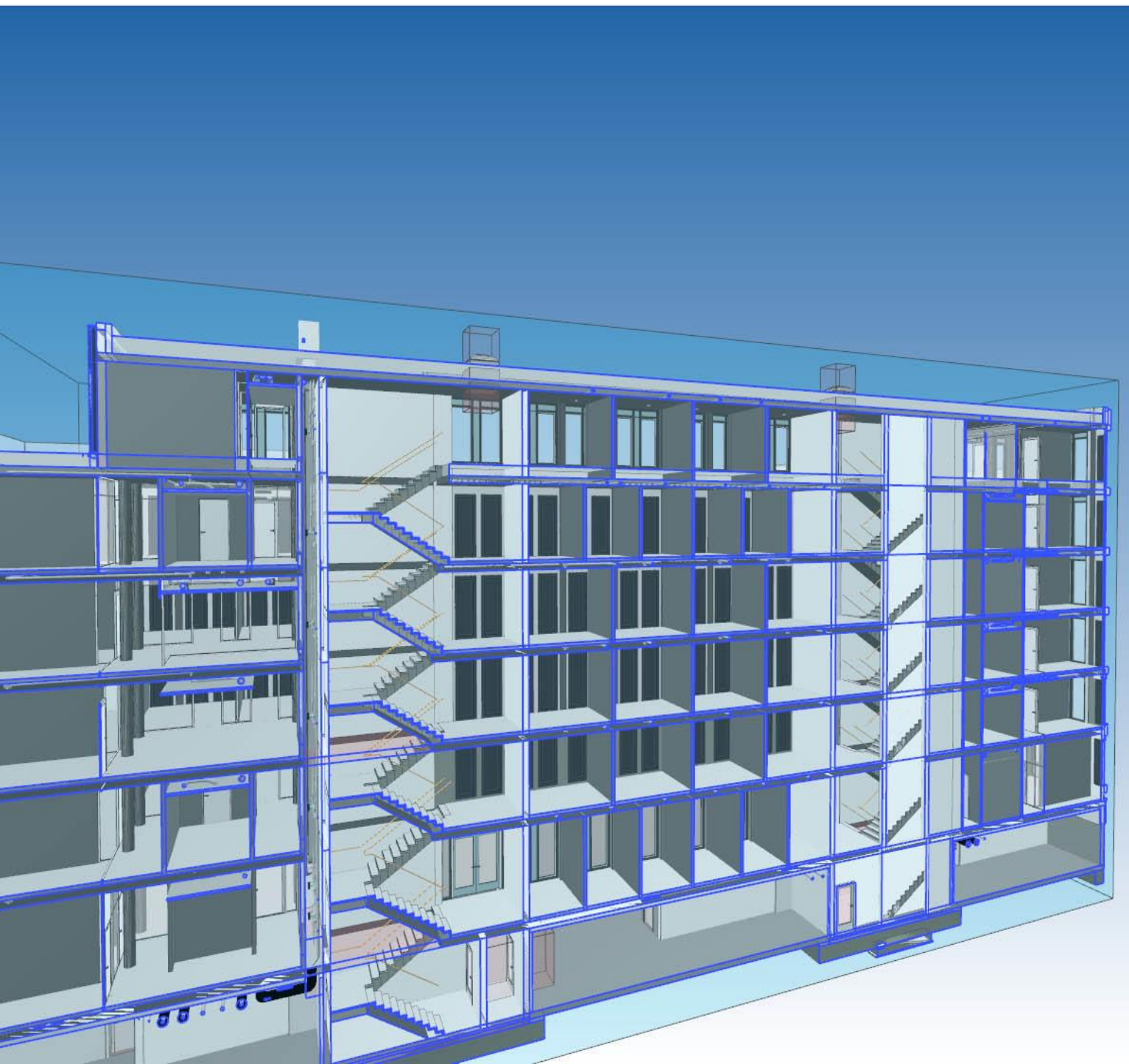


# BOB

## Das Digitale Bürogebäude-Produkt

Von Hermann Dulle, Volker Zappe, BOB efficiency design AG, Aachen



## Der Nutzer hat das Sagen

Ob Smartphone, PKW oder Bürogebäude: Bei allen Produkten entscheidet sich erst in der Nutzungsphase, ob ein Produkt gut ist. Nutzer oder Nutzerin interessieren, was das Produkt leistet, welcher Service angeboten wird, wie flexibel sich das Produkt in der Zukunft verhält und welche Kosten im Lebenszyklus entstehen. Ein Produkt, das sich im Gebrauch nicht bewährt, hat keine Chance, wieder gekauft zu werden.

Ein Produkt hat für den Kunden den Vorteil, dass er sich vor Kauf oder Anmietung über die Eigenschaften informieren kann. Er kann das Produkt häufig sogar testweise nutzen und so sehr genau Kosten und Nutzen einschätzen. Oder der Kunde fragt andere Kunden nach Ihrer Erfahrung (wir kennen alle die 5 Sterne bei Amazon) und entscheidet sich dann unter Abwägung seiner individuellen Wünsche, ob er das Produkt kaufen möchte.

Der hier vorliegende Beitrag behandelt daher die Themen der Digitalisierung eines Produktes und die Folgen für die Realisierung am Beispiel des Projektes BOB.Rheinallee in Ludwigshafen.



*Abbildung 1: Visualisierung BOB.Rheinallee in Ludwigshafen. Das Gebäude entsteht unweit des Rheins in attraktiver Lage.*

## Serienprodukt oder Unikat?

Bei einem Bauwerk wie in unserem Beispiel bei einem Bürogebäude sind Eigenschaften und Kosten zunächst undefiniert. Zwar können sich Bauherren Bürogebäude ansehen, die ihr Architekt für andere Bauherren gebaut hat, dabei kann er aber nur beurteilen, was auf den ersten Blick wahrzunehmen ist. Wie das Gebäude funktioniert, ob es nachhaltig ist und welche Kosten im Lebenszyklus entstehen, ist unbekannt. Und selbst wenn die andere Gebäudereferenz eine schlechte Raumakustik vorweist, so heißt das ja nur, dass die Raumakustik bei diesem Bauvorhaben nicht beachtet oder schlecht geplant wurde. Für das neue Bürogebäude bedeutet dies nichts.

Wenn es also kein Produkt gibt, dann gibt es keine oder eine sehr unzureichende Orientierung für Bauherren oder Mieter. Im Regelfall muss sich ein Bauherr selbst schlau machen, damit er beurteilen kann, ob das für ihn geplante Bürogebäude wirklich perfekt ist. Um ein perfektes Bürogebäude realisieren zu können, engagiert der Bauherr eine Schar von Beratern: Brandschutzexperten, Raumakustiker, Spezialisten zum Thema Flächenorganisation und Flächeneffizienz, Architekten, Innenarchitekten, Nachhaltigkeitsberater, Energieeffizienzexperten, Lebenszykluskostenexperten, Spezialisten zu elektronischem Schließsystem oder Gebäudesteuerung, Verkehrsplaner, Außenanlagenplaner usw. Alle Spezialisten beraten jetzt den Bauherrn. Da die Anzahl der Planer, Berater und Sondergutachter stetig steigt, benötigt der Bauherr einen Berater, der ihm dabei hilft, die unterschiedlichen Leistungsinhalte so zu koordinieren, dass alle Disziplinen arbeitsfähig sind und ein integriertes Konzept entsteht. Diese Aufgabe übernehmen der Architekt und evtl. ein Projektsteuerer, wobei aufgrund der fachlichen Wechselwirkungen eigentlich ein Systemintegrator ergänzend notwendig wäre, den es aber aus Kostgründen bestenfalls bei Großbauvorhaben gibt.

Die Beschreibung der Komplexität des Planens und Bauens weist schon darauf hin, dass der Prozess der Gebäudeentwicklung teuer ist. Würde ein Smartphone oder ein PKW für einen einzigen Kunden neu erfunden werden, wäre dies nicht anders. Daher wählt man in der Industrie beinahe immer den Produktansatz. Die Bauindustrie ist hier eine der letzten Ausnahmen und in der Regel weit vom Produktansatz entfernt.



Abbildung 2: Produktansatz bei BOB: Ausstattung und Funktionen lassen sich künftig über einen Konfigurator auswählen.

Aufgrund der wachsenden Komplexität des Bauens mit immer wieder neuen Themen (Digitalisierung, Konnektivität, E-Mobility, Internet of Things, Künstliche Intelligenz) wird es zur wirtschaftlichen Notwendigkeit, Gebäude als Produkt zu realisieren. Kein Gelegenheitsbauherr wird es schaffen, über den individuellen Planungs- und Bauprozess einmal eben ein optimales Bürogebäude zu entwickeln, so wie wahrscheinlich auch nur 0,01 % aller Autofahrer ein halbwegs fahrendes Auto entwickeln könnten.

Die BOB-Gruppe hat in diesem Sinne das Produkt Balanced Office Building – kurz BOB genannt – als Bürogebäude-Produkt entwickelt und wendet sich an diejenigen Kunden, die ein perfektes Bürogebäude benötigen, weil sie ihre Firma zum Erfolg führen möchten. Mit BOB müssen diese Bauherren oder Mieter nicht zu Bürogebäude-Bauexperten werden, sondern können sich auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren.

## Die Rolle der Digitalisierung

Ein Bürogebäudeprodukt benötigt über die schon oben genannten Berater, Planer und Bauausführende hinaus Produktlieferanten, so dass ein normales Bauvorhaben schnell über 30 zentrale Ansprechpartner neben den vielen Zuarbeitern hat. Würden sich nur die zentralen Ansprechpartner bei einem Planertreffen zur Begrüßung die Hand geben, dann wären dies  $30 \cdot (30-1) / 2 = 435$  Handschläge. Es gäbe also bei diesem Team 435 Schnittstellen zwischen den Personen bzw. Disziplinen. Wären dies technische Schnittstellen, könnte man eine

Lösung programmieren, bei „menschlichen Schnittstellen“ hingegen sollten Zweifel angebracht sein, ob hier nicht Fehler auftreten.

Die Digitalisierung liefert uns für diese komplexe Aufgabe die Struktur und die Tools. Für die Realisierung des BOB.Rheinallee in Ludwigshafen haben wir folgende grundsätzliche Aufgaben per Digitalisierung gelöst:

- Vermarktung des Produktes,
- Vorhersage der Produkteigenschaften (Zeit, Qualität, Kosten),
- Steuerung des Planungs- und Bauprozesses,
- Inbetriebnahme und Optimierung des Gebäudebetriebs,
- Services im Gebäudebetrieb.

## Digitalisierung der Vermarktung

Hinter dem Konfigurator für PKWs im Internet steckt ein komplexes System von Algorithmen, die definieren, welche Details wie miteinander kombiniert werden können. Unsinnige Kombinationen wie zum Beispiel bei einem Bürogebäude die Kombination eines hohen Glasanteils mit einer Betonkernaktivierung würden dort gar nicht vorkommen. Sie wären schon im Rahmen der Produktentwicklung verworfen worden, so dass die Planung und die Betrachtung von Varianten deutlich schlanker sind. Im freien Planungsprozess hingegen kann es sein, dass der Techniker die Betonkernaktivierung empfiehlt und dass der Architekt den Glasanteil im Laufe des Bauvorhabens auf Wunsch des Bauherrn erhöht. Dieser Zielkonflikt muss dann mühsam und zeitintensiv evtl. durch einen Fachmann der Gebäudesimulation wieder aufgelöst werden. Das kostet unnötig Geld oder im schlimmsten Fall bemerkt niemand das Problem und erst im Betrieb wird dann festgestellt, dass die Betonkernaktivierung nicht funktioniert. Wir kennen nicht nur ein Projekt, bei dem solche Fehler „gebaut“ wurden.

Für den BOB.Rheinallee existierte noch kein Konfigurator im Internet. Intern gab es jedoch einen Regelraum mit Algorithmen, der beschreibt, welche Kombinationen bei BOB erlaubt sind und welche Parameter durch die Planenden einzuhalten sind, damit ein BOB entsteht. Dieser interne Konfigurator hat die Planungszeit deutlich verschlankt, da gewisse Fragestellungen vorab geklärt waren.

Für den Kunden hat der Konfigurator den Vorteil, dass er zum Thema Kosten sehr früh eine sehr konkrete Aussage erhält. Ähnlich wie beim Auto-Konfigurator kann der Kunde über die Auswahl von Eigenschaften und Ausstattung die unüberschaubare Vielfalt der Möglichkeiten reduzieren und vorgedachte Lösungen auswählen. Damit können die Investitionskosten schon früh sehr konkret bestimmt werden. Unser Ziel ist es daher, auch im Internet einen Konfigurator als Orientierung für

den Kunden anzubieten. Fragen wie „Kann ich mir die Photovoltaikanlage leisten und was bringt sie eigentlich?“ lassen sich so schon sehr früh verbindlich beantworten.

## Digitalisierung der Optimierung der Produkteigenschaften

Um die Produkteigenschaften zu optimieren und unsinnige Kombinationen von Bauteilen und technischen Anlagen auszuschließen, ist die Gebäudesimulation ein wichtiges Tool. Per Gebäudesimulation wurde für den B0B.Rheinallee anhand des Architektenentwurfs ein realitätsnahes Modell bestehend aus bauphysikalischen Eigenschaften, der Technischen Gebäudeausrüstung und den Regelalgorithmen aufgebaut. In Kombination mit den Daten der Nutzung und mit den Wetterdaten des Standortes wurde eine Ganzjahressimulation durchgeführt, so dass zahlreiche Eigenschaften für ein Jahr für jeden Raum und jede Etage vorausgesagt werden können. Dies sind zum Beispiel:

- Empfindungstemperatur,
- Raumluftqualität,
- Raumluftfeuchte,
- Raumakustik,
- Tageslichtqualität,
- Kunstlichtbedarf,
- Lüftungsbedarf,
- Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung.

Durch die Variation von einzelnen Gebäudeeigenschaften oder der technischen Systeme kann jetzt beobachtet werden, in welche Richtung sich die genannten Eigenschaften ändern. Letztendlich können wir so im Computer das Optimum finden und dann später bauen.

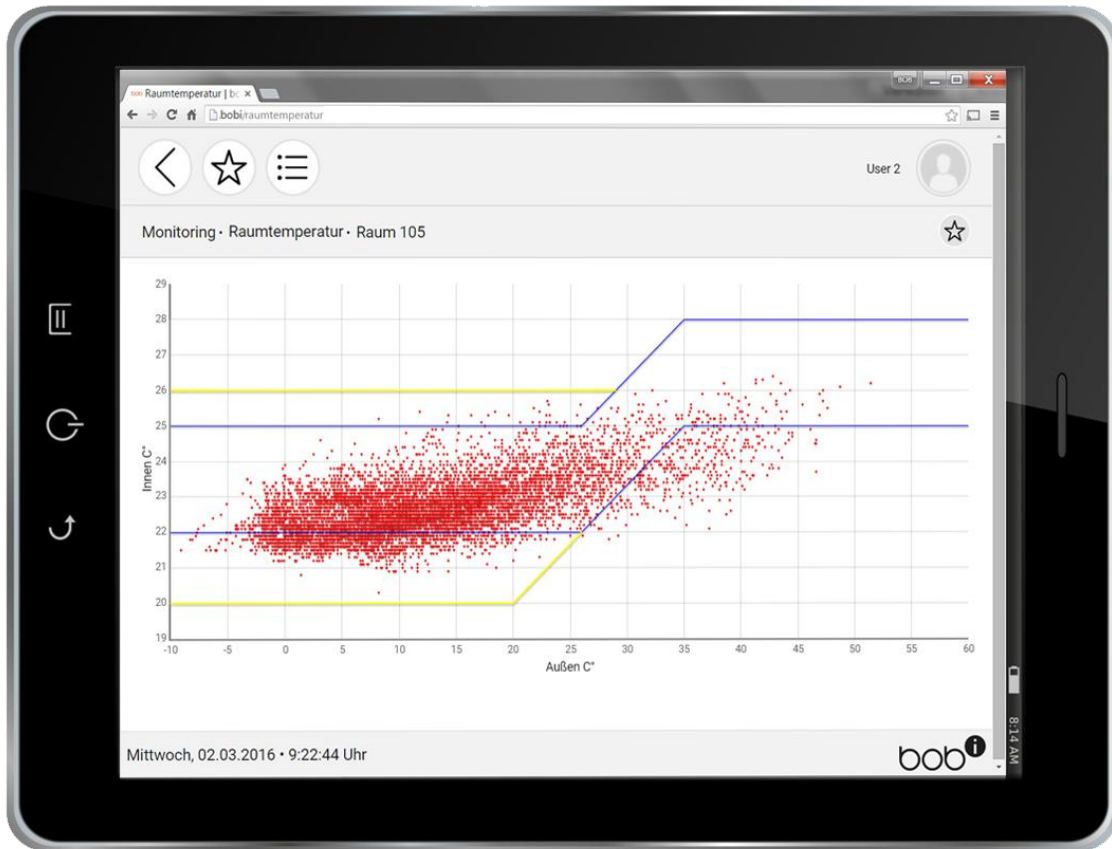


Abbildung 3:

*Gebäudesimulationen sind die Basis für den späteren Betrieb. Dabei gleicht das BOB-System die simulierten Daten mit Messdaten ab und gewinnt so eine hohe Funktionsstabilität. Die Messdaten stehen den Nutzern über BOB.i zur Verfügung.*

Da die Gebäudesimulation auch die Regelung abbildet, bereiten wir mit dem Ergebnis der Simulation die Inbetriebnahme vor. Parameter wie Vorlauftemperaturen, Luftmengen, Schwellwerte für die Lichtdimmung und viele Daten mehr, stehen so zu Beginn der Inbetriebnahme zur Verfügung und müssen nicht im laufenden Betrieb mühsam ermittelt werden. Bei Ihrem neuen Auto möchten Sie ja auch nicht den Techniker für die ersten 5.000 km an Bord haben. Der Hersteller Ihres Autos möchte dies übrigens aus Kostengründen auch nicht.

Die Gebäudesimulation ist eine Methode, die nur für Experten nutzbar ist. Bauherrn und Nutzer des Gebäudes benötigen hingegen die Visualisierung und Auralisierung (Raumakustik) des Gebäudeentwurfs. Der BOB.Rheinallee wurde per Building Information Modeling (BIM) geplant, so dass schon in der Frühphase des Projektes eine Visualisierung des 3D-Modells möglich war.

## Digitalisierung des Prozesses

Für den BOB.Rheinallee wurde ein BIM-Modell über alle Gewerke hinweg erstellt. Der BIM-Manager hatte dazu im Auftrag des Bauherrn die Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) und den BIM-Abwicklungsplan (BAP) mit allen wesentlichen Vorgaben angelegt. Da sich AIA und BAP zu 90 % bei allen BOB-Bauvorhaben wiederholen, muss auch diese Leistung bei jedem BOB nicht wieder neu erstellt werden, was zu einer weiteren Kostenoptimierung führt. Ansonsten wäre diese Leistung ein weiterer Baustein der oben angesprochenen steigenden Dienstleistungskosten.

Durch die Regeln des BAP und operativ durch den BIM-Manager in enger Abstimmung mit der BIM erfahrenen Projektsteuerung wird die Kommunikation unter den Planungsbeteiligten strukturiert und gelenkt. Schon während der Planung des BOB.Rheinallee hatten wir den Eindruck einer angenehmen Ruhe und eines gleichmäßigen Planungsflusses im Projekt.

Planungsbesprechungen wurden bei dem BOB.Rheinallee in Ludwigshafen anhand des 3D-BIM-Modells durchgeführt. Den Stand der Planung, mögliche Kollisionen und die Lösung von Problemen lassen sich auch für Planer, die sich anhand von 2D-Plänen das dreidimensionale Gebäude vorstellen können, dennoch einfacher an einem realitätsnahen BIM-Modell besprechen bzw. lösen.

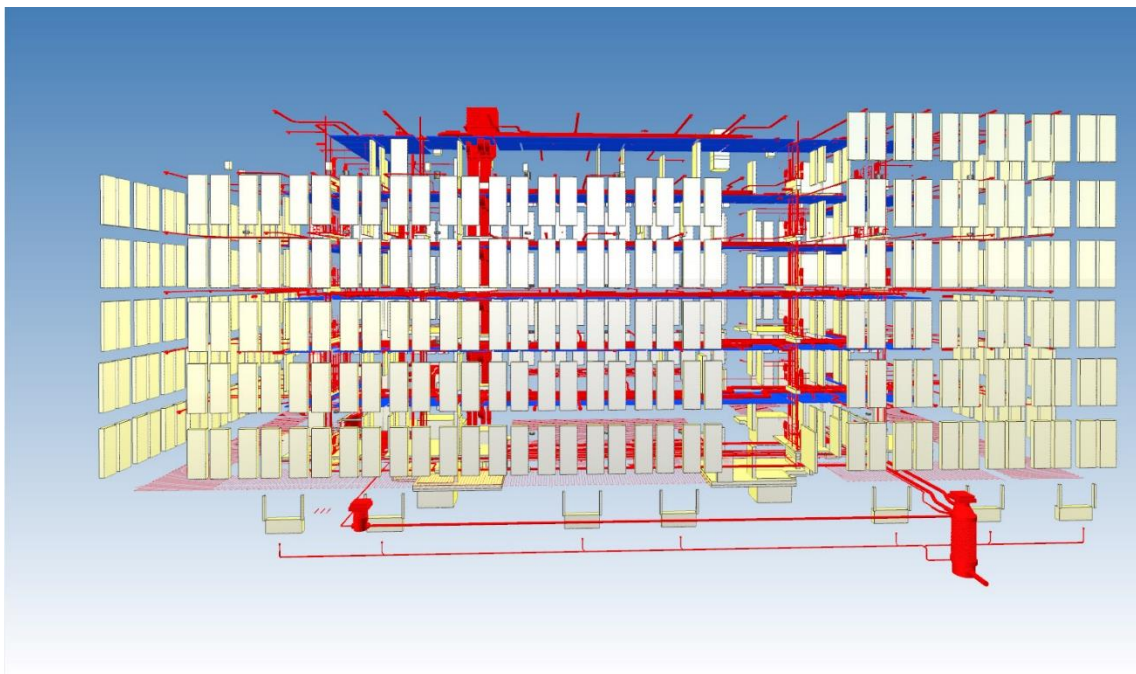


Abbildung 4: BIM-Modell: In den 3D-Modellen werden Strukturen und Kollisionen schnell sichtbar.



Softwaretools auf BIM-Basis ermöglichen weiterhin die Dokumentation der Ergebnisse von Planungsbesprechungen unmittelbar im Modell. So gelingt eine einfach im 3D-Modell nachvollziehbare Zuordnung der Probleme, was ansonsten verbal mühsam zu beschreiben wäre. Dies ist auch schon deshalb wichtig, da die Projektbearbeiter der jeweiligen Büros häufig in der Planungsbesprechung nicht anwesend sind und da zwischen dem Projektleiter und dem Projektbearbeiter bei der Übergabe der Besprechungsergebnisse wieder Fehler unterlaufen können. Die oben angedeutete Anzahl der Schnittstellen in Bauvorhaben potenziert sich ja noch durch die firmeninternen Fachbereiche und Hierarchieebenen.

Das BIM-Modell ermöglicht weiterhin die Unterstützung der Qualitätssicherung. Vorgaben des BOB-Systems oder der DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) lassen sich zukünftig automatisiert anhand des BIM-Datenmodells prüfen. Neben den geometrischen Daten verfügt das Datenmodell des BOB-Rheinallee daher auch über weitere Attribute: Investitionskosten, Lebenszykluskosten, ökologischer Fußabdruck und Prozessposition können jedem Bauteil zugeordnet werden. Derzeit scheitern allerdings Auswertungen wie die des ökologischen Fußabdrucks noch an mangelnder Datenlage für viele Produkte. Da aber die Attribute bereits angelegt sind, kann auch Jahre nach Fertigstellung des BOB.Rheinallee das BIM-Datenmodell noch gefüllt werden. Sollte also in Zukunft zum Beispiel das Urban Mining, also das „Schürfen“ von knappen Ressourcen aus der städtischen Umgebung, zur wirtschaftlich bedeutsamen Komponente werden, dann wird das BIM-Modell berechnen können, wieviel Kupfer und andere Ressourcen im BOB.Rheinallee vorhanden sind. Das Gebäude altert, das Datenmodell hingegen kann sich durch Aktualisierung verjüngen.

Auf der Baustelle des BOB.Rheinallee in Ludwigshafen bekommt das BIM-Modell noch eine weitere nicht zu vernachlässigende Bedeutung. Die morgendlichen Baubesprechungen werden neben dem Scrum-Board auch anhand des 3D-Modells durchgeführt, was dabei hilft, Sprachbarrieren zu überwinden. So können Details gezeigt und manchmal erst dadurch verstanden werden. Missverständnisse auf der Baustelle sind teuer.

Die Bauüberwachung nutzt Augmented Reality, so dass über die Kamera des iPad das reale Bild mit dem BIM-Modell überlagert wird. Abweichungen des Bau-Solls von der Realität lassen sich einfach feststellen und sofort für das Mängelmanagement dokumentieren. Auch der Baufortschritt, dessen Dokumentation für die wirtschaftlichen Zahlungsströme wichtig ist, kann sofort erfasst werden.

## Digitalisierung des Gebäudebetriebs

Neben der optimalen Auswertung der BIM-Datenbank für eine Kostenanalyse oder die Analyse des ökologischen Fußabdrucks hat das BIM-Modell vor allem auch für das Facility Management große Vorteile. Sofern eine Revisionsplanung erstellt wird, die die Bezeichnung „As-Built-Modell“ verdient, existiert ein digitaler Zwilling des Gebäudes, der vor allem etliche Jahre nach Einzug sehr wertvoll ist. Jetzt können Details der Baukonstruktion oder der Technischen Gebäudeausrüstung für eine Sanierung oder Umnutzung perfekt nachvollzogen werden. Wichtige Voraussetzung dabei ist allerdings die Fortschreibung von kleinen oder großen Änderungsmaßnahmen im BIM-Modell über den gesamten Lebenszyklus. Darauf sollte der Bauherr achten, da die Beteiligten des Facility Management nach aktuellem Stand des Berufsbildes meist nicht darauf eingestellt sind, ein BIM-Modell fortzuschreiben.

Damit das Facility Management aber auch die Services (siehe unten) mit Daten versorgt und so optimiert werden, gibt es bei einem digitalisierten Bürogebäude wie dem BOB.Rheinallee in Ludwigshafen eine Anzahl vernetzter Sensoren und Aktoren.

## Digitalisierung von Services

Eine Photovoltaikanlage, ein Energieeffizienzkonzept oder ein DGNB-Siegel sind sehr wertvolle Maßnahmen für ein Bürogebäude, wenn es darum geht, den Planeten zu schonen. Den Nutzer eines Bürogebäudes interessiert dies aber nur in zweiter Linie. Er möchte das Bürogebäude möglichst schnell perfekt nutzen können, um für seinen Arbeit- oder Auftraggeber hochwertige Leistungen zu erbringen. Und so wie die Anforderungen an das Bürogebäude immer komplexer werden, ergeht es auch dem arbeitenden Menschen im Büro, egal in welcher Branche er zu Hause ist. Das bedeutet, dass Services für die Angestellten und damit auch für den Arbeitgeber eine große Bedeutung gewinnen. Ein Eltern-Kind-Büro, eine Kita oder eine Paketstation sind Maßnahmen, die Mitarbeiterin oder Mitarbeiter Zeit schenken und Stress nehmen. Auch ein Mobilitätskonzept, das Pendelwege vermindert oder erträglicher gestaltet, ist für uns Teil moderner Arbeitswelten. Die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, von Car-Sharing oder eines Fahrrads können hier in sinnvollen Einklang gebracht werden. Möglichkeiten der Elektromobilität sollten auch durch das Bürogebäude zur privaten oder beruflichen Nutzung zur Verfügung stehen.

Bei BOB als Seriensystem sind diese Services Standard. Da wir BOB-Bürogebäude bundesweit realisieren, fällt es leicht, diese komplexen Services in das Produkt zu integrieren und mittels der eigenen Software BOB.i zu bedienen. BOB.i ist als „Betriebssystem“ für Bürogebäude das Digitalisierungsinstrument, das den Nutzer über die gesamte Lebensdauer des Bürogebäudes begleitet. Der Nutzer kann über

BOB.i das Licht in seinem Büro einschalten, das Raumklima beobachten, den Schließzustand der Türen prüfen, den Besprechungsraum buchen, nachsehen, wie viele der Besucherparkplätze frei sind, den Energiebedarf seines BOB oder den Ladezustand über das gebuchte E-Bike prüfen. BOB.i ist der ständige Begleiter des Nutzers. BOB.i nimmt sogar Feedbacks entgegen und verarbeitet diese für die Gebäudesteuerung.



Abbildung 5: BOB lässt sich mit der Steuerung BOB.i über Smartphone oder Tablet bedienen und schafft gleichzeitig neue unmittelbare Nutzen.

## Was ist bei einem digitalisierten Produkt wie BOB in Zukunft noch möglich?

Zwischen dem Bau und dem Betrieb des Bürogebäudes sollte eine strukturierte Phase der Inbetriebnahme liegen. Nur so ist gewährleistet, dass das Gebäude sofort und vor allem effizient funktioniert. Für die Inbetriebnahme sind die möglichen Funktionen eines Bürogebäudes zu prüfen. Bei einem Bürogebäude kommen schnell einige hundert Funktionen zusammen, da es eben auch Kombinationen gibt. Aktuell wird die Funktionsprüfung bei den meisten Bürogebäuden so gut wie gar nicht und bei BOB noch von Mitarbeitern anhand der Prüfung von einigen hundert Funktionsgraphen durchgeführt. Wir beginnen gerade bei BOB damit, diesen Vorgang zu digitalisieren und zu automatisieren. Ihr PKW kann das schon länger, weil Ihr PKW ein Serienprodukt ist.

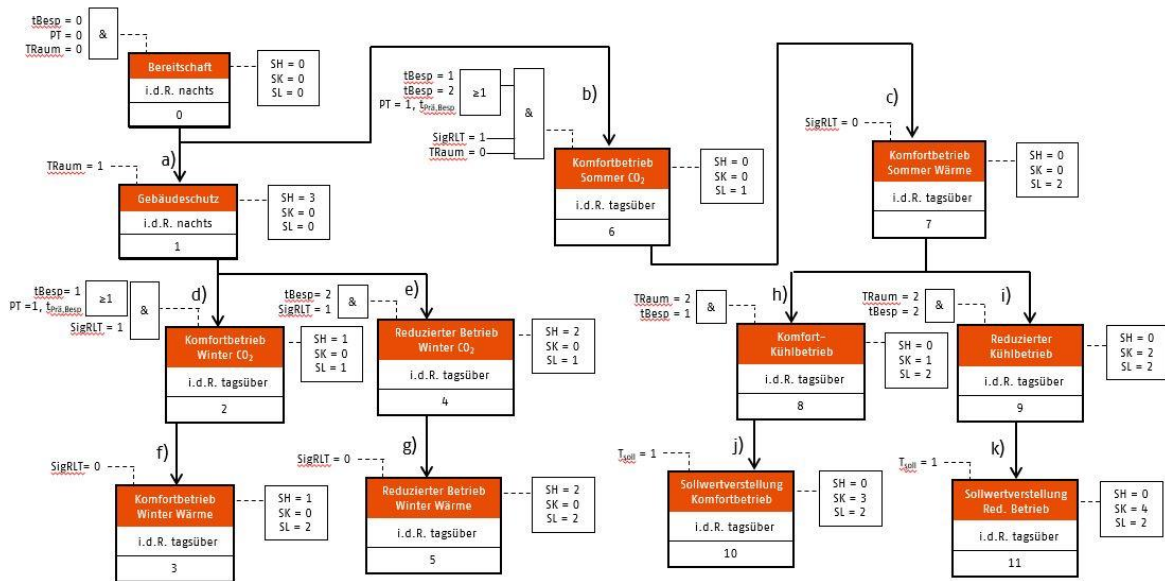


Abbildung 6: Funktionsgraphen beschreiben alle Funktionen in einem BOB und sind Basis für Inbetriebnahme und Facility Management.

Ein weiteres Zukunftsthema ist die ausführliche Berechnung von Lebenszykluskosten. Sie wird heute in Bauvorhaben noch sehr selten durchgeführt, da sie sehr arbeitsintensiv ist, wenn zum Beispiel sogar die Schichten eines Fassadenaufbaus einzeln bewertet werden sollen. Dies und die Abschätzung der Recyclingfähigkeit wären allerdings sehr wichtige Ergebnisse für ein Bürogebäude, das nachhaltig sein möchte. Auch hier wird die BIM-Datenbank zukünftig den Prozess automatisieren, verschlanken und so erst möglich machen können. In der BIM-Datenbank können Kostenansätze für die Investition, die Wartung, die Instandsetzung und die Lebensdauer je Bauteil hinterlegt sein. Würde eine Gebäudesimulation aus den Daten der BIM-Datenbank heraus (heute sind dies noch getrennte Datenmodelle) angestoßen, so würden auch die Verbrauchskosten für Energie für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung ermittelt werden können, so dass die Lebenszykluskosten vollständig berechnet werden können. Ein Fenster ist zum Beispiel ein solches Bauteil, für das alle Aspekte der Lebenszykluskosten zu berechnen sind. Ein Fenster hat Investitions-, Wartungs-, Instandsetzungskosten und eine Lebensdauer. Darüber hinaus gewinnt ein Fenster Tageslicht und vermeidet Kunstlichtbedarf, es gewinnt Solarstrahlung im Winter und vermeidet Heizenergiebedarf, es gewinnt Solarstrahlung im Sommer und erzeugt so einen Kühlenergiebedarf und es verliert im Winter über Transmission Wärme, was den Heizenergiebedarf erhöht. Alle diese Bilanzen sind durchzuführen, um das beste Fenster für den jeweiligen Einsatzfall und das jeweilige Klima zu finden. Die Digitalisierung dieses Prozesses wird die Qualität von Gebäuden deutlich verbessern. Bei BOB stehen wir kurz davor, auch diesen Schritt aus dem BIM-Modell heraus zu realisieren.

Das Internet of Things (IoT) sorgt für die nächste mögliche Revolution für Gebäudeprodukte wie BOB. Bei IoT werden Sensoren und Aktoren über die Cloud miteinander vernetzt. Auf diese Weise können beliebige Funktionen über die Cloud in

ein System eingespielt werden. Hätte man vor Jahren noch eine Sprach- oder Gestenerkennung für ein Produkt wie BOB selbst programmieren müssen, wäre dies wirtschaftlich und fachlich unmöglich gewesen. Spracherkennung wird heute dadurch ermöglicht, dass die Systeme selbstständig lernen. Dazu benötigen Sie möglichst viele Anwendungsfälle, die im Internet zu finden sind. Liegen ausreichend Erfahrungswerte vor, dann muss der Dienst der Spracherkennung über die Cloud nur noch mit BOB.i verbunden werden und schon kann BOB sprachgesteuert werden. IoT wird alle Produkte von Grund auf neu erfinden.

Dass der Datenschutz dabei eine große Herausforderung ist, ist richtig und daher sollte und muss auch nicht alles realisiert werden, was möglich ist. Bei BOB arbeiten wir an einer Cloudlösung, die sich nur temporär mit der Cloud verbindet. Diese Lösung sorgt zudem auch dafür, dass bei einem Ausfall des Internets, das Licht weiterhin ein- und auszuschalten ist. Auf die Sprachsteuerung kann in einem solchen Fall sicherlich verzichtet werden.

Wenn Sie mehr über Digitalisierung erfahren möchten, empfehlen wir unseren YouTube-Kanal. Hier finden Sie z.B. Beispiel die spannenden Interviews von Prof. Dirk Müller von der RWTH Aachen oder Hagen Schmidt-Bleker, Vorstand der formitas AG. <https://www.youtube.com/user/BOBEffizienzTV>

*Quellen:*

*Johannes Schneider Architekt, formitas AG, BOB AG, shutterstock*