

Kurzbericht

„Die im vorliegenden Beitrag beschriebenen Forschungsergebnisse wurden mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR und BMU) gefördert.

(Aktenzeichen: SWD - 10.08.18.7-16.18)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.“

Titel

„Entwicklung einer Methode zur Simulation von Gebäude-Lebenszykluskosten – LZK-SIM [BAU]“

Anlass/ Ausgangslage

Lebenszykluskosten (**LZK**) sind ein wichtiges Kriterium bei der Konzeption, Planung, Errichtung und dem Betrieb von Gebäuden. Die Beeinflussbarkeit der Kosten ist in der Planungsphase am größten. Ziel des Forschungsvorhabens ist daher die Entwicklung des LZK-SIM [BAU] Tools zur Prognose und Analyse der LZK während der Planungsphase von Gebäuden.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Zentrales Ergebnis von LZK-SIM [BAU] ist ein öffentlich zugängliches, einfach anzuwendendes Tool zur LZK-Optimierung von Gebäuden. Der Benutzer erhält durch Eingabe weniger in der Planungsphase vorliegender Informationen eine LZK-optimierte Konfiguration für ein Gebäude. Die Methode nutzt zur approximativen Berechnung von Kenngrößen wie Energie- und Wasserbedarfen eine Simulation, die durch ein ganzzahliges Lineares Programm abgebildet wird. Mit empirischen Daten kann das Tool damit auch zur Simulation von Gebäude-LZK genutzt werden.

Aus mathematischer Sicht führt die optimierte Planung von Bauteilen unter Berücksichtigung von Lebensdauern im Rahmen einer Kosten-/Nutzenanalyse zu sog. Rucksackproblemen mit Interdependenzbeziehungen und Unsicherheiten. Hierzu sind Kriterien, Zielsysteme und Restriktionen festzulegen. Als Kriterien ergeben sich die Gesamtlebenszykluskosten (sowie damit zusammenhängend Instandsetzungs- und Betriebskosten). Die Restriktionen im mathematischen Modell ergeben sich durch die Modellierung verschiedener Abhängigkeiten.

Das LZK-Tool sollte ursprünglich auf Grundlage empirischer Einzelobjektdaten entwickelt werden. Durch die äußerst schwierige Datenbeschaffung erfolgte die Modellentwicklung schließlich anhand synthetischer Daten. Hierzu wurden eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und Kosten- bzw. Gebäudekennwerte aus einschlägigen Veröffentlichungen und Normen entnommen. Parallel wurden weiterhin Versuche unternommen, empirische Daten zu erheben.

Für die Modellentwicklung wurde ein Standardbürogebäude definiert, das die üblichen Flächen prozentual darstellt. Es wurde keine feste Raumanordnung vorgegeben. Anhand von Standardraumarten („Funktionsflächen“) werden die in Bürogebäuden verwendeten Bauelemente festgelegt. Aus der benutzerdefinierten Kubatur und allgemeinen baulichen Anforderungen werden die Massen der Bauelemente abgeleitet. Diese bilden die Grundlage für die Prognose der Herstellungs- und Nutzungskosten.

Für das Tool wurde eine Client-Server-Architektur gewählt. Das Backend auf Serverseite kapselt den größten Funktionsumfang. Über PHP werden die Kommunikation mit dem Frontend aufgebaut, die Datenbank (DB) aktualisiert, das Optimierungsmodul (python) gestartet und die Daten aus der Optimierung für die Visualisierung aufbereitet. Das webbasierte Frontend dient der Interaktion mit dem Benutzer und der Visualisierung der Ergebnisse. Die Kommunikation mit dem Backend erfolgt über PHP (AJAX), die Oberfläche beruht auf CSS (Bootstrap Framework).

Statische Daten, z.B. zu den Kostengruppen, die Ausführungsarten und deren Eigenschaften, werden in einer MySQL-Datenbank vorgehalten. Für die wesentlichen Nutzungskosten sind Kostenkennwerte hinterlegt, mit denen je Gebäudekonfiguration Kostenverläufe prognostiziert werden. Die DB ermöglicht eine einfache Wartung der LZK-SIM [BAU] Daten und stellt sicher, dass neue bzw. aktualisierte Daten schnell integriert werden können.

Der Kern des Optimierungsmoduls wurde in der Programmiersprache Python implementiert, die eine komfortable Schnittstelle zum Solver gurobi bereitstellt. Gurobi ist ein State-of-the-Art Werkzeug zum Lösen von gemischt-ganzzahligen Linearen Programmen (MIP) und für akademische Zwecke frei verfügbar. In Python werden die statischen Daten aus der DB gezogen und nach einer Vorverarbeitung zusammen mit den Eingabedaten des Benutzers (aus dem PHP Modul) die Variablen und Nebenbedingungen des Optimierungsmodells generiert. Anschließend wird die Optimierung des Modells durch gurobi angestoßen und aus den optimalen Variablenbelegungen das Ergebnis aufbereitet. Als Datenaustauschformat wurde JSON (*JavaScript Object Notation*) gewählt (ähnlich XML).

Der Benutzer interagiert mit dem Tool über die Webschnittstelle in seinem Webbrowser. Nach Eingabe einiger Daten wird der Optimierungsvorgang gestartet. Der Betrachtungszeitraum beträgt 5, 10, 20 oder 50 Jahre. Optimierungsziel sind die aufaddierten Barwerte der LZK. Für jeden der ausgewählten Zeiträume $T \in \{5,10,20,50\}$ berechnet das Optimierungsmodul eine kostenoptimale Auswahl an Ausführungsarten.

Nach Ende der Berechnung wird der Benutzer auf eine Diagrammseite weitergeleitet und sieht die Kostenverläufe der einzelnen Optimallösungen OPT_T . Neben dem Barwert der LZK (Optimierungsziel) werden die kumulierten/periodischen IST-Kosten dargestellt.

Nach Abschluss der Optimierung wird für jede der Optimallösungen der Kostenverlauf über die Jahre berechnet. Die Darstellung der Kostenverläufe gibt u.a. Aufschluss darüber, wie sensitiv die Lösungen bezüglich des Zeithorizonts sind.

Fazit

Bauherr, Planer und Architekt können durch das LZK-SIM [BAU] Tool schon während der Planungsphase substanzielle Informationen über die zu erwartenden LZK erhalten. So können Zielkonflikte bzw. Optimierungspotenziale frühzeitig identifiziert und Planungen angepasst werden. Das Tool erlaubt darüber hinaus die Optimierung der Konfiguration von Bauteilen und technischen Anlagen bezogen auf den gesamten Lebenszyklus. Die vielfältigen Funktionen des LZK-SIM [BAU] Tools können weiter optimiert und ergänzt werden. Grundvoraussetzung hierfür ist die Erweiterung der empirischen Datengrundlage.

Eckdaten

Kurztitel: „LZK-SIM [Bau]“

Projektleitung / Forscher: Prof. Dr.-Ing. Karsten Körkemeyer, Prof. Dr. Björn-Martin Kurzrock, Prof. Dr. Sven O. Krumke, Dipl.-Ing. Kristina Heim, Nils-Magnus Wasser, M.Sc., Dennis Aldenhoff, M.Sc., Dr. Michael Holzhauser, Ingo Besenbruch, B.Sc.,

Gesamtkosten: 200.000 €

Anteil Bundeszuschuss: 130.000 €

Projektlaufzeit: 26 Monate

BILDER/ ABBILDUNGEN:

Bild 1: Dateiname.Muster für Eingabemaske LZK-SIM [BAU] Tool

The image shows the input mask for the LZK-SIM [BAU] tool. It is divided into several sections:

- Left Column (Inputs):**
 - Betrachtungszeitraum:** A dropdown menu with '17' selected.
 - Diskontierungszinssatz:** A text input field.
 - Außenwand tragend:** Radio buttons for 'ja' and 'nein'.
 - Klimatisierung:** Radio buttons for 'ja' and 'nein'.
 - Preissteigerungsrate:** A list of categories with corresponding input fields: Strom, Gas, Wasser, Bauleistungen, Abfall.
- Center (3D Model):** A 3D wireframe model of a building with three floors. Labels include 'Anzahl Geschosse oberhalb OK Gelände', 'Anzahl Geschosse unterhalb OK Gelände', 'Lichte Höhe', 'OK Gelände', 'Kante a', and 'Kante b'. A 'Berechnen' button is located below the model.
- Right Column (Inputs):** A list of building components with input fields: BGF, KGF, NRF, NUF, VF, - Büroarbeit, - Konferenzraum, - Sanitär, - Ver- und Entsorgung, - Rechenzentrum, - Archiv, - Lager, - Eingangsbereich, - Poststelle, - Teeküche, - Treppe, - Flur, - Aufzug, TF.
- Legend (Legende):**
 - Grey box: Eingabe erforderlich
 - White box: Berechnung / zusätzliche Eingabe

Abbildung 1: Muster für Eingabemaske LZK-SIM [BAU] Tool

Bild 2: Dateiname.Optimierungszyklus LZK-SIM [BAU] Tool

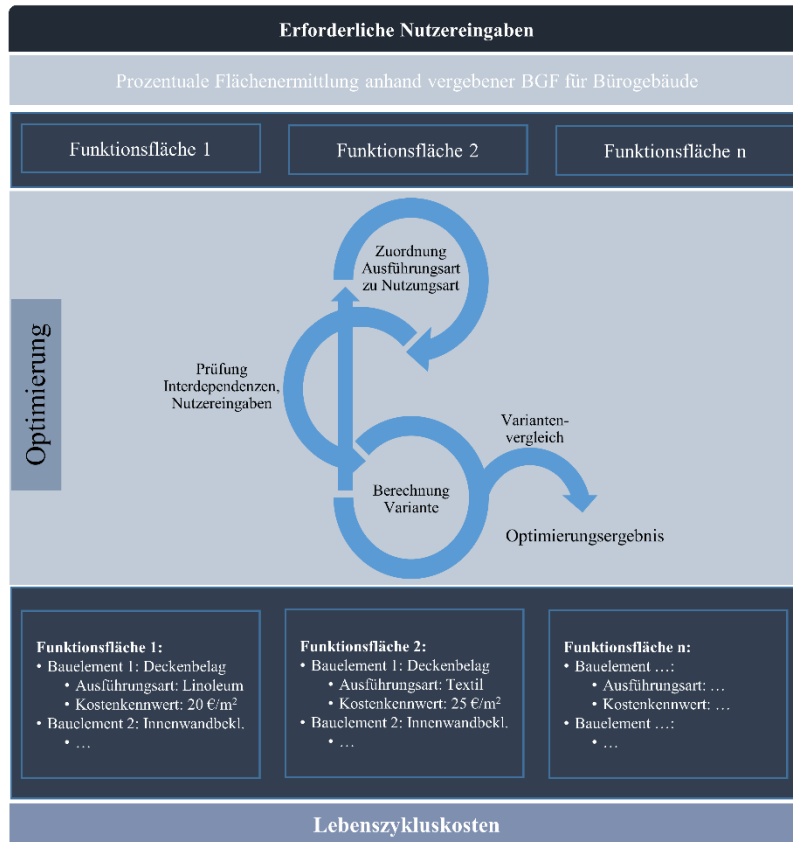


Abbildung 2: Optimierungszyklus LZK-SIM [BAU] Tool

Bild 3: Dateiname.Auszug Bauteildatenbank LZK-SIM [BAU] Tool

kg_id	name	category
312	Baugrubenumschließung	310
313	Wasserhaltung	310
319	Baugrube, Sonstiges	310
320	Gründung	300
321	Baugrundverbesserung	320
322	Flachgründungen	320
323	Tiefgründungen	320
324	Unterböden	320
325	Beläge Auf Boden- Und Fundamentplatten	320
326	Bauwerksabdichtungen	320
327	Drainagen	320
329	Gründung, Sonstiges	320
330	Außenwände	300
331	Tragende Außenwände	330
332	Nichttragende Außenwände	330
333	Tragende Außenstützen	330
334	Außen Türen Und -Fenster	330
335	Außenwandbekleidungen, Außen	330
336	Außenwandbekleidungen, Innen	330
337	Elementierte Außenwände	330
338	Sonnenschutz	330
339	Außenwände, Sonstiges	330
340	Innenwände	300
341	Tragende Innenwände	340
342	Nichttragende Innenwände	340

kg_id	name	category	hgf_factor
1	Gebäudehülle	Gebäudehülle	0
2	Büroarbeitsfläche	Nutzfläche	0.4095
3	Konferenzraum	Nutzfläche	0.0178
4	Sanitär	Nutzfläche	0.0204
5	Ver- und Entsorgung	Nutzfläche	0.0292
6	Rechenzentrum	Nutzfläche	0.0292
7	Archiv	Nutzfläche	0.0175
8	Lager	Nutzfläche	0.0175
9	Poststellen	Nutzfläche	0.0117
10	Eingangsbereich (nur EG)	Nutzfläche	0.0117
11	Teeküche	Nutzfläche	0.0321
12	Fliur	Verkehrsfäche	0.129
13	Treppe	Verkehrsfäche	0.0229
14	Auszug	Verkehrsfäche	0.0114
15	TF	Technikfläche	0.07
16	TGA	Konstruktionsgrundfläche	0.1237

kg_id = 1	ak_id	name	group	unit	formula
335	2	Dichtungsschlämme	2	EUR/m ²	(2*D7*D4*D5)+(2*D8*D4*D5)+(2*D7*0.3)+(2*D8*0.3)
335	3	Vorbereitende Arbeiten, WDVS	3	EUR/m ²	(0.6*(2*D7*D3*D5)+(2*D8*D3*D5))+(2*D7*0.3)+(2*D8*0.3)
335	4	WDVS	4	EUR/m ²	(0.6*(2*D7*D3*D5)+(2*D8*D3*D5))+(2*D7*0.3)+(2*D8*0.3)
335	5	Profile, Putz-Anschlüsse, WDVS	5	EUR/m	4*D3*D5+D3*(2*D7+2*D8)
335	6	Profile, Putz-Anschlüsse, WDVS	6	EUR/m	2*D7+2*D8
335	7	Profile, Putz-Anschlüsse, WDVS	7	EUR/m	D3*(2*D7+2*D8)
335	8	Außenfläche mineralischer Untergrund	8	EUR/m ²	(0.6*(2*D7*D3*D5)+(2*D8*D3*D5))+(2*D7*0.3)+(2*D8*0.3)
336	1	Innenwandputz plus Vorbereitung	1	EUR/m ²	(0.6*(2*D7*D3*D6)+(2*D8*D3*D6))+(2*D7*D4*D6)+(2*D8*D4*D6)
336	2	Papiertapeten plus Vorbereitung	1	EUR/m ²	(0.6*(2*D7*D3*D6)+(2*D8*D3*D6))+(2*D7*D4*D6)+(2*D8*D4*D6)
336	3	Innenflächen Tapeten	2	EUR/m ²	(0.6*(2*D7*D3*D6)+(2*D8*D3*D6))+(2*D7*D4*D6)+(2*D8*D4*D6)
336	4	Innenflächen mineralischer Untergrund	2	EUR/m ²	(0.6*(2*D7*D3*D6)+(2*D8*D3*D6))+(2*D7*D4*D6)+(2*D8*D4*D6)

Abbildung 3: Auszug Bauteildatenbank LZK-SIM [BAU] Tool

Bild 4: Dateiname.Struktur des Optimierungs- und Simulationstools LZK-SIM [Bau]

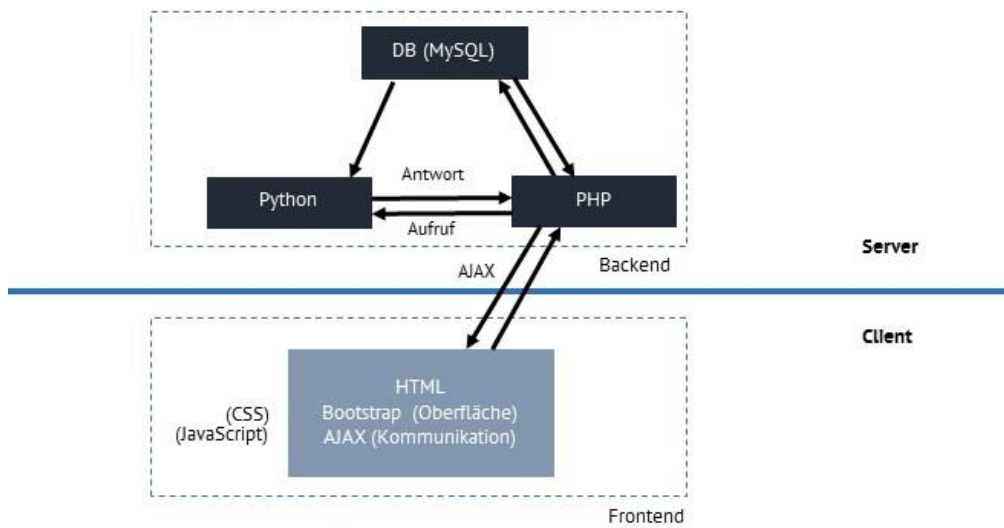


Abbildung 4: Struktur des Optimierungs- und Simulationstools LZK-SIM [Bau]

Bild 5: Sensitivität von Lösungen bei LZK-SIM [BAU]

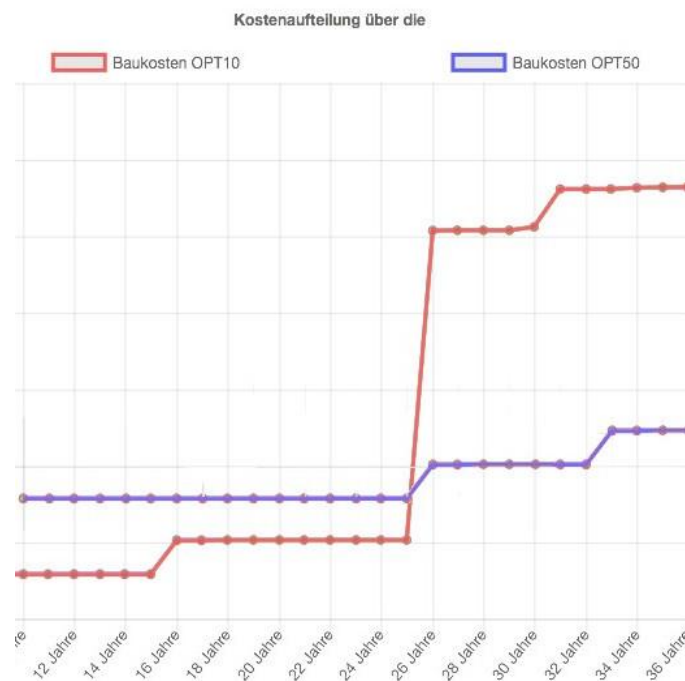


Abbildung 5: Sensitivität von Lösungen bei LZK-SIM [BAU]