

Onzekerheden in de levenscyclusanalyse van vastgoed

Een betrouwbare levenscycluskostenanalyse wordt steeds belangrijker als methode voor beslissingsondersteuning binnen het facilitairmanagement. Het in dit artikel beschreven onderzoek analyseert de huidige stand van onderzoek op het gebied van de onzekerheden in de berekening van de levenscycluskosten.

Dipl.-Wirt.-Ing. Charlotte Buhl, RWTH Aachen

Het onderzoek toont aan dat de analyse van vastgoed gerelateerd is aan belangrijke voorspellingsonzekerheden als gevolg van de lange levensduur. De bepalingmethoden voor levenscycluskosten die momenteel gebruikt worden in de bouwsector zijn meestal deterministisch en houden geen rekening met deze onzekerheden. Dit onderzoek richt daarom op berekeningsmethoden voor de levenscycluskosten die rekening houden met onzekerheden. Daarom worden gebruikelijke methoden binnen de economische sector getransformeerd naar de bouwsector en toegepast op een voorbeeldgebouw. De toegepaste methoden waren een gevoeligheidsanalyse, een scenario-analyse en een risicoanalyse in termen van een Monte Carlo simulatie¹. Deze simulatie is een stochastische methode die, op basis van kanstheorie, een numerieke oplossing van problemen die niet analytisch oplosbaar zijn mogelijk maakt.

Door het toepassen van deze methoden kunnen onzekerheden worden geïdentificeerd en, meer specifiek, gekwantificeerd. Het blijkt dat de onzekerheden voor het gepresenteerde voorbeeldgebouw vooral in de investeringskosten en de reparatiekosten liggen. Daarnaast wordt aangetoond dat ook de kortingsgrootte en de specifieke gasinflatie een grote invloed hebben op de levenscycluskosten. Door de definitie van de minimale en maximale constellatiewaarden voor het rekenvoorbeeld, leveren de resultaten een absolute kostenrange op van €9 miljoen tot €256 miljoen

over een observatieperiode van 50 jaar. Door het opnemen van waarschijnlijkheden binnen een Monte Carlo simulatie kan echter worden aangetoond dat deze constellaties niet zullen optreden in de werkelijkheid. Gezien de aannames die zijn gedaan, kan de kostenrange worden beperkt van €25 miljoen tot €42 miljoen met een kans van 80%. Al met al kan worden vastgesteld dat de onzekerheden in het bepalen van de levenscycluskosten voornamelijk resulteren in onzekerheden over de exogene inputvariabelen, zoals de rekenrente en de specifieke inflatie.

In principe kunnen deze onzekerheden niet geëlimineerd worden, maar alleen worden beperkt tot een bepaalde mate. De ontwikkelde aanpak van het gebruik van de methoden van investeringstheorieën in de bouw biedt de mogelijkheid om het volledige scala van levenscycluskosten te omvatten in het besluitvormingsproces, in plaats van alleen de deterministische waarden. Daarnaast kunnen de beslissingsonzekerheden aanzienlijk verminderd worden door de kennis van de bijbehorende kansverdeling van deze kosten. Echter, de veerkracht van de resulterende risicoprofielen is altijd afhankelijk van de onderliggende gegevens en aannames, en moet daarom altijd worden onderzocht, geoptimaliseerd en onderbouwd door verdere onderzoeken.

■ UITGANGSSITUATIE

De bepaling van de levenscycluskosten is essentieel voor de evaluatie van het economische voordeel van investeringsbeslissingen.

Om de resultaten van een levenscycluskostenanalyse te kunnen gebruiken als een betrouwbare basis, bijvoorbeeld voor het selecteren van optimale investeringsactiviteiten of als onderdeel van de certificering van duurzame bouwprojecten, is het noodzakelijk om alle relevante data en feiten zo nauwkeurig mogelijk te bepalen. Voornamelijk in de vergelijking van verschillende investeringsalternatieven kan een onvolledige overweging van deze aspecten leiden tot een vooringenomenheid over de analyseresultaten en zo leiden tot verkeerde beslissingen.

Omdat een groot deel van de berekeningsparameters is gebaseerd op voorspellingen van toekomstige ontwikkelingen en de voorspellingshorizon groot is vanwege een lange levensduur van de bouw, is het omgaan met onzekerheden een belangrijke uitdaging in het bepalingsproces van levenscycluskosten. Bijvoorbeeld, de beheerkosten zijn niet elk jaar gelijk en ook de levensduur van technische installaties en componenten verschilt van geval tot geval. Toch is de exacte timing van kosten heel belangrijk voor de berekening. Voornamelijk de beschouwing van de tijdswaarde van geld leidt tot nieuwe onzekerheden. Daarom moeten bij de beoordeling van de levenscycluskosten zowel de rekenrente als de specifieke inflatiegroottes vooraf worden geschat over een hele lange periode.

De deterministische methoden die tot nu toe vaak gebruikt worden om de levenscycluskosten te analyseren houden geen rekening met de hoge mate van onzekerheid en leiden alleen

maar tot een verkeerde nauwkeurigheid. Dit suggereert dat, ondanks alle onzekerheden, de levenscyclus van een gebouw kan worden uitgedrukt in een enkelvoudige waarde. Daarom verdient het de voorkeur om onzekere invoerparameters op te nemen als een bandbreedte en niet als een enkelvoudige waarde in de berekening van de levenscycluskosten. Deze bandbreedtes dienen bijgesteld te worden aan de hand van het kennisniveau. Hierdoor kunnen de onzekerheden, over de berekening van levenscycluskosten, geminimaliseerd worden tot een niveau dat overeenkomt met de huidige stand van kennis.

OPLOSSINGSAANPAK

Een mogelijke oplossing van het bovengenoemde probleem kan gevonden worden in de toepassing van theoretische beleggingsmethoden op de bouwsector. In het proces wordt de gevoeligheidsanalyse methode gebruikt om een eerste evaluatie van de bestaande onzekerheden en hun mate van invloed op de streefwaarde te bieden. Verklaringen voor de werkelijke gevoeligheid zijn echter afhankelijk van de mate en aard van de variatie. De kans op afwijkingen van de parameters wordt volledig buiten beschouwing gelaten op grond van deze methode. Aangezien bij een gevoeligheidsanalyse slechts een enkele parameter wordt gevarieerd, kan deze geen informatie verstrekken over de interactie van de invoervariabelen. Scenario-analyses zijn een vervolg hierop. Door het vormen van scenario's worden de waardeconstellaties van alle inputvariabelen in beschouwing genomen. Scenarioanalyse voorziet zo in kennis over de absolute theoretische reikwijdten van de kosten. Deze komen echter niet overeen met de werkelijke reikwijdten. Om een volledige bestudering van de gevolgen van de onzekerheden op de levenscycluskosten mogelijk te maken, dient de kans en het bereik van alle invloedrijke variabelen opgenomen te worden in de levenscycluskostenanalyse. Als de deterministische methoden niet geschikt zijn voor het oplossen van deze vraag, dan wordt in deze thesis de probabilistische Monte Carlo methode gebruikt. De Monte Carlo simulatie voorziet niet alleen in de verwachte waarde, maar levert ook een specifiek risicoprofiel op van de levenscycluskosten. Aan de hand van het resulterende risicoprofiel kunnen uitspraken gedaan worden over het bereik van de totale kosten en hun kansen. Op deze manier zijn de resultaten van een Monte Carlo simulatie een significant betere basis voor investeringsbeslissingen in vergelijking met deterministische methoden, omdat de evaluatie van de verschillende alternatieven niet alleen gebaseerd is op een enkelvoudige waarde maar op een kansverdeling.

MODELLEREN

Om de overweging van onzekerheden in de berekening van de levenscycluskosten, gebaseerd op de netto contante waarde-methode, mogelijk te maken zou deze uitgebreid moeten worden met specifieke parameters. Daarnaast dienen dan distributiefuncties gedefinieerd te worden voor de Monte Carlo simulatie. Het uitgebreide levenscycluskostenmodel past niet alleen individuele waarden toe, maar neemt ook de bandbreedtes van de verschillende invloedfactoren op zolang dit enigszins redelijk is.

In het algemeen heeft het gebruik van de netto contante waarde-methode als voordeel dat de deposito's en opnamen mee worden genomen op het moment dat deze daadwerkelijk worden gedaan. Hierdoor wordt rekening gehouden met de dynamische aard van de levenscycluskosten. De prognose van toekomstige betalingen is gebaseerd op de actualisering van de bekende gegevens. Inflatiefactoren worden toegepast om rekening te kunnen houden met toekomstige ontwikkelingen van de verschillende kostencategorieën binnen de levenscycluskostenanalyse. Deze worden in het huidige model berekend aan de hand van geselecteerde inflatie indexcijfers van de Federal Statistical Office [1].

De berekeningen met het gecreëerde model worden verricht met behulp van een voorbeeldgebouw. Om een goede vergelijking van de analysesresultaten mogelijk te maken zijn de aannames van het modelgebouw zo universeel mogelijk gedefinieerd. Voor het ontworpen voorbeeldgebouw, dat gebruikt is voor de levenscycluskostenanalyse, zijn de volgende aannames gedaan: het is een nieuw gebouwd kantoorgebouw met een gemiddelde kwaliteitsstandaard volgens de indeling van het Bouwkosten Informatie Centrum van de Duitse architecten Chambers (BKI Baukosteninformationszentrum). Het gebouw bestaat uit een rechthoekige structuur en omvat vijf verdiepingen en een begane grond. De initiële investeringskosten zijn gedefinieerd als de som van de bouwkosten, in overeenstemming met de kostenclassificatie van DIN 276 [2]. In dit model worden statistische parameters van de BKI bouwkostenindex gebruikt om de bouwkosten te bepalen [3 t/m 5]. In principe worden alle kosten van het modelgebouw bepaald op basis van de kostenindices, omdat op het moment van dit onderzoek geen nauwkeurige informatie over de bouwkosten bestond. Als de levenscycluskostenanalyse plaatsvindt op een moment na de ingebruikname van een gebouw, kunnen de daadwerkelijke kosten gebruikt worden voor de berekening.

De gegevens van het FM-benchmarkingrapport

dienen als referentiekader voor de bandbreedte van de verbruikskosten in het huidige model [6]. In het kader van de beschikbaarheid van kostenindices voor de verbruikskosten van gebouwen dient te worden opgemerkt dat tot dusver slechts enkele recente publicaties en significante gegevens beschikbaar zijn. Bovendien verwijzen de bestaande publicaties vaak naar slechts één gebouwcategorie en dekken ze daardoor dus slechts bepaalde kostencategorieën [o.a. 7]. Ook de keuze van het referentie-oppervlak varieert binnen de verschillende publicaties en moet daarom altijd op haalbaarheid worden onderzocht. Het FM benchmarkingrapport werd geselecteerd als bron voor het huidige model omdat dit, in tegenstelling tot andere publicaties, regelmatig wordt bijgewerkt en is gebaseerd op een relatief grote database. Daarnaast vereenvoudigt het referentie-oppervlak (m^2 bruto vloeroppervlak (BVO)) dat gebruikt wordt in het FM benchmarkingrapport de integratie van de waarden in het rekenmodel.

Met betrekking tot de reparatiekosten, die opgenomen zijn in de kostengroep 400 van de DIN 18960 [8], wordt aangenomen dat zij alleen de kosten representeren van de onderdelen die hun waarde behouden en de technische gebouwinstallaties aan het eind van hun levenscyclus. Reguliere kosten voor kleine reparaties zijn toegewezen aan het onderhoud, in overeenstemming met de definitie van de Duitse Facility Management Association (GEFMA). Daarom zijn deze opgenomen in de kostengroep 350 (bediening, inspectie en onderhoud) van DIN 18960. De karakteristieke levensverwachtingen die voortvloeien uit de 'Guideline for Sustainable Building' van het ministerie van Verkeer, Bouw- en Woningtoezicht (BMVBW) [9] werden overgenomen als waarden voor de technische levensduur voor elke gebouw component. Met inachtneming van voornoemde aannames en verschillende differentiaties, bevat het uiteindelijke rekenmodel de volgende parameters: investeringskosten, beheerskosten, operationele kosten en reparatiekosten. Terwijl de investeringskosten worden gedefinieerd als een forfaitair bedrag op het moment $t = 0$, worden de beheerskosten en de operationele kosten periodiek berekend. Daarom dienen deze in elk jaar van de onderzochte periode, vanaf de inbedrijfstellingsdatum ($t = 1$), te worden berekend. De reparatiekosten daarentegen vertegenwoordigen onregelmatige betalingen, omdat deze zich alleen voordoen wanneer een vervangingsinvestering noodzakelijk is vanwege het einde van de technische levensduur van een gebouwcomponent. De formule voor het berekenen van de levenscycluskosten, die als basis dient voor de imple-

mentatie van het uitgebreide rekenmodel in MS Excel, kan als volgt worden samengevat:

$$KW = A_0 + \sum KG_{200,t} \cdot q_{DL,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{311,t} \cdot q_{Wasser,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{313,t} \cdot q_{Gas,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{316,t} \cdot q_{Strom,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{321,t} \cdot q_{Abwasser,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{322,t} \cdot q_{Abfall,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{330,t} \cdot q_{DL,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{350,t} \cdot q_{Instand,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{360,t} \cdot q_{DL,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{370,t} \cdot q_{DL,t} \cdot b_{nom,t} + \sum KG_{400,t} \cdot q_{Instand,t} \cdot b_{nom,t}$$

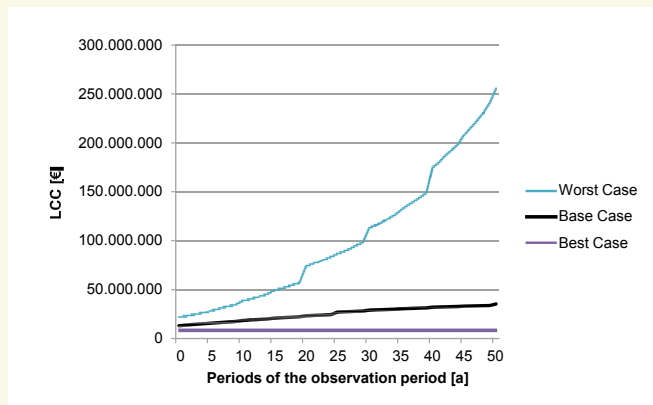
Met:

- KW Netto contante waarde
- A_0 Initiële investering [€]
- KG_t Kosten van elke DIN 18960 kostencategorie in periode t [€]
- $q_{Wasser,t}$ Accumulatiefactor 'water' in periode t [-]
- $q_{DL,t}$ Accumulatiefactor 'andere diensten' in periode t [-]
- $q_{Gas,t}$ Accumulatiefactor 'gas' in periode t [-]
- $q_{Strom,t}$ Accumulatiefactor 'elektriciteit' in periode t [-]
- $q_{Abwasser,t}$ Accumulatiefactor 'afvalwater' in periode t [-]
- $q_{Abfall,t}$ Accumulatiefactor 'afval' in periode t [-]
- $q_{Instand,t}$ Accumulatiefactor 'onderhoud' in periode t [-]
- $b_{nom,t}$ Nominale kortingsgrootte in periode t [-]
- t Tijdsindex [-]

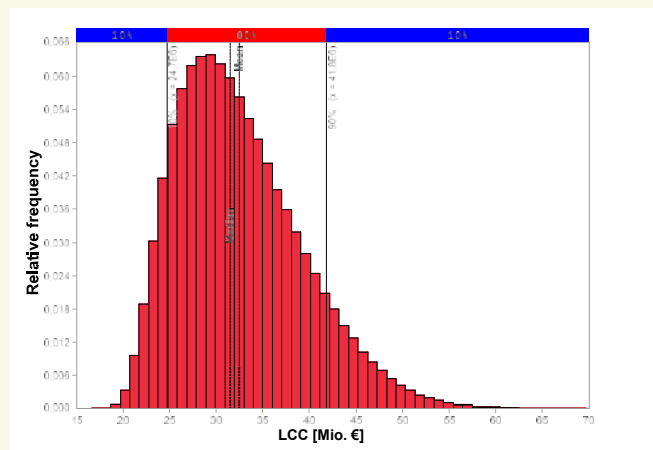
Voor de implementatie van de Monte Carlo simulatie moet een kansverdeling worden toegekend aan elke modelparameter. Afhankelijk van de beschikbare data, wordt dit bereikt door toepassing van een beta-PERT distributie [10], de normale verdeling of gebaseerd op de input van de cumulatieve distributiefunctie. In dit verband dient te worden opgemerkt dat de gebruikte bandbreedte van de parameters en de distributiefuncties altijd onderzocht dient te worden, omdat de analyseresultaten sterk afhankelijk zijn van de kwaliteit van de beschikbare data. Daarom is het aanbevolen dat toekomstig onderzoek zich richt op de ontwikkeling van geschikte methoden voor de bepaling en het verzekeren van gegevens met een hoge kwaliteit.

RESULTATEN

Door gebruik te maken van het analytische model dat hiervoor is beschreven konden de onzekerheden, die doorgaans optreden bij het bepalen van de levenscycluskosten van onroerend goed, grondig onderzocht en gekwantificeerd worden. Binnen de gevoeligheidsanalyse werd geïdentificeerd welke onzekerheden in het bijzonder een sterke invloed op de levenscycluskosten hebben. In het voorbeeld



-Figuur 1- Verloop van de cumulatieve levenscycluskosten (LCC) in het best-case en worst-case scenario



-Figuur 2- Histogram van de voorbeeldsimulatie

dat gebruikt werd in deze studie waren grote onzekerheden inherent aan de rekenrente, de algemene inflatie, de onderhoudsduur en het inflatiepercentage van onderhoudsdiensten. Ook werd benadrukt dat de levenscycluskosten bijzonder gevoelig reageren op variaties in het inflatiepercentage van gas. Dit moet echter kritisch worden geanalyseerd, voornamelijk omdat de voorspelling van prijsstijgingen van gas moeilijk is en de gebruikte minimale en maximale grenswaarden zeer extreem zijn. Anderzijds kan een veel kleinere invloed aangetoond worden voor de reguliere en de specifieke prijsinflatie van water, afval en afvalwater. Binnen de scenarioanalyse, zijn een basis-scenario, een worst-case scenario en een best-case scenario voor de levenscycluskosten

gedefinieerd en onderzocht. Zoals weergegeven in figuur 1, spreiden de levenscycluskosten van het voorbeeldgebouw zich over een zeer extreme range die varieert van €9 miljoen tot €256 miljoen over een observatieperiode van 50 jaar. Deze extreme waarden kunnen voornamelijk verklaard worden door de keuze van de rekenrente, de specifieke levensduren en de grote range van bouwkosten, die een directe invloed hebben op de reparatiekosten. In de pessimistische case kan de exponentiële groei met name worden verklaard door de hoge inflatie. Bovendien veronderstelt het worst-case scenario een kleine nominale rekenrente, hetgeen leidt tot een overschatting van de toekomstige kosten. Ook de korte levensduren leiden tot eerdere vervangingskosten die corresponderen

met de sprongen in de grafiek.

Daarentegen vertoont het absolute beste scenario een relatief vlakke curve. Door de lage specifieke inflatiepercentages en een hoge rekenrente, dragen latere kosten veel minder gewicht in dit scenario. Doordat vervangingen veel later gebeuren, als gevolg van de aanname van een langere levensduur, en de verwevenheid met de investeringskosten, zijn de sprongen in de grafiek kleiner.

In tegenstelling tot de resultaten van de scenario-analyse, kan met de Monte Carlo simulatie vastgesteld worden dat de totale levenscycluskosten van het voorbeeldgebouw worden beperkt tot een range tussen €16 en €65 miljoen; zelfs met alle onzekerheden in de invoerparameters. Zoals weergegeven in figuur 2 kan de kostenrange met een kans van 80% verder beperkt worden tot een range van €24 tot €42 miljoen.

Concluderend kan worden samengevat dat de onzekerheden in de beoordeling van de levenscycluskosten nooit volledig geëlimineerd kunnen worden. Ze kunnen alleen maar worden beperkt tot een bepaalde mate. Door het opnemen van kansverdelingen in de bere-

keningsmethode, kunnen de beslissingonzekerheden aanzienlijk worden verminderd. Bovendien leidt de mogelijkheid om verschillende alternatieven te vergelijken op basis van risicoprofielen, in plaats van enkele waarden, tot veel meer onderbouwde beslissingen. Echter, zoals reeds opgemerkt, is de kwaliteit van de invoergegevens van groot belang. Daarom moet worden benadrukt dat, wanneer een levenscycluskostenberekening wordt uitgevoerd, alle informatie grondig moet worden onderzocht om de betrouwbaarheid van de resultaten te kunnen verzekeren.

REFERENTIES

1. Statistisches Bundesamt, Verbraucherpreisindizes, Fachserie 17, Reihe 7, August 2011
2. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), DIN 276-1, Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau, Berlin: Beuth, 2008
3. BKI Baukosten: Teil 1: Statistische Kostenkennwerte für Gebäude, Stuttgart: BKI, 2011
4. BKI Baukosten: Teil 2: Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente, Stuttgart: BKI, 2011
5. BKI Baukosten: Teil 3: Statistische Kostenkennwerte für Positionen, Stuttgart: BKI, 2011
6. Rotermund, U. (Hrsg.), FM Benchmarking Bericht, Vergleichen Sie Ihre Immobilien-Kennzahlen, Höxter, 2009
7. BKI Baukosteninformationszentrum (ed.) Nutzungskosten, 2011; BKI Objektdaten NK1: Nutzungskostenkennwerte von Bestandsimmobilien, Stuttgart: BKI, 2010
8. DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), DIN 18960, Nutzungskosten im Hochbau, Berlin: Beuth, 2008
9. BMVBW, Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Editor: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2. Nachdruck, Berlin: BMVBW; Bonn: BBR, 2001
10. Wagle, B., A Statistical Analysis of Risk in Capital Investment Projects, in: Operational Research, Quarterly, 18, 1967, pp. 13-33

Vaisala HVAC Instrumenten

De industriële benchmark blijft verbeteren

- BREED ASSORTIMENT
- UNIEKE CO₂-SENSOR MET INGEBOUWDE REFERENTIE
- SNELLE EN ACCURATE LEVERINGEN
- EENVOUDIGE INKOOP
- EENVOUDIGE INSTALLATIE
- EENVOUDIG ONDERHOUD
- STABIELE EN BETROUWBARE VOCHTIGHEIDSENSOR

90-serie voor hoge prestaties in HVAC

80-serie voor standaard in HVAC

Online Store
store.vaisala.com

Meer weten op: www.vaisala.com/betereHVAC

VAISALA