

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

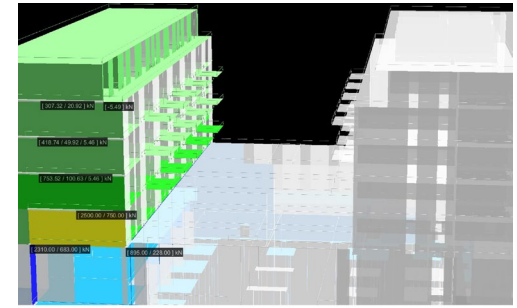
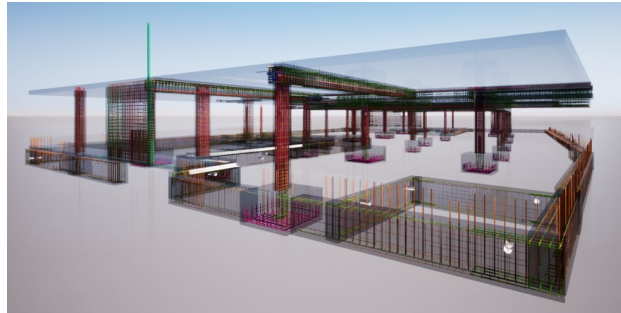
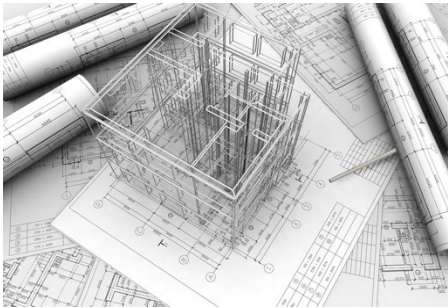


Mitarbeiter Über 50 Ingenieure, eigene Modellierer und Entwickler als Fachpersonal

Technik Modernste BIM-Software | Scrum & Lean Methoden

Netzwerk Spezialisten zu KI, BIM und Programmentwicklung

BIM & KI BEI EISFELD 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



Erstes BIM Projekt

ISO 9001 Zertifizierung

EISFELDINGENIEURE
75 JAHRE
VISIONÄR DENKEN
LEIDENSCHAFTLICH PLANEN

Entwicklung der Software ConED zum Entwerfen von Tragwerken

BIM Office in Vilnius mit R&D

AR kommt auf die Baustelle mit Xella



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

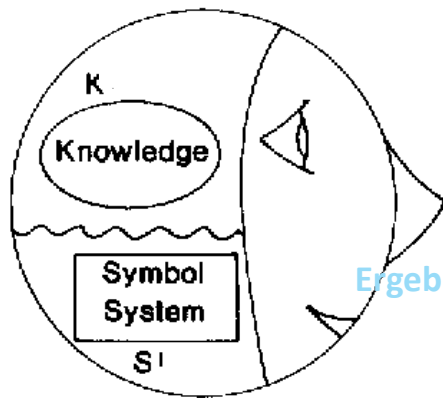
Oft symbolische Informationsverarbeitung
→ Planen ist Schließen, Synthese und Lernen uvm.

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

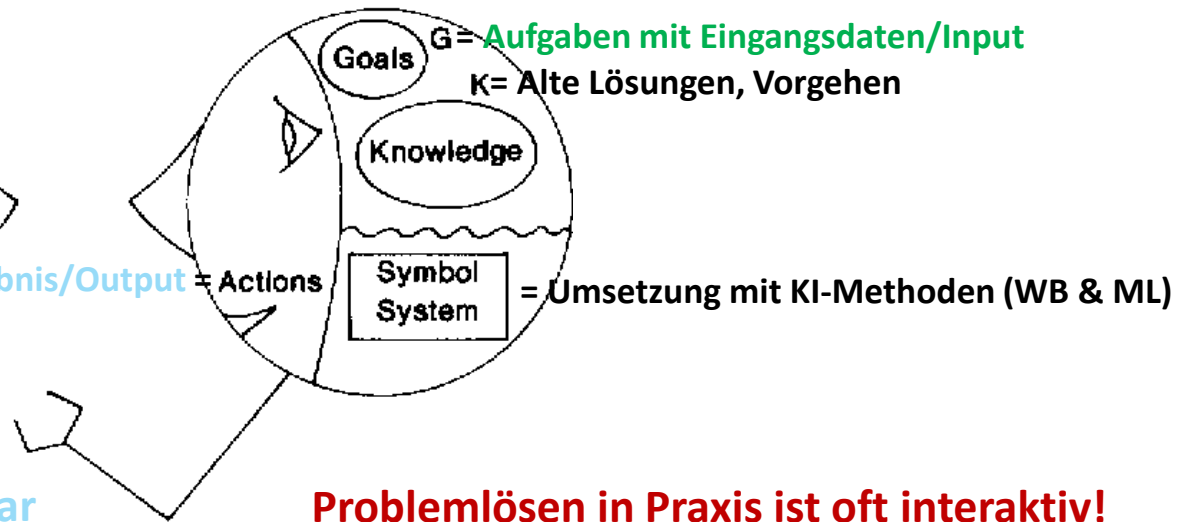
Wissen ist erforderlich zum Lösen von Aufgaben
→ räumlich, strukturelles und prozedurales

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

Observer = Ingenieur



Agent = Software



korrekt & nachvollziehbar

Problemlösen in Praxis ist oft interaktiv!

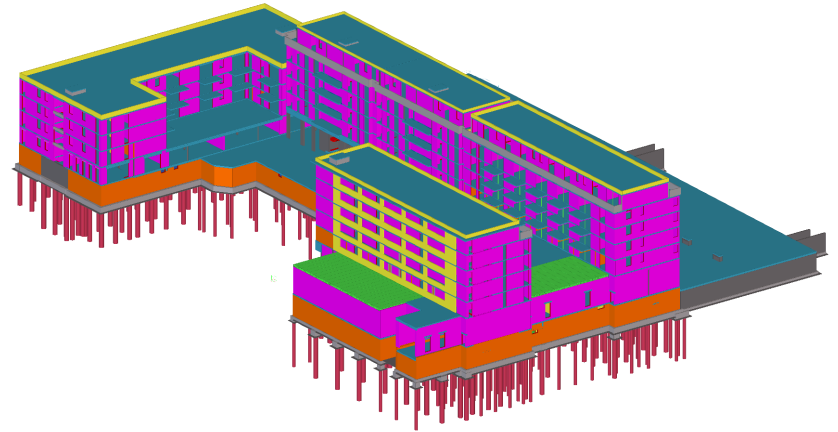
[The knowledge level, Newell, 1982]

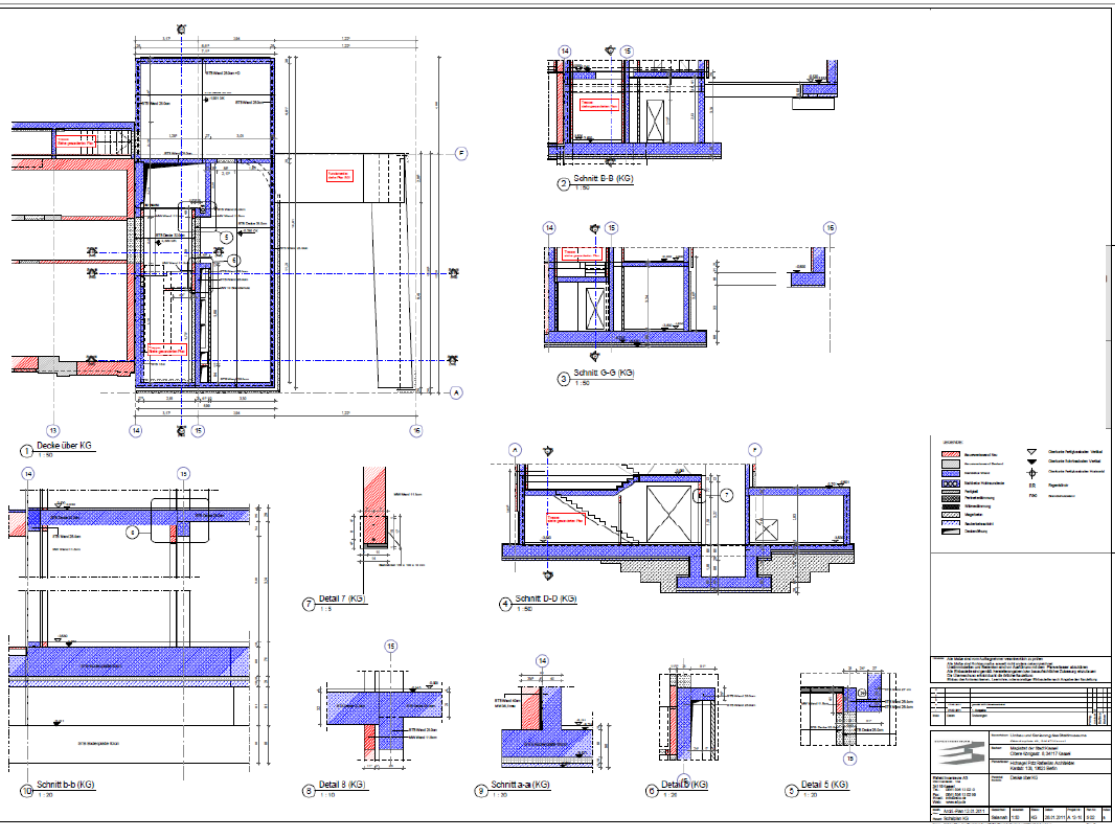
INGENIEURAUFGABEN

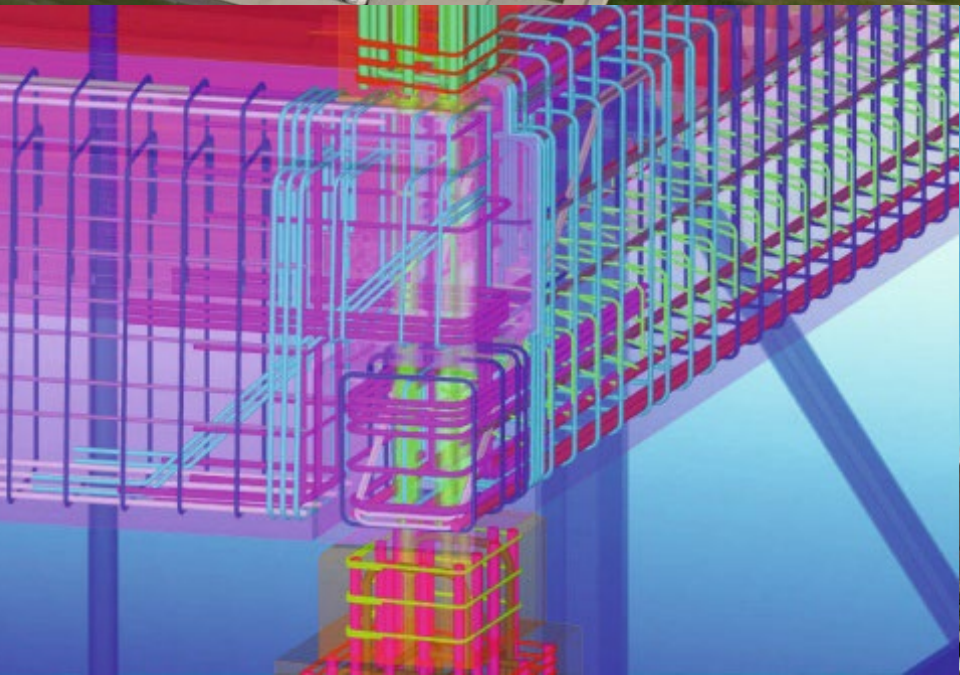
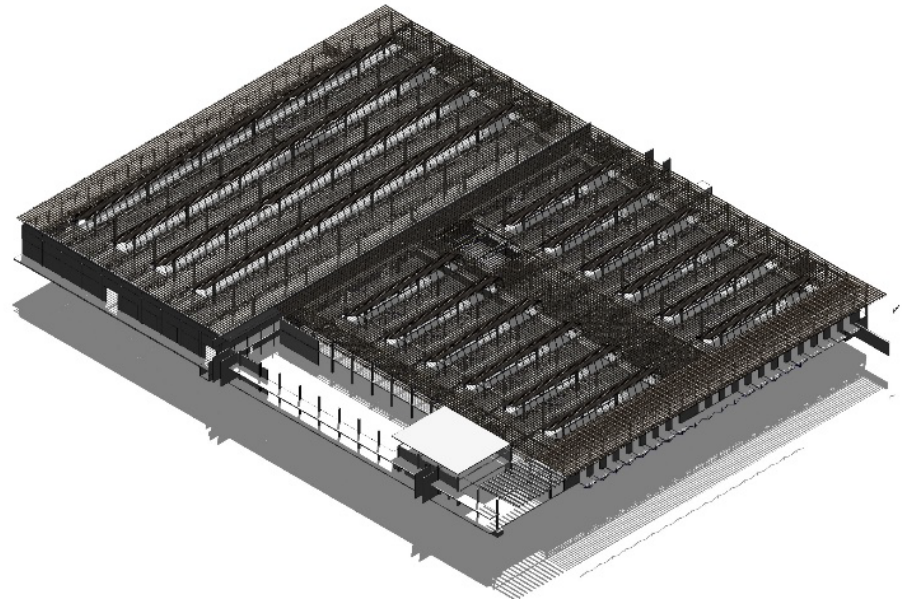
LP2: Ableiten der Tragstruktur/Konzept auf BIM-Modell

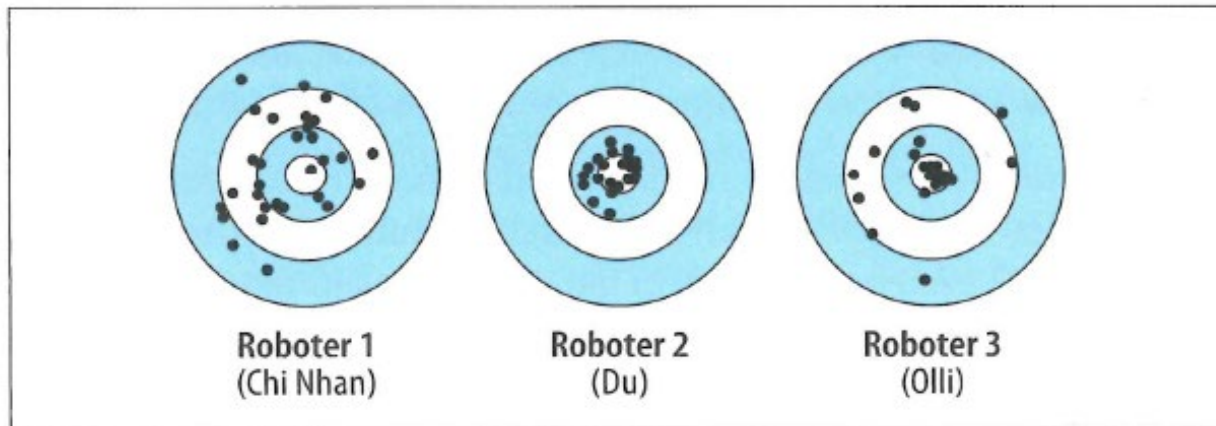
LP3: Erstellung BIM-Tragwerksmodell LOD 200 aus 2D-Plänen im dwg-Format

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









Roboter 1
(Chi Nhan)

Roboter 2
(Du)

Roboter 3
(Olli)

Anfänger

Experte

Lernender

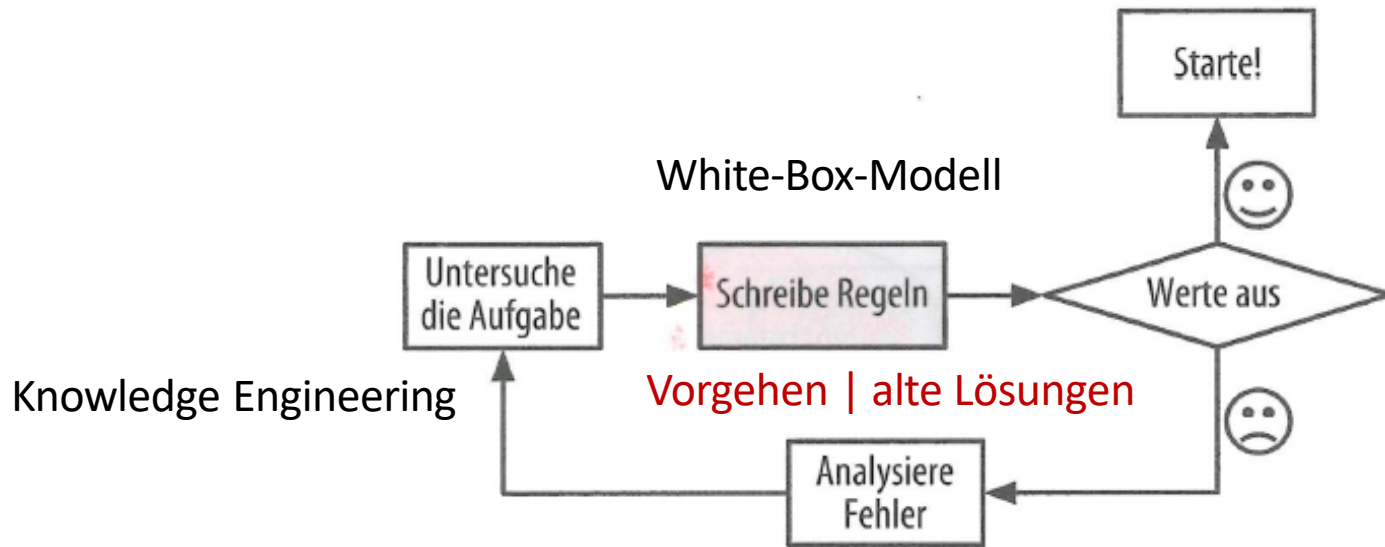
[ML kurz & gut, Nguyen & Zeigermann, 2018]

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)

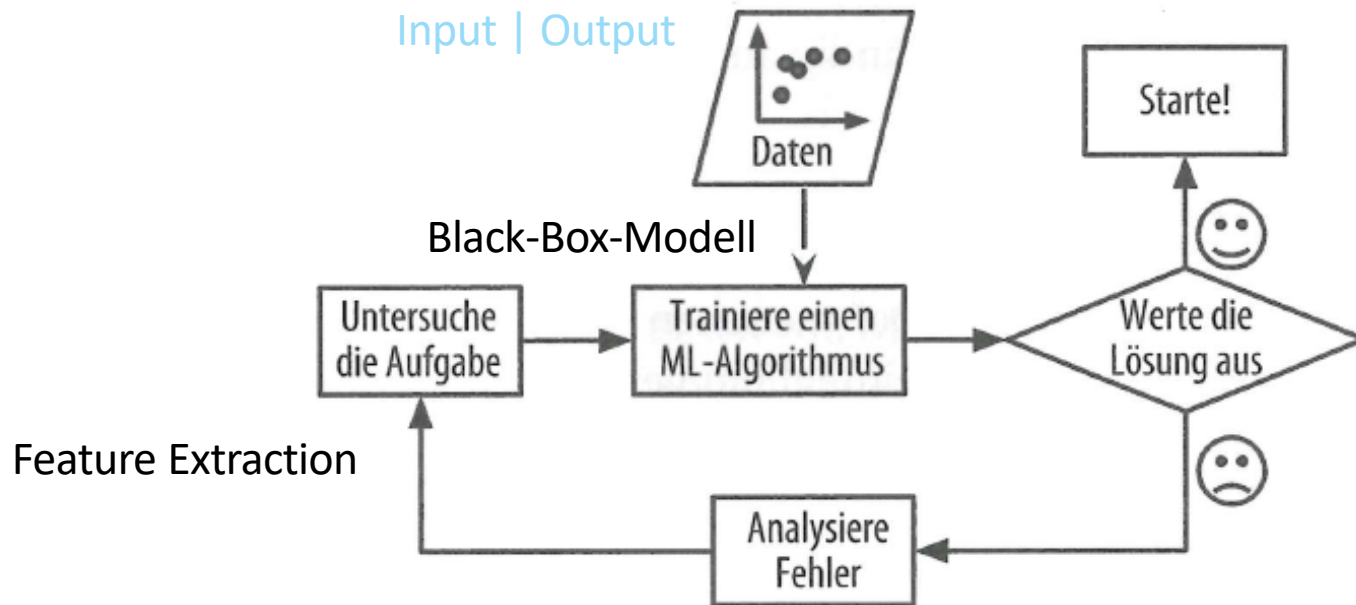
Hybrid Kombination, um gutes Ergebnis zu erhalten bei riesigen Zustandsräumen



[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?

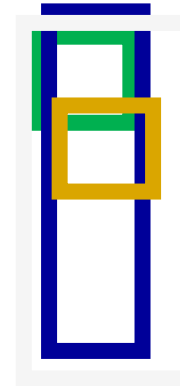
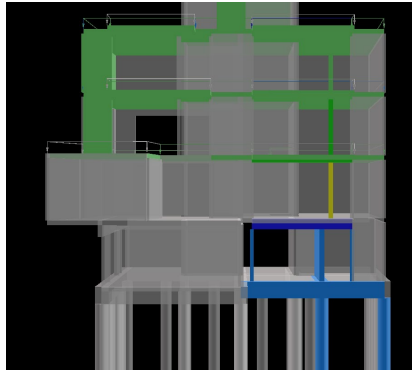
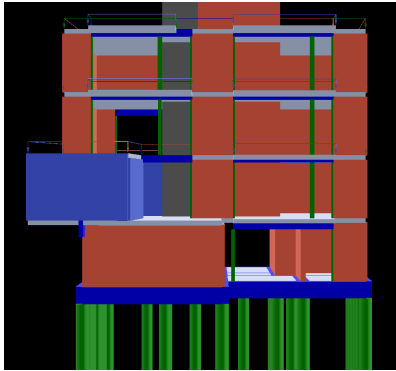
Tragwerk-FMEA

R&D Projekt: 400.000 Euro Budget, 3 Jahre

CONED FILM

The screenshot displays the ConED software interface. The main window shows a 3D model of a building structure with orange walls and blue beams. The interface includes a menu bar at the top, a toolbar, and a layer list on the left. The layer list shows a hierarchy: Bauwerk > FU > KG > D5 > D5/1 > W36, W37, W38, W39, S51, S52, S53, S55, S61, B101, B102, R103. The properties panel on the left shows details for the selected layer (KG): Bezeichnung: KG, Höhe [m]: 3.000, Nutzung: Keine, Betonqualität: C20/25, Stahlklasse: B500S, Z2-Koordinate [m]: 3.000, Z-Koordinate [m]: 0.000. The log window at the bottom shows a list of messages with columns for 'Meldungstext', 'Objekt(e)', and 'Eingabe' (Zeit).

Meldungstext	Objekt(e)	Zeit
Die Anzeige der Belastungen ist eingeschaltet.		10:03:44
Die Anzeige der Auflagerreaktionen ist ausgeschaltet.		10:04:39
Die Anzeige der Belastungen ist ausgeschaltet.		10:05:54
Die Anzeige der Auflagerreaktionen ist ausgeschaltet.		10:05:58
Sie haben in die 3D-Ansicht gewechselt.		10:06:13



Wissensakquisition

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

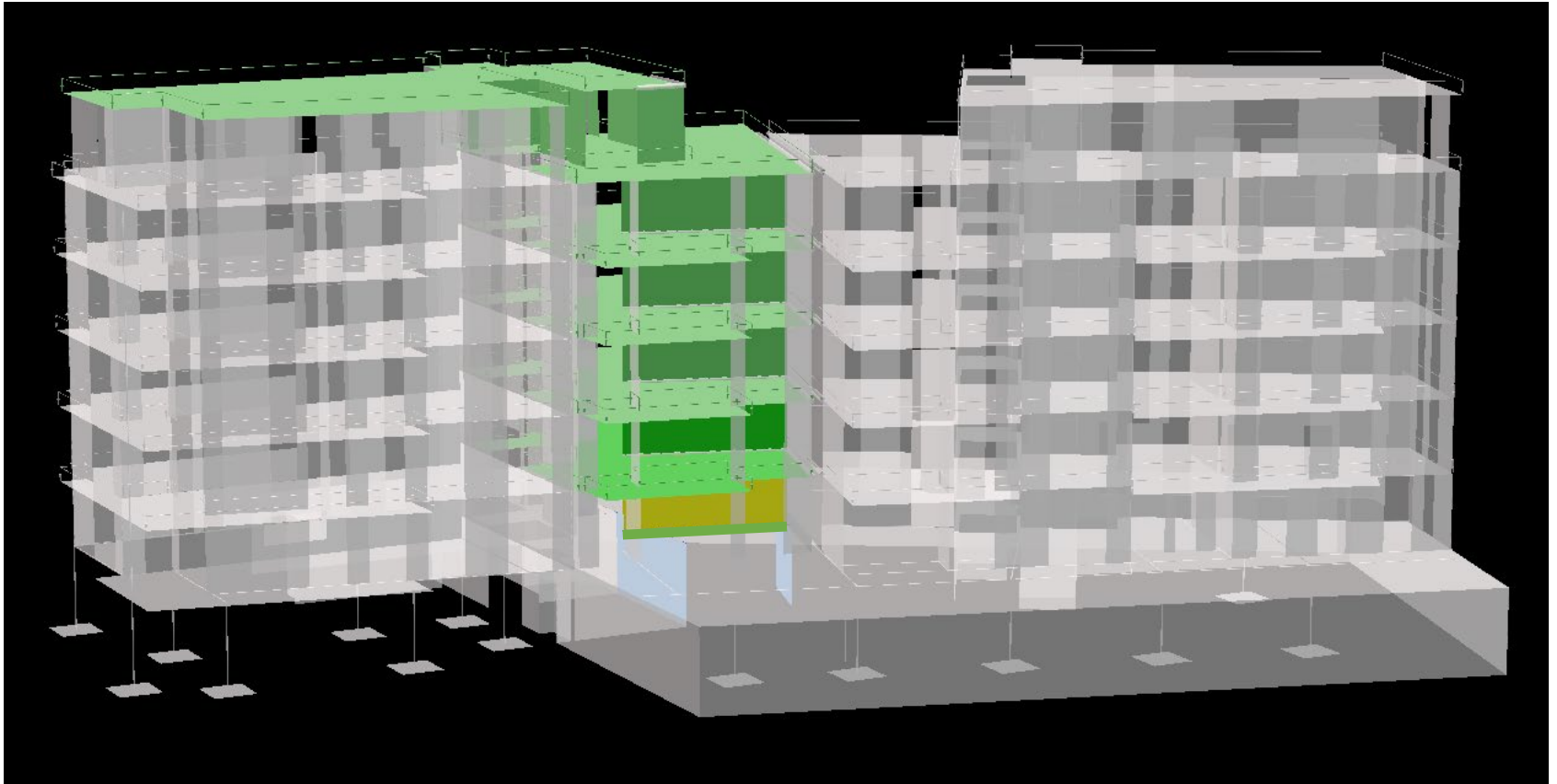
Algorithmus & Sprachen

→ Beschreibungslogik, Computational Algebraic Geometry, Constraint-Propagation

Umsetzung in Software

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

ABLEITUNG DER TRAGSTRUKTUR ÜBER MODEL COMPLETION

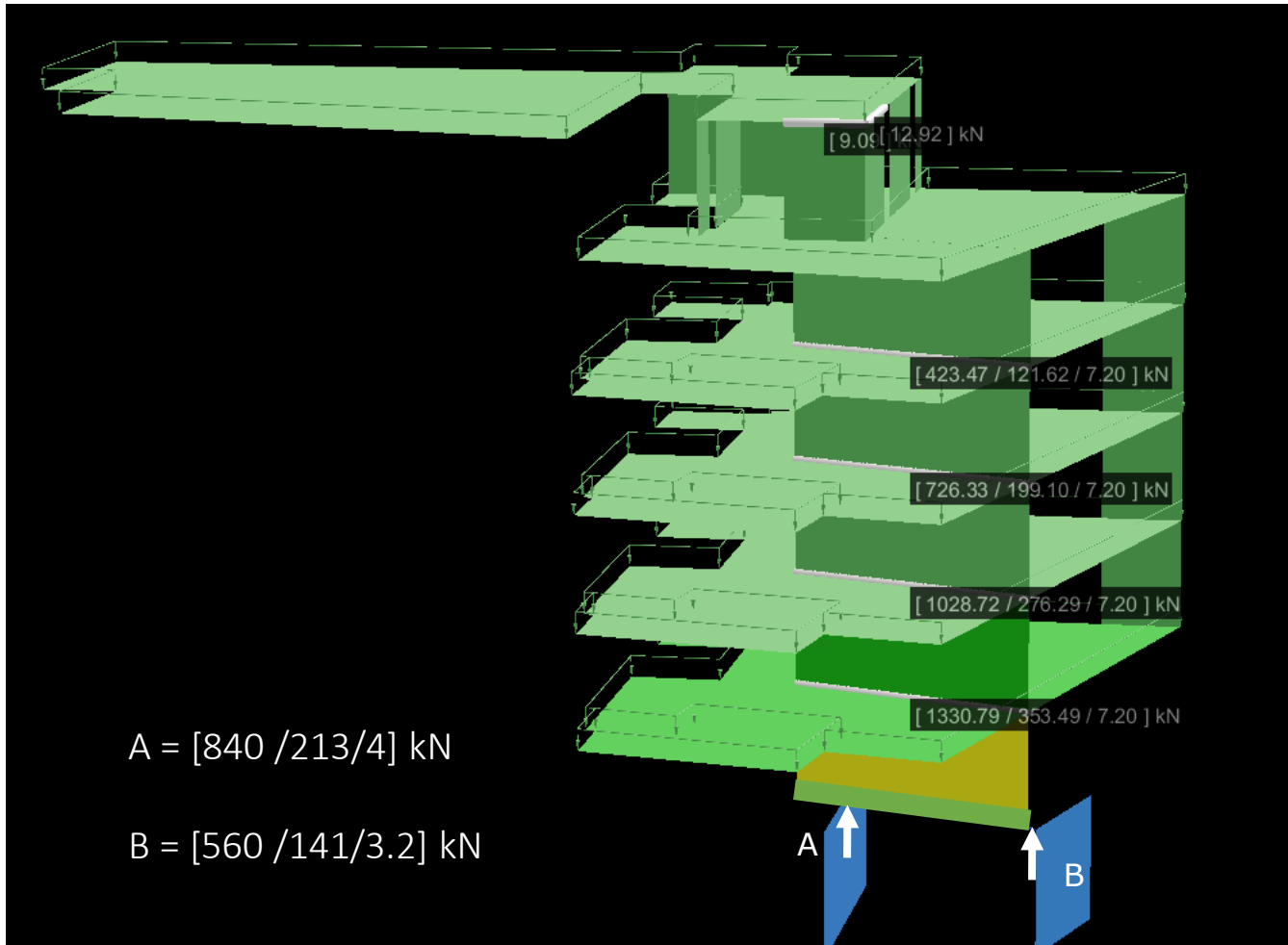


gelb = deep beam im Fokus

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

blau = supporting elements ↓ wall ↓ wall

CONSTRAINT PROPAGATION MITTELS EINFLUSSFUNKTIONEN



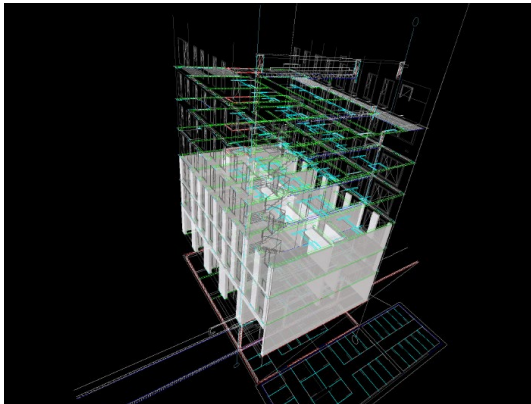


Kann ein Computer lernen aus 2D Plänen BIM-Modelle zu bauen?

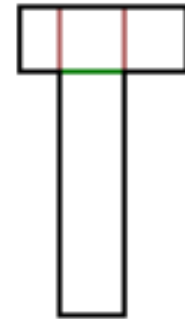
AutoBuild3D

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**

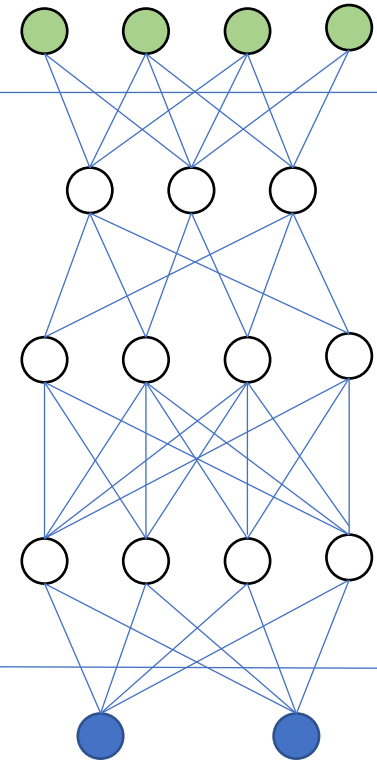
Quader, Volumen

Rechtecke, Kreise, etc.

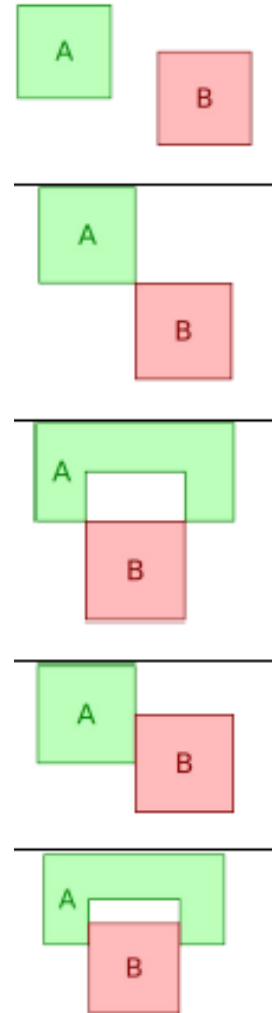
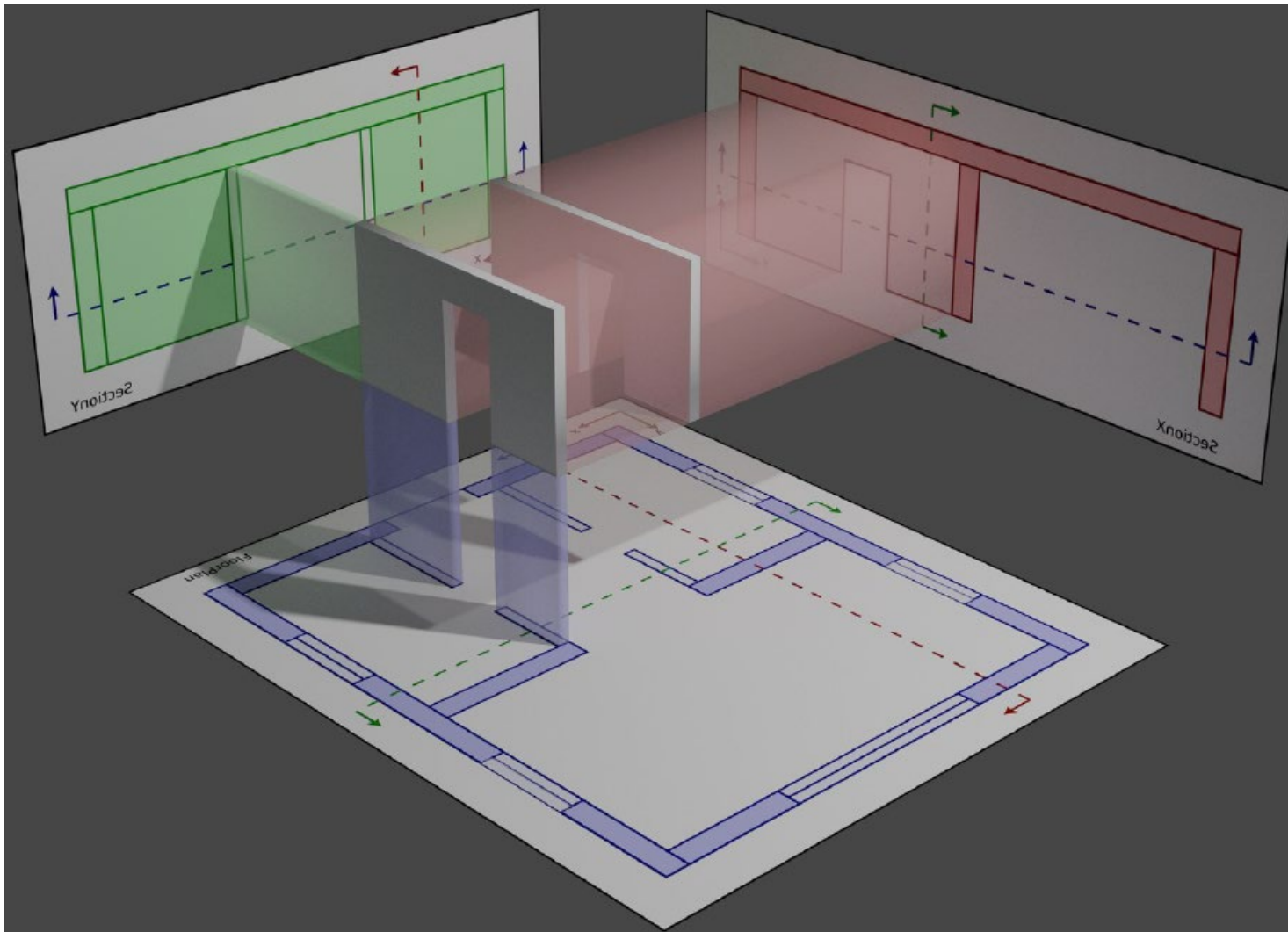
Linienzüge, Polygone

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

Punkte, Linien,
Schraffuren, etc.



BERECHNUNG VON POLYGONBEZIEHUNGEN MITTELS RCC5-KALKÜL





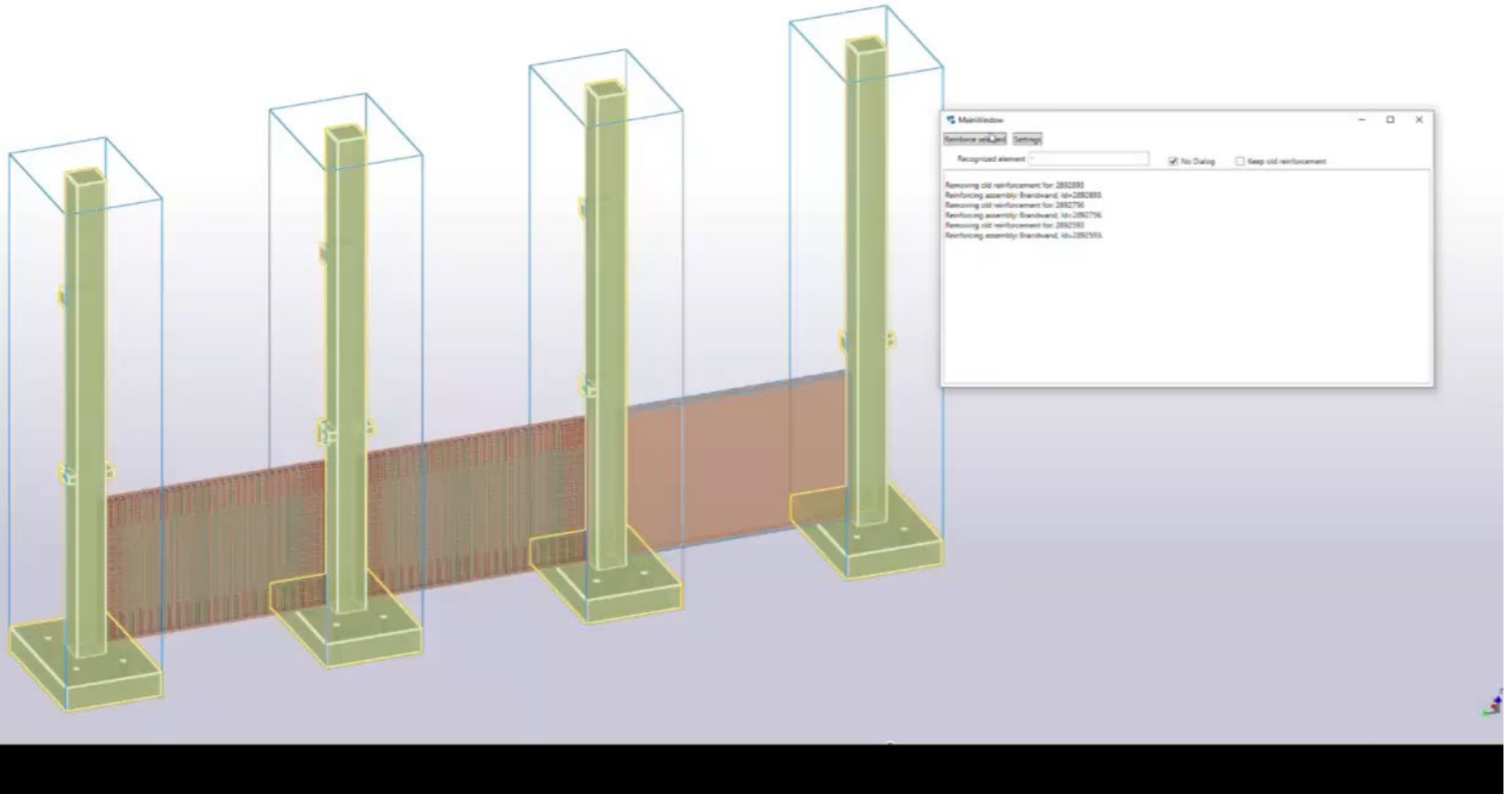
EUROPEAN UNION

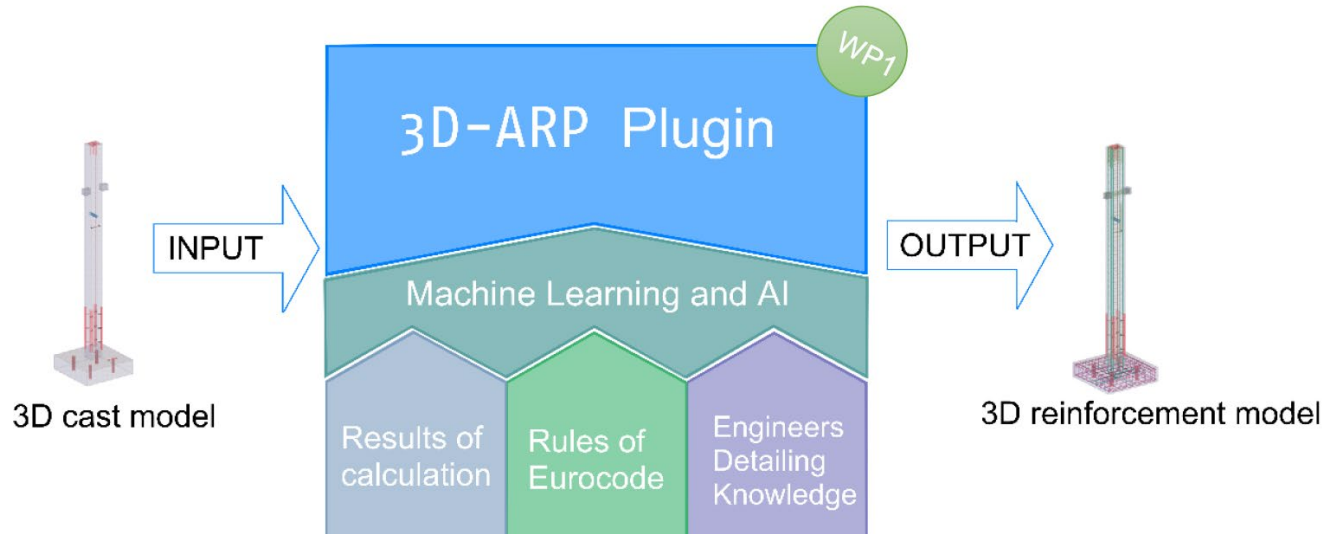
European Regional Development Fund

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

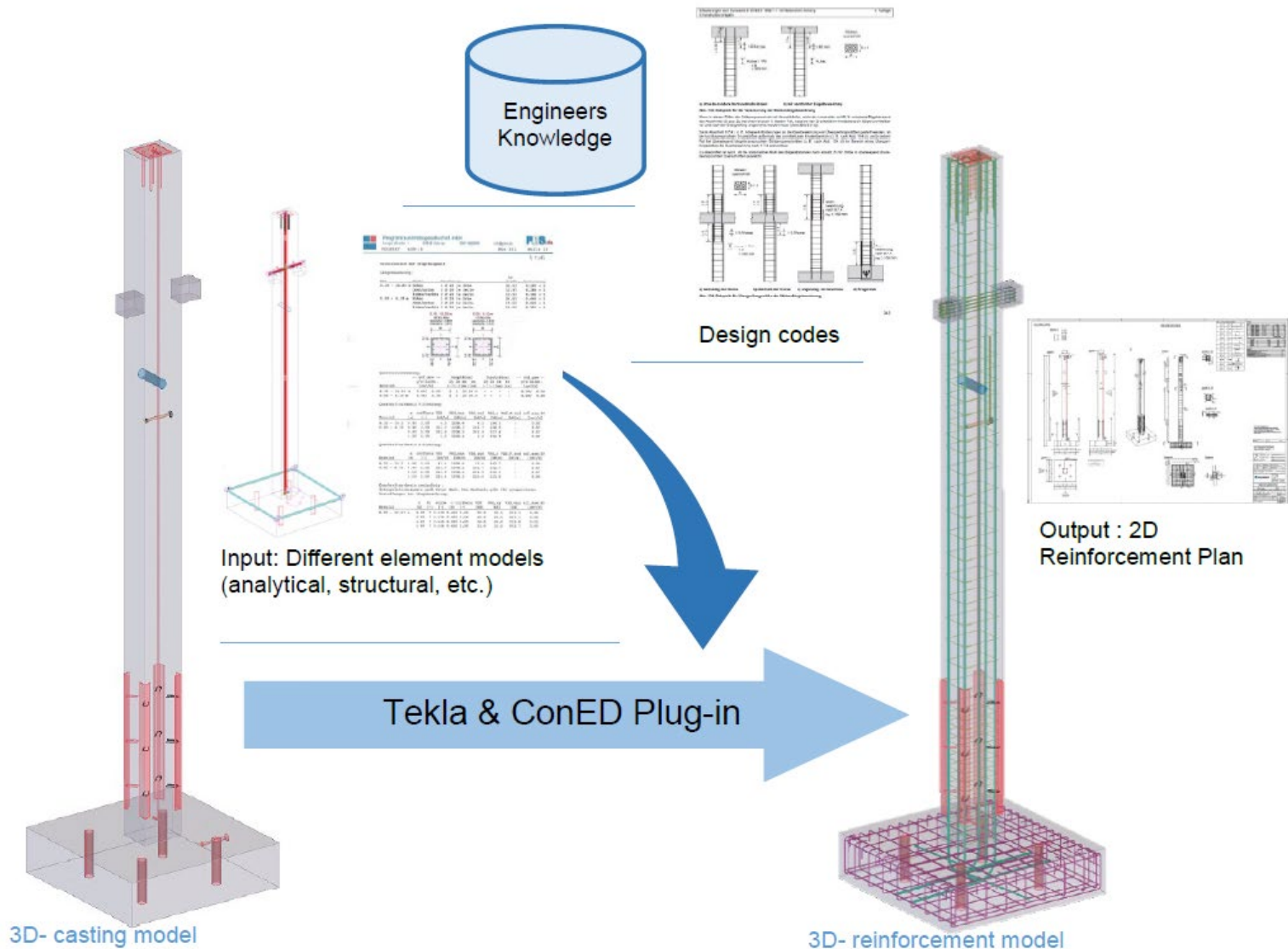
Algorithmus & Sprachen

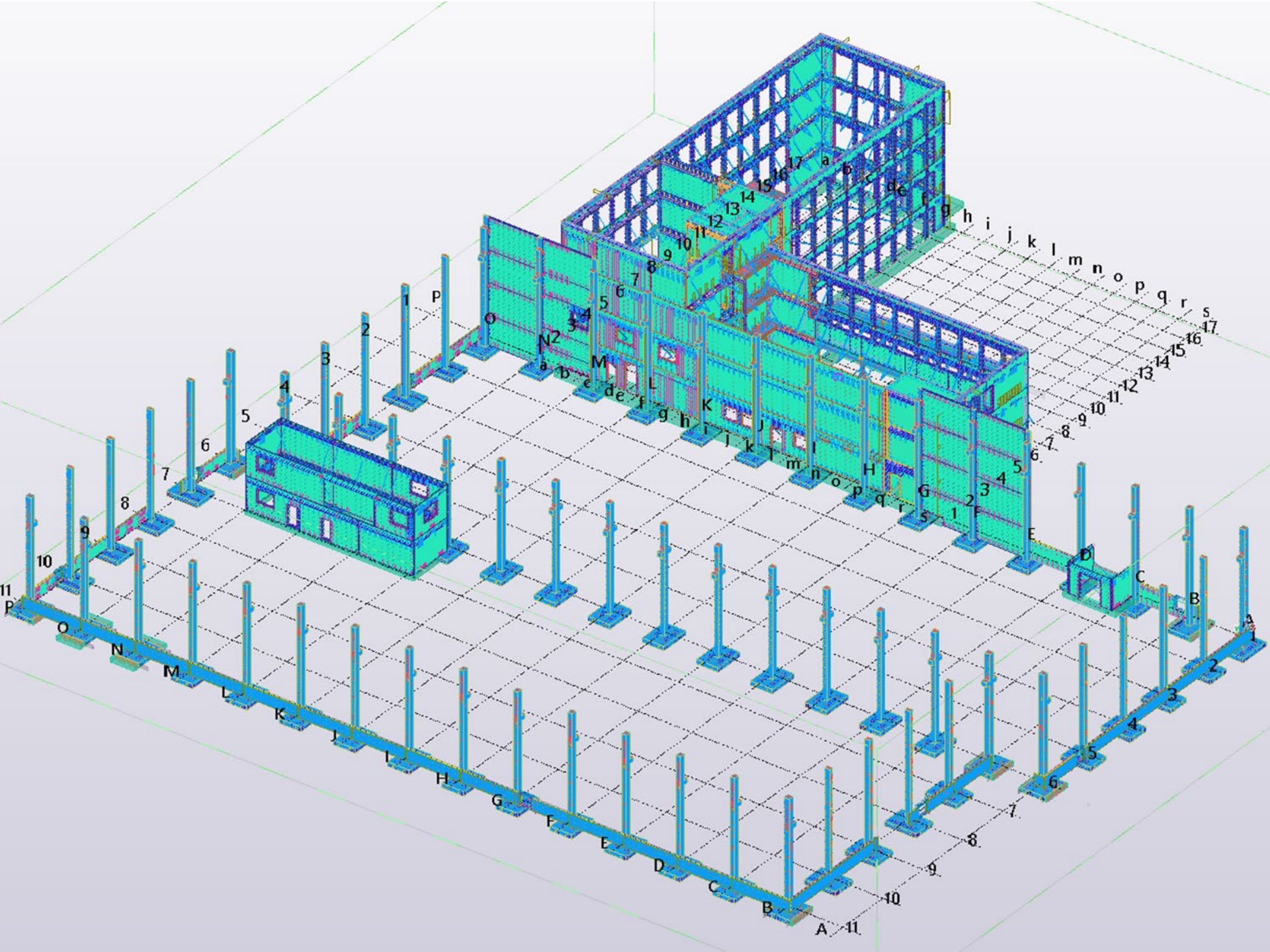
→ Task-Decomposition, Computational Algebraic Geometry, regel-basiert, Graph-ML

Umsetzung in Software

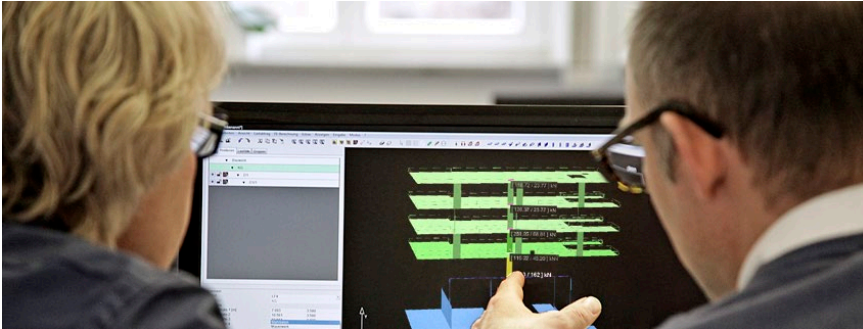
→ Eigenentwicklung in C++, Nutzung von Tekla für Kollision, GraphSAGE mit TensorFlow

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