DRESDEN, 10-11.09.2026

7. D.A.CH-Tagung Flüssigboden

ZWEI BAUSTOFFE, EINE LOGIK

WIE KI BETON- UND FLÜSSIGBODEN - KNOW-HOW VERBINDET

by Prof. Dr.–Ing Gregor Zimmermann, IU GROUP, Campus Hannover

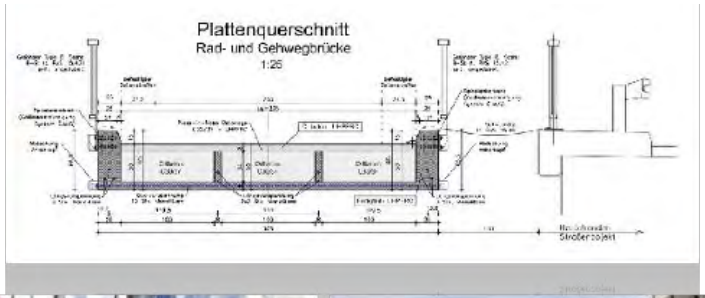
01

KI ANWENDUNG:

UHPC - ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE

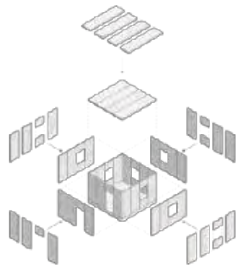
01 UHPC – ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE

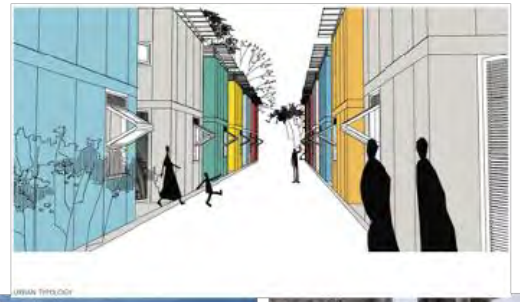
INFRASTRUKTUR



STRASSENBAU
SCHALLSCHUTZ

MODULARES BAUEN
INFRA LEICHTBETON





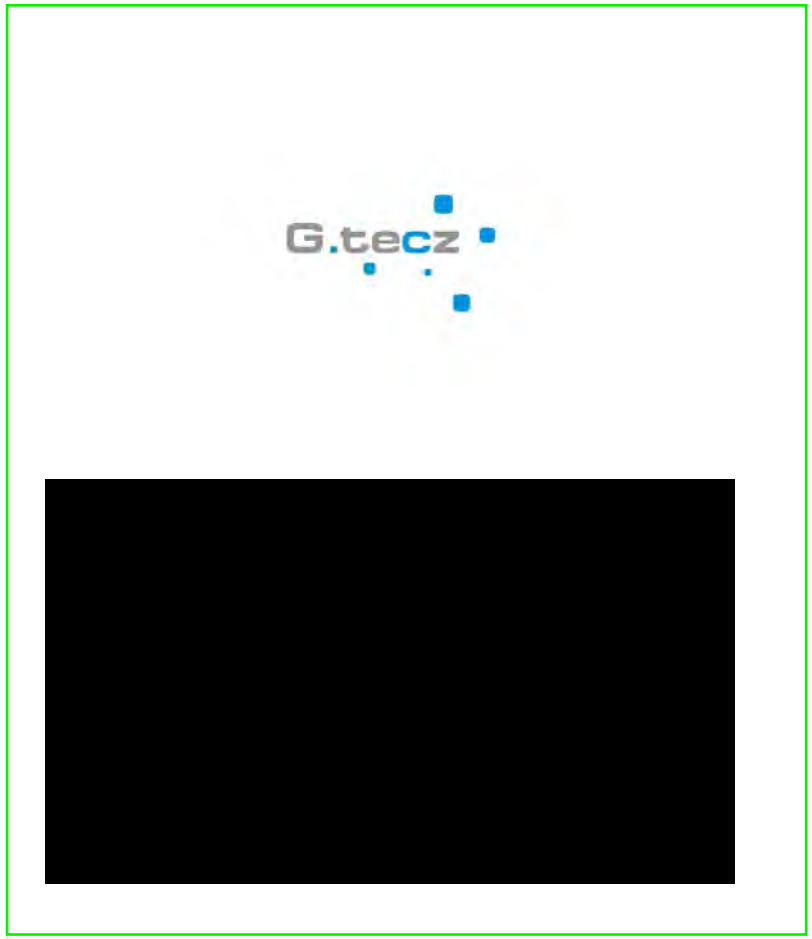
VORGEHÄNGTE
FASSADE

UHPC – ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Concrete		UHPC A Water stored	UHPC A Heat treated 90°C	UHPC B Water stored	UHPC B Heat treated 90°C
Compression strength [N/mm²]	7d	128	200	140	195
Cylinder 150/300 mm	28d	153	208	158	205
Centr. tension strength [N/mm²]	28d	7 (without steel fibres)			
Centr. tension strength [N/mm²]	28d	15 (with steel fibres)			
Flexural strength [N/mm²]					
Beam	7d	11,1	22,1	18,3	18,0
700x150x150 mm	28d	13,3	22,2	20,4	17,9
Prism	7d		34,7		26,3
160*40*40 mm	28d		35,7		29,3
Fracture Energy with 2,5 Vol.-% steel fibres	28d	12.900 - 19.800 N/m			
Young-Modul	28d	45.000 – 55.000 N/mm²			
Poison Ratio		0,18 – 0,24			
Porosity (total)	28d	about. 6 Vol.-%			
Capillary pores	28d	1,5 – 1,8 Vol.-%			
Autogenic Shrinkage	to 100h	-0,44 to – 0,55 mm/m			
Dehydration Shrinkage	From 2d to 250d	-0,38 to –0,55 mm/m			
Shrinkage (total)	to 250d	-0,71 to –1,06 mm/m			
Creep	$\varphi_{28,90}$	Water stored = 0,5 Heat treated (90°C) = 0,2			
Carbonating (3 years)	weathering	1,5 to 2,5 mm			
	Norm	1,5 to 1,7 mm			
Sulfates		No damages			
Freeze-Thaw-Resistance	28 cycles	18 to 208 g/m²			
	56 cycles	31 to 379 g/m²			
	112 cycles	155 to 722 g/m²			
Fire resistance		No damages by adding 0,6 Vol.-% PP-fibres Recommended are 3 kg/m³			

MPa = N/mm2

- NF P 18-710, French Society of Civil Engineers (2016)
- SIA-2952, Swiss Institute of Engineers and Architects (2016)
- CSA Canadian Standard Association
- JSCE Japanese Society of Civil Engineers
- SA Standard Australia
- GSCC German Committee on Structural Concrete, Sachstandsbericht UHPC (2006)
- …



UHPC VORTEILE

- Hohe Druckfestigkeit:
  120 N/mm² bis 350 N/mm²
- Hohe Biegezugfestigkeit:
  15 N/mm² bis 70 N/mm²
- Resistent gegen chem. und mech. Angriffe. Lebensdauer > 200 Jahre
- Recycling möglich

- Fertigteile
- Infrastrukturprojekte
- Meeresbauwerke
- …

UHPC Fertigteil Brücke (Romain Beton, NL)

90 Mpa nach 1 Tag. 135 Mpa nach 7 Tagen. Keine Bewehrung.

UHPC DRAINBETON Straßenfertigung (OAT, D)

02

MACHINE LEARNING

PREDICTION – UHPC EIGENSCHAFTEN

KI - MACHINE LEARNING
REZEPTUR UND PARAMETER

UHPC-Rezeptur (Mischungszusammensetzung) mit zu hohem Zement-Anteil *)

Bestandteil	Masseanteil (kg/m³)	Bemerkungen
Zement	~1000	Meist Portlandzement oder spezielle Hochleistungszemente
Silikastaub	~200	Hoher Reaktivitätsgrad zur Verbesserung der Festigkeit
Feinkörnung (Sand)	~900	Feinkörnige Gesteinskörnung, meist unter 0,125 mm
Superplastiziermittel	~20-30	Flüssig oder Pulver, zur Erzielung einer hohen Fließfähigkeit
Wasser	~180-200	Sehr geringer Wasserzementwert (w/z < 0,25)
Stahl- oder Kunststofffasern	~100-200	Fasergehalt je nach Anwendung (z.B. 2 % Volumenanteil)
Luftgehalt	<2 %	Geringer Luftgehalt aufgrund der hohen Dichtigkeit

*) Ausgangsrezeptur eines Kunden

Auszug der Parameter, die die Verarbeitung und Festigkeit von UHPC beeinflussen:

1. Mischungszusammensetzung

- Zementtyp und -menge: Der Zementtyp (z.B. Portlandzement, Composite Cement) und seine Dosierung beeinflussen die Hydratation und die Festigkeit.
- Silikastaub: Die Menge und Reaktivität des Silikastaubs verbessern die Feinstruktur und die Dichtigkeit.
- Feinkörnung: Die Korngröße und -verteilung der Feinkörnung beeinflussen die Packungsdichte und die Verarbeitbarkeit.
- Wasser-Zement-Wert (w/z): Ein niedriger w/z-Wert ist entscheidend für die hohe Festigkeit und Dichtigkeit von UHPC.

2. Misch- und Prozessparameter

- Mischzeit und -intensität: Die Mischdauer und -energie beeinflussen die Homogenität der Mischung und die Verteilung der Bestandteile.
- Vakuum während des Mischens: Das Anlegen eines Vakuums reduziert die Luftporosität und verbessert die Dichtigkeit.
- Temperatur: Die Mischtemperatur beeinflusst die Hydratation und die Frischbetoneigenschaften.
- Nachbehandlung: Die Art und der Zeitpunkt der Nachbearbeitung (z.B. Rütteln, Glätten) beeinflussen die Oberflächeneigenschaften.

3. Zusätze und Fasern

- Superplastizier: Die Dosierung und Art des Fließmittels beeinflussen die Verarbeitbarkeit und die Porosität.
- Fasergehalt und -typ: Die Menge und Art der Fasern (z.B. Stahl-, Kunststofffasern) bestimmen die Duktilität und die Zugfestigkeit.

4. Prüfmethoden

- Ausbreitmaß: Misst die Verarbeitbarkeit des Frischbetons.
- Luftporengehalt: Bestimmt die Dichtigkeit und Frostbeständigkeit.
- Druck- und Zugfestigkeit: Definieren die mechanischen Eigenschaften des Festbetons.

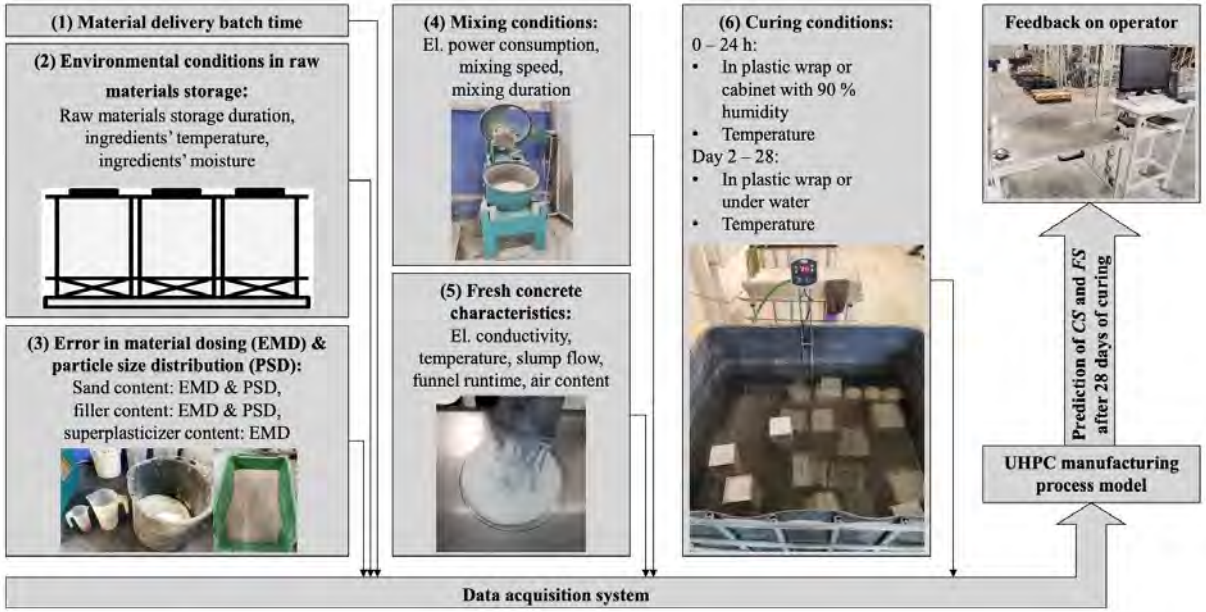
5. Aushärtebedingungen

- Temperatur: Wärmebehandlung kann die Hydratation beschleunigen und die Festigkeit erhöhen.
- Feuchtezufuhr: Verhindert das Austrocknen des Betons während der Aushärtephase.
- Lagerung: Die Lagerungsbedingungen (z.B. Raumluft, Wasserbad) beeinflussen die langfristige Festigkeitsentwicklung.

- …….

Quelle: Farzad Rezazadeh, Amin Abrishambaf, Gregor Zimmermann, and Andreas Kroll, Modeling Pipeline, DE GRUYTER

KI - MACHINE LEARNING
REZEPTUR UND PARAMETER



Group	Factor name	Var.	Unit	Mean	Median	Std	Min	Max
Material quality	Material delivery batch time	*DB*	Class	-	-	-	1	2
	Cement reactivity	*CR*	Class	-	-	-	1	2
	Ingredient moisture	*IM*	%	3.13	3.15	0.16	2.92	3.36
	Ingredient/Water temperature	*IT*	°C	24.20	25	9.05	10	40
	Graphite	*GRP*	kg	0.08	0.09	0.07	0	0.22
Particle size distributions & Measurement errors	Sand I	*SAI*	kg	5.98	6	0.59	5.10	6.90
	Sand II	*SAII*	kg	10.53	10.50	1.04	8.92	12.07
	Filler I	*FLI*	kg	6.00	6	0.59	5.10	6.90
	Filler II	*FLII*	kg	0.75	0.75	0.07	0.63	0.86
	Superplasticizer	*SPP*	kg	0.32	0.32	0.02	0.29	0.35
Mixing conditions	Mixing speed	*MS*	RPM	275.75	200	101.35	200	500
	Mixing duration	*MD*	s	309.09	300	63.63	210	480
	Average power consumption	*APW*	kW	1.04	1.06	0.19	0.36	1.40
Fresh concrete properties	Fresh concrete temperature	*FCT*	°C	26.77	27	3.43	17.6	33.30
	Electrical conductivity	*EC*	V	4.615	4.611	0.029	4.541	4.745
	Air content	*AC*	%	1.62	1.50	0.77	0.40	7
	Slump flow	*SF*	mm	335.91	340	26.35	215	395
	Funnel runtime	*FR*	s	7.53	7	2.82	4	24.10
Curing conditions	Curing temperature day 1	*CT1*	°C	24.60	20	9.72	10	40
	Curing class day 1	*CC1*	Class	-	-	-	1	2
	Curing temperature day 2–28	*CT28*	°C	22.15	20	9.38	10	40
	Curing class day 2–28	*CC28*	Class	-	-	-	1	2

Quelle: Farzad Rezazadeh, Amin Abrishambaf, Gregor Zimmermann, and Andreas Kroll, Modeling Pipeline, DE GRUYTER

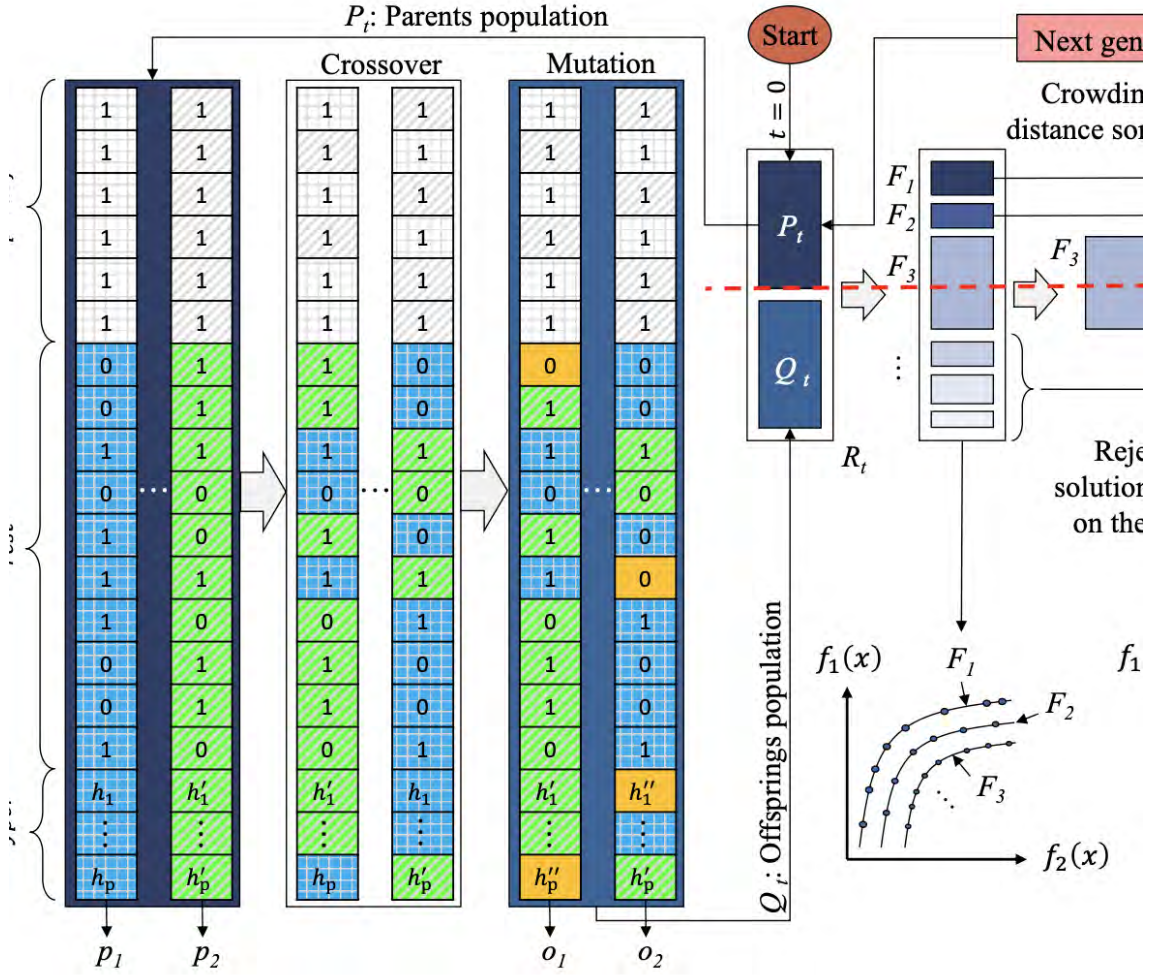
KI - MACHINE LEARNING REZEPTUR UND PARAMETER

Auf Basis der Betonrezeptur und der Parameter, welche die Qualität beeinflussen, sowie auf der Ergebnismatrix von vielen Untersuchungen und Produktionen wurde eine **Beton-DNA** entwickelt.

Diese DNA wird im Maschinellen Lernen (ML) über verschiedene Algorithmen modifiziert, z. B. mittels Crossover und weiterer Mutation. Insgesamt wurden 22 verschiedene Algorithmen geprüft, um die bestmögliche Vorhersage treffen zu können.

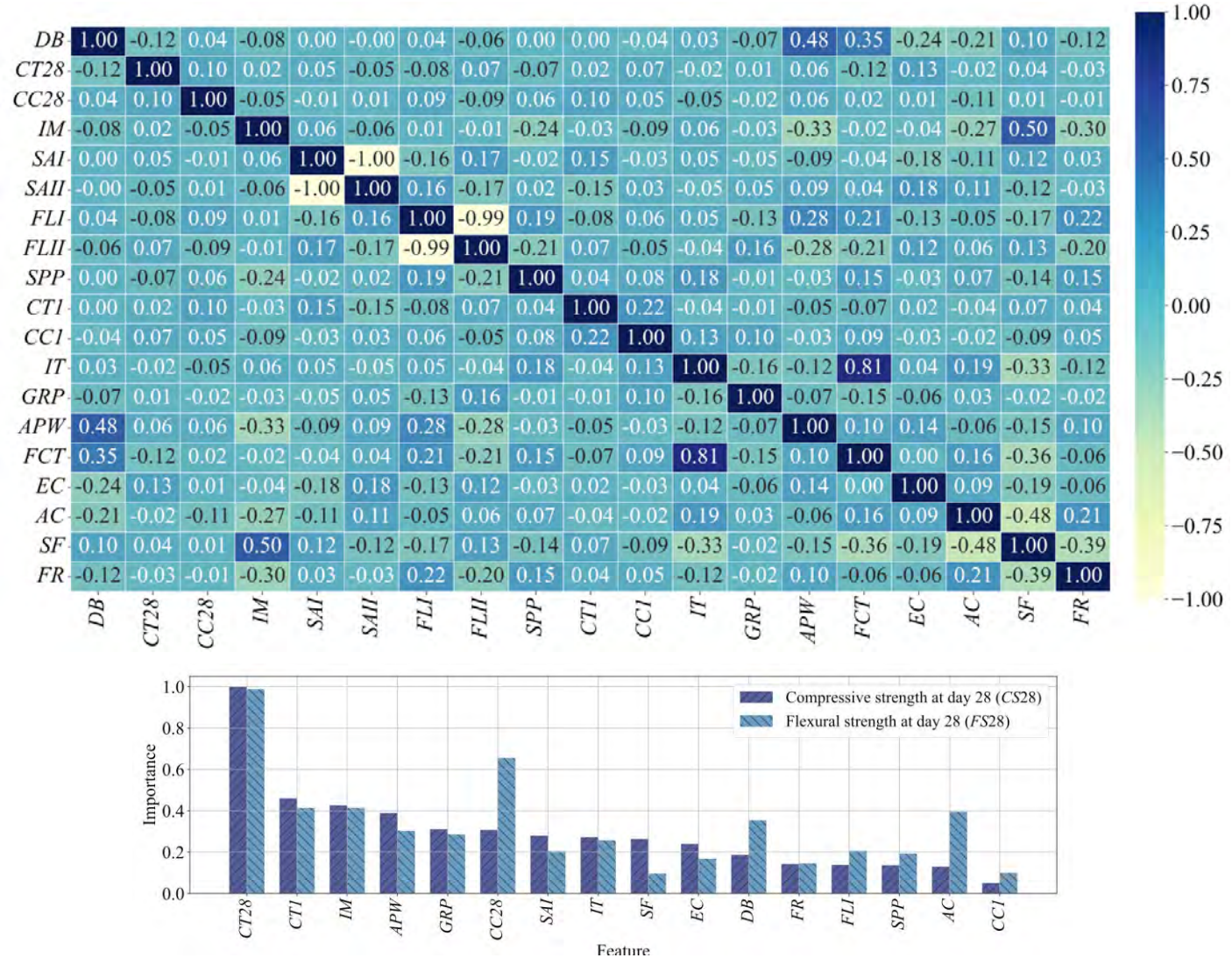
Auf Basis der Ausgangsdaten kann dann eine Vorhersage erfolgen, um die Betonqualität zu gewährleisten oder im Produktionsprozess Parameter anzupassen.

Durch die Kombination von Materialwissen und algorithmischen Verfahren wird die Beton-DNA ständig verfeinert, um bessere Vorhersagen zu ermöglichen.



Quelle: Farzad Rezazadeh, Amin Abrishambaf, Gregor Zimmermann, and Andreas Kroll, Modeling Pipeline, DE GRUYTER

KI - MACHINE LEARNING
REZEPTUR UND PARAMETER



Quelle: Farzad Rezazadeh, Amin Abrishambaf, Gregor Zimmermann, and Andreas Kroll, Modeling Pipeline, DE GRUYTER

Eine Heat-Map ist ein visuelles Werkzeug, mit dem die Beziehungen zwischen verschiedenen Parametern dargestellt werden können. Im Zusammenhang mit UHPC können folgende Parameter analysiert werden:

- Ausbreitmaß (ein Maß für die Verarbeitbarkeit des Frischbetons)
- Verarbeitungszeit
- Wasser-Zement-Wert (w/z)
- Fasergehalt
- Zementleimanteil
- Kornzusammensetzung
- Temperatur
- Mischregime

Konkret:
Ein UHPC, der mit einem suboptimalen Ausbreitmaß oder einer unzureichenden Verarbeitbarkeit hergestellt wurde, kann durch eine längere Wärmebehandlung aufgewertet werden kann. Dies ermöglicht eine Verbesserung der Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Materials.

Vorteil:
Fertigteilwerke haben weniger Ausschuss

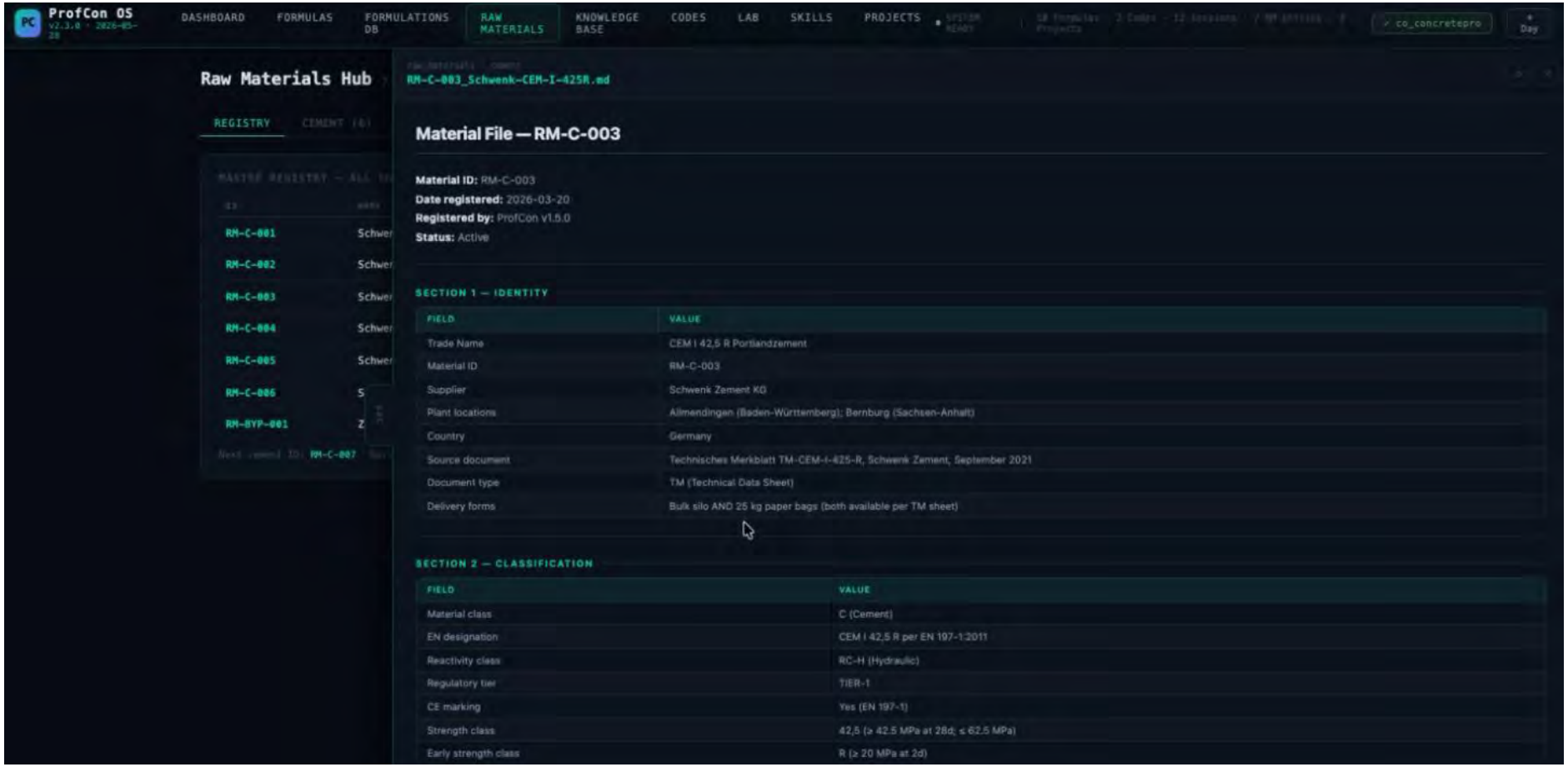
Prozessabweichungen frühzeitig erkennen:
Parameter, die zu einer schlechten Verarbeitbarkeit oder einer unzureichenden Festigkeit führen, können identifiziert und korrigiert werden.

03

KI ANWENDUNG

BETON DNA - OPTIMIERUNG

KI PLATTFORM
ML ONLINE SAAS FÜR ROHSTOFFMANAGEMENT & BETON



AI Plattform:
Implementierung von Rohstoffdaten, Rezepturzusammensetzungen und mechanischen Eigenschaften sowie einer DNA Struktur.

- Optimierung von Rezeptur
- CO2 und Costen
- Rezepturentwicklung
- Optimierung/Lösung während der Produktion

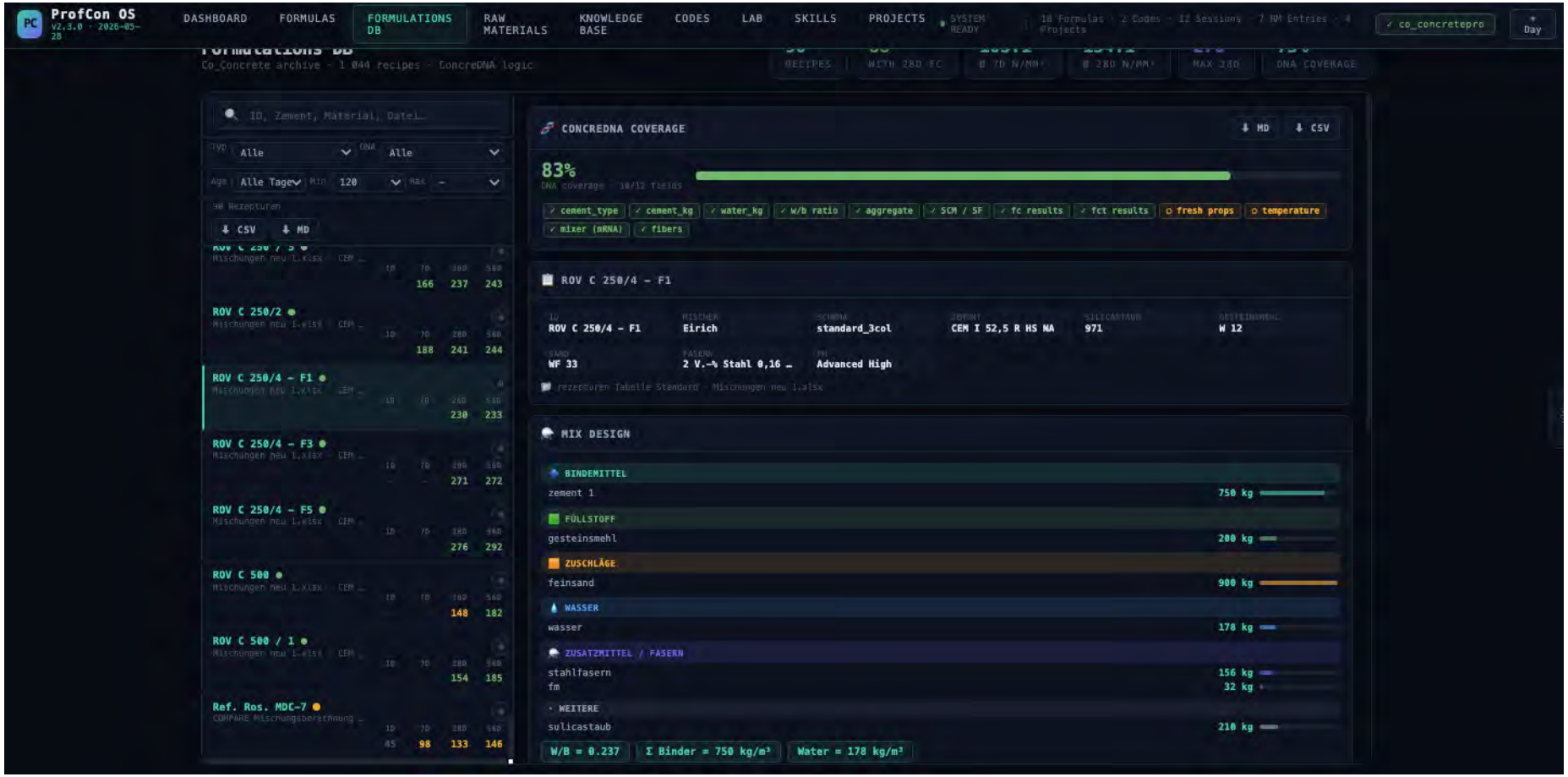
Rezepturentwicklung:

3-10 Sekunden

Vorhersagegenauigkeit:

90 %

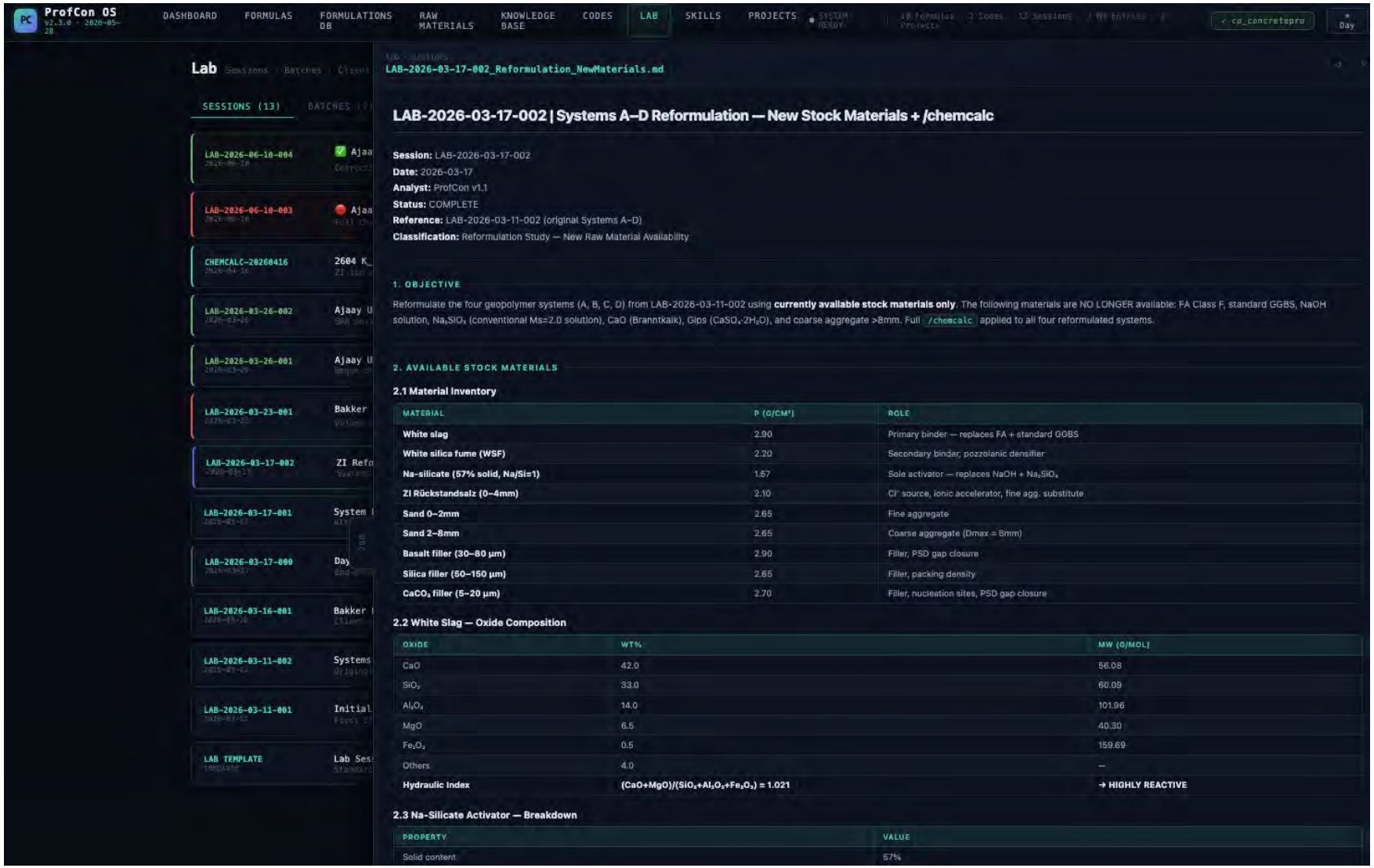
KI PLATTFORM
ML DATEN INTEGRATION IN LLM – KI FAQ SYSTEM



KI basiertes FAQ:
Implementierung von Rohstoffdaten, LM Daten, Rezepturen und selektierte Informationsquellen:

- Schnelles FEEDBACK
- Komplettes Know-How in Sekunden
- Rezepturberatung vor Ort
- Assistent für Projektleiter, Produktionsleiter, Entwickler.

KI PLATTFORM
ML DATEN INTEGRATION IN LLM – KI FAQ SYSTEM



KI basierte Vorhersage:

Schnelles FEEDBACK

- **STARKE Reduktion von Labortests und Laborstunden**
- Vorhersage von Rezepturen
- Vorhersage von Materialverhalten, Verarbeitbarkeit, usw.
- Vorhersage von Nachhaltigkeit, Kosten, usw.
-

03

FLÜSSIGBODEN

MÖGLICHE KI ANWENDUNG

KI PLATTFORM
ZWEI MATERIALIEN – EINE LOGIK

BETONTECHNOLOGIE	
Bindemittel	Zement CEM I–V
Konsistenz	W/Z-Wert · Fließmittel
Rohstoff	Gesteinskörnung · Kies · Sand
Ziel	Maximale Dauerfestigkeit
Qualität	DIN … DIN EN 206 · Güteüberwachung
Datenbasis	Jahrzehnte Laborerfahrung

GLEICHE LOGIK

FLÜSSIGBODEN / ZFSV	
Bindemittel	Zement (gering) + Verflüssiger
Konsistenz	Fließmaß · PCE-Dosierung
Rohstoff	Ausgangsboden · Schluff · Ton
Ziel	Steuerbare Rückverfestigung
Qualität	RAL GZ 507 · Eigenüberwachung
Datenbasis	Noch im Aufbau

KI PLATTFORM
SECHS TRANSFERFELDER

Rezepturoptimierung

Beton: W/Z-Wert, Zusatzstoffe, Körnung

FB: Fließmaß, Verflüssiger, Bodenklasse

DIREKT

Übertragbarkeit 95%

Qualitätssicherung

Beton: Slump-Test, DIN EN 206, Güteüberwachung

FB: Fließmaß, Penetrometer, RAL GZ 507

DIREKT

Übertragbarkeit 90%

Know-how-Management

Beton: Betonlabor-Datenbank, Technologen-Wissen

FB: Mischmeister-Erfahrung, Baustellen-Dossiers

DIREKT

Übertragbarkeit 88%

Nachhaltigkeit

Beton: RC-Beton, CO_2-reduzierte Zemente, LCA

FB: Aushub = Baustoff, kein Deponiebedarf

DIREKT

Übertragbarkeit 85%

Frischmaterialsteuerung

Beton: Konsistenzklassen, Verarbeitbarkeitszeit

FB: "Zeitweise" fließfähig, Topfzeit, Temp.

ADAPTIERBAR

Übertragbarkeit 70%

Dokumentation

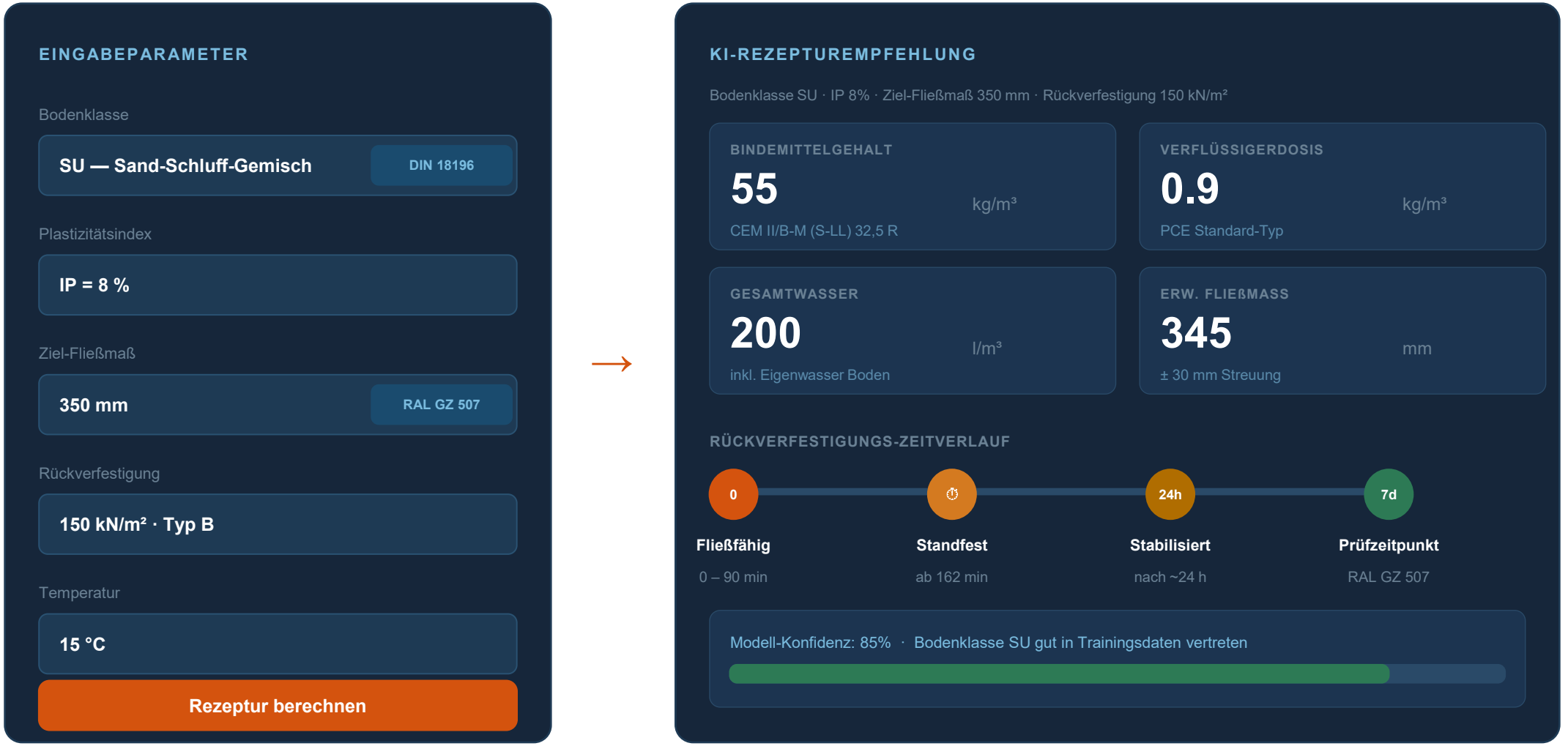
Beton: Lieferschein-Digitalisierung, Prüfprotokolle

FB: RAL-Eigenüberwachungsprotokoll, Audit

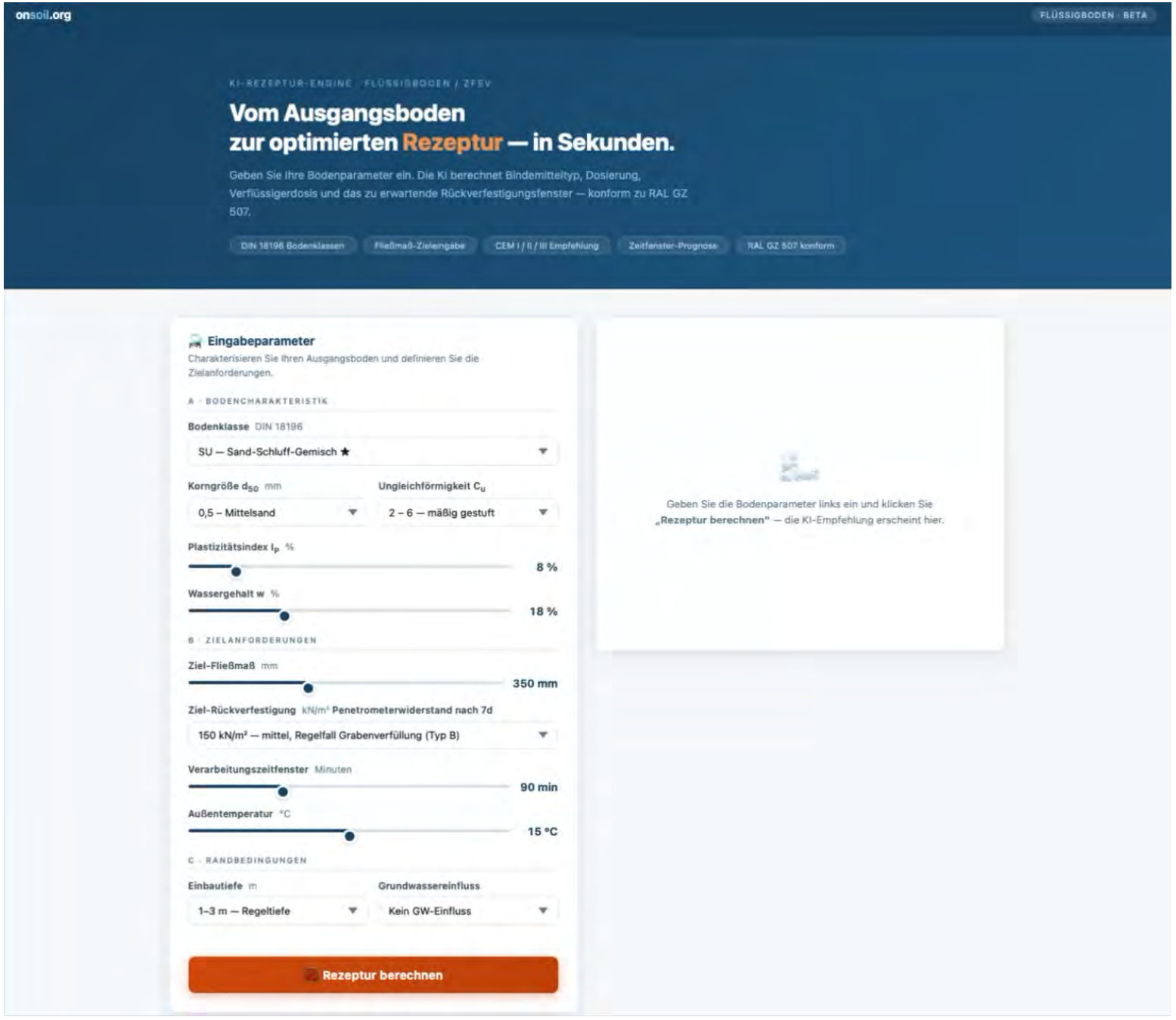
DIREKT

Übertragbarkeit 92%

KI PLATTFORM
DIESELBE ENGINE — ADAPTIERT AUF RAL GZ 507



KI PLATTFORM FLÜSSIGBODEN



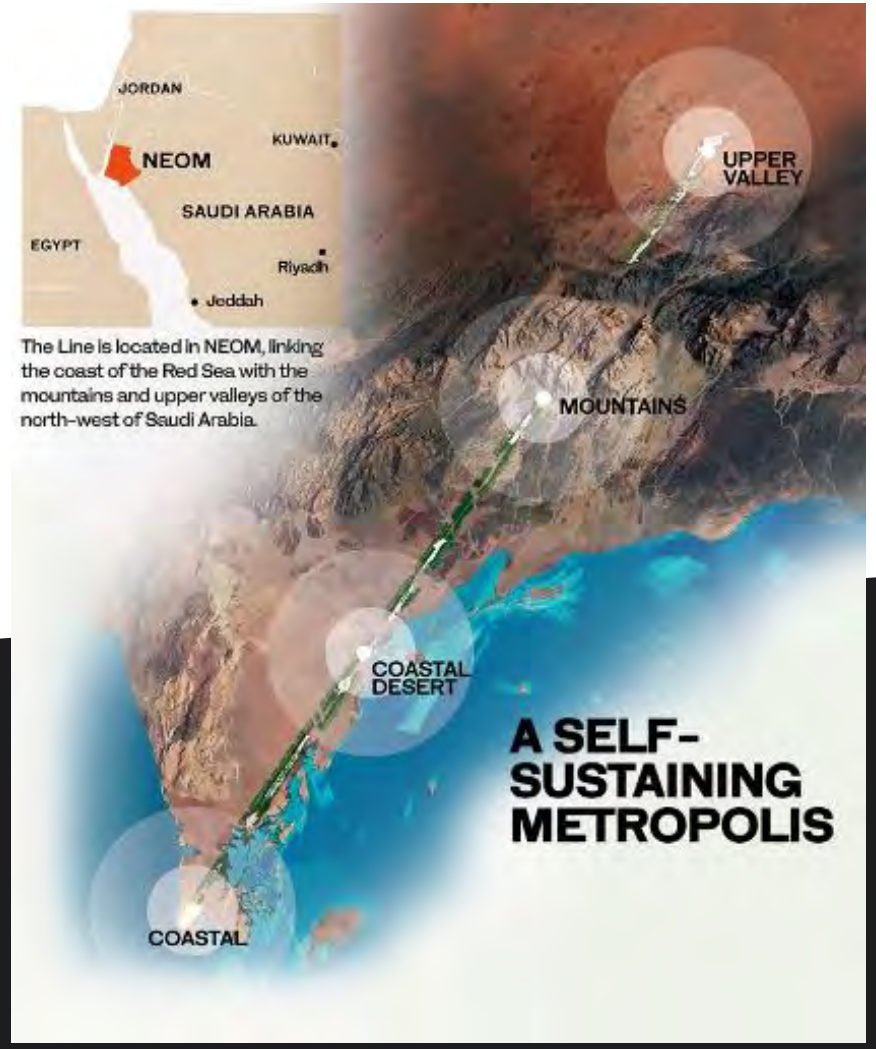
04

NEOM PROJECT

ANWENDUNG:
UHPC PRE-FAB VS. REGULAR CONCRETE

NEOM PROJEKT

UHPC – Tunnel Querschnitte



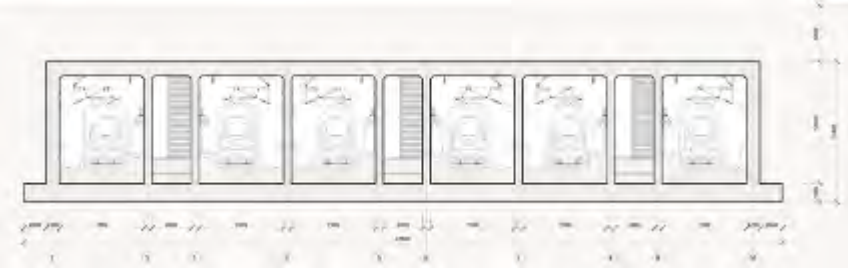
- Accelerate the speed of construction
- Reduce material demands
- Optimize quantities of extracted material & reuse
- Optimize sustainability (LCA)
- Reduce total cost of ownership
- Maximize prefabrication (minimize on-site manual labor)
- Minimize carbon emission and carbon footprint

Quelle: www.neom.com

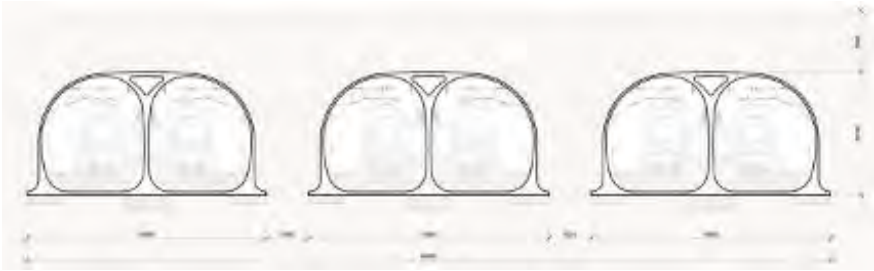
NEOM PROJEKT

UHPC – Tunnel Querschnitte

STANDARD Transport-Beton TUNNEL



UHPC Fertigteil TUNNEL



Standard Beton: C45, Transportbeton

Bewehrung: Stahl

Querschnitt in m2: 262 m2

Benötigtes Volumen in m3: 44.5 Mio m3

Kosten (geschätzt) in Euro: 3-4 fache des UHPC Tunnel

Beton: UHPC C135, Fertigteilwerk

Bewehrung: Stahlfaser / Karbon Spannkabel

Querschnitt in m2: 72 m2

Benötigtes Volumen in m3: 12.2 Mio m3

Kosten (geschätzt) in Euro: 192 Millionen US$ / 2km

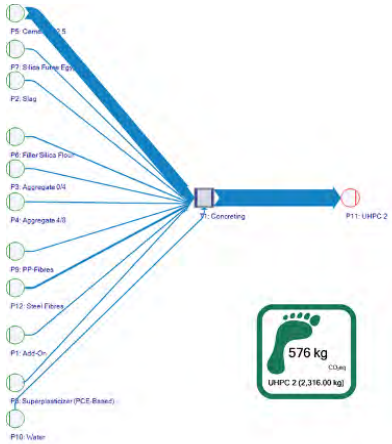
UHPC - VORTEILE

	UHPC 1	UHPC 2	UHPC 3	UHPC 4	UHPC 5
flexural strength [MPa] after 12h (heat treatment 60°C max)	9,62	13,13	8,93	11,46	4,99
7d	14,61	14,74	14,83	15,90	8,11
28d	15,15	18,77	18,60	17,85	8,52
heat treatment 90°C	9,76	13,11	13,09	16,21	8,31
compressive strength [MPa] after 12h (heat treatment 60°C max)	93,65	97,89	87,50	62,30	36,17
7d	102,71	110,20	94,14	83,28	42,50
28d	131,58	136,16	133,35	126,62	51,10
heat treatment 90°C	125,86	131,41	130,21	110,85	56,57

TYP	C45	UHPC 1	UHPC 2	UHPC 3	UHPC 4
Section m2 Tunnel *)	262,00	72,00	72,00	72,00	72,00
Tunnel length m	170.000,00	170.000,00	170.000,00	170.000,00	170.000,00
m3 total	44.540.000,00	12.240.000,00	12.240.000,00	12.240.000,00	12.240.000,00
kg total	108.990.500.000,00	29.347.840.000,00	29.368.680.000,00	29.143.440.000,00	29.159.512.000,00
tot total	108.990.500,00	29.347.840,00	29.368.680,00	29.143.440,00	29.159.512,00
COSTS	5.217.361.000,00 €	2.140.013.937,60 €	2.845.527.537,60 €	3.695.698.353,60 €	3.095.785.095,72 €
Reinf.:					
Steel Reinforcement All.	kg/m3	180,00	0	0	0
Steel Composite	t	0.017.200,00	-	-	-
Costs / t	Euro	1.800,00 €	1.800,00 €	1.800,00 €	1.800,00 €
Total Costs Reinf.	Euro	14.480.960.000,00			
Concrete & Reinf.:	Euro	19.549.521.000,00 €	2.140.013.937,60 €	2.845.527.537,60 €	3.695.698.353,60 €	3.095.785.095,72 €

*) comments

CO2 Berechnung: UHPC 2



Traditioneller Bau:
19.549.521.000 EURO *)

UHPC Fertigteile vor Ort:
2.200.000.000 EURO *)

VORTEILE Projektorientiert:

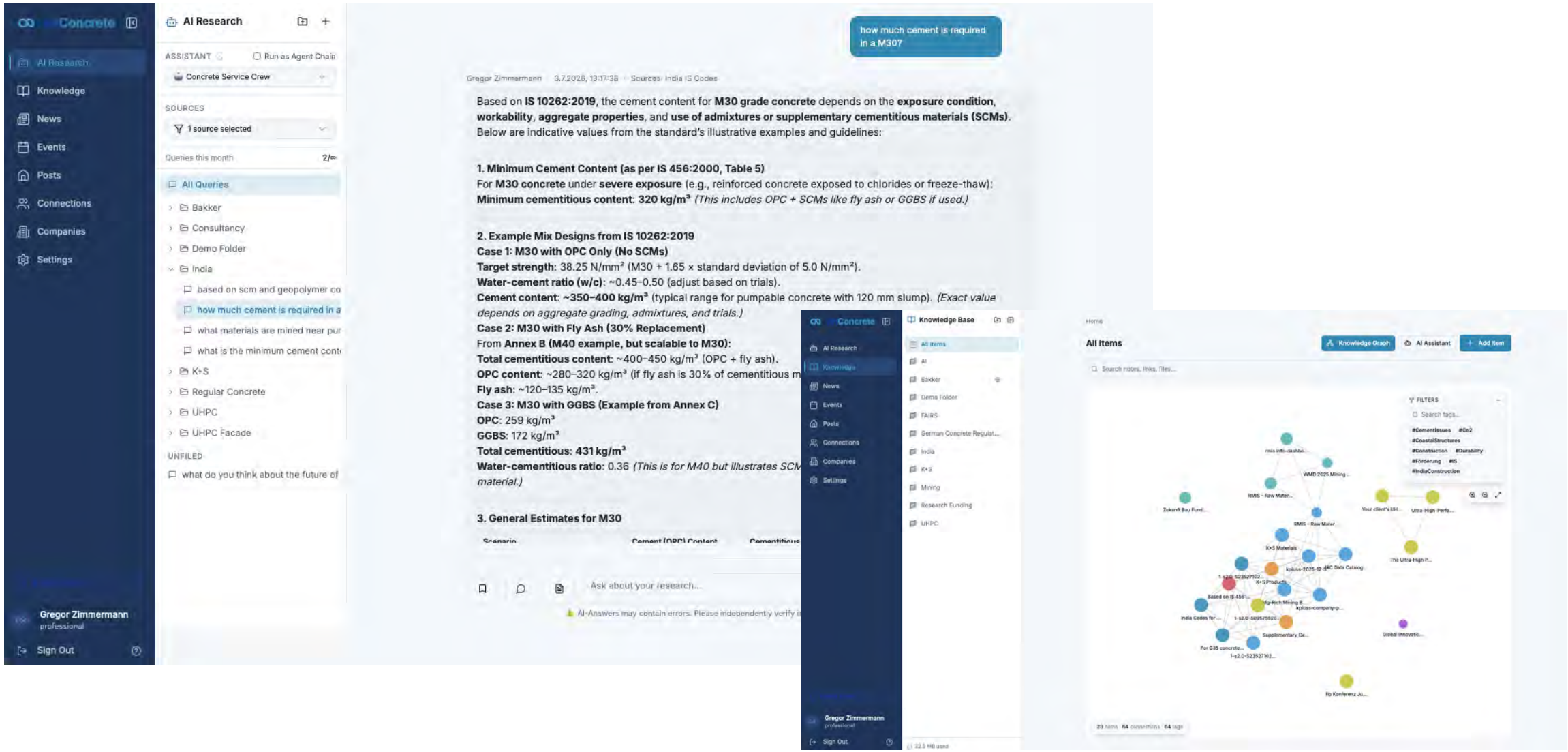
- **Betonkostensenkungen von 60 %.**
- **Volumen- und Rohstoffeinsparungen zwischen 70 % und 80 % sind möglich.**
- **Zementeinsparungen zwischen 50 % und 70 % sind möglich.**
- **CO2 Reduktion von 60% möglich.**
- **Baukostensenkung**
- **Bauzeitreduktion**

*) Nur Rohstoffe, ohne Produktionskosten vor Ort !!!

05

PLATTFORM ONCONCRETE.ORG

KI PLATTFORM ONCONCRETE.ORG



DANKE

www.onconcrete.org
gregor@onconcrete.org

Prof. Dr. Gregor Zimmermann
0171 1796821
gregor.zimmermann@iu.org