

CEMSUISSE
FORSCHUNGSBERICHT NH7
KONZEPTSTUDIE NACHHALTIGER BETONBAU

SCHLUSSBERICHT

Liebefeld, den 22.01.2019
DG01295.100

WMM Ingenieure AG
Florenz-Strasse 1d
4142 Münchenstein
t +41 61 339 90 90
f +41 61 339 90 91
e bl@wmm.ch
www.wmm.ch

CSD INGENIEURE AG
Hessstrasse 27d
CH-3097 Liebefeld
t +41 31 970 35 35
f +41 31 970 35 36
e bern@csd.ch
www.csd.ch

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
ZUSAMMENFASSUNG	1
DANK	2
1. AUSGANGSLAGE	3
2. AUFGABE UND PROJEKTZIELE	3
3. ABGRENZUNG	4
4. METHODIK / VORGEHEN	4
5. GRUNDLAGEN	5
6. IST-ANALYSE	6
6.1 Allgemeine Betrachtung	6
6.2 Zielgruppen	6
6.3 Bestehende Tools	7
6.3.1 KBOB-Betonrechner	
6.3.2 Detaillierte Graue Energie Berechnungen	
6.4 Ökobilanzdaten	7
6.4.1 KBOB	
6.4.2 Environmental Product Declarations – EPD	
6.5 Erkenntnisse aus Projekten	8
7. ZIELDEFINITION	9
8. GRUNDKONZEPT	9
9. KRITERIEN UND INDIKATOREN	10
9.1 Allgemein	10
9.2 Nutzung	11
9.3 Deckenkonstruktionen	11
9.3.1 Wahl der Deckenkonstruktion	
9.3.2 Flachdecke schlaff bewehrt	
9.3.3 Flachdecke vorgespannt	
9.3.4 Flachdecke mit Hohlkörper	
9.3.5 Brettstapeldecke mit Überbeton (Flachdecke Holz-Beton-Verbund)	
9.3.6 Kriterien	
9.4 Betonsorten	14

9.4.1	Wahl der Betonsorten	
9.4.2	Wahl der Gesteinskörnung	
9.4.3	Wahl der Zementarten	
9.4.4	Kriterien	
9.5	Ingenieurtechnische Kriterien	16
9.5.1	Oberflächenqualität	
9.5.2	Einlagen	
9.5.3	Schallschutz	
9.5.4	Speichermasse	
9.5.5	Brandschutz	
9.5.6	Expositionsklasse	
9.5.7	E-Modul	
9.6	Nicht berücksichtigte Aspekte	18
9.6.1	Allokation der Ausgangsstoffe	
9.6.2	Schalungsmaterial	
9.6.3	Ort- oder Lieferbeton	
9.6.4	RC-Beton aus Mischabbruch	
9.6.5	Korngrößen des Zuschlagstoffes	
9.6.6	Betonkonsistenz	
9.6.7	Kosten	
9.6.8	Lebensdauer des Bauteils	
9.6.9	Bauzeit	
9.6.10	Transport	
9.6.11	Rückbau	
10.	ÖKOBILANZMETHODE UND -INDIKATOREN	20
11.	TOOL-KONZEPT	20
11.1	Programmstruktur	20
11.2	Massgebende Einflussgrößen	21
11.3	Entscheidungsweg	22
11.4	Rechenbeispiel	23
11.5	Erkenntnisse aus Beispiel	27
11.6	Weiterentwicklung	28
12.	TOOL-ARCHITEKTUR	29
13.	FAZIT UND WEITERES VORGEHEN	30
13.1	Fazit	30
13.2	Weiteres Vorgehen	30
13.2.1	Modul 1 Vergleichsrechnungen und Bestimmen der Kriterien für alle 4 Flachdeckentypen	
13.2.2	Modul 2 Definieren der Programmgrenzen und Berechnungsmodelle	
13.2.3	Modul 3 Feinkonzept und Toolarchitektur	
13.2.4	Modul 4 Programmierung Tool für die vier Flachdeckenvarianten	
13.2.5	Modul 5 Tool Testphase mit Rückschluss auf Vergleichsrechnungen aus Modul 1	
13.2.6	Modul 6 Markteinführung	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Printscreen KBOB-Betonrechner (http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/551-Betonsortenrechner_Planer.htm)	7
Abbildung 2: Zementlieferungen nach Sorten [cemsuisse, Kennzahlen 2018]	15
Abbildung 3: Visualisierung Tool - Begasoft	29

ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A	Factsheet
Anhang B	Massgebende Grundlagen und Erkenntnisse
Anhang C	Layout Kriterien
Anhang D	Präsentation A. Bärtsch WMM Ingenieure AG vom 28.8.2018
Anhang E	Aufwandschätzung IT für Erstellung Tool

PRÄAMBEL

CSD bestätigt hiermit, dass bei der Abwicklung des Auftrages die Sorgfaltspflicht angewendet wurde, die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf dem derzeitigen und im Bericht dargestellten Kenntnisstand beruhen und diese nach den anerkannten Regeln des Fachgebietes und nach bestem Wissen ermittelt wurden.

CSD geht davon aus, dass

- ihr seitens des Auftraggebers oder von ihm benannter Drittpersonen richtige und vollständige Informationen und Dokumente zur Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt wurden
- von den Arbeitsergebnissen nicht auszugsweise Gebrauch gemacht wird
- die Arbeitsergebnisse nicht unüberprüft für einen nicht vereinbarten Zweck oder für ein anderes Objekt verwendet oder auf geänderte Verhältnisse übertragen werden.

Andernfalls lehnt CSD gegenüber dem Auftraggeber jegliche Haftung für dadurch entstandene Schäden ausdrücklich ab.

Macht ein Dritter von den Arbeitsergebnissen Gebrauch oder trifft er darauf basierende Entscheidungen, wird durch CSD jede Haftung für direkte und indirekte Schäden ausgeschlossen, die aus der Verwendung der Arbeitsergebnisse allenfalls entstehen.

ZUSAMMENFASSUNG

In der heutigen Projektentwicklung genießt das nachhaltige Planen von Tragwerken einen untergeordneten Stellenwert. Die Erfüllung von Kriterien der Nachhaltigkeit wird von den Planern nicht als Chance für ein gutes Tragwerk sondern als Pflicht für die Erfüllung von Nachhaltigkeitslabeln empfunden. Dadurch werden die Fragestellungen zu der Nachhaltigkeit oft erst im Rahmen des Bewilligungsprozesses gestellt, wenn die Werte für die Erfüllung der Kriterien geliefert werden müssen. Dieses Vorgehen wird durch den heute am Markt präsenten KBOB Betonsortenrechner unterstützt. Dieser berücksichtigt lediglich die Materialseite und nicht konstruktive und konzeptionelle Aspekte der Tragwerksplanung.

Aufgrund dieser Ausgangslage hat sich cemsuisse dazu entschieden ein Konzept für ein Berechnungstool zu erarbeiten, welches ein Tragwerk über den gesamten Lebenszyklus (Erstellung bis Entsorgung) betrachtet. Das Berechnungstool soll die Einflüsse der Nachhaltigkeit für ein Bauteil, unter Einbezug der Vorgaben der Nutzer, den Wünschen der Ästhetik sowie den ingenieurtechnischen Anforderungen aus der Tragwerksplanung, der Haustechnik, der Bauphysik und der Nachhaltigkeit berücksichtigen. Ziel ist es, so die interdisziplinäre Zusammenarbeit und das Verständnis für die Nachhaltigkeit bei der Projektentwicklung zu fördern.

Als Zielgruppe werden in erster Priorität die Architekten, Tragwerksplaner und Nachhaltigkeitsspezialisten definiert, welche das Tool in einer frühen Projektphase (Vorstudien, Wettbewerbe, Vorprojekte) benutzen. Das Toolkonzept wird für den Bauteil Decke entwickelt. Es garantiert jedoch durch seine horizontale und vertikale Ausbaubarkeit die Möglichkeit, auch weitere Bauteile und Deckentypen als die gewählte Flachdecke in die Betrachtung mit einzubeziehen. Durch die mehrstufige Eingabemaske wird sichergestellt, dass auch Anwender mit einem unterschiedlichen Wissensstand in den jeweiligen Fachgebieten das Tool gewinnbringend einsetzen können. Spezialisierten Fachplaner und Betontechnologen können die in ihrem Fachbereich vordefinierten Werte übersteuern und so spezialisierte Fälle lösen. Die Ausgabedaten werden in der Eingabemaske dargestellt und bei jeder Änderung der Eingabe angepasst. So werden das Spielen mit den einzelnen Randbedingungen und das umfassende Denken in der konzeptionellen Tragwerksplanung gefördert. Die konstruktiven Kennwerte und die Ökobilanzdaten, welche auf Environmental Product Declarations (EPD)-Datensätzen basieren, werden pro m² Bauteil angegeben und wo erforderlich mit Hinweistexten unterstützt.

Das Konzept sieht einen iterativen Berechnungsgang vor, in welchem in einem ersten Schritt aufgrund der statischen Eingabedaten die Bauteilkennwerte mit phasengerechten Rechenmodellen ermittelt werden. In einem zweiten Schritt werden die erhaltenen Bauteilkennwerten mit den vom Nutzer gewählten Kriterien aus den einzelnen Fachgebieten überprüft und je nach Ergebnis die Bauteilstärken angepasst oder Verbesserungsvorschläge in Bezug auf System- oder Materialwahl für das Bauteil ausgegeben. Werden alle vom Nutzer gewählten Kriterien eingehalten, werden in einem dritten Schritt die Bauteileigenschaften wie Betonvolumen und Bewehrungsgehalt, errechnet und mit den hinterlegten EPD-Datensätzen die Ökobilanzdaten ermittelt.

Aus Sicht der Konzeptverfasser weist das neue Berechnungstool gegenüber den heute auf dem Markt befindlichen Nachhaltigkeitsrechner die folgenden Vorteile auf:

- Das Tool berücksichtigt die zu berechnenden Bauteile umfassend und animiert die Projektentwickler bereits in einer frühen Phase, sich mit den Fragen der Nachhaltigkeit zu befassen.
- Das Tool verhindert, dass die Nachhaltigkeit von Stahlbetontragwerken wie heute mit dem KBOB Betonsortenrechner üblich, nur über den Einsatz von einem „ökologischeren“ Bindemittel erreicht wird, ohne sich über die Auswirkungen bewusst zu sein.
- Das Berechnungstool nachhaltiger Betonbau animiert die Projektentwickler bereits in der Konzeptphase ein nachhaltiges und auf die Gebäudefunktion zugeschnittenes Tragwerk zu entwickeln, welches alle Aspekte der massgebenden Fachbereiche berücksichtigt.

Für die Tool Architektur kann zwischen drei Varianten gewählt werden. Während in der Grundvariante nur die Berechnungen ohne Speichermöglichkeit zur Verfügung stehen, können in den weiterführenden Varianten nebst der Speichermöglichkeit auch noch Zugriffsbeschränkungen über eine Registrierung oder die Speicherung von zusätzlichen Parametern, wie Firmenstrukturen, Nutzungsstatistiken, den Export von Daten oder eine Suchmaschinenoptimierung angeboten werden.

Aus Sicht der Autoren ist das weitere Vorgehen in Modulen aufzubauen und sieht wie folgt aus:

- Modul 1: Vergleichsrechnungen und Bestimmen der Kriterien für alle 4 Flachdeckentypen
- Modul 2: Definieren der Programmgrenzen und Berechnungsmodelle
- Modul 3: Feinkonzept und Toolarchitektur
- Modul 4: Programmierung Tool für die vier Flachdeckenvarianten
- Modul 5: Tool Testphase mit Rückschluss auf Vergleichsrechnungen aus Modul 1
- Modul 6: Markteinführung

Für eine zielgerichtete Programmentwicklung und Markteinführung ist ein interdisziplinäres Team aus den Fachbereichen Nachhaltigkeit, Tragwerksplanung Betonbau, Tragwerksplanung Holzbau, Experte Fachhochschule, Programmierer und Marketingexperten vorgesehen.

Auf der Terminachse ist die Gliederung der Module, sofern es die Zeitverhältnisse zulassen, nacheinander anzuordnen, da die Module aufeinander aufbauen.

Der Entwicklungsprozess kann über alle Module oder in zwei Teilaufträgen mit Modul 1&2 sowie Modul 3-6 oder modulweise ausgelöst werden.

Für die Umsetzung der sechs Module bis zu der Markteinführung gehen wir von einem Gesamtzeitbedarf von 21 Monaten aus.

DANK

CSD Ingenieure und WMM Ingenieure bedanken sich herzlich für die positive Unterstützung sowie die stets offene Kommunikation von Seiten der Projektgruppe cemsuisse. Dank den kritischen Fragestellungen von Seiten der Mitglieder der Projektgruppe sowie der unkomplizierten Hilfestellung bei unklaren Randbedingungen konnte das vorliegende Projekt NH 7 effizient und zielgerichtet umgesetzt werden.

1. Ausgangslage

Eine ganzheitlich korrekte Bewertung eines Stahlbetonbauteils bzw. Bauwerks bedingt die Verknüpfung der Umweltbewertung nach SN EN 15804 mit konkreten ingenieurtechnischen Planungsansätzen im Stahlbetonbau. Bisherige Bewertungsmodelle für einen nachhaltigen Einsatz von Betonen basieren auf ökologischen Material-Kennzahlen, vorwiegend gemäss KBOB-Liste. Kriterien der Tragwerkkonstruktion finden hingegen zum jetzigen Zeitpunkt keine Berücksichtigung. Beispiel hierfür ist der Betonsortenrechner der KBOB/Stadt Zürich, welcher die Umweltwirkung verschiedener Betone anhand ökologischer Kennwerte (UBP, Graue Energie und Treibhauseffekt) evaluieren lässt, bzw. der Bauteilkatalog, der nur energetische und ökologische Informationen von Bauteilen und Materialien für eine Beurteilung aufführt. Solche Bewertungsgrundlagen bewirken, dass aus Nachhaltigkeitsüberlegungen für Hochbauten beispielsweise immer wieder die Zementart oder die Gesteinskörnungsart vorgeschrieben werden, was problematisch sein kann [Kaufmann, tec 21].

Für eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeit von Stahlbetonbauten sind grundsätzlich Kriterien mit direktem Bezug zu konstruktiv-ingenieurtechnischen Vorgaben miteinzubeziehen – nicht zuletzt auch um die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks zu gewährleisten.

2. Aufgabe und Projektziele

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Konzeptes für die umfassende Beurteilung der Nachhaltigkeit von Stahlbetonbauten. Dieses Konzept soll die Grundlage zur Erstellung einer EDV-Planungshilfe im Rahmen eines Folgeprojektes sein.

Das Projekt soll ein übergreifendes und nachvollziehbares Verständnis eines nachhaltigen Betonbaus für Planer fördern. Dafür sind Nachhaltigkeitsaspekte mit konkreten Planungsansätzen zu verknüpfen. Folgende Aspekte sind dabei zu berücksichtigen:

- Einfluss der Tragkonstruktion sowie des Herstellungsprozesses auf Kriterien der Nachhaltigkeit (positiv/negativ).
- Technische Grenzen und Risiken sowie Auswirkungen auf den Planungs- und Bauprozess sowie die Lebensdauer.
- Massnahmen und Optimierungsmöglichkeiten (wie bspw. angepasste Betondruckfestigkeit, Bewehrungsgehalt und -anordnung, mit welchen die Nachhaltigkeit verbessert werden kann).

Die zu betrachtenden Nachhaltigkeitskriterien umfassen grundsätzlich alle drei Bereiche der Nachhaltigkeit: Ökologie, Ökonomie, und Soziales und beziehen sich auf folgende Bereiche wie (Aufzählung nicht abschliessend):

- Nachhaltiges Tragwerkskonzept, z.B:

- Flexibilität
- Rückbaubarkeit
- Tragsicherheit/Gebrauchstauglichkeit
- erhöhte Tragsicherheit, z.B. gegenüber Katastrophenlastfällen
- bauphysikalische Optimierung

- Effizientes Tragwerk

- Querschnittswahl der Bauteile
- Konstruktive Durchbildung/Wahl des statischen Systems

- Baustoffe

- Leistungsbezogene Materialwahl unter Berücksichtigung spezifischer Eigenschaften wie E-Modul, Schwindverhalten, Dauerhaftigkeit (z.B. FT- und Karbonatisierungswiderstand) für den Baustoff Stahlbeton, bestehend aus Beton, Bewehrung und Bewehrungsdeckung
- Betonzusammensetzung (ökologischer Impact der Ausgangsstoffe, regionale Verfügbarkeit, Rezyklierbarkeit)

- Bauausführung/Qualitätssicherung

- Bauprozess (Einbau, Verdichtung)
- Nachbehandlung

3. Abgrenzung

Im vorliegenden Bericht wird das Konzept für das Berechnungstool nachhaltiger Betonbau beschrieben. Der Bericht umfasst die erforderlichen Grundlagen, Kriterien und Indikatoren für die Erarbeitung des Konzeptes. Das Konzept zeigt die massgebenden Punkte für die Entwicklung der erforderlichen Programmstrukturen sowie mögliche Erweiterungsmöglichkeiten auf.

Das Konzept wird für eine Programmanwendung in den SIA-Planungsphasen Vorstudien / Wettbewerb und Vorprojekt entwickelt. Entsprechend der Planungsphase ist der Output aus dem Berechnungsmodul als Richtgrösse für die weiteren Planungsschritte zu verstehen. Es obliegt dem nachfolgenden Entwicklungsteam das Berechnungstool mit den erforderlichen Hinweisen und Grenzwerten auszustatten, um sicherzustellen, dass die massgebenden Grenzwerten der Nachhaltigkeit sowie die Regel der Baukunst mit der Anwendung des Programmes gewährt werden können.

4. Methodik / Vorgehen

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte basierend auf untenstehende Methodik:

Phase 1: Projektdefinition und Vorgehenskonzept

- Grundlagenstudium (letzte cemsuisse-Studien zum Thema, ...)
- Festlegung der Aufgabenstellung und Zielsetzung (z.B. werden Kosten und Bauzeiten einbezogen), Definition Zielpublikum
- Festlegung von Randbedingungen und des Betrachtungsrahmens
- Festlegen der relevanten Systemgrenzen (Bauteiltypen, Tragwerkstypen etc.)
- Startsitze mit cemsuisse
- Vorgehen, Organisation, Termine

Phase 2: Bestimmung und Beschreibung der Tragwerkskonzepte

- Grundlagenstudium und Erstellen einer Übersicht von gängigen Tragwerkskonzepten
- Überprüfung der Systemgrenzen für die Tragwerkskonzepte, inkl. Baustoffe und Bauausführung mit Fachexperte (z.B. Tragsicherheit/Gebrauchstauglichkeit, Querschnittwahl der Bauteile etc.)
- Festlegen der funktionalen Anforderungen (Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit)
- Festlegen der gängigen Tragwerkskonzepte aufgrund der Betrachtungsparameter. Annahme: 3-5 Tragwerkskonzepte
- Beschreibung von Konstruktion und Aufbau für jedes der zu berücksichtigenden Systeme
- Auswahl der zu berücksichtigenden Systeme mit Begründung

Phase 3: Bestimmung und Beurteilung der Nachhaltigkeitskriterien

- Erarbeitung einer Methode zur Beurteilung der gewählten Tragwerkskonzepte.
- Grundlagenstudium und Erarbeiten eines Kriterienkataloges mit relevanten Kriterien in den drei Bereichen Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt (Total max. 9 Kriterien).
- Gesamtbeurteilung der alternativen Konstruktionen anhand der Beurteilungskriterien
- Plausibilisierung und Evaluation der Ergebnisse
- Erarbeitung einer übersichtlichen und verständlichen Darstellung der Ergebnisse
- Interpretation: Stärken-/Schwächen-Profil der betrachteten Systeme und Formulierung von sinnvollen Optimierungsmöglichkeiten
- Sitzung Stand Projekt mit Begleitgruppe cemsuisse

Phase 4: Definition der Randbedingungen für die Erstellung eines Tools

- Organisation und Durchführung eines Workshops mit Software-Spezialisten zur Definition der wichtigen Randbedingungen und Anforderungen an die Beurteilungsmethode, um Erstellung eines Tools im Folgeprojekt vorzubereiten

Phase 5: Projektabschluss und Dokumentation

- Erstellen eines Schlussberichtes mit den relevanten Erkenntnissen und Empfehlungen
- Abschlusssitzung mit cemsuisse

5. Grundlagen

Das Bemessungstool baut im Wesentlichen auf den bereits bestehenden Forschungsberichten NH 2, NH 3 und NH 6 auf, welche im Rahmen früherer Forschungsreihen durch cemsuisse erarbeitet wurden. Für die Grundlagenermittlung wurden noch weitere Berichte aus der cemsuisse Forschungsreihe eingesetzt. Die ausführliche Auflistung aller Berichte und die für die Ausarbeitung wesentlichen Erkenntnisse aus den Berichten sind im Anhang B in der Tabelle „Massgebende Grundlagen Entwicklung EDV-Tool nachhaltiger Betonbau“ kompakt zusammengefasst.

6. IST-Analyse

6.1 Allgemeine Betrachtung

Für die Bewertung von Stahlbetonkonstruktionen in Bezug auf die Nachhaltigkeit liegen in der Schweiz unterschiedliche Bewertungsmodelle vor. Alle Berechnungsmodelle stützen sich auf die Beurteilung der Materialseite und hier hauptsächlich auf dem Zement ab. Mit dieser Sichtweise verleiten die Berechnungsmodelle die Anwender, die Nachhaltigkeit mit der Wahl von nachhaltigen Zuschlagsstoffen und Bindemitteln zu verbessern. Mehrheitlich weisen diese nachhaltigen Zuschlagsstoffe und Bindemittel jedoch signifikante Nachteile auf, was mit einem Mehreinsatz von Masse wieder korrigiert werden muss. So haben rezyklierte Zuschlagsstoffe einen massgebenden Einfluss auf die Verschlechterung des E Moduls der Stahlbetonkonstruktion. Zemente mit Hochofenschlacke binden nachweislich viel langsamer ab und haben einen schlechteren Widerstand gegen die Karbonatisierung.

Durch die Reduktion der Nachhaltigkeitsaspekte auf die reine Materialbasis wird auch die Bindung von CO² aus der Atmosphäre durch die Karbonatisierung während der Nutzungsdauer und dem Abbruch des Bauteils nicht in die Betrachtung mit einbezogen. Dadurch wird ein Stahlbetonbauteil gegenüber einem Bauteil aus Holz oder Stahl schlechter beurteilt.

In der Schweiz werden zurzeit die Normen, auf welche sich Nachhaltigkeitsbetrachtungen beziehen, überarbeitet. So herrscht aktuell noch keine Klarheit darüber, welche Ökobilanzmethode sich in Zukunft durchsetzen wird. Gemäss der SIA-Empfehlung 493 Deklaration ökologischer Merkmale von Bauprodukten sind heute die KBOB-Datensätze anzuwenden. Der Nachteil der KBOB-Datensätze ist jedoch, dass diese nicht mit den in der Europäischen Union entwickelten EPD (Environmental Product Declaration) korrespondieren, wodurch eine direkte Vergleichbarkeit mit dem Europäischen Markt nicht gegeben ist. Die heute gängigen Berechnungsmodelle betrachten lediglich die Aspekte der Umwelt, also die erste Säule des Drei-Säulenprinzips Umwelt / Wirtschaft und Gesellschaft.

6.2 Zielgruppen

Während die Betrachtung der Nachhaltigkeit noch vor wenigen Jahren nur von Nachhaltigkeitsspezialisten betrieben wurde, sind heute praktisch alle Fachbereiche in einem Planerteam darin involviert.

Die Politik und die Bewilligungsbehörden fordern insbesondere bei Sondernutzungsplänen, und die grossen Immobilienbesitzer im Rahmen von Ausschreibungs- und Wettbewerbsverfahren, vermehrt die Einhaltung von spezifischen Grenz- bzw. Zielwerten (Primärenergie und Treibhausgasemissionen) für die Erstellung von Labels wie 2000-Watt, Minergie-ECO oder SNBS ein.

Daher erachten wir als Hauptzielgruppe für die Nutzung des EDV-Tools nachhaltiger Stahlbetonbau die Architekten, die Tragwerksplaner und die Nachhaltigkeitsexperten.

Als zweitwichtigste Zielgruppe betrachten wir die Spezialisten auf Seiten der Betonherstellung sowie den Bildungsbereich.

Das Tool ist so aufgebaut, dass die Nutzer das Tool ohne detailliertes Spezialistenwissen anwenden können, ohne jedoch durch Fehlmanipulationen nicht korrekte Ergebnisse erhalten.

Die vorliegende Studie richtet sich an cemsuisse. Eine Veröffentlichung des vorliegenden Berichts steht nicht im Vordergrund.

6.3 Bestehende Tools

6.3.1 KBOB-Betonrechner

Mit dem KBOB-Betonsortenrechner können die Ökobilanz unterschiedlicher Betontypen berechnet werden. Die Umweltbeurteilung erfolgt aber unabhängig der technischen Eigenschaften und berücksichtigt mögliche Anpassungen des Bauteils (z.B. Bauteildicke oder Armierungsgehalt) aufgrund der Wahl eines anderen Beton nicht. Dieser Punkte wird von cemsuisse stark kritisiert.

The screenshot shows the 'Betonsortenrechner für Planer' interface with three variants. Each variant includes a table for 'Zusammensetzung Betonsorte' and a table for 'Umweltindikator'.

Zusammensetzung Betonsorte	
Zementtyp	CEM I
Zusammensetzung Zuschlagstoffe	100.00%
Natürliche Gesteinskörnung	100%
Betongranulat	0%
Mischgranulat	0%

Umweltindikator	
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	2240 kg/m³
Rohdichte	2240 kg/m³
Herstellung	345 kWh Öl-eq/m³
Zement	235 kWh Öl-eq/m³
Gesteinskörnung	27 kWh Öl-eq/m³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	55 kWh Öl-eq/m³
Entsorgung	120 kWh Öl-eq/m³
Total	457 kWh Öl-eq/m³

Zusammensetzung Betonsorte	
Zementtyp	CEM II/B-L
Zusammensetzung Zuschlagstoffe	100.00%
Natürliche Gesteinskörnung	100%
Betongranulat	0%
Mischgranulat	0%

Umweltindikator	
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	2270 kg/m³
Rohdichte	2270 kg/m³
Herstellung	358 kWh Öl-eq/m³
Zement	225 kWh Öl-eq/m³
Gesteinskörnung	27 kWh Öl-eq/m³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	55 kWh Öl-eq/m³
Entsorgung	121 kWh Öl-eq/m³
Total	429 kWh Öl-eq/m³

Zusammensetzung Betonsorte	
Zementtyp	CEM II/B-L
Zusammensetzung Zuschlagstoffe	100.00%
Natürliche Gesteinskörnung	50%
Betongranulat	50%
Mischgranulat	0%

Umweltindikator	
Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie)	2220 kg/m³
Rohdichte	2220 kg/m³
Herstellung	302 kWh Öl-eq/m³
Zement	225 kWh Öl-eq/m³
Gesteinskörnung	22 kWh Öl-eq/m³
Übriges (Energie, Wasser, Zusatzmittel)	55 kWh Öl-eq/m³
Entsorgung	119 kWh Öl-eq/m³
Total	421 kWh Öl-eq/m³

Abbildung 1: Printscreen KBOB-Betonrechner (http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/551-Betonsortenrechner_Planer.htm)

6.3.2 Detaillierte Graue Energie Berechnungen

Für Projekte, die nach Labels wie Minergie-ECO, SNBS oder weitere konzipiert werden, werden systematisch detaillierte Graue Energie Berechnungen erstellt. Diese Berechnungen werden in der Regel später im Planungsprozess erstellt, da sie auf die Berechnung des Heizwärmebedarfs aufbauen. Die Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB bilden die Datengrundlage. Diese werden mittels akkreditierter Software erstellt.

6.4 Ökobilanzdaten

Zurzeit herrscht noch eine Diskrepanz zwischen den Methoden zur Beurteilung der Umweltindikatoren in der Schweiz und in der EU. Die Grundlagedaten zur Berechnung der Umweltwirkungen von Bauobjekten werden nachfolgend kurz beschrieben.

6.4.1 KBOB

Die Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB basieren auf die Methodik von ecoinvent und bilden die Basis für die Berechnungen nach SIA 2032 Graue Energie (2010), SIA 2039 Siedlungsinduzierte Mobilität (2011), SIA 2040 SIA-Effizienzpfad Energie (2011), für den MINERGIE-ECO Nachweis und für die Bilanzierung gemäss der 2000-Watt-Gesellschaft.

Die Ökobilanzdaten im Baubereich geben Werte für die Indikatoren Umweltbelastungspunkte (UBP), Primärenergie erneuerbar und nicht erneuerbar (Graue Energie) und Treibhausgasemissionen. Neben den Totalwerten sind auch Werte für die Herstellung und die Entsorgung in der Datenbank zu finden.

Die aktuellste Version ist von 2016.

6.4.2 Environmental Product Declarations – EPD

Die Umweltproduktdeklarationen (EPD) beschreiben die Eigenschaften und die Umweltwirkungen von Baustoffen, Bauprodukten oder – Komponenten. Die ISO-Normen 14025 und 15804 regeln die Erstellung von EPD.

Die EPD liefern Informationen über eine Vielfalt von Umweltindikatoren wie Energie- und Ressourceneinsatz, Abfallaufkommen und Aussagen darüber, in welchem Ausmaß ein Produkt beispielsweise zu Treibhauseffekt, Versauerung, Überdüngung, Zerstörung der Ozonschicht und Smogbildung beiträgt.

Der modulare Aufbau gemäss Norm ISO 15804 ermöglicht die Lieferung von Werten für die unterschiedlichen Lebensphasen eines Produktes. Die EPD haben eine Gültigkeit von 5 Jahren.

Die Umweltproduktdeklarationen können unterschiedliche Datenbanken als Grundlage verwenden. Aus diesem Grund können sich die Ergebnisse eines Produktes je nach Datengrundlage signifikant unterscheiden.

6.5 Erkenntnisse aus Projekten

In der heutigen Projektentwicklung genießt das nachhaltige Bauen noch einen untergeordneten Stellenwert. Es gibt erst ganz wenige Architekturbüros, welche bereits im Entwurf der Nachhaltigkeit Beachtung schenken. In der Regel entwickelt der Architekt das Projekt immer noch massgeblich nach den ästhetischen und organisatorischen Randbedingungen.

In der Planungsbranche ist heute die Meinung weit verbreitet, dass nachhaltiges Bauen mit der Wahl einer Holzfassade, einer Holzverbundkonstruktion, dem Einsatz von Hohlkörperelementen oder dem Einsatz von RC-Beton genüge getan ist. Überlegungen zu der Nachhaltigkeit werden in der konzeptionellen Projektierungsphase selten durchgeführt.

So kommt es, dass in der heutigen Projektarbeit in der Regel frühestens im Rahmen des Bewilligungsverfahrens die Nachhaltigkeitskennzahlen durch einen Experten ermittelt und bewertet werden. Zu diesem Zeitpunkt ist es jedoch meistens schon zu spät, um noch massgebende Änderungen in der Konzeption oder der Konstruktion des Gebäudes vorzunehmen. Somit reduziert sich der Handlungsspielraum der Nachhaltigkeitsspezialisten auf die Optimierung von Materialspezifikationen, Dämmstärken oder der Wahl der Energieeffizienz der einzubauenden Geräte. Hebelwirksame Ansätze wie zum Beispiel das Hinterfragen von Deckenspannweiten in Bezug auf die Bauteilstärke werden in dieser Phase nicht mehr gemacht. Dieser Umstand ist aus Sicht der Berichtverfasser massgeblich der kleinen Schnittmenge der gemeinsamen Interessen der involvierten Planer geschuldet.

In Zukunft müssen daher Anreize geschaffen werden, damit das Thema der Nachhaltigkeit früher in die Projektarbeit miteinbezogen wird. Die Planer sind dazu anzuregen, bereits in der Konzeptphase in interdisziplinären Teams massgebende Inputs zur Verbesserung der Nachhaltigkeit einzubringen.

7. Zieldefinition

Für die vorliegende Studie wurden im Rahmen von zwei Workshops mit den Vertretern vom cemsuisse die folgenden Ziele definiert:

- Das Produkt soll die Planer in einer frühen Projektphase bei der Projektentwicklung unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit unterstützen.
- Das Produkt soll die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Planer in Bezug auf die Nachhaltigkeit vereinfachen.
- Das Produkt soll einzelne Entscheide in Bezug auf die Nachhaltigkeit am Bauteil aufzeigen.
- Das Produkt soll modular aufgebaut und ausbaubar sein, sodass in Zukunft zusätzliche Bauteile oder Gebäude beurteilt werden können.
- Das Produkt soll auf der Basis der Europäisch anerkannten EPD-Sätzen aufgebaut werden.
- Das Produkt hat alle wesentlichen Indikatoren für ein Bauteil zu berücksichtigen.
- Die Bindung von CO² im Lebenszyklus ist in das Produkt einzubauen.
- Die Ausgabedaten sollen im Sinne einer Sensitivitätsanalyse die massgebenden Parameter für die Resultatbildung aufzeigen.

8. Grundkonzept

Der Baustoff Beton wird im Wesentlichen für die Konstruktion von Tragwerken im Ingenieurhoch- und tiefbau eingesetzt. Während der Einsatz von Beton im Bereich von erdberührten Bauteilen und Konstruktionen im ingenieurtechnischen Tiefbau unbestritten ist, werden im Hochbau vermehrt Nachhaltigkeitsaspekte für die Beurteilung von Tragwerken verlangt, um die Wahl der Tragwerke zu rechtfertigen. Hier steht der Baustoff Beton für die Entwicklung von Tragkonstruktionen in Konkurrenz mit Stahl und Holz. Aufgrund dieser Ausgangslage haben wir folgendes Grundkonzept erarbeitet.

1. Zielpublikum: Als Hauptzielgruppe werden Architekten, Tragwerksplaner und Nachhaltigkeitsexperten angesprochen. Somit muss das Tool so aufgebaut sein, dass diese Berufsgruppen das Tool ohne zusätzliche Vorkenntnisse der anderen Fachbereiche bedienen können.
2. Einsatzzeitpunkt: Die Entwicklung des Tragwerks für einen Hochbau wird in einer frühen Projektphase getroffen. Daher wird das Tool für die Projektphasen Vorstudien, Wettbewerb und Vorprojekt ausgelegt. Das Tool wird somit mit einfachen Berechnungstools und konstruktiven Grundsätzen hinterlegt.
3. Ausbaubarkeit: Das Grundprogramm besitzt eine vertikale und horizontale Ausbaubarkeit. Die vertikale Ausbaubarkeit ist dadurch definiert, dass das Programm nach dem Ausschlussverfahren aufgebaut ist und jede Randbedingung einzeln nacheinander prüft und bei einem Nichterreichen der gesetzten Parameter die Berechnungsschleife von neuem durchführt. Somit können dem Programm in vertikaler Richtung beliebig viele Entscheidungsparameter angehängt werden. Durch die klar abgegrenzte vertikale Ausbaubarkeit pro Bauteil kann das Programm horizontal beliebig mit weiteren Bauteilen ergänzt und sofern erwünscht zu einem späteren Zeitpunkt in der Ausgabemaske verknüpft werden.

4. Eingabestufen: Durch die Wahl von 4 Bearbeitungsstufen in der Eingabemaske wird den unterschiedlichen Wissensständen der Anwender in den unterschiedlichen Fachgebieten Rechnung getragen. Die einzelnen Stufen sind wie folgt gegliedert:
Stufe 1: Keine Vorkenntnisse erforderlich
Stufe 2: Begrenztes Fachwissen vorhanden
Stufe 3: Fundiertes Fachwissen vorhanden
Stufe 4: Experten-Fachwissen über den gesamten Prozess vorhanden
5. Eingabemaske: Die Eingabemaske wird blockweise pro Hauptkriterium aufgebaut. Sichtbar ist im Grundmodus bei allen Kriterien die Bearbeitungsstufe 1. Durch das Anwählen der Unterkriterien kann, sofern vorhanden, die nächste Eingabestufe angewählt werden.
6. Ausgabedaten: Die Ausgabedaten werden in der Eingabemaske dargestellt. Die Daten werden umgehend nach einer Veränderung der Eingabedaten angepasst. Die Darstellung der Eingabe-/Ausgabemaske kann pro Berechnungsgang gespeichert werden. Die Anzeige der Ausgabedaten gliedert sich in Bauteileigenschaften, Nachhaltigkeitskennwerte, sowie Hinweisen zu den gewählten Parametern. Die absoluten Daten werden in Referenzgrösse pro m² Bauteil angegeben.
7. Ökobilanzdaten: Diese basieren auf den EPD-Datensätzen. Somit ist eine Vergleichbarkeit mit Europäischen Kennwerten gegeben.
8. Kriterien: Für ein Bauteil werden die wesentlichen Kriterien (Einflussfaktoren) definiert. Den Kriterien werden wo immer möglich Randbedingungen zugeordnet, über welche die Entscheidungen getroffen werden. Wo dies nicht möglich ist, werden phasengerechte Berechnungen durchgeführt.
9. Indikatoren: Die Indikatoren werden auf der Basis von konstruktiven Grundsätzen gewählt. Diese werden wo möglich Normen oder anerkannten Lehrmitteln entnommen.
10. Bauteilwahl: Die Bauteilwahl soll durch den Nutzer einzeln erfolgen können. Er kann somit selbst entscheiden, ob er das gesamte Gebäude mit allen massgebenden Parametern (Tragstruktur, Fassade, Haustechnik) erfassen oder nur einzelne Bauteile betrachtet haben möchte.

9. Kriterien und Indikatoren

9.1 Allgemein

Die Bestimmung der Beurteilungsparameter und Kriterien basiert auf Ingenieurtechnischen sowie Nachhaltigkeitsaspekten. Die drei Bereiche der Nachhaltigkeit (Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelt) wurden dabei berücksichtigt.

9.2 Nutzung

Die Wahl für die drei Nutzungsarten wurde getroffen, weil diese drei Arten den meisten Nutzungen im heutigen Bauumfeld entsprechen.

Bei der Wahl der Nutzung werden in der ersten Eingabestufe drei Hauptkriterien unterschieden. Es sind dies Wohnen, Büro / Schule und Gewerbe. In der ersten Eingabestufe sind die Werte der Nutz- und Auflasten gemäss den Normen und Erfahrungswerten vordefiniert.

In der zweiten Eingabestufe können bei jedem der drei Hauptkriterien die zwei Unterkriterien Nutzlast und Auflast angewählt und frei bestimmt werden. Die jeweiligen Eigengewichte der Konstruktion werden durch das Programm ermittelt.

In der dritten Eingabestufe kann zusätzlich noch die Nutzungsdauer gemäss SIA 260 (2013) mit 50 oder 100 Jahren gewählt werden. Vordefiniert wird in der ersten und zweiten Eingabestufe eine Nutzungsdauer von 50 Jahren.

9.3 Deckenkonstruktionen

9.3.1 Wahl der Deckenkonstruktion

Bei Tragwerken mit Spannweiten bis 10.0 m kommen mit den heute vorhandenen technischen Hilfsmitteln in der Planung und Ausführung Flachdecken in Ortbeton zum Einsatz. Die bewehrte Betonflachdecke hat gegenüber der Unterzugsdecke bei Spannweiten bis 10 m die folgenden Vorteile:

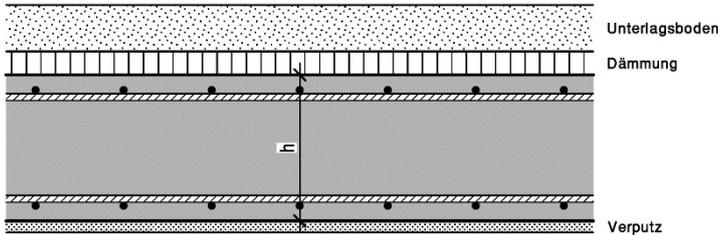
- Die Haustechnik kann frei geführt werden.
- Mit den heutigen Schalsystemen können die Decken rationell ausgeführt werden.
- Mit den technischen Hilfsmitteln wie Vorspannung, Durchstanzsystemen und Hohlkörpern können auch Spannweiten über 8.5 m mit rationellen Deckenstärken erstellt werden.
- Die statische Höhe der Flachdecke ist gegenüber der Unterzugsdecke für die heute gewünschte Architektur vorteilhafter.

Aus den vorgenannten Gründen ist es naheliegend, dass für die Entwicklung des Konzeptes und demzufolge auch für die erste Programmversion der Deckentyp Flachdecke als Bauteil ausgewählt wird. Die Lagerungsbedingungen der Flachdecken können, sofern statisch möglich, zwischen punktgestützt und linienförmig gelagert gewählt werden.

Das Programm kann natürlich ohne Probleme in einer nächsten Stufe auf Unterzugsdecken bestehend aus Beton oder im Verbund mit Stahl oder Holz ausgebaut werden.

9.3.2 Flachdecke schlaff bewehrt

Die schlaff bewehrte Ortbetondecke ist heute der gängige Deckentyp für wirtschaftliche Deckenspanweiten bis 9.0 m.



Die Kennwerte der Ortbetonflachdecke sind in der folgenden Auflistung aufgeführt:

Deckenstärke :	minimale Deckenstärke	$h = 20 \text{ cm}$
	wirtschaftliche Deckenstärke	$h = 24 - 28 \text{ cm}$
	maximale Deckenstärke Wohnungsbau	$h = \text{bis } 35 \text{ cm}$

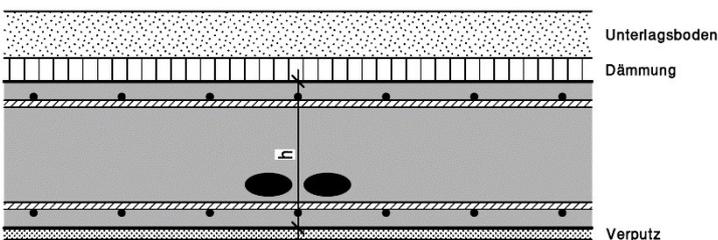
Lagerung: Punktlagerung
Linienlagerung

Vorteile: Rationelles Schalen und Bewehren
Einbau von Haustechnikleitungen in die Konstruktion möglich
Ebene Oberflächen oben und unten
Guter Wärmespeicher

Nachteile: Höherer Betonverbrauch in Bezug auf Hohlkörper- und Holzverbunddecke
Höheres Eigengewicht in Bezug auf Hohlkörper- und Holzverbunddecke
Durchstanzen

9.3.3 Flachdecke vorgespannt

Die vorgespannte Ortbetondecke wird heute bei Deckenspanweiten von 8.0 m bis 12.0 m eingesetzt. Gefragt ist dieser Deckentyp vor allem in Bauten, wo eine im Gurtstreifen konzentrierte angeordnete Bewehrung von Vorteil ist und wo explizit schlanke Bauteile gewünscht werden.



Die Kennwerte der vorgespannten Ortbetonflachdecke sind in der folgenden Auflistung aufgeführt:

Deckenstärke :	minimale Deckenstärke	$h = 26 \text{ cm}$
	wirtschaftliche Deckenstärke	$h = 26 - 30 \text{ cm}$
	maximale Deckenstärke Wohnungsbau	$h = 35 - 40 \text{ cm}$

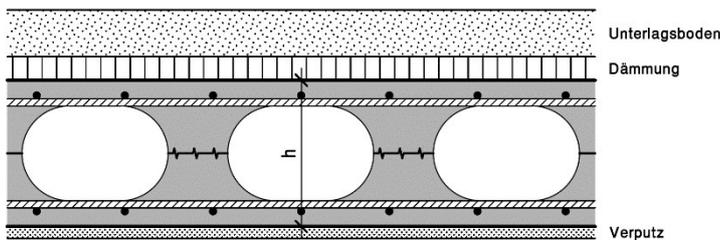
Lagerung: Punktlagerung
Linienlagerung

- Vorteile:
- Konzentrierte Bewehrung
 - Reduktion der Durchstanzlast mit Vorspannung
 - Rationelles Schalen
 - Guter Wärmespeicher
 - Ebene Oberflächen oben und unten
 - Geringe Verformung
 - Reduktion der Risse durch Vorspannung
 - Reduzierter Bewehrungsverbrauch durch Vorspannung

- Nachteile:
- Einbau von Haustechnikleitungen in Deckenkörper nur bedingt möglich
 - Hohe Materialqualitäten erforderlich
 - Durchstanzen

9.3.4 Flachdecke mit Hohlkörper

Die Flachdecke mit Hohlkörpern kommt heute vor allem bei Bauwerken zum Einsatz, wo Gewichtseinsparungen infolge Anforderungen aus dem Baugrund oder Abfangkonstruktion erzielt werden müssen. Gemäss Angaben von einschlägigen Herstellern sind Deckenspannweiten bis 15 m wirtschaftlich möglich.



Die Kennwerte der Ortbetonflachdecke mit Hohlkörpern sind in der folgenden Auflistung aufgeführt:

- | | | |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Deckenstärke : | Minimale Deckenstärke | $h = 20 \text{ cm}$ |
| | Wirtschaftliche Deckenstärke | $h = 30 - 34 \text{ cm}$ |
| | Maximale Deckenstärke Wohnungsbau | $h = 40 - 45 \text{ cm}$ |

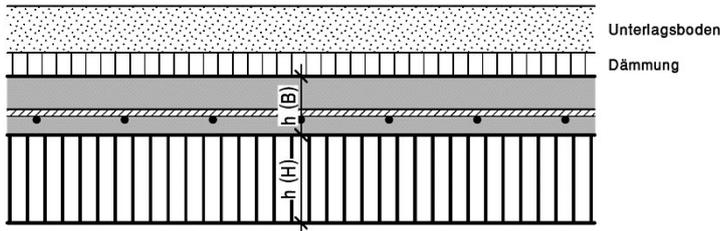
- Lagerung:
- Punktlagerung
 - Linienlagerung

- Vorteile:
- Reduktion des Eigengewichtes um bis zu 35 %
 - Geringere Deckenverformungen
 - Reduzierter Verbrauch von Bewehrungsstahl
 - Weniger Transporte

- Nachteile:
- In der Nähe von Stützen nicht einsetzbar
 - Zusätzlicher Arbeitsschritt für Einbau
 - Hoher Materialpreis
 - Nur bedingt koordinierbar mit Einlagen Haustechnik
 - Decke muss in zwei horizontalen Betonieretappen erstellt werden

9.3.5 Brettstapeldecke mit Überbeton (Flachdecke Holz-Beton-Verbund)

Die Brettstapeldecke wird hauptsächlich im Wohnungsbau im Verbund mit einem Überbeton mit Spannweiten bis 9.0 m eingesetzt. Limitierend ist bei dieser Flachdeckenvariante, dass die Konstruktion lediglich linienförmig aufgelegt und nur in eine Deckenrichtung gespannt werden kann.



Die Kennwerte der Brettstapeldecke sind in der folgenden Auflistung aufgeführt:

Deckenstärke :	minimale Deckenstärke	$h = 20 \text{ cm}$
	wirtschaftliche Deckenstärke	$h = 24 - 26 \text{ cm}$
	maximale Deckenstärke Wohnungsbau	$h = \text{bis } 30 \text{ cm}$

Lagerung: Ausschliesslich Linienlagerung

Vorteile:

- Keine Schalarbeiten
- Weniger Eigengewicht als reine Stahlbetondecken
- Geringerer Bewehrungsgehalt
- Gute Schallschutzeigenschaften durch Holzuntersicht
- Hoher Grad an Vorfabrikation und dadurch rationelle Ausführung am Bau

Nachteile:

- Nur einachsige Spannrichtung
- Kein Einbau von Haustechnikleitungen in Decke möglich
- Deckenuntersicht weist keine Speichermasse auf
- Grössere Verformung, da weichere Konstruktion als reine Betondecke

9.3.6 Kriterien

Bei den Deckenkonstruktionen können die folgenden Kriterien in der Eingabemaske definiert werden:

- Eingabestufe 1: Deckenspannweite
- Eingabestufe 2: Deckenspannweite & Lagerungsart
- Eingabestufe 3: Deckenspannweite & Lagerungsart & Deckentyp
- Eingabestufe 4: Deckenspannweite & Lagerungsart & Deckentyp & Deckenstärke & Kennwerte zur Bewehrung & Deckeneigengewicht

In den Eingabestufen 1-3 werden die nicht wählbaren Kriterien mit vorgegebenen Fixgrössen berechnet, damit ein realistisches Ergebnis ermittelt wird. Die angenommenen Grössen werden in der Resultatausgabe angezeigt.

9.4 Betonsorten

9.4.1 Wahl der Betonsorten

Da sich das Berechnungstool in der ersten Version auf Tragstrukturen im konstruktiven Ingenieurhochbau fokussiert, ist die Wahl der heute vordefinierten Betonsorten B, welche einem Beton C25/30 und Betonsorte C, welche einem Beton C30/37 entsprechen für die Berechnung der Bauteile ausreichend.

9.4.2 Wahl der Gesteinskörnung

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen, welche von den Nutzern an den Beton gestellt werden, wird bei den Gesteinskörnungen zwischen zwei Hauptgruppen unterschieden.

Die natürliche Gesteinskörnungen lässt sich gemäss ihres Vorkommens in die folgenden drei Arten unterteilen:

- Alluvialkies
- Gebrochener Kalk
- Glimmerhaltiges Gestein

Bei den rezyklierten Gesteinskörnungen wird gemäss dem in der Schweiz gültigen SIA-Merkblatt 2030 Recyclingbeton ausschliesslich eine Gesteinskörnung RC-C aus Körner aus Beton, Betonprodukten, Mörtel und Mauersteinen aus Beton vorgesehen.

9.4.3 Wahl der Zementarten

Da die Einsatzmengen von CEM I in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken sind, wurde entschieden, diese Zementart nicht zu berücksichtigen. Die CEM II/B-Zemente mit bis zu 35 % Zusatzstoffen bilden heute mit 58 % den Hauptteil der gelieferten Zemente. Diese werden zunehmend anstelle der reinen Portlandzemente CEM I und der CEM II/A-Zemente nachgefragt.

Durch die vermehrte Gewichtung der Nachhaltigkeit wird bei zukünftigen Projekten auch vermehrt der Zement CEM III/B gefragt. Daher wird dieser Zement, obwohl seine Einsatzmenge zum heutigen Zeitpunkt noch verschwindend klein ist, ebenfalls im Tool berücksichtigt.

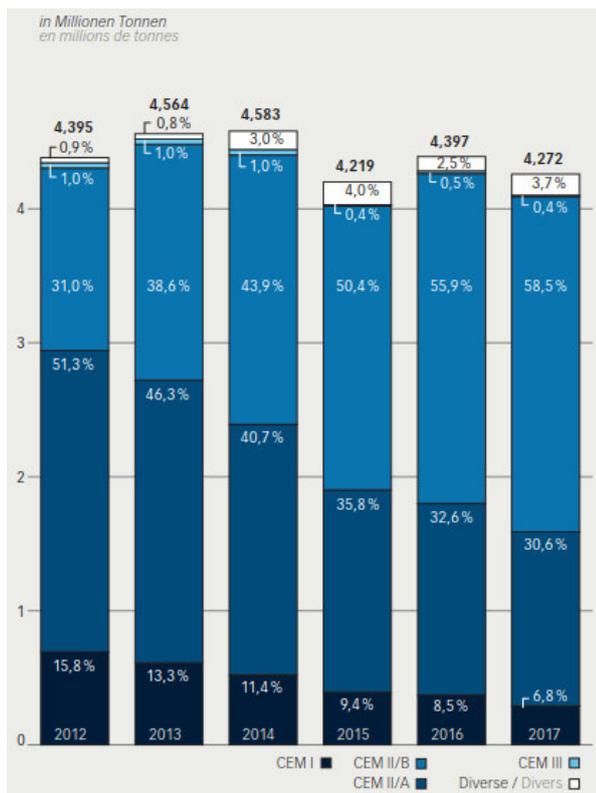


Abbildung 2: Zementlieferungen nach Sorten [cemsuisse, Kennzahlen 2018]

9.4.4 Kriterien

Bei den Betonsorten können die folgenden Kriterien in der Eingabemaske definiert werden:

Eingabestufe 1: Gesteinskörnung

Eingabestufe 2: Gesteinskörnung & Betonsorte

Eingabestufe 3: Gesteinskörnung & Betonsorte & Gesteinsart

Eingabestufe 4: Gesteinskörnung & Betonsorte & Gesteinsart & Zementsorte

In den Eingabestufen 1-3 werden die nicht wählbaren Kriterien mit vorgegebenen Fixgrössen berechnet, damit ein realistisches Ergebnis ermittelt wird. Die angenommenen Grössen werden in der Resultatausgabe angezeigt.

9.5 Ingenieurtechnische Kriterien

9.5.1 Oberflächenqualität

Die Oberflächenqualität spielt in verschiedener Hinsicht eine wichtige Rolle für eine Stahlbetonkonstruktion. Wird die Betonoberfläche, sei es ein Boden- oder eine Wandfläche, verkleidet, können Einsparungen bei der Bewehrungsmenge erzielt werden, da nicht so hohe Anforderungen an das Rissverhalten der Konstruktion gestellt werden. Es können aber je nach dem auch die Anforderungen an den Brandschutz und an den Schallschutz reduziert werden. Hingegen kann eine Stahlbetonkonstruktion wenn sie verkleidet wird nicht mehr als Speichermasse angesetzt werden.

Somit ergeben sich für diese Eingabegrösse die folgenden Kriterien, welche in den jeweiligen Eingabestufen gewählt werden können:

Eingabestufe 1: Sichtbar Ja / Nein

Eingabestufe 2: Sichtbar Bauteil Ober- oder Unterseite

Eingabestufe 3: Art der Verkleidung / Art der Sichtenanforderungen

Eingabestufe 4: Rissanforderungen gemäss SIA-Norm 262 (2013) Artikel 4.4.2

9.5.2 Einlagen

Während im heutigen Wohnungsbau die Deckenkonstruktionen in der Regel die Träger für sämtliche Haustechnikleitungen, welche horizontal geführt werden müssen, sind, werden im Bau von Büro- und Schulhäusern die Medien aufgrund der erforderlichen Flexibilität unter der Decke in Abhangkonstruktionen geführt.

Dadurch ergibt sich der Umstand, dass die Dimensionen der Deckenkonstruktionen im Wohnungsbau oftmals gar nicht durch die Tragwerksplanung sondern durch die eingelegten Haustechnikleitungen bestimmt werden. Aus diesem Grund können in diesem Kriterium in den nachfolgenden Eingabestufen die folgenden Kriterien definiert werden:

Eingabestufe 1: Keine Einlagen

Wenig Einlagen (z.B. Grundversorgung vereinzelte Abwasserrohre Decke ≥ 21 cm)

Viele Einlagen (z.B. gesamte E-Versorgung & kontrollierte Lüftung Decke ≥ 24 cm)

Eingabestufe 2: Minimal erforderliche Deckenstärke infolge Einlagen

In der Eingabestufe 1 werden die Deckenstärken durch Normvorgaben definiert.

9.5.3 Schallschutz

Mit dem konstruktiven Schallschutz einer Stahlbetontragkonstruktion kann sowohl der Körper als auch der Luftschall eingedämmt werden. Massgebendes Kriterium ist hierfür die Bauteildicke.

Daher werden bei diesem Kriterium je nach Eingabestufe die folgenden Indikatoren unterschieden:

Eingabestufe 1: Anforderung an Luftschall ja oder nein, Anforderungen an Körperschall ja oder nein

Eingabestufe 2: Unterlagsboden vorhanden? Luftschall: Wenn ja, Bauteilstärke mind. 20 cm.
Wenn nein, Bauteilstärke mind. 25 cm.
Körperschall: Wenn ja, keine Vorgaben.
Wenn nein, Bauteilstärke mind. 40 cm.

Eingabestufe 3: Freie Wahl der Bauteilstärke

9.5.4 Speichermasse

Wird die Betonkonstruktion nicht allseitig verkleidet, kann diese als Speichermasse für Energie angesetzt werden. Daraus ergeben sich für dieses Kriterium je nach Eingabestufe die folgenden Wahlmöglichkeiten:

Eingabestufe 1: Wahlmöglichkeit zwischen: Speichermasse nicht erforderlich

Einseitig
Beidseitig

Eingabestufe 2: Wahlmöglichkeit zwischen: Einseitig: Unten Brettstapel
Oben Unterlagsboden ≥ 10 cm
Oben Tragkonstruktion sichtbar

Beidseitig: Oben Unterlagsboden ≥ 10 cm sichtbar
Tragkonstruktion oben und unten sichtbar

9.5.5 Brandschutz

Der konstruktive Brandschutz spielt bei der Wahl der minimalen Bauteilabmessungen sowie bei der minimalen Bewehrungsüberdeckung eine Rolle. Diese minimalen Abmessungen sind der SIA-Norm 262 im Artikel 4.3.10.5 eindeutig definiert. Die in der Norm hinterlegten Mindestwerte dienen im Rechnungsgang als Abbruchkriterium. Somit können diese Werte vom Nutzer nicht angepasst sondern nur angewählt werden. Somit ergeben sich je nach Eingabestufe die folgenden Kriterien:

Eingabestufe 1: Wahlmöglichkeit zwischen: Brandschutz, keine Anforderungen
Brandschutz, Anforderungen

Eingabestufe 2: Wahlmöglichkeit zwischen: Brandschutz, Anforderungen REI 30
REI 60
REI 90
REI 120

9.5.6 Expositionsklasse

Die Expositionsklassen haben einen direkten Einfluss auf die Bewehrungsüberdeckung und somit auf die Bauteildicke. Daher muss der Nutzer die Anforderungen, welche an das Bauteil gesetzt werden, kennen und definieren können. Die Bewehrungsüberdeckungen sind in Abhängigkeit der Expositionsklasse in der SIA-Norm 262 Artikel 5.2.2.4 eindeutig festgehalten und können somit durch den Nutzer nicht selbst gewählt werden. Die Bewehrungsüberdeckungen infolge Expositionsklasse können nur durch die geforderten Bewehrungsüberdeckungen infolge Brandschutz übersteuert werden.

Somit ergeben sich je nach Eingabestufe die folgenden Kriterien:

Eingabestufe 1: Wahlmöglichkeit zwischen:	Innenraum
	Aussenraum
Eingabestufe 2: Wahlmöglichkeit zwischen:	Innen- und Aussenraum
	Bewehrungskorrosion in karbonatisiertem Beton
XC1	Trocken oder ständig nass
XC2	Nass, selten trocken
XC3	mässig feucht
XC4	wechselnd nass und trocken
	Bewehrungskorrosion induziert durch Chloride
XD1	Trocken oder ständig nass
XD2a	Nass, selten trocken
XD2b	mässig feucht
XD3	wechselnd nass und trocken

9.5.7 E-Modul

Der E-Modul des Betons hat einen massgebenden Einfluss auf das Verformungsverhalten und somit auf die Bauteilstärke. Der E-Modul ist sehr stark von der Zusammensetzung und der Art des Zuschlagstoffes sowie der Zementart und Zementmenge abhängig. Bei den vordefinierten Betonsorten kann der E- Modul nicht gewählt werden.

Somit ergeben sich je nach Eingabestufe die folgenden Kriterien:

Eingabestufe 1:	Gesteinskörnung
Eingabestufe 2:	Gesteinskörnung & Betonsorte
Eingabestufe 3:	Gesteinskörnung & Betonsorte & Gesteinsart
Eingabestufe 4:	E Modul kann definiert werden

Die Eingabestufen 1-3 der Betonsortenwahl (siehe Kapitel 9.4.4) werden somit mit vorgegebenen E-Modulen, welche auf der Basis der SIA 262 (2013) ermittelt werden, berechnet. In der Eingabestufe 4 kann ein E-Modul in einem vordefinierten Band durch den Benutzer definiert werden.

9.6 Nicht berücksichtigte Aspekte

9.6.1 Allokation der Ausgangsstoffe

Die Allokation der Ausgangsstoffe wird im Rahmen der Datensatzbildung bestimmt. Dieser Aspekt wurde am Anfang des vorliegenden Projektes thematisiert aber nicht weiter verfolgt, da die Allokation nur mit grossem Aufwand beeinflusst werden kann.

9.6.2 Schalungsmaterial

Der Einfluss auf die Umweltbelastung des Einsatzes von stärkerem Schalungsmaterial als Antwort auf schwerere Bauteile sowie der längeren Vorhaltdauer infolge dem langsameren Abbindeprozess gewisser Bindemittel konnte im Rahmen der vorliegenden Konzeptstudie nicht untersucht werden. Aus diesem Grund fliesst dieser Aspekt nicht in die Beurteilung ein, sondern wird über einen Hinweis dem Nutzer mit auf den weiteren Planungsprozess gegeben.

9.6.3 Ort- oder Lieferbeton

Methodisch gesehen ist die Herstellung von Ortbeton und Fertigbetonteilen nicht gleich. Dieser Aspekt wurde am Anfang des vorliegenden Projektes thematisiert aber nicht weiter verfolgt.

9.6.4 RC-Beton aus Mischabbruch

Auf eine Berücksichtigung von RC-Beton aus Mischabbruch gemäss SIA-Merkblatt 2030 wird in der ersten Konzeptphase verzichtet. Die Programmstruktur ist jedoch so aufgebaut, dass die zusätzlich erforderlichen Kriterien eingebaut werden können.

9.6.5 Korngrössen des Zuschlagstoffes

Die Wahl der Korngrössen des Zuschlagstoffes wurde im Tool nicht berücksichtigt. Die Korngrössen des Zuschlagstoffes haben im Nachweis der Tragsicherheit bei der Ermittlung des Durchstanz- und Querkraftwiderstandes einen Einfluss.

Aufgrund der Anwendung des Tools während der frühen SIA-Planungsphasen spielt die Korngrösse des Zuschlagstoffes ohnehin eine untergeordnete Rolle.

9.6.6 Betonkonsistenz

Analog der Korngrössenwahl beim Zuschlagstoff wird auf die Berücksichtigung der Betonkonsistenz in der Toolanwendung verzichtet.

9.6.7 Kosten

Die Kosten können über die Deckenstärke sowie den ermittelten Vorspannungs- respektive Bewehrungsgehalt oder über die erforderliche Brettstapeldicke ermittelt werden.

Im Verlauf des Projektes wurde entschieden auf die Angaben von Bauteilkosten zu verzichten.

Gemäss Studie NH2 –gibt es keinen signifikanten Unterschied bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten zwischen Massiv- und Leichtbauweise.

9.6.8 Lebensdauer des Bauteils

Die Nutzungsdauer hat einen Einfluss auf die Amortisationszeit für die Berechnung der Grauen Energie, wenn jährliche Werte gewünscht sind. In der Tragwerksplanung wird gemäss der SIA 260 die Nutzungsdauer für eine normale Tragstruktur mit 50 Jahren definiert. Diese Nutzungsdauer ist nicht deckungsgleich mit den in der Norm SIA 2032 definierten Lebenszyklen von 60 Jahren. Für das vorliegende Konzept gehen wir von normalen Tragwerken gemäss SIA 260 Artikel 2.3.2 aus.

9.6.9 Bauzeit

Die Bauzeit fliesst nicht in die Betrachtung der Nachhaltigkeit ein.

Die unterschiedlichen Abbindezeiten und die damit verbundene längere Vorhaltdauer des Schalmaterials bzw. der grösste Bedarf an Schalungsmaterial wird nicht rechnerisch berücksichtigt. Die Vorteile einer Mischbauweise wie z.B. Holz-/Betonverbund betreffend kürzere Schalungszeiten bzw. das Sparen einer Schalung fliessen somit auch nicht in die Berechnungen ein. Mittels Hinweistexten werden jedoch die für die Beurteilung massgebenden Informationen an die Projektbeteiligten weitergegeben.

9.6.10 Transport

Als Transportdistanzen werden mittlere Distanzen mit einem Versorgungsnetz in einem gut erschlossenen Siedlungsgebiet angenommen. In einer weiteren Programmversion kann der Einbau von einem Korrekturfaktor für Rand- und Bergregionen geprüft werden.

9.6.11 Rückbau

Der Rückbau ist mit vordefiniertem Szenario in den Datensätzen enthalten. Die aktuelle Systemgrenze liegt beim Brechen der Betonbauteile (Baustelle oder Werk). Das Thema wurde im Rahmen der vorliegenden Konzeptstudie nicht weiterverfolgt. Aus diesem Grund kann das bevorzugte Rückbauszenario nicht eingegeben werden. Es ist aus Sicht des Auftragnehmers sowieso fraglich, ob diese projektspezifisch zum Zeitpunkt der Projektierung angegeben werden können.

10. Ökobilanzmethode und -Indikatoren

Die Norm EN15804 bildet die Grundlage für die Beurteilung der Umweltindikatoren in der vorliegenden Studie.

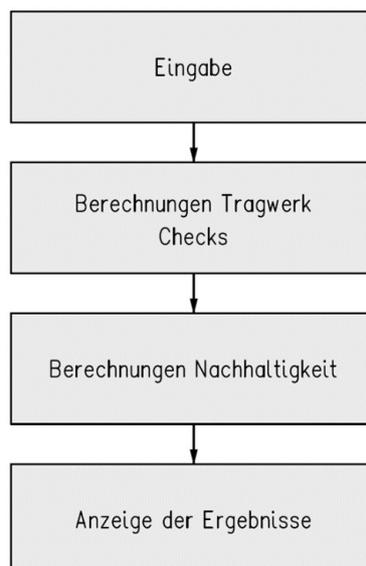
Cemsuisse hat sich bewusst für die Ökobilanzierung nach europäischer Methode (Grundlage der Umweltproduktdeklaration in der EU) entschieden und ist sich bewusst, dass die Ergebnisse des Tools zurzeit von den gängigen Nachhaltigkeitslabels in der Schweiz nicht übernommen werden können. Mit diesem Schritt übernimmt cemsuisse eine Pionierrolle in Richtung Kompatibilität mit den Ökobilanzmethoden der EU.

11. Tool-Konzept

11.1 Programmstruktur

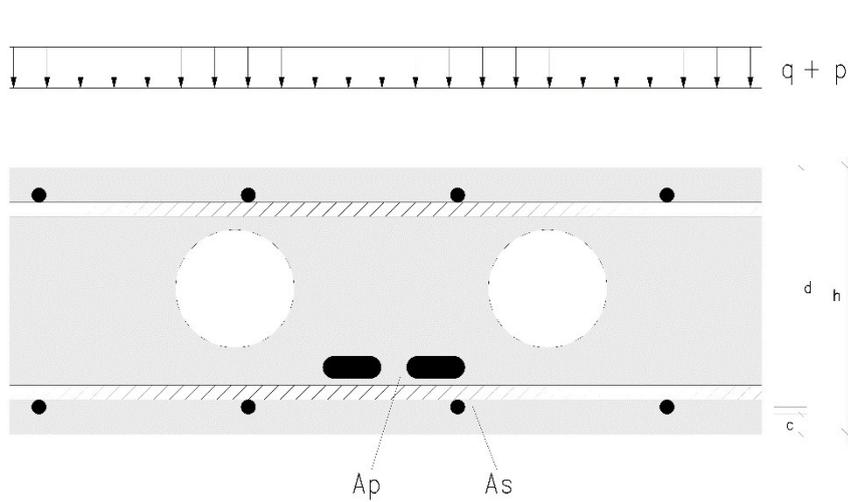
Die Programmstruktur bzw. die Methodik ist wie bereits im Grobkonzept festgehalten konsequent in eine vertikale und in eine horizontale Grundachse gegliedert. In der vertikalen Achse werden die Programmaktivitäten am einzelnen Bauteil abgebildet. Die horizontale Grundachse zeigt die Ausbaubarkeit mit zusätzlichen Bauteilen auf. In diesem Kapitel bewegen wir uns ausschliesslich in der vertikalen Programmachse.

Die Hauptgliederung sieht wie folgt aus:



11.2 Massgebende Einflussgrößen

Für die Darstellung des Konzeptes wird eine Flachdecke gewählt. Diese besitzt die in der nachfolgenden Skizze dargestellten Einflussgrößen.



- Speichermasse → h
- Schallschutz → h
- Brandschutz → h, c
- Expositionsklasse → c
- Einlagen → d
- Oberflächenqualität → As
- Beton → d, c, As, E_c
- Spannweite → d, As, Ap
- Hohlkörper → d, As
- Nutzung → q + p

- h: Deckenstärke
- c: Bewehrungsüberdeckung
- d: statische Höhe
- p: Auflast
- q: Nutzlast
- As: Bewehrungsgehalt
- Ap: Vorspannungsgehalt
- E_c: E-Modul Beton

11.3 Entscheidungsweg

In einem ersten Schritt werden mit phasengerechten Vergleichsrechnungen aufgrund der Eingabedaten

- Nutzung
- Deckenkonstruktion (Spannweite)
- Betonsorte

die für die Ermittlung der Nachhaltigkeitswerte wichtigen Kenngrößen

- Deckenstärke h
- Betonüberdeckung c (als erste Annahme)
- Statische Höhe d
- Bewehrungsgehalt A_s / A_p

ermittelt. Als Defaultwert ist in diesem Berechnungsgang die Deckenstärke h im Verhältnis zu der Spannweite l hinterlegt. Werden die hinterlegten Grenzwerte h/l unterschritten, ist keine Berechnung möglich und es wird ein anderes Deckensystem oder eine kürzere Spannweite vorgeschlagen.

In einem zweiten Schritt werden die erhaltenen Kenngrößen

- Deckenstärke h
- Betonüberdeckung c (als erste Annahme)
- Statische Höhe d
- Bewehrungsgehalt A_s / A_p

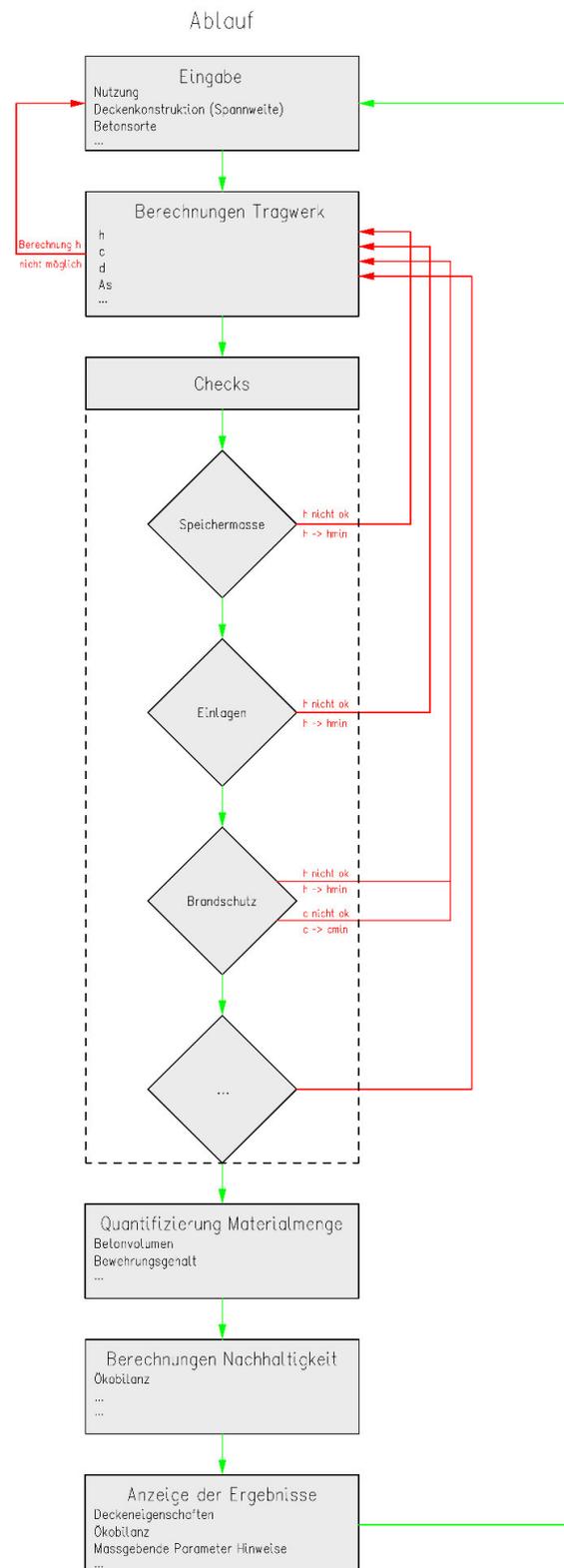
nacheinander mit den unter Absatz 9 beschriebenen Kriterien abgeglichen und geprüft. Wird ein Kriterium nicht erfüllt, so beginnt die Berechnung mit den neuen Randbedingungen wieder von vorne. Dieser Prozess ist im Flussdiagramm auf der folgenden Seite dargestellt.

In einem dritten Schritt werden die für die Ermittlung erforderlichen Deckenkennwerte

- Betonvolumen und
- Bewehrungsgehalt

ermittelt.

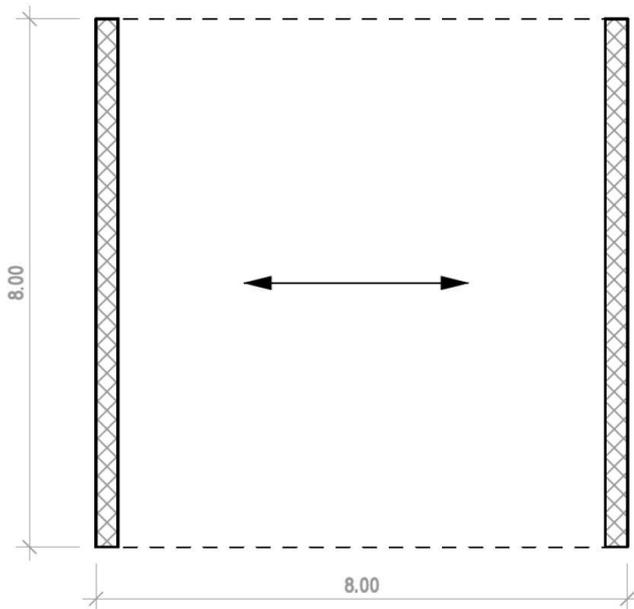
In einem vierten Schritt werden mit den hinterlegten EPD die erforderlichen Nachhaltigkeitskennwerte ermittelt und die Ausgabedaten für die Anzeige der Ergebnisse aufbereitet.



11.4 Rechenbeispiel

Im nachfolgenden Rechenbeispiel ist anhand einer liniengelagerten Ort betonflachdecke mit einer Spannweite von 8.0 m der Rechenprozess Schritt für Schritt dargestellt.

Als Beispiel wird eine Flachdecke gespannt über zwei je 8.0 m lange Deckenfelder genommen. Somit ergibt sich ein statisches Systems eines zweifeld Trägers. Dargestellt in der nachfolgenden Abbildung ist lediglich ein Deckenfeld.



System:

Flachdecke linienförmig gelagert. Einseitig freier Deckenrand, einseitig Innenaufleger durchlaufend auf nächstes gleichgroßes Deckenfeld.

Gesucht:

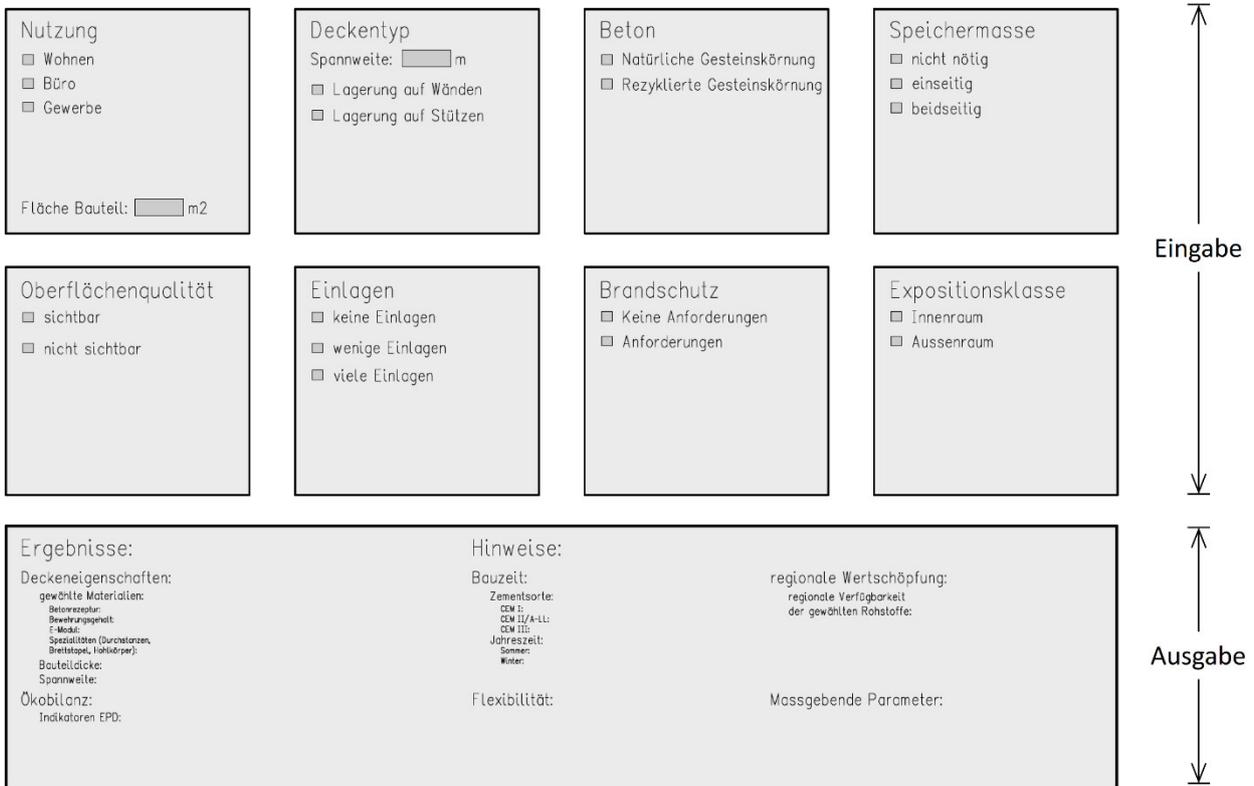
Deckenstärke und Bewehrungsgehalt.

Gegeben:

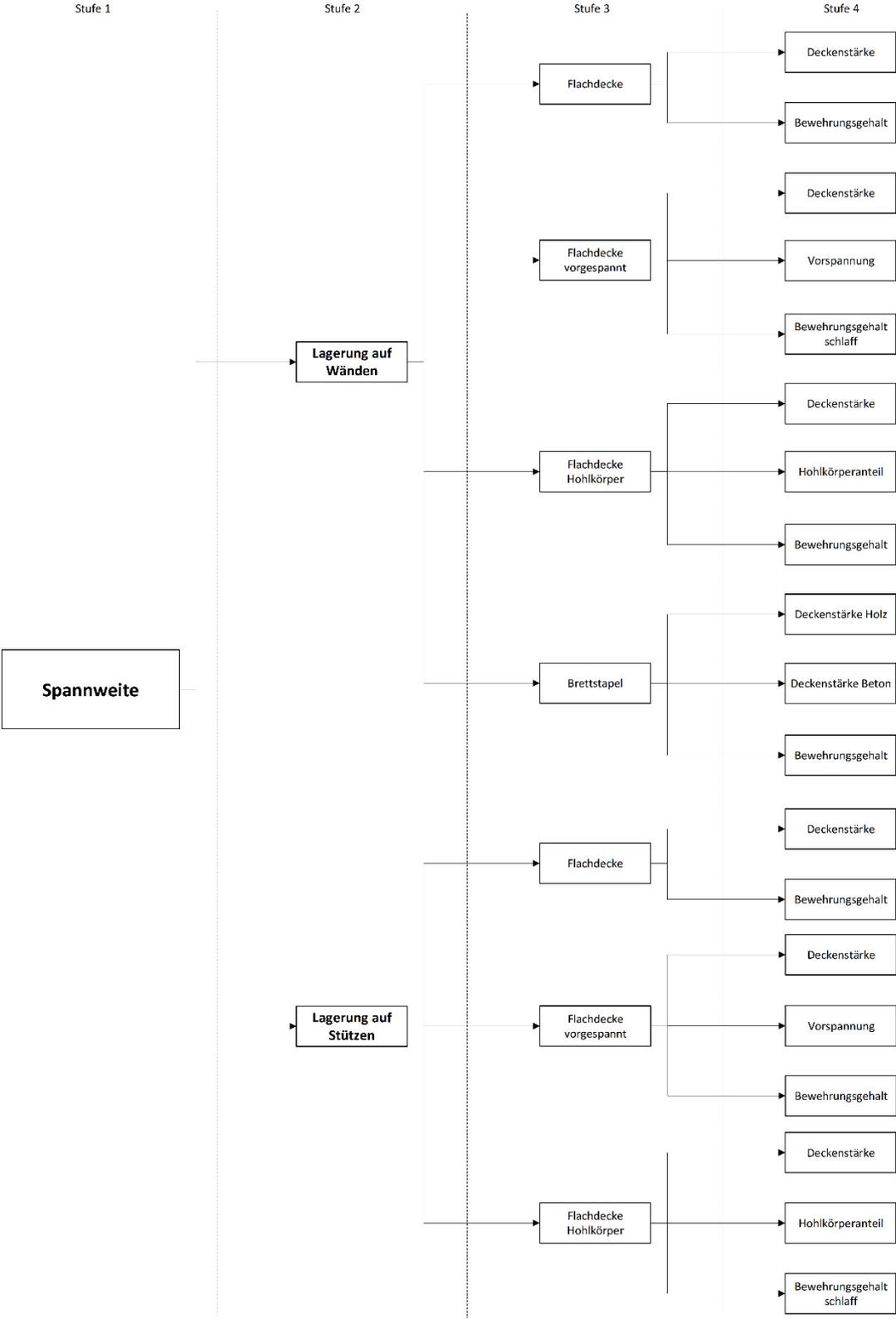
Spannweite	8.0m
Brandwiderstand	REI 60
Nutzung	Büro
Expositionsklasse	Innenraum
Beton	Sorte B CEM II

Aus der nächsten Abbildung sind die Eingabeparameter erkennbar. Sämtliche wichtigen Informationen sind in einer Ansicht abrufbar.

Eingabe- und Ausgabebildschirm

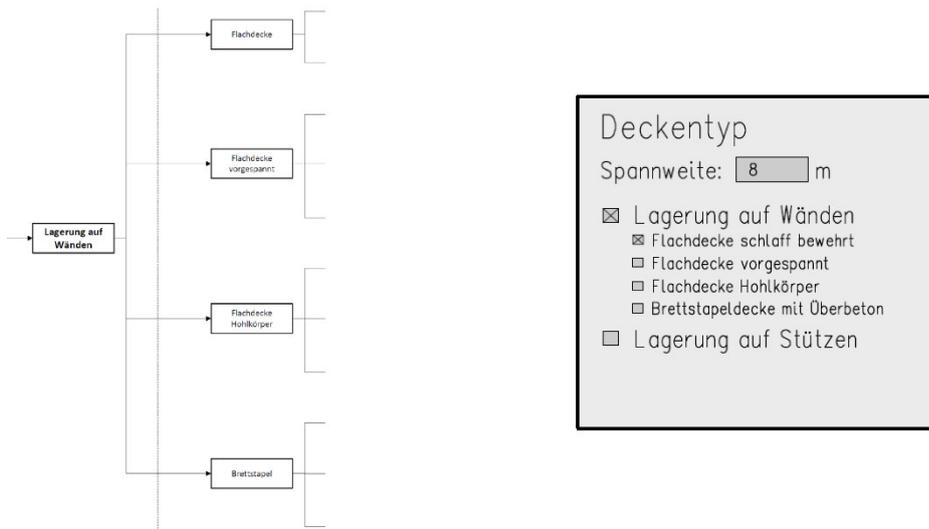


Wie in Kapitel 8 erläutert besitzt das Programm unterschiedliche Eingabestufen. Anhand der Wahl der Deckenkonstruktion werden die Eingabestufen aufgezeigt. Sämtliche Darstellungen der Eingabestufen sind im Anhang C zu finden.



In der nachfolgenden Abbildung wird die Eingabe des Deckentyps abgebildet.

Eingabe Deckentyp



Die Eingabemaske mit allen Eingabedaten kann wie folgt aussehen:

Eingabe

<p>Nutzung</p> <input type="checkbox"/> Wohnen <input checked="" type="checkbox"/> Büro Nutzlast: 300 kg/m ² Auflast: 300 kg/m ² <input type="checkbox"/> Gewerbe Fläche Bauteil: 64 m ²	<p>Deckentyp</p> Spannweite: 8 m <input checked="" type="checkbox"/> Lagerung auf Wänden <input checked="" type="checkbox"/> Flachdecke schlaff bewehrt <input type="checkbox"/> Flachdecke vorgespannt <input type="checkbox"/> Flachdecke Hohlkörper <input type="checkbox"/> Brettstapeldecke mit Überbeton <input type="checkbox"/> Lagerung auf Stützen	<p>Beton</p> <input checked="" type="checkbox"/> Natürliche Gesteinskörnung <input type="checkbox"/> Rezyklierte Gesteinskörnung <input checked="" type="checkbox"/> Sorte B <input type="checkbox"/> Klasse <input type="checkbox"/> CEM (I) A <input type="checkbox"/> CEM (I) B <input type="checkbox"/> CEM (III) B <input type="checkbox"/> Gebräuch <input type="checkbox"/> Glühmörtel <input type="checkbox"/> Sorte C	<p>Speichermasse</p> <input type="checkbox"/> nicht nötig <input checked="" type="checkbox"/> einseitig <input type="checkbox"/> unten <input type="checkbox"/> oben Unterlagsboden >= 10cm <input type="checkbox"/> oben Tragwerk <input type="checkbox"/> beidseitig
<p>Oberflächenqualität</p> <input type="checkbox"/> sichtbar <input checked="" type="checkbox"/> nicht sichtbar	<p>Einlagen</p> <input type="checkbox"/> keine Einlagen <input checked="" type="checkbox"/> wenige Einlagen <input type="checkbox"/> viele Einlagen	<p>Brandschutz</p> <input type="checkbox"/> Keine Anforderungen <input checked="" type="checkbox"/> Anforderungen <input type="checkbox"/> REI 30 <input type="checkbox"/> REI 60 <input type="checkbox"/> REI 90 <input type="checkbox"/> REI 120	<p>Expositionsklasse</p> <input checked="" type="checkbox"/> Innenraum <input type="checkbox"/> XC1 trocken oder ständig nass <input type="checkbox"/> XC2 nass, selten trocken <input type="checkbox"/> XC3 mässig feucht <input type="checkbox"/> XC4 wechselnd nass und trocken <input type="checkbox"/> Aussenraum

Der Berechnungsgang ist im Anhang D detailliert dargestellt.

Auf der nachfolgenden Abbildung wird ein möglicher Ausgabebildschirm dargestellt. Dieser könnte sich wie eingangs erwähnt auf der gleichen Ebene wie die Eingabemaske befinden. Somit ist eine ständige Übersicht aller relevante Ein- und Ausgabedaten gegeben.

Nach Abschluss des Berechnungsganges können die Eingabeparameter und Ergebnisse gespeichert oder ausgedruckt werden. Ein neuer Berechnungsgang zum Beispiel mit einer punktgestützten Variante des Tragsystems kann beginnen.

<p>Nutzung</p> <p><input type="checkbox"/> Wohnen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Büro</p> <p>Nutzlast: 300 kg/m² Auflast: 300 kg/m²</p> <p><input type="checkbox"/> Gewerbe</p> <p>Fläche Bauteil: <input type="text" value="64"/> m²</p>	<p>Deckentyp</p> <p>Spannweite: <input type="text" value="8"/> m</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Lagerung auf Wänden</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Flachdecke schiffb. bewehrt <input type="checkbox"/> Flachdecke vorgespannt <input type="checkbox"/> Flachdecke Hohlkörper <input type="checkbox"/> Brettstapeldecke mit Überbeton <p><input type="checkbox"/> Lagerung auf Stützen</p>	<p>Beton</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Natürliche Gesteinskörnung</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Serie B <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Kies <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> CEM II A <input type="checkbox"/> CEM II B <input type="checkbox"/> CEM III B <input type="checkbox"/> Gebrochen <input type="checkbox"/> Grünsichtig <input type="checkbox"/> Serie C <p><input type="checkbox"/> Rezyklierte Gesteinskörnung</p>	<p>Speichermasse</p> <p><input type="checkbox"/> nicht nötig</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> einseitig</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> unten <input type="checkbox"/> oben Unterlagsboden >= 10cm <input type="checkbox"/> oben Tragwerk <p><input type="checkbox"/> beidseitig</p>			
<p>Oberflächenqualität</p> <p><input type="checkbox"/> sichtbar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> nicht sichtbar</p>	<p>Einlagen</p> <p><input type="checkbox"/> keine Einlagen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> wenige Einlagen</p> <p><input type="checkbox"/> viele Einlagen</p>	<p>Brandschutz</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Anforderungen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Anforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> RE1 30 <input type="checkbox"/> RE1 60 <input type="checkbox"/> RE1 90 <input type="checkbox"/> RE1 120 	<p>Expositionsklasse</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Innenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> XC1 trocken oder ständig nass <input type="checkbox"/> XC2 nass, selten trocken <input type="checkbox"/> XC3 mäßig feucht <input type="checkbox"/> XC4 wechselnd nass und trocken <p><input type="checkbox"/> Außenraum</p>			
<table border="0"> <tr> <td data-bbox="193 1043 504 1326"> <p>Ergebnisse:</p> <p>Deckeneigenschaften:</p> <p>gewählte Materialien: Betonrezeptur: Serie B, Natürliche Gesteinskörnung, Kies, CEM II B Bewehrungsgehalt: 95 kg/m³ E-Modul: 35.280 N/mm² Bauteildicke: 22cm Spannweite: 8m</p> <p>Ökobilanz:</p> <p>Indikatoren EPD: ...</p> </td> <td data-bbox="504 1043 1023 1326"> <p>Hinweise:</p> <p>Um das Bauteil weiter zu optimieren, ist der Einsatz einer Hohlkörperdecke zu prüfen</p> <p>Flexibilität:</p> <p>Durch die U-förmige Auflagerung nur bedingt gegeben</p> </td> <td data-bbox="1023 1043 1390 1326"> <p>regionale Wertschöpfung:</p> <p>regionale Verfügbarkeit der gewählten Rohstoffe ist gegeben</p> <p>Massgebende Parameter:</p> <p>Verformung ist massgebend Einlagen</p> </td> </tr> </table>				<p>Ergebnisse:</p> <p>Deckeneigenschaften:</p> <p>gewählte Materialien: Betonrezeptur: Serie B, Natürliche Gesteinskörnung, Kies, CEM II B Bewehrungsgehalt: 95 kg/m³ E-Modul: 35.280 N/mm² Bauteildicke: 22cm Spannweite: 8m</p> <p>Ökobilanz:</p> <p>Indikatoren EPD: ...</p>	<p>Hinweise:</p> <p>Um das Bauteil weiter zu optimieren, ist der Einsatz einer Hohlkörperdecke zu prüfen</p> <p>Flexibilität:</p> <p>Durch die U-förmige Auflagerung nur bedingt gegeben</p>	<p>regionale Wertschöpfung:</p> <p>regionale Verfügbarkeit der gewählten Rohstoffe ist gegeben</p> <p>Massgebende Parameter:</p> <p>Verformung ist massgebend Einlagen</p>
<p>Ergebnisse:</p> <p>Deckeneigenschaften:</p> <p>gewählte Materialien: Betonrezeptur: Serie B, Natürliche Gesteinskörnung, Kies, CEM II B Bewehrungsgehalt: 95 kg/m³ E-Modul: 35.280 N/mm² Bauteildicke: 22cm Spannweite: 8m</p> <p>Ökobilanz:</p> <p>Indikatoren EPD: ...</p>	<p>Hinweise:</p> <p>Um das Bauteil weiter zu optimieren, ist der Einsatz einer Hohlkörperdecke zu prüfen</p> <p>Flexibilität:</p> <p>Durch die U-förmige Auflagerung nur bedingt gegeben</p>	<p>regionale Wertschöpfung:</p> <p>regionale Verfügbarkeit der gewählten Rohstoffe ist gegeben</p> <p>Massgebende Parameter:</p> <p>Verformung ist massgebend Einlagen</p>				

11.5 Erkenntnisse aus Beispiel

Mit dem vorgängig aufgezeigten Berechnungsbeispiel kann aufgezeigt werden, dass das Konzept für das Programm funktioniert. Es ist durch die klare vertikale Ausrichtung mit der Schlaufenfunktion einfach und klar konstruiert.

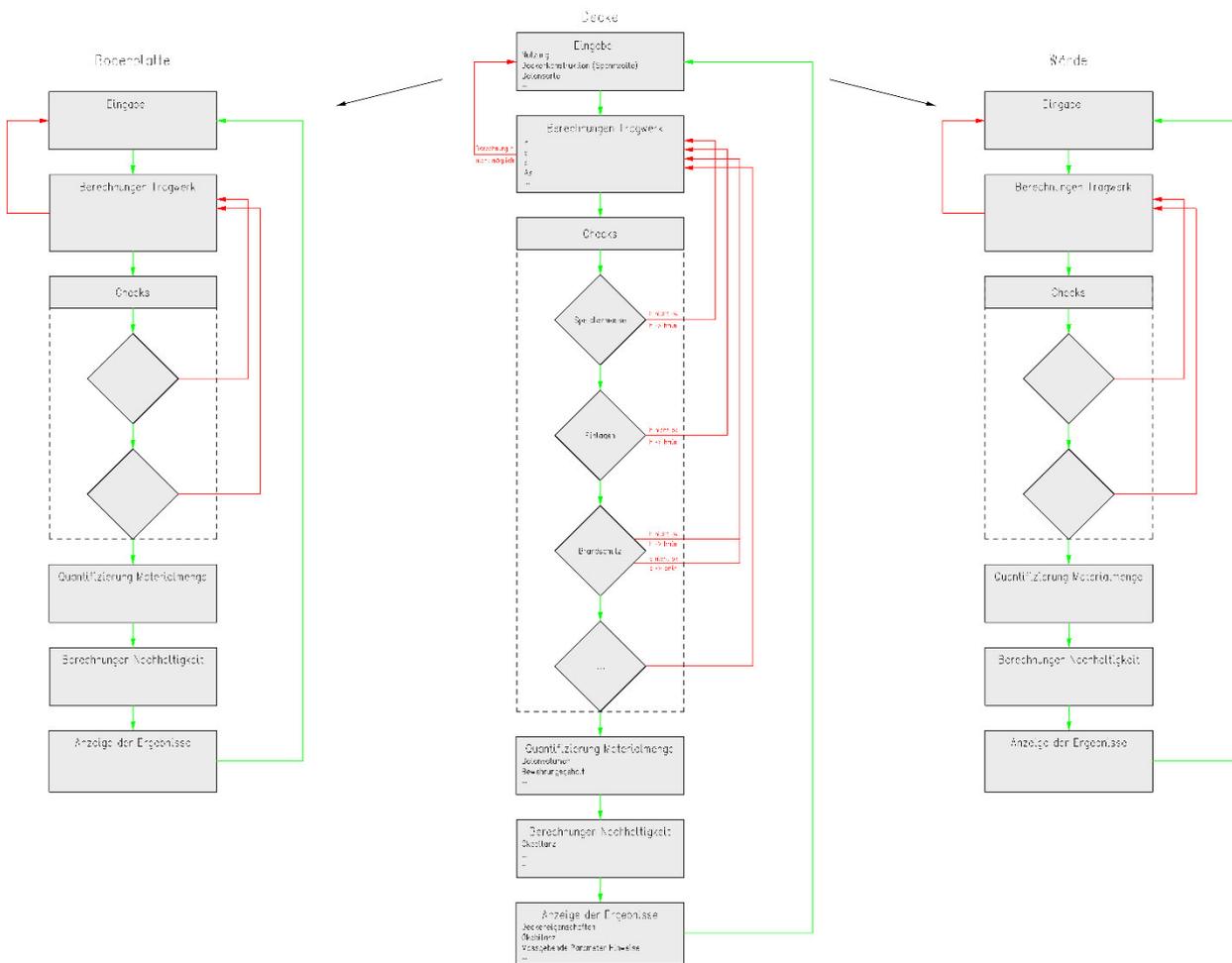
Der Nutzer kann während dem Eingabeprozess erkennen welche Faktoren für die Planung des von ihm gewünschten Tragwerks sind massgebend sind und so für die weitere Planung die konstruktiv richtigen und nachhaltigen Schlüsse ziehen.

11.6 Weiterentwicklung

Für die Weiterentwicklung im Bauteil bietet sich die vertikale Ebene an. Hier können nach dem gleichen Konzept weitere zusätzliche Bauteilbedingungen wie Betonzusatzmittel, Aspekte aus der Baulogistik, oder weitere Aspekte aus dem Normen hinzugefügt werden.

Werden weitere Bauteile hinzugefügt kommt die Horizontale Achse zum Tragen. Hier können ebenfalls zusätzliche Bauteile an das Deckentool links und rechts angefügt und mit den Ergebnissen des Deckentools verknüpft werden. Auch diese Bauteile können mit der gleichen vertikalen Grundstruktur ausgestattet werden.

In der nachfolgenden Abbildung sind mögliche Ausbauvarianten dargestellt.



12. Tool-Architektur

Obwohl die IT-Entwicklung/Programmierung des Tools nicht Teil des vorliegenden Konzepts ist, wurde trotzdem abgeklärt, welche Grundsatzfragen für die Erstellung eines Tools und deren Kosten massgebend sind. Der Inhalt von drei Varianten wurde definiert und deren Kosten geschätzt.

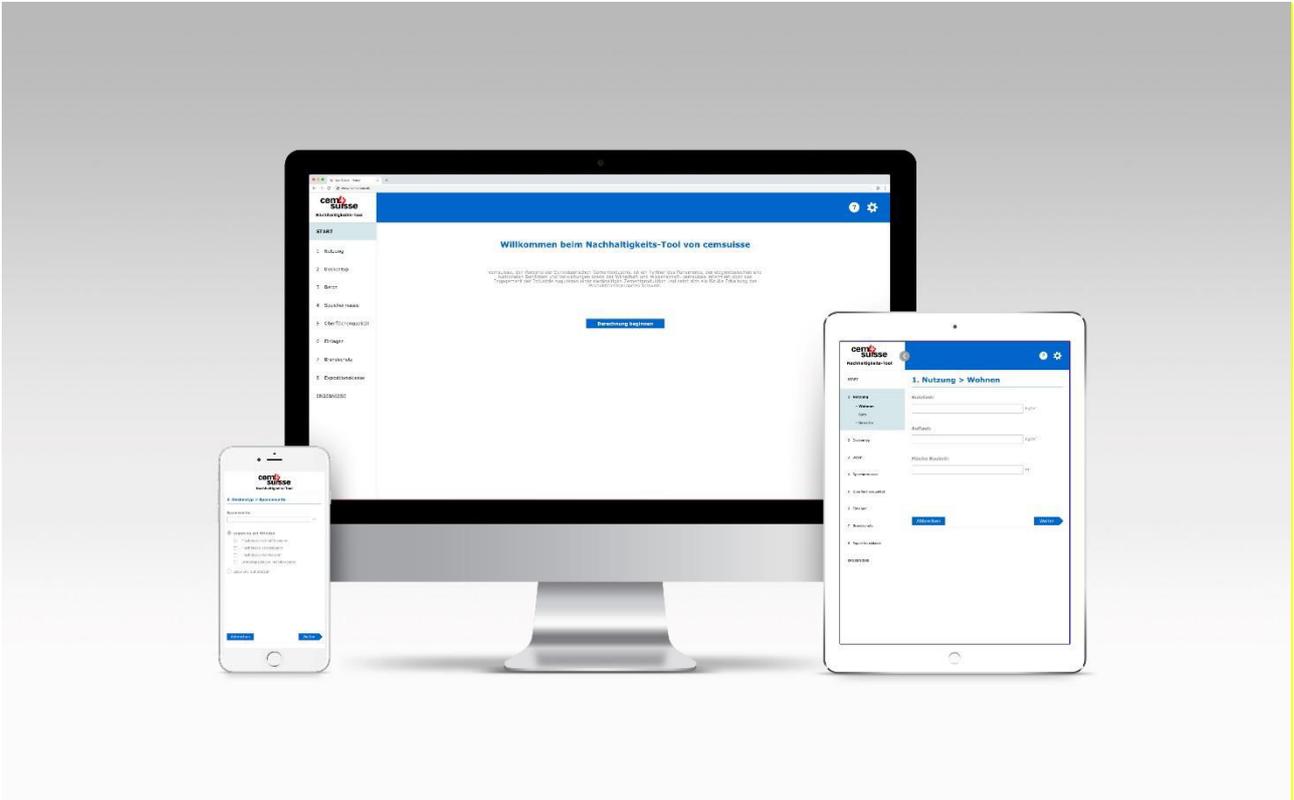


Abbildung 3: Visualisierung Tool - Begasoft

Bei allen Varianten inbegriffen

Responsive-Design / Mobile-Fähigkeit
Design im CI/CD des Kunden

Variante einfach

Eingabe und Berechnung der Daten online, ohne Speicherung der Daten
Druck oder PDF-Export der Berechnung (Eingabedaten und Resultate)
Einfache Anwendung ohne Datenbank, Benutzerverwaltung/Login, Parameterverwaltung etc.

Variante mittel

Zusätzlich zur Variante einfach:

Speichern der Daten in einer Datenbank. Die Daten können zu einem späteren Zeitpunkt wieder geladen und bearbeitet werden.

Benutzer können sich registrieren und mit Benutzerdaten (ID und Passwort) auf ihre Daten zugreifen.
Backend-Zugang zur Verwaltung von Daten und Parametern.

Zusätzlich wird eine begleitende Informationswebseite auf CMS-Basis erstellt. Die Inhalte der Webseite werden durch den Kunden verwaltet.

Variante umfassend

Zusätzlich zur Variante mittel:

Historisierung von Berechnungsdaten und den zum Berechnungszeitpunkt gültigen Parametern und Berechnungsregeln.

Erweiterte Benutzerverwaltung, Abbildung von Firmenstrukturen und Mitarbeitern.

Erweiterte Verwaltung von Daten und Parametern

Nutzungsstatistiken

Export von Daten und Statistiken

Suchmaschinenoptimierung (SEO) für die Webseite

Kosten

Der Preis für die Erstellung hängt stark von der gewählten Variante und liegt in einem Bereich zwischen 20'000.- für die einfache Variante und 65'000.- für eine umfassende Variante. Diese Angaben sind ohne Optionen und jährliche Betriebskosten. Eine detailliertere Aufwandschätzung ist im Anhang E zu finden.

13. Fazit und weiteres Vorgehen

13.1 Fazit

Mit dem erarbeiteten Konzept kann ein Deckensystem basierend auf ingenieurtechnischen und nachhaltigen Kriterien beurteilt werden. Das Konzept bietet eine solide Grundlage für die Entwicklung eines EDV-basierten Beurteilungstools und kann erweitert werden, um weitere Parameter oder Bauteile zu berücksichtigen.

Im Laufe des Projektes wurde festgestellt, dass die Datengrundlage für eine detaillierte Ökobilanzierung von Bauteilen mit unterschiedlichen Zement- bzw. Betonsorten noch nicht vollständig ist. Es ist zurzeit noch unklar, ob für alle nötigen Zusatz- und Hilfsstoffe Ökobilanzdaten nach der gewünschten Methode (EPD) vorliegen.

13.2 Weiteres Vorgehen

Aus Sicht der Autoren ist das weitere Vorgehen in Modulen aufzubauen und sieht wie folgt aus:

- Modul 1: Vergleichsrechnungen und Bestimmen der Kriterien für alle 4 Flachdeckentypen
- Modul 2: Definieren der Programmgrenzen und Berechnungsmodelle
- Modul 3: Feinkonzept und Toolarchitektur
- Modul 4: Programmierung Tool für die vier Flachdeckenvarianten
- Modul 5: Tool Testphase mit Rückschluss auf Vergleichsrechnungen aus Modul 1
- Modul 6: Markteinführung

Auf der Terminachse ist die Gliederung der Module, sofern es die Zeitverhältnisse zulassen, nacheinander anzuordnen, da die Module aufeinander aufbauen. Für die zielgerichtete Weiterentwicklung der Berechnungstools nachhaltiger Betonbau werden die folgenden Fachbereiche benötigt:

Projektleitung	P
Nachhaltigkeitsexperte	NA
Tragwerksplaner Beton	TB
Tragwerksplaner Holz	TH
Experte Fachhochschule	EF
Programmierer	PR
Marketingexperte	MA

Im Folgenden werden die einzelnen Module im Detail beschrieben.

13.2.1 Modul 1 Vergleichsrechnungen und Bestimmen der Kriterien für alle 4 Flachdeckentypen

Anhand des ausgearbeiteten Konzeptes werden die vier Deckentypen Flachdecke schlauff bewehrt, Flachdecke vorgespannt, Flachdecke mit Hohlkörper und Brettstapeldecke mit Überbeton mit allen möglichen Lagerungsbedingungen bemessen. Dabei werden drei Spannweiten von 7.0 m / 9.5 m / und 10.5 m, welche einen unteren und einen oberen Grenzwert abbilden, berücksichtigt.

Anhand der 24 Berechnungsgängen können, sofern vorhanden, die signifikanten Unterschiede der einzelnen Deckentypen aufgezeigt und sämtliche erforderliche Kriterien und Indikatoren ermittelt werden, welche für die spätere Programmierung erforderlich sind.

Ergebnis: Kriterienmatrix mit allen erforderlichen Kriterien und Indikatoren, welche für die Deckentypen erforderlich sind, sowie die dazugehörigen Ergebnisse in Tabellenform.

Zeitbedarf: 6 Monate

Leistung Auftraggeber: Liefern der erforderlichen EPD-Sätze
Beurteilen der Ergebnisse in Bezug auf Aussagekraft für die weitere Projektbearbeitung.
Begleiten der Projektarbeit mit der Begleitgruppe und Sicherstellung der Finanzierung

Benötigte Fachbereiche: P / NA / TB / TH / EF

Entscheid Auftraggeber: Auslösen Modul 2

13.2.2 Modul 2 Definieren der Programmgrenzen und Berechnungsmodelle

In Zusammenarbeit mit dem Programmierer werden anhand von einer Flachdeckenvariante die Programmgrenzen erarbeitet, sowie die erforderlichen Berechnungsmodelle und Systeme bestimmt und programmiert und mit einem Rückschluss auf die Erkenntnisse aus Modul 1 überprüft.

Ergebnis: Programmrohling mit einfacher Benutzeroberfläche für eine Flachdeckenvariante und eine Kostenschätzung +/- 10 % für die Module 3 - 5

Zeitbedarf: ungefähr 3 Monate

Leistung Auftraggeber: Füllen Variantenentscheid Toolarchitektur
Begleiten der Projektarbeit mit der Begleitgruppe und Sicherstellung der Finanzierung

Benötigte Fachbereiche: P / NA / TB / TH / PR

Entscheid Auftraggeber: Auslösen Modul 3 - 5

13.2.3 Modul 3 Feinkonzept und Toolarchitektur

Aufgrund der Erkenntnisse aus Modul 2 werden für die restlichen Flachdeckenvarianten die Programmgrenzen erarbeitet und die Berechnungsmodelle und Systeme bestimmt. Weiter werden die zusätzlichen Bedingungen aus dem Variantenentscheid Auftraggeber in die Bearbeitung mit einbezogen.

Ergebnis: Sämtliche Grundlagen sind für alle 4 Deckentypen gemäss den Vorgaben Programmierer vorhanden.

Zeitbedarf: ungefähr 5 Monate

Leistung Auftraggeber: Begleiten der Projektarbeit mit der Begleitgruppe und Sicherstellung der Finanzierung

Benötigte Fachbereiche: P / TB / TH / PR

13.2.4 Modul 4 Programmierung Tool für die vier Flachdeckenvarianten

Der bereits vorhandene Programmrohling wird gemäss dem Variantenentscheid Auftraggeber verfeinert und auf die vier Deckenvarianten programmiert.

Ergebnis: Fertiges noch ungeprüftes Berechnungstool für nachhaltigen Betonbau mit definitiver Benutzeroberfläche und Funktionen gemäss Variantenentscheid Auftraggeber

Zeitbedarf: ungefähr 3 Monate

Leistung Auftraggeber: Begleiten der Projektarbeit mit der Begleitgruppe und Sicherstellung der Finanzierung

Benötigte Fachbereiche: P / PR

13.2.5 Modul 5 Tool Testphase mit Rückschluss auf Vergleichsrechnungen aus Modul 1

Das Programm wird nun anhand der in Modul 1 ausgeführten Berechnungen bespielt und die Ergebnisse daraus werden mit den Erkenntnissen aus den Vergleichsrechnungen verglichen. Wo erforderlich werden die notwendigen Programmanpassungen durchgeführt.

Ergebnis: Definitives Berechnungstool für nachhaltigen Betonbau für 4 Flachdeckenvarianten mit definitiver Benutzeroberfläche und Funktionen gemäss Variantenentscheid Auftraggeber

Zeitbedarf: ungefähr 2 Monate

Leistung Auftraggeber: Begleiten der Projektarbeit mit der Begleitgruppe und Sicherstellung der Finanzierung

Benötigte Fachbereiche: P / NA / TB / TH / EF / PR

Entscheid Auftraggeber: Auslösen Modul 6

13.2.6 Modul 6 Markteinführung

Es wird in Zusammenarbeit mit einem Marketingexperten eine Strategie für die Markteinführung erarbeitet und umgesetzt. Geplant werden, nebst Publikationen in Fachzeitschriften, Vorträge an Fachveranstaltungen, Messen und Schulen.

Ergebnis: Marketingkonzept für die Markteinführung und Unterstützung für die Markteinführung

Zeitbedarf: ungefähr 2 Monate

Leistung Auftraggeber: Begleiten der Markteinführung mit der Begleitgruppe und Sicherstellung der Finanzierung

Organisieren der Auftritte an Fachveranstaltungen, Messen und Schulen

Benötigte Fachbereiche: P / PR / MA

CSD INGENIEURE AG

Yann Perret
Co-Projektleiter
CSD Ingenieure AG

Andreas Bärtsch
Co-Projektleiter
WMM Ingenieure AG

Liebefeld, den 22.01.2019

KOREFERENT

Cornelius Oesterlee, Dr ès sc., Dipl.-Ing. / SIA, Professor für Baustatik und Betonbau, Berner Fachhochschule

ANDERE BETEILIGTE MITARBEITENDE

Stefan von Ah, dipl. Bauing ETHZ (WMM Ingenieure AG)

Urs-Thomas Gerber, dipl. Ing FH, MAS Arch. Umwelt (CSD Ingenieure AG)

Stephan Berger, Informatik Ing. HTL (Begasoft Informatik)

[https://dialog.csd.ch/projets/DG01295.100/Lists/Documents/Documents publics - Öffentliche Dokumente/06 Bearbeitung/Bericht/20190122_Bericht_cemsuisse_Konzeptstudie_NachhaltigerBetonbau-final.docx](https://dialog.csd.ch/projets/DG01295.100/Lists/Documents/Documents%20publics%20-%20%C3%96ffentliche%20Dokumente/06%20Bearbeitung/Bericht/20190122_Bericht_cemsuisse_Konzeptstudie_NachhaltigerBetonbau-final.docx)

Aus Umweltschutzgründen druckt CSD seine Dokumente auf 100 % Recyclingpapier (ISO 14001).

ANHANG A FACTSHEET

CEMSUISSE: NACHHALTIGER BETONBAU - FACTSHEET

Stand: 07.12.2018

Nachhaltigkeitsthemen **N**
Tragwerksthemen **T**

Nr.	INTERPRETATION DER AUSSAGEN (CSD/WMM)	ERKENNTNIS	KONSEQUENZ	ZUORDNUNG	Diskussion	Entscheid
1	Bewertung Beton nach Nachhaltigkeit Die Deklaration von Beton ist der Streitpunkt. KBOB Rechner / EPD Deklaration über SIA 2055 SN EN 15804 - Umweltproduktdeklaration - Basis für EPDs (EPDs CH und EU nicht gleich) Das europäische System ist umfassender für die Betonprodukte. EPD ist Instrument um Bauwerk beurteilen zu können.	Welche Grundlagedaten müssen verwendet werden, um alle wesentlichen Faktoren einzuschliessen. Es besteht das Risiko, dass die Meinung vorherrscht, dass Grundlagedaten für die Ökobilanzierung erarbeitet werden müssen.	Klare Definition, was für Grundlagedaten verwendet werden sollen. Aufzeigen, welche Materialdatensätze (EPD-konform) benötigt werden, welche es schon gibt und welche noch erstellt werden müssen.	N	F. Werner kann Datensätze für alle nötigen Stoffe erstellen. F. Widmer Grund für Wahl EPD-Methode -> Betrachtung in allen Nutzungsphasen. Thema wird im Rahmen KBOB-EPD Projekt bearbeitet.	Die für die Berechnungen nötigen Daten werden von F. Werner geliefert.
2	SIA 2055 = Empfehlung SIA 2055 Deklaration umwelt- und gesundheitsrelevanter Merkmale von Bauprodukten SIA 493 = Deklaration ökologischer Merkmale von Bauprodukten (KBOB Datensätze) Die SIA 2055 / SIA 493 ist der Knackpunkt des Tools?	Diese Normen bilden die Grundlagen für die Qualifizierung der Baustoffe für die Ökobilanzierung.	Die spezialisierten Grundlagen (KBOB-Datensätze) sind für unser Projekt nicht relevant. Die Berechnungen basieren auf die Ökobilanzierungsmethode und -grundlagedaten der EPDs.	N	Parteien sind sich nicht einig. Norm wird z.Z. nicht publiziert. Es wird auf Projekt KBOB-EPD gewartet. Es wird Harmonisierung angestrebt.	Rechner basierend auf EPDs. Risiko einer Doppeldeklaration, wenn Empfehlung SIA 2055 doch in der gedachten Form publiziert wird.
3	Die CO2-Bindung des Betons über die Karbonatisierung muss miteinbezogen werden. Bei 100 Jahren entspricht dies ca. 17 %. Die Ökobilanz ist materialspezifisch zu betrachten. Die CH Nachhaltigkeit beurteilt im Wesentlichen die graue Energie. SIA 2032 = Graue Energie von Gebäuden Das Bauteil muss über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden.	Mit welchen Parametern kann die Bindung von CO2 (Karbonatisierung) über die Nutzungsdauer erfasst werden? Die CH-EDP-Datensätze für Zement berücksichtigen lediglich die Produktion (Module A1-A3). Die Errichtung und Nutzung sowie die Entsorgung sind noch nicht abgebildet.	Es ist zu definieren, welche EPD-Sätze für das Rechenbeispiel eingesetzt werden sollen. Evtl. müssen zusätzliche EPD-Sätze errechnet werden, welche die spezifischen Verhältnisse in der CH abdecken. Dies ist mit Frank Werner zu klären.	N	F. Werner kann Datensätze (Werte/kg) für alle nötigen Stoffe für alle Module liefern. H. Widmer zum jetzigen Zeitpunkt ist Fokus nicht auf Genauigkeit der Ergebnisse.	Datengerüst ist "korrekt" abzubilden. Wenn möglich Ungenauigkeitsbereiche und deren Einfluss auf Endergebnis aufzeigen. "Sensitivitätsanalyse" (welche Kennzahlen/Grössen sind entscheidend) ist gewünscht.
		Lebensdauer gemäss SIA 260. Gebäude mit normaler Bedeutung 50 Jahre. Gebäude von übergeordneter Bedeutung 100 Jahre. Die SIA 2032 definiert für die Primärtragstruktur 60 Jahre Lebensdauer. Die Normen sind nicht deckungsgleich.	Klären, was bei den EPD für eine Lebensdauer enthalten ist und ob diese für alle erforderlichen Datensätze greifbar ist. Diese ist dann massgebend. Dies ist mit Frank Werner zu klären.	T	F. Werner - CO2-Bindung kann nicht im EPD-Datensatz berücksichtigt werden. Cemsuisse-Studie Berechnung der CO2-Aufnahme während der Nutzungsdauer zementgebundener Baustoffe (2018) -> als Grundlage berücksichtigen	CO2-Bindung kann EPD konform berücksichtigt werden. (kann an unterschiedlichen Zeitpunkten stattfinden) kg CO2/kg Beton Die Lebensdauer ist auf 50 und 100 Jahre zu fixieren. Lebensdauer gemäss SIA 2032 wird nicht berücksichtigt.
4	Der Hauptanteil an CO2 bei der Zementherstellung kommt aus dem Kalkstein / Klinker.	Grundlageinformation: Zemente mit einem kleinen Klinkeranteil haben somit eine bessere Ökobilanz.	Literaturstudium.			
5	Der Rückbau des Tragwerks soll berücksichtigt werden.	Der Bauteiltrennung (primär, sekundär, Haustechnik) kommt eine erhöhte Gewichtung zu. Reine Tragwerke sind besser als unreine Tragwerke. Distanzen zu Rezyklierstelle. Einsatz von RC-Beton in der Region? Dieses Kriterium beeinflusst vermutlich die Ökobilanz nicht, sondern ist eine technische Betrachtung.	Ist ein Kriterium für das Tool. Welche Rezyklingszenarien sind für Beton zu berücksichtigen? Welche Parameter vom Rückbau fließen nicht in die Ökobilanzierung?	T / N	F. Werner - Szenarien für Recycling und Deponie gemäss KBOB	Datengrundlagen fehlen noch. -> Input H. Widmer folgt Basis für Projekt -> KBOB-Szenarien Thema kann im Rahmen des Projektes nicht abschliessend betrachtet werden. F. Werner Datensätze für Rückbau sind vorhanden. Transport vom rückgebauten Beton - wird nicht berücksichtigt. Systemgrenze liegt beim Brechen vom Beton (Baustelle oder Werk)
6	Das 3-Säulenprinzip soll konsequent angewendet werden (Gesellschaft / Wirtschaft / Umwelt). Bis jetzt wird nur die Umwelt betrachtet.	Basis SIA 112 / 1 / SNBS / Studie NH3 / EPD.	Die folgenden Kriterien werden angesetzt: Umwelt (Ökobilanzierung): 1. Graue Energie 2. Treibhauspotential 3. Umweltbelastungen durch Herstellung und Entsorgung der Baustoffe Wirtschaft: 4. Baukosten 5. Nutzungs- und Erweiterungsflexibilität 6. Regionale Wertschöpfung Gesellschaft: 7. Schallschutz / Raumakustik 8. Sommerlicher Wärmeschutz 9. Sicherheit und Schutz	N	Wie fließen die Kriterien in die Ergebnisse des Tools? Sind diese klar messbar. Aus Sicht Auftragnehmer können die Kriterien der Bereiche Wirtschaft und Gesellschaft schwer gewichtet werden. Hinweistexte werden eine Information gegeben.	Die genaue Art wie die Kriterien der Bereiche Wirtschaft und Gesellschaft ist noch offen und wird in die weiteren Projektschritte verfeinert.
7	Die Allokation (Zuordnung) der Ausgangsstoffe muss hinterfragt werden und soll im Tool angepasst werden können (SNE 15804). Hüttensand / Klinker / Hochofenschlacke	Die Allokation wird im Rahmen der Datensatzbildung bestimmt. Für das Programm ist die Verwendung von Datensätzen der einzelnen Stoffe vorgesehen.	Diese Anforderung kann nicht umgesetzt werden. Nicht mehr weiter verfolgen.	N	i.O	wird nicht betrachtet
8	Der Beton wird nicht korrekt bewertet. Der Beton soll nicht mehr hauptsächlich über den Zement bewertet werden.	Wenn ein ganzes Bauteil betrachtet wird, fließen automatisch alle Stoffe in die Bilanz mit ein und der Anteil des Zementes wird richtig gewichtet.	Die Werte der Ökobilanz werden gemäss den EPD berechnet und offen ausgewiesen. Die Sekundäreffekte werden über aussagekräftige Hinweise mitgeteilt. Sekundäreffekte siehe Kriterien / EPD.	T / N		Wunsch von cemsuisse ist, dass versucht wird für diese klare und aussagekräftige Ergebnisse/Hinweise zu liefern.
9	Die Systemgrenze muss geöffnet werden.	Nebst der Produktion sind auch die Nutzungsdauer und der Rückbau in die Betrachtung mit einzubeziehen.	Anwendung von EPD.	N		Module der Nutzungsphase sind nicht relevant. (nur B1 - Karbonatisierung und B2- Unterhalt)
10	Das Betontool muss nicht mit bekannten Labels vergleichbar sein. Ziel ist es, damit die Diskussion für eine neue Art und Weise der Beurteilung anzustossen.	Die Methode, welche dem Konzept hinterlegt wird, ist unabhängig von den Grundlagedaten zu erarbeiten.	Das Tool kann mit KBOB- oder EPD-Sätzen bestückt werden.	Ziel	F. Werner Berechnung nach KBOB sieht keinen modularen Aufbau vor.	Rechner basierend auf EPDs.
11	Die Herstellungsart Ortbeton / vorfabrizierte Betonelemente ist in die Beurteilung miteinzubeziehen.	Die Unterschiede für die Ökobilanz sind sehr klein, da der Transport nicht so stark ins Gewicht fällt. Die Kriterien weniger Inventar / kürzere Bauzeit können nicht über die Ökobilanz abgebildet werden.	Die Herstellungsart wird über Sekundäreffekte bewertet. Art wie diese berücksichtigt wird, ist noch offen. Ev. zus. Kriterium nötig.	T / N	methodisch sind Ortbeton/vorfabrizierte Elemente nicht gleich. EN 16757 PKR Beton und Fertigbetonteile Transport ist für vorfabrizierte Elemente tend. negativ.	
12	Der Betonrechner befasst sich mit Zementsorten und der Zusammensetzung der Zuschlagstoffe (natürliche Gesteinskörnung, Betongranulat und Mischgranulat). Der neue Rechner muss umfassender sein.	Wenn ein ganzes Bauteil betrachtet wird, fließen automatisch alle Stoffe in die Bilanz mit ein und der Anteil des Zementes wird richtig gewichtet.	Die Werte der Ökobilanz werden gemäss den EPD berechnet und offen ausgewiesen. Liste der zu berücksichtigenden Stoffe ist zu erstellen. Die Sekundäreffekte werden über aussagekräftige Hinweise mitgeteilt. Sekundäreffekte siehe Kriterien / EPD.	Ziel		
13	Das Tool muss vielseitig sein und zur Bewusstseinsbildung für Beton beitragen.	Das Tool muss aussagekräftige Kriterien aufweisen, die das Bauteil gesamtheitlich betrachten.	Das Bauteil muss umfassend analysiert werden und die zu bedienenden Kriterien müssen aussagekräftige Ergebnisse liefern.	Ziel		

14	Das Tool ist nicht für den aktuellen Markt sondern für die Zukunft (Zeithorizont 5 Jahre) bestimmt.	Nicht alle Grundlagen (EPD) müssen schon vorhanden sein.	Aufzeigen, welche Grundlagen noch fehlen (zukünftige Studien).	-	-
15	Das Tool soll ein Gebäude betrachten und die wesentlichen Kennwerte mit einschliessen (Gründung / vertikale Tragstruktur / horizontale Tragstruktur). Die rechnerische Leistung erfolgt jedoch auf der Ebene Bauteil (Decke).	Mit der Betrachtung auf der Gebäudeebene eröffnen sich viele zusätzliche Faktoren, welche es zusätzlich zu gewichten gilt. Dadurch wird die fokussierte Bearbeitung des massgebenden Bauteils beeinträchtigt.	Die detaillierte Ermittlung der Ökobilanz erfolgt über das massgebende Bauteil, die Decke. Im Konzept wird das weitere Vorgehen für die Betrachtung des gesamten Gebäudes in einem weiteren Schritt aufgezeigt.	Ziel	
16	Für das Konzept sind die folgenden Deckensysteme zu berücksichtigen: Flachdecke schlaff bewehrt Flachdecke vorgespannt Flachdecke mit Hohlkörper Brettstapeldecke mit Überbeton	Eindeutige Aussage über den Umfang erfolgt. Feld konnte eingegrenzt werden.	Nachhaltigkeit: Kriterien der Bauteile definieren.	Ziel	
			Tragwerk: Kriterien der Bauteile definieren.	Ziel	
17	Zielpublikum: CEM Suisse Architekten (SIA Phase 2-31) Nachhaltigkeitsplaner (SIA Phase 2-31) Tragwerksplaner (SIA Phase 2-31) Eine Veröffentlichung ist nicht zwingend.	Es wird ein Spezialistenpublikum angesprochen. Es kann ein breites Fachwissen, jedoch für die einzelnen Fachgebiete (Tragwerk und Nachhaltigkeit) kein Spezialwissen vorausgesetzt werden.	Kriterien müssen allgemeinverständlich abgefasst sein, damit alle Zielgruppen eine gemeinsame Basis haben. (Erklärungen)	Ziel	

ANHANG B MASSGEBENDE GRUNDLAGEN UND ERKENNTNISSE

CEMSUISSE: Grundlagen und Erkenntnisse Entwicklung EDV Tool nachhaltiger Betonbau

Stand: 07.12.2018

Nr.	Titel	Erkenntnisse für Konzept
1	CEM SUISSE Forschungsprojekt NH 2 Nachhaltiges Bauen mit Beton	Diverse Kriterien für das Tool
2	CEM SUISSE Forschungsprojekt NH 3 Beurteilung von Deckensystemen in Beton	<ul style="list-style-type: none"> - Betonflachdecke ist kostengünstig, flexibel, gut in Akustik/Wärmeschutz und Sicherheit. - Betondecke mit Hohlkörper ist nicht wesentlich besser als die Betonflachdecke. - Holzdecken haben zu der Betonflachdecke Vorteile in der Nachhaltigkeit, jedoch Nachteile in der Nutzungsflexibilität und den Kosten. - der Beton wird in der Praxis als nicht Nachhaltig angesehen. - Einsatzparameter der Bauteile. - Beurteilungskriterien: Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft.
3	CEM SUISSE Forschungsprojekt NH 6 Zielkonflikte Nachhaltiges Bauen	<ul style="list-style-type: none"> - RC Beton ist teurer da mehr Bindemittel erforderlich ist. - RC Zuschlagstoff ist in der CH unterschiedlich verfügbar. - Ökologisch optimierte RC Betone sind schwieriger zu Verarbeiten und weniger robust. - E Modul des RC Betons kann nicht garantiert werden. - CEM III / B hat einen geringen Karbonatisierungswiderstand / geringere Abbindewärme / langsames Abbinden / erhöhtes Trockenschwinden - Der Gesamtheitliche Prozess muss betrachtet werden.
4	Prof. Dr. Walter Kaufmann, " Zur Vorgabe der Zementart CEM III/B für Hochbaubetone", tec 21, 2016	<ul style="list-style-type: none"> - CEM III/B erhärtet langsamer daraus ergibt sich längeres Vorhalten des Inventars. - Für NPK A und B Betone kann der vorgegebene Karbonatisierungswiderstand nicht eingehalten werden. Erhöhtes Korrosionsrisiko. - Dauerhaftigkeit des Betons wird angezweifelt. - Gemäss Kaufmann muss der Beton nach Zusammensetzung bestellt werden....
5	prSIA 2055 "Deklaration umwelt- und gesundheitsrelevanter Merkmale von Bauprodukten"; Zürich 2015	Normentwurf steht nicht mehr zur Verfügung.
6	SN EN 15804+A1:2013; SIA 490.052+A1:213, "Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte". 2013	Norm welche die Erstellung sowie den Einsatz von EPD regelt.
7	Prof. Thomas Vogel, ETH Zürich: "Experimentelle Untersuchung zum Ermüdungsverhalten von kreuzweise bewehrten Stahlbetonplatten". 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Die Einwirkung Ermüdung wird unterschätzt, da bis Dato noch keine Schäden bekannt sind, oder diese falsch interpretiert wurden. - Die Ermüdung ist noch wenig erforscht. Schäden infolge Ermüdung können bereits bei einer Einwirkung welche lediglich 25% des Tragwiderstandes entsprechen auftreten. - Wie im bericht nachgewiesen weisen Ermüdungsschäden ein duktilen Versagen auf. Durch Umlagerungen kann die Resttragfähigkeit des Bauteils aktiviert werden. Dadurch hat man beim Erkennen des Schadens noch in der Regel genügend Zeit für Massnahmen. - Schäden infolge Ermüdung künden sich durch Risse, Verformungen und Abplatzungen an.
8	Prof. Dr. Walter Kaufmann, ETH Zürich: "Betongelenke - Stand der Technik und Entwicklungspotential". 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Für Betongelenke gibt es nach neuen Normen keine Berechnungsgrundsätze. - Bei Betongelenken ist eine gute Umschnürringbewehrung zwingend erforderlich. - Betongelenke haben eine höhere Kapazität aufgrund des 3 dimensionalen Spannungszustandes. - Betongelenke haben einen geringeren Wartungsaufwand als Stahlgelenke.
9	Dr. Andreas Leemann, EMPA; Dr. Fritz Hunkeler TFB, Wildegg; Dr. Heiner Widmer cemsuisse; Berechnung der CO2-Aufnahme während der Nutzungsdauer zementgebundener Baustoffe.	<ul style="list-style-type: none"> - Ist die Zusammensetzung des Zementes bekannt kann die CO2 Bindungskapazität relative einfach ermittelt werden. - Für den CH Durchschnittszement (CEM I, CEM II/A und CEM II/B) existiert eine Modellrechnung mit den erforderlichen Grafiken in Abhängigkeit zu der Bauteildicke aus welcher einfach die CO2 Aufnahme abgelesen werden kann

10	Dr. Andreas Leemann, EMPA "Karbonatisierungswiderstand von Recyclingbeton". 2017	<ul style="list-style-type: none"> - RC-Betone weisen ein 10% höheren Karbonatisierungskoeffizient auf. Diese entstehen durch den teilweise bereits karbonatisierten Zuschlagstoff. - Daher muss bei den NPK B+C Betone der WZ Wert reduziert, sprich die Zementmenge erhöht werden. - Der Wassersättigungsgrad des Zuschlagstoffes hat keinen Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung und auf den Karbonatisierung. - Wird RC Beton mit einem CEM III/B eingesetzt, wird ein wesentlich höherer Zementgehalt benötigt um die erforderlichen Werte für den Karbonatisierungswiderstand zu erreichen. Daher neigt der Beton zu Überfestigkeit was den Einsatz von mehr Bewehrung erforderlich macht. - Eine längere Nachbehandlung erhöht im allgemeinen den Karbonatisierungswiderstand.
11	Prof. Dr. Aurelio Muttoni et al, EPF Lausanne: "Seismic behaviour of flat slabs". 2015	Für mittelhohe Gebäude welche im Grund- und im Aufriss regelmässig sind, sind Erdbebeneinwirkungen für Flachdecken nicht kritisch.
12	Dr. Andreas Leemann, P. Nygaard, EMPA: "Zusammenhang zwischen Karbonatisierungswiderstand, CO2-Pufferkapazität und Diffusität von Mischzementen". 2014	Der Reduktion von Klinker bei der Zementherstellung sind grenz gesetzt. Bei Mischzementen gibt es ein reduzierter Karbonatisierungswiderstand. Dieser wirkt sich negativ auf die Lebensdauer des Bauteils aus. Die Aufnahme von CO2 erfolgt lediglich bis zu einer Wassersättigung von 60%.
13	Dr. Sandy Schubert, Cathleen Hoffmann, EMPA: "Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton mit Mischgranulat". 2011	<ul style="list-style-type: none"> - Betone mit RC Granulat als Zuschlagstoff sind weniger lang verarbeitbar. - Mit Mischgranulaten kann maximal ein NPK B Beton erzielt werden. - Für einen NPK A Beton benötigt man 40 kg pro m3 mehr Zementmenge. - Betone mit RC Mischgranulat haben einen tieferen E Modul. - Das Schwindmass des RC Betons ist gegenüber eine herkömmlichen Betons höher. - Das Kriechverhalten der RC Betone ist höher. - Die Tragsicherheitsbeiwerte von RC Betone mit Mischgranulat sind durchwegs schlechter als bei Beton mit natürlicher Gesteinskörnung.
14	Prof. Thomas Vogel, Patrick Fehlmann, ETH-Zürich: "Experimentelle Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten von Stahlbetonbrücken". 2011	Keine Erkenntnisse.
15	Dr. Pietro Lura, Dr. Andreas Leemann, EMPA: "Frühschwinden von Beton". 2011	<ul style="list-style-type: none"> - CEM I 32.5 ist gut gegen das Frühschwinden. Bei den restlichen Zementen kann kein Unterschied im Bezug auf das Frühschwinden erkannt werden. - Ein WZ über 0.55 oder unter 0.45 ist gut für das Frühschwinden. - Filler, Flugasche und Microsilica also feinkörnige Zuschlagstoffe sind fördern das Frühschwinden. - Kurze Transportwege des Betons verhindern das Frühschwind und somit anzustreben.
16	Prof. Dr. Aurelio Muttoni et al, EPF Lausanne: "Verwendung von selbstverdichtendem Beton für Flachdecken". 2011	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz ist möglich. Studie untersucht im wesentlichen das Durchstanzverhalten von SCC Beton zu Normalbeton. - Der Durxhstanzwiderstand von SCC Beton Grösstkorn d= 16mm ist ungefähr gleich dem Durchstanzwiderstand einem Normbeton mit Grösstkorn d=32mm wenn für den Normbeton eine niedrige Qualität gewählt wurde. - Der Durchstanzwiderstand kann nach der SIA 262 nachgewiesen werden. Für Grösstkorn kleiner 8mm ist dre Nachweis jedoch konservative.
17	Dr. Andreas Leemann, Cathleen Hoffmann, EMPA: "Trockenschwinden von Beton". 2009	<ul style="list-style-type: none"> - Das Trockenschwinden kann am besten durch die Steuerung der Wassermenge beeinflusst werden. - Eine Reduktion des Zementleimes bringt wenig. - Die besten Ergebnisse in Bezug auf das Trockenschwinden werden mit der Zementsorte CEM II/21:2B-M /V-LL) erzielt.
18	Prof. Susanne Kytzia et al, Hochschule für Technik Rapperswil "Vorzüge des nachhaltigen Bauens mit Beton". 2009	Keine Erkenntnisse. Für das Konzept entnommen.
19	Prof. Susanne Kytzia, Prof Simone Stürwald, Hochschule für Technik Rapperswil: "Zielkonflikte Nachhaltiges Bauen", 2017	Keine Erkenntnisse. Für das Konzept entnommen.

ANHANG C LAYOUT KRITERIEN

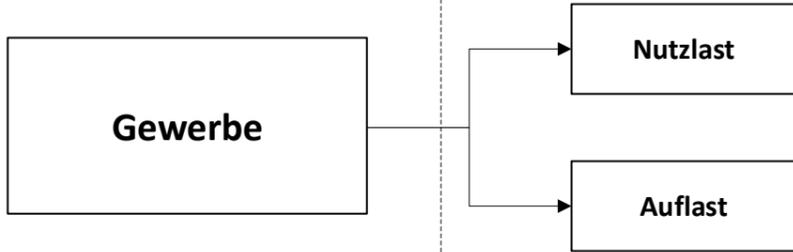
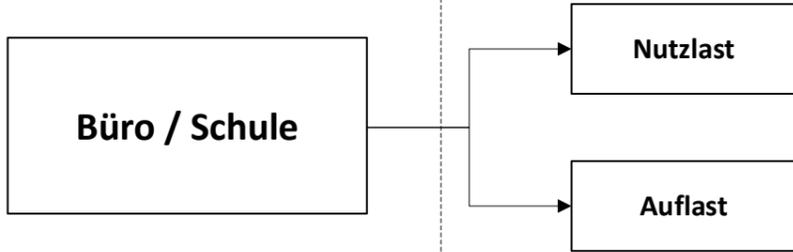
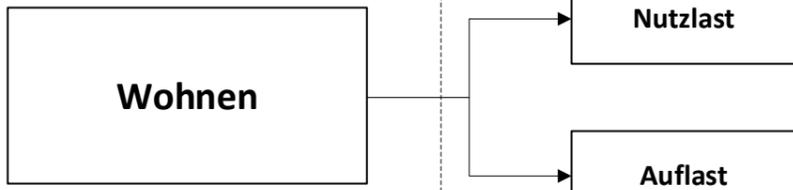
Nutzung

Stufe 1

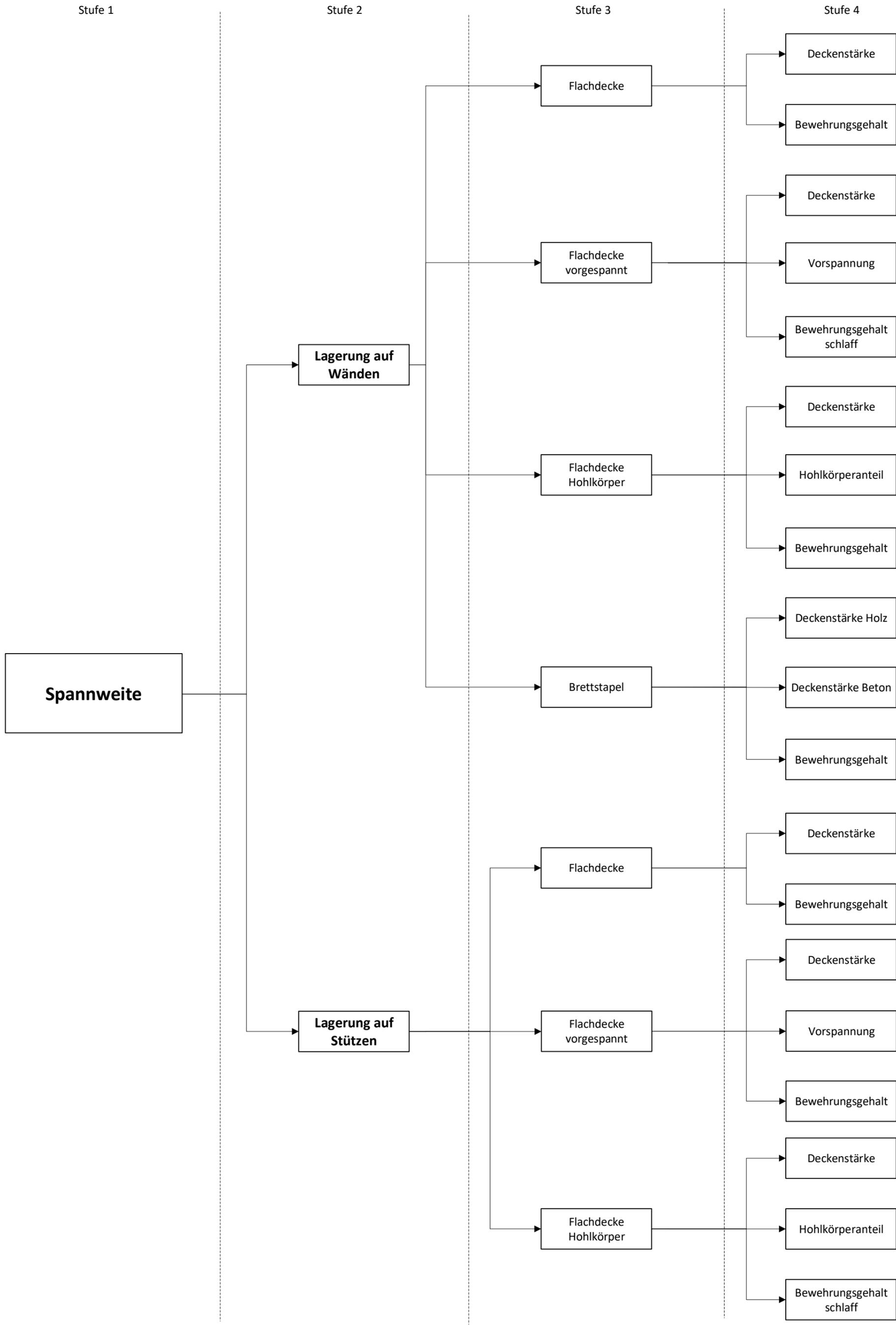
Stufe 2

Stufe 3

Stufe 4



Deckenkonstruktionen



Beton

Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

Stufe 4

**Natürliche
Gesteinskörnung**

**Rezyklierte
Gesteinskörnung**

Sorte B

Sorte C

**C 25/30
RC-C**

**C 30/37
RC-C**

glimmerhaltiges
Gestein

Kalk

Alluvialkies

glimmerhaltiges
Gestein

Kalk

Alluvialkies

CEM II/A / RC-GKC 50%

CEM II/B / RC-GKC 50%

CEM III/B / RC-GKC 50%

CEM II/A / RC-GKC 35%

CEM II/B / RC-GKC 35%

CEM III/B / RC-GKC 35%

CEM II/A

CEM II/B

CEM III/B

Speichermasse

Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

Stufe 4

nicht nötig

einseitig

beidseitig

unten
-> No Go Brettstapel

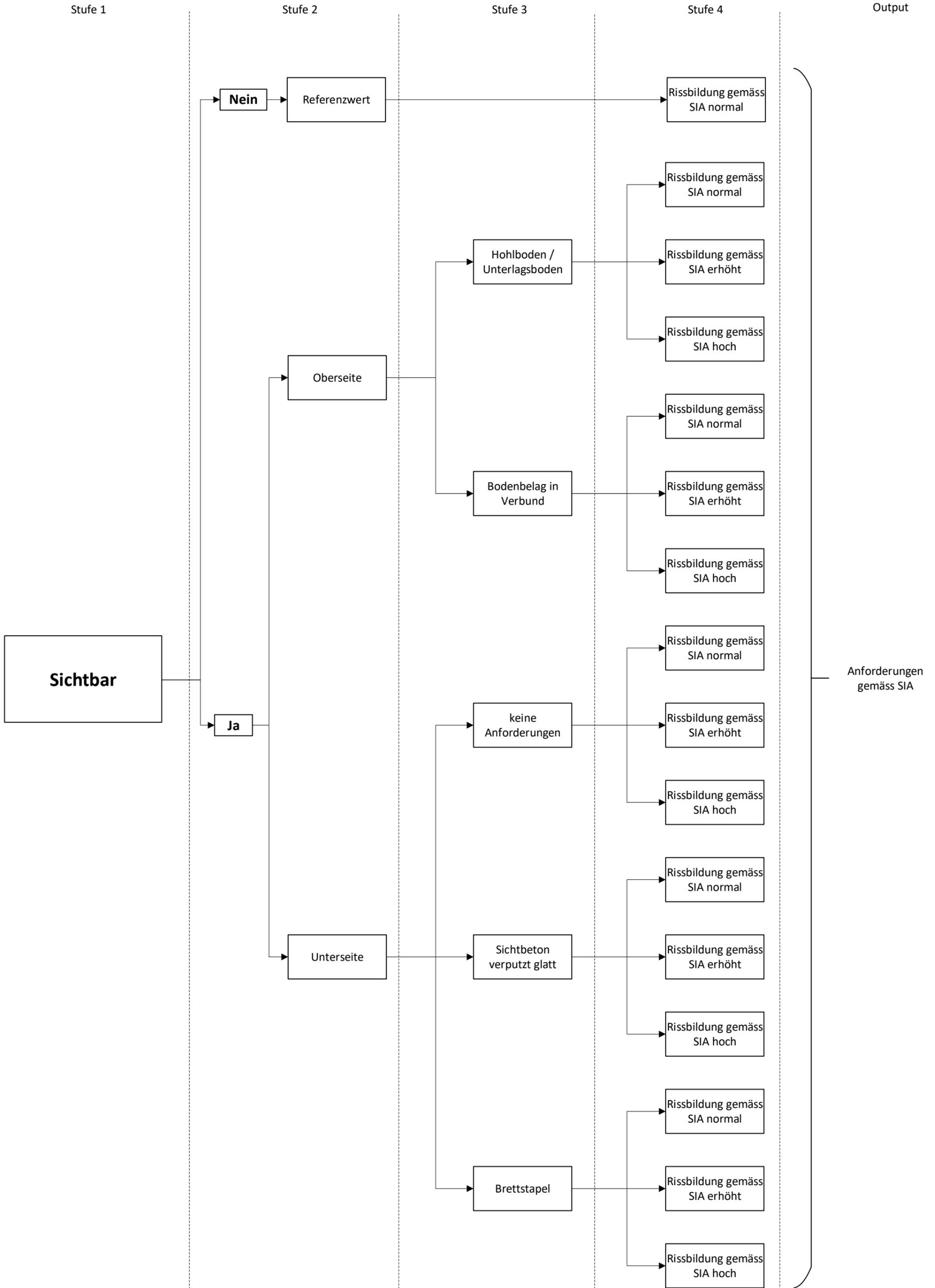
oben Unterlagsboden
≥ 10 cm

oben Tragwerk

oben Unterlagsboden
≥ 10 cm und sichtbar

oben Tragwerk und
unten sichtbar

Oberflächenqualität



Einlagen

Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

Stufe 4

keine Einlagen

wenige Einlagen
(z.B. Grundversorgung /
vereinzelte Abwasserrohre
 $h \geq 21$ cm)

Minimale erforderliche
Deckenstärke cm

viele Einlagen
(z.B. gesamte E-Versorgung /
kontrollierte Lüftung und
Abwasserleitungen
 $h \geq 24$ cm)

Minimale erforderliche
Deckenstärke cm

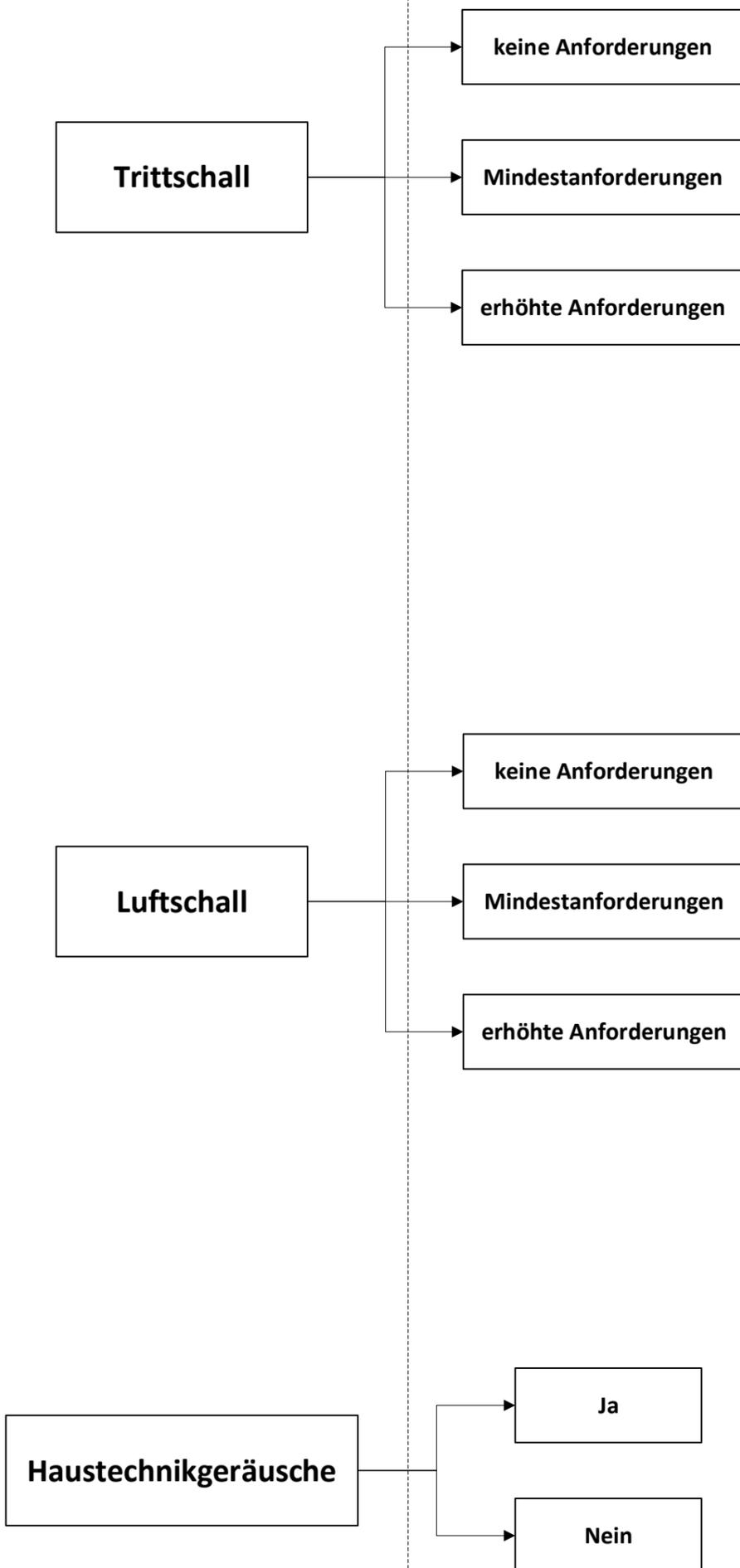
Schallschutz

Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

Stufe 4



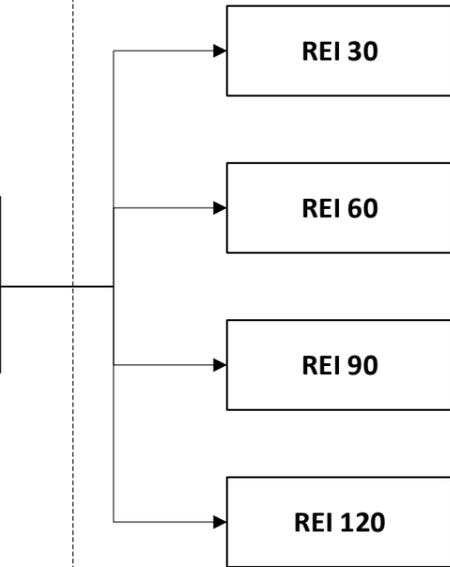
Brandschutz

Stufe 1

keine Anforderungen

Stufe 2

Anforderungen



Stufe 3

Stufe 4

Expositionsklasse

Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

Stufe 4

Innenraum

XC1 trocken oder
ständig nass

XC2 nass, selten
trocken

XC3 mässig
feucht

XC4 wechselnd
nass und trocken

XD1 trocken oder
ständig nass

XD2a nass, selten
trocken

XD2b mässig
feucht

XD3 wechselnd
nass und trocken

Bewehrungsüberdeckung
Überdeckung Vorspannung

Aussenraum

XC1 trocken oder
ständig nass

XC2 nass, selten
trocken

XC3 mässig
feucht

XC4 wechselnd
nass und trocken

XD1 trocken oder
ständig nass

XD2a nass, selten
trocken

XD2b mässig
feucht

XD3 wechselnd
nass und trocken

Bewehrungsüberdeckung
Überdeckung Vorspannung

**ANHANG D PRÄSENTATION A. BÄRTSCH WMM INGENIEURE AG
VOM 28.8.2018**

Nachhaltigkeits-Tool

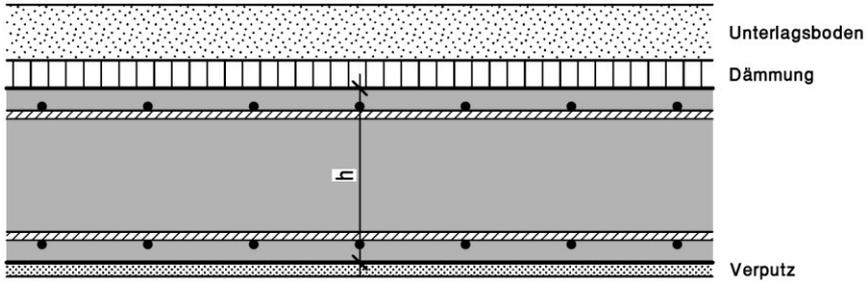
Konzept

Rückblick

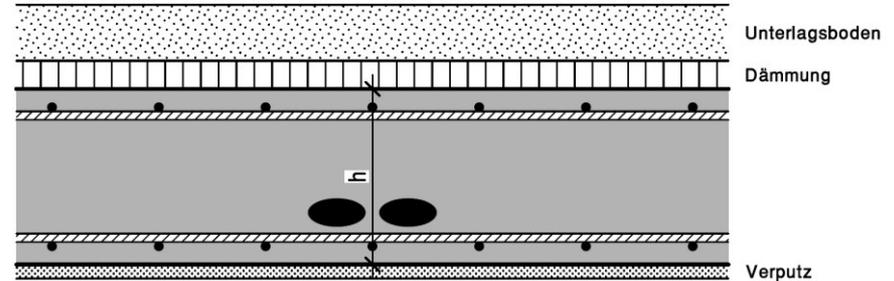
- Bauteile bestimmt
- Programmstruktur definiert
- Eingabegrößen festgelegt

Deckentypen Flachdecke

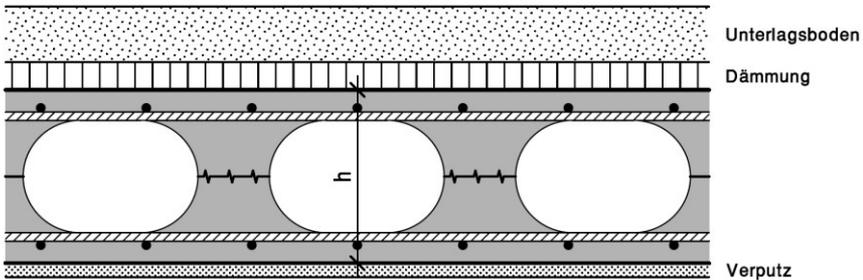
schlaff bewehrt:



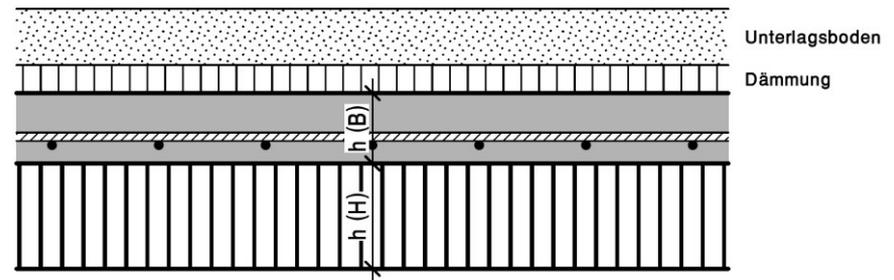
vorgespannt:



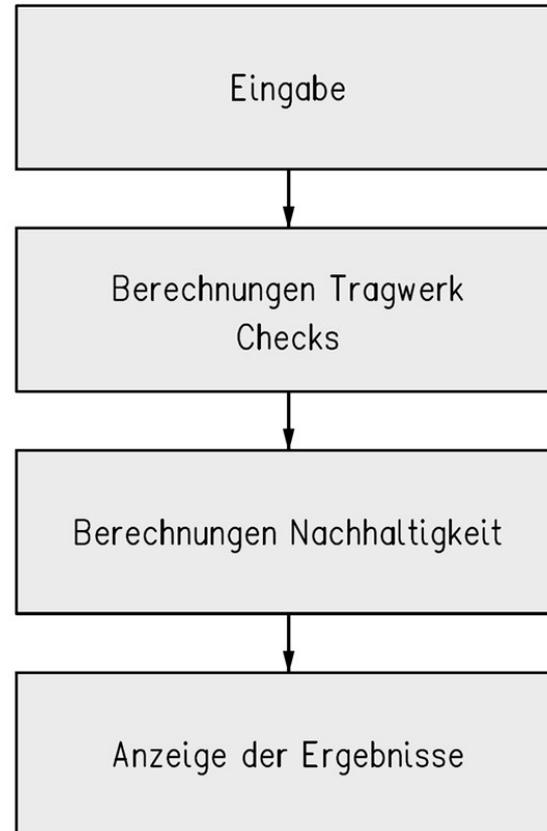
mit Hohlkörper:



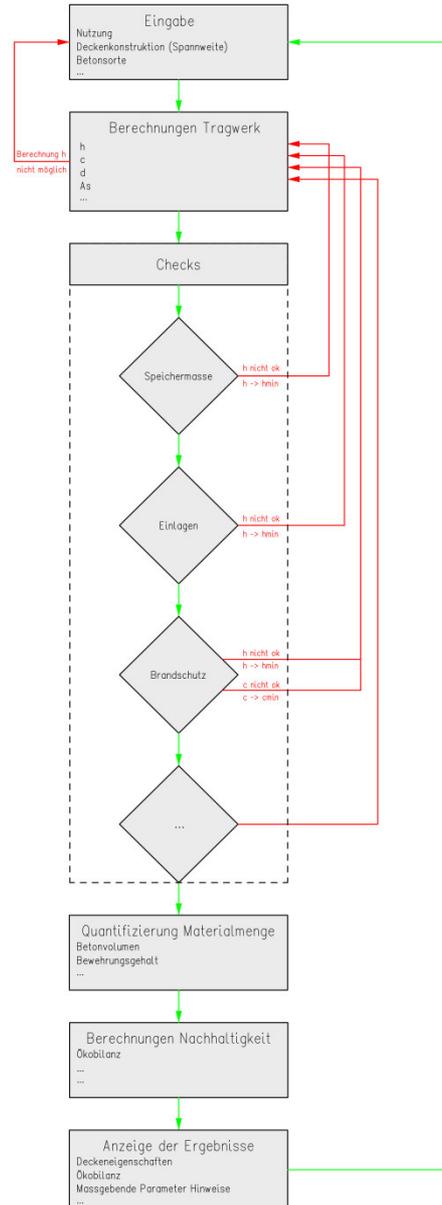
Holz-Beton-Verbund:



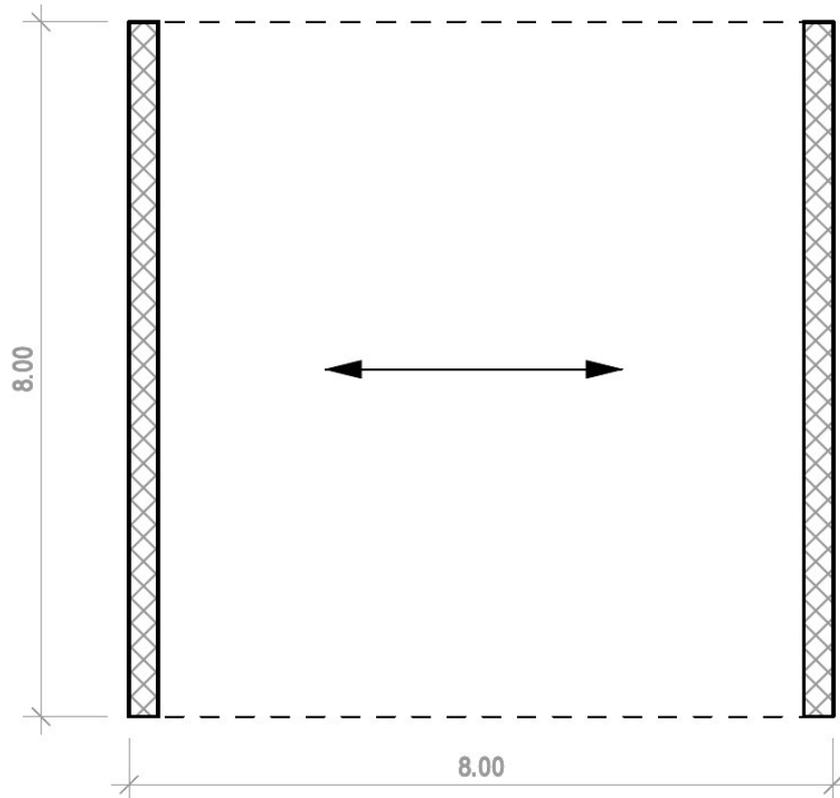
Programmstruktur / Grobkonzept



Ablauf



Beispiel



System:

Flachdecke linienförmig gelagert. Einseitig freier Deckenrand, einseitig Innenaufleger durchlaufend auf nächsten gleichgrosses Deckenfeld.

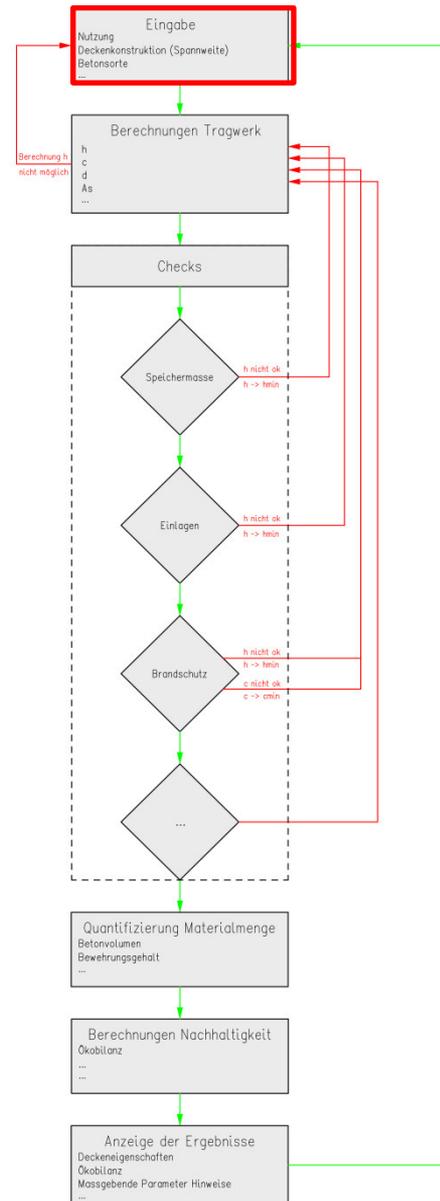
Gesucht:

Deckenstärke und Bewehrungsgehalt.

Gegeben:

Spannweite	8.0m
Brandwiderstand	REI 60
Nutzung	Büro
Expositionsklasse	Innenraum
Beton	Sorte B CEM II

Eingabe



Eingabe- und Ausgabebildschirm

Nutzung

- Wohnen
- Büro
- Gewerbe

Fläche Bauteil: m²

Deckentyp

Spannweite: m

- Lagerung auf Wänden
- Lagerung auf Stützen

Beton

- Natürliche Gesteinskörnung
- Rezyklierte Gesteinskörnung

Speichermasse

- nicht nötig
- einseitig
- beidseitig

Oberflächenqualität

- sichtbar
- nicht sichtbar

Einlagen

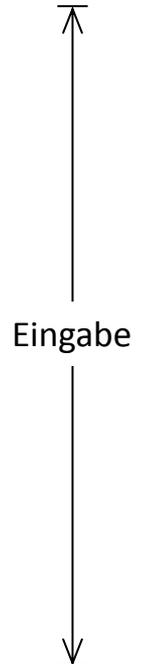
- keine Einlagen
- wenige Einlagen
- viele Einlagen

Brandschutz

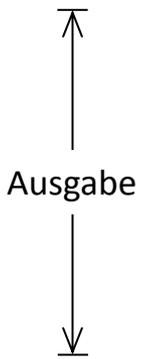
- Keine Anforderungen
- Anforderungen

Expositionsklasse

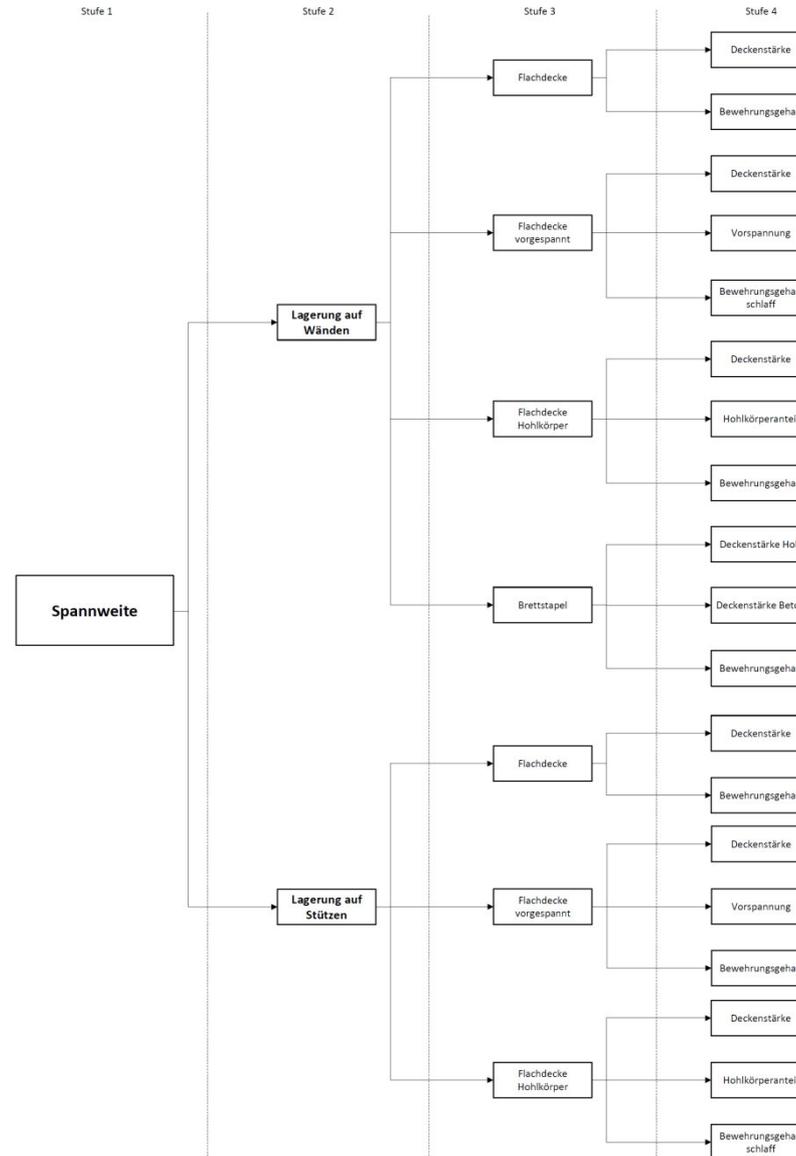
- Innenraum
- Aussenraum



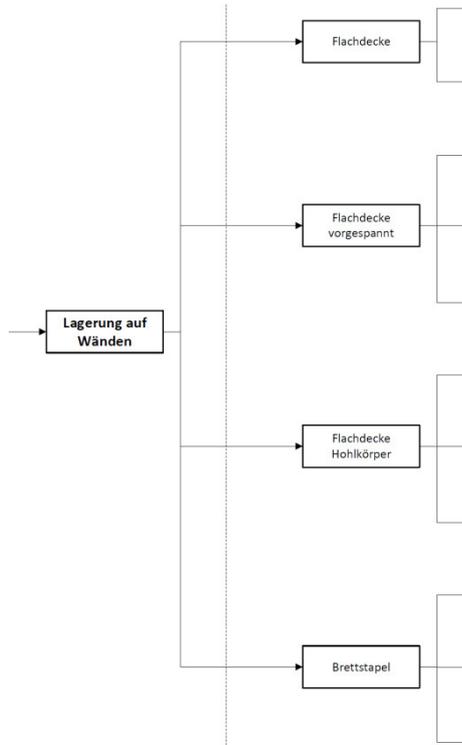
<p>Ergebnisse:</p> <p>Deckeneigenschaften:</p> <p>gewählte Materialien:</p> <p>Betonrezeptur:</p> <p>Bewehrungsgehalt:</p> <p>E-Modul:</p> <p>Spezialitäten (Durchstangen, Brettstapel, Hohlkörper):</p> <p>Bauteildicke:</p> <p>Spannweite:</p> <p>Ökobilanz:</p> <p>Indikatoren EPD:</p>	<p>Hinweise:</p> <p>Bauzeit:</p> <p>Zementsorte:</p> <p>CEM I:</p> <p>CEM II/A-LL:</p> <p>CEM III:</p> <p>Jahreszeit:</p> <p>Sommer:</p> <p>Winter:</p> <p>Flexibilität:</p>	<p>regionale Wertschöpfung:</p> <p>regionale Verfügbarkeit der gewählten Rohstoffe:</p> <p>Massgebende Parameter:</p>
---	---	---



Eingabestufen



Eingabe Deckentyp



Deckentyp

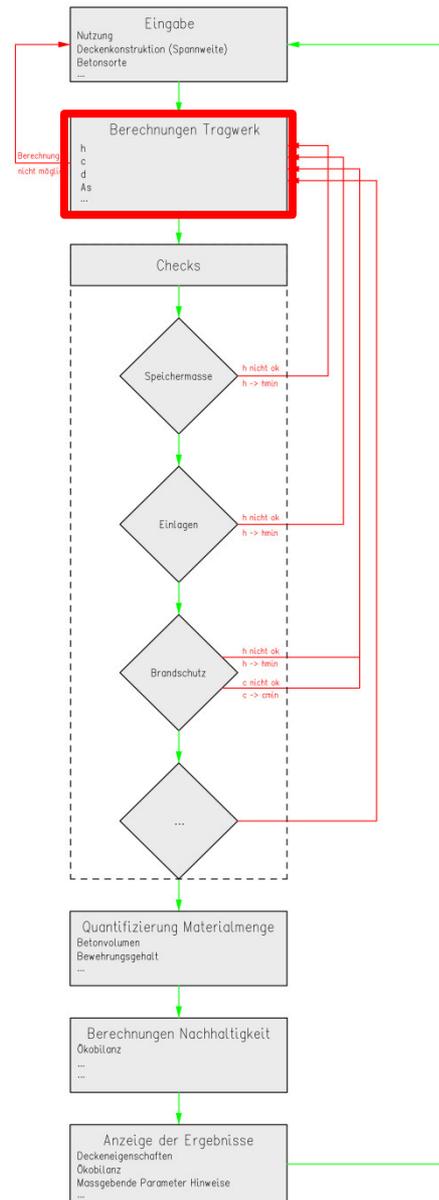
Spannweite: m

- Lagerung auf Wänden
 - Flachdecke schlaff bewehrt
 - Flachdecke vorgespannt
 - Flachdecke Hohlkörper
 - Brettstapeldecke mit Überbeton
- Lagerung auf Stützen

Eingabe

<p>Nutzung</p> <p><input type="checkbox"/> Wohnen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Büro</p> <p>Nutzlast: 300 kg/m² Auflast: 300 kg/m²</p> <p><input type="checkbox"/> Gewerbe</p> <p>Fläche Bauteil: <input type="text" value="64"/> m²</p>	<p>Deckentyp</p> <p>Spannweite: <input type="text" value="8"/> m</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Lagerung auf Wänden</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Flachdecke schlaff bewehrt</p> <p><input type="checkbox"/> Flachdecke vorgespannt</p> <p><input type="checkbox"/> Flachdecke Hohlkörper</p> <p><input type="checkbox"/> Brettstapeldecke mit Überbeton</p> <p><input type="checkbox"/> Lagerung auf Stützen</p>	<p>Beton</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Natürliche Gesteinskörnung</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sorte B</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Kies</p> <p><input type="checkbox"/> CEM II A</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> CEM II B</p> <p><input type="checkbox"/> CEM III B</p> <p><input type="checkbox"/> Gebrochen</p> <p><input type="checkbox"/> Glümmertartig</p> <p><input type="checkbox"/> Sorte C</p> <p><input type="checkbox"/> Rezyklierte Gesteinskörnung</p>	<p>Speichermasse</p> <p><input type="checkbox"/> nicht nötig</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> einseitig</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> unten</p> <p><input type="checkbox"/> oben Unterlagsboden >= 10cm</p> <p><input type="checkbox"/> oben Tragwerk</p> <p><input type="checkbox"/> beidseitig</p>
<p>Oberflächenqualität</p> <p><input type="checkbox"/> sichtbar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> nicht sichtbar</p>	<p>Einlagen</p> <p><input type="checkbox"/> keine Einlagen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> wenige Einlagen</p> <p><input type="checkbox"/> viele Einlagen</p>	<p>Brandschutz</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Anforderungen</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Anforderungen</p> <p><input type="checkbox"/> REI 30</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> REI 60</p> <p><input type="checkbox"/> REI 90</p> <p><input type="checkbox"/> REI 120</p>	<p>Expositionsklasse</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Innenraum</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> XC1 trocken oder ständig nass</p> <p><input type="checkbox"/> XC2 nass, selten trocken</p> <p><input type="checkbox"/> XC3 mässig feucht</p> <p><input type="checkbox"/> XC4 wechselnd nass und trocken</p> <p><input type="checkbox"/> Aussenraum</p>
<p>Ergebnisse:</p> <p>Deckeneigenschaften: gewählte Materialien: Betonzepatur: Bewehrungsgehalt: F-Modul: Spezialitäten (Durchstanzen, Brettstapel, Hohlkörper): Bauteildicke: Spannweite: Ökobilanz: Indikatoren EPD:</p> <p>Hinweise:</p> <p>Bauzeit: Zementsorte: CEM I: CEM II/A-LL: CEM III: Jahreszeit: Sommer: Winter:</p> <p>regionale Wertschöpfung: regionale Verfügbarkeit der gewählten Rohstoffe:</p> <p>Flexibilität:</p> <p>Massgebende Parameter:</p>			

Berechnungen Tragwerk



Berechnungen Tragwerk

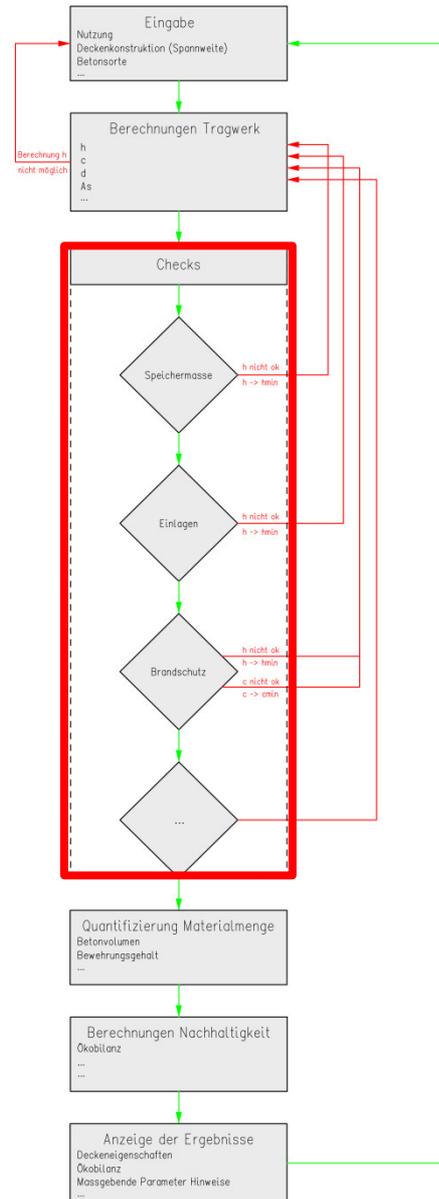
Bewehrungsüberdeckung: 20mm (*Expositionsklasse XC1*)

Deckenstärke: $\frac{8m}{40} = 0.2m$

Statische Höhe: Deckenstärke – Bewehrungsüberdeckung – 0.5cm = 17.5cm

Maximale Verformung: 28mm

Checks



Checks

Check Speichermasse:

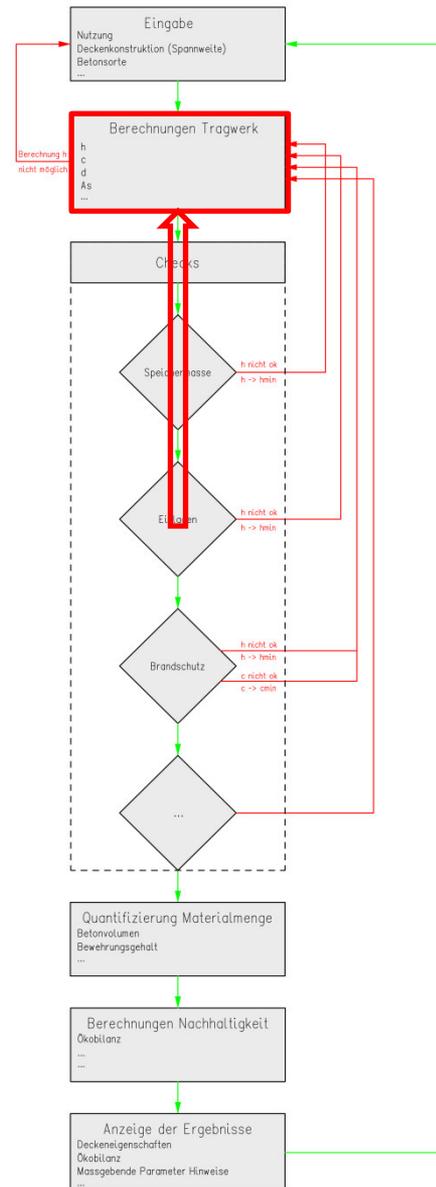
Deckenstärke 20cm \geq **10cm**? \rightarrow ok! ✓

Check Einlagen:

Deckenstärke 20cm \geq **21cm**? \rightarrow nicht ok! ✗

\Rightarrow Deckenstärke auf 21cm erhöhen

2. Berechnungen Tragwerk



2. Berechnungen Tragwerk

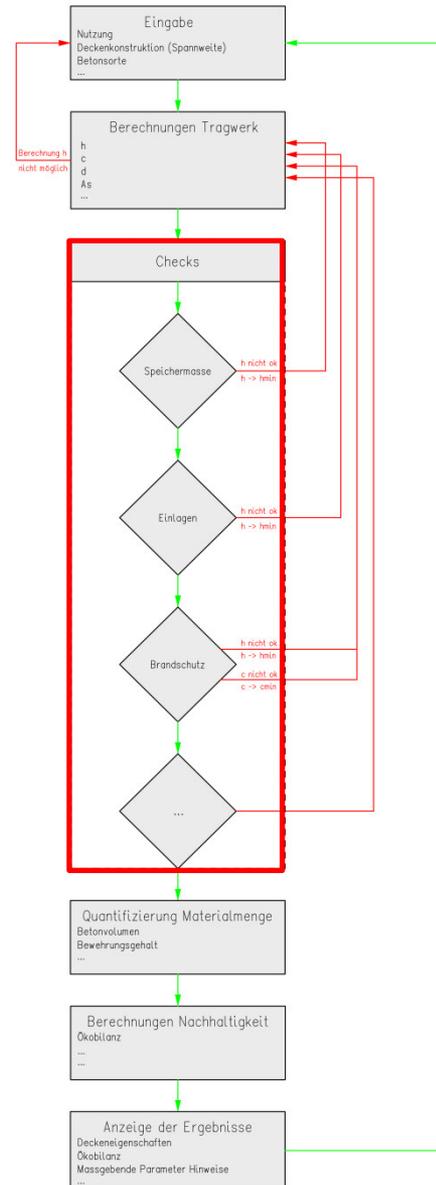
Bewehrungsüberdeckung: 20mm (*unverändert*)

Deckenstärke: 21cm

Statische Höhe: Deckenstärke – Bewehrungsüberdeckung – 0.5cm = 18.5cm

Maximale Verformung: 24mm

2. Checks



2. Checks

Check Speichermasse:

Deckenstärke 21cm \geq **10cm**? \rightarrow ok! ✓

Check Einlagen:

Deckenstärke 21cm \geq **21cm**? \rightarrow ok! ✓

Check Brandschutz:

Deckenstärke 21cm \geq **15cm**? \rightarrow ok! ✓

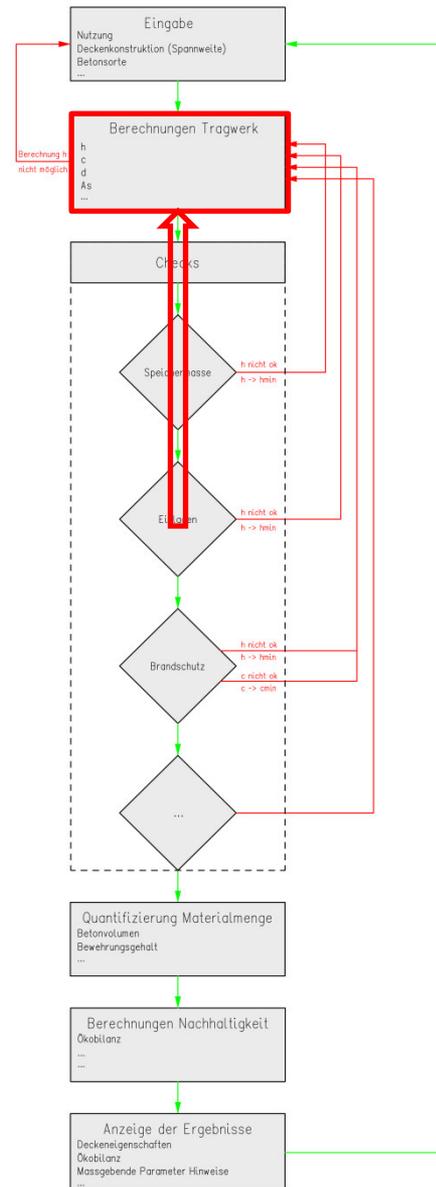
Bewehrungsüberdeckung 2cm \geq **2cm**? \rightarrow ok! ✓

Check Verformung:

Maximale Verformung 24mm \leq $\frac{8000\text{mm}}{350} =$ **23mm**? \rightarrow nicht ok! ✗

\Rightarrow Vorschlag: Deckenstärke auf 22cm erhöhen

3. Berechnungen Tragwerk



3. Berechnungen Tragwerk

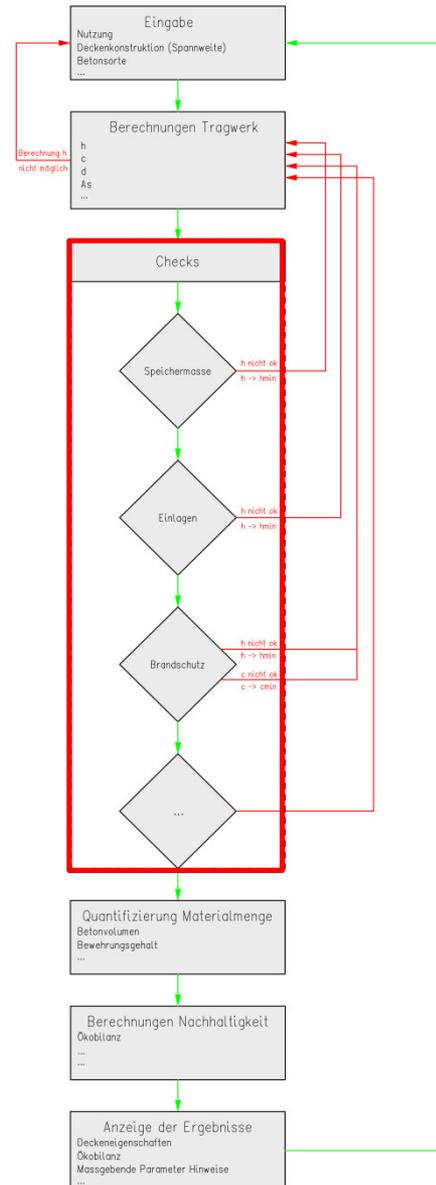
Bewehrungsüberdeckung: 20mm (*unverändert*)

Deckenstärke: 22cm

Statische Höhe: Deckenstärke – Bewehrungsüberdeckung – 0.5cm = 19.5cm

Maximale Verformung: 22mm

3. Checks

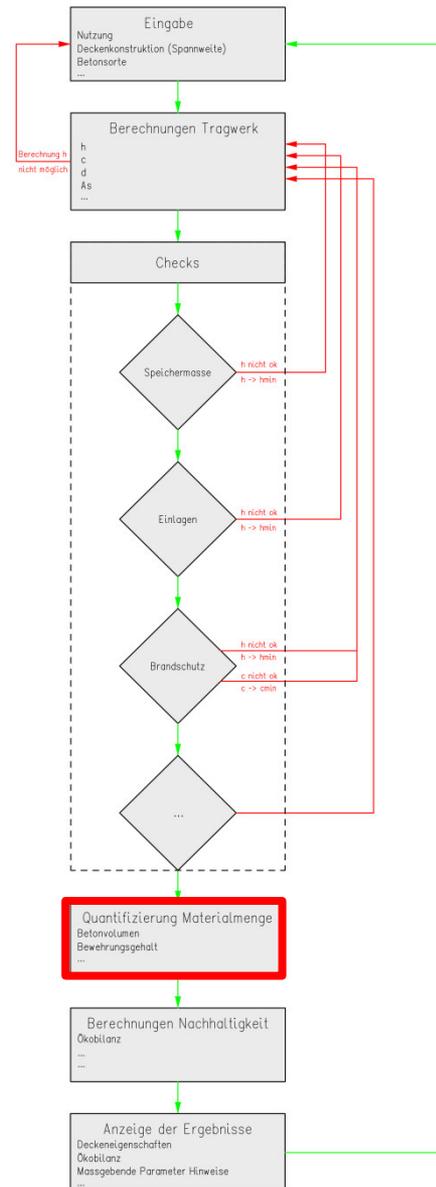


3. Checks

Check Verformung:

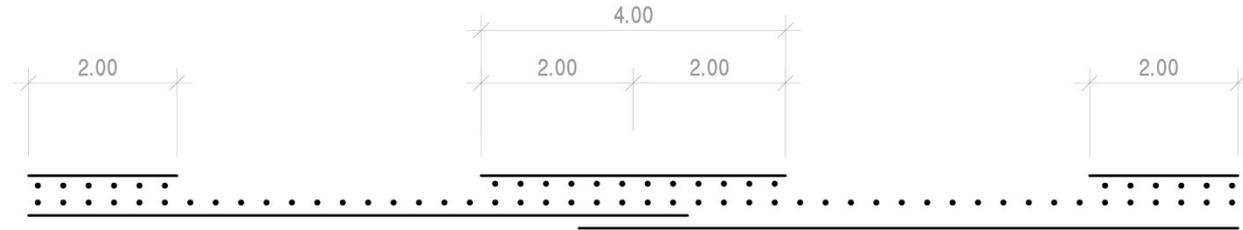
Maximale Verformung $22\text{mm} \leq \frac{8000\text{mm}}{350} = 23\text{mm?} \rightarrow \text{ok! } \checkmark$

Quantifizierung Materialmenge

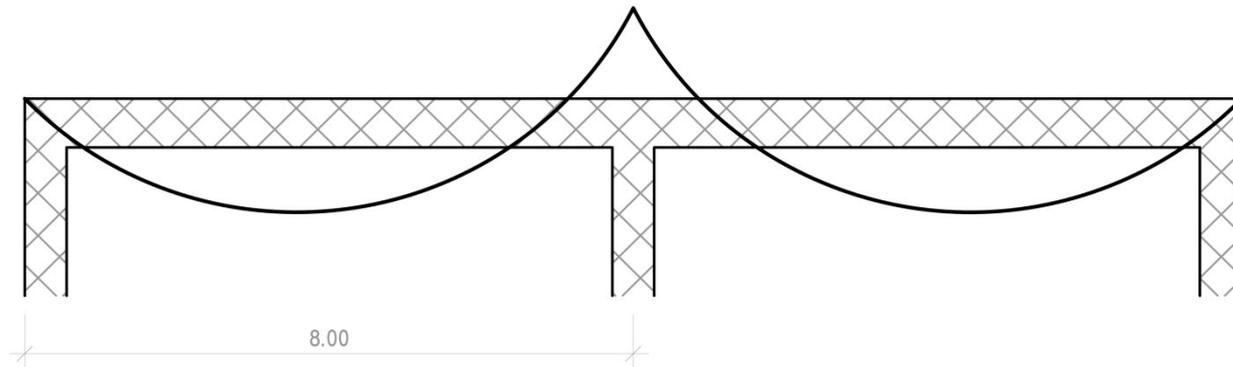


Bewehrung

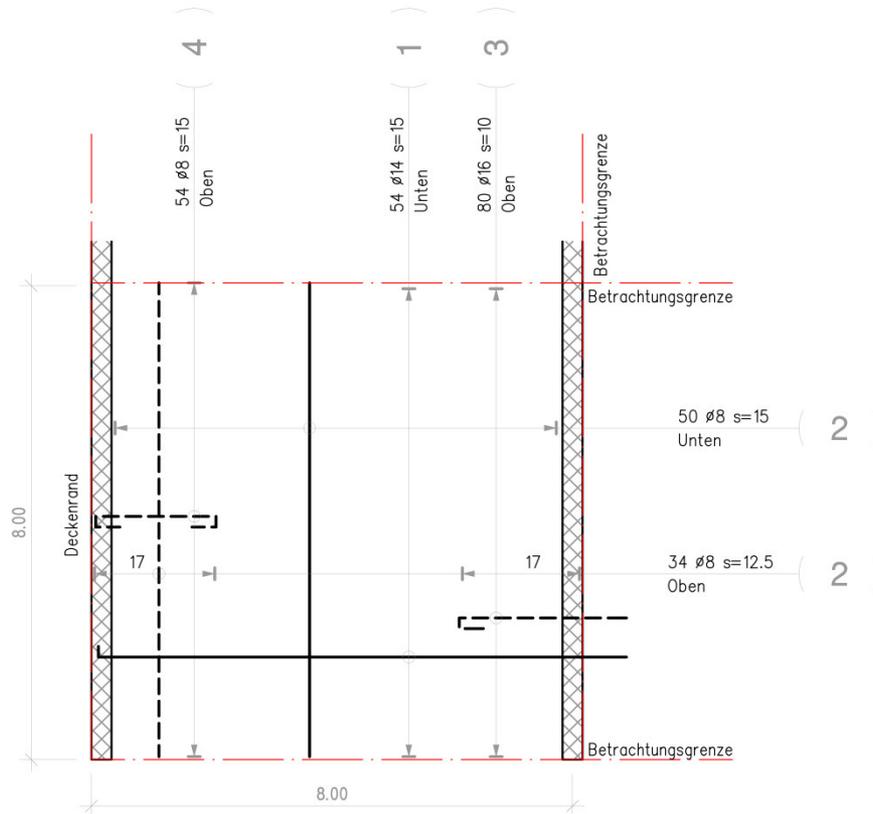
Bewehrung:



Biegemoment:



Bewehrungsgehalt und Betonmenge



Bewehrungsgehalt:

95 kg/m³

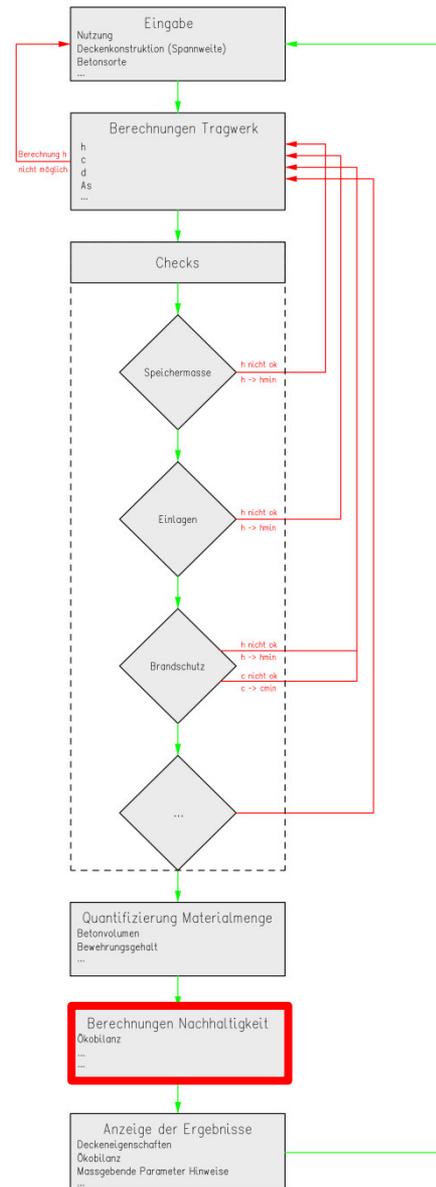
Pro Fläche: 21 kg/m²

Gesamtmenge: 1343 kg

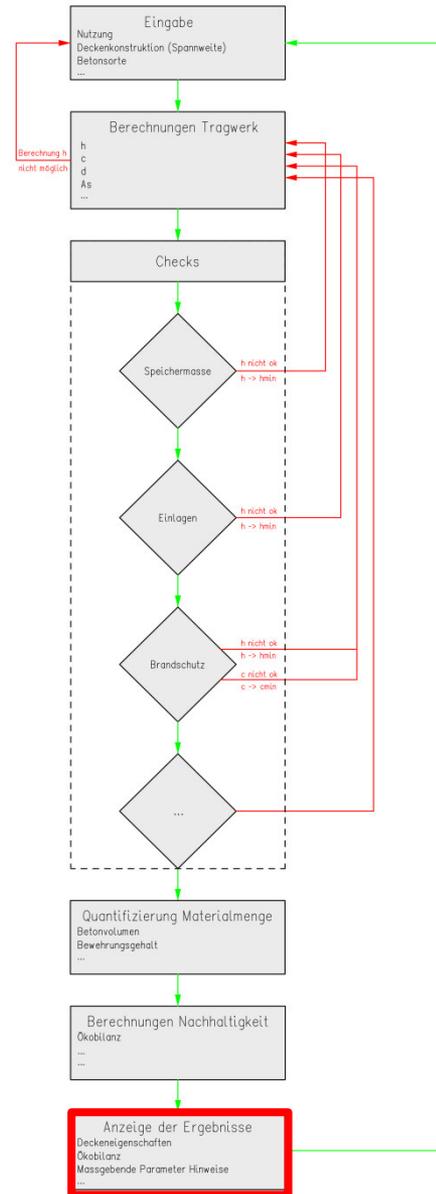
Betonmenge:

Fläche * Deckenstärke = 14 m³

Berechnungen Nachhaltigkeit



Anzeige der Ergebnisse



Anzeige der Ergebnisse

Ergebnisse:

Deckeneigenschaften:

gewählte Materialien:

Betonrezeptur: Sorte B, Natürliche Gesteinskörnung, Kies, CEM II B
Bewehrungsgehalt: 95 kg/m³
E-Modul: 35'280 N/mm²

Bauteildicke: 22cm
Spannweite: 8m

Ökobilanz:

Indikatoren EPD: ...

Hinweise:

Um das Bauteil weiter zu optimieren, ist der Einsatz einer Hohlkörperdecke zu prüfen

Flexibilität:

Durch die linienförmige Auflagerung nur bedingt gegeben

regionale Wertschöpfung:

regionale Verfügbarkeit der gewählten Rohstoffe ist gegeben

Massgebende Parameter:

Verformung ist massgebend
Einlagen

ANHANG E AUFWANDSCHÄTZUNG IT FÜR ERSTELLUNG TOOL

Aufwandschätzung

Projekt 'Tool Beurteilung Nachhaltigkeit Betonbauten'

Tage Ansatz/h ab CHF

Ref.	Variante einfach	ca. 20'000
1	Anforderungsdefinition, Analyse, Spezifikation	
2	Programmierung	
3	Projektleitung/Kommunikation/Dokumentation	
4	Testen	
5	Inbetriebnahme, Produktivschaltung	
Ref.	Variante mittel	ca. 40'000
6	Anforderungsdefinition, Analyse, Spezifikation	
7	Programmierung	
8	Informationswebseite (CMS-basiert)	
9	Projektleitung/Kommunikation/Dokumentation	
10	Testen	
11	Inbetriebnahme, Produktivschaltung	
Ref.	Variante umfassend	ca. 65'000
12	Anforderungsdefinition, Analyse, Spezifikation	
13	Programmierung	
14	Informationswebseite (CMS-basiert)	
15	Projektleitung/Kommunikation/Dokumentation	
16	Testen	
17	Inbetriebnahme, Produktivschaltung	
Ref.	Optionen	
18	Payment (Bezahlösung für Firmen- und/oder Privatkunden)	t.b.d.
19	Variantenvergleich	t.b.d.
20	BIM Import/Export	t.b.d.
Wiederkerende Kosten (jährliche Betriebskosten)		4'800
	Payment (Bezahlösung für Firmen- und/oder Privatkunden)	2'400
	Variantenvergleich (die Ergebnisse/Resultate können untereinander verglichen werden)	2'400

Kurzbeschreibung der Varianten

Bei allen Varianten inbegriffen

Responsive-Design / Mobile-Fähigkeit
Design im CI/CD des Kunden

Variante einfach

Eingabe und Berechnung der Daten online, ohne Speicherung der Daten
Druck oder PDF-Export der Berechnung (Eingabedaten und Resultate)
Einfache Anwendung ohne Datenbank, Benutzerverwaltung/Login, Parameterverwaltung etc.

Variante mittel

Zusätzlich zur Variante einfach:
Speichern der Daten in einer Datenbank. Die Daten können zu einem späteren Zeitpunkt wieder geladen und bearbeitet werden
Benutzer können sich registrieren und mit Benutzerdaten (ID und Passwort) auf ihre Daten zugreifen
Backend-Zugang zur Verwaltung von Daten und Parametern
Zusätzlich wird eine begleitende Informationswebseite auf CMS-Basis erstellt. Die Inhalte der Webseite werden durch den Kunden verwaltet.

Aufwandschätzung

Variante umfassend

Zusätzlich zur Variante mittel:

Historisierung von Berechnungsdaten und den zum Berechnungszeitpunkt gültigen Parametern und Berechnungsregeln

Erweiterte Benutzerverwaltung, Abbildung von Firmenstrukturen und Mitarbeitern.

Erweiterte Verwaltung von Daten und Parametern

Nutzungsstatistiken

Export von Daten und Statistiken

Suchmaschinenoptimierung (SEO) für die Webseite

Alle Preise sind als Mindestkosten zu verstehen, die für eine entsprechende Lösung zu veranschlagen sind.

BEGASOFT Stundenansatz

Wo nicht anders angegeben, kommen folgende Stundensätze zur Anwendung:

- Software-Entwicklung: CHF 180.00/h
- Projektleitung/IT-Consulting: CHF 180.00/h
- Support Rechenzentrum: CHF 180.00/h
- Webdesign und CMS-Arbeiten: CHF 140.00/h
- Inhalte-Abfüllen (CMS): CHF 80.00/h