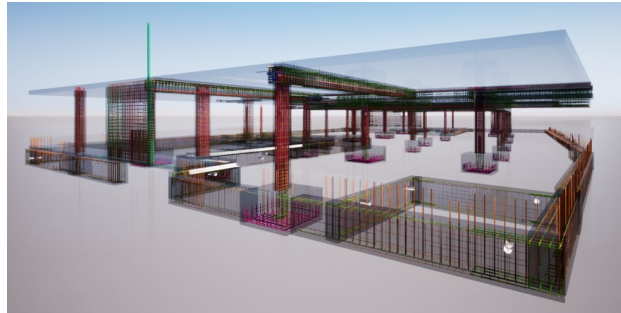
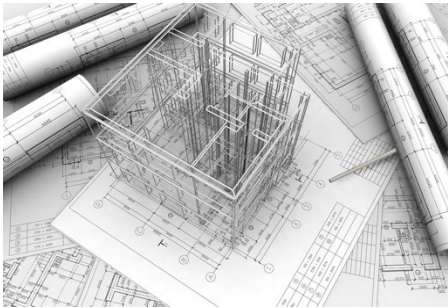


**Mitarbeiter**    Über 50 Ingenieure, eigene Modellierer und Entwickler als Fachpersonal

**Technik**        Modernste BIM-Software | Scrum & Lean Methoden

**Netzwerk**      Spezialisten zu KI, BIM und Programmentwicklung

# BIM & KI BEI EIFELD INGENIEURE



Dr.-Ing. Michael Eisfeld wird Partner (Forschung KI)

VR-Anwendungen für QA zum Beispiel Bewehrungskontrolle

Michael Eisfeld wird Professor an der Hochschule Bielefeld (Forschung ML)

Nutzung erster KI-Anwendungen in Praxis auf BIM

AI-Anwendungen in der Praxis für vers. Aufgaben



2005

2006

2011

2012

2013

2017

2019

2020

2021

Erstes BIM Projekt

ISO 9001 Zertifizierung

**EISFELDINGENIEURE**  
75 JAHRE  
VISIONÄR DENKEN  
LEIDENSCHAFTLICH PLANEN

BIM Office in Vilnius mit R&D

AR kommt auf die Baustelle mit Xella



Entwicklung der Software ConED zum Entwerfen von Tragwerken



**Warum sind wir  
an Künstlicher Intelligenz  
interessiert?**

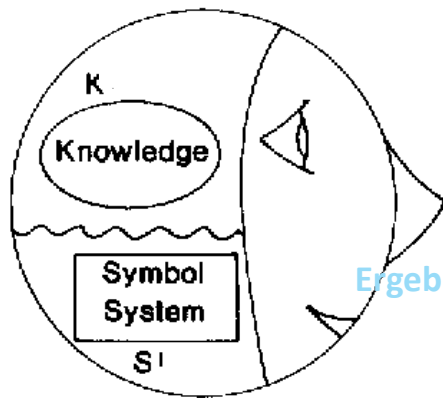
Oft symbolische Informationsverarbeitung  
→ Planen ist Schließen, Synthese und Lernen uvm.

Traditionelles „number crunching“ funktioniert nicht  
→ Suche, Regeln and Mustererkennung

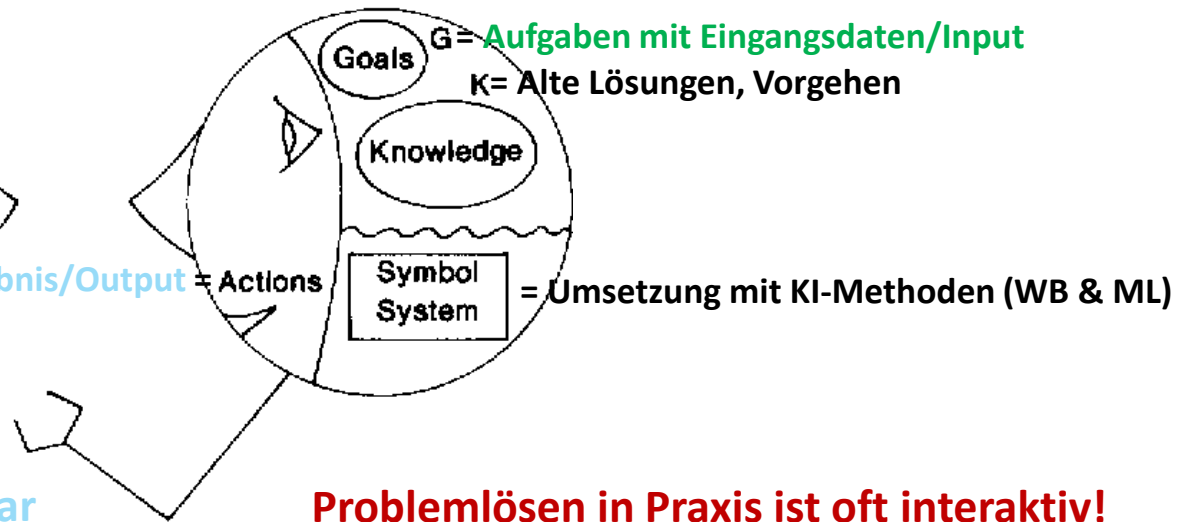
Wissen ist erforderlich zum Lösen von Aufgaben  
→ räumlich, strukturelles und prozedurales

**Hybride KI kombiniert verschiedene Methoden wie  
Wissensbasiert und Maschinelles Lernen**

Observer = Ingenieur



Agent = Software



korrekt & nachvollziehbar

**Problemlösen in Praxis ist oft interaktiv!**

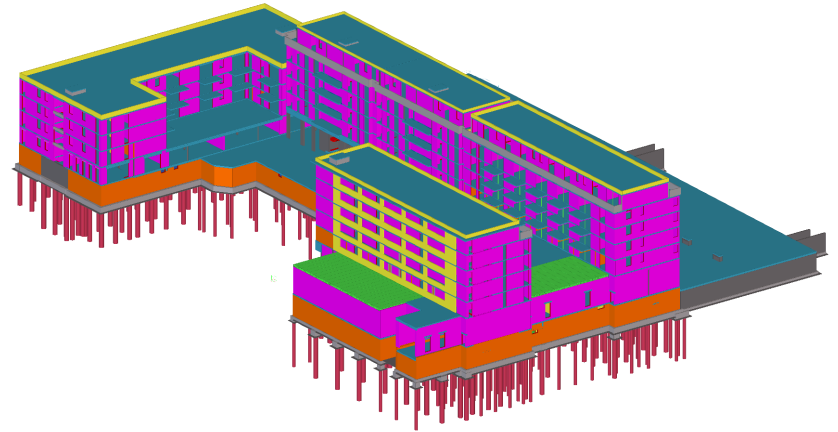
[The knowledge level, Newell, 1982]

## INGENIEURAUFGABEN

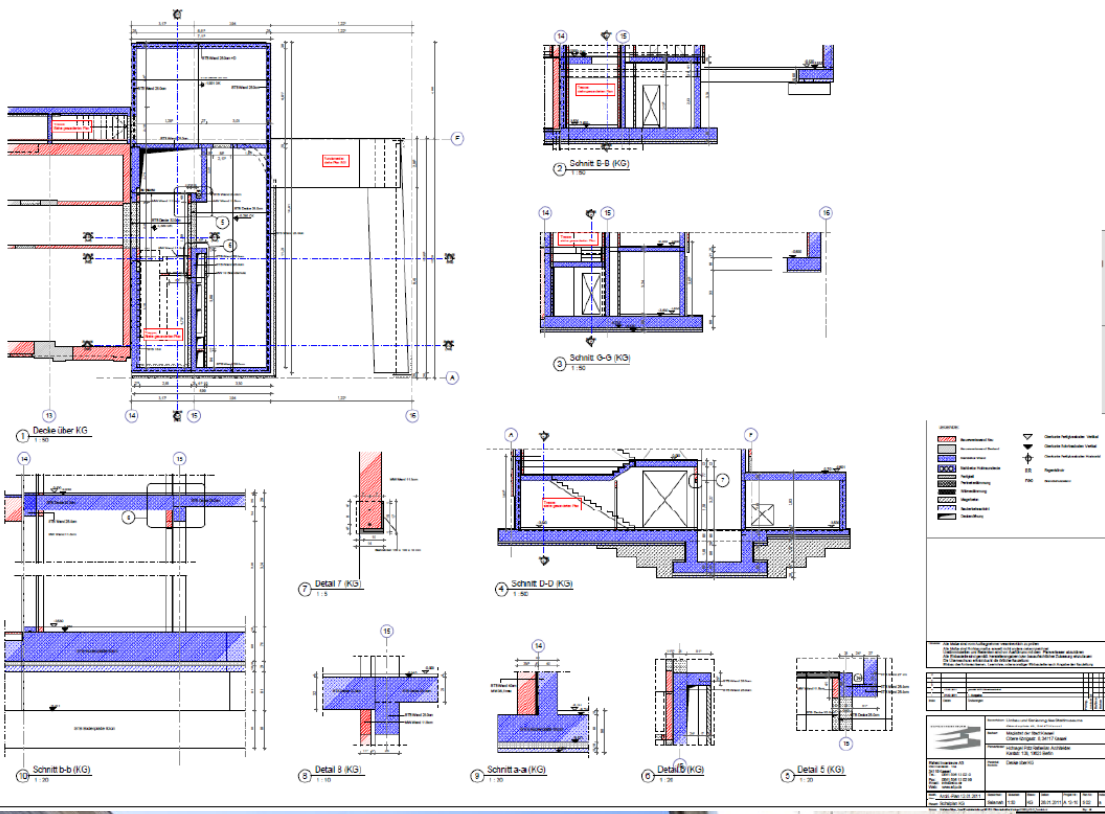
LP2: Ableiten der Tragstruktur/Konzept auf BIM-Modell

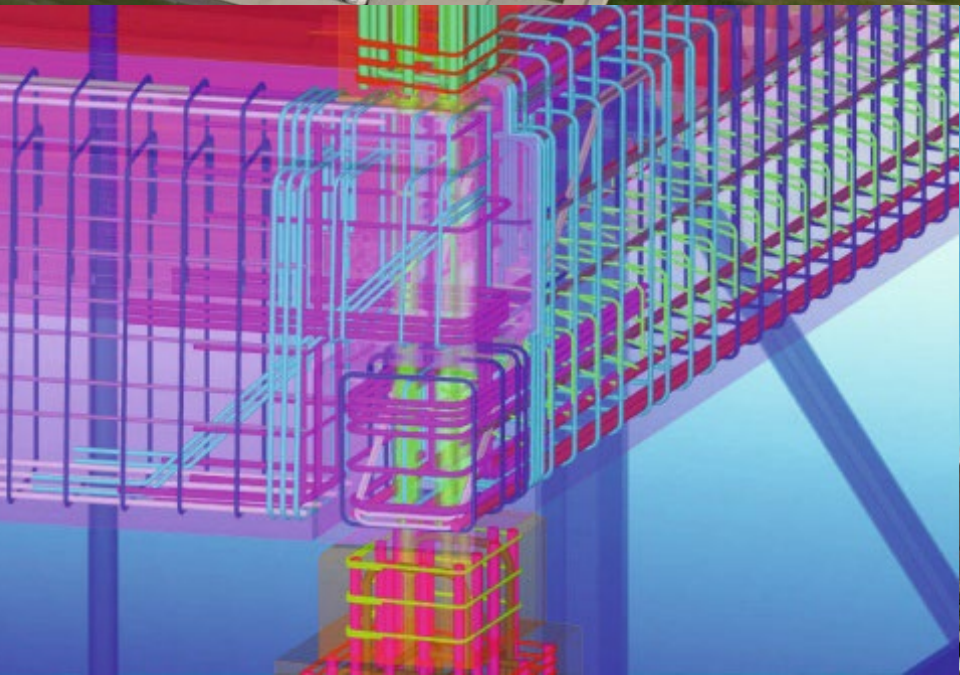
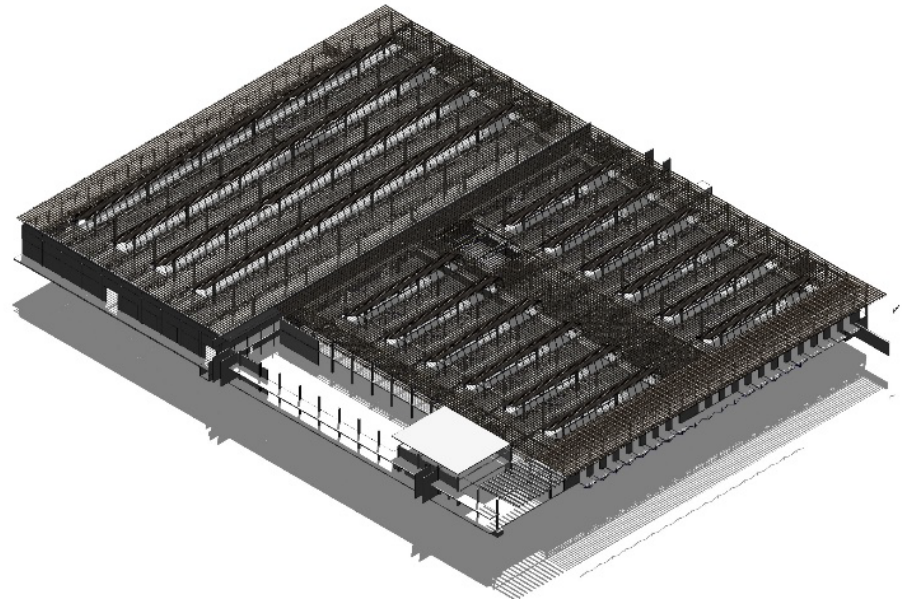
LP3: Erstellung BIM-Tragwerksmodell LOD 200 aus 2D-Plänen im dwg-Format

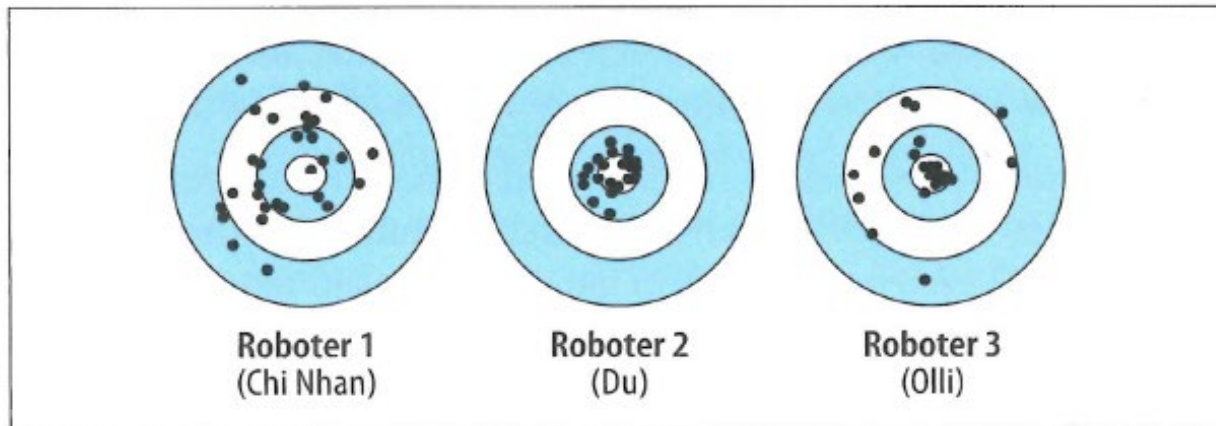
LP5: Bewehrungsplanung als BIM-Modell auf 3D-Schalkantenmodell











Anfänger

Experte

Lernender

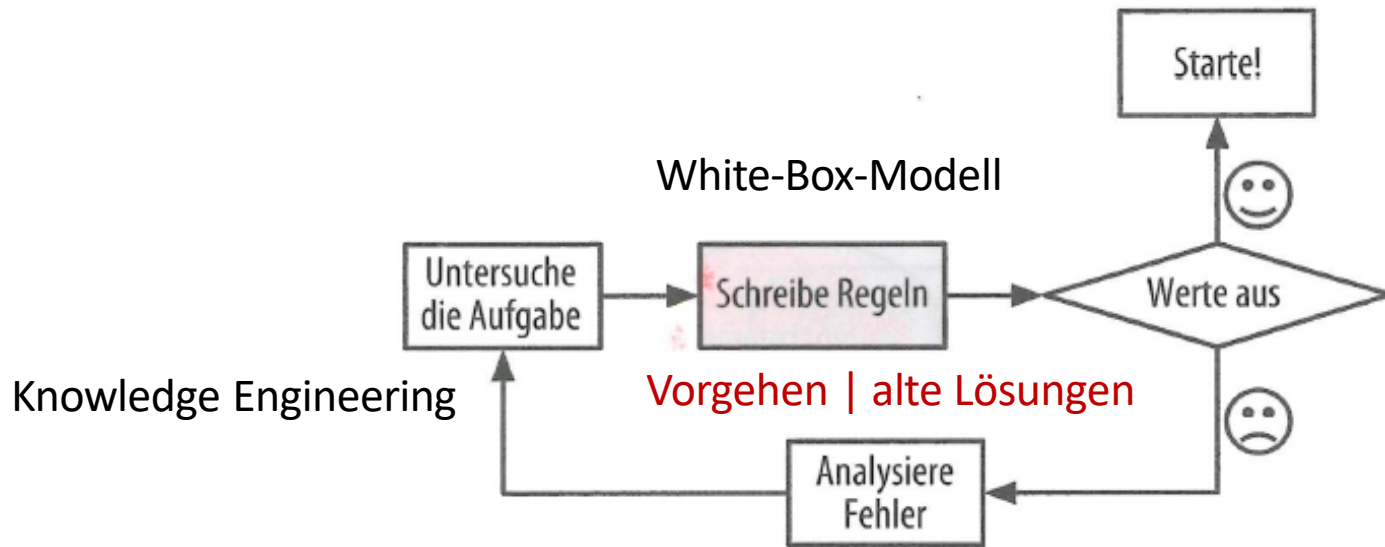
[ML kurz & gut, Nguyen & Zeigermann, 2018]

## WISSENSARTEN

**Vorgehen | WB** Wie muss ich Gewehr halten etc. (Regeln) bei vers. Verhältnissen etc. (Input)

**Ergebnis | ML** Wie habe ich getroffen (Output) bei vers. Verhältnissen (Input)

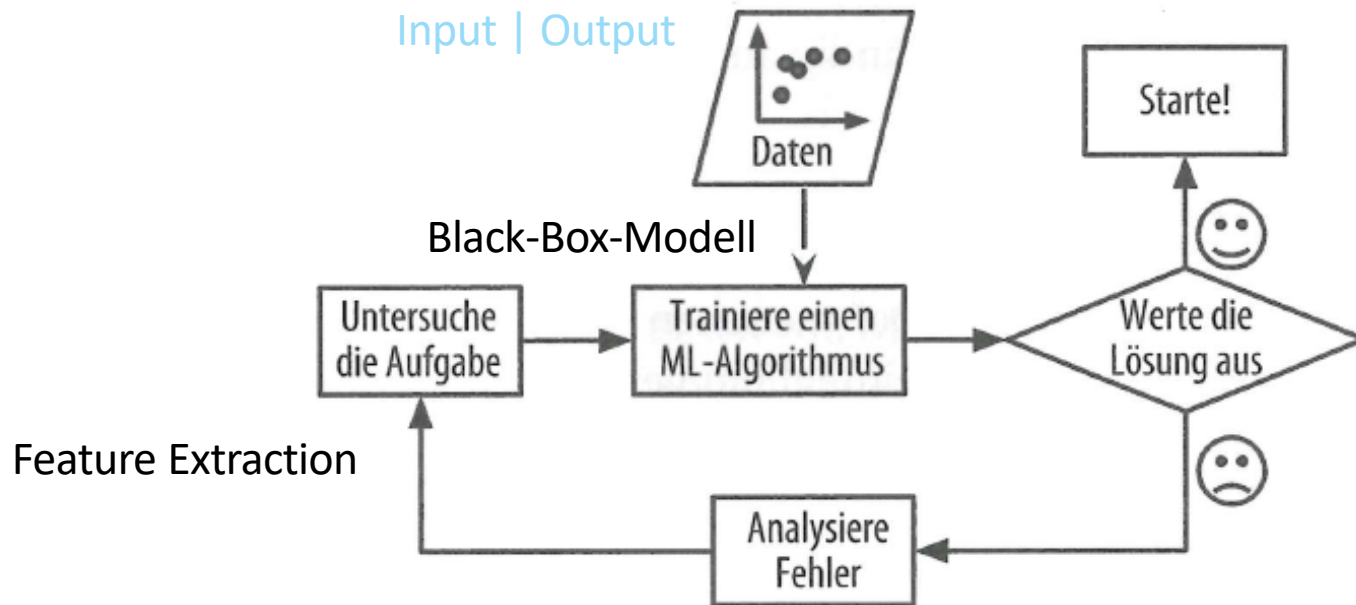
**Hybrid** Kombination, um gutes Ergebnis zu erhalten bei riesigen Zustandsräumen



[Praxiseinstieg ML mit Scikit-Learn & TensorFlow, Géron, 2018]

## Anwendbarkeit & Grenzen

- Regeln, Vorgehen ist vom Experte artikulierbar zur Erstellung eines White-Box-Modells
- Es gibt ein KI-Lösungsparadigma zur Implementierung des Modells (Logik, Planung, Konfiguration, Constraint, Pattern Matching etc.)
- Wissen ist statisch → Software kann nicht eigenständig lernen → hoher Aufwand KE



[Praxiseinstieg ML mit Scikit-Learn & TensorFlow, Géron, 2018]

## Anwendbarkeit & Grenzen

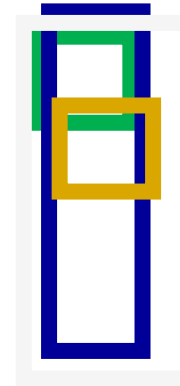
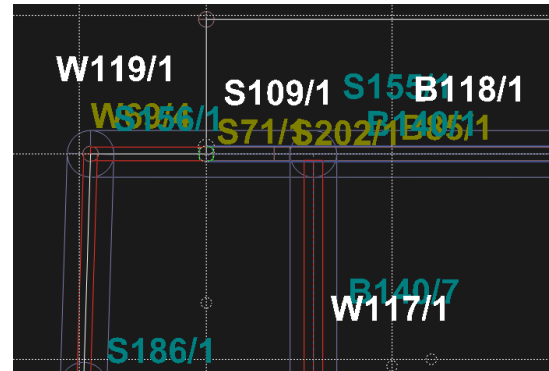
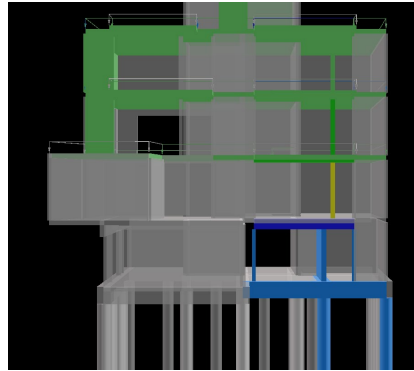
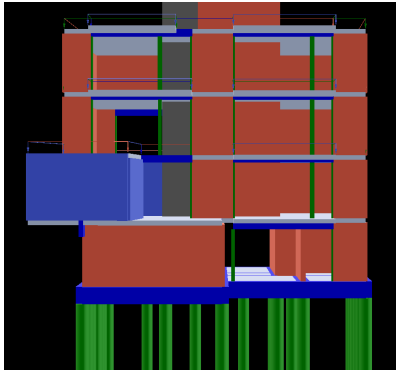
- Experte kann seine Vorgehen nicht systematisch artikulieren
- Es gibt ausreichende Anzahl von alten validen Datensätzen und geeigneten ML-Ansatz (Vollständigkeit der Eingabedaten, Variabilität, Korrektheit, Daten sind gelabelt etc.)
- Wissen ist in Daten kompiliert → Nachvollziehbarkeit nicht gegeben  
→ Validierung/Verbesserung schwierig



# Kann der Computer den Lastabtrag eines BIM-Modells berechnen und überprüfen?

## Tragwerk-FMEA

R&D Projekt: 400.000 Euro Budget, 3 Jahre



## Wissensakquisition

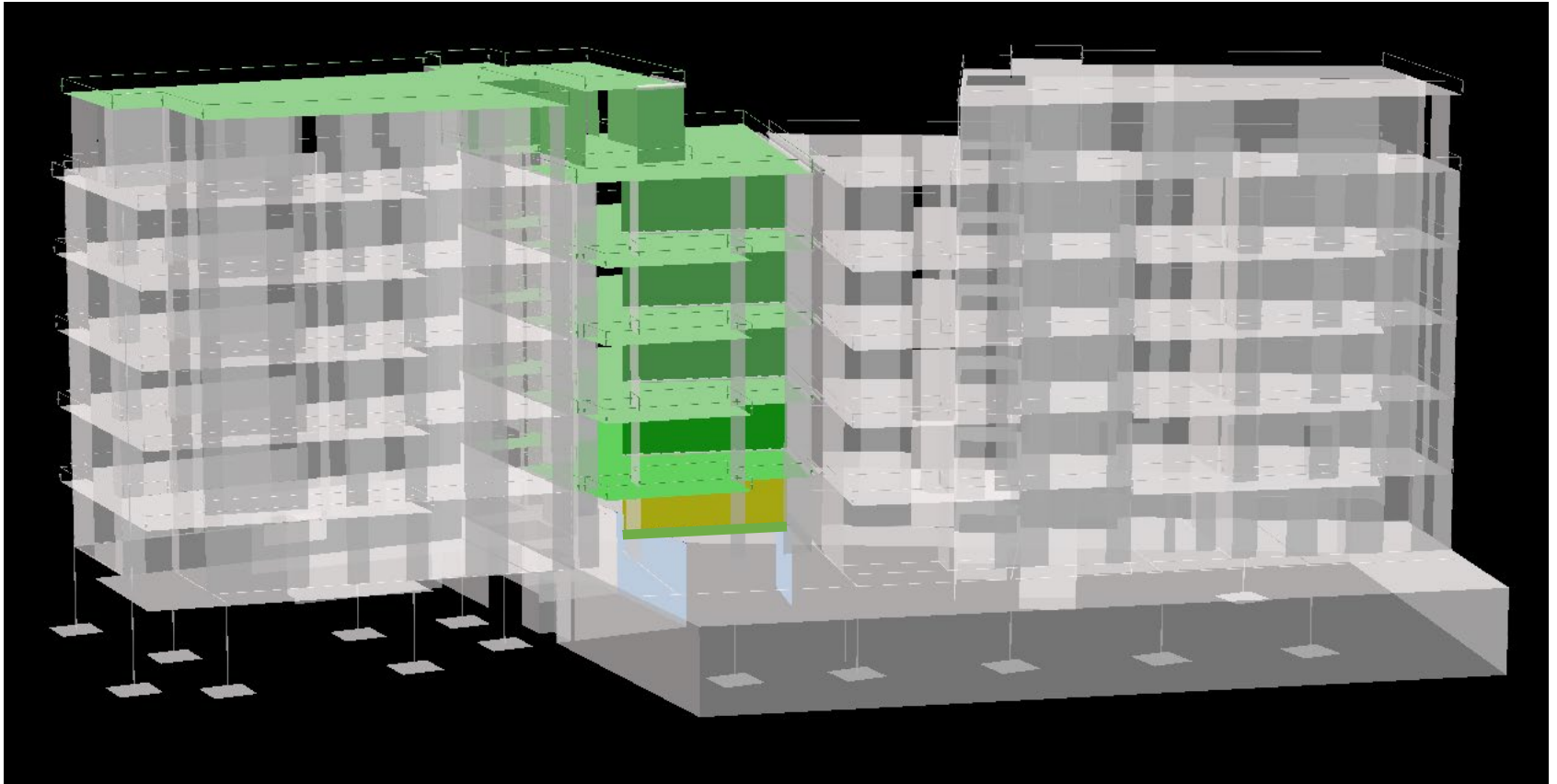
- Regeln welche Bauteile sich wie unterstützen können/müssen
- Erlaubte Geometrieüberlappungen in 2D und 3D
- Auf welche Weise werden Kräfte im Tragwerk berechnet

## Algorithmus & Sprachen

→ Beschreibungslogik, Computational Algebraic Geometry, Constraint-Propagation

## Umsetzung in Software

→ BL-Reasoner in Lisp, Eigenentwicklung in C mit Polygon-library, Selbstimplentierung



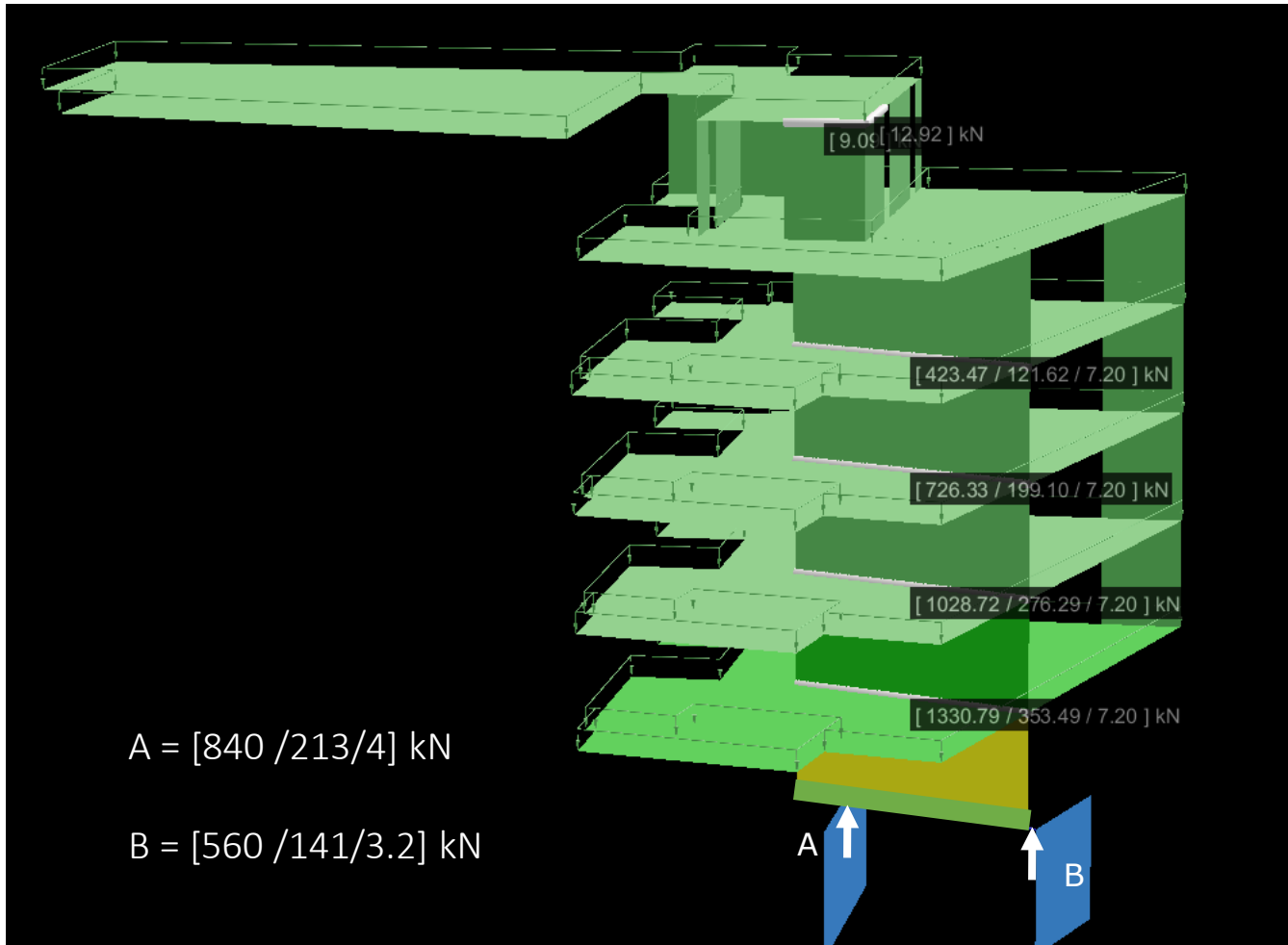
gelb = deep beam im Fokus

grün = loading elements ↑ slab ↑ wall ↑ ↑ walls etc.

blau = supporting elements ↓ wall ↓ wall



# CONSTRAINT PROPAGATION MITTELS EINFLUSSFUNKTIONEN

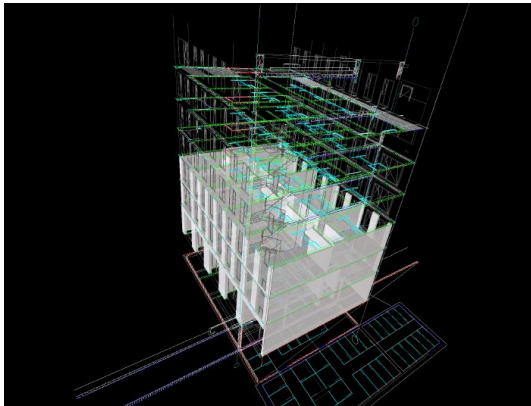




# Kann ein Computer lernen aus 2D Plänen BIM-Modelle zu bauen?

**AutoBuild3D**

R&D Projekt: 390.000 Euro Budget, 2 Jahre



Material		
Betongüte	C20/25	
Stahlsorte	BSt 500 S(B)	
Geometrie		
XY-Koordinate-1 [m]	10.626	6.745
XY-Koordinate-2	6.287	2.900
Z-Koordinate [m]	0.000	
Z2-Koordinate [m]	3.000	
Querschnitt		
Dicke [cm]	20.00	
Länge [m]	5.797	



## Wissensakquisition

- Erstellung von korrekten Testfällen mit Input/Output = [Bauzeichnungen/3D-Modell
- Interviews und Analyse von 2D Plänen mit möglichen Verschneidungen etc.
- Herausarbeiten möglicher räumlicher Beziehungen zwischen Bauteilen auf Polygonen

## Algorithmus & Sprachen

→ Räumliches Schließen RCC5, Computational Algebraic Geometry, Deep Learning

## Umsetzung in Software

→ Eigenentwicklung in C, Eigenentwicklung in C für Geometrie, TensorFlow

Convolutional Neural Network mit Pooling von unten nach oben zur Geometrieerkennung

**Generierung der Bauelemente**

Wände, Stützen, Decken, etc.

**Erkennen von Geometrien und  
Berechnung von 3D-Körpern**

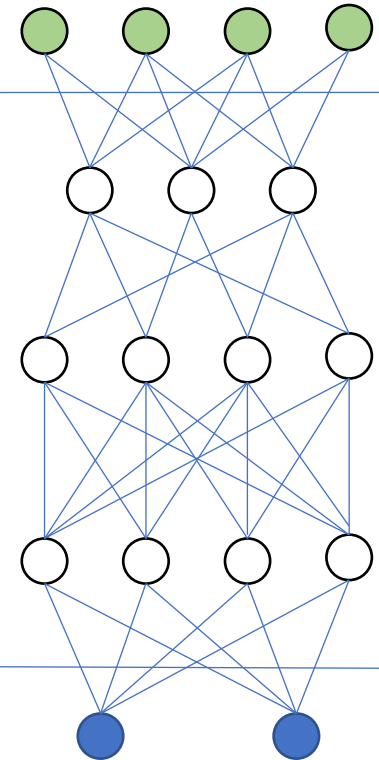
Quader, Volumen

Rechtecke, Kreise, etc.

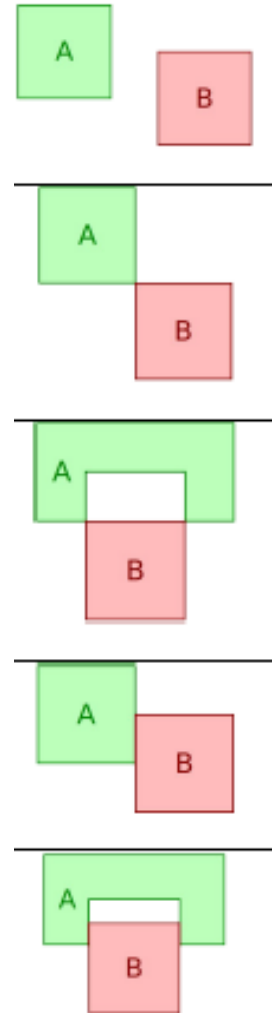
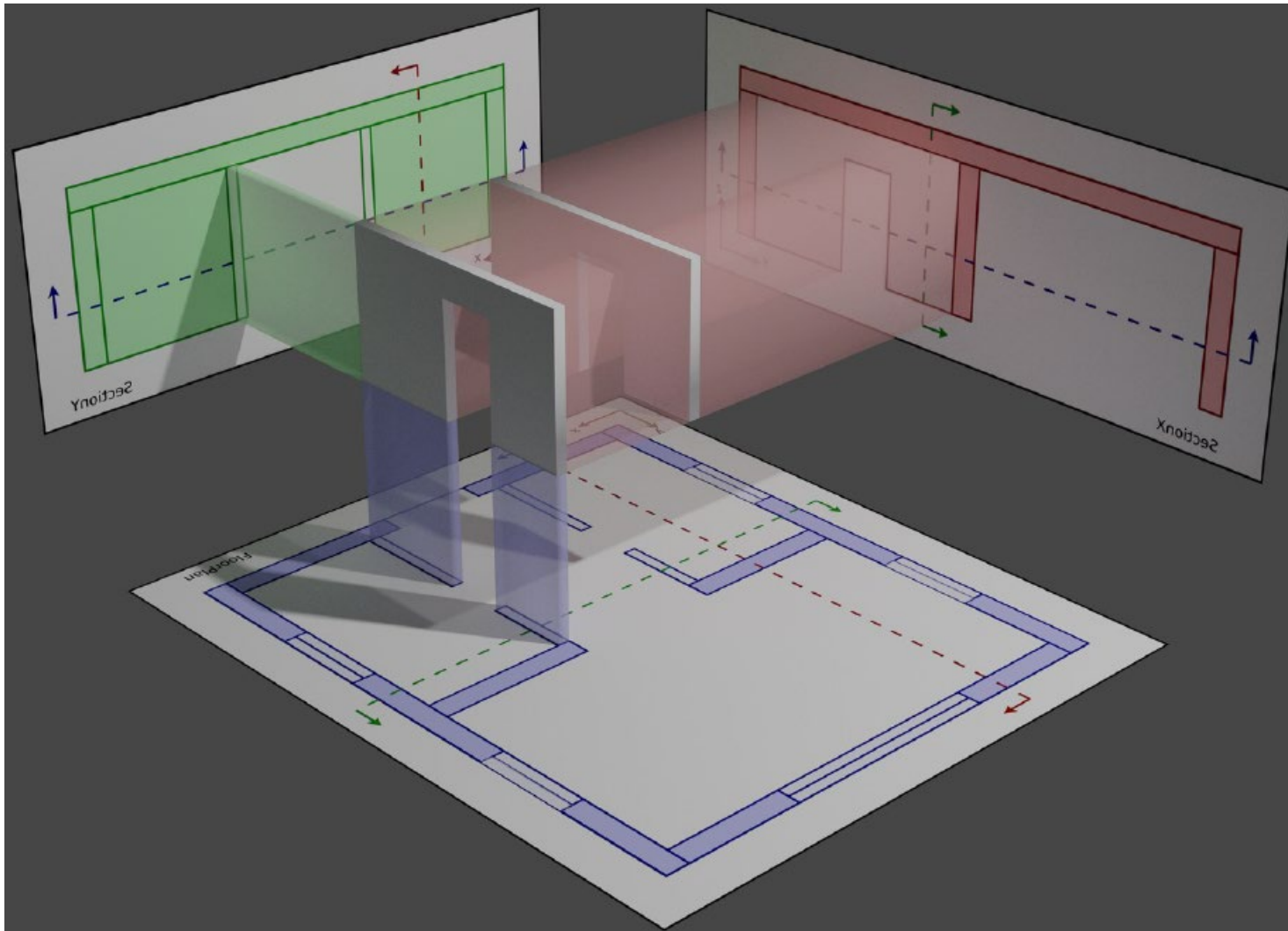
Linienzüge, Polygone

**2D-Zeichnungen:  
Grundrisse, Ansichten, Schnitte**

Punkte, Linien,  
Schraffuren, etc.



# BERECHNUNG VON POLYGONBEZIEHUNGEN MITTELS RCC5-KALKÜL





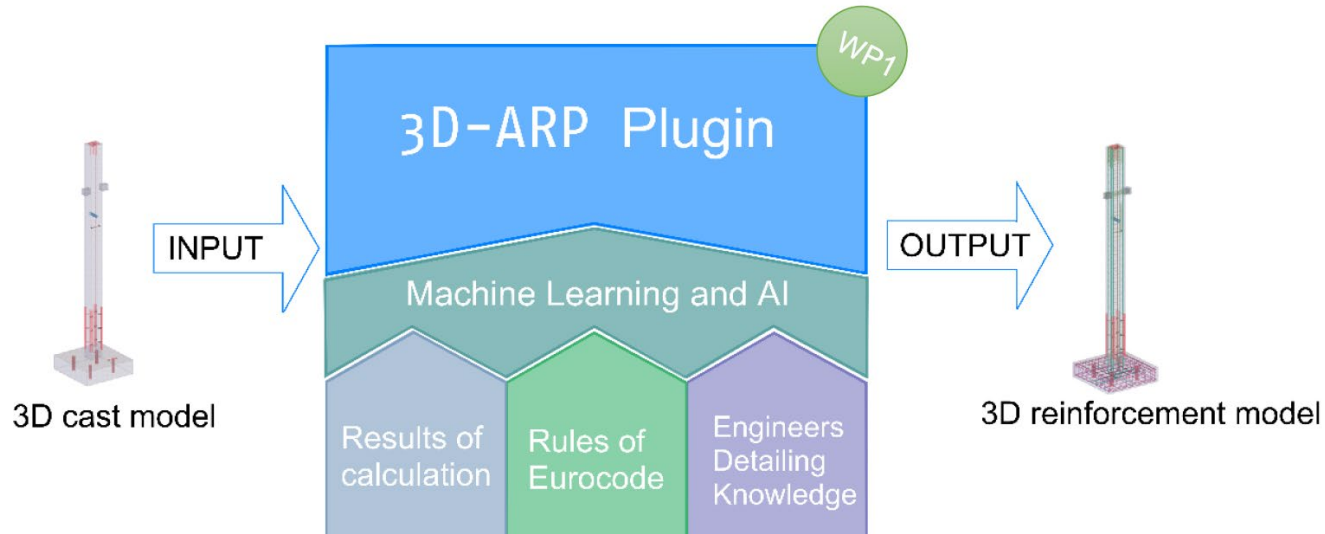
**EUROPEAN UNION**

European Regional Development Fund

# **Kann der Computer einen Konstrukteur bei der Bewehrungsplanung ersetzen?**

**3D-ARP**

R&D Projekt: 860.000 Euro, 2 Jahre



## Wissensakquisition

- Aufnahme des Bewehrens von erfahrenen Ingenieuren in Tekla
- Nutzung alter Tekla-Projekte mit bewehrten FT und statischen Berechnungen etc.
- Konstruktionsregeln des Eurocode 2 sowie anderer Quellen

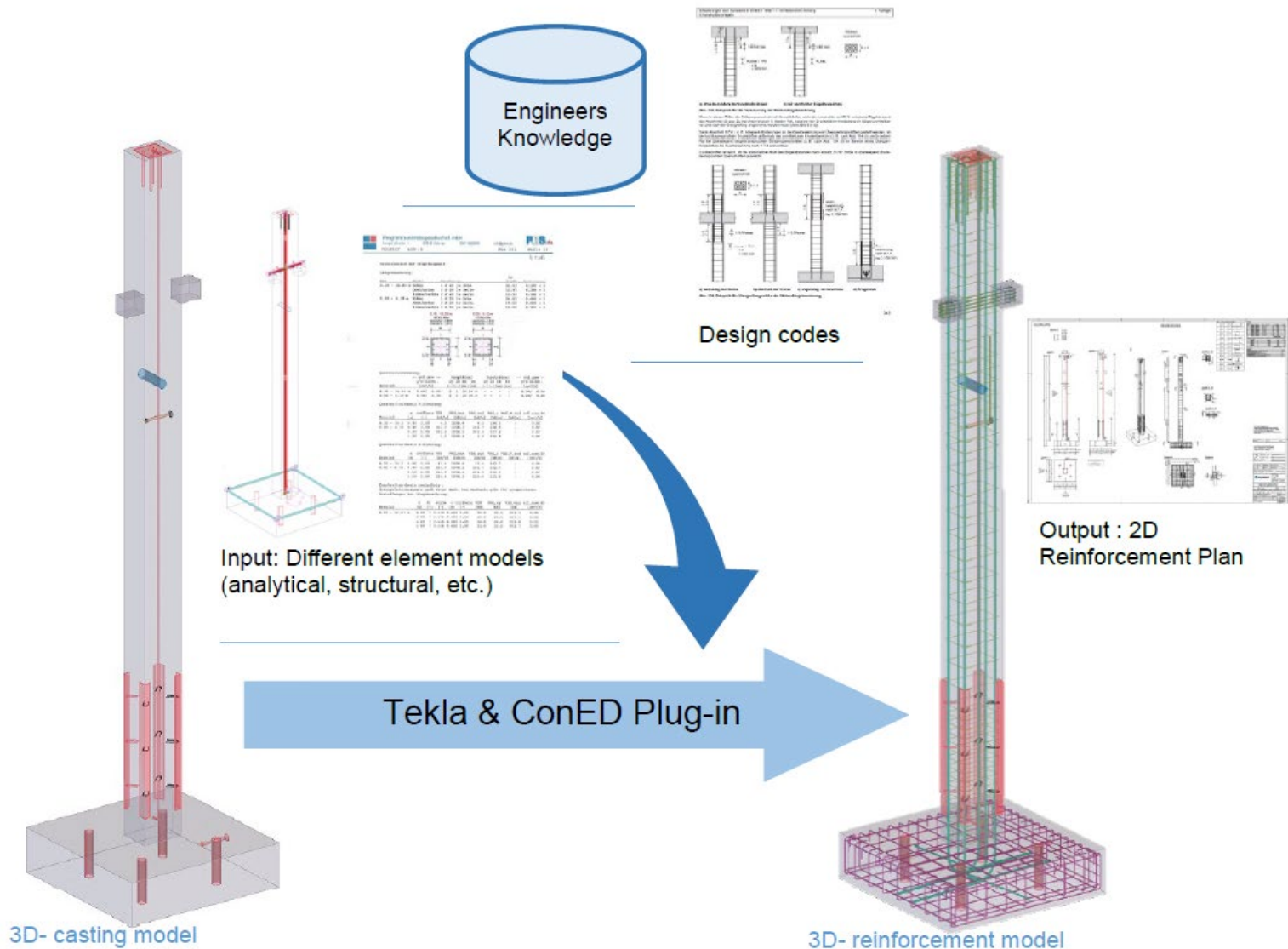
## Algorithmus & Sprachen

→ Task-Decomposition, Computational Algebraic Geometry, regel-basiert, Graph-ML

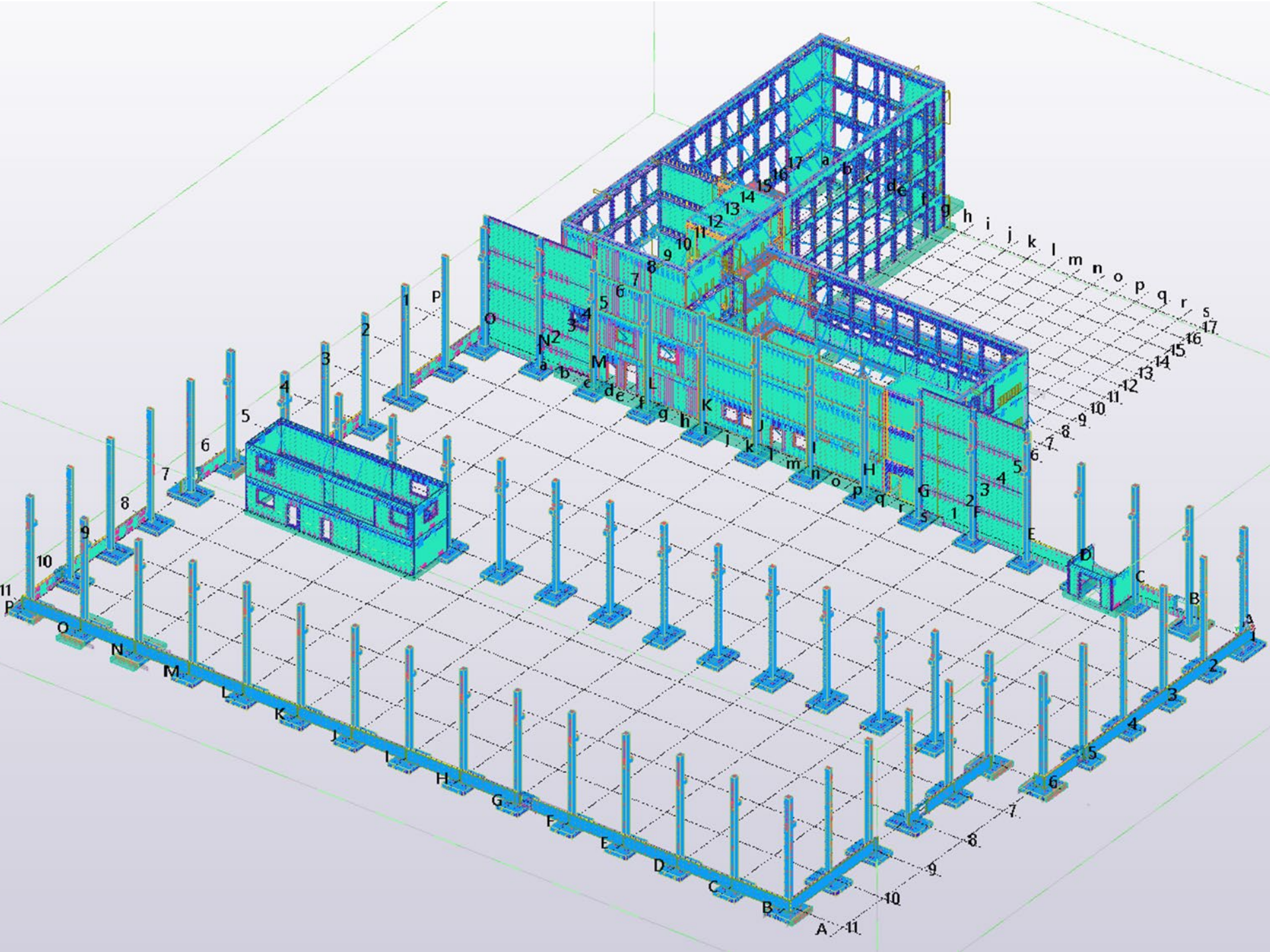
## Umsetzung in Software

→ Eigenentwicklung in C++, Nutzung von Tekla für Kollision, GraphSAGE mit TensorFlow

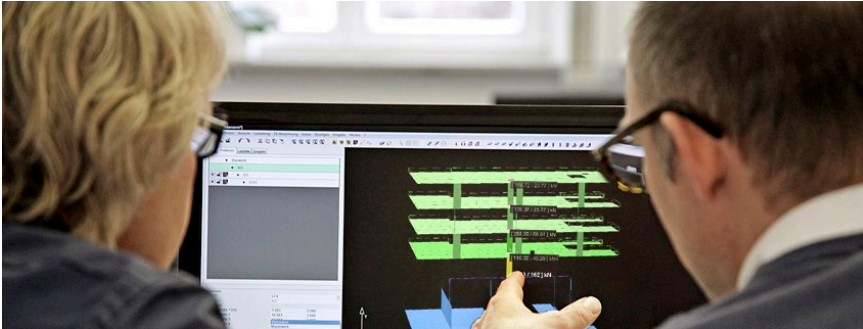
# LÖSUNGSTRATEGIEN VOLL INTEGRIERT AUF WISSENSBASIS MIT DATENBANK







**Welche Vorteile bringt  
KI für die Praxis?**



## **Geeignete Teilaufgaben übernimmt Computer**

→ Mehr Zeit für kreative Ingenieur Tätigkeiten

## **Steigerung der Produktivität um mehr als 50%**

→ Weniger Personal ist erforderlich

## **Entwicklung von KI-Software für BIM**

→ Neue Softwarefirmen/Konzepte werden auftauchen