

Doctoral Thesis

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ACHIEVEMENT OF OBJECTIVES IN PLANNING ENERGY EFFICIENT OFFICE BUILDINGS

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Doctor of Science in Civil Engineering
of the Vienna University of Technology, Faculty of Civil Engineering

Dissertation

ENTWICKLUNG EINER METHODIK ZUR ZIELERREICHUNG BEI DER PLANUNG VON ENERGIEEFFIZIENTEN BÜROGEBÄUDEN

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaft
eingereicht an der Technischen Universität Wien Fakultät für
Bauingenieurwesen
von

Dipl.-Ing. Markus Leeb
Matrikelnummer e0326434
Kapellenstraße 9
5211 Lengau

Betreuer: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.Thomas Bednar
Forschungsbereich für Bauphysik
Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und
Bauökologie
Technische Universität Wien

Gutachterin: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.Iva Kovacic
Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung
Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Technische Universität Wien

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christoph van Treeck
Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen
RWTH Aachen

Lengau, 08/2020



Kurzfassung

Das Planen von energieeffizienten Bürogebäuden stellt eine große Herausforderung im Bauwesen dar. Die klassische sequentielle Planungsmethode definiert sich über nacheinander erstellte Teilpläne, die zusammen den Gesamtplan ergeben. Die Abhängigkeiten der Teilpläne zueinander sind in diesem Prozess schwer bzw. gar nicht abzubilden. Die sequentielle Planungsmethode ist im Bau noch Stand der Technik. Durch die starre, nacheinander folgende Planung ist es nicht möglich, die Synergien zwischen den einzelnen Gewerken zu nutzen. Die integrale Planung wird zwar seit Jahren gefordert, kommt aber noch selten zur Anwendung. Diese Planungsmethode bindet alle Gewerke ab dem Entwurf ein. Somit werden die Abhängigkeiten der verschiedenen Gewerke gemeinsam diskutiert und in die weitere Planung übergeführt. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit ermöglicht, es gewerkeübergreifende Lösungen für energieeffiziente Bürogebäude zu entwickeln. Die Zielerreichung hinsichtlich Energieeffizienz wird weder in der sequentiellen noch in der integralen Planung ausreichend behandelt. Dies kann zu dem Performance Gap führen, d.h. die Verbrauchsprognosen stimmen mit den Verbräuchen im laufenden Betrieb nicht überein.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methodik zu entwickeln, wie zukünftig energieeffiziente Bürogebäude geplant werden können, um niedrigere Lebenszykluskosten und eine höhere Energieeffizienz zu erreichen. Für diesen Zweck wird in der integralen Planung zusätzlich zu den Fachplanern eine Integrationsgruppe IG installiert. Durch den Einsatz dieser IG wird die Zielerreichung optimiert. Die Person/Personen der IG müssen umfassende fächerübergreifende Kompetenzen aufweisen. Alle relevanten Informationen bezüglich Komponenten, Baumaterialien und Energieeffizienz werden in der IG, die als die zentrale Einheit fungiert, geprüft, bewertet und gegebenenfalls optimiert. Die Berechnungen erfolgen über ein IG-Tool, welches in kurzer Zeit ausreichend genaue Ergebnisse liefert. Alle wichtigen Daten werden in der IG-Komponentenliste zusammengeführt und mit dem IG-Tool in allen Phasen der Planung bis hin zur Inbetriebnahme und im Betrieb bewertet und abgeglichen.

Es wird gezeigt, wie die Einbindung und die Arbeitsweise der IG in den einzelnen Phasen eines Projektes funktioniert, wie die Werkzeuge IG-Tool und IG-Komponentenliste aufgebaut sind und wie die Integrationsgruppe mit diesen Werkzeugen vorgeht. Die Methode wurde anhand des Demonstrationsgebäudes der TU Wien am Getreidemarkt angewandt und wurde im Zuge dieser Arbeit validiert. Die Validierung ergab, dass die Einbindung der IG in das Projektteam und deren Handhabung der Werkzeuge IG-Tool und IG-Komponentenliste die Zielerreichung erleichtern bzw. das Wissen über die Performance des Gebäudes jederzeit abbilden können und somit Fehler schon frühzeitig vermieden werden.

Durch diese Methode wird ab der Konzeptionierung eine Verbrauchsprognose erstellt und über die Planungs-, Realisierungs- und Betriebsphase geführt, angepasst und detailliert. Aufgrund

des ständigen Abgleiches werden die Abweichungen beziffert bzw. Varianten werden hinsichtlich der Zielerreichung überprüft. Bei der Anwendung der Methode am Beispielprojekt konnten die Zielwerte (59 kWh/m².a) aus der Konzeptionierung nach der Optimierung im Betrieb eingehalten werden. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf nach Abschluss der Planung war um 9 kWh/m².a geringer als in der Konzeptionierung. Ein Performance Gap stellte sich nach der Realisierung ein und aufgrund erhöhter Verbräuche stieg der Primärenergiebedarf um 34 kWh/m².a auf 84 kWh/m².a an. Durch die Begleitung der IG und dem Energiemonitoring konnte der Performance Gap wieder eliminiert werden.

Schlagwörter: Integrale Planung, Energieeffizienz, Performance Gap, Bürogebäude

Abstract

The planning of energy efficient office buildings represents a major challenge in the construction industry. The conventional sequential planning method comprises consecutively drawn partial plans, which together form the overall plan. The interdependencies of the partial plans are difficult or impossible to map in this process. The sequential planning method is still state of the art in the construction industry. Due to the rigid, consecutive planning, it is not possible to use the synergies between the various disciplines. Integrated planning has been required for years, but is still rarely used. This planning method involves all disciplines from the design stage onwards. In this way, the dependencies of the various disciplines are discussed together and transferred to further planning. Such interdisciplinary cooperation makes it possible to develop solutions for energy efficient office buildings that cover all disciplines. The achievement of objectives with regard to energy efficiency is not sufficiently addressed either in sequential planning or in integrated planning. In some cases, this leads to the performance gap, i.e. the energy consumption forecasts do not correspond to the energy consumption during operation. The aim of this thesis is to develop a methodology for future planning of energy efficient office buildings in such a way as to achieve lower life cycle costs and higher energy efficiency. For this purpose, an integration group IG is established in the integrated planning in addition to the subject-specific planners. Through the integration of the IG, the achievement of objectives can be optimized. The members of the IG must have comprehensive interdisciplinary competences. All relevant information regarding components, building materials and energy efficiency are checked, evaluated and, if necessary, optimized in the IG, which functions as the central unit. The calculations are carried out using an IG tool, which delivers sufficiently accurate results in a short time. All relevant data is merged in the IG component list and evaluated and compared with the use of the IG tool throughout all planning phases up to commissioning and operation.

It is shown how the integration and the workflow of the IG functions in the different stages of a project, how the instruments IG tool and IG component list are structured and how the integration group proceeds with these tools. The method was applied on the basis of the demonstration building of the Vienna University of Technology and was validated in the course of this thesis. The validation showed, that the integration of the IG into the project team and its handling of the instruments IG tool and IG component list facilitate the achievement of the objectives, since the knowledge about the performance of the building is displayed at any time and thus errors are avoided at an early stage.

With this method, a energy consumption forecast is created from the conceptual design stage onwards and is managed, adjusted and detailed throughout the planning, implementation and operating phases. Based on the constant comparison, deviations are quantified and variants are checked with regard to the achievement of objectives. When applying the method to the

example project, the objectives (59 kWh/m².a) from the conceptual design could be met during operation after optimisation. The non-renewable primary energy demand after completion of the planning was 9 kWh/m².a lower than in the conceptual design. A performance gap occurred after the implementation and due to increased consumption the primary energy demand increased by 34 kWh/m².a to 84 kWh/m².a. The performance gap could be eliminated by the support of the IG and the energy monitoring.

Keywords: Integrated Planning, Energy Efficiency, Performance Gap, Office Building

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar für die Betreuung dieser Arbeit. Dem Team des Forschungsbereichs für Bauphysik und Schallschutz der Technischen Universität Wien möchte ich auch noch für die kooperative Zusammenarbeit danken. Vor allem Alexander David BSc MSc möchte ich hier hervorheben, da er mich unkompliziert mit Daten und Informationen über das untersuchte Gebäude versorgt hat.

Außerdem danke ich meinen Kolleginnen und Kollegen der Fachhochschule Salzburg GmbH für die ausführlichen Diskussionen zum Thema und für die Möglichkeit eine Bildungsteilzeit wahrzunehmen.

Dank gebührt auch meiner Familie für die Unterstützung im Zuge dieser Dissertation.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Doris für die ständige Motivation und Ermutigung, das Korrekturlesen und die endlose Geduld, besonders in der Endphase der Erstellung der Arbeit. Auch meinen beiden Söhnen bin ich großen Dank verpflichtet, da sie in den letzten Jahren teilweise die Freizeit ohne mich verbringen mussten.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Problemstellung	2
1.2.	Zielsetzung	2
1.3.	Forschungsfragen	3
1.4.	Methodik & Abgrenzung	3
2.	Stand der Technik	5
2.1.	Energie Performance Gap	8
2.2.	Sequentielle Planung und integrale Planung	15
2.3.	Weiterentwicklung zum Life-Cycle- und Sustainable-Engineering	29
2.4.	Building Information Modeling (BIM)	31
2.5.	Beschaffungs- bzw. Vergabemodelle für Bauherren- bzw. Investorengruppen im Bauwesen	38
3.	Weiterentwicklung der Methode	41
3.1.	IG-Komponentenliste, IG-Tool und Simulation	49
3.1.1.	IG-Komponentenliste	49
3.1.2.	IG-Tool	59
3.1.3.	Komponenten- und Gebäudesimulation	69
3.2.	Die Integrationsgruppe IG	70
3.2.1.	Die IG – in der Konzeptionierungsphase.....	72
3.2.2.	Die IG – in der Planungsphase	77
3.2.3.	Die IG – in der Realisierungsphase.....	81
3.2.4.	Die IG in der Betriebsphase.....	85
4.	Anwendung am (Plus)Plusenergiebürohochhaus der TU Wien	87
4.1.	Kurzbeschreibung Gebäude, Ausgangssituation und Ziele	87
4.1.1.	Bestandsgebäude „Chemiehochhaus“ Bauteil BA - Getreidemarkt	87
4.1.2.	Ausgangssituation	89
4.1.3.	Generalsanierung	89
4.1.4.	Ziele	91

4.1.5.	Definition des (Plus)Plusenergiehochhauses.....	92
4.2.	Die IG-Integrationsgruppe bei der Umsetzung des (Plus)Plusenergiebürohochhaus der TU Wien	93
4.2.1.	Die Anwendung der IG in der Konzeptionierungsphase.....	93
4.2.2.	Die Anwendung der IG in der Planungsphase	99
4.2.3.	Die Anwendung der IG in der Realisierungsphase.....	110
4.2.4.	Die Anwendung der IG in der Betriebsphase.....	116
4.2.5.	Vergleich Prognose und Verbrauch der Phasen	121
5.	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	124
	Abbildungsverzeichnis	I
	Tabellenverzeichnis	V
	Abkürzungsverzeichnis	VI
	Einheiten.....	VIII
	Anteil an Publikationen.....	IX
	References	XII

1. Einleitung

Der Bausektor ist einer der größten Energieverbraucher in Europa. Gebäude benötigen 40 % des Endenergieverbrauchs, verursachen 36 % des CO₂-Ausstoßes und verbrauchen 55 % der elektrischen Energie der Europäischen Union (EU). (Artola, Rademaekers, Williams, & Yearwood, 2016, p. 11)

In der europäischen Union (EU) bestehen 25 % der gesamten Bruttogeschoßfläche aus Nichtwohngebäuden. Davon wiederum sind ca. 23 % Bürogebäude. Das entspricht einer Bürofläche von 1,44 Milliarden m² in der EU. Ein Großteil der Gebäude wurde vor Einführung der gesetzlichen Energieeffizienzrichtlinien erbaut und weist einen erhöhten Gesamtenergiebedarf auf. Der durchschnittliche Endenergieverbrauch in Nichtwohngebäuden liegt bei 280 kWh/(m².BGF.a) und der Stromverbrauch ist in den letzten 20 Jahren um 74 % gestiegen. (Economidou et al., 2011)

Die Gesamtenergieeffizienz für Gebäude wurde durch die EU mit der Richtlinie 2010/31/EU geregelt und durch die Mitgliedsstaaten umgesetzt. In diesem Dokument wurde auch die Einführung von NZEB (Nearly Zero Energy Building) bzw. übersetzt Niedrigstenergiegebäude und die Erhöhung der Anzahl dieser Gebäude beschlossen. Außerdem war von allen Mitgliedsstaaten zu gewährleisten, dass bis 31.12.2020 alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude (ab 31.12.2018 alle öffentlichen Gebäude) sind und nationale Pläne erstellt werden. (EPBD recast 2010/31/EU, 2010; EPBD 2012/27/EU, 2012)

Im Mai 2018 wurde eine neue Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden veröffentlicht. (als Änderung der beiden zuvor genannten Richtlinien) In dieser Veröffentlichung setzte sich die EU folgendes Ziel:

Mit der Energieunion und dem energie- und klimapolitischen Rahmen für die Zeit bis 2030 setzt sich die Union ehrgeizige Ziele zur weiteren Verringerung der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % bis 2030 im Vergleich zu 1990, zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Energieverbrauch, zu Energieeinsparungen in Höhe der Vorgaben auf Unionsebene und zur Verbesserung der Energieversorgungssicherheit, Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit in Europa. (EPBD 2018/844/EU, 2018)

Außerdem setzt sich die Union für eine langfristige Dekarbonisierung im Gebäudebestand bis 2050 ein. Dies soll durch ein Gleichgewicht zwischen der Reduzierung des Energieverbrauchs und der Dekarbonisierung der Energieversorgung erfolgen. Dies erfordert aber auch eine drastische Erhöhung der Gebäuderenovierungsquote auf 3 % und die Abbildung und Implementierung von langfristigen Renovierungsstrategien. (EPBD 2018/844/EU, 2018)

Die derzeitige Sanierungsrate in Europa lag in den letzten Jahren bei ca. ein bis zwei Prozent und wurde nicht gesteigert. (Artola et al., 2016)

Die seit 2010 geforderten Ziele und der oben genannte Umstand, dass Gebäude einen großen Anteil am Primärenergieverbrauch darstellen, führen mittlerweile zu einem Umdenken hinsichtlich Energieeffizienz von Gebäuden beim Neubau und in der Sanierung.

Diese hocheffizienten Neu- bzw. Umbauten müssen auch geplant werden. Die Entwicklung und Planung von Gebäuden basiert, trotz der vorher genannten Umstände, weitestgehend auf der Minimierung der Investkosten ohne Betrachtung der Lebenszykluskosten.

1.1. Problemstellung

Die erhöhten Anforderungen an Gebäude bewirken komplexere Aufgabenstellungen und daraus resultierend größere Planungsteams bzw. mehrere Personen im Prozess. (König, Kohler, Kreißig, & Lützkendorf, 2009) Diese Auswirkungen werden mit der derzeit vorherrschenden sequentiellen Planungsmethode nur bedingt beherrscht und führen einerseits zu Kostensteigerungen (van Treeck et al., 2016) und andererseits zu einer Unzufriedenheit der Beteiligten im Prozess. (Kovacic, 2012)

Die integrale Planung ermöglicht durch den kooperativen Ansatz ab den ersten Phasen eine gesamtheitliche innovative Lösung der Bauaufgabe, weist aber Defizite hinsichtlich Lebenszyklusbetrachtung auf. Das Wissen aus den Betriebsphasen und aus dem Rückbau wird in der integralen Planung selten bis nie bedacht, da meistens bei planenden und ausführenden Unternehmen der Auftrag ab der Inbetriebnahme abgeschlossen ist. (M. Bauer, Möhle, & Schwarz, 2013) Außerdem werden von den handelnden Personen meist keine gewerkübergreifenden Tools bzw. Software angewandt, sondern mit den gewerkspezifischen Tools agiert. Die branchenspezifischen Softwarelösungen weisen oftmals keine interdisziplinäre Betrachtung der Problematik auf.

Dies führt oftmals zu höheren Verbräuchen im Betrieb von Gebäuden, als im Vorfeld prognostiziert wurde. Dieses Phänomen wird auch „Performance Gap“ genannt.

1.2. Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methodik zu entwickeln, wie zukünftig energieeffiziente Bürogebäude geplant werden können, um niedrigere Lebenszykluskosten und höhere Energieeffizienz zu erreichen. Für diesen Zweck wird in der integralen Planung zusätzlich zu den Fachplanern eine Integrationsgruppe IG installiert. Durch den Einsatz dieser IG wird die Zielerreichung optimiert. Die Person/Personen der IG müssen umfassende fächerübergreifende Kompetenzen aufweisen. Alle relevanten Informationen bezüglich Komponenten, Baumaterialien, Energieeffizienz und Lebenszykluskosten werden in der IG, die als die zentrale Einheit fungiert, geprüft, bewertet und gegebenenfalls optimiert. Die Berechnungen erfolgen über ein IG-Tool, welches in kurzer Zeit ausreichend genaue Ergebnisse liefert. Alle wichtigen Daten

werden in der IG-Komponentenliste zusammengeführt und mit dem IG-Tool über alle Phasen der Planung bis hin zur Inbetriebnahme und im Betrieb bewertet und abgeglichen. Somit soll eine Sicherstellung der Ziele erreichbar sein.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Implementierung der IG in den Planungsprozess. Es gibt unterschiedlichste vertragliche Varianten, ein Gebäude zu errichten. In dieser Arbeit wurde die Anwendung bei einem Generalplanerprozess durchgeführt. Nichtsdestotrotz ist die Methode auf die anderen Planungsmethoden übertragbar.

1.3. Forschungsfragen

Die Dissertation adressiert folgende Fragestellungen:

- Kann der „Performance Gap“ durch Anwendung der Methode eliminiert werden?
- Welche Komponenten/Verbraucher sind in Bürogebäuden energetisch relevant?
- Welchen Nutzen hat die Implementierung einer Integrationsgruppe IG im Gegensatz zu einem konventionellen Prozess?

1.4. Methodik & Abgrenzung

Für die Beurteilung der Gesamtenergieeffizienz von Bürogebäuden ist umfassendes interdisziplinäres Wissen in den Bereichen Baukonstruktion, Bauphysik und technische Gebäudeaustattung notwendig. Durch umfassende Literaturrecherche wird der Stand der Technik im Bereich Gesamtenergieeffizienz ermittelt. Elektrische Leistungsmessungen aus Vorprojekten ergänzen die Recherche und durch Anwendung der Ergebnisse wird ein Berechnungstool, das IG-Tool, entwickelt. Das IG-Tool berechnet die Gesamtenergieeffizienz und gibt Energiekennzahlen für das Gebäude aus. Die Gesamtenergieeffizienz schließt den Bedarf vom Gebäudebetrieb bis hin zur Nutzung erforderlicher Energie ein. Das Tool wird für die Verbrauchsprognose konzipiert und liefert stundenbasierte Lastgänge über ein Jahr. Anhand eines umgesetzten Bauprojektes wird das IG-Tool erprobt und weiters validiert. Es werden die Ergebnisse des IG-Tools in den einzelnen Phasen der Case-Study untersucht, bewertet und verglichen.

Die Grundlagen für die IG-Komponentenliste wurden über ein Forschungsprojekt erarbeitet und die Liste wird im Zuge dieser Arbeit ausgebaut, mit Literatur abgeglichen und evaluiert. Die Schnittstellenthematik hinsichtlich Datenaustausch zwischen IG-Tool, IG-Komponentenliste und Simulationen bzw. weiteren Datenempfängern wird in dieser Arbeit ausgeklammert. Die verschiedenen Planungsmethoden und deren Prozesse resultieren auch aus einer Literaturrecherche. Mit dem Wissen aus der Recherche wird eine Änderung der Arbeitsweise gestaltet und ausformuliert.

Die geänderte Planungsmethodik wird gemeinsam mit dem geschaffenen IG-Tool und IG-Komponentenliste an einem Beispielobjekt angewandt, evaluiert und analysiert. Die auf Menschen bezogene Probleme im Beziehungsdreieck Menschen – Prozesse – Technologie werden nicht behandelt.

Der Fokus dieser Arbeit liegt in der Implementierung der Integrationsgruppe IG in allen Phasen eines Bauwerks ohne Rückbau bzw. Neuentwicklung. Da das Hauptaugenmerk auf die Energieeffizienz gerichtet ist, werden Invest- bzw. Lebenszykluskosten sowie Ökobilanzierung nicht behandelt.

2. Stand der Technik

Bei einer nachhaltigen Entwicklung von Gebäuden müssen viele Kriterien erfüllt sein, die gesamtheitlich beachtet werden müssen. Laut Bächtold können diese Kriterien in vier Bereiche eingeteilt werden. Zum einen sind das ökologische Kriterien wie z.B. die ökologische Tragfähigkeit, Resilienz und Biodiversität und zum anderen kulturelle Kriterien wie das Erhalten von natürlichen und kulturellen Landschaften. Weiters werden noch soziale Kriterien (z.B. bestmögliche Erfüllung von Bedürfnissen) und ökonomische Kriterien (z.B. Wohlstand bzw. Konstanz des natürlichen und geschaffenen Kapitals) genannt. (Bächtold, 1998, p. 5)

Zusätzlich zu den Randbedingungen der Nachhaltigkeit in Bezug auf die Gebäude ergeben sich daraus eine Vielzahl von Akteuren im Bauprozess, die alle unterschiedliche Sichtweisen und dadurch Zeiterwartungen bedeuten. Aufgrund der Sichtweisen ergeben sich verschiedene Zeiterwartungen je Akteur. Mieterinnen und Mieter sind im Nichtwohnbereich zwischen 1-20 Jahren in einem Gebäude. Die Immobilienmaklerschaft beschäftigt sich 1-2 Jahre mit dem Bauwerk und die nicht öffentlichen allgemeinen Gebäudebesitzerinnen und –besitzer sind zwischen 25-50 Jahre Eigentümerin bzw. Eigentümer der Liegenschaft. Daher müssen im Hinblick auf die Nachhaltigkeit und den Lebenszyklus verschiedenste Interessen der jeweiligen Akteure beachtet werden. (König et al., 2009, pp. 14–15)

Neben den oben genannten Rahmenbedingungen sind die energetischen Anforderungen an Gebäude in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten signifikant gestiegen. Am Beispiel des Primärenergiebedarfs für Heizung (siehe Abbildung 1) in Deutschland ist ersichtlich, wie sich die gesetzlichen Vorgaben, die Baupraxis und die Forschungsvorhaben hin zu NZEB (Nearly Zero Energy Building) und Plusenergiehäuser entwickelt haben. Dieser Trend ist aber nicht nur für die Heizenergie zu sehen, sondern auf die gesamte Primärenergie von Gebäuden übertragbar und gesetzlich geregelt. (EPBD recast 2010/31/EU, 2010)

Durch die Gesetzgebung und das erhöhte Bewusstsein der Bevölkerung hinsichtlich Energieeffizienz, steigt die Zahl der errichteten NZEB und Plusenergiegebäude im Wohn- und Nichtwohnbereich. (R. Lechner, Lipp, Lubitz-Prohaska, Steiner, & Weber, 2015, pp. 89–91)

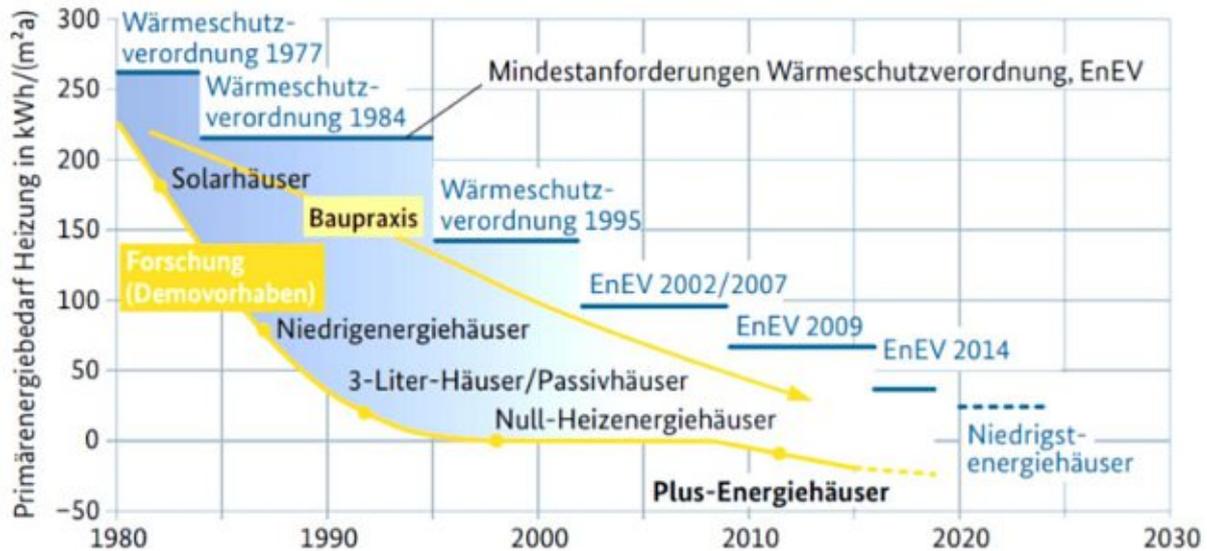


Abbildung 1: Entwicklung des energiesparenden Bauens in Deutschland am Beispiel des Primärenergiebedarfs für die Heizung (Weinläder et al., 2019)

Außerdem steigt durch die erhöhten Anforderungen hinsichtlich Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und Komfort die Komplexität in der Gesamtheit der Bauaufgabe und in der Konzeptionierung und Planung. M. Bauer et al. definieren die Anforderungen wie folgt:

Solche Gebäude in einem integrativen Prozess zu planen, erfordert die Bereitschaft aller Beteiligten, die zahlreichen Schnittstellen eher als Nahtstellen der Gewerke zu verstehen, deren Synergien noch lange nicht ausgeschöpft sind. Hierzu wird ein spezielles ganzheitliches Know-how zu den wesentlichen klimatologischen, energetischen, thermischen, aero- und bauphysikalischen Vorgängen einschließlich des Know-hows zu ressourcenschonenden, umweltverträglichen Konstruktionen und Materialien benötigt. Zudem werden moderne Berechnungs- und Simulationswerkzeuge eingesetzt, die die Auswirkungen auf den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes bereits in der Planung detailliert aufzeigen. (M. Bauer et al., 2013, p. 7)

Dies erfordert neue Ansätze in der Planung solcher Gebäude. Sequenzielles Planen ist für diese Aufgaben nur bedingt geeignet. Daher muss für die Schaffung komplexer Gebäude vermehrt integrales Planen bzw. Weiterentwicklungen zur vernetzten (M. Bauer et al., 2013, p. 21) bzw. simultanen Planung (Bednar et al., 2018) angewandt werden.

Aufgrund dieser Komplexität wurden Normen und Leitfäden für die Bauherrinnen und Bauherren bzw. die Projektbeteiligten erarbeitet.

Die deutsche Norm DIN 18205 „Bedarfsplanung im Bauwesen“ definiert das Ziel in der ersten Phase des Projektes wie folgt:

Ziel der Bedarfsplanung ist es, die Bedürfnisse, Ziele und Anforderungen des Bedarfsträgers, z. B. Bauherr, Nutzer oder Betreiber, zum frühestmöglichen Zeitpunkt in einen Lösungsrahmen des Projektes zusammenzustellen. Sie ist ergebnisoffen und muss nicht zwangsläufig zur Errichtung eines neuen Bauwerks führen. Sie muss jedoch in den gesamten Prozess der Umsetzung der formulierten Ziele einbezogen werden. (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2016c, p. 4)

Für den gesamten Prozess entwickelten Achammer, Friedl, Heid, Kradschnig, and Morlock den Leitfaden „Der Weg zum lebenszyklusorientierten Hochbau“ in dem alle Phasen des Projektes und deren Beteiligten aufgezeigt werden. (Achammer et al., 2017)

Weiters erleichtern verschiedene Bewertungssysteme die Vergleichbarkeit der Qualität der unterschiedlichen Maßnahmen für die Projektentwicklung und das Planungsteam. (Kovacic, Achammer et al., 2012, pp. 17–29 oder M. Bauer et al., 2013, p. 15) Die neuen Planungsprozesse, die Leitfäden und auch die Bewertungssysteme sichern und erhöhen die Qualität der Gebäude.

Eine weitere Sicherstellung des Informationsaustauschs zwischen den einzelnen Akteuren im Prozess ist die Verwendung von BIM (Building Information Modeling). Die Lebenszyklusorientierung fordert die integrale Planung und diese wiederum fordert BIM um die Ziele zu erreichen. (Kovacic & Achammer, 2013) BIM stellt neue Techniken für die integrale Planung bereit, unter der Voraussetzung die Zusammenarbeit der planenden und ausführenden Unternehmen zu definieren und festzulegen. (van Treeck et al., 2016, p. 14)

Die Autoren van Treeck, Heidemann, Siwecki, Schmidt, and Zeppenfeld sagen dazu:

BIM ist dabei ein wichtiges Umsetzungsinstrument der Integralen Planung, da es zu Beginn eines Projektes konkrete Festlegungen einfordert, welche Planungsleistungen zu welchem Zeitpunkt und in welcher inhaltlichen Tiefe und insbesondere in welcher Qualität – bzw. in welchem Fertigstellungsgrad – zu erbringen sind. (van Treeck et al., 2019, p. 14)

Folglich ist eine konkrete und detaillierte Zieldefinition in den frühen Phasen von Projekten elementar.

Allgemein entstand in den letzten Jahren im Gebäudebereich ein „Performance Gap“. Dieser Performance Gap stellt eine Erhöhung zwischen dem prognostizierten und dem gemessenen Verbrauch dar. In einer Schweizer Studie wurde ein Mehrverbrauch in Wohngebäuden an Heizwärme im Mittel von 44 % nachgewiesen. Vier Gebäude dieser Untersuchung überschritten den vorhergesagten Heizwärmebedarf um über 100 %. Bei detaillierter Betrachtung der Ergebnisse kommt man zum Schluss, dass bei Eingabe von realem Nutzerverhalten bei den Bedarfsberechnungen die untersuchten Gebäude keinen „Performance Gap“ aufweisen würden. (Igor et al., 2018)

In den folgenden Unterkapiteln beschäftigt sich diese Arbeit hinsichtlich Zielerreichung mit dem Performance Gap, den verschiedenen Planungsmethoden und deren Prozessen.

2.1. Energie Performance Gap

Wie schon vorab erläutert, versteht man unter „Performance Gap“ den Mehrverbrauch bzw. die Überschreitung der prognostizierten Energiekennwerte. Dies ist einerseits für die laufenden Kosten relevant und andererseits für die gesteckten Energieeinsparungsziele der einzelnen Regierungen, da die im standardisierten Verfahren ermittelten Werte (Energieausweise, Energy Certificate, EPBD) die tatsächlichen Verbräuche unterschätzen. Das Ziel des Energieausweises ist es nicht, den Verbrauch zu prognostizieren, sondern verschiedene Gebäude hinsichtlich Gesamtenergieeffizienz zu vergleichen. Ein Gebäude mit einem niedrig prognostizierten Heizwärmebedarf weist tendenziell auch einen geringeren Heizenergieverbrauch auf. (Igor et al., 2018)

Beim „Performance Gap“ muss zum einen beachtet werden, dass dieser Begriff noch nicht einheitlich definiert ist und daher nicht direkt vergleichbar ist und zweitens muss man unterscheiden, ob Nutzenergie oder Endenergie untersucht wurde. In manchen Studien wird der Performance Gap auch mit zwei weiteren Effekten verglichen. Der Rebound-Effekt entsteht bei Sanierungen, wenn die vorhergesagten Einsparungen im Betrieb durch anderes Nutzerverhalten oder falscher Betriebsweise eliminiert werden. Dieser Rebound-Effekt entsteht vor allem durch die Erhöhung der Raumtemperatur. Der zweite Grund liegt im Minderverbrauch bei Altbauten gegenüber den Bestandsenergieausweisen. Meist wird bei Altbauten der Bedarf gegenüber dessen Verbrauch überschätzt. Diesen Effekt nennt man Prebound-Effekt und dieser weist hinsichtlich Performance-Gap ein negatives Vorzeichen auf. Der Rebound- und der Prebound-Effekt sind somit ein Teil bzw. ein Grund für den Performance-Gap. (Igor et al., 2018)

In Abbildung 2 ist eine Spezifizierung und Unterteilung des Performance Gaps sichtbar. Beim Ambient-Gap handelt es sich um klimatische bzw. die Umgebung betreffende Ursachen wie z.B. die Außentemperatur oder die Umgebungsverschattung. Der Usage-Gap befasst sich mit den Auswirkungen der Nutzerinnen und Nutzer auf die Performance des Gebäudes. Das sind z.B. erhöhte Raumtemperaturen oder ein anderes Lüftungsverhalten. Der Norm-Gap ergibt sich aus dem Unterschied zwischen dem errechneten Bedarf und dem realen Verbrauch aufgrund von falschen Annahmen bzw. falschen Berechnungsgrundlagen. Der Technical-Gap stellt den eigentlichen Performance-Gap dar. Dies sind die Abweichungen die im Konnex mit der Gebäudetechnik und der Bauphysik stehen. Hier fließt neben dem hydraulischen Abgleich auch die Betriebsführung, wie die Einstellung der Heizkurve, ein. Dieser Technical-Gap ist in dieser Studie als Performance Gap im eigentlichen Sinne definiert. (Igor et al., 2018)

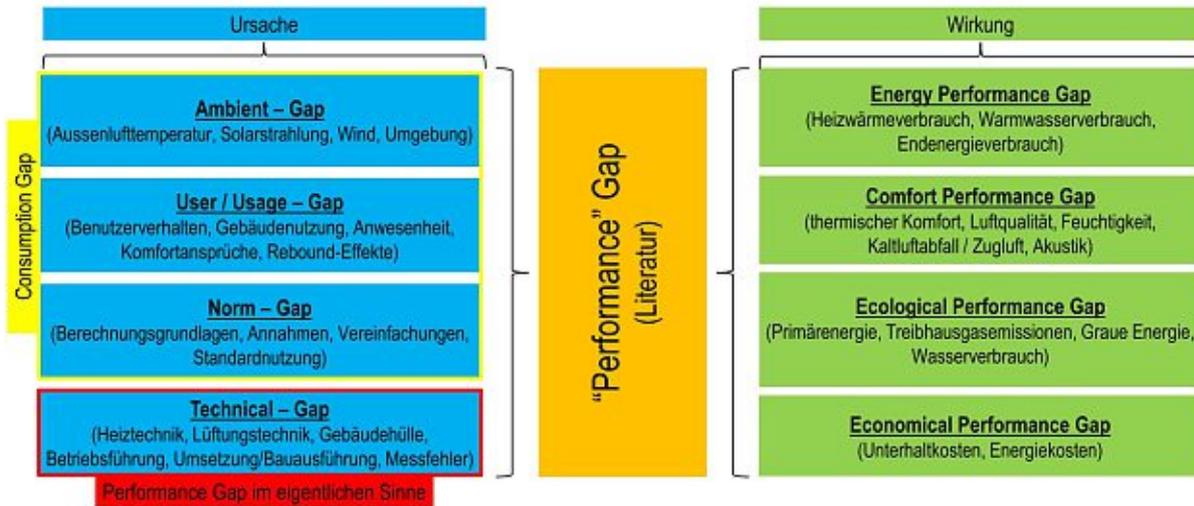


Abbildung 2: Unterteilung und Spezifizierung des Begriffes Performance Gap (Igor et al., 2018)

Ein klarer Unterschied zwischen den prognostizierten Bedarfswerten in den Energieausweisen und dem tatsächlichen Verbrauch ergab sich in einer groß angelegten niederländischen Untersuchung über Wohnbauten. In den Niederlanden wird hauptsächlich Gas für die Heizung als Energieträger für Wohngebäude eingesetzt. Der gesamte Gasverbrauch wird gegenüber den Prognosen um ca. 8 % unterschätzt. Der Gasverbrauch jedoch wird, wie in Abbildung 3 ersichtlich, bei den hocheffizienten Gebäuden in den Energieeffizienzklassen A und B unterschätzt und ab der Energieeffizienzklasse C überschätzt. Die Bandbreite der Bedarfsberechnungen zeigt bei der Änderung von einzelnen Randbedingungen (Innenraumtemperatur, Anzahl Personen, interne Lasten, Luftwechselrate und Qualität der Dämmung), dass bei den Effizienzklassen A-D die Änderung einer Randbedingung ausreicht, um den Verbrauchswerten zu genügen. Ab Effizienzklasse E müssen schon mehrere Randbedingungen adaptiert werden, um die aktuellen Verbräuche zu treffen. (Majcen, 2016)

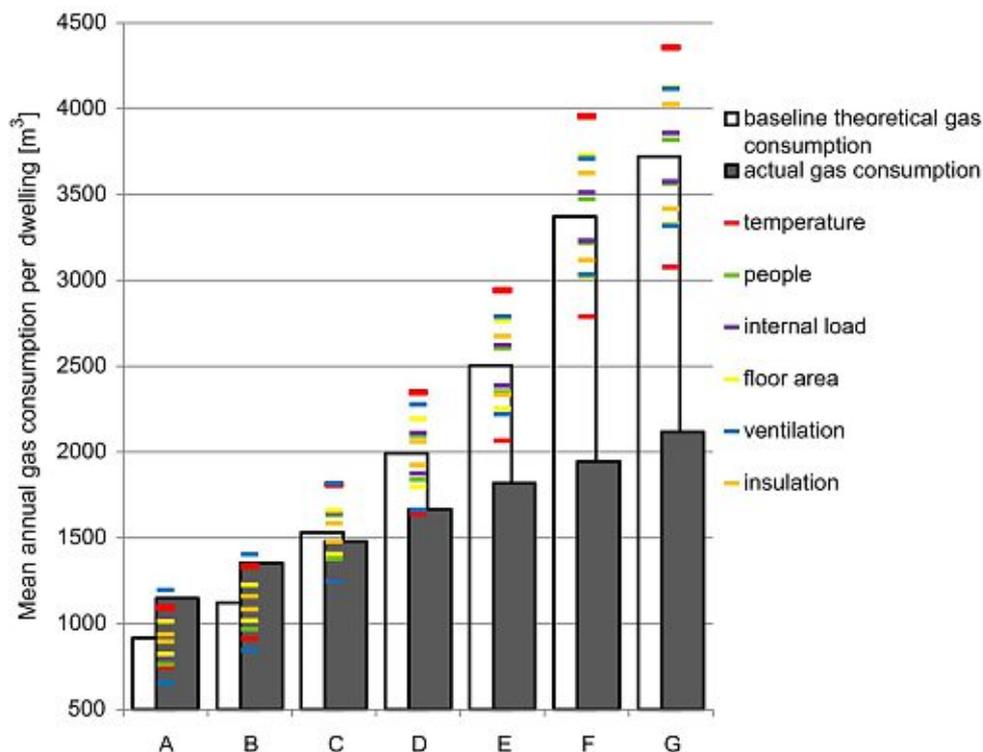


Abbildung 3: Realer und prognostizierter Gasverbrauch pro Wohnung und Einfluss verschiedener Parameter wie z.B. Temperatur, Dämmung,... (Majcen, Itard, & Visscher, 2013, p. 468)

Diese Untersuchung bestätigt den vorher erwähnten Prebound-Effekt bei nicht energieeffizienten Altbauten und die tendenziellen Unterschätzungen bei hocheffizienten Gebäuden. Außerdem bestätigen die Ergebnisse in Abbildung 3 die Annahme, dass bei hocheffizienten Gebäuden tendenziell weniger verbraucht wird als bei nichteffizienten Gebäuden.

Das Auftreten eines Performance Gaps wurde auch bei wissenschaftlich begleitenden Demonstrationsobjekten festgestellt:

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass mit wenigen Ausnahmen im energetischen Bereich praktisch alle Demonstrationsbauten Abweichungen gegenüber den Planvorstellungen und Zielwerten in Kauf nehmen mussten. Diese sind in vielen Fällen durch von den Berechnungsergebnissen und –annahmen abweichende Nutzungsdichten und/oder durch thermisch überhöhte Anforderungen bei der Innenraumtemperatur erklärbar. Im geringeren Ausmaß handelt es sich dabei um Ausführungsmängel, welche in der Regel im Zuge der Inbetriebnahme korrigiert werden können. Dabei helfen sowohl das Verbrauchsmonitoring, als auch die Befragung der NutzerInnen zu ihrer Zufriedenheit. (R. Lechner, Lubitz-Prohaska, Lipp, & Steiner, 2015)

Diese Abweichungen stellen für die Industrie und deren Produkte ein Problem dar, da das Vertrauen in den Bau- und Gebäudetechnikbereich aufgrund des Performance Gaps sinkt. Im Hinblick auf die klimatischen Änderungen, denen die Gebäude ausgesetzt sind, bedarf es hier einer robusten und funktionierenden Bauweise inklusive exakter Planung und einer gezielten Verbrauchsprognose. Weiters betreffen die Abweichungen eine Reihe von Faktoren, die den

gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes umfassen. Verbrauchsprognosen in der Entwurfsphase beruhen auf Personen, welche Modelle, Berechnungen bzw. Tools nutzen. Dies erfordert geeignete Instrumente sowie umfassend ausgebildete Personen um die Abweichungen in den Prognosen zu minimieren. Ohne Wissen über das Wetter und das Nutzerverhalten können Verbrauchsvorhersage in der Vorentwurfsphase um das Dreifache gegenüber zukünftigen Messungen abweichen. Sind diese Randbedingungen bekannt werden die Abweichungen auf 40 % minimiert. (Wilde, 2014; Wilde & Jones, 2014)

Eine Untersuchung des energetischen Baustandards von 25 Wohnungen in England zeigt eine negative Abweichung des realen mittleren U-Wertes gegenüber des geplanten mittleren U-Wertes bei allen Wohnungen. Die geplanten mittleren U-Werte lagen durchschnittlich bei $0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ während die gemessenen Werte einen mittleren U-Wert von $0,58 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ aufwiesen. Diese Messungen wurden mit dem in England verbreiteten Co-Heating-Test durchgeführt. (Johnston, Miles-Shenton, & Farmer, 2015)

Um den thermischen Performance Gap zu schließen ist es notwendig, Mängel im Bau und im Betrieb zu vermeiden. Um die Ursachen der Fehler zu identifizieren und zu vermeiden, bedarf es der Umsetzung wirksamer Qualitätspläne, um die negative Auswirkung auf die thermische Performance zu vermeiden. (Alencastro, Fuertes, & Wilde, 2018)

Weiters müssen die Anwesenheit von Personen und die Verwendung von Geräten in Gebäuden beachtet werden. Um den Performance Gap im Vorfeld auszugleichen empfiehlt es sich, die Nutzer und deren Geräte genau abzubilden, (Personenanzahl, Geräte etc.) sowie die Innentemperaturen nicht zu gering zu wählen. (Igor et al., 2018, p. 114)

In Nichtwohngebäuden kann der Verbrauch bei genauer Abbildung der Personen und der verwendeten Geräte in der Planungsphase mittels Simulationen mit Abweichungen von drei bis sechs Prozent prognostiziert werden. Diese Übereinstimmungen werden mit einem detaillierten Wissen über die elektrische Ausstattung erreicht. Aufgelistet wurden die elektrisch installierte Leistung, die Anzahl der EDV-Geräte, wie Monitore, Drucker und aber auch die Geräteausstattung in der Teeküche wie z.B. Teekoher, Kühlschrank, Mikrowellenherd, Geschirrspüler und Kaffeemaschinen mit der Annahme von individuellen Laufzeiten. (Menezes, Cripps, Bouchlaghem, & Buswell, 2012)

Die Anwesenheit von Personen kann mit sogenannten Personenanwesenheitsmodellen abgebildet werden. In Ahn, Kim, Park, & Wilde, 2017 werden ein einfacher Zeitplan (fixed ASHRAE model), ein Markov-Ketten-Modell und ein in eben dieser Studie entwickeltes Zufallsmodell („Random walk“) an zwei Laboratorien und drei Lesesälen angewandt und verglichen. Das Ergebnis zeigt, dass es einen eklatanten Unterschied macht, ob es sich um eine Nutzung mit vorgegebenen Öffnungszeiten, also einem definierten Zeitplan, oder um eine zufällige Anwesenheit (jederzeit Zugang zum Gebäude) handelt. (Ahn et al., 2017)

Um die Anzahl der Personen in Bürogebäuden vorherzusagen und in einer frühen Phase abschätzen zu können, werden Zufallszahlen in den Simulationen und Tools angewandt (Leeb, 2009) bzw. es wird auf Messungen zurückgegriffen. (Pröglhöf, 2009)

Robinson, Foxon, and Taylor entwickelten ein Modell für Nichtwohngebäude, welches die Beziehungen zwischen den Einflussfaktoren auf den Performance Gap für große Organisationen beschreibt. Sechs Komponenten die sich gegenseitig beeinflussen sind in Abbildung 4 ersichtlich. Die Gebäudeplanung und das Benutzerverhalten stellen die beiden Schwerpunkte des Modells dar. Das Facility Management mit der Gebäudeleittechnik fungiert als das Bindeglied zwischen der Planung und dem Nutzerverhalten und hat die Rolle des „Kommunikators“. Der Performance Gap ist das Ergebnis dieser Kommunikation und beeinflusst direkt den Energieverbrauch. Die Organisation ist direkt vom Energieverbrauch abhängig, da sie wirtschaftlich und kulturell die Energierichtlinien beeinflusst bzw. vorgibt. Bei einer Fallstudie wurde das Modell erprobt und der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch aufgezeigt. Weiters wurden die Interessenskonflikte zwischen Nutzerwünschen und Energieeffizienz festgestellt und die Problematik der zeitplanorientierten Betriebsführung ohne Abstimmung mit der echten Anwesenheit der Nutzerinnen und Nutzer eruiert. (Robinson et al., 2016)

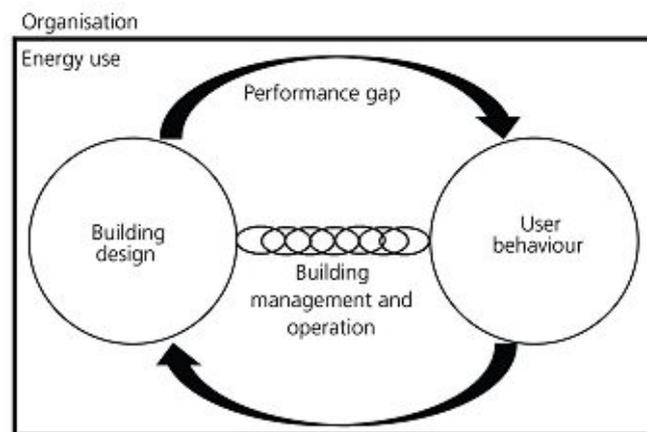


Abbildung 4: Das entwickelte nDeep Modell für Nichtwohngebäude (Robinson et al., 2016, p. 33)

Eine Studie in Österreich beschäftigte sich mit dem Zusammenhang von hohem Komfort und niedrigstem Energieverbrauch in Gebäuden. Diese Untersuchung hocheffizienter Bürogebäude inklusive Umfrage ergab, dass 84 % der Nutzerinnen und Nutzer hinsichtlich Behaglichkeit allgemein „sehr zufrieden“ bzw. „zufrieden“ mit ihrem Arbeitsplatz sind. Der große Einfluss der Luftqualität auf die Behaglichkeit wurde bei einem Gebäude bestätigt. Nur 48,5 % der Nutzerinnen und Nutzer gaben an, mit der Luftqualität in diesem Gebäude zumindest „zufrieden“ zu sein. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde nachgeforscht und festgestellt, dass die Lüftungsanlage nicht richtig funktionierte. Dieser Fehler konnte, ohne die Energieeffizienz negativ zu beeinflussen, behoben werden. (Ornetzeder, Wicher, & Suschek-Berger, 2016)

Wie aus der vorhergehenden Literatur ersichtlich, ist in Großbritannien der „Performance Gap“ schon seit längerer Zeit Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Bereits im Jahr 2010

wurde im Projekt CarbonBuzz eine Internetplattform zum Vergleich des geplanten und des gemessenen CO₂-Ausstoßes eingerichtet. Diese Plattform ist für alle Akteure eingerichtet worden, um anonymisiert die eigenen Objekte hochladen, teilen und mit den anderen vergleichbaren Gebäuden zu können. (Kimpian et al., 2010)

2012 startete das Projekt „Closing the gap between design and as-built performance“ mit dem Ziel den Performance Gap mit Hilfe von 160 Expertinnen und Experten aus Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft zu schließen. In Abbildung 5 sind die fünf Hauptaufgabenfelder dargestellt. Im ersten Bereich „Energiekompetenz“ ist Bewusstseinsbildung für alle Akteure des Gebäudebereichs für den Unterschied zwischen prognostiziertem und realem Verbrauch mit Hilfe von Kursen und Personenzertifizierungen geplant. Das zweite Hauptaufgabenfeld beschäftigt sich mit der Erhöhung der Qualität der Bauwerke durch Implementierung von Lernschleifen, Entwicklung industrienaher und robuster Konstruktionsdetails und durchgehender Qualitätssicherung von der Planung bis zur Inbetriebnahme. Die dritte Aufgabe hat zum Ziel, funktionierende Systeme und Produkte zu demonstrieren und zu messen. Hierfür sollen aussagekräftige und standardisierte Mess- bzw. Bewertungstechniken für Produkte und Systeme entwickelt und umgesetzt werden. Das vierte Aufgabenfeld strebt die Weiterentwicklung des Standard Assessment Procedure (SAP) der Regierung von Großbritannien an. Mit diesem Tool werden die Energieperformance und der CO₂-Ausstoß bewertet. Das letzte Aufgabenfeld steht für die weitere Erhebung von Daten über Monitoring hinsichtlich des Performance Gaps zu generieren und diese Erfahrung zu kommunizieren. (Adams et al., 2014)

Es ist noch nicht bekannt, welche Auswirkungen das Projekt „Closing the gap between design and as-built performance“ und dessen einzelne Handlungsfelder mit sich bringt. Die Dachorganisation „Zero Carbon Hub“ und Leadpartner dieses Projektes wurde am 31.3.2016 geschlossen.

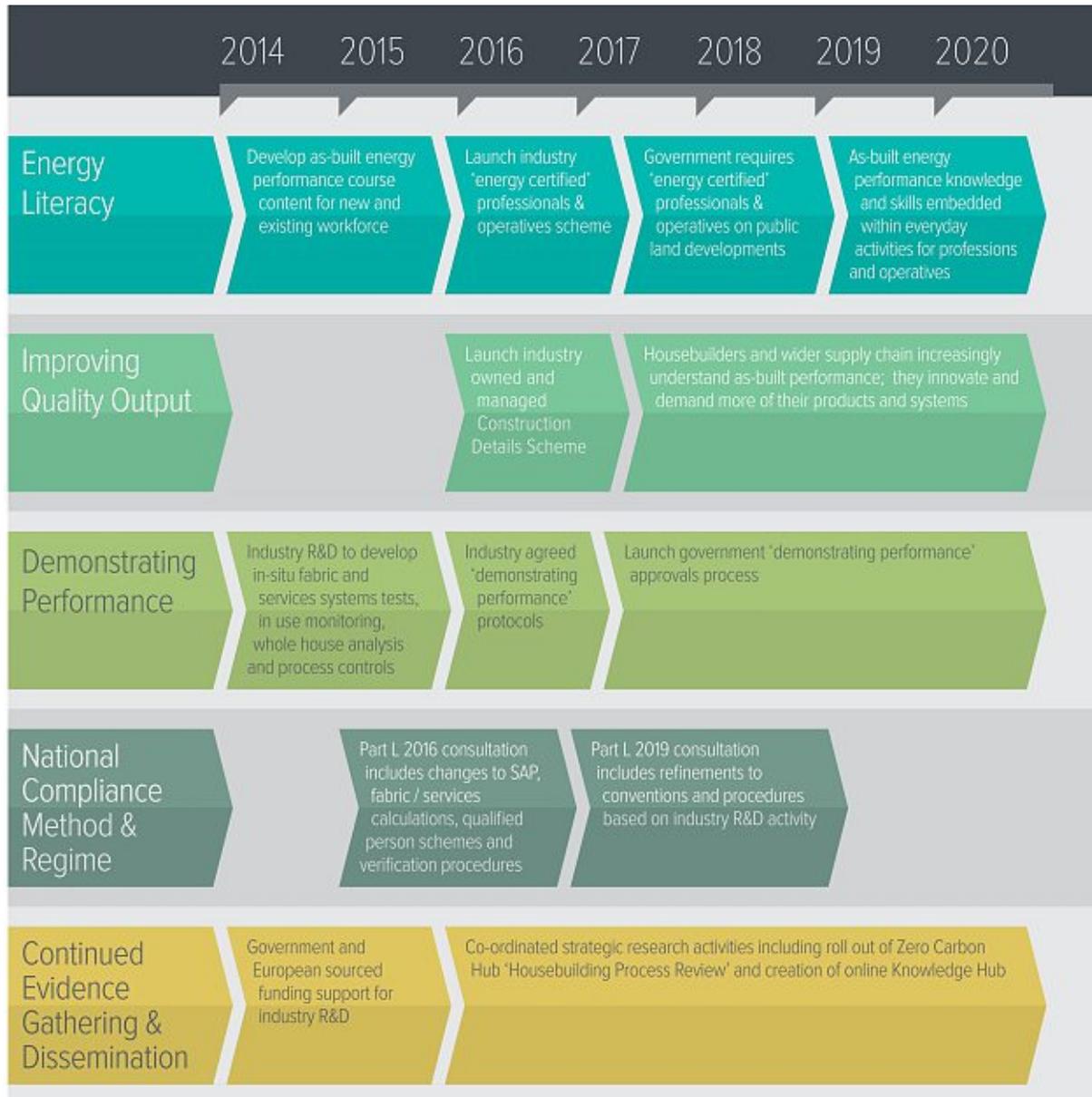


Abbildung 5: Ergebnisse aus dem Projekt „Closing the gap between design and as-built performance“ - nächste Schritte zur Vermeidung des "Performance Gap" (Adams et al., 2014, p. 7)

Der Performance Gap stellt international und national ein Problem dar, da die prognostizierten Ergebnisse teilweise nicht eingehalten werden. Das liegt einerseits daran, dass oftmals die Energieausweise zum Vergleich angewandt werden, und diese wiederum nicht für einen Vergleich mit dem Verbrauch, sondern für den Vergleich der Gebäude untereinander, entwickelt wurden. Generell wird in einem hocheffizienten Gebäude tendenziell weniger Energie verbraucht als in einem ineffizienten Gebäude und das unabhängig der Nutzerinnen und Nutzer. Die Behaglichkeit spielt in Bürogebäuden eine große Rolle, muss aber nicht im Widerspruch zu hoch energieeffizienten Gebäuden stehen.

Derzeit beschäftigt sich der Annex 70 - Building Energy Epidemiology mit der Analyse des realen Energieverbrauchs von Gebäuden. Die Endberichte dieser internationalen Zusammenarbeit werden im Jahr 2020 veröffentlicht. (Ruysssevelt, 2020)

2.2. Sequentielle Planung und integrale Planung

Die Errichtung nachhaltiger Gebäude wurde durch die Erhöhung der Anforderungen hinsichtlich Energieeffizienz, Flexibilität und Komfort zu einer komplexen Aufgabe. Durch eine interdisziplinäre und kooperative Planung kann diese Aufgabe gelöst werden. Dies bedarf aber einer Abänderung der derzeitigen stark sequentiell geprägten Planungsstruktur hin zu einer gesamtheitlichen, integralen, simultanen und kooperativen Projektabwicklung inklusive klarer Zieldefinition und systematischem Monitoring. (Grim et al., 2014)

Diese Veränderung hin zum „Concurrent Engineering“ CE (dieser Begriff stammt aus dem Industriedesign) bzw. dem integralen lebenszyklusorientierten Planen ist bei dem Vergleich von Abbildung 6 und Abbildung 7 ersichtlich. Die Überführung des CE in das Bauwesen beruht auf Literatur der 90er-Jahre.

Der traditionelle Ansatz (Abbildung 6) verfolgt die Abwicklung der Bauaufgabe aufeinander folgend. Der Kunde gibt dem Architekturteam einen Auftrag. Dieses erstellt den architektonischen Entwurf der von der Tragwerksplanerin bzw. dem Tragwerksplaner überprüft und gegeben falls abgeändert wird. Anschließend werden die Massen ermittelt und ausgeschrieben bzw. es erfolgt der Vergabeprozess. Diese Vorgehensweise kann bei den verschiedenen Teilnehmerinnen und Teilnehmern im Prozess aufgrund der Fragmentierung zu Missverständnissen und Mängeln führen. Durch den Prozess treten verspätete und somit kostspielige Änderungen auf. Die mangelnde Kommunikation der Prinzipien und Absichten führt zu Verwirrungen und unnötigem Zeitaufwand. Um diese Probleme zu eliminieren ist ein Paradigmenwechsel notwendig. (Evbuomwan & Anumba, 1998)

Weitere typische Probleme im sequentiellen Prozess, die zum Rückgang der Bauproduktion führen können, resultieren aus der Kleinteiligkeit der Baubranche und aus der mangelnden Integration und Koordination im Projektteam. Weiters stellen die fehlenden Kommunikationsprozesse, die Qualitätsabweichungen und die hohe Anzahl unproduktiver Zeit Probleme dar. (Latham, 1994)

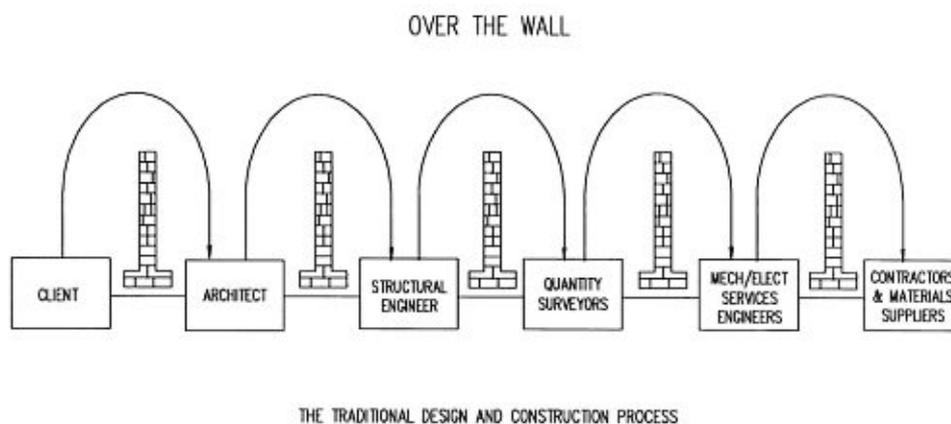


Abbildung 6: Der "Over the Wall"-Ansatz im traditionellen sequentiellen Planungsprozess (Evbuomwan & Anumba, 1998, p. 588)

Die Überführung des CE in das Bauwesen kann durch Berücksichtigung aller Aspekte der nachgelagerten Phasen schon im Entwurfsprozess des Projektes mittels interdisziplinärem Team gelingen. (Anumba, Baugh, & Khalfan, 2002) (siehe Abbildung 7) Die wesentlichsten Bestandteile für die integrale Planung sind die Identifikation von nachgelagerten Aspekten in den Bauprozessen und deren gleichzeitige Durchführung, sowie die Reduktion und Beseitigung von Aktivitäten, die nicht zur Wertschöpfung beitragen und die Entwicklung und Stärkung interdisziplinärer Teams. (Love, Peter, ED & Gunasekaran, 1997)

Dies erfordert den Einsatz geeigneter Organisationsstrukturen auf Unternehmens- und Projektebene, welche von Anumba et al. (2002) untersucht wurden. Eine Empfehlung lautet, integrierte Teamstrukturen auf Projektebene zu implementieren und diese durch Kommunikationsinstrumente und technische Tools zu unterstützen. (siehe Kapitel BIM 2.4)

Vorab genannte Probleme können durch integrale Planung im Entwurfsprozess gelöst werden. Dies bedarf einer Festlegung von Abhängigkeiten, Kommunikationsnetzwerken, Zielsetzung und Entwurfs- und Konstruktionsmethoden. Zielführend ist ein Zusammenschluss der einzelnen Projektteilnehmer (Architekten, Tragwerksplaner, Auftragnehmer,...) zu einem multidisziplinären Team. Die Teamfindung kann durch gemeinsame Erarbeitung von integraler Aufgaben, unterstützt von Tools, Simulationen und Datenbanken, erreicht werden. (Love, Peter, ED & Gunasekaran, 1997)

Concurrent life-cycle design and construction

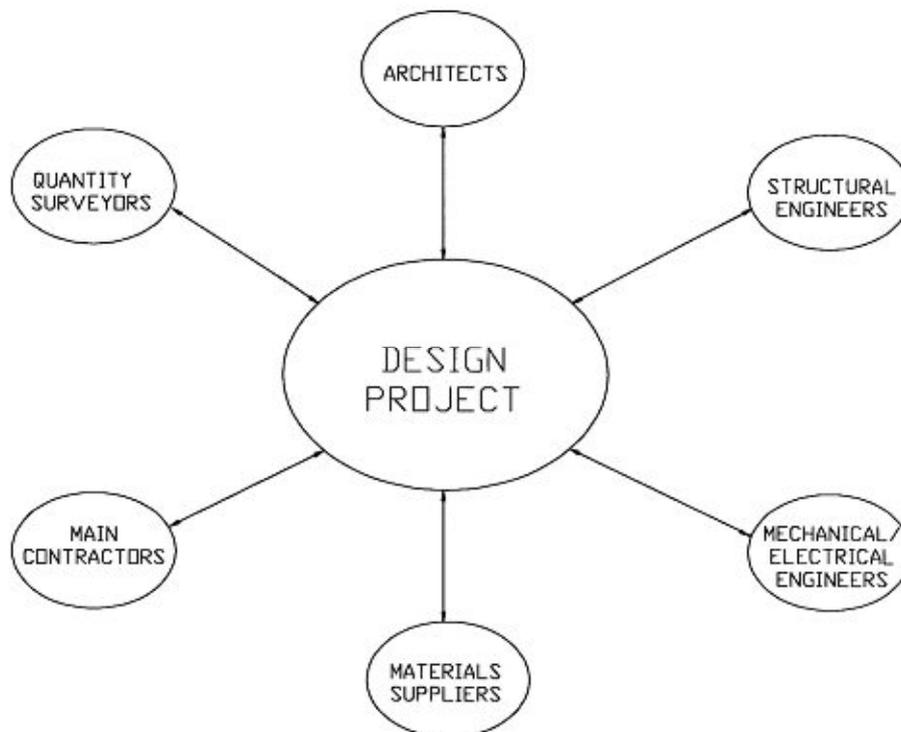


Abbildung 7: Ein typisches Projektteam in der integralen lebenszyklusorientierten Planung (Evbuomwan & Anumba, 1998, p. 589)

Einen Vergleich der standardisierten sequentiellen Planung und der integralen Planung hat Müller, 2011 erstellt. (siehe Tabelle 1) Daraus ist ersichtlich, dass die Unterschiede der beiden Planungsansätze eklatant sind. Daher ist die vorab erwähnte Änderung der Planungsstruktur von der sequentiellen zu der integralen Planung ein komplexer Prozess. Sämtliche Projektbeteiligte müssen sich schon beim Start des Projektes an die neue Struktur und deren Kommunikationsformen anpassen, da schon ab Beginn der integralen Planung ein interdisziplinäres Planungsteam mit der Bedarfsplanung und der gemeinsamen Erarbeitung der Zielsetzung beauftragt wird. Die Arbeitsweise bei der integralen Planung ist durch flache hierarchische Strukturen geprägt und die Hauptverantwortung liegt beim Team. Im Gegensatz dazu ist die Hierarchie bei der sequentiellen Planung starr und wenig flexibel, was bei der späten Konsolidierung bzw. Einbindung der Fachplaner teilweise eine Notwendigkeit darstellt. In der sequentiellen Planung arbeiten die Beteiligten selbstständig und weisen eine hohe Bereitschaft zur Rolle des Followers auf. Die integrale Planung erfordert von den Beteiligten kommunikativ, teamfähig und extrovertiert bzw. offen zu sein. Ein Schwachpunkt der integralen Planung liegt auf jeden Fall darin, dass die Honorierung dieser Methode nicht geregelt ist und daher schwer kalkulierbar bzw. vergleichbar ist. Auch die Motivation zur Mehrarbeit liegt bei der sequentiellen Planung in der Hand einzelner Personen, da diese durch finanziellen Anreiz und persönliche Motivation getrieben sind, während bei der integralen Planung die Gruppendynamik und die gemeinsame Zielerreichung im Fokus stehen. Die Koordination der sequentiellen Planung ist von der aufeinander folgenden Organisation der Einheiten und dem Aufzeigen der Interdependenzen geprägt, während bei der integralen Planung im Team Entscheidungen herbeigeführt werden müssen. In diesem Prozess ist eine Moderation zur Entscheidungsfindung sinnvoll. Die Transparenz der Entscheidungsfindung ist bei der sequentiellen Planung niedriger, da vorgelagerte Instanzen Rahmenbedingungen der nachgelagerten steuern können. Durch die gemeinsame Entscheidungsfindung in der integralen Planung ist die Transparenz als hoch einzustufen. (Müller, 2011, pp. 23–42)

Tabelle 1: Vergleich der sequentiellen und der integralen Planung (aus Müller, 2011, p. 42)

	Sequentielle Planung	Integrale Planung
Ablauf	Vorgelagerte Instanz arbeitet Gesamtplan aus; nachgeordnete Einheiten erarbeiten Teilpläne	Planungsteam bildet sich zu Beginn der Planung (tlw. noch vor Zielsetzung)
Hierarchische Strukturen	Vertikale Strukturen; Starr und wenig flexibel	Flache Strukturen; Verantwortung liegt beim Team
Anforderungen an Beteiligte	Hohe Bereitschaft zu selbstständigem Arbeiten und zur Rolle des Followers	Teamfähig, extrovertiert, kommunikativ
Honorierung	Geregelt (nach LKP der WKO oder HOAI)	Nicht geregelt
Motivation zur Mehrarbeit	Finanzieller Anreiz; persönliche Motivation	Gruppendynamik; gemeinsames Ziel
Koordination	Koordination der Einheiten; Aufzeigen der Interdependenzen	Koordination der Gruppe; muss Entscheidungen herbeiführen -> Moderation
Transparenz der Entscheidungsfindung	Vorgelagerte Instanz kann Rahmenbedingungen der angelagerten steuern (First-Mover-Advantage)	Hoch; Entscheidungen werden gemeinsam getroffen und niemanden vorenthalten (im optimalen Fall)

Für die Ermittlung der Kosten für die Planungsaufwände wurde von der Wirtschaftskammer ein Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementleistungen erstellt. Auf Grundlage der Standardobjektplanung wurden für die integrale Planung gegenüber der Honorarordnung Projektsteuerung noch zwei zusätzliche Projektphasen (Betrieb 1, Betrieb 2) und weitere Punkte wie z.B. Bedarfsanalyse, Machbarkeit und Koordination Planungsteam in grün ergänzt. (Stempkowski, Dzuban, & Rosenberger, 2014; Stempkowski, Waldauer, Sturm, & Rosenberger, 2012)

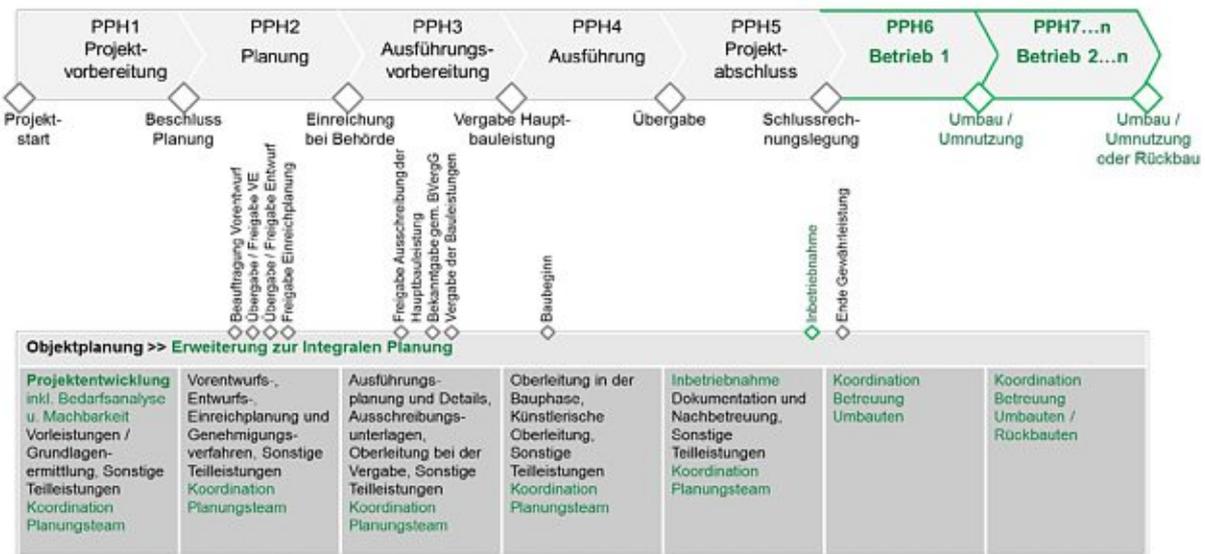


Abbildung 8: Phasen der Objektplanung - Weiterentwicklung zur integralen Planung (Stempkowski et al., 2014)

Im Gegensatz zur Norm Bedarfsplanung im Bauwesen (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2016c), in der unabhängig von der Planungsmethodik bzw. von der Nachhaltigkeit die Bedarfsplanung normiert ist, wird in diesem Leitfaden die Bedarfsanalyse als Mehrwert der integralen Planung dargestellt.

Eine weitere Möglichkeit, die Kosten genauer zu ermitteln, bieten die Leistungsmodelle und Vergütungsmodelle „LM.VM“, die auf Basis der österreichischen Honorarordnungen im Bauwesen und der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI, 2013 entwickelt wurden. In Abbildung 9 ist ein detailliertes Zeitstrukturmodell über den idealtypischen Verlauf eines Projektes dargestellt. (H. Lechner, 2014) Als Basis der Abbildung 9 wurden die Grundlagen der sequentiellen Planung angewandt. Es ist ersichtlich, dass die Einbindung der Architektur, Tragwerksplanung, Bauphysik und Technische Ausrüstung in den frühen Phasen (Projektvorbereitung, Bedarfsplanung und Machbarkeitsstudie) des Projektes nicht vorgesehen ist. Für die integrale Planung müsste das Zeitstrukturmodell adaptiert, die oben genannten Gewerke in die Projektsteuerungsphase 1 geschoben sowie Zeitpuffer für Iterationsschleifen eingebaut werden.

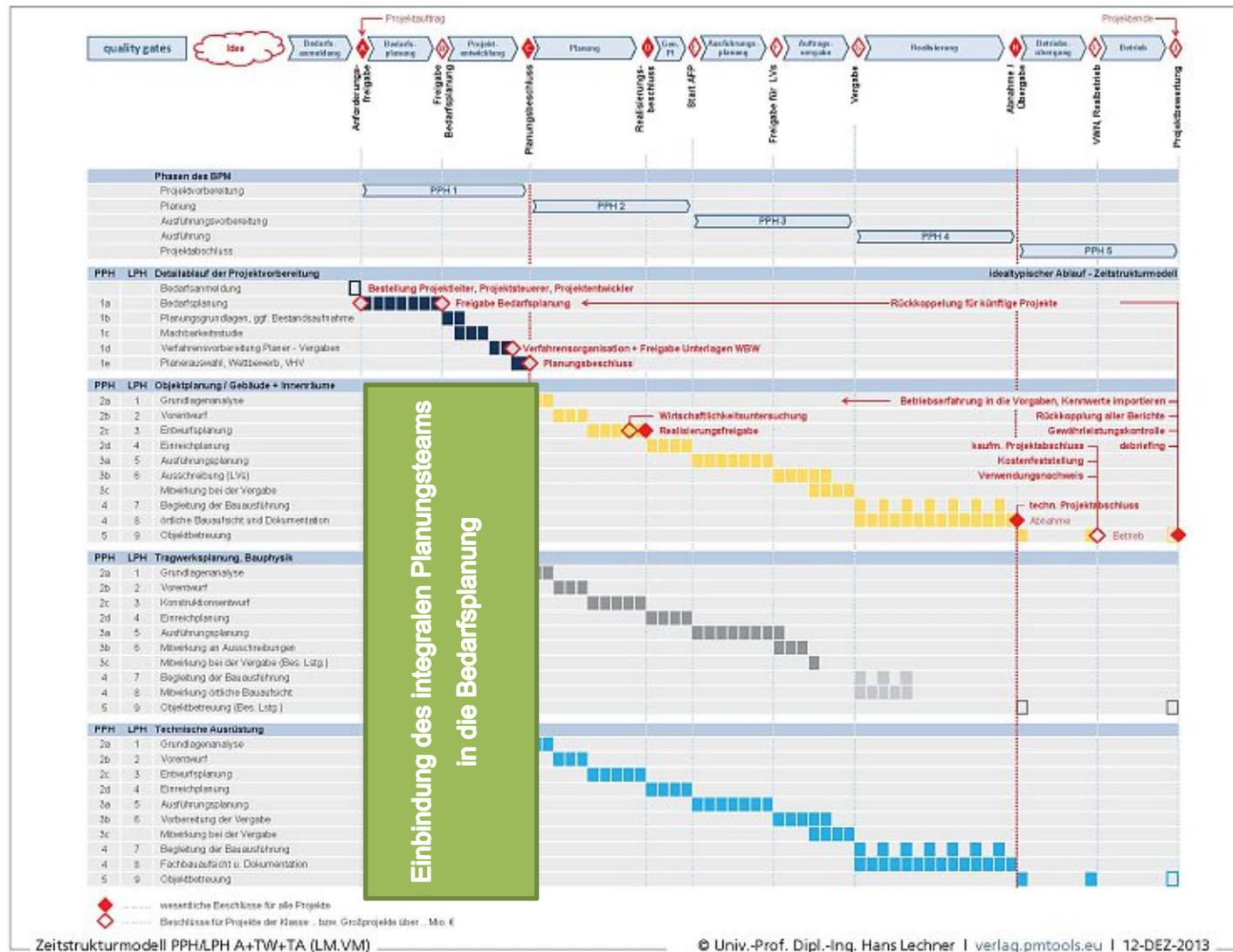


Abbildung 9: Zeitstrukturmodell Projektsteuerungsphasen und Leistungsphasen Architektur plus Tragwerksplanung, Bauphysik und Technische Ausrüstung (aus H. Lechner, 2014, p. 9 adaptiert für die Integrale Planung)

In den frühen Projektphasen (Konzeptionierung, Vorentwurf) ist die positive Beeinflussung relativ einfach, wogegen die Änderungen bzw. Verbesserungen im zunehmenden Prozess immer schwieriger und kostenintensiver werden. (siehe Abbildung 10) Daher ist ein Umdenken nötig und es sollte eine erhöhte Aufmerksamkeit auf die frühen Phasen von Projekten gelenkt werden, außerdem ist eine Verschiebung der Arbeitsleistung dorthin notwendig. (Grim et al., 2014; Nordby, Jørgensen, Salvatore, & Leutgöb, 2014) Eine ähnliche Aufwandsverlagerung der Planungs- und Entscheidungsprozesse erfolgt auch bei der Anwendung von BIM. (siehe van Treeck et al., 2016, p. 25)

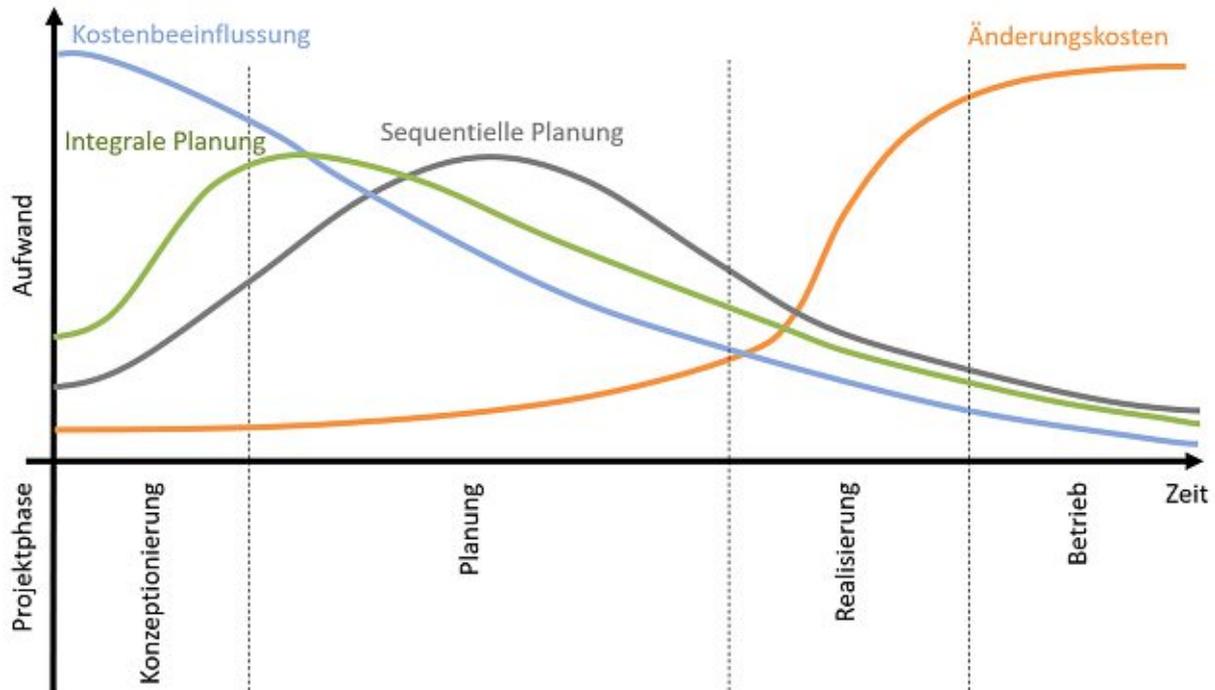


Abbildung 10: Qualitative Darstellung der Aufwandsverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen in frühere Phasen (auf Basis Grim et al., 2014)

Dies erfordert einen höheren Budgeteinsatz in der Konzeptionierung und im Vorentwurf, im Entwurf und der Detailplanung und auch bei den Baukosten, aber auch deutlich geringere Betriebskosten und weniger Baumängel. (Nordby et al., 2014)

Folgendes Zitat zeigt, dass dies aber an der Baukultur derzeit noch scheitert, obwohl auch in Abbildung 11 die Minderkosten über den Lebenszyklus ersichtlich sind:

Des Weiteren sind die Bauverantwortlichen immer noch nicht dazu bereit, für die Planung von nachhaltigen Gebäuden höhere Planungskosten bereitzustellen als für die Planung traditioneller Gebäude, obwohl die „green buildings“ wegen der zunehmenden Komplexität auch viel komplexere Planungsprozesse abverlangen. Die geringfügig höheren Errichtungskosten (+ 2%) bewirken bei den lebenszyklischen Kosten Einsparungen um bis zu 40%. (Kovacic, Achammer et al., 2012)

Die Kosteneinsparungen über den Lebenszyklus sind beispielhaft in Abbildung 11 ersichtlich. Die Variante b) ist zwar in der Konzeptionierung, der Planung und Realisierung kostenintensiver, die Minderkosten im Betrieb werden in der Betriebsphase ausgeglichen und ein positives Ergebnis am Ende des Lebenszyklus erreicht.

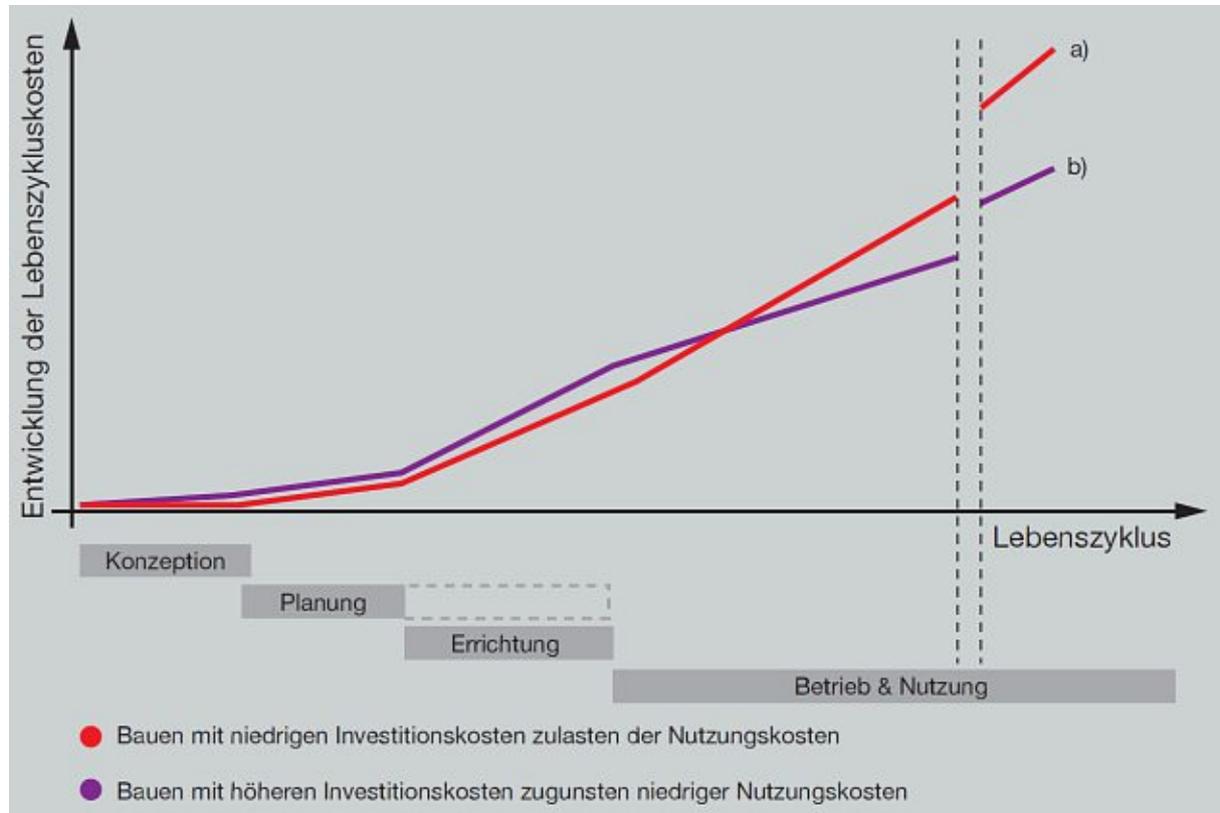


Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung von Lebenszykluskosten in zwei Szenarien (Heidemann & Schmidt, 2012)

Neben den Erkenntnissen der höheren Planungskosten kommt noch hinzu, dass die integrale Planung zwar oftmals erwähnt wird, praktisch aber selten angewandt wird. Hier fehlt es in Europa teilweise an Erfahrung bzw. an Wissen zur Prozessgestaltung. (Kovacic, Achammer et al., 2012)

Dass die frühe Einbindung anderer Fachplaner erwünscht ist, wurde im Zuge der Studie „Die Gebäudetechnik im österreichischen Bauprozess“ mittels einer Umfrage eruiert. 81,8 % der Teilnehmerinnen und Teilnehmer stimmten folgender Aussage zu:

Inwieweit stimmen Sie den folgenden Aussagen zu oder nicht? In der Entwurfs- und Planungsphase eines komplexen Hochbauprojekts soll den gebäudetechnischen Systemen mehr Aufmerksamkeit gegeben werden. (Monsberger & Fruhwirth, 2018, p. 45)

In Abbildung 12 ist das Ergebnis auf die Frage: „Was sind aus Ihrer Sicht die häufigsten Gründe für Mehrkosten im Bereich der Gebäudetechnik-Gewerke? (Mehrfachnennung möglich)“ (Monsberger & Fruhwirth, 2018, p. 65) abgebildet. Drei Kategorien wurden von mehr als 60 % der befragten Personen genannt:

- Unvollständige Planung zum Zeitpunkt der Ausschreibung

- Verspätete Entscheidungen
- Fehlende bzw. mangelnde gewerkeübergreifende Koordination

Die unvollständige Planung zum Zeitpunkt der Ausschreibung kann durch die Anwendung der Önorm H 6010 – Pläne der Gebäudetechnik vermieden werden. In diesem normierten Schriftstück sind für eine Lüftungsanlage, für ein Heizungsschema, für ein Sanitärschema und ein Kälteanlagen-schema der Detaillierungsgrad der Planung je Phase (Vorentwurfsplan, Entwurfsplan, Projektplan und Montageplan) definiert. (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2015d, pp. 13–49) In BIM-Modellentwicklungsgraden („Level of Development“) nach dem LoG-I-C-L-Modell werden der Ausarbeitungs- und Fertigstellungsgrad je Zeitpunkt im Modell definiert. Die Definition der Grade erfolgt in den Kategorien benötigter Modellinhalt (Geometrie und Informationsgehalt) sowie erforderliche Modellqualität (Koordination und Logistik) (van Treeck et al., 2016, pp. 58–64) Die Definition und Anwendung von BIM mit definierten Modellentwicklungsgraden macht es möglich, die vorher erwähnte mangelnde Koordination und in Folge weitere Fehler zu vermeiden.



Abbildung 12: Gründe für Mehrkosten (Monsberger & Fruhwirth, 2018, p. 66)

Ein detaillierter vordefinierter Prozess, eine umfangreiche Zielformulierung in der Konzeptionierung des Projektes und erhöhte Kommunikation durch interdisziplinäre Jour Fixes, wie im integralen Planungsprozess definiert, können Mehrkosten zu einem späteren Zeitpunkt verhindern.

Mangelnde technische Kenntnisse, wie z.B. Implementierung von integraler Planung im Planungsprozess und deren entsprechende Instrumente und Tools, sowie mangelnde Organisationsstrukturen stellen Hindernisse für die Anwendung kooperativer Planung dar. Eine gute Konzeptionierung im Vorfeld, welche die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen inkludiert, wird dazu beitragen, die Hindernisse zu überwinden. (Anumba et al., 2002)

Concurrent Engineering in der Industrie unterscheidet sich zur integralen Planung im Bauwesen in der Projektorganisation und Teamzusammenstellung. In der Industrieanwendung ist das gesamte Team, bestehend aus Designer, Konstrukteure und Tester, vorab bekannt und es bleibt während des gesamten Entwicklungsprozesses gleich. Meistens arbeiten die Projektbeteiligten beim selben Unternehmen. Im Bauwesen in Mitteleuropa ist der Ablauf und die zeitliche Einbindung der Projektbeteiligten unterschiedlich. Vorerst werden von einem Projektentwicklungsteam Bedarfspläne erstellt und Machbarkeitsstudien durchgeführt. Auf Basis dieser Ergebnisse wird ein Architekturwettbewerb abgewickelt und ein Siegerteam ermittelt. Die ausführenden Firmen werden erst nachdem das Gebäude fertig geplant ist über ein Vergabeverfahren ermittelt. Folglich sind Bauprojekte Mehrparteienprojekte, bei denen Eigentum, Führung und Kultur keine Einheit bilden und somit anders gehandhabt werden müssen wie es bei internem Industriedesign der Fall ist. (van Aken, 2003)

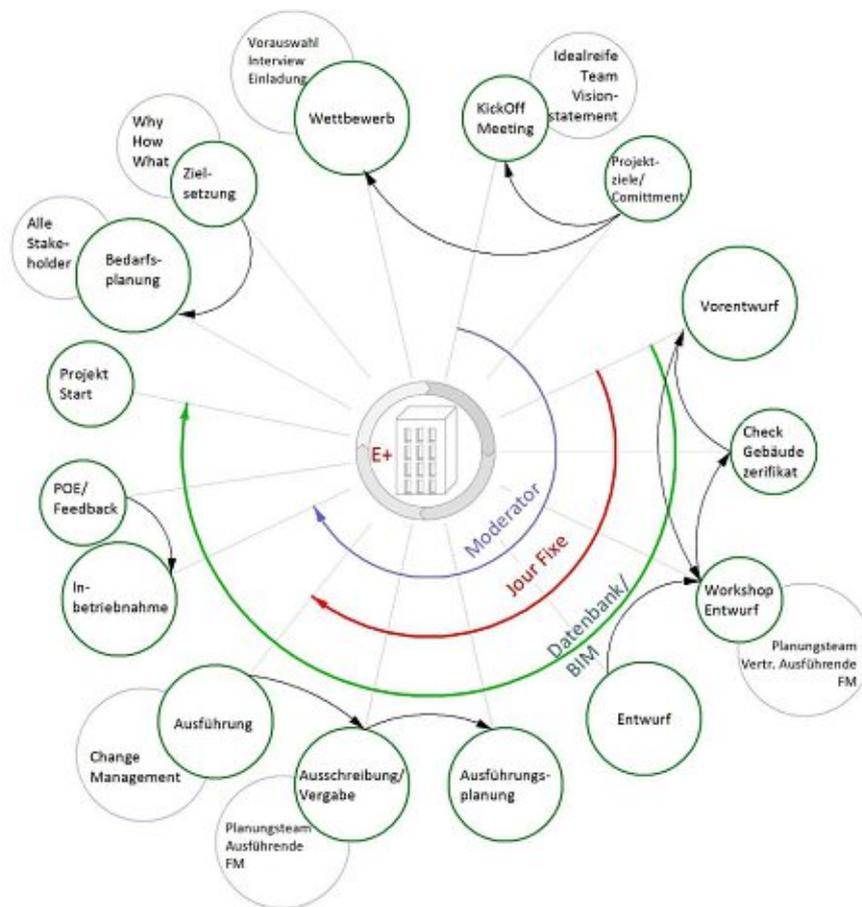


Abbildung 13: Gestaltung der integralen Planung (Kovacic, 2012)

Die Komplexität der integralen Planung ist in den letzten Jahrzehnten gestiegen, aber bei der Gestaltung des Prozesses und der Organisation nach Abbildung 13 ist es möglich, hochenergieeffiziente Gebäude mittels interdisziplinärer Planungsteams zu entwickeln, zu planen, zu errichten und zu betreiben. Welche Instrumente, Tools und Simulationen wann und mit welchem Ziel angewandt werden, muss vor dem Vorentwurf gemeinsam im Team erarbeitet werden. Wichtig ist in der ersten Phase der Projektentwicklung den Investoren bzw. Bauherren zu sensibilisieren, welche große Bedeutung eine genaue Zieldefinition und Zielsetzung für den weiteren Planungs- und Bauablauf hat. (Kovacic, 2012)

Das Thema integrales Planen wird nicht nur aus der Sicht der Architektur und dem Ingenieurwesen betrachtet, sondern verstärkt auch in der Gebäudetechnik wahrgenommen. In der Regel überwiegt in der Praxis nach wie vor gewerkorientiertes Denken und Handeln, mit dem Ziel die Gebäude kostengünstig und schnell zu realisieren. Dies führt zu höheren Investitions- und Betriebskosten der technischen Gebäudeausstattung und zusätzlich zu Mängeln der Anlagen und erhöhtem Ressourcenverbrauch. Auch aus Sicht der Gebäudetechnik wird der Grundstein für die Zielerreichung schon in einer sehr frühen Phase des Projektes gelegt:

*Der für den Erfolg einer Planung **wichtigen** Lebenszyklusphase »Konzeption« wird dabei besondere Beachtung geschenkt, da in diesem Zeitraum die Weichen für ein Bauprojekt und damit für die Erreichung der Ziele eines Bauherrn gestellt werden. Die Lebenszyklusphase »Konzeption« umfasst den Zeitraum von der Projektidee bis zum Beginn der Planungsleistungen von Ingenieuren und Architekten. (Heidemann, Kistemann, & Stolbrink, 2014, p. 12)*

Die frühe Bildung eines vollständigen Planungsteams und eine stärkere Gewichtung der Anforderungen des Bauherrn (idealerweise auch im Hinblick auf die Lebenszykluskosten) sind wesentliche Merkmale einer integralen Planung. (Heidemann et al., 2014, pp. 12–14)

Um das Know-How im Bereich Near Zero Energy Buildings zu steigern, beschäftigen sich im Forschungsprojekt "CraveZero - Cost Reduction and market Acceleration for Viable nearly zero-Energy buildings" europäische Forschungseinrichtungen, öffentliche Einrichtungen, Interessensvertretungen und große Bau- und Planungsunternehmen mit der Optimierung der Prozesse hinsichtlich Lebenszykluskosten im Bauwesen. Das Ziel bzw. die Herangehensweise im Vergleich mit dem jetzigen Standardprozess und der Abwicklung jetziger nZEBs ist in Abbildung 14 ersichtlich.

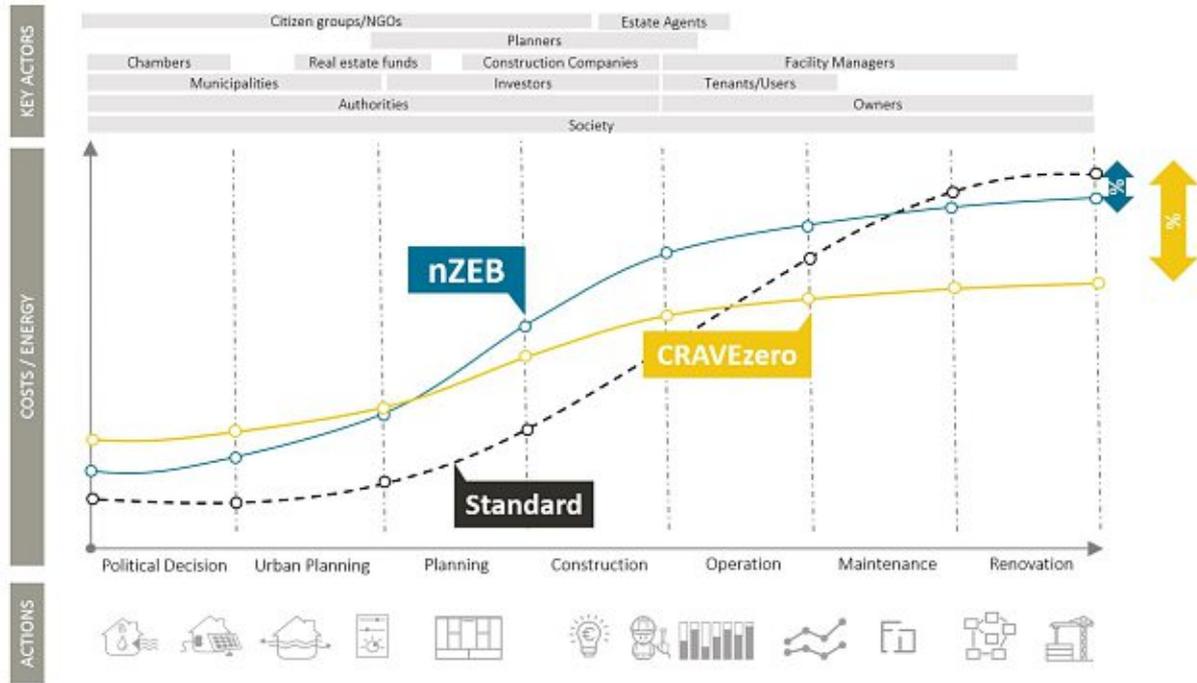
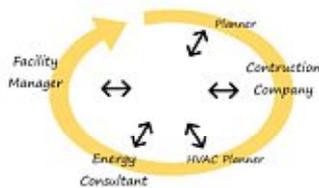


Abbildung 14: Lebenszykluskostenreduktion bei nZEBs im Projekt CRAVEzero (Weiß, Meier, Knotzer, & Höfler, 2019)

Für diesen Zweck wurden alle Maßnahmen einer Zeitspanne und einem hauptverantwortlichen Stakeholder bzw. weiteren Stakeholdern zugeordnet. Es folgte die Spezifizierung der quantitativen und/oder qualitativen Ziele je Handlungsfeld und die Definition des Einflusses auf andere Handlungsfelder. (Beispiel siehe Abbildung 15)

1.14 Definition of the integrative design team



In terms of costs, an integrated urban design process increases planning costs since the interaction between different players requires more involvement. Follow up costs are expected to be lower, both for end users and the public (cf. Lippaiová and Reith, 2014, Bragança, Vieira and Andrade, 2013).

MAIN DRIVER	STAKE-HOLDERS	INFLUENCE ON PLANNING COSTS	INFLUENCE ON INVESTMENT COSTS	INFLUENCE ON FOLLOW-UP COSTS	CO-BENEFITS
Owners	Real estate fund; Authorities; Planners; Municipalities; (Economic) Chambers; Utilities	+ €		- €€	Resource savings and CO ₂ -reduction

Abbildung 15: Als Beispiel das Handlungsfeld "Definition of the integrative design team" (Weiß et al., 2019)

Als ein Ergebnis wurde ein „nZEB process handbook“ entwickelt, welches in Abhängigkeit der Interessen der Stakeholder eine zeitabhängige Prozessabhängigkeitsmatrix ausgibt. Je Projekt können relevante Handlungsfelder ausgewählt werden. Gemeinsam wird anschließend eine Gewichtung der Maßnahmen hinsichtlich der Komplexität, der Wichtigkeit und der Einfluss auf Planungskosten, Investkosten und Betriebskosten vorgenommen. (Weiß et al., 2019)

Im Projekt Co-Be - Cost Benefits of Integrated Planning wurden erstmals im deutschsprachigen Raum die sequentielle und integrale Planungsmethodik durch ein Rollenspiel-Experiment empirisch untersucht und verglichen. Dafür wurden je Methodik 20 Teams zu je 4 Personen gebildet und mit einer Planungsaufgabe betraut. Das Entwickeln eines energieeffizienten Gebäudes war eine weitere Rahmenbedingung. Der Prozess und die Ergebnisse wurden quantitativ und qualitativ ausgewertet (Kovacic, 2012) und es wurde ein Leitfaden für Public Policy, Planer und Bauherrn (Kovacic, Achammer et al., 2012) entwickelt.

Der Einsatz von Studierenden zum Vergleich von unterschiedlichen Prozessdesigns ist oftmals der einzige Weg experimentelle Untersuchungen durchzuführen, da ein Eingriff in reale Planungsprozesse mangelnde und kostenintensive Ergebnisse verursachen kann. Außerdem sind die Analyse und ein valider Vergleich bei verschiedenen Gebäuden nur schwer zu bewerkstelligen. (Kovacic & Filzmoser, 2014)

Das Ergebnis des Experimentes mit den Studierendenteams ist, dass der angewandte integrale Planungsprozess keinen Vorteil im Bereich Entwurf, Machbarkeit, Ökonomie bzw. Energieeffizienz gegenüber dem sequentiellen Prozess aufweist. Allerdings wurden eine bessere Produktivität, eine höhere Zufriedenheit sowie niedrigeres Stress- und Belastungsempfinden erreicht. (Kovacic, 2012)

Mit den Daten des Projektes Co-Be wurde in der Veröffentlichung Kovacic & Filzmoser, 2014 der Einfluss von Persönlichkeitsmerkmalen auf die Teamleistung im integralen Prozess untersucht. Die Merkmale Gewissenhaftigkeit, Anpassungsfähigkeit und Extraversion hatten keine direkten positiven Auswirkungen auf die Teamleistung. Eine hohe Offenheit im Team stellt nachweislich einen Vorteil dar, da sie kreativere und neue Ergebnisse zulässt und ermöglicht. Ein interessantes Ergebnis ergibt sich in den Wechselwirkungen der beiden Planungsverfahren mit den Persönlichkeitsmerkmalen. Einerseits erzielen Gruppen mit hoher Gewissenhaftigkeit in der Anwendung des integrierten Planungsverfahrens ein schlechteres Ergebnis. Andererseits wird ein besseres Ergebnis beim gleichen Planungsverfahren erreicht, wenn hoher Workload gemeinsam mit Konflikten auftreten. Darum ist es notwendig, das Planungsverfahren an die individuellen Persönlichkeitsmerkmale anzupassen bzw. durch den Einsatz von BIM den Prozess zu unterstützen. Die Abhaltung von interaktiven Workshops vor Projektbeginn mit allen Projektbeteiligten ermöglicht eine sorgfältige Gestaltung des Entwurfsprozesses und eine Erhöhung der Kommunikation. Zu diesem Zweck ist der Einsatz einer Moderation zu empfehlen, damit auch allen Beteiligten im Prozess der nötige Raum gegeben bzw. Offenheit gefördert wird. (Kovacic & Filzmoser, 2014)

Die Ergebnisse des Versuchs im Projekt CoBe Cost-Benefits of Integrated Planning zeigten eine höhere Zeiteffizienz der integrierten Planungsteams und eine höhere Zufriedenheit der Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit dem integrierten Planungsprozess. Dies führt zur Annahme, dass kontinuierliche Kommunikation und persönliche Gespräche, die in der integralen

Planung als Wissens- und Informationstransfer angewandt werden, erfolgreicher bei der Zielerreichung eines übergeordneten Zieles sind. Weiters konnte kein positiver Einfluss der integralen Planung im Vergleich mit der sequentiellen Planung hinsichtlich der erzielten Ergebnisse eruiert werden. (Kovacic, Faatz, Filzmoser, & Koeszegi, 2011; Kovacic & Sreckovic, 2013)

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer an dem Versuch der sequentiellen Planung beklagen die späte Einbindung und Zusammenarbeit im Projekt. Daher können die Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer kaum berücksichtigt werden. Außerdem wird der mangelnde Wissenstransfer von der Planung in die Betriebsphase als problematisch empfunden. (Kovacic & Müller, 2012)

Für kooperative und simultane Planung ist BIM als Kontrollinstrument für den umfassenden Informationsaustausch erforderlich. (Grim, Benke, Leutgöb, Thullner, & Amann, 2013; Kovacic, 2012) Es ermöglicht den konsistenten Datenaustausch zwischen den Projektbeteiligten und ist für simultanes und iteratives Planen und Bauen konzipiert. BIM funktioniert aber nicht ohne eine gut funktionierende Kooperation der Projektbeteiligten miteinander. (Grim et al., 2014)

Die Kombination der integralen Planung und der zentralen Koordination mit BIM ergibt eine deutliche Erhöhung der Kostensicherheit. Die traditionelle nachtragsorientierte Projektabwicklung führt über Nachträge oftmals zu erheblichen Kostensteigerungen im laufenden Prozess. Mehrkosten in den frühen Phasen werden ausgeglichen und im Idealfall Planungsunsicherheiten vermieden. (van Treeck et al., 2016, p. 25)

Die Kostenvorteile der BIM-Integration sind in Abbildung 16 dargestellt.

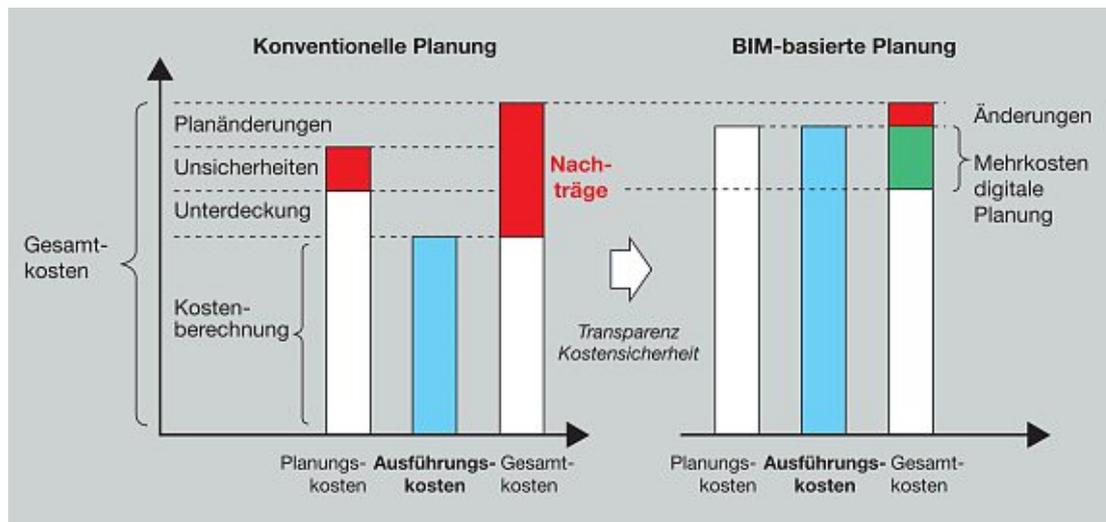


Abbildung 16: Qualitative Darstellung der Veränderung der Kostenstrukturen in Projekten im Idealfall (van Treeck et al., 2016, p. 26)

Die integrale Planungsmethode wird derzeit noch nicht standardmäßig angewandt. Dies liegt erstens an der Komplexität der Aufgabe und zweitens daran, dass die Planungsstruktur und deren Organisation für die integrale Planung geändert werden muss. Erschwerend kommt im

Bauwesen noch hinzu, dass bei jedem Bauprojekt nur ganz selten dieselben betriebsübergreifenden Projektbeteiligten in der Planung der Bauaufgabe arbeiten und die ausführenden Firmen meistens über Vergabeverfahren ermittelt werden. Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass dasselbe Team bei einem anderen Bauprojekt zusammenarbeitet, sehr gering. Dies stellt auch den Unterschied zum Concurrent Engineering im Industriedesign dar. Der Mehrwert der Reduktion der Kosten im Lebenszyklus der integralen Planung beruht auf Schätzungen und ist nicht wissenschaftlich fundiert.

In Kombination mit BIM wird der integrale Planungsprozess durch den verbesserten Datenabgleich besser händelbar und es wird leichter, die gesetzten Ziele wie z.B. die Kosten, die Termine und die Qualität, einzuhalten. Die Zielerreichung bedarf einer konstanten Überprüfung über alle Phasen im Projekt mittels Qualitätskontrollplan und Qualitätssicherungsplan. (Grim et al., 2014, p. 13)

Im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung birgt BIM ein hohes Potential. Das Potential liegt vor allem in der Koordination mit anderen Bauwerksmodellen, der frühen Kollisionsvermeidung, den vernetzten Berechnungen und den detaillierteren Kostenermittlungen, den Ausschreibungen und den Montageplanungen in früheren Phasen des Projektes. Vor allem aber dient BIM auch als Grundlage für die Inbetriebnahme und als Basis für das CAFM im Betrieb. (van Treeck et al., 2016, p. 14)

2.3. Weiterentwicklung zum Life-Cycle- und Sustainable-Engineering

Bei der Anwendung der sequentiellen Planung werden interdisziplinäre Innovationen für nachhaltige und über den Lebenszyklus ökonomische Gebäude verhindert und nicht gefördert, da die Projektbeteiligten in ihren Gewerken und Aufgabenbereichen verharren. Die integrale Planung, die im deutschsprachigen Raum noch kaum angewandt wird, ermöglicht gewerkeübergreifendes Denken und Lösen von Aufgaben. Dabei schöpft diese Planungsmethodik, und auch die sequentielle Planung, nicht alle Möglichkeiten hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus aus. Der Grund liegt in der fehlenden Rückkopplung der Betriebsphase zum Architekturteam sowie zu den Fachplanern, da die Planerinnen und Planer, sowie die ausführenden Firmen nur bei Mängeln in das Bauwerk kommen. Daraus resultiert wenig Wissen in der Konzeptionierung bis zur Realisierung aus dem Facility-Management-Know-How. Umgekehrt werden dadurch auch nur in geringem Maße Kenntnisse von der Planung in den Betrieb übergeführt. (vergleiche auch Kovacic & Müller, 2012) Auch die Themen der Rückbaubarkeit und der Wiederverwendung von recycelten Materialien werden selten in der Planung bedacht. Aus diesen Gründen sollte zukünftig eine auf den Lebenszyklus ausgerichtete Planung angewandt werden. (M. Bauer et al., 2011, pp. 137–138) (siehe Abbildung 17)

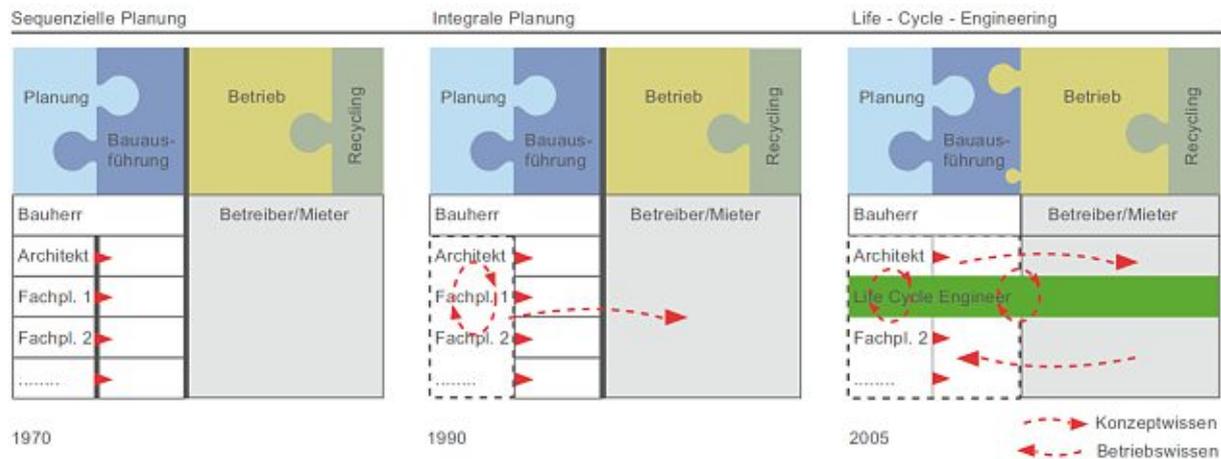


Abbildung 17: Von der sequentiellen Planung über die integrale Planung zum Life Cycle Engineering (M. Bauer et al., 2011, p. 138)

Das Life-Cycle-Engineering ist ein gesamtheitlicher Ansatz, bei dem die Arbeitsweise der integralen Planung unter Anwendung von Planungs- und Berechnungssoftware inklusive der stetigen Optimierung im Betrieb, bis hin zum verantwortungsbewussten Um- bzw. Rückbau, Berücksichtigung findet. (M. Bauer et al., 2013, p. 20)

Während heutzutage bei der Entwicklung und Umsetzung von Gebäuden EDV-gestützte Simulationen angewandt werden, werden bei der Inbetriebnahme inklusive technischer Anlagen meist nur einfache Überprüfungen gemacht. Die Nachweisführung der geplanten Qualität erfolgt meist durch Sichtkontrollen und stichprobenartige Funktionskontrollen. Aufgrund der Komplexität energieeffizienter Gebäude sind diese Kontrollen nicht zielführend und ausreichend, da bei neuen Systemen und Entwicklungen die Erfahrungen fehlen. Daher bedarf es hier schon in der Planung eines Messkonzepts hinsichtlich:

- Luftdichtheit
- Thermografie
- Raumkomfort
- Luftqualität
- Schallschutz und Schallabminderung
- Tageslichtqualität und Blendfreiheit
- Emulation bei der Inbetriebnahme

Bei der Konzeptionierung der Nachweisführung wird automatisch auch der Fokus auf eine höhere Qualitätssicherung im Team gelegt. (M. Bauer et al., 2013, pp. 130–139)

Von großer Bedeutung ist das begleitende Energiemanagement bzw. das Energiemonitoring bei der Entwicklung von energieeffizienten Gebäuden. Wie schon in Kapitel 2.1 erläutert, kann durch stetiges Monitoring die Verbrauchsprognose und der Verbrauch abgeglichen werden (siehe Abbildung 18) bzw. Fehler und Mängel der Anlage aufgezeigt werden. (M. Bauer et al., 2013, pp. 140–143; Grim et al., 2014, pp. 14–16)

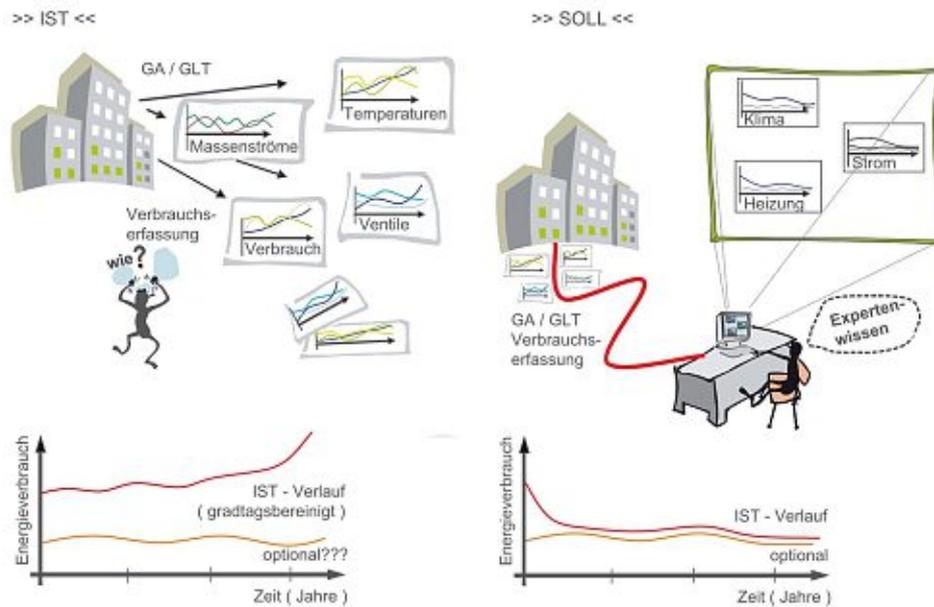


Abbildung 18: Aktuelle Situation bei der Betriebsoptimierung im Vergleich mit zukünftigen automatisierten Betriebsoptimierungsmethoden (M. Bauer et al., 2013, p. 141)

Die Weiterentwicklung vom Integralen Planen hin zum Life-Cycle-Engineering kann durch gesamtheitliches und lebenszyklusorientiertes Denken im gesamten Planungsprozess umgesetzt werden. Der Fokus muss von der Errichtung der Gebäude bis hin zur qualitätsgesicherten Inbetriebnahme und automatisierten Mängelbehebung auf die Lebensdauer der Gebäude inklusive deren Um- und Rückbau ausgeweitet werden. Der Einsatz einer gemeinsamen Softwareumgebung von der Projektidee bis zum Abbruch wäre wünschenswert.

2.4. Building Information Modeling (BIM)

Wie schon in der Einleitung von Kapitel 2 erwähnt, erfordert die Lebenszyklusorientierung die integrale Planung und diese fordert wiederum BIM um die festgesetzten Ziele zu erreichen. (Kovacic & Achammer, 2013) Voraussetzung für die integrale Planung mittels BIM ist die Definition und Festlegung der Zusammenarbeit der beteiligten Unternehmen. (van Treeck et al., 2016, p. 14) Folglich werden in diesem Kapitel die Bestandteile von BIM, die für diese Arbeit relevant sind, erläutert.

Der Planungs- und Ausführungsprozess war früher auf eine Person, den Baumeister, beschränkt. Aufgrund der steigenden Anforderungen an Nutzungsdauer, Energieeffizienz und der daraus resultierenden Notwendigkeit unterschiedliche Disziplinen und Fachplaner einzusetzen, stieg der Koordinationsaufwand und der Informationsaustausch an. Die Zuständigkeit der Abstimmung der Disziplinen wurde von der Architektur übernommen. Mit Computergestütztem Design (CAD) wurde der Prozess gegenüber Handzeichnungen erleichtert, aber alle notwendigen Informationen konnten nicht abgebildet werden, und es waren zusätzliche Listen, Kataloge und Beschreibungen erforderlich. Durch die daraus entstandene Neufragmentierung

der Planungsinformation entstand eine Verminderung der Planungsqualität mit gleichzeitiger Erhöhung des Zeitaufwands. Weitere Konsolidierungsprozesse wurden notwendig. Erst mit der Methode BIM, der Unterteilung der Bausubstanz in elementare Bauelemente mit Zuweisung von Eigenschaften und Merkmalen, wurde die Möglichkeit geschaffen, ein virtuelles Gebäudemodell zu generieren. Dieses virtuelle Gebäudemodell bietet die Möglichkeit, alle relevanten Daten und Informationen hinsichtlich Lebenszyklus zu integrieren. Aufgrund des Austauschs von hohen Mengen detaillierter Informationen zwischen den Planungspartnern ist der Austausch sehr komplex und aufwändig. Daher sind in den letzten Jahren nationale und internationale Normen und Richtlinien entstanden, die die Struktur und Minimalanforderungen von BIM-Planungsinformationen definieren. (Eichler, 2016, pp. 12–13)

Diese Standardisierungen waren notwendig um die Übergabe des Modells inklusive detailliertem Informationsgrad in verschiedenste Berechnungs- und Simulationssoftware unabhängig vom Gewerk zu ermöglichen. Der Aufwand der Planung verlagert sich, gegenüber der konventionellen Planung, mit BIM in frühere Phasen mit positiven Auswirkungen auf die Kostenentwicklung hinsichtlich Änderungen und der Möglichkeit, in einer frühen Phase aussagekräftige Variantenstudien zu erstellen. (Borrmann, König, Koch, & Beetz, 2015, pp. 5–7)

Dies bedarf auch einer frühzeitigen Erstellung und Erarbeitung der Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und der BIM Abwicklungspläne (BAP) in einem ausreichenden Detaillierungsgrad auf Basis der gesetzten Ziele des Bauherrn bzw. der bauherrnseitigen Projektsteuerung. (Wimmer, 2020, p. 30) In den AIA wird definiert, wann welche Informationen in welchem Detaillierungsgrad geliefert werden und dies stellt eine Basis für die Ausschreibungsunterlagen eines BIM Projekts dar. (E. Bauer et al., 2018, p. 1)

Die Frage wer die im AIA definierten Informationen wie und wo bereitstellt und die detaillierten BIM Standards werden im Zuge der Erstellung des BAP erarbeitet. (Kern, 2019, p. 24)

Wie in Abbildung 19 ersichtlich, werden in der Projektinitierungsphase das Projekthandbuch und die AIA erstellt. Auf Basis der AIA werden die BAPs für die verschiedenen Gewerke aufgebaut und in einem BIM Abwicklungsplan ausformuliert. Der BAP Planung gilt als Grundlage für die Vergabe der Planung und den Start der Planungsphase. Weitere BAPs im Projektverlauf werden vor der Vergabe der Bauleistungen und vor der Übergabe des Objektes entwickelt.

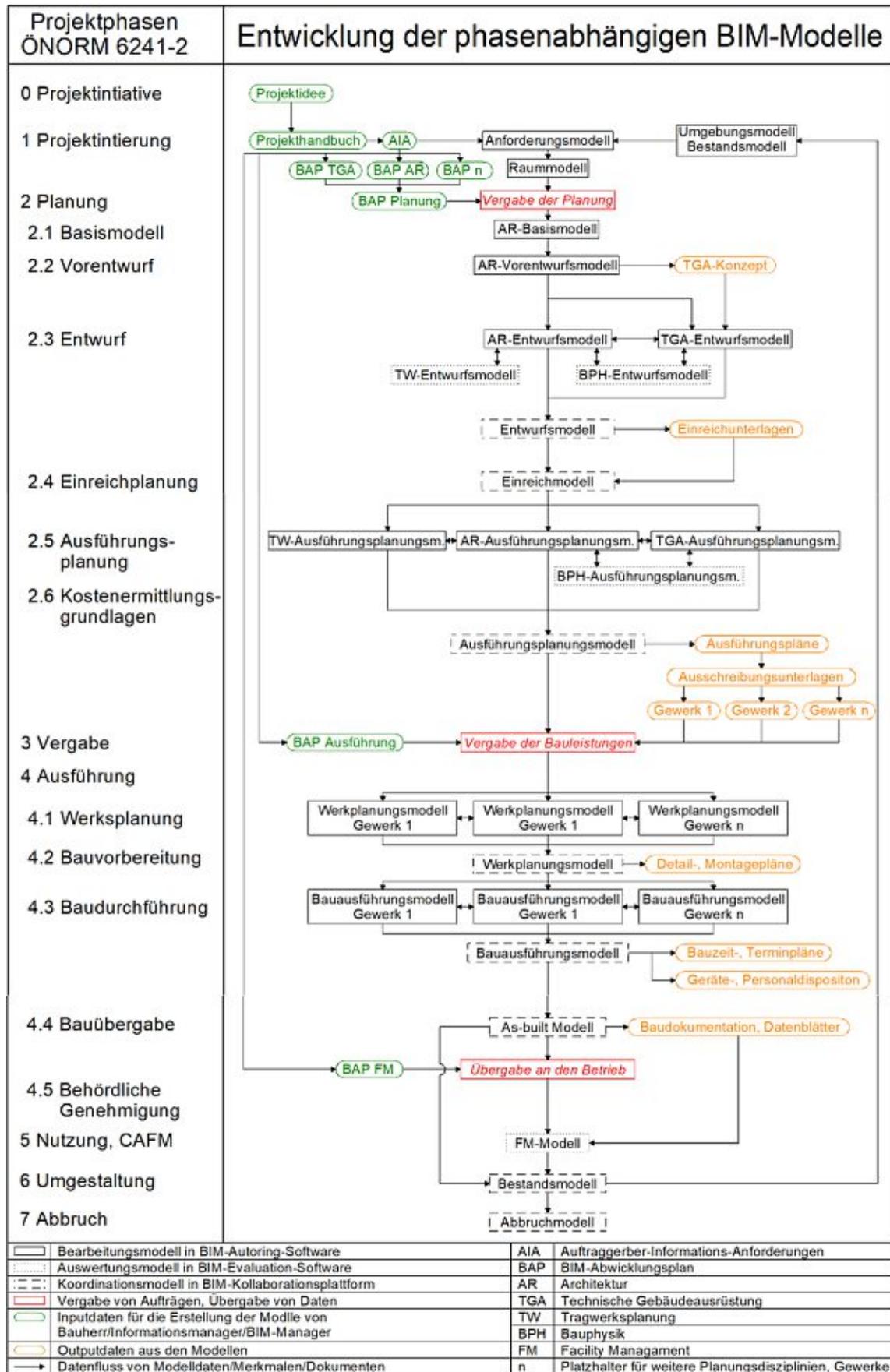


Abbildung 19: Entwicklung der phasenabhängigen BIM-Modelle (Kern, 2019, p. 131)

Für die Erstellung der AIA kann auch die Methodik der ÖNorm EN ISO 29481 (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2017b, 2018) angewandt werden. In dieser Norm wird die Erstellung eines Handbuchs für den Informationsaustausch, auch Information Delivery Manual (IDM) genannt, beschrieben. In diesem Dokument werden beispielhaft Prozess- und Transaktionsdiagramme, Interaktionspläne bzw. Informationslieferdokumente dargestellt, um im Ablauf des Projektes den Informationsaustausch adäquat zu beschreiben.

Weiters gibt die EN ISO 19650 (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2019a, 2019b) Empfehlungen und Grundsätze bei der Anwendung von BIM für die Geschäftsprozesse an und liefert Vorschläge für Prozesse im Informationsmanagement über den Lebenszyklus eines Bauwerks. In Abbildung 20 ist der Informationsmanagementprozess über alle Phasen bzw. Stadien eines Bauwerks dargestellt.

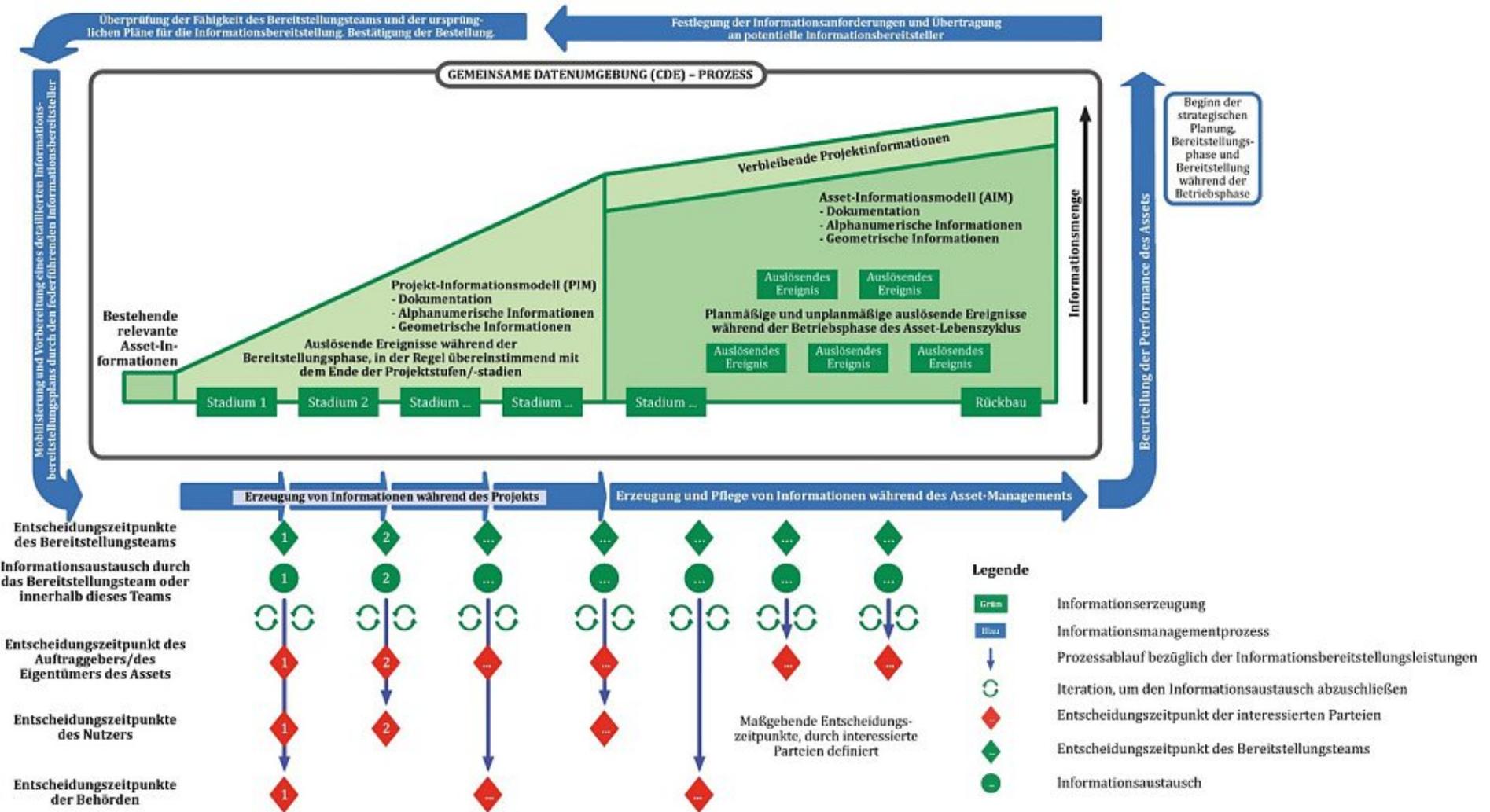


Abbildung 20: Übersicht und Darstellung des Informationsmanagementprozesses (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2019a, pp. 39–40)

Auch der „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ fordert die „Gemeinsame Datenumgebung“ und stützt sich auf die EN ISO 19650 bzw. auf die VDI-Richtlinien 2552. (BMVI, 2015, p. 10)

Die Richtlinienreihe VDI 2552 beschreibt eine Struktur um BIM effektiv in die Prozesse des Planens, Bauens und Betriebens zu implementieren. In dieser Reihe sind bis einschließlich 06/2020 14 Richtlinien entstanden. (Verein Deutscher Ingenieure, 2018) Vor allem hinsichtlich Informationsaustauschanforderungen entstehen derzeit mehrere Dokumente, die zukünftig den Austausch der Daten definieren. Zum Beispiel ist der Entwurf für die Exchange Requirements für Schalungs- und Gerüstbau in Ortbetonweise letztes Jahr erschienen. (Verein Deutscher Ingenieure, 2019)

Um den reibungslosen und verlässlichen Ablauf der Zusammenarbeit zu garantieren, können weitere Klassifikationen, Begriffsdefinitionen und Ontologien angewandt werden. Beispielsweise stehen dafür das buildingSMART Data Dictionary (bSDD) (buildingSMART, 2020a), die DIN SPEC 91400 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2017a) oder Uniclass 2 (CPIc Construction Project Information Committee, 2020) zur Verfügung. Hiermit können die Verknüpfungen zwischen den Baumerkmalen bzw. Objekten und den Klassifikationskonzepten hergestellt werden. (Borrmann et al., 2015, p. 165)

Ein weiteres Klassifikationssystem ist OmniClass (Construction Specifications Institute, 2020) aus dem amerikanischen Bereich. OmniClass weist eine Vielzahl von Tabellen auf, welche Bauwerke, Konstruktionselemente und Räume hinsichtlich ihrer Funktion, Form, Produkte, Prozesse usw. einheitlich anhand einer Nummernfolge klassifizieren. OmniClass und UniClass basieren beide auf der ISO 12006-2 und 3 (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2017a, 2019c), die einen konsistenten und vollständigen Ansatz in der Bauwerksklassifikation verfolgt. Die zuvor angeführten Ordnungssysteme sind für die Anwendung von BIM unerlässlich um den fehlerfreien Informationsaustausch aller Beteiligten zu definieren und sind als Ergänzung zu den fest vorgeschriebenen Modellschemata wie den Industry Foundation Classes IFC zu verstehen. Mit den Klassifizierungssystemen werden zusätzliche Informationen zu Bauteilen und Elementen im räumlichen Gefüge eines Bauwerks definiert. (Borrmann et al., 2015, p. 174)

Um den Datenaustausch der Bauwerksmodelle in Planungsprozessen zu definieren wurde eine Internationale Non-Profit-Organisation buildingSMART (vor 2003 Internationale Allianz für Interoperabilität genannt) gegründet. Diese Organisation hat ein herstellerunabhängiges Datenformat zur umfänglichen Beschreibung von Bauwerksmodellen mit dem Namen Industry Foundation Classes (IFC) geschaffen. 2013 wurde diese Beschreibung in die EN ISO 16739 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2017b) übergeführt. Derzeit ist die vierte Generation des IFC- Standards im Einsatz. (IFC 4 Add 2 wurde im Juli 2016 veröffentlicht)

Die IFC-Dokumentation ist, gerade im gebäudetechnischen Bereich, nicht detailliert genug und es fehlen beispielsweise Erzeuger, die über andere Ifc-Klassen abgebildet werden müssen. (Wimmer, 2020, p. 26)

Diese Aussage wird durch das Forschungsprojekt metaTGA bestärkt. Die handelnden Personen beschreiben, dass sich der aktuelle Entwicklungsstand der offenen BIM-Datenmodelle im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung in der Entwicklung befindet und der Einsatz der Datenmodelle derzeit nur eingeschränkt möglich ist. (Monsberger et al., 2020)

Auch der in den vorhandenen Normen definierte Umfang für Bauelemente weist zurzeit in etwa den Detaillierungsgrad der notwendigen Daten für die Vorentwurfsphase in Österreich auf. Daher wurden in Österreich für den Aufbau des BIM-Standards die Normen ÖNorm A 6241-1 und ÖNorm A 6241-2 (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2015c, 2015b) entwickelt, um den Detaillierungsgrad zu erhöhen und in den anderen Phasen des Prozesses auch Standardisierungen vorzunehmen. In diesen Normen wurden projektphasenabhängige Anforderungskataloge für die üblichen Planungsbeteiligten erarbeitet und alle relevanten Merkmale für Bauelemente erstellt. Diese sind am ASI-Merkmalserver frei zugänglich und über ein Webservice (<http://db.freebim.at/>) abrufbar. (Eichler, 2016, p. 13)

Durch die stetige Weiterentwicklung von BIM und der damit einhergehenden Erhöhung der Detaillierung der Merkmale im Bau- und Gebäudetechnikbereich, kann in den nächsten Jahren der Datenaustausch zwischen den beteiligten Akteuren verlustfrei und einfach erfolgen. Somit ist es zukünftig auch möglich, Gebäudesimulation bzw. andere Tools an die Schnittstellen anzudocken und in kurzer Zeit den Einfluss der Änderungen zu eruieren und somit eine Aussage hinsichtlich der Zielerreichung zu erhalten. Beachten muss man dabei, dass der Planungsaufwand zeitlich früher anfällt und die Ziele bzw. die AIA seitens der Bauherren auch in einer früheren Phase des Projektes definiert werden müssen.

2.5. Beschaffungs- bzw. Vergabemodelle für Bauherren- bzw. Investorengruppen im Bauwesen

Die Investoren- bzw. Bauherrengruppe hat verschiedene Möglichkeiten die Planungs- und Ausführungsmodelle zu vergeben. Mit dem Vergabemodell wird entschieden welche Managementleistungen, Verantwortungen und Risiken durch die/den Bauherrn selbst bzw. von externen Dienstleistern übernommen werden. Die gängigsten Vergabemodelle sind die Einzelvergabe, die Vergabe an einen Generalplaner, die Vergabe an einen Generalunternehmer bzw. die Vergabe an einen Totalunternehmer. (Ahammer, 2007)

In den Abbildung 21 bis Abbildung 24 sind die vier üblichen Modelle dargestellt.

- Einzelvergabe: Hier vergibt der Bauherr die Leistungen einzeln mit dem Vorteil einfach eingreifen zu können, die externen Managementkosten gering zu halten und ermöglicht einen gestaffelten Bauprozess. Nachteilig ist die daraus resultierende hohe Anzahl an Schnittstellen, die die Risiken der Kosten und Termine erhöhen. Weiters nachteilig ist die komplexe Gewährleistungssituation zu beurteilen, die aufgrund der vielen Vergabeverfahren entsteht. (Ahammer, 2007; Ahammer et al., 2017)
- Generalplaner: Bei der Vergabe an einen Generalplaner werden die anfallenden Planungsleistungen an einen Generalplaner vergeben. Dies vermindert die Schnittstellen und die Komplexität in der Vergabe, Planung und Ausführung, da immer derselbe Ansprechpartner für die/den Bauherrn zur Verfügung steht. Für die einzelnen Fachdisziplinen werden vom Fachplaner verantwortliche Fachleute genannt. Die ausführenden Firmen werden bei dieser Vergabeform einzeln vergeben. (Ahammer, 2007)

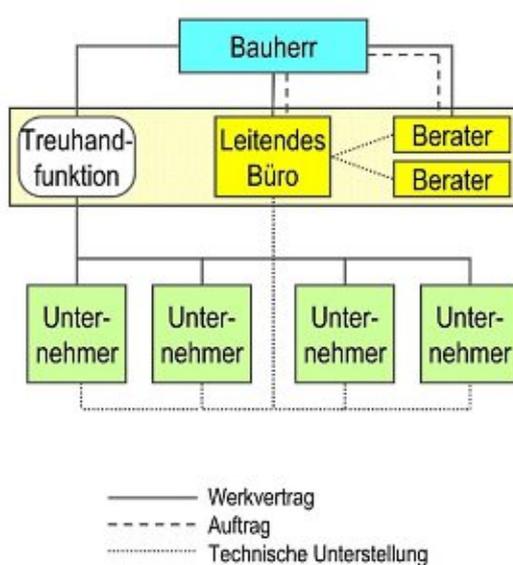


Abbildung 21: Einzelvergabe (Ahammer, 2007, p. 25)

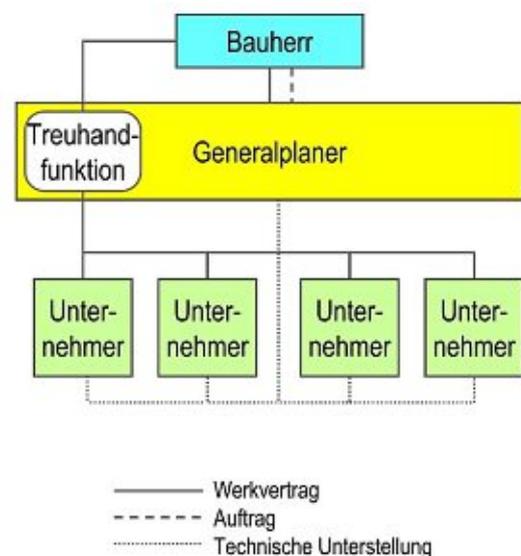
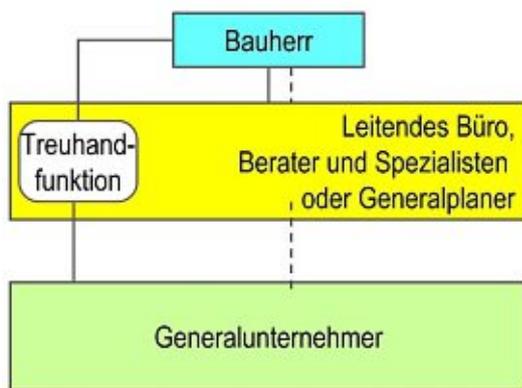


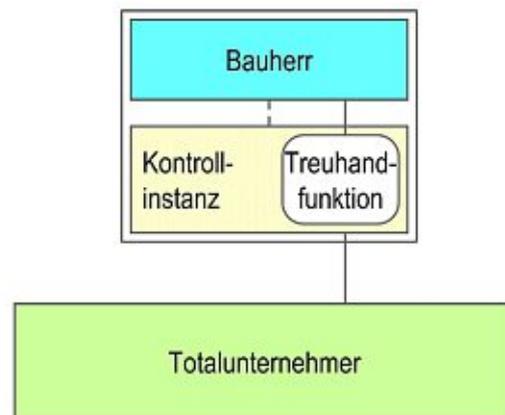
Abbildung 22: Generalplaner (Ahammer, 2007, p. 27)

- **Generalunternehmer:** Bei dieser Vergabeform wird ein Unternehmer beauftragt, der alle Leistungen erbringt, die für die Herstellung des Bauwerks notwendig sind. Für die/den Bauherrn gibt es nur einen Ansprechpartner über die Planung, Koordination bis hin zur Ausführung. In diesem Fall müssen alle wesentlichen Entscheidungen vor der Vergabe getroffen werden, da später nur noch eingeschränkt die Möglichkeit zur Einflussnahme besteht. Die Kontrolle der Zeitvorgaben ist bei dieser Vergabeform erst bei der Abnahme möglich. (Achammer, 2007)
- **Totalunternehmer:** Auf Basis einer funktionalen Ausschreibung im Vorentwurfsstadium werden die gesamte weitere Planung und Ausführung zu festgelegtem Standard, Zeitpunkt und Preis an ein Unternehmen gegeben. Die Einflussmöglichkeiten bzw. gewünschte Änderungen nach der Vergabe kann zu Kostenerhöhungen bzw. Verzögerungen führen. Die Kontrolle der Zielvorgaben ist erst bei Übergabe des Projektes möglich. (Achammer, 2007)



— Werkvertrag
- - - Auftrag
..... Technische Unterstellung

Abbildung 23: Generalunternehmer (C. Achammer, 2007, p. 29)



— Werkvertrag
- - - Auftrag
..... Technische Unterstellung

Abbildung 24: Totalunternehmer (Achammer, 2007, p. 30)

Für die Planung und Errichtung eines lebenszyklusorientierten Bauwerks sollten nach Achammer et al., 2017 die vorher beschriebenen Vergabemodelle adaptiert und an den gesamten Lebenszyklus angepasst werden. Die Bauherren- bzw. Investorengruppe muss entscheiden welche Koordinations- bzw. Managementleistungen und Verantwortungen und auch Risiken selbst übernommen werden. Davon abhängig ist der Anteil der an externen Konsulenten übergeben wird. Wie in Abbildung 25 dargestellt sinken, umso mehr Leistungen extern vergeben werden, der Managementaufwand und die Risiken für die/den Bauherrn. (Achammer

et al., 2017, p. 17) Umgekehrt sinkt aber auch die Einflussmöglichkeit bzw. Adaptierung im laufenden Prozess ohne Kosten bzw. Termine zu riskieren.

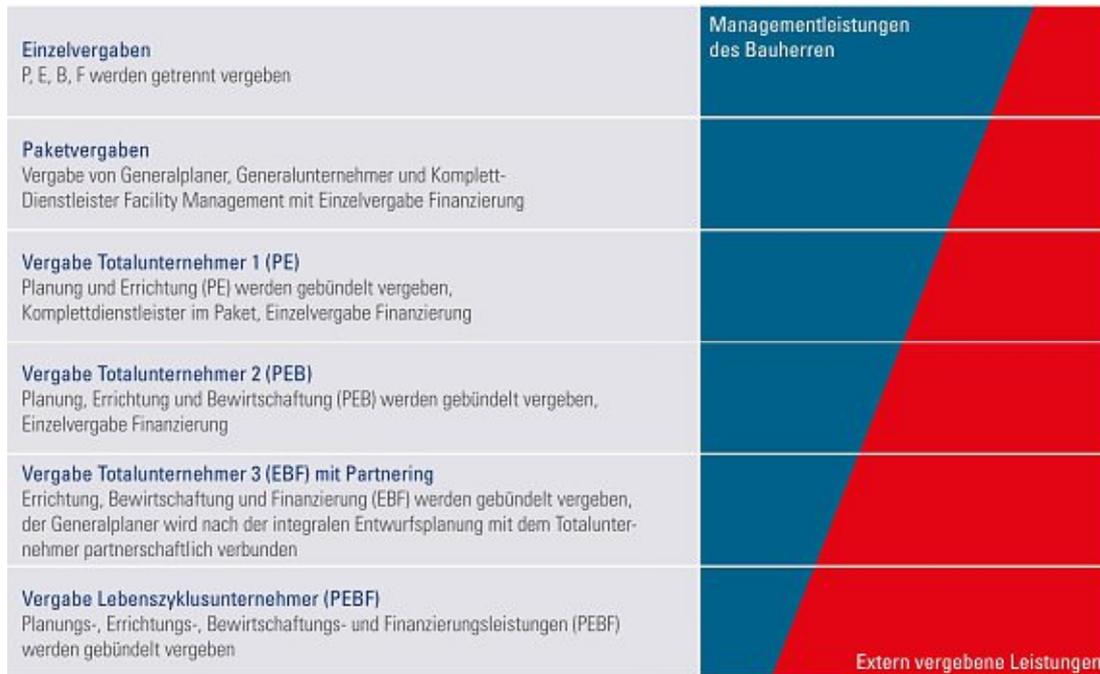


Abbildung 25: Sechs beispielhafte Beschaffungsmodelle - von der Einzelvergabe bis zum Lebenszyklus-Unternehmer (Achammer et al., 2017, p. 17)

Für die zuvor beschriebenen Vergabeformen Totalunternehmer oder Lebenszyklusunternehmer mit hohem Ausmaß an extern vergebenen Leistungen ist die genaue Definition der Ziele inklusive Bedarfsplan und Pflichtenheft in einer frühen Phase des Projektes elementar. Hier bestehen Parallelen mit der BIM-Methode. BIM erfordert auch einen höheren Detaillierungsgrad in früheren Phasen als im konventionellen Planungsprozess. (van Treeck et al., 2016, p. 25)

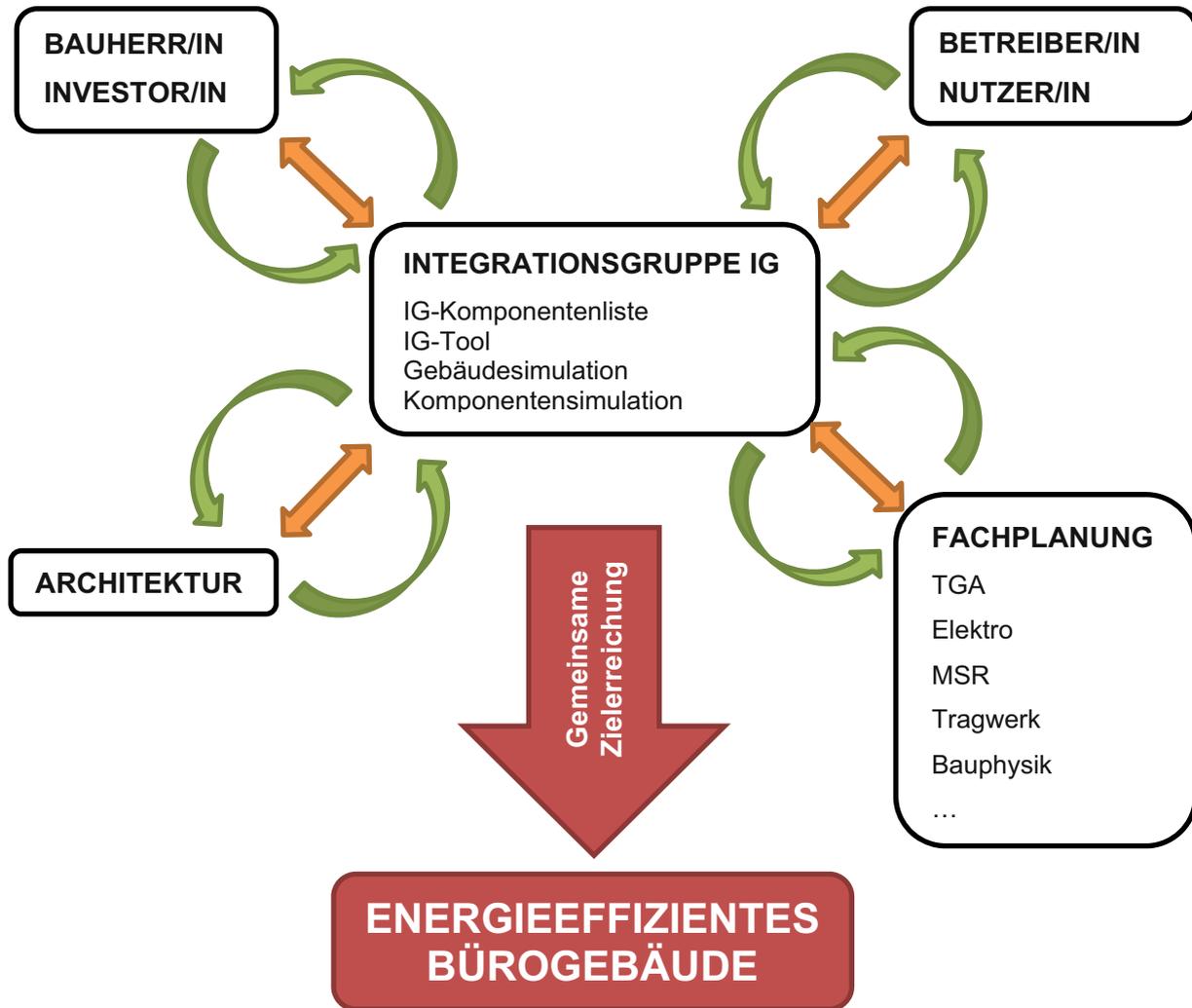
Wie beschrieben und gezeigt, gibt es verschiedene Arten der Vergabeformen. Abhängig von der Vergabeform gibt es unterschiedliche Möglichkeiten die IG in der Projektorganisation einzubinden. Die Einbindung der IG in Abhängigkeit der Beschaffungsmodelle wird im Kapitel 3 gezeigt.

3. Weiterentwicklung der Methode

In diesem Kapitel wird die Weiterentwicklung der Planungsmethode „Integrale Planung“ zur „Planung mit Integrationsgruppe“ erläutert. Um ein gewünschtes Ziel im Bauprozess zu erreichen, ist es notwendig, nicht nur integral zu planen, sondern eine Integrationsgruppe IG zu implementieren. In der „Integralen Planung“ werden zwar durch die frühe Einbindung aller Planer gewerkübergreifend abgestimmte Ergebnisse erzielt, aber es werden die Verfahren, Berechnungen und Normen der einzelnen Fachplaner angewandt. Daraus ergibt sich der Nachteil, dass keine umfassenden gesamtheitlichen Ziele verfolgt werden können, da jeder Fachplaner die eigenen Tools verwendet. Die Integrationsgruppe IG verwendet für den Informationsfluss die IG-Komponentenliste und für Berechnungen das IG-Tool. Somit werden ein lückenloser Informationsfluss und gewerkübergreifende gesamtheitliche Berechnungen für die Zielerreichung sichergestellt. In Abbildung 31 wird der Prozess des Informationsaustausches dargestellt.

Die IG übernimmt hier die Rolle der erweiterten Moderation, weist daher interdisziplinäres Fachwissen auf und hat über Erstellung von Studien und Konzepten bzw. Freigaben und Qualitätssicherung eine Handhabe im Projekt. Im Gegensatz zum Prozessmoderator (Ahammer et al., 2017, pp. 13–16) ist die IG von der Konzeptionierung bis zum Betrieb und der Optimierung des fertiggestellten Gebäudes im Prozess inkludiert und führt Berechnungen und Variantenstudien durch.

Der Kern der Methodik ist in Abbildung 26 dargestellt. In der Mitte der Abbildung ist die Integrationsgruppe IG sichtbar. Diese Gruppe besteht aus einer oder mehreren Personen, die disziplinübergreifendes Wissen aufweisen. Die IG steht im Mittelpunkt des gesamten Entwurfs-, Planungs- und Ausführungsprozesses inklusive Inbetriebnahme und Betrieb und sammelt alle Informationen, die für die Zielerreichung notwendig sind. Die Einbindung aller relevanten Projektbeteiligten und der IG zum frühesten Zeitpunkt ist elementar. Gemeinsam werden Projektparameter, Randbedingungen, Anforderungen und Ziele erarbeitet. Die definierten Ziele werden mit Hilfe der IG-Komponentenliste und des IG-Tools verfolgt, d.h. alle maßgeblichen Optionen werden über die IG-Komponentenliste, das IG-Tool und gegebenenfalls mit Gebäude- und Komponentensimulation überprüft und optimiert. Mit Hilfe der IG-Komponentenliste werden alle Teile der verschiedenen Gewerke erhoben, erfasst und dokumentiert und während des gesamten Prozesses an den aktuellen Stand der Arbeiten angepasst und weitergeführt. Das IG-Tool berechnet die gesamtheitliche Energieeffizienz in kurzer Zeit und liefert ausreichend genaue Ergebnisse um Entscheidungen treffen zu können. Die Gebäude- und Komponentensimulationen kommen vereinzelt bei größeren und komplexen Fragestellungen zur Anwendung.



Legende:



Informationsaustausch – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...



Interaktion – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 26: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten im gesamten Prozess

Es ist nicht notwendig, dass immer alle Beteiligten bei allen Besprechungen der IG eingebunden werden. Die Zusammenstellung der integralen Termine übernimmt die IG in Abhängigkeit der Fragestellung und der Phase im Projekt. Detailliert wird auf diese Phasen in den folgenden Unterkapiteln eingegangen.

Die Struktur und Einbindung der IG bleibt in allen Phasen des Planungs- und Bauablaufes, wie in Abbildung 26 dargestellt, gleich. In Abhängigkeit des Fortschritts der Planung bzw. der Ausführung kommen weitere Personen und Firmen zum Planungsprozess hinzu. Es ist Aufgabe der Fachplaner und des Architekturteams zu gewährleisten, dass im gesamten Ablauf

der Informationsaustausch und jegliche Interaktionen mit der IG abgestimmt werden bzw. den neu hinzukommenden Personen während des Prozesses das gemeinsame Ziel kommuniziert wird.

Alle Prozessbeteiligten werden vertraglich zu dem Informationsaustausch, der Interaktion und der Zusammenarbeit mit der IG gebunden. Ein Freigabeprozess zwischen IG und Planern bzw. Ausführenden sichert die Qualität der vereinbarten Maßnahmen. Eine ausführliche und nachvollziehbare Dokumentation aller Informationen der IG ist notwendig, um bei etwaigen Personalveränderungen eine lückenlose Übergabe zu gewährleisten und die Zielerreichung nicht zu gefährden.

Einbindung der IG in Abhängigkeit von Vergabemodellen

In diesem Abschnitt wird die Einbindung der IG in Abhängigkeit der vier gängigsten Vergabemodelle gezeigt. Es ist wichtig, wo die IG in der Projektorganisation gesetzt wird und von wem sie beauftragt wird, denn nur wenn die IG im Prozess richtig positioniert wird, kann sie Einfluss auf das Ergebnis bzw. die Zielerreichung haben.

In Abbildung 27 ist die Integrationsgruppe in der Einzelvergabe dargestellt. Wie zuvor beschrieben und in Abbildung 26 gezeigt, muss die IG eine zentrale Rolle in der Projektorganisation einnehmen. Daher ist die IG in der Einzelvergabe nicht als Berater tätig, sondern sie muss direkt im Team des leitenden Büros integriert sein, um die Schnittstelle zwischen den Unternehmen, den Beratern und der Investorengruppe auszubilden. Vorteilhaft in der Einzelvergabe ist die hohe Einflussmöglichkeit im laufenden Prozess. Die Nachteile hinsichtlich der daraus resultierenden Schnittstellen können von der IG abgedeckt werden, die der komplexen Gewährleistungssituation aufgrund der großen Anzahl der Vergaben nicht.

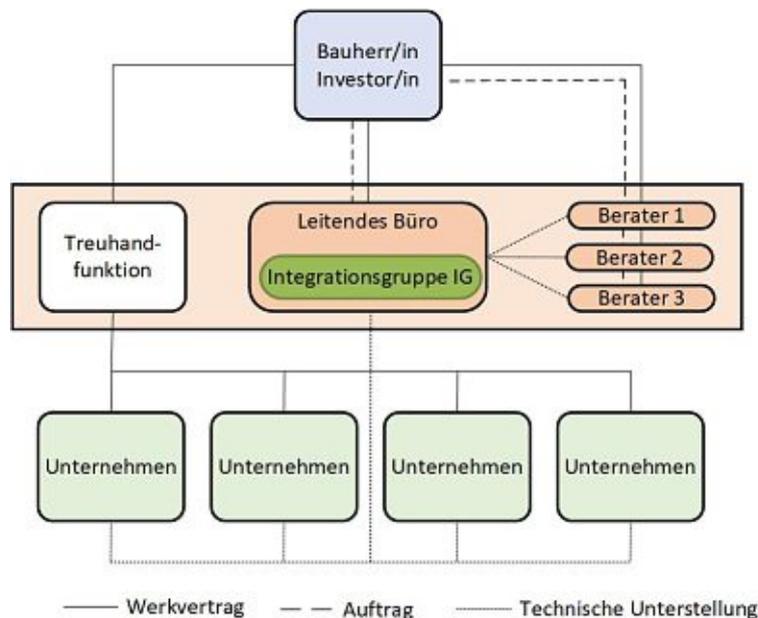


Abbildung 27: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Einzelvergabe (auf Basis Achammer, 2007, p. 25)

Beim Beschaffungsmodell Generalplaner wird die IG auch direkt dem Team der Generalplaner zugeordnet, wobei die IG in der Schnittstelle zwischen allen Planern arbeitet. (siehe Abbildung 28) Der Vorteil bei diesem Modell liegt, ähnlich wie bei der Einzelvergabe, in der einfachen Eingriffsmöglichkeit bei Änderungen bei gleichzeitiger erheblicher Reduktion der Anzahl der Vergaben. Diese Form der Beschaffung wurde auch im Anwendungsbeispiel im Kapitel 4 angewandt.

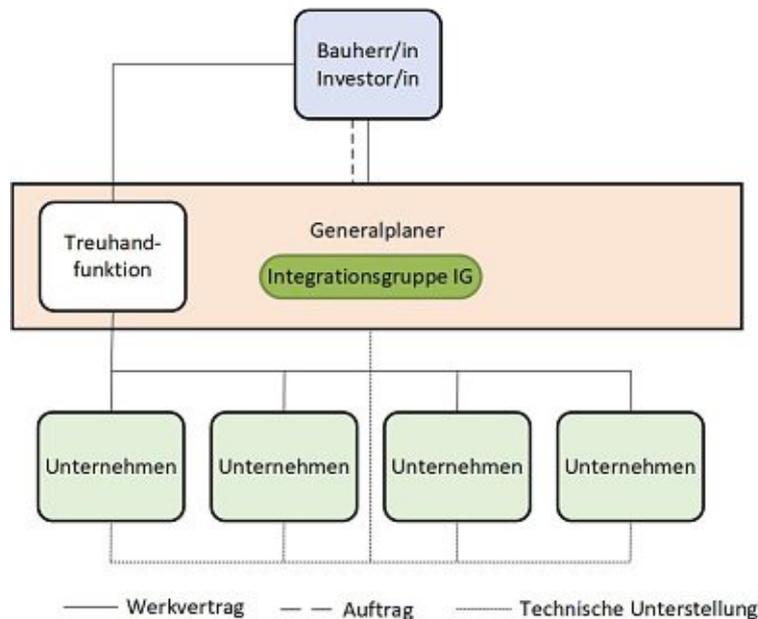


Abbildung 28: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Generalplaner (auf Basis Achammer, 2007, p. 27)

Bei der Vergabe der Projekte an Generalunternehmer wird die IG beim leitenden Büro integriert. (siehe Abbildung 29) Bei dieser Vergabeform ist der Einfluss während des Planungs- und Bauprozesses gering und die Kontrolle kann erst bei der Übergabe erfolgen. Umso wichtiger ist es in diesem Fall, in der Konzeptionierung detaillierte Ziele zu beschreiben. Diese Ziele werden über die Bedarfspläne, Pflichtenhefte, AIA und BAP dokumentiert und als Grundlage für die Abwicklung verwendet. Bedarfsänderungen im laufenden Prozess bedingen eventuell Terminverzögerungen und/oder Kostensteigerungen.

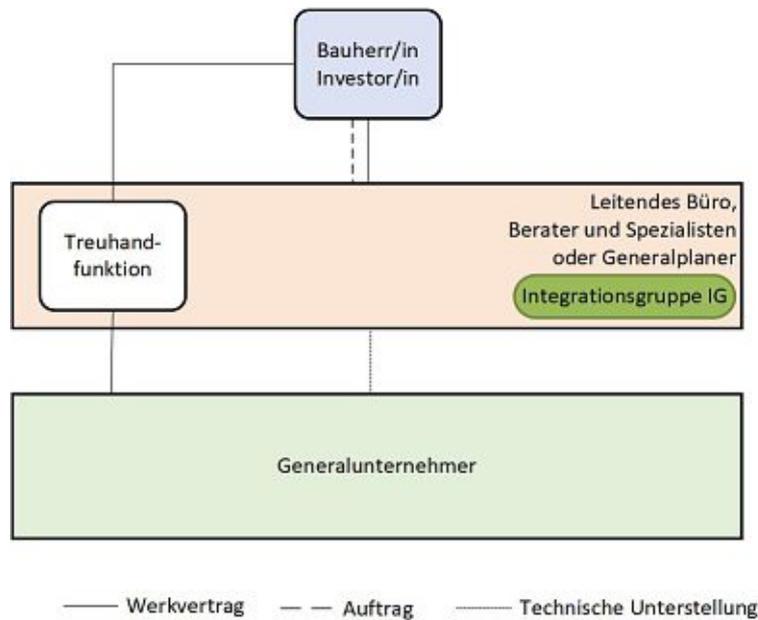


Abbildung 29: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Generalunternehmer (auf Basis Achammer, 2007, p. 29)

Wie in Abbildung 30 ersichtlich, wird die IG bei der Vergabe der Projekte an Totalunternehmer mit der Kontrollinstanz eingebunden. Ähnlich wie bei dem Modell Generalunternehmer ist auch bei dieser Vergabeform der Einfluss während des Planungs- und Bauprozesses gering und die Kontrolle kann erst bei der Übergabe erfolgen. Daher ist es auch in diesem Fall umso wichtiger, mittels funktionaler Ausschreibung detaillierte Ziele zu beschreiben. Diese Ziele werden auch bei diesem Vergabemodell über die Bedarfspläne, Pflichtenhefte, AIA und BAP dokumentiert und als Grundlage für die Abwicklung verwendet. Bedarfsänderungen im laufenden Prozess bedingen eventuell Terminverzögerungen und/oder Kostensteigerungen.

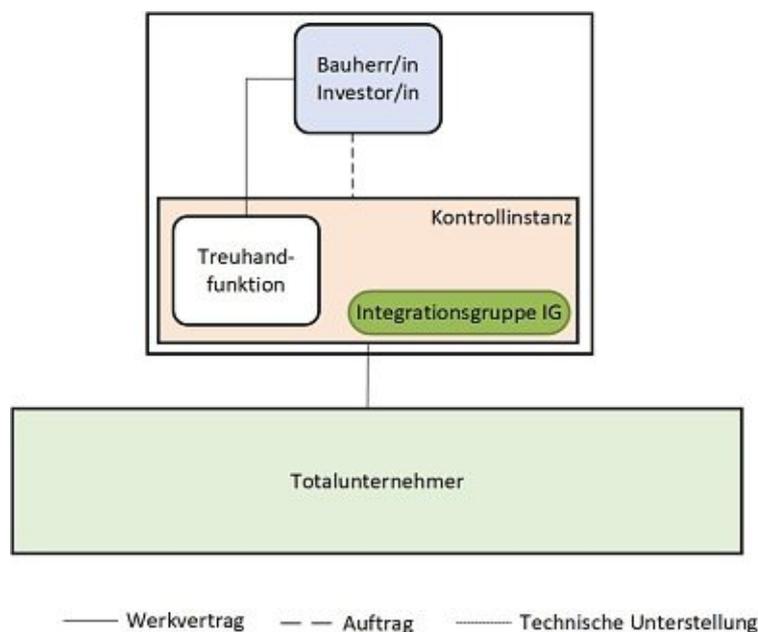


Abbildung 30: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Totalunternehmer (auf Basis Achammer, 2007, p. 30)

Eine weitere Möglichkeit die IG bei General- und Totalunternehmer einzubinden ist es, über die Ausschreibung eine IG vom Unternehmen zu definieren und einzufordern. Die genaue Definition und Beschreibung der Ziele in der Konzeptionierungsphase des Projektes bleibt trotzdem bestehen. Der Nachteil bei der Wirkung der IG beim General- bzw. Totalunternehmer ist aber der nicht vorhandene Einfluss auf diese Gruppe seitens der Bauherren- bzw. der Investorengruppe bei Bedarfsänderungen.

Erläuterung der Arbeitsweise und des Datenaustausches der „Planung mit IG“

Wie die Prozesse ablaufen und welche Daten ausgetauscht werden, ist vereinfacht in Abbildung 31 ersichtlich. Mit der Initiierung des Projektes erfolgt der Start des Projektes. Der Projektauftraggeber definiert die Projektziele, den Zweck und den finanziellen Rahmen. Der Bedarf wird festgelegt und ein Bedarfsplan bzw. Pflichtenheft erstellt. Wenn die zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer bereits feststehen, werden jegliche Anforderungen und die Nutzungen eingefordert und auch im Bedarfsplan bzw. im Pflichtenheft berücksichtigt. Auch die Komfortkriterien bzw. die Behaglichkeit und weitere nutzerspezifische Vorgaben haben zu diesem Zeitpunkt einen Einfluss auf die Projektziele und auch auf die notwendigen Daten für das IG-Tool und die Simulation. Außerdem können bei bekannten Betreiberinnen und Betreibern die Erfahrungen aus dem Betrieb anderer Gebäude in das Pflichtenheft eingearbeitet werden. Mit dem Bedarfsplan und dem Pflichtenheft können auch die Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) und die BIM-Abwicklungspläne (BAP) für die Gewerke erstellt werden. Hier kann auf die Veröffentlichung „BIM in der Praxis - Auftraggeber-Informationen-Anforderungen“ (E. Bauer et al., 2018) bzw. auf den Entwurf der VDI-Richtlinie 2552 – „Building Information Modeling Auftraggeber-Informationen-Anforderungen und BIM-Abwicklungspläne“ (Verein Deutscher Ingenieure, 2020) zurückgegriffen werden.

Der Bedarfsplan bzw. das Pflichtenheft dienen der Architektur als Grundlage zur Erstellung des Geometriemodells. Mit diesen erstellten Dokumenten werden von der IG Variantenstudien hinsichtlich der definierten Projektziele errechnet und auf die Machbarkeit überprüft. In der ersten Phase, der Konzeptionierungsphase, werden die Fachplaner noch nicht eingebunden. (die Definition der Phasen finden sich in Kapitel 3.2) Hier werden von der IG, gemeinsam mit den Projektauftraggebern, die nötigen Default-Werte festgesetzt. Dies erfordert vielseitig und interdisziplinär gebildete Menschen die der IG angehören und diese Aufgaben verrichten. (siehe auch Eichler, 2016, p. 17 These 15)

Mittels IG-Tool und Gebäudesimulation werden die Projektziele überprüft und die optimale Variante in der IG-Komponentenliste-Basis gesammelt. Mehr zu den Spezifikationen der IG-Komponentenliste wird in Kapitel 3.1.1 erläutert. Hier bietet sich zum Datenaustausch auch BIM mittels Industry Foundation Classes (IFC) (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2017b) oder dem frei zugänglichen ASI-Merkmalserver der österreichischen Norm A 6241-2 an. (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2015b) In der Konzeptionierungsphase befindet sich

eine Iterationsschleife mit dem Architekturteam. Die Projektauftraggeber werden über die Fortschritte informiert bzw. bei nicht vorhandener Machbarkeit werden von der IG alternative Varianten aufbereitet. Erst nach der Eruiierung des Optimums aus Bedarf, Ziele und Machbarkeit in der Konzeptionierungsphase wird die IG-Komponentenliste-Basis als Grundlage für die Planungsphase angewandt und den Fachplanern übermittelt.

In der Planungsphase entwickelt die Fachplanung die jeweiligen Konzepte für die unterschiedlichen Planungsphasen und gibt die Informationen über Konzepte, Pläne und Unterlagen an die anderen Projektbeteiligten weiter. Dies geschieht über das Ausfüllen, Ergänzen und Adaptieren der IG-Komponentenliste. Die konsolidierte Komponentenliste bzw. alternative Vorschläge und Produktspezifikationen der Fachplaner werden von der IG über das IG-Tool und wenn notwendig mittels Simulationen überprüft. Hier bildet sich wieder eine Iterationsschleife zwischen IG, Architektur und den Fachplanern in den einzelnen Phasen der Planung. Das Ergebnis der Iterationsschleife und der Beurteilung der Varianten endet in der IG-Komponentenliste-Final, die als Grundlage für die Ausschreibungserstellung angewandt wird. Weiters können zu diesem Zeitpunkt Anreizmodelle für die Ausschreibung erstellt werden. Mehr zu den Anreizmodellen kann in Kapitel 4.2.2 nachgelesen werden.

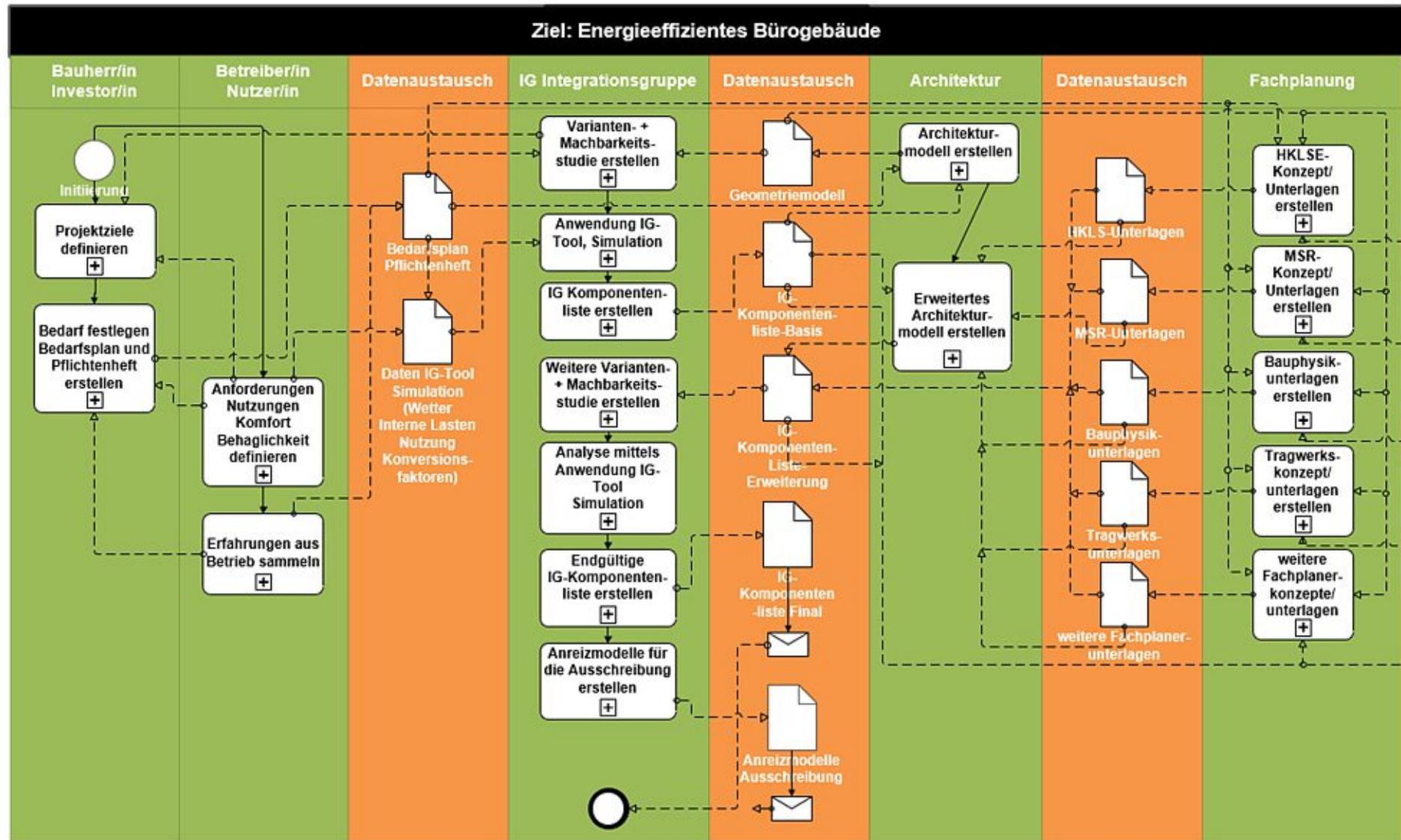


Abbildung 31: Prozessmappe zur Darstellung des Informationsaustauschs und Arbeitsweise der Projektbeteiligten mit der IG-Integrationsgruppe von der Initiierung bis zum Ausschreibungsbeginn

Die erläuterte Vorgehensweise zu Abbildung 31 mit den Iterationsschleifen und der Überprüfung der Komponenten und deren Auswirkung auf die Ziele durch die IG setzt sich in der Realisierungsphase fort und die IG-Komponentenliste wird zum Datenaustausch verwendet. Die ausführenden Firmen docken an der Architektur und der Fachplanung an und liefern die jeweiligen Daten der Komponenten, die zur Ausführung gelangen.

3.1. IG-Komponentenliste, IG-Tool und Simulation

Die IG-Komponentenliste, das IG-Tool und weitere Simulationen sind notwendig, um bei der Zielerreichung das Optimum zu erreichen. Dabei dient die IG-Komponentenliste weitestgehend dem Informationsaustausch in einem vordefinierten Format und Inhalt. Das IG-Tool wird für kurze Berechnungen und Abschätzungen bzw. Variantenstudien angewandt und beinhaltet die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes. Die Liste bzw. das Tool kann für andere Zielsetzungen adaptiert werden. Für detailliertere und umfassendere Fragestellungen werden noch Komponenten- bzw. Gebäudesimulationen vom virtuellen Gebäudemodell erstellt um ein bestmögliches Ergebnis zu erreichen. Alle drei Werkzeuge werden in den verschiedenen Phasen des Projektes angewandt und mit dem aktuellen Wissenstand befüllt. D.h.: die IG-Komponentenliste, das IG-Tool und teilweise auch die Simulationen verändern sich im Zuge der verschiedenen Phasen im Projekt und passen sich den gegebenen Rahmenbedingungen an.

3.1.1. IG-Komponentenliste

Die IG-Komponentenliste bündelt alle erforderlichen Informationen, die für das IG-Tool und die Simulationen erforderlich sind. Für diese Arbeit wurde die Liste hinsichtlich Gesamtenergieeffizienz aufgebaut. Der erste rudimentäre Entwurf einer solchen Liste wurde in der Diplomarbeit Leeb, 2009 erstellt. Zum Einsatz kam die Liste auch im Projekt PEB – Marktreifes Plus-Energie-Büro (Reiß, Schöberl, Leeb, & Bednar, 2011), aber nur in der Konzeptionierungsphase angewandt, da das Projekt nicht verwirklicht wurde. Am (Plus)Plusenergiebürohochhaus der TU Wien wurde die IG-Komponentenliste zum ersten Mal vom Entwurf bis hin zum Betrieb erprobt. (Schöberl, Hofer, Leeb, Bednar, & Kratochwil, 2014). Die Granularität der Daten je Komponente ist von Beginn an bis zum Ende des Projektes gleich definiert, da die Werte für die Varianten- und Machbarkeitsstudien für das IG-Tool und die Simulationen notwendig sind. Daher werden am Anfang des Projektes Default-Werte verwendet. Ab Einbindung der Fachplaner werden die Komponenten konkretisiert und in der Ausführung werden die endgültig eingebauten Produkte eingetragen. Die IG-Komponentenliste wird von der Integrationsgruppe IG geführt, adaptiert und angepasst. Je Kategorie in der Liste werden zuständige Personen und Firmen eingetragen. Diese Personen ändern sich im Zuge des Vorhabens und müssen kontinuierlich ergänzt bzw. aktualisiert werden.

Für die Festsetzung von Informationsanforderungen bzw. Informationsmanagement kann auch auf die Normenreihe EN ISO 19650 – „Organisation und Digitalisierung von Information zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM)“ zurückgegriffen werden. In dieser Normenreihe sind Vorlagen für Verantwortlichkeitsmatrizen für den Informationsaustausch enthalten und diese definiert die Abläufe zwischen Informationsbesteller und Informationsbereitsteller. (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2019a, 2019b)

Der Informationsaustausch mittels Komponentenliste in dieser Arbeit ist in Abbildung 31 ersichtlich. Die Verwendung der Liste in den einzelnen Phasen wird in dem folgenden Kapitel 4 beschrieben.

Die Liste beinhaltet alle Komponenten inklusive der energierelevanten Daten, die im Prozess verwendet werden. Der Inhalt der Liste steht im Folgenden beschrieben.

In der Konzeptionierungsphase sind viele Details noch unklar, daher werden von der Integrationsgruppe IG unter Einbeziehung der anderen Beteiligten Default-Werte erarbeitet. Die Einteilung und Kategorisierung der Liste kann je nach Projekt geändert werden, sollte aber möglichst nach den Einteilungen der Ausschreibungen inklusive Unterteilungen erfolgen. So besteht die Möglichkeit, die Verbrauchsprognose in jeder Phase miteinzubeziehen und zu eruieren, in welchen Kategorien Einsparungen bzw. Erhöhungen im Prozess erzielt werden können.

- Standort
 - Orientierung
 - Klima
 - Umgebungsbebauung (Verschattung,...)

Der Standort des Gebäudes ist für die Entwicklung energieeffizienter Bürogebäude aufgrund der Verschattung der umgebenden Gebäude bzw. der Umgebung und dem Klima im Allgemeinen von großer Bedeutung. Kennt man diese Faktoren von Beginn an, kann das Optimum aus Dämmung, erneuerbarer Energie in der Gebäudehülle bzw. dem idealen Verglasungsanteil errechnet werden.

- Belegung
 - Raumprogramm
 - Anteilige Nutzung (Büro, Besprechung, Küche,...)
 - Personen
 - Anwesenheit
 - Nutzungszeiten
 - weitere relevante Daten zur Belegung

Die Nutzung und die Belegung bzw. die Belegungsdichte sind immense Einflussfaktoren für das zukünftige Gebäude und dessen Ausstattung und Regelung. Mit der Belegung und Nutzung werden die Grundlagen für die Berechnung der Heiz- und Kühllasten sowie die Volumenströme der Lüftungsanlagen festgelegt, also wird die Größe der Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungsanlagen vordefiniert. Umso genauer diese Werte und Daten bekannt sind, umso idealer, effizienter und kostengünstiger können die Anlagen ausgelegt werden. (Leeb, 2009)

- Gebäudegeometrie
 - Dreidimensionaler Baukörper (Flächen,...)
 - Bauteile (Aufbautenkatalog, U-Werte, Verglasungsanteil,...)
 - Transparente Bauteile (U-Wert, g-Wert, Lichttransmission,...)
 - Verschattungssysteme plus Regelung

Die Geometrie des Gebäudes wird in den einzelnen Phasen noch Änderungen erfahren. In der Konzeptionierungsphase wird für die ersten Varianten und Abschätzungen eine vereinfachte Geometrie inklusive Default-Bauteile generiert. In den weiteren Phasen müssen energetische Geometriefaktoren wie z.B. die Kompaktheit beachtet werden, um die Gesamtenergieeffizienz zu gewährleisten. (M. Bauer et al., 2013, p. 73)

- Gebäudeanforderungen
 - Luftdichtheit
 - Zieltemperatur Heizen
 - Zieltemperatur Kühlen
 - Behaglichkeit

Energieeffiziente Gebäude erfordern aufgrund der Lüftungsanlagen und der geringen Heizlasten eine luftdichte Gebäudehülle, um den Ansprüchen der Gesamtenergieeffizienz zu entsprechen. Die Behaglichkeit in Bürogebäuden wirkt sich direkt auf die Befindlichkeit der darin tätigen Personen aus. (M. Bauer et al., 2013, p. 27) Daher sollte der thermische, visuelle und akustische Komfort ab der Konzeptionierung des Projektes angesprochen und festgeschrieben werden.

- Heizung:
 - Energieträger
 - System
 - Bereitstellung
 - Speicher
 - Wirkungsgrade
 - Schemata
 - Abgabesystem
 - Leitungslängen
 - Dämmung (Leitungen, Armaturen)

- Pumpen
- Ventile
- Regelung
- weitere Komponenten des Heizsystems

Da zu Beginn eines Projektes noch keine detaillierten Angaben bezüglich des Heizsystems vorhanden sind, wird dieses in der Konzeptionierungsphase mit Hilfe von Defaultwerten beschrieben. Im Zuge des Planungsprozesses wird gemeinsam iterativ das ideale Heizsystem für das jeweilige Gebäude unter Beachtung der Randbedingungen (Standort, Klima,...) eruiert.

Kühlung + Serverkühlung:

- Energieträger
- System
- Bereitstellung
- Speicher
- Rückkühlung
- Wirkungsgrade
- Schemata
- Abgabesystem
- Leitungslängen
- Dämmung (Leitungen, Armaturen)
- Pumpen
- Ventile
- Leistung Server
- Regelung
- weitere Komponenten des Kühlsystems

Für das Kühlsystem gelten die gleichen Rahmenbedingungen wie für das Heizsystem. Vorerst werden Defaultwerte verwendet und anschließend resultieren die Daten aus Variantenstudien, Berechnungen und Datenblätter. Mit fortschreitender Entwicklung und Erhöhung des Detaillierungsgrades werden mehr und genauere Kennwerte, in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten und der Anlage, eruiert.

- Nachtlüftung
 - Öffnungen
 - Öffnungsgrößen
 - Situierung
 - Nutzung der Brandschutzklappen bzw. Brandentrauchungsanlagen

Eine weitere Maßnahme zur Senkung des Kühlenergiebedarfs ist die Nutzung der kühlen Luft in den Nachtstunden, um das Gebäude über Kamineffekte und Wind natürlich abzukühlen. Die Nachtlüftung wird auch schon in den Anfangsphasen des Projektes eingeplant, da sich bei der

Nachlüftung einige Schnittstellen verschiedener Gewerke ergeben. (MSR, Brandschutz, HKLSE)

- Warmwasser + Trinkwasser
 - Kombiniert mit Heizung (ansonsten analog Heizung)
 - Drucksteigerungsanlage
 - Druckhalteanlagen

Der Warmwasserbedarf in Bürogebäuden fällt im Gegensatz zu anderen Nutzungen gering aus. Daher müssen hier auch schon von Beginn an Überlegungen angestellt werden, ob das Warmwasser zentral aufbereitet oder dezentral unabhängig vom Heizsystem bereitgestellt wird. Bei höheren Gebäuden sind Drucksteigerungs- und Druckhalteanlagen vorzusehen.

- Lüftung
 - Volumenstrom
 - Ventilatoren
 - Klappen (Brandschutz-, Brandrauchsteuer-, Regelklappen)
 - Volumenstromregler
 - Druckbelüftung
 - Regelung
 - weitere Komponenten der Lüftung

Die Lüftungsanlage beeinflusst einerseits die Behaglichkeit und andererseits den Strombedarf im Gebäude. Die richtige Balance aus Luftgeschwindigkeit, Luftmengen, Situierung der Ein- und Auslässe sollte gefunden werden. Um energiesparende Lüftungsanlagen zu konzipieren sollten einerseits die Luftgeschwindigkeiten gering, folglich aber die Querschnitte überdimensioniert werden. Dieser Umstand muss bei der Planung von Geschoßhöhen und Platzbedarf der Lüftungsanlagen bedacht werden. Hier ist der Mittelweg zwischen wartungsaufwendigeren dezentralen Anlagen und Zentralanlagen zu finden, um die Luftleitungslängen zu minimieren und dadurch die Querschnitte zu reduzieren.

- Beleuchtung:
 - Art
 - Beleuchtungsstärke
 - Leuchten
 - Regelung
 - Fenstergröße, Raumgeometrie,...
 - weitere Komponenten der Beleuchtung

Hinsichtlich Beleuchtung steht man vor der Aufgabe das Optimum zu erreichen. Wichtige Faktoren sind die Fassade, die Verglasung und die Beleuchtungstechnologie inklusive Regelung. Das Zusammenspiel zwischen Fassade, Tageslicht und Beleuchtung hat einen direkten Ein-

fluss auf die Heiz- und Kühllast und somit auch die Gesamtenergieeffizienz. Die LED-Technologie erreichte in den letzten Jahren weiterhin Steigerungen in der Energieeffizienz. (Boer, 2012) Zukünftige Effizienzsteigerungen sind absehbar und dies bedeutet, dass man in der Konzeptionierung und Planung offen für neue, effizientere Technologien sein sollte.

- Aufzug
 - System
 - Bremsenergierückgewinnung
 - Beleuchtung
 - weitere Komponenten der Aufzuganlage

Spätestens seit der Einführung der VDI 4707 Aufzüge - Energieeffizienz (Verein Deutscher Ingenieure, 2009) fand der Energiebedarf von Aufzugsanlagen auch im deutschsprachigen Raum Beachtung. Positiv zu erwähnen sei ebenso, dass bei neuen Aufzugsanlagen mittels Bremsenergierückgewinnung Energie eingespart werden kann.

- Elektrotechnik
 - Kleinmotoren (Jalousien, Fensterantrieb,...)
 - Steuerungen
 - USV Kommunikation
 - Zähler Monitoring
 - Hebeanlagen
 - Wechselrichter
 - weitere Komponenten der Elektrotechnik

In die Kategorie Elektrotechnik fallen z.B. jegliche Kleinmotoren, wie Motoren für Jalousien, Fensteröffner bzw. auch die Zähler für das Monitoring. In dieser Kategorie liegen die Einsparpotentiale vor allem im Standby-Betrieb, da meist eine sehr hohe Anzahl dieser Komponenten verbaut wird.

- Mess-, Steuer- und Regeltechnik MSR
 - Module
 - Switch
 - Aktoren
 - Fühler und Sensoren
 - Präsenz- und Bewegungsmelder
 - MSR-Stationen
 - Raumregler
 - Ventiltriebe
 - Interface - Schnittstellen
 - Gebäudeleittechnik Rechner und Drucker
 - weitere Komponenten der MSR

Die MSR wurde in den Berechnungen des Energiebedarfs berücksichtigt. Da sie aber eine immer größere Anzahl an Komponenten darstellt, muss ihr im Zuge des Projektes ein höherer Stellenwert zugestanden werden.

- Server + USV
 - Anzahl
 - Leistung
 - USV (Wirkungsgrad,...)
 - Ausstattungswahrscheinlichkeit
 - weitere Serverkomponenten

In Abhängigkeit der Nutzung des Gebäudes ist der Bedarf an Servern bzw. Rechenleistung abzuschätzen. Mit der Schätzung der Größe und Ausstattung der Serverlandschaft kann auch das Potential der Abwärmenutzung der Server für das Gebäude beurteilt werden.

- Kommunikation
 - Telefon (Hardware, Software, VoiP;...)
 - Switch (Telefon, Lan)
 - Modem
 - weitere Komponenten der Kommunikation

Die Kommunikation setzt sich aus der Infrastruktur für Telefonie und Internet zusammen. Durch die Entwicklung von Voice over IP (VoiP) und Telefonsoftwarelösungen am PC kann Energie gegenüber herkömmlichen Telefonanlagen eingespart werden. Bei VoiP muss aber auch die höhere Anzahl der Switches gegenübergestellt und bilanziert werden.

- EDV-Arbeitsplatzgeräte
 - Computer
 - Notebook
 - Monitor
 - Ladegeräte
 - Radio
 - weitere Geräte am Arbeitsplatz

In die Kategorie EDV-Arbeitsplätze fallen jegliche Geräte, die von den Personen am Arbeitsplatz verwendet werden. Diese Liste ist, abhängig von der Nutzergruppe, individuell anpassbar. Die Eruierung der inneren Lasten durch Geräte ist für die Auslegung der Heizung und vor allem der Kühlung eklatant.

- Büroinfrastruktur Nutzung
 - Drucker
 - Kopierer
 - Beamer
 - Screens

- Zutrittssystem
- zusätzliche Geräte Büroinfrastruktur

Die Büroinfrastruktur beinhaltet alle Geräte, die allgemein für den Betrieb in Bürogebäuden nötig sind.

- Sozialräume und Teeküchen
 - Kühlschrank
 - Wasserkocher
 - Geschirrspüler
 - Herdplatten
 - Kaffeemaschine
 - weitere Geräte in Sozialräumen bzw. Küchen

Der Energiebedarf von Geräten in Küchen und Sozialräumen kann sehr gut vorbestimmt werden. Diverse Internetseiten (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018) sind hier bei der Auswahl von effizienten Geräten hilfreich.

- Erneuerbare Energien am Standort
 - Gebäudeintegrierte Photovoltaik
 - Wind
 - Bremsenergieerückgewinnung Aufzug
 - Kraft-Wärme-Kopplung
 - Nutzung vorhandener Abwärme (Küche, Server,...)
 - Solarthermie
 - Weitere erneuerbare Energien am Standort

Alle energiewandelnden Komponenten müssen ebenso in der Liste geführt werden, da auch erneuerbare Energien immer einen geringen Anteil am Verbrauch aufweisen. Der Wechselrichter bei Photovoltaikanlagen oder die Pumpe bei Solarthermieanlagen benötigen elektrischen Strom, um betrieben werden zu können, um hier nur zwei Beispiele zu nennen.

Ab der Einbindung der Fachplanerinnen und Fachplaner werden die Anfangs verwendeten Default-Werte der IG-Komponentenliste detaillierter durch die realen Werte der eingesetzten Komponenten ersetzt. Somit erhöht sich im Zuge des Projektes der Detaillierungsgrad für die Verbrauchsprognose. Falls in vorhergehenden Projektphasen Komponenten nicht berücksichtigt wurden, sind die fehlenden Daten zu ergänzen. Für die einzelnen Gewerke werden Vorlagen erstellt, welche von den Planerinnen und Planern auszufüllen sind. Für die meisten Gewerke kann die Liste wie folgt aufgebaut werden: (siehe Tabelle 2)

- Name: Bezeichnung des Produktes
- Fabrikat: Bezeichnung des Fabrikats
- Type: Genaue und nachvollziehbare Produktbezeichnung (Artikelnummer,...)
- Menge: Stückanzahl

- Nachweis: Seitenangabe im Datenblatt oder Produktkatalog, wo der Nachweis hinsichtlich Energieeffizienz nachvollziehbar erläutert wird bzw. Link oder Pfad zur Ablage dieser Unterlagen
- Vorlagedatum: Datum an dem das Datenblatt vorgelegt, abgelegt bzw. geschickt wurde.
- Stromverbrauch im Standby in Watt W: Angabe des Wirkstroms den die Komponente im Standby-Modus bezieht
- Laufzeit Standby in Stunden pro Jahr: Berechnung bzw. ingenieurmäßige Abschätzung der Laufzeiten im Standby betrachtet über ein Jahr Regelbetrieb
- Stromverbrauch im Betrieb in Watt W: Angabe des Wirkstroms den die Komponente im Betrieb bezieht
- Laufzeit Betrieb in Stunden pro Jahr: Berechnung bzw. ingenieurmäßige Abschätzung der Laufzeiten im Betrieb betrachtet über ein Jahr Regelbetrieb
- Anschlussspannung in Volt V: Elektrische Spannung mit der die Komponente versorgt wird
- Freigabe: Freigabe von der IG-Integrationsgruppe mit Ja/Nein
- Anmerkung Freigabe bzw. Bemusterung: Bei einer negativen Freigabe, Erläuterung der IG warum keine Freigabe erfolgte, inklusive Erläuterung welche Maßnahmen getroffen werden müssen.

Tabelle 2: Beispiel für einen Aufbau der IG-Komponentenliste

Name	Fabrikat	Type	Menge	Nachweis	Vorlagedatum	Stromverbrauch StandBy	Laufzeit StandBy	Stromverbrauch Betrieb	Laufzeit Betrieb	Anschlussspannung	Freigabe	Anmerkung Bemusterung
			[Stk.]			[W]	[h/a]	[W]	[h/a]	[V]	[Ja/Nein]	

Die erste Version der Liste wird in der Konzeptionierungsphase von der IG gemeinsam mit der Investorengruppe, der Architektur und, wenn vorhanden, mit der Nutzergruppe erstellt.

Die IG-Komponentenliste stellt die Grundlage für die weiteren Phasen dar. Um einen Vergleich in den verschiedenen Phasen ziehen zu können, werden noch folgende Felder in die IG-Komponentenliste hinzugefügt:

- Stromverbrauch im Standby in Watt W - PLANUNG: Geplanter Wirkstrom den die Komponente im Standby-Modus bezieht
- Laufzeit Standby in Stunden pro Jahr – PLANUNG: Geplante Laufzeiten im Standby betrachtet über ein Jahr Regelbetrieb

- Stromverbrauch im Betrieb in Watt W - PLANUNG: Geplanter Wirkstrom den die Komponente im Betrieb bezieht
- Laufzeit Betrieb in Stunden pro Jahr - PLANUNG: Geplante Laufzeiten im Betrieb betrachtet über ein Jahr Regelbetrieb

Durch die Ergänzung dieser vier Punkte kann sofort ein erster Abgleich zwischen den einzelnen Planungsschritten bzw. von der Planung zur Ausführung geschehen. Dies ist eine der ersten und einfachsten Kontrollen im Zuge des Projektes.

Durch Änderungen im Projekt fallen einzelne Komponenten aus der Liste und manche kommen hinzu. Daraus resultiert auch die Wichtigkeit die Listen aktuell zu halten und immer mit dem Stand der Planung und Ausführung mitzuführen. Dadurch hat man im Vorfeld die Möglichkeit zu reagieren, wenn ein Produkt die Annahmen in der Planung überschreitet.

Die Handhabung der IG-Komponentenliste an einem Projekt wird in Kapitel 4.2 beschrieben.

Vergleich IG-Komponentenliste mit IFC-Modell

In dieser Arbeit wurde die Excel-basierte IG-Komponentenliste verwendet, da teilweise die notwendigen Daten für die Beurteilung der Energieeffizienz noch nicht vollständig in den IFC-Modellen (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2019) bzw. in der Önorm A 6241-2 (ASI_Merkmalserver; Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2015b) vorhanden sind. Mit diesem Thema beschäftigt sich auch das Forschungsprojekt metaTGA, welches zum Ziel hat eine Methodik für die Entwicklung von Daten- und Prozessmodellen zu konzipieren. Die Methodik wird auch zur Modellierung ausgewählter TGA-Systeme exemplarisch erprobt. (Monsberger et al., 2020) Erste Veröffentlichungen aus diesem Projekt bestätigen die Nichtvollständigkeit der Daten in den IFC-Modellen. (Partl, Hauer, & Monsberger, 2019)

Auch in der Dissertation von Reinhard Wimmer wird dargestellt welche semantischen Erweiterungen in den IFC-Modellen notwendig waren, um thermisch-energetische Simulationen durchführen zu können. (Wimmer, 2020, pp. 130–133) Die Ergebnisse der Arbeit von Wimmer werden die Umstellung der IG-Komponentenliste im Excel-Format auf BIM ermöglichen und dadurch kann zukünftig etwaiger Datenverlust beim Konsolidieren der Daten weitestgehend vermieden werden.

Im nächsten Schritt wird ein Beispiel angeführt und aufgezeigt, welche Daten im IFC-Modell derzeit fehlen. Beispielhaft wird ein Federrücklaufantrieb einer Brandschutzklappe angeführt. Die IG-Komponentenliste adressiert, wie in Tabelle 3 ersichtlich, alle wesentlichen Daten, die für den Strombedarf des jeweiligen Bauteils erforderlich sind.

Tabelle 3: Beispiel für die Datenerhebung eines Federrücklaufantriebs einer Brandschutzklappe in der IG-Komponentenliste

Name	Fabrikat	Type	Menge	Nachweis	Vorlage- datum	Strom- verbrauch StandBy	Laufzeit StandBy	Strom- verbrauch Betrieb	Laufzeit Betrieb	Anschluss- spannung	Freigabe	Anmerk- ung Bemust- erung
			[Stk.]			[W]	[h/a]	[W]	[h/a]	[V]	[Ja/Nein]	
Brandschutzklappen Federrücklaufantrieb	BELIMO	BF230-T	25	Seite 1	22.05.2013	3.0	8759	8.0	1	230		

In den IFCDamper Property Sets for Objects sind standardmäßig keine Daten hinsichtlich Energieeffizienz, ausgenommen der Druckverlustkoeffizient und wie der Stellantrieb betrieben wird, abgebildet. (buildingSMART, 2020b) Diese Daten können im Pset_ElectricalDeviceCommon ergänzt werden. Die Notwendigkeit dieser dynamischen Erweiterungen muss aber vorab im Datenaustauschanforderungsmodell beschrieben werden. (Wimmer, 2020, p. 76)

Die Anwendung von BIM mittels IFC-Modellen und MVD-Modellen zum Austausch von Daten zwischen den Projektbeteiligten ist zielführend. Der Nachteil der IG-Komponentenliste ist das hohe Ausmaß an Konsolidierung und Kontrolle durch die IG. Die IG-Komponentenliste kann und soll zukünftig durch die Anwendung von BIM ersetzt werden.

3.1.2. IG-Tool

Das IG-Tool bietet die Möglichkeit, in angemessener Zeit ausreichend genaue Ergebnisse bei verschiedenen Varianten zu erhalten. Es ist für die Berechnung der primärenergetischen Gesamtenergieeffizienz von Nichtwohngebäuden mit der Software Microsoft Excel konstruiert worden. Aus der IG-Komponentenliste (siehe 3.1.1) kommen die Werte und Daten für das IG-Tool.

Das IG-Tool wurde im Zuge des Projektes „Strategische Optimierung der Luftfeuchtereulation bei Lüftungsanlagen zur Reduktion des Energieeinsatzes für Be- und Entfeuchtungsanlagen“ (Bednar, Hanic, Holzer, & Grüner, 2011) und der Diplomarbeit „Abbildung von Personenströmen bei der Berechnung von Energiekennzahlen zur Optimierung von bau- und gebäudetechnischen Maßnahmen im Bürobau,“ (Leeb, 2009) am Forschungsbereich Bauphysik an der TU Wien entwickelt.

Weiterentwickelt wurde es im Zuge folgender Projekte:

- „Marktreifes Plus-Energie-Büro“ (Reiß et al., 2011)
- „aspersn Die Seestadt Wiens - Subprojekt 2: Gebäudeübergreifende Energie“ (Pollak et al., 2011)
- „Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung“ (Bointner et al., 2012)

- „Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN“ (Rosenberger et al., 2012)
- „IEA Energie in Gebäuden und Kommunen Annex 53: Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden“ (Bednar & Korjenic, 2013)

Anwendung fand es im Zuge dieser Arbeit beim (Plus)Plusenergiebürohochhaus der TU Wien (siehe Kapitel 4) und erste Ergebnisse wurden im Bericht „Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien“ (Schöberl et al., 2014) veröffentlicht.

Beschreibung IG-Tool

Das IG-Tool berechnet die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes in Abhängigkeit der Nutzung für ein Jahr. Das Tool baut auf den aktuellen Normen und Richtlinien im Bereich Energieausweis bzw. Energieeffizienz auf und wird daher in dieser Arbeit nicht detailliert aufbereitet. Die Geometrie und Aufbauten werden aus den Plänen entnommen und die weiteren Daten für das IG-Tool kommen aus der IG-Komponentenliste.

Die Granularität der eingegebenen Daten ist ab der Konzeptionierungsphase des Projektes hinsichtlich Energieeffizienz sehr hoch und wird in dieser Phase mittels Defaultwerten gelöst, die die IG auf Basis der Angaben und Ziele der Investorengruppe definiert. Im Zuge der Projektphasen werden die Defaultwerte mit Herstellerwerten durch die Fachplaner und die IG ausgetauscht und wenn notwendig ergänzt.

Folgende Energiebedarfe bzw. Energiekennzahlen werden mit dem IG-Tool auf Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie errechnet: (in kWh/m².a bzw. kWh/a)

- Heizwärmebedarf und Heizenergiebedarf Raumheizung
- Kühlbedarf und Kühlenergiebedarf inklusive Serverkühlung, Be- und Entfeuchtung
- Warmwasserbedarf und Heizenergiebedarf Warmwasser
- Lüftungsenergiebedarf
- Beleuchtungsenergiebedarf
- Energiebedarf für den Aufzug
- Energiebedarf für MSR
- Energiebedarf für restliche elektrische Geräte
- Energiebedarf für Server und USV
- Energiebedarf für Kommunikation
- Energiebedarf für (EDV-)Arbeitsplätze
- Energiebedarf für Sozialräume und Teeküchen
- Energiebedarf für weitere Geräte
- Energieproduktion durch PV

Der Aufbau und die zeitliche Granularität der Eingabedaten bzw. Ergebnisse des IG-Tools ist in Abbildung 32 ersichtlich. In weiterer Folge werden die einzelnen Teile des IG-Tools erläutert.

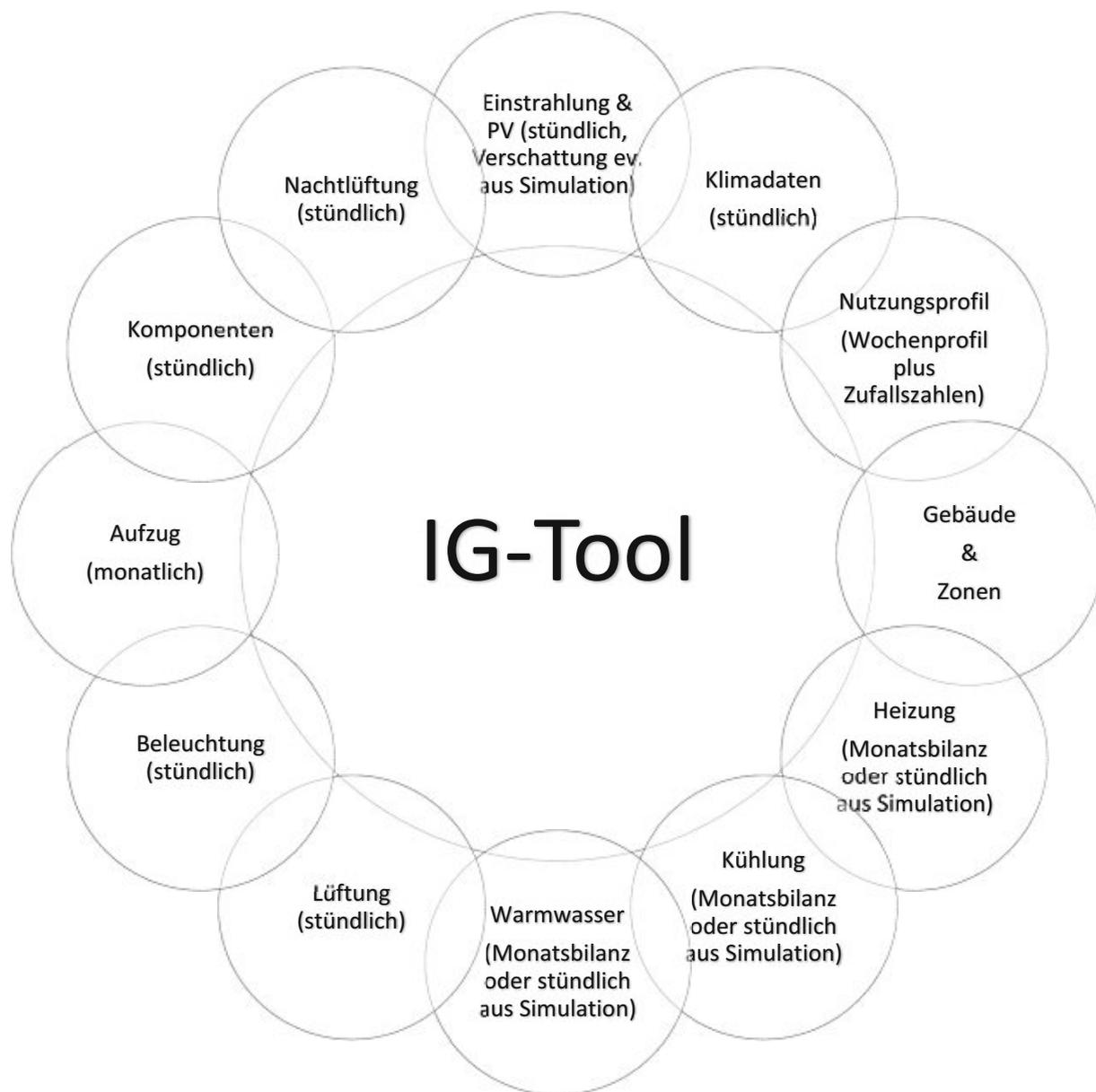


Abbildung 32: Aufbau IG-Tool

- Einstrahlung & PV: Die Berechnung der stundenweisen Strahlungsintensität auf beliebig orientierte und geneigte Oberflächen wird nach dem Modell von Rietschel, 1994 abgebildet. Die errechnete Strahlungsintensität wird auch für die Eruierung der stundenweisen Produktion der Photovoltaikflächen angewandt. Durch die Eingabe der PV-Modulfläche, eines Systemwirkungs- und Verschmutzungsgrades wird vereinfacht der stündliche Ertrag der PV errechnet und folglich bilanziert. Eine Verschattung wird im IG-Tool nur durch die Begrenzung der Direktstrahlung über einen Höhenwinkel berücksichtigt. Die genaue Abbildung der Verschattung kann durch geeignete PV-Simulationssoftware oder Gebäudesimulation erfolgen und im IG-Tool übernommen werden.
- Klimadaten: Als Grundlage werden stundenweise Klimadaten wie z.B. Testreferenzjahre (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2005) verwendet. Die Önorm 8110-5

Klimamodell und Nutzungsprofile (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2011a) wird nicht angewandt, da im Tool Jahresstundendaten notwendig sind. Folgende stundenweise Klimadaten gehen in die Berechnungen ein:

- Temperatur in °C
 - Relative Feuchtigkeit in %
 - Direktstrahlung in J/cm²
 - Diffusstrahlung in J/cm²
 - Windgeschwindigkeit in m/s
- Nutzungsprofil: Im Nutzungsprofil werden für Räume, Personen und Geräte die Laufzeiten inklusive Anwesenheits- (bei Personen) bzw. Nutzungswahrscheinlichkeit (bei Geräten) in Wochenplänen definiert. Das Nutzungsprofil bildet in Kombination mit den Zufallszahlen auf Basis der Wahrscheinlichkeiten die Grundlage für die Berechnung der inneren Lasten für Personen und Geräte.

Mittels der Zufallszahlen werden die Anwesenheit der Nutzer und daraus resultierend die inneren Gewinne und der Strombedarf in Folge von Personen und elektrischen Geräten für jede Stunde eines Jahres errechnet. In Abbildung 33 sind die Ergebnisse der drei verschiedenen Anwesenheitswahrscheinlichkeiten in einem Dreipersonenbüro dargestellt. Die Ergebnisse unterscheiden sich aufgrund der Verwendung von Zufallszahlen für die Anwesenheit der Nutzerinnen und Nutzer. Eine Sensitivitätsanalyse hat bei einer Anwesenheitswahrscheinlichkeit von 70 % eine Standardabweichung von ca. 0,3 % ergeben. (Leeb, 2009, pp. 41–43)

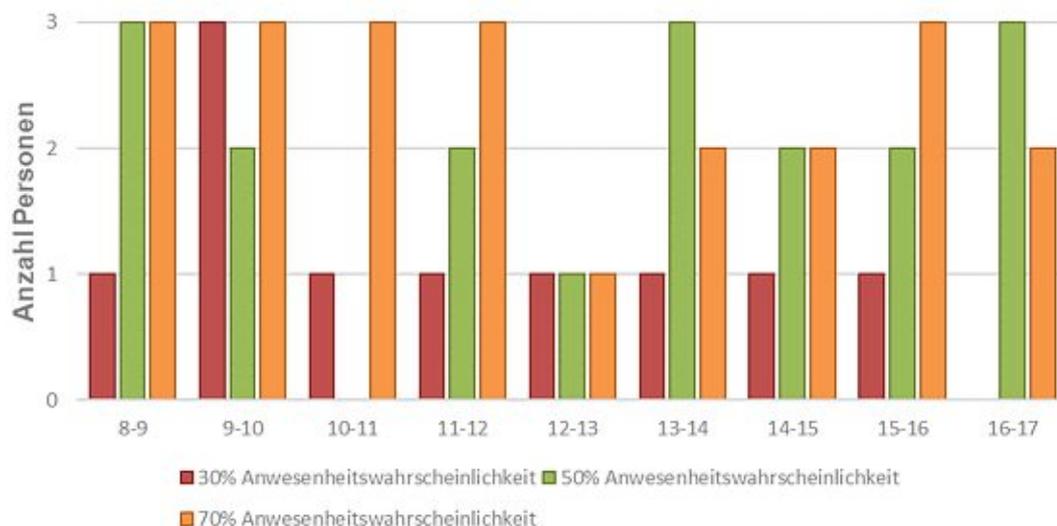


Abbildung 33: Anzahl der Personen je Stunde in Abhängigkeit der Anwesenheitswahrscheinlichkeit in einem Dreipersonenbüro an einem Arbeitstag (Leeb, Deseyve, Höfer, Korjenic, & Bednar, 2011, p. 1214)

Analog zu den Anwesenheitswahrscheinlichkeiten werden über Einschaltwahrscheinlichkeiten und den Nutzungsprofilen der stündliche Energiebedarf elektrischer Geräte wie z.B. Geschirrspüler, Kopierer und Herdplatte errechnet.

- Gebäude & Zonen: Das IG-Tool verwendet für die Berechnung des Heiz- bzw. Kühlenergiebedarfs ein Einzonenmodell, es können aber auch die Daten der Gebäudesimulation verwendet und eingegeben werden. Für die Berechnung der Beleuchtungsenergie ist es notwendig, ein Mehrzonenmodell anzuwenden, um das Tageslicht je Orientierung zu beurteilen. (siehe Abbildung 34)

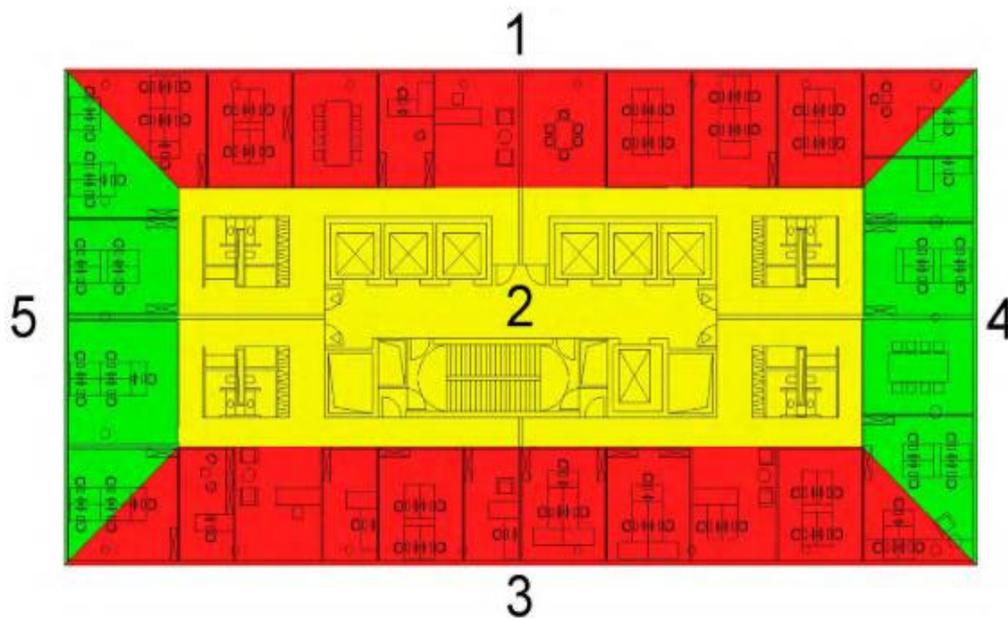


Abbildung 34: Zonierung des Grundrisses im IG-Tool (Reiß et al., 2011)

Daher wurde für das IG-Tool ein Fünfzonenmodell definiert. Für jede der vier Außenzonen wird je ein Raum als Mittelwert gerechnet und mit der Anzahl der Räume multipliziert. In Eckräumen wird zwischen den Zonen gemittelt. Die Kernzone 2 wird als nicht tageslichtversorgter Bereich bilanziert. Die Orientierung je Zone könnte bei einer weiteren Entwicklung des IG-Tools für die Zonierung, z.B. für die solaren Einträge, Verwendung finden. Zurzeit werden in der Berechnung der Wärmebilanzen im IG-Tool nur ein Einzonenmodell bzw. die Daten aus der Gebäudesimulation verwendet. Aus der Definition der Räume und Geometrie in den einzelnen Zonen werden für das Gebäude auch die Flächen und Volumina für das Gebäude ermittelt, U-Werte für die Aufbauten zugewiesen und Bezugsflächen wie z.B. Bruttogeschosßfläche und Nettogeschosßfläche errechnet. Weiters werden für das Gebäude die Luftdichtheit, die Zieltemperaturen für den Heiz- bzw. Kühlfall und der Warmwasserverbrauch je Person definiert.

- Heizung, Kühlung und Warmwasser:

Der Heiz- und Kühlenergiebedarf wird im Tool über ein Einzonenmodell und dem Monatsbilanzverfahren errechnet. Der Unterschied zu den Berechnungsmethoden lt. Normen (siehe Anführung unten) liegt einerseits in der detaillierten stundenweisen Abbildung der Solarstrahlung, aller Geräte und Personen und andererseits in der möglichen Anwendung thermischer Gebäudesimulation als Mehrzonenmodell für die Eruiierung des Heizwärme- und Kühlbedarfs auf Basis der eruierten stündlichen Daten des IG-Tools. (siehe 3.1.3) Aufgrund der detaillierten Eingabe der Nutzung inklusive der daraus resultierenden inneren Lasten ist es möglich, ausreichend genaue Ergebnisse zu erhalten.

Für die Berechnung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs im Monatsbilanzverfahren dienen folgende Normen und Richtlinien als Basis:

- DIN EN ISO 13790 Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2008b)
- Önorm B 8110-6 Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren — Heizwärmebedarf und Kühlbedarf (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2014a)
- Önorm B 8110-7 Wärmeschutz im Hochbau Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2013)
- DIN EN ISO 13370 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2008a)
- Önorm H 5050 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Gesamtenergieeffizienz-Faktors (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2014b)
- Önorm H 5056 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2014c)
- Önorm H 5057 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2011c)
- Önorm H 5058 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2011b)
- DIN V 18599-7 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trink-

warmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2016b)

- OIB – Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011)

Bei größeren Änderungen im Zuge des Prozesses werden die Ergebnisse mit dem virtuellen Gebäudemodell der Gebäudesimulation (siehe auch Kapitel 3.1.3) verglichen und angepasst. Größere Änderungen sind alle Varianten, die einen großen Einfluss auf das Heizen und Kühlen haben, wie z.B. Erhöhung oder Verminderung des Fensterflächenanteils bzw. Änderung des Abgabesystems auf Bauteilaktivierung.

- Lüftung: Im IG-Tool wird stundenweise der Ventilatorstrombedarf in Abhängigkeit der Druckverluste der Anlage und der Regelung errechnet. Durch die detaillierte Eingabe der Personennutzung kann eine bedarfsgeregelte Lüftungsanlage, aber auch eine zeitgesteuerte Lüftung im Tool abgebildet werden. Weiters wird mittels Eingabe von Grenzwerten (Temperatur- und Feuchtgrenzen) die Be- bzw. Entfeuchtung sowie die Wärme- und Feuchterückgewinnung definiert. Die stündliche Berechnung der Zustände der Luft und des stündlichen Energieaufwands für die Konditionierung wird auf Basis von Bednar et al., 2011 berechnet.
- Beleuchtung: Der Beleuchtungsenergiebedarf wird ebenso stundenweise berechnet. Als Grundlage wurde das monatliche Verfahren der DIN V 18599-4 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2007) verwendet und das Modell auf einen stündlichen Zeitschritt adaptiert. (Leeb, 2009) Aufgrund der Weiterentwicklung der LED-Technologie bedarf es hier noch einer Anpassung an die neuen Versionen der deutschen DIN V 18599-4 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2016a) bzw. der europäischen EN 15193-1 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2017c). Im Gegensatz zur energetischen Berechnung in verschiedenen Tools wie z.B.: dem IEAA-Tool (Staller et al., 2010) ist für den Beleuchtungsenergiebedarf die dreidimensionale Eingabe der Geometrie Pflicht. Die Raumtiefe, Raumhöhe und Anordnung der Fenster ist für die Ermittlung der tageslichtversorgten und nicht tageslichtversorgten Bereiche notwendig. Um die dreidimensionale Abschätzung zu vereinfachen, wurde die Geometrie in Zonen eingeteilt. Weiters wird auch die Anwesenheit für die Berechnung der Beleuchtungsenergie verwendet und es wird auch abgebildet, ob die Beleuchtung je Arbeitsplatz oder je Raum erfolgt, da dies einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf der Beleuchtung hat. In Abbildung 25 sieht man die Aufteilung des Grundrisses in fünf Zonen.
- Aufzug: Die Energie für die Aufzugsanlage wurde mit der VDI 4707 berechnet. In Abhängigkeit der Nutzungsklasse und der Energiebedarfsklasse sind in dieser Richtlinie

der Energiebedarf für Stillstand und für das Fahren definiert. (Verein Deutscher Ingenieure, 2009)

- Komponenten: Sämtliche elektrische Komponenten werden im IG-Tool definiert und bilanziert. Die Komponenten werden wie folgt eingeteilt:
 - Komponenten, die von der Anwesenheit von Personen abhängig sind. (z.B. Monitor, Computer)
 - Komponenten, die nicht von der Anwesenheit von Personen abhängen. (z.B. StandBy TGA)
 - Komponenten, die für die inneren Gewinne relevant sind und Einfluss auf den Heiz- bzw. Kühlbedarf aufweisen (alle Komponenten, die in konditionierten Zonen wie z.B. in Büroräumen oder Gänge vor Büros verbaut sind)
 - Komponenten, die nicht für die inneren Gewinne relevant sind und keinen Einfluss auf den Heiz- bzw. Kühlbedarf aufweisen. (alle Komponenten, die in unconditionierten Zonen verbaut sind wie. z.B. in Haustechnikräumen)

Wie schon in 3.1.1 beschrieben, werden jegliche elektrische Komponenten erfasst und die Leistung je Zustand (Standby, Betrieb) angegeben und für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz angewandt. Für die Ermittlung der inneren Gewinne wurden auch Nutzungsprofile inklusive Einschaltwahrscheinlichkeiten je Gerät definiert um detaillierte stündliche Daten zu erhalten. In der Konzeptionierungsphase definiert die IG Anzahl und Ausstattung der jeweiligen Geräte und hinterlegt den Geräten Defaultwerte, die im Zuge des Projektes von den realen Werten abgelöst werden.

- Nachtlüftung: Für die Berechnung der Nachtlüftung wurde ein Modell aus der EN ISO 13791 Anhang I (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2012, pp. 92–100) angewandt. Mit diesem Modell wird die thermische Energie errechnet, welche über sommerliche Nachtlüftung abgeführt werden kann und nicht aktiv über Kältemaschinen abgeführt werden muss. Die Funktion der Nachtlüftung baut auf die Veröffentlichungen von Levermore, 2000 auf und wurde in Konder & Bednar, 2008 bzw. Hladky, 2015 erprobt und validiert.

Die Kosten werden mit dem IG-Tool nicht errechnet, können aber als Basis für Amortisationsrechnungen und Lebenszyklusberechnungen verwendet werden.

Schnittstellen IG-Tool

Die Informationen der IG-Komponentenliste werden manuell in das IG-Tool übertragen. Digitale Schnittstellen wurden im Zuge dieser Arbeit nicht behandelt, können aber zukünftig mit BIM gelöst werden, um die verlustfreie und fehlerfreie Übertragung der Daten zu gewährleisten.

Validierung IG-Tool

Das IG-Tool wurde im Zuge der Verbrauchsprognose bzw. der Untersuchung des Monitorings an der Bezirkshauptmannschaft in Melk (BH Melk) validiert.

In der Veröffentlichung "Impact of Outdoor Climate and Life Style on the Total Energy Use in Office Buildings" (Leeb, Deseyve et al., 2011) wird das IG-Tool mit tatsächlichen Messdaten aus dem Jahr 2009 und der am Forschungsbereich für Bauphysik an der TU Wien entwickelten Gebäudesimulation (BuildOpt_Vie) verglichen. In diesem Dokument wurde das IG-Tool „probabilistic metamodel“ genannt. Die Beschreibung der BH Melk und die Messdaten finden sich in „Validation and Analysis of Energy Performance Using Dynamic Simulations and Comparisons with Detailed Measurements“ (Korjenic, Höfer, Deseyve, & Bednar, 2011) bzw. in „Validation and evaluation of total energy use in office buildings“ (Korjenic & Bednar, 2012).

In Abbildung 35 werden die verschiedenen Berechnungsmodelle hinsichtlich Heizenergiebedarf verglichen. Der Heizenergiebedarf aus dem Energiemonitoring der BH Melk des Jahres 2009 ergab 44 kWh/m².a. Die Simulation unterschätzte die Messung um ca. 7 % und das IG-Tool um ca. 3 %. Folglich kann der Heizenergiebedarf aus dem IG-Tool für die Berechnung des Primärenergiebedarfs und zur Begleitung des Planungs- und Bauprozesses angewandt werden.

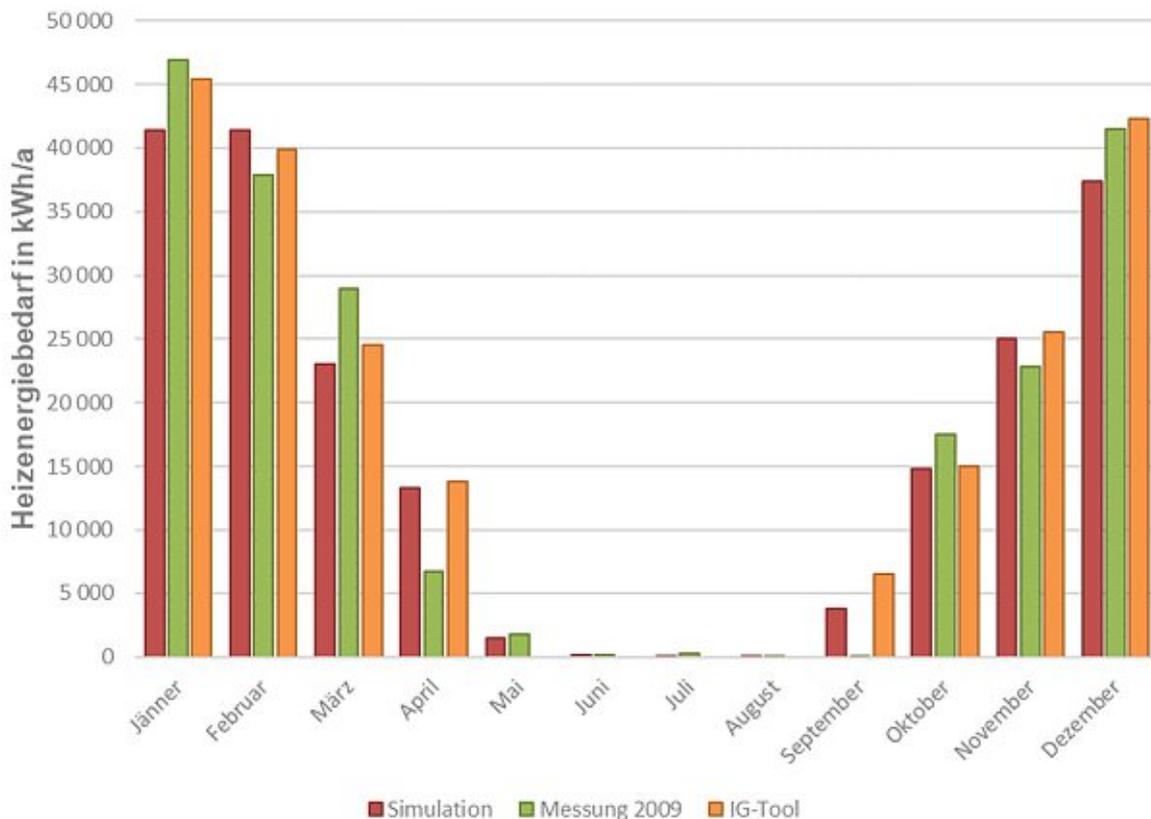


Abbildung 35: Vergleich des Heizenergiebedarfs nach Simulation, Messung und IG-Tool (Leeb, Deseyve et al., 2011, p. 1214)

Die geringen Unterschiede resultieren einerseits aus der Raumtemperatur und andererseits aus den Klimadaten. Die Raumtemperaturen können in der BH Melk individuell eingestellt werden, in den Berechnungen wurde jedoch ein Mittelwert für alle Räume verwendet. Da Stundenwerte von Melk nicht zur Verfügung standen, wurden Klimadaten von St. Pölten verwendet.

Die Differenz zwischen den verschiedenen Berechnungsmodellen hinsichtlich Beleuchtungsenergiebedarf ist in Abbildung 36 dargestellt. Das Berechnungsmodell des IG-Tools weicht auf den Jahresenergiebedarf zur Messung um 0,1 kWh/m².a ab. Bei einem gemessenen Beleuchtungsenergieverbrauch von 12,1 kWh/m².a ergibt das eine Abweichung von einem Prozent. Die Simulation liegt hier um 11 % unter den gemessenen Werten. Auch in diesem Fall können die unterschiedlichen Strahlungsdaten der Messung und Berechnung ausschlaggebend sein.

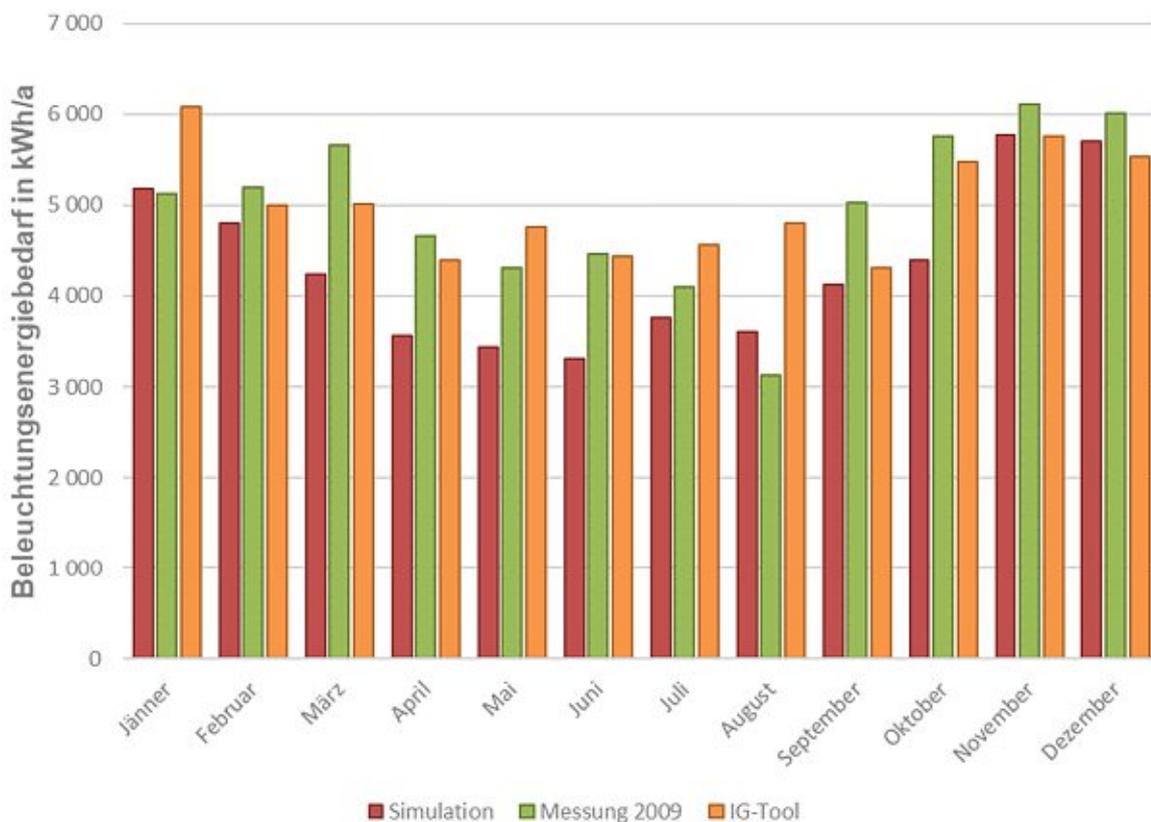


Abbildung 36: Vergleich des Beleuchtungsenergiebedarfs nach Simulation, Messung und IG-Tool (Leeb, Deseyve et al., 2011, p. 1215)

Der Strombedarf der elektrischen Geräte wird auch am Beispiel der BH Melk in Abbildung 37 verglichen. Die Messung ergibt 39,2 kWh/m².a. Die Simulation überschätzt die Messung über das Jahr um ca. 4 %. Das IG-Tool unterschätzt die Messung um ca. 2 %. Diese geringen Abweichungen können nur mit genauer Abbildung der Nutzung erreicht werden.

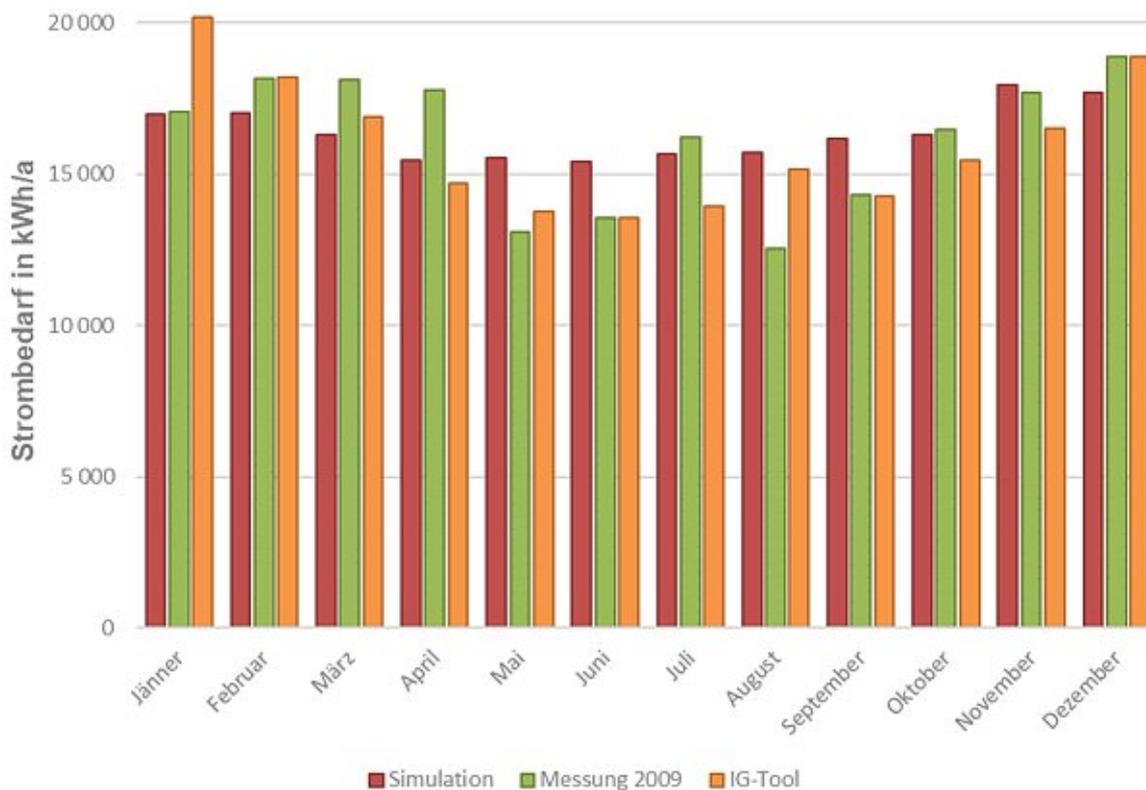


Abbildung 37: Vergleich der elektrischen Geräte nach Simulation, Messung und IG-Tool (Leeb, Deseyve et al., 2011, p. 1215)

Kennt man die Nutzung, kann man den Energieverbrauch sehr genau prognostizieren. Mit dem IG-Tool ist es möglich, in angemessener Zeit zu validen und ausreichend genauen Ergebnissen zu gelangen. Dieses Werkzeug hilft der Integrationsgruppe IG von der Konzeptierungsphase bis zum laufenden Betrieb, den Einfluss einzelner Änderungen auf die Gesamtenergieperformance des Gebäudes zu bewerten. Somit wird die Zielerreichung in jeder Phase des Projektes sichergestellt.

3.1.3. Komponenten- und Gebäudesimulation

Das IG-Tool verwendet die Integrationsgruppe IG zum ständigen Soll-Ist-Abgleich während des gesamten Prozesses. Der Rechenkern des IG-Tools ist aber nicht für alle Eventualitäten in einem Planungsprozess eines Bürogebäudes geeignet. Daher sollten bei komplexen Fragestellungen wie z.B. dem Vergleich verschiedener Lüftungsanlagen oder der Luftströmungen hinter einer Photovoltaik integrierten Fassade, eine oder mehrere Simulationen zur Überprüfung herangezogen werden. Fragestellungen, welche nicht zufriedenstellend mit dem IG-Tool eruiert werden können, müssen in den verschiedenen Phasen des Projektes mit Simulationen überprüft bzw. erläutert werden. Durch die Simulationen wird die Funktion und Richtigkeit des IG-Tools gewährleistet. Der Vorteil der Kombination von IG-Tool und Simulation liegt in der Einfachheit und Schnelligkeit des IG-Tools bei gleichzeitiger und immerwährender Validierung

durch Simulationen. Würden nur Simulationen, ohne Unterstützung des IG-Tools, verwendet werden, hätte dies spätere oder falsche Entscheidungen im Prozess zur Folge. Daraus könnten eventuell höhere Kosten durch späteren Einzug der Mieterinnen und Mieter bzw. eine geringere Energieeffizienz resultieren. Es liegt in der Verantwortung der IG, wann eine Simulation als Unterstützung für das IG-Tool angewandt werden soll. Daher ist es sehr von großer Bedeutung, dass die Personen der IG umfassende Kompetenzen im Bau- als auch im Gebäudetechnikbereich aufweisen bzw. die Grenzen des IG-Tools kennen.

Anwendungen und Einsatz von Simulationen im Planungsprozess werden im Kapitel 4 aufgezeigt.

3.2. Die Integrationsgruppe IG

Die Integrationsgruppe IG besteht aus einer oder mehreren Personen, welche interdisziplinäres Fachwissen aufweisen. In der Literatur werden solche Personen auch öfter als „Life-Cycle-Engineers“ (M. Bauer et al., 2011, p. 138), „Sustainable Engineers“ (M. Bauer et al., 2013, p. 21) oder in der technischen Gebäudeausstattung „Integrationsplaner“ (Heidemann et al., 2014, p. 19) bezeichnet. Die IG verfügt über disziplinübergreifende Erfahrungen im Bereich Gesamtenergieeffizienz. Es ist Fachwissen in der Gebäudetechnik, in energieeffizientem und nachhaltigem Bauen sowie in der Bauphysik gefordert.

Die Personen der IG weisen eine Ausbildung im Bereich Architektur, Bauingenieurwesen, Gebäudetechnik, Maschinenbau, Energieinformatik oder Ähnlichem auf und haben sich das interdisziplinäre Arbeiten bzw. fächerübergreifende Wissen über Zusatzausbildungen bzw. Praxiserfahrungen angeeignet.

Wie in Abbildung 26 ersichtlich, ist die Integrationsgruppe der Kern des Projektes, der alle Beteiligten miteinander verknüpft. Die Beteiligten bilden, in Abhängigkeit der Projektphasen, verschiedene Arbeitsgruppen. Beispielhaft wird diese Bildung der Teams für folgende Phasen aufgezeigt:

1. Konzeptionierungsphase
2. Planungsphase
3. Realisierungsphase
4. Betriebsphase

Tabelle 4: Übersicht über die Notwendigkeit der Einbindung der relevanten Projektbeteiligten aufgliedert in die vier Phasen

	Konzeptionierungsphase	Planungsphase	Realisierungsphase	Betriebsphase
Bauherr/in Investor/in	✓	(✓)	(✓)	
Betreiber/in Nutzer/in	(✓)	(✓)	(✓)	✓
Architektur	(✓)	✓	✓	
Fachplanung	(✓)	✓	✓	
ausführende Betriebe			✓	
Integrationsgruppe IG	✓	✓	✓	✓

Legende:	
✓	unbedingt erforderlich
(✓)	Einbindung von Vorteil
	nicht notwendig

In Tabelle 4 wird gezeigt in welchen Phasen eine Einbindung der einzelnen Vertretergruppen unbedingt erforderlich bzw. von Vorteil ist. Während bei allen Vertreterkategorien die Einbindung über alle Phasen nicht unbedingt notwendig ist, ist die Einbindung der IG über alle Phasen elementar um die gewünschten Ziele zu erreichen.

In den einzelnen Phasen werden bedarfsweise noch differenzierte Unterteilungen getroffen. Die hier aufgestellten Phasen werden in Abbildung 38 im Vergleich mit der Projektabwicklung in „Der Weg zum Lebenszyklusorientierten Hochbau“ (Achammer et al., 2017, p. 8) verglichen und ergänzt.

Die in dieser Arbeit genannte Konzeptionierungsphase ist deckungsgleich (wie in Abbildung 38 ersichtlich) mit der Strategie und der Initiierung. Die Planungsphase entspricht der Planung, die Realisierungsphase der Ausführung und die Betriebsphase der Nutzung. Auf den Rückbau und die Neuentwicklung wird im Zuge dieser Arbeit nicht eingegangen.



Abbildung 38: Der lebenszyklusorientierte Prozess eines Bauprojekts (Achammer et al., 2017, p. 8) im Vergleich mit den Phasen in dieser Arbeit

3.2.1. Die IG – in der Konzeptionierungsphase

Die Konzeptionierungsphase ist eine der wichtigsten Phasen im gesamten Bauprozess. Hier ist der Einfluss der Kosten in Bezug auf das gewünschte Endergebnis am Größten. In Abbildung 10 ist der Grad der Beeinflussung der Erst- und Folgekosten über den Lebenszyklus von Gebäuden dargestellt.

Umso mehr Informationen in der ersten Phase verfügbar sind, umso mehr kann das Projekt in Bezug auf diese beeinflusst werden. Daher ist es in der ersten Phase essentiell, bei der Konzeptionierung bzw. Eruierung des Bedarfs und der Festlegung der Ziele, die IG als Kern zu konzipieren.

Die Konzeptionierungsphase hat folgende Aufgaben für die Projektbeteiligten:

- Ziel festlegen (Kostengrenze, Rahmenterminplan, ...)
- Bedarf festlegen

- Bedarfsplan/Pflichtenheft erstellen
- Qualitäten festlegen
- IG-Komponentenliste mit allen Randbedingungen füllen
- Machbarkeitsstudien erstellen
- Varianten bewerten
- IG-Komponentenliste anpassen

Für Teile der Konzeptionierungsphase kann die DIN 18205 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2016c) angewandt werden. In dieser Norm wird die Bedarfsplanung im Bauwesen beschrieben und für folgende Kategorien Checklisten angeboten:

- Projektkontext klären
- Projektziele festlegen
- Informationen erfassen und auswerten
- Bedarfsplan erstellen
- Bedarfsdeckung untersuchen und festlegen

Diese Checklisten stellen für die Erstellung des Bedarfsplans bzw. des Pflichtenheftes eine große Hilfe dar.

In Achammer et al., 2017, p. 13 wird die Konzeptionierung in folgende Bereiche aufgeteilt:

- Strategie
- Bedarfsplanung
- Machbarkeit
- Finanzierbarkeit, Beschaffungsmodell, Standortsicherung

Der Inhalt und der Aufbau in der DIN 18205 (DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2016c) und Achammer et al., 2017 sind effektiv aufbereitet und können für die Konzeptionierungsphase und die anderen Phasen Anwendung finden.

Der Unterschied zwischen der DIN 18205 und dieser Arbeit liegt in der Einbindung der Ziele, der Qualitäten und der Ergebnisse in die IG-Komponentenliste, welche für die weiteren Prozessschritte elementar ist. Eine weitere Differenz ist die Eingliederung der IG Integrationsgruppe ab dem Start des Projektes. Die Machbarkeit und Varianten werden von Beginn an gesamtheitlich mit dem IG-Tool überprüft und bewertet.

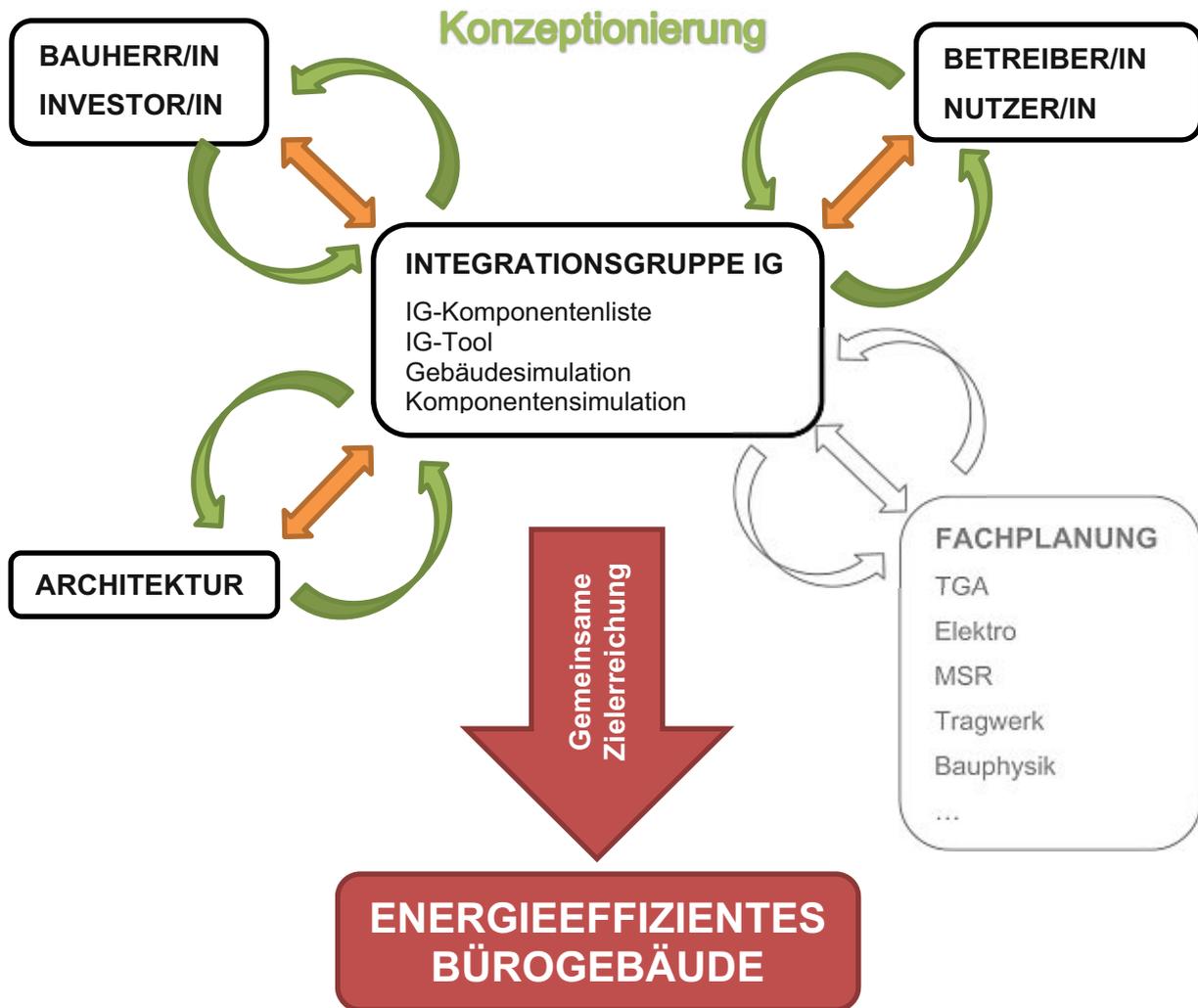
Zielführend ist hier die Implementierung von BIM und die Definition der Anforderungen und Ziele mittels AIA und BAP. (z.B.: E. Bauer et al., 2018; Verein Deutscher Ingenieure, 2020) Weiters ist für die Strukturierung und Bestimmung des Informationsmanagements die Anwendung der EN ISO 19650 geeignet. Diese Normenserie liefert Verantwortlichkeitsmatrizen sowie Prozesse und erläutert Schnittstellen zwischen Organisationseinheiten und Teams in Bezug auf den Austausch von Informationen. (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2019a, 2019b)

Alle wesentlichen Parameter zur Zielerreichung werden in der IG-Komponentenliste (siehe Kapitel 3.1.1) eingetragen und aufbereitet. Die IG-Komponentenliste stellt die Grundlage für alle weiteren Schritte dar.

Abbildung 39 zeigt die Zusammenstellung der Projektbeteiligten in der Konzeptionierungsphase bei bekannten Nutzerinnen und Nutzern. In dieser Phase besteht das Projektteam aus der Investorengruppe, den Betreiberinnen und den Betreibern, dem Architekturteam und der IG. Die Fachplaner werden erst ab der Planungsphase eingebunden. Ihre Aufgaben in der Konzeptionierung übernimmt die IG. In der Konzeptionierungsphase geben die Investorengruppe und die zukünftigen Nutzergruppen die Randbedingungen zur Planung und Realisierung vor. Diese Vorgaben beinhalten notwendige Flächen, Qualitätsanforderungen, Energieeffizianzforderungen, Kostenvorgaben und dergleichen. Im ersten Schritt werden die Anforderungen, Ziele und Vorstellungen definiert, priorisiert, strukturiert und in der IG Komponentenliste dokumentiert. Bei bekannten Nutzergruppen werden die Anforderungen gemeinsam diskutiert und schon in der ersten Phase auf Machbarkeit überprüft. Weiters werden in dieser Phase schon wesentliche Maßnahmen hinsichtlich Energieeffizienz getroffen.

Wünscht sich die Investorengruppe beispielsweise den Einsatz von Bauteilaktivierung, wird in dieser Phase im Vorfeld schon abgeschätzt, ob dieses Heiz- und Kühlsystem mit den Anforderungen der Betreibergruppe zusammenpasst und das System die erforderlichen Lasten abführen kann.

Die IG übernimmt von Beginn an die zentrale Stelle im Bereich der Kommunikation und im Informationsfluss. Alle Informationen wie Randbedingungen, Anforderungen, rechtliche Belange und Ziele werden von der IG gesammelt, aufbereitet, dokumentiert, und falls in dieser Phase schon notwendig, bewertet und optimiert.



Legende:

-  **Informationsaustausch** – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...
-  **Interaktion** – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 39: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Konzeptionsphase

In dieser Phase werden von der Investoren- und Betreibergruppe alle Wünsche und Bedenken geäußert. Weiters werden Anreizmodelle hinsichtlich Behaglichkeit und Energieeffizienz diskutiert, bewertet und festgelegt. Mehr zu diesen Anreizmodellen wird in Kapitel 4.2.2 erläutert. Auch ohne Kenntnisse der zukünftigen Betreibergruppen müssen die Ziele und Rahmenbedingungen erarbeitet werden. Umso wichtiger ist die Ausarbeitung eines gemeinsamen Pflichtenhefts, welches für die künftige Planung Anwendung findet. Um BIM zu implementieren kann dieses Pflichtenheft auch über die Erstellung der AIA erfolgen. Es ist notwendig auch die Nutzergruppen und alle Details, wie Anforderungen und Qualitäten, gemeinsam zu definieren und

zu verschriftlichen. Vor allem hinsichtlich der verschiedenen Komfortparameter werden in dieser Phase schon wesentliche Entscheidungen getroffen, zum Beispiel ist es unabdingbar für haustechnische Anlagen, bei nicht definierten Nutzergruppen höhere Reserven einzuplanen. Mit einer Definition und Festlegung der Anteile der wesentlichen Nutzergruppen wird die Konzeptionierung und Planung genauer erfolgen. Für Bürogebäude können Nutzungen bzw. Anwesenheit je nach Bürotyp nach (Pröglhöf, 2009, 48,76–77) abgeschätzt werden. Somit kann ab der Konzeptionierung ein Performance Gap resultierend aus Abweichungen im Nutzerverhalten minimiert werden. (Igor et al., 2018, pp. 18–19)

Ergebnisse der Konzeptionierungsphase:

- Pflichtenheft/Bedarfsplan bzw. AIA
- **Machbarkeitsstudien mit IG-Tool**
- **Variantenstudien mit IG-Tool**
- **IG-Komponentenliste (Sammlung aller Daten aus Pflichtenheft, Bedarfsplan und Machbarkeitsstudie)**

Wesentliche Aktionen in der Konzeptionierungsphase:

- Freigabe Pflichtenheft/Bedarfsplan durch die Investorengruppe
- **Freigabe IG-Komponentenliste**
- Beschluss Planung

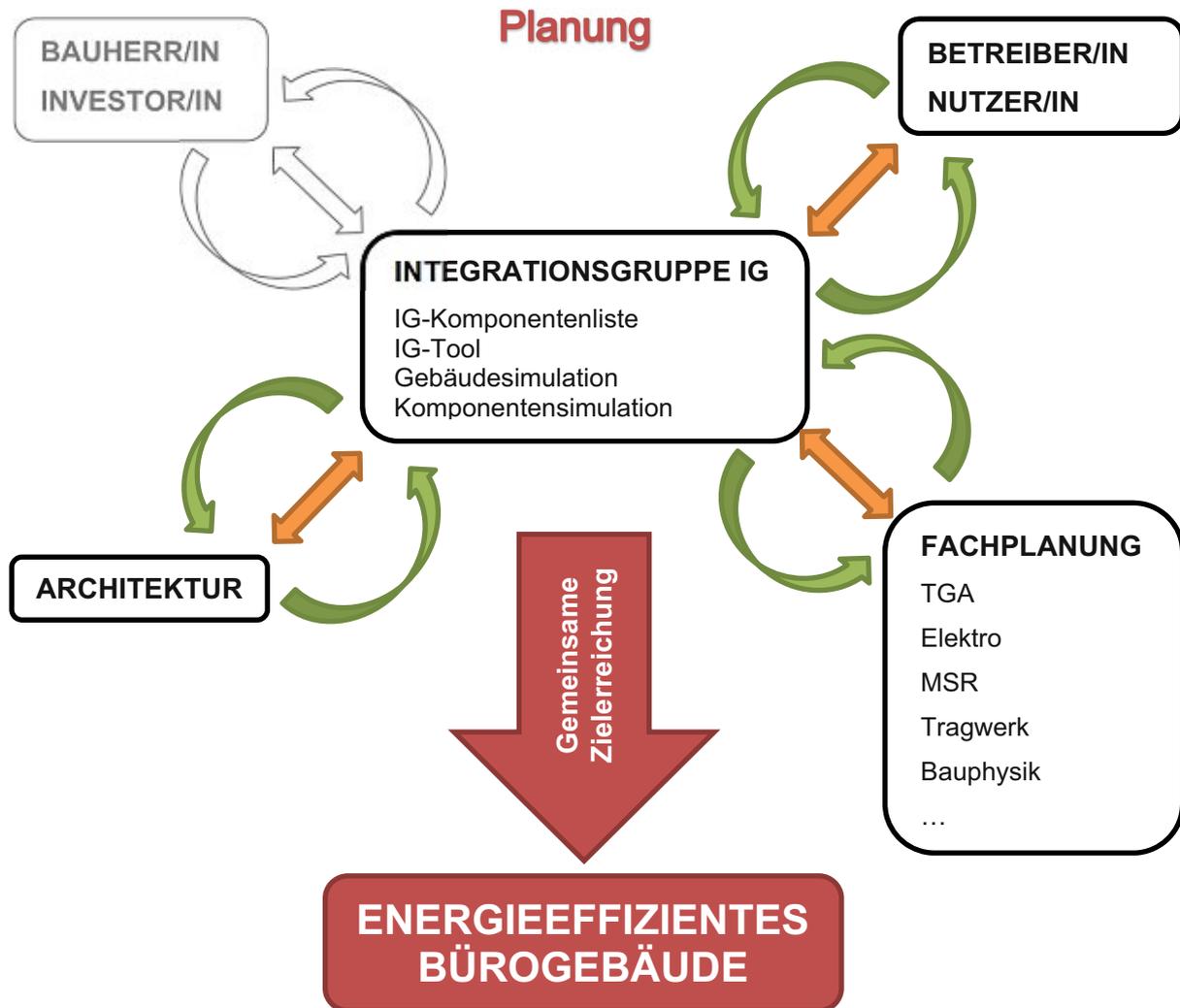
3.2.2. Die IG – in der Planungsphase

Der Beschluss der Planung stellt den Startpunkt der Planungsphase dar. Ab diesem Zeitpunkt werden alle Fachplaner in den Prozess eingebunden. In gewerkübergreifenden Meetings bzw. Workshops werden den Fachplanern die Projektbeteiligten, die Ziele, das Konzept, die IG-Komponentenliste und deren Funktion, die Arbeitsweise und die Abläufe erläutert. Der Informationsfluss zwischen den Projektbeteiligten und der IG wird definiert und festgeschrieben. Die entwickelten Unterlagen der Konzeptionierungsphase stellen die Grundlage für die Planung dar und werden als Vertragsbestandteil definiert.

Wie in Abbildung 40 ersichtlich, ist die Bauherren- bzw. Investorengruppe nicht mehr primär im Prozess vertreten. Durch die detaillierte Definition und Ausarbeitung des Bedarfsplans der IG-Komponentenliste in der Konzeptionierungsphase ist keine intensive Interaktion zwischen der Bauherrin bzw. dem Bauherrn notwendig. Die Bauherren- bzw. Investorengruppe wird über alle Neuerungen und Abweichungen im Projekt umgehend informiert. Bei Änderungen im Projekt werden verschiedene Varianten erarbeitet und vorgestellt, um die Entscheidungsfindung hinsichtlich Zielerreichung zu erleichtern.

Eine ausführliche Zusammenstellung der Planungsphase inklusive Unterteilung und Beschreibungen ist im Prozessbild der Veröffentlichung „Der Weg zum lebenszyklusorientierten Hochbau“ (Ahammer et al., 2017, pp. 13–16) zu finden. Der Unterschied zu der vorliegenden Arbeit liegt in der Einbindung der IG als zentrale Steuerungsgruppe inklusive der Verwendung der IG-Komponentenliste und dem IG-Tool. Außerdem wird in derzeitigen integralen Prozessen die gesamtheitliche Sichtweise nicht vollständig berücksichtigt, da die einzelnen Fachplaner Software, Tools und Normen nur in ihren Fachbereichen anwenden. Durch diese einseitige Betrachtung werden nur vereinzelt gesamtheitliche Parameter in die Prozesse miteinbezogen. Die IG verfolgt den gesamtheitlichen integralen Einsatz durch die Verwendung des IG-Tools und hinterfragt bzw. bewertet die Ergebnisse der einzelnen Fachplaner und ermöglicht somit eine optimale Zielerreichung. Die Anwendung von BIM ermöglicht einen fehler- und verlustfreien Informationsaustausch, zwischen der IG und allen anderen Projektbeteiligten. Zur Festlegung der Ziele ist die Erstellung von AIA und BAP zu empfehlen. (E. Bauer et al., 2018; Verein Deutscher Ingenieure, 2020)

Durch BIM kann aber die IG bzw. Integrationsplanung nicht ersetzt werden, da die definierten Rollen im BIM-Prozess diese inhaltliche, gesamtheitliche und disziplinübergreifende Qualitätssicherung nicht abbilden. (van Treeck et al., 2019, p. 15)



Legende:



Informationsaustausch – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...



Interaktion – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 40: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Planungsphase

Die Planungsphase unterteilt sich lt. Leistungsphasen HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI, 2013) in folgende Teilphasen:

- Entwurf
- Genehmigungsplanung
- Ausführungsplanung

Ab dem Beschluss der Planung und der Weitergabe der Randbedingungen und Anforderungen, wird mit der Entwurfsplanung begonnen.

In der gesamten Planungsphase wird die IG in Abstimmung mit den Fachplanern zu verschiedenen Themen Machbarkeitsstudien und Variantenstudien mit dem IG-Tool und bei Bedarf mittels Simulationen erstellen. Diese Studien stellen die Grundlage für Entscheidungen zur Zielerreichung dar. Dies ist ein iterativer Prozess. Je detaillierter die Planung, desto mehr Randbedingungen sind zu beachten und umso umfangreichere Fragestellungen tauchen auf. Die Fragen bzw. Unklarheiten ergeben sich aus den integralen Planungsbesprechungen bzw. Workshops. Die Anregungen, Änderungen und Fragestellungen sollen und müssen proaktiv von allen Beteiligten kommuniziert werden. Dies können Änderungen seitens Projektleiter der Investorengruppe sein, aber auch Anregungen und Erfahrungen der Projektsteuerung Nutzergruppe. Auch die einzelnen Fachplaner und das Architekturteam bringen ihre Ideen und Verbesserungsvorschläge ein. Alle Punkte werden von der IG gesammelt, bewertet und mittels IG-Tool bzw. Simulation analysiert.

Die IG behält durch die Verwendung der IG-Komponentenliste den Überblick. Die Aktualisierung und Ergänzung der Werte und Daten ist eine der wichtigsten Aufgaben der IG, um die Zielerreichung zu gewährleisten. Die rechtlichen Rahmenbedingungen werden im Zuge der Einreichplanung ebenso beachtet.

In der Planungsphase ist es außerdem die Aufgabe der IG, gemeinsam mit den Fachplanern ein Monitoringkonzept zu erstellen. Dieses Monitoring muss so aufgebaut sein, dass es bei der Inbetriebnahme und in der Betriebsphase die geplanten Werte und Daten real abgleichen und überprüfen kann. Ohne Monitoring ist eine Optimierung und Mängelbehebung bei der Inbetriebnahme bzw. im Betrieb hinsichtlich der Zielerreichung mit sehr hohem Aufwand verbunden. Daher muss gemeinsam mit den Fachplanern ein Monitoringkonzept ab dem Entwurf entwickelt werden. Auch im Hinblick auf die Kosten ist auf eine frühzeitige Planung des Monitorings zu achten. (Steiner, Huemer-Kals, Bintinger, & Lipp, 2014, p. 8)

Im Zuge der Ausführungsplanung und der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen kann eine Einbindung von Forschungseinrichtungen bzw. weiteren Fachplanern erforderlich sein. Hier ist es notwendig, Kostenreserven in der Planungsphase einzurechnen.

Die IG ist auch bei der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen, unabhängig ob funktional oder konventionell ausgeschrieben wird, einzubinden. Die Werte für die Ausschreibung werden aus der IG-Komponentenliste verwendet. Die IG überprüft die Angaben und gibt die Ausschreibungen frei. Außerdem entwickelt die IG gemeinsam für jede Ausschreibung, die relevant für die Zielerreichung ist, Anreizmodelle. Beispielsweise können die Bieter für große Energieverbraucher Alternativprodukte anbieten, welche energieeffizienter als die im Vorfeld konzipierten Produkte sind. In Abhängigkeit der Einsparung darf dieser Bieter den Gesamtpreis um einen gewissen Prozentsatz teurer sein als die Konkurrenz. Mit dieser Maßnahme bringt man die Bieter dazu, sie schon im Vorfeld für das Thema der Zielerreichung zu gewinnen und sie tragen auch schon von Beginn an einen Teil zur Zielerreichung bei.

Diese Anreizmodelle müssen valide abgebildet und für alle Bieter gleich sein. Die Rechenmodelle zur Bewertung der Alternativprodukte inklusive der Einschätzung der Einsparung sind den Ausschreibungsunterlagen beizulegen.

Ergebnisse der Planungsphase:

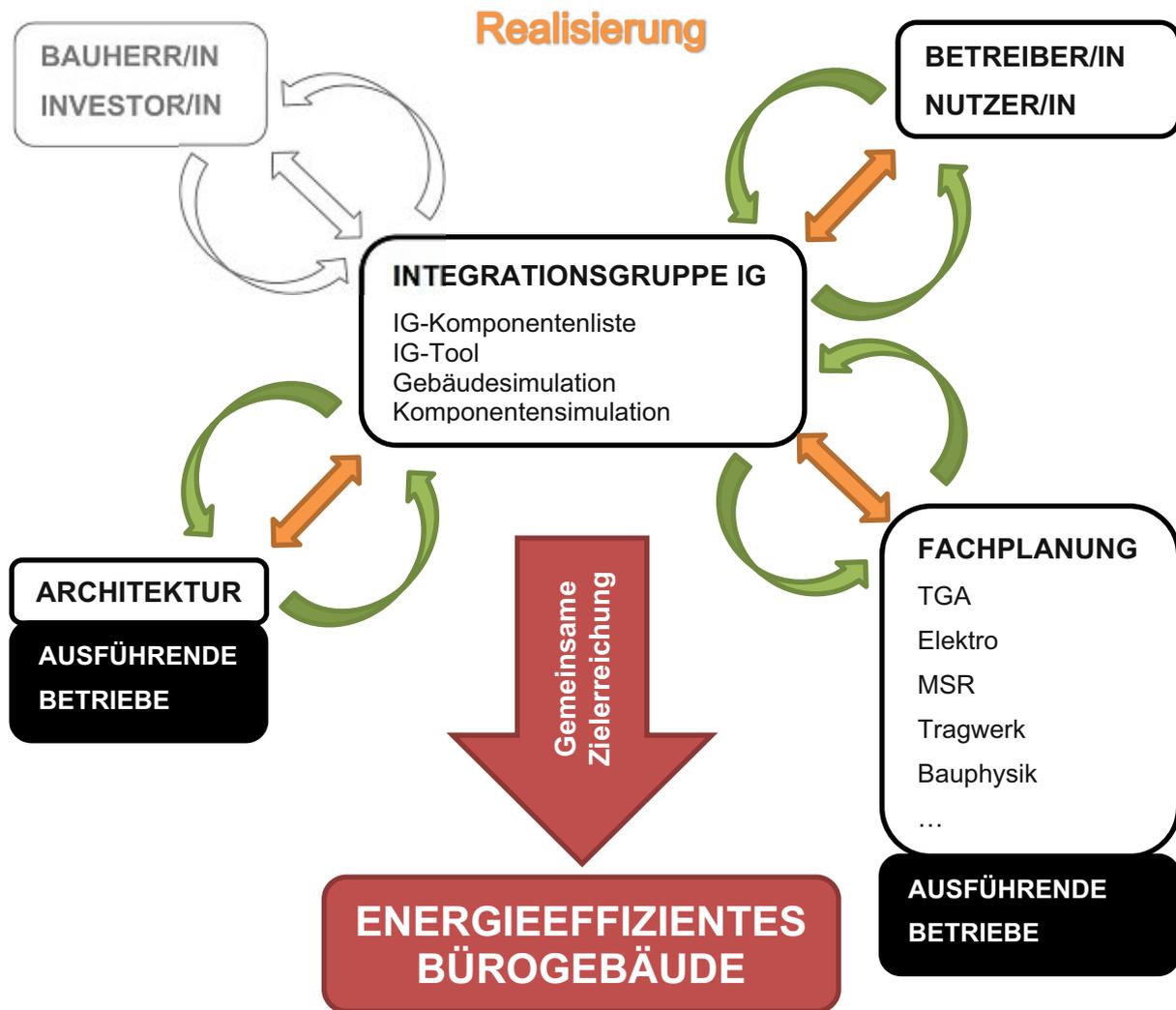
- Gesamtheitliche Entwurfsplanung
- Gesamtheitliche Einreichplanung
- Gesamtheitliche Ausführungsplanung
- **Machbarkeitsstudien mit IG-Tool bzw. Simulation**
- **Variantenstudien mit IG-Tool bzw. Simulation**
- **Monitoringkonzept**
- **Anreizmodell Ausschreibung**
- **Ausschreibungsunterlagen inklusive Rechenmodell zur besseren Zielerreichung**
- **Adaptierte und detaillierte IG-Komponentenliste**
- **Varianten- und Machbarkeitsprüfungen mittels IG-Tool und Simulationen**

Wesentliche Aktionen in der Planungsphase:

- Freigabe Einreichplanung
- Baubeschluss
- Freigabe Ausführungsplanung
- Freigabe Anreizmodell
- **Ausschreibung der Gewerke**

3.2.3. Die IG – in der Realisierungsphase

In der Realisierungsphase werden die Projektbeteiligten um die Gruppe der ausführenden Betriebe erweitert. Wie in Abbildung 41 ersichtlich, sind die ausführenden Betriebe den Bereichen Fachplanung und Architektur zugeordnet.



Legende:



Informationsaustausch – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...



Interaktion – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 41: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Realisierungsphase

Für die Investoren- bzw. Bauherrengruppe ist, wie schon in der Planungsphase zuvor, in der Realisierungsphase keine so intensive Einbindung in den Prozess notwendig, da in der Konzeptionierungsphase bereits fundierte Grundlagen geschaffen wurden. Der Informations- und der Entscheidungsfluss hinsichtlich Änderungen muss auch in dieser Phase gewährleistet sein. Diese wird, wie die anderen Phasen, über die Projektleitung seitens der Bauherrengruppe abgewickelt.

Falls die Betreibergruppe bekannt ist, kann diese in die Interaktion miteingebunden werden. Vor allem bei Planungen und Auslegungen im Bereich Nutzung ist die Integration der Betreibergruppe sinnvoll. Für eine bessere Akzeptanz empfiehlt sich die Errichtung eines Musterbüros. Somit können sich zukünftige Nutzer mit der Ausstattung vertraut machen, und anschließend gegebenenfalls Komponenten sowie z.B. das Raumbediengerät anwenden und Feedback für die Integrationsgruppe geben. Diese Maßnahme erhöht die Akzeptanz bei den Nutzern und überprüft gleichzeitig die Handhabung bzw. Bedienbarkeit des Raumes. Über das gezielte Feedback werden zukünftige Probleme für das Facility Management eliminiert.

In dieser Phase werden alle bautechnischen und gebäudetechnischen Details integral für die Werks- und Montageplanung entwickelt. Außerdem wird der Zeitpunkt der ersten Implementierung einzelner Monitoringzählpunkte festgelegt. Eventuell ist es möglich, ein Geschloß frühzeitig während der Bauphase zu messen. Somit kann früher mit der monitoringgestützten Mängelbehebung begonnen werden.

Die erste große Aufgabe für die Planungsgruppe und die IG ist die Angebotsprüfung und die Vergabe der Aufträge. Im Zuge der Angebotsprüfung werden von der IG alle wesentlichen angebotenen Produkte in das IG-Tool implementiert und es wird berechnet, ob die Zielwerte eingehalten wurden. Bei komplexeren Fragestellungen, wie z.B. der Beurteilung verschiedener Wärmetauscher einer Lüftungsanlage, müssen für die Angebotsprüfung Gebäude- bzw. Komponentensimulationen getätigt werden. Dies ist notwendig, um den richtigen Bieter im Sinne der Zielerreichung zu eruieren bzw. Bieter auszuschließen, welche die Anforderungen mit den Alternativprodukten nicht erreichen. Werden keine Alternativprodukte angeboten entfallen diese Schritte.

Bei Ausschreibungen mit standardisierten Leistungsverzeichnissen muss den Bietern kommuniziert werden, dass zusätzlich zu den einzelnen Positionen auch Energieeffizienzanforderungen gelten.

Während der Ausführung ist die IG auch für die Sicherung der Qualität zuständig. Die Qualitätssicherung beinhaltet die Maßnahmen Freigaben, Messung bzw. Überprüfung und das Monitoring.

Die Freigaben der IG und der Planer stellt die erste Maßnahme der Qualitätssicherung dar. Die ausführenden Firmen sind verpflichtet, je Gewerk eine vordefinierte Komponentenliste inklusive aller Datenblätter der gewünschten Produkte an die IG zu übermitteln. Bei Änderungen

müssen diese Listen nachgeführt werden. Die IG prüft laufend Abweichungen zur Komponentenliste in der Planungsphase und bewertet mittels IG-Tool, ob durch die Änderungen die Zielerreichung in Gefahr ist. Falls durch verschiedene Umstände das vorgegebene Ziel nicht erreicht werden kann, werden unmittelbar neue Varianten untersucht und das Problem inklusive Machbarkeitsbeurteilung an die Projektleitung der Bauherrengruppe zur Entscheidung vorgelegt. Erst nach der Freigabe der IG kann die ausführende Firma beginnen, das Gewerk zu errichten. Die übliche Freigabe der Planer entfällt dadurch nicht.

Nach dem Einbau werden alle wesentlichen Produkte bzw. Bauteile der Komponentenliste gemessen bzw. überprüft. Dabei werden Maßnahmen von der Luftdichtheitsmessung mittels Blower-Door bis zur Messung der Leistung einzelner elektrischer Geräte in verschiedenen Betriebszuständen durchgeführt. Die Leistungsmessung der einzelnen Bauteile wird stichprobenartig abgewickelt. Stimmen die gemessenen Werte nicht mit den Angaben in den Datenblättern überein, wird ein weiteres Produkt überprüft. Weisen mehrere Produkte dieselben Diskrepanzen auf, müssen alle Komponenten dieser Baureihe durch effizientere, gleich oder effizienter als im Angebot, ausgetauscht werden.

Bei der Implementierung bzw. Aufschaltung der Komponenten in die Gebäudeleittechnik werden auch Regelungen- bzw. Regelkonzepte auf Funktionalität geprüft. Im Zuge dieser Tätigkeiten werden die ersten Mängel behoben.

Das Energiemonitoring soll so bald wie möglich implementiert werden, um frühzeitig auf Mängel aufmerksam zu werden.

Für die hier beschriebenen Punkte der Qualitätssicherung ist ein Musterraum effektiv, da zu einem früheren Zeitpunkt Funktionen, Komponenten usw. gemessen und beurteilt werden können.

Schon während der Inbetriebnahme werden durch diese Vorgehensweise alle offensichtlichen Mängel behoben. Die Einregulierung wird vorgenommen und ein Probetrieb gemacht. Funktionsprüfungen werden stichprobenartig von der IG abgewickelt.

Bei der Übergabe muss eine Nutzereinschulung für die Bedienung der Räume und deren Komponenten erfolgen. Neben der Einschulung wird auch ein Handbuch für die Nutzer geschrieben und diesen ausgehändigt. Bei der Einschulung müssen vor allem die Grenzen und Möglichkeiten der Systeme aufgezeigt werden.

Ergebnisse der Realisierungsphase:

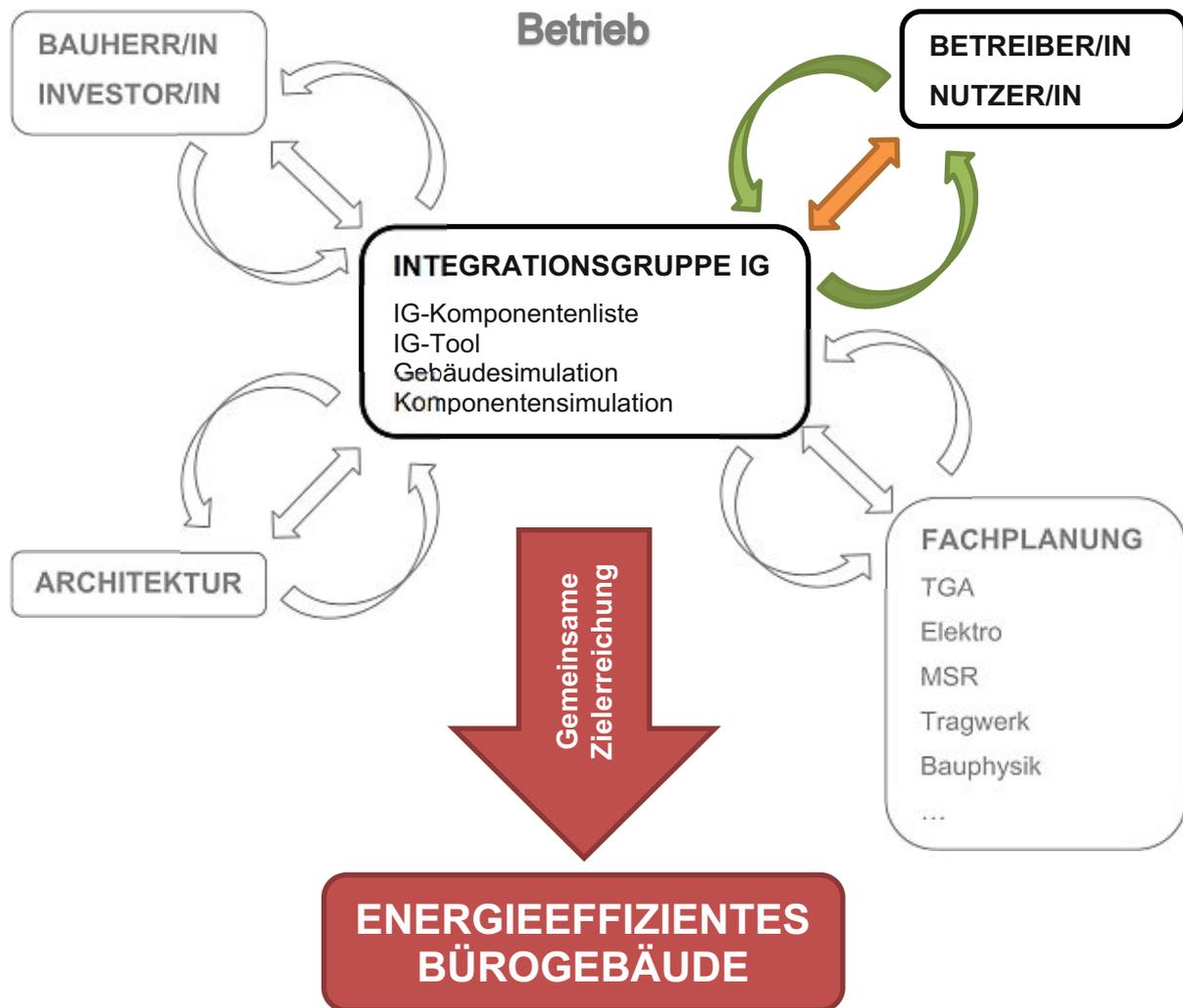
- Integrale Werksplanung
- Integrale Montageplanung
- **Integrales Monitoringkonzept**
- **Qualitätssicherung über alle Gewerke**

Wesentliche Aktionen in der Realisierungsphase:

- **Integrale Prüfung der Angebote mit IG-Tool bzw. Simulation**
- Vergabe
- **Integrale Freigabe der Gewerke nach Qualitätssicherung**
- **Freigabe der einzelnen Komponenten aus der IG-Komponentenliste**
- **Inbetriebnahme inkl. Mängelbehebung**
- **Nutzereinschulung**

3.2.4. Die IG in der Betriebsphase

Wie in Abbildung 42 dargestellt, sind die Nutzergruppe und die IG die relevanten Beteiligten in der Betriebsphase. Alle anderen Gruppen werden nur bei Mängeln in die Kommunikation eingebunden. Die Betriebsphase ist geprägt vom monitoringgestützten Optimieren des Betriebs inklusive Mängelbehebung. Über Visualisierungen und Datenbanksysteme werden automatisierte Trends bzw. Warnungen über Abweichungen an das Facility Management gesendet, um schnell auf Unstimmigkeiten bzw. Brüche im System aufmerksam zu werden.



Legende:



Informationsaustausch – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...



Interaktion – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 42: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Betriebsphase

Die IG vergleicht nun die Verbrauchsprognose mit dem Realbetrieb unter Beachtung der realen Wetterbedingungen und der Nutzerdichte. Das installierte Monitoring inklusive Energiemanagement-Software ermöglicht eine unabhängige und effektive laufende Optimierung des Betriebs sowie eine laufende Mängelbehebung. Die Wichtigkeit des Energiemonitorings für die Betriebsführung wurde von R. Lechner, Lubitz-Prohaska et al. wie folgt beschrieben:

Zurück zur Betriebsführung: Das Monitoring der Demonstrationsbauten hat gezeigt, dass eine hochwertige Betriebsführung bei hocheffizienten Objekten entscheidend für das Erreichen der Qualitätsziele (bis hin zur Plusenergiebilanz) ist. Ist eine derartige Betriebsführung nicht vorhanden, dann können nur sehr eingeschränkt die laufend notwendigen Optimierungsschritte geleistet werden. Damit unterscheiden sich aber energetische und gesamthaft optimierte Gebäude nicht von Standardbauten: Auch wenig optimierte Gebäude brauchen eine effiziente Betriebsführung, damit sie einigermaßen funktionieren können. (R. Lechner, Lubitz-Prohaska et al., 2015, p. 49)

Ergebnisse der Betriebsphase:

- Betriebshandbuch
- **Integrales Monitoring als Grundlage für weitere Mängelbehebung und Optimierung**

Wesentliche Aktionen in der Betriebsphase:

- Realbetrieb
- **Abgleich Verbrauchsprognose mit Realbetrieb (Vergleich IG-Tool – Monitoring)**
- **Laufende Optimierung**
- **Laufende Mängelbehebung**
- Effizienter Wartungsplan auf Basis vom Betrieb - CAFM

4. Anwendung am (Plus)Plusenergiebürohochhaus der TU Wien

In diesem Kapitel wird die Weiterentwicklung der Methode am (Plus)Plusenergiebürohochhaus der TU Wien angewandt. Wie schon am Titel erkennbar, war das zu erreichende Ziel ein Plusenergiebürohochhaus in der Sanierung zu verwirklichen. Um dieses Ziel zu gewährleisten, wurde eine IG Integrationsgruppe implementiert und die in Kapitel 3 „Weiterentwicklung der Methode“ beschriebenen Werkzeuge IG-Komponentenliste und IG-Tool bzw. Simulationen angewandt. Die Verwendung der Werkzeuge wird beispielhaft in den einzelnen Phasen an einzelnen Gewerken bzw. Komponenten erläutert.

Die genaue Beschreibung des Standortes, des Gebäudes und der einzelnen Maßnahmen ist im Endbericht des Projektes „Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien“ (Schöberl et al., 2014) zu finden.

In dieser Arbeit wird speziell auf die Anwendung der Tools und der Arbeitsweise der IG am Beispiel dieses Objektes eingegangen.

4.1. Kurzbeschreibung Gebäude, Ausgangssituation und Ziele

Dieses Kapitel dient zur kurzen Erläuterung des behandelten Gebäudes. Eine detaillierte Analyse bezüglich Energie, Kosten, Amortisationszeiten, Primärenergiefaktoren, Bilanz,... ist im Endbericht des Projektes „Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien“ (Schöberl et al., 2014) niedergeschrieben.

4.1.1. Bestandsgebäude „Chemiehochhaus“ Bauteil BA - Getreidemarkt

Das sogenannte „Chemiehochhaus“ ist ein Hochhaus der Technischen Universität Wien, welches sich am Getreidemarkt 9 im sechsten Wiener Gemeindebezirk befindet. Es wurde Ende der Sechziger Jahre erbaut und Anfang der Siebziger Jahre eröffnet. Das Gebäude weist eine Höhe von 55 m auf und besteht aus 14 Geschoßen – zwei Untergeschoße und zwölf Obergeschoße, wobei das Dachgeschoß zurückgesetzt ist. (siehe Abbildung 43) (Schöberl et al., 2014, p. 17)

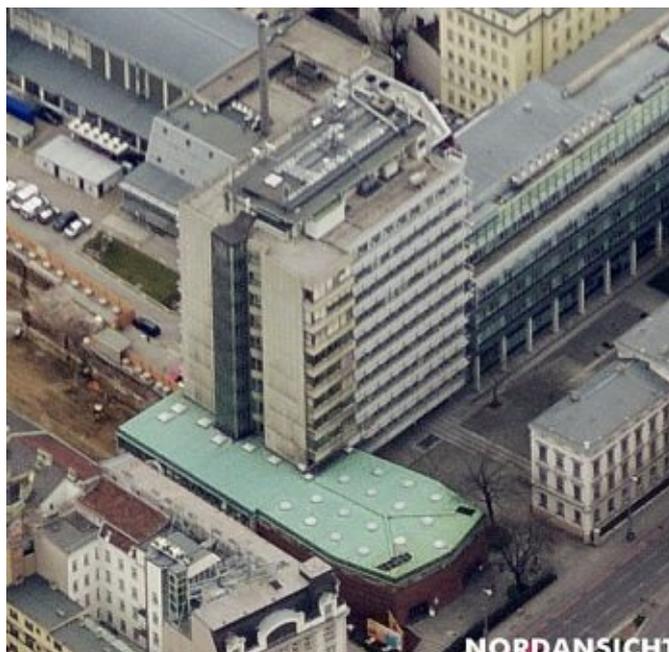


Abbildung 43: Areal Getreidemarkt - Chemiehochhaus und Audimax vor der Sanierung (Quelle: Schöberl et al., 2014)

Das Bestandsgebäude wurde als Chemielabor verwendet. Durch den Einsatz von Digestoren ergaben sich große Durchbrüche zwischen der Kernzone und den Laboren. (siehe Abbildung 44)

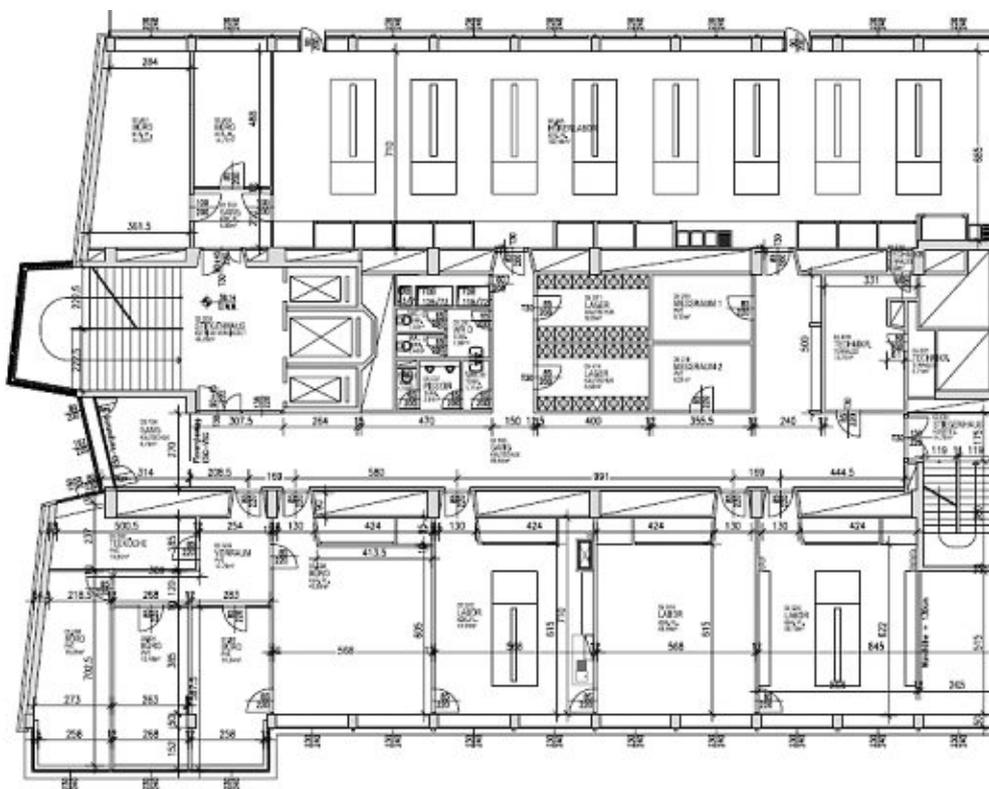


Abbildung 44: Chemiehochhaus - Regelgeschoß vor der Sanierung – 5. OG (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeintzer)

Daraus resultiert auch die Tiefe der Räume und die Geschosshöhe von vier Metern.

Die Nutzfläche des Gebäudes beträgt ca. 8000 m².

4.1.2. Ausgangssituation

Die technische Universität Wien entschied sich nach längeren Überlegungen 2006 am innerstädtischen Standort zu bleiben. Dies war auch gleichzeitig der Start für die Zusammenfassung der Fakultäten und Institute und der Modernisierung der Objekte am Getreidemarkt. 2010 übersiedelten die Chemielabors des Chemiehochhauses Bauteil BA in das neue Chemiegebäude „Lehartrakt“ am Getreidemarkt. Dadurch wurde das Bestandsgebäude für die Maschinenbau fakultät frei und zu einem Bürogebäude umgebaut. Dieses Projekt wurde für die TU Wien zum Vorzeigeprojekt, um erstmals ein (Plus)Plusenergiebürohochhaus zu errichten und optimale Lehr- und Lernbedingungen für die Studierenden und die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu erhalten. (Technische Universität Wien, 2015)

Zudem liefen zu dieser Zeit parallel mehrere interdisziplinäre Forschungsprojekte zum Thema Plusenergie an der TU Wien. (z.B.: PEB – Marktreifes Plus-Energie-Büro (Reiß et al., 2011)(Leeb, Bednar et al., 2011; Leeb, Korjenic, & Bednar, 2011); Seestadt Aspern (Pollak et al., 2011); Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung (Bointner et al., 2011))

Der letzte Schritt zur Realisierung war die Veröffentlichung des Forschungsförderungsprogrammes „Haus der Zukunft Plus“ und der folgende positive Förderentscheid für „Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien“.

4.1.3. Generalsanierung

Das bestehende Gebäude wurde bis zum Stahlbetonskelett rückgebaut. Diese Maßnahme war notwendig, da die vorhandene gebäudetechnische und bauliche Ausstattung das Ende ihres Lebenszyklus erreicht hatte. Die Entkernung des Bestandsgebäudes wäre auch bei einer Standardsanierung notwendig gewesen. Außerdem war durch die Adaptierung von einem Laborgebäude zu einem vorwiegend als Bürogebäude genutzten Bau eine Umstrukturierung des Grundrisses notwendig. Wie im neuen Regelgeschoß ersichtlich, wurden viele der Durchbrüche verschlossen und eine zweite Gangebene im südwestlichen Trakt eingezogen. Aufgrund der besseren Durchlichtung wurde ein Teil der Kernzone geöffnet. (siehe Abbildung 45) (Schöberl et al., 2014)



Abbildung 45: (Plus)Plusenergiebürohochhaus - Regelgeschoß nach der Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer)

Bei der Neukonzipierung wurde darauf geachtet, die speicherwirksame Masse des bestehenden Betonkerns zu aktivieren. Folglich wurde der Einsatz von abgehängten Decken minimiert. Die zweigeschoßige Haustechnikzentrale im elften Obergeschoß nahm den gesamten Grundriss ein. Hier entstand durch die Verkleinerung der Haustechnikanlage bzw. durch die dezentrale Anordnung von Lüftungsanlagen in den jeweiligen Geschoßen der neue Veranstaltungsraum TUtheSky. (siehe Abbildung 46) In den beiden Untergeschoßen befinden sich die Vorbereitungsräume und WC-Anlagen für den Chemiehörsaal und das Audimax, sowie die haustechnischen Anlagen inklusive Serverraum, Lagerräume und Niederspannungsraum. Das Erdgeschoß beinhaltet nun den Portiersbereich und eine Studierendenzone. Das erste und zweite Obergeschoß ist der Bibliotheks- und Studierendenbereich. Die eigentlichen Bürogeschoße mit vereinzelt Seminarräumen befinden sich im dritten bis einschließlich zehnten Obergeschoß. (Schöberl et al., 2014)

Die Erhöhung der Energieeffizienz hin zu einem (Plus)Plusenergiebürohochhaus in der Sanierung war eine große Herausforderung und beinhaltete ein neues Konzept in Bezug auf Abwicklung und Detaillierung der einzelnen Gewerke und deren Schnittstellen. Die Multiplizierbarkeit und Ermöglichung der Nachahmung der Maßnahmen war eines der Ziele bei der Konzipierung und Durchführung der Sanierung.

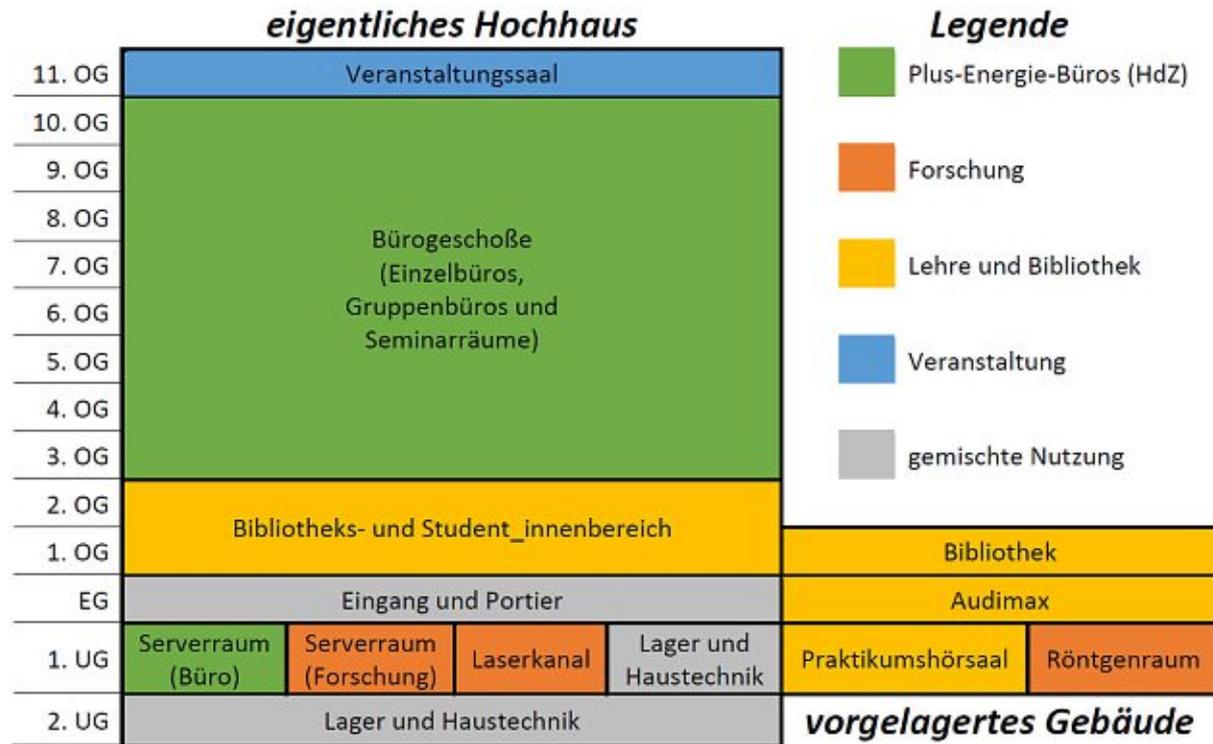


Abbildung 46: Übersicht Betrachtungsraum (Plus)Plusenergiebürohochhaus (David & Bednar, 2018)

4.1.4. Ziele

Die Ziele im Projekt wurden schon in der Konzeptionierungsphase zwischen dem Nutzer der Technischen Universität Wien - TU Wien und dem Eigentümer der Bundesimmobiliengesellschaft BIG vereinbart und von der IG dokumentiert.

Ein Ziel war es, hervorragende Lernbedingungen für die Studierenden und optimale Voraussetzungen für das Lehr- und Forschungspersonal zu schaffen. Ein weiteres Ziel war die Entwicklung eines neuen Gebäudekonzeptes hinsichtlich Versorgungssicherheit, Importunabhängigkeit, Resilienz bezüglich Klimaschwankungen und Bekämpfung des globalen Klimawandels. Diese Eckpunkte veranlassten die IG gemeinsam mit der BIG und der TU Wien ein (Plus)Plusenergiebürohochhaus umzusetzen. Das Projektteam verfolgte stets den Ansatz „Jede eingesparte Kilowattstunde muss nicht am Gebäude selbst umgewandelt werden“. Eine Technologiedemonstration im Gebäudebereich wurde angestrebt, aber vorwiegend in der Kombination vorhandener hocheffizienter Komponenten und Geräte und nicht in der Anwendung von Prototypen. Daraus resultierte auch der Anspruch des Projektteams Maßnahmen zu generieren, welche multiplizierbar sind und „Nachahmer“ finden.

Die Weiterentwicklung des Planungsprozesses von hocheffizienten Gebäuden war ein weiteres Anliegen des Projektteams und diese vorliegende Arbeit ist ein Ergebnis dieser Entwicklung.

Außerdem war noch ein vereinbartes Ziel die Rückwirkung des Gebäudes auf die zukünftigen Studierenden und das Personal am Standort Getreidemarkt zu erfassen.

Diese Ziele wurden allesamt in die IG-Komponentenliste eingetragen und in den verschiedenen Phasen des Projektes von der IG und allen Projektpartnern kommuniziert und weitergetragen.

4.1.5. Definition des (Plus)Plusenergiehochhauses

Die Definition Plus-Energie-Gebäude lautete bei diesem Projekt:

Ein Plus-Energie-Gebäude ist ein Gebäude, bei dem der totale Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) sehr gering ist. Für das Gebäude wird folgende Plus-Energie-Definition herangezogen (Rosenberger et al., 2012, pp. 12–14):

- **Primärenergie**

Der nicht-erneuerbare Primärenergiebedarf (Gebäudebetrieb+Nutzung+Eigendeckung) ist kleiner als der durch den Export von Energie ins Netz reduzierte nicht erneuerbare Primärenergiebedarf bei anderen Energienutzungen (andere Gebäude, Mobilität, etc.)

- **Standort**

Erneuerbare Energie wird Vorort produziert (innerhalb der Grenzen des Gebäudes)

- **Betrachtungszeitraum**

1 Jahr

- **Bilanzgrenze**

Die oben stehende Definition beinhaltet neben Heizung, Kühlung und Lüftung auch Bürogeräte, Server, Küchengeräte, die technische Gebäudeausstattung und die Beleuchtung. (Schöberl et al., 2014, p. 22)

Generell werden alle Energieströme im Gebäude bilanziert. Primärenergetisch beinhaltet die Bilanz jeden einzelnen Verbraucher im Gebäude.

Die Konversions- bzw. Primärenergiefaktoren stammen aus der OIB – Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011, p. 6) für Strom bzw. aus der Technikonovelle der Magistratsabteilung 37 in Wien (Technikonovelle MA 37 - 53281/2012, 2013) auf Basis des Einzelnachweises gemäß (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2007) für die Fernwärme:

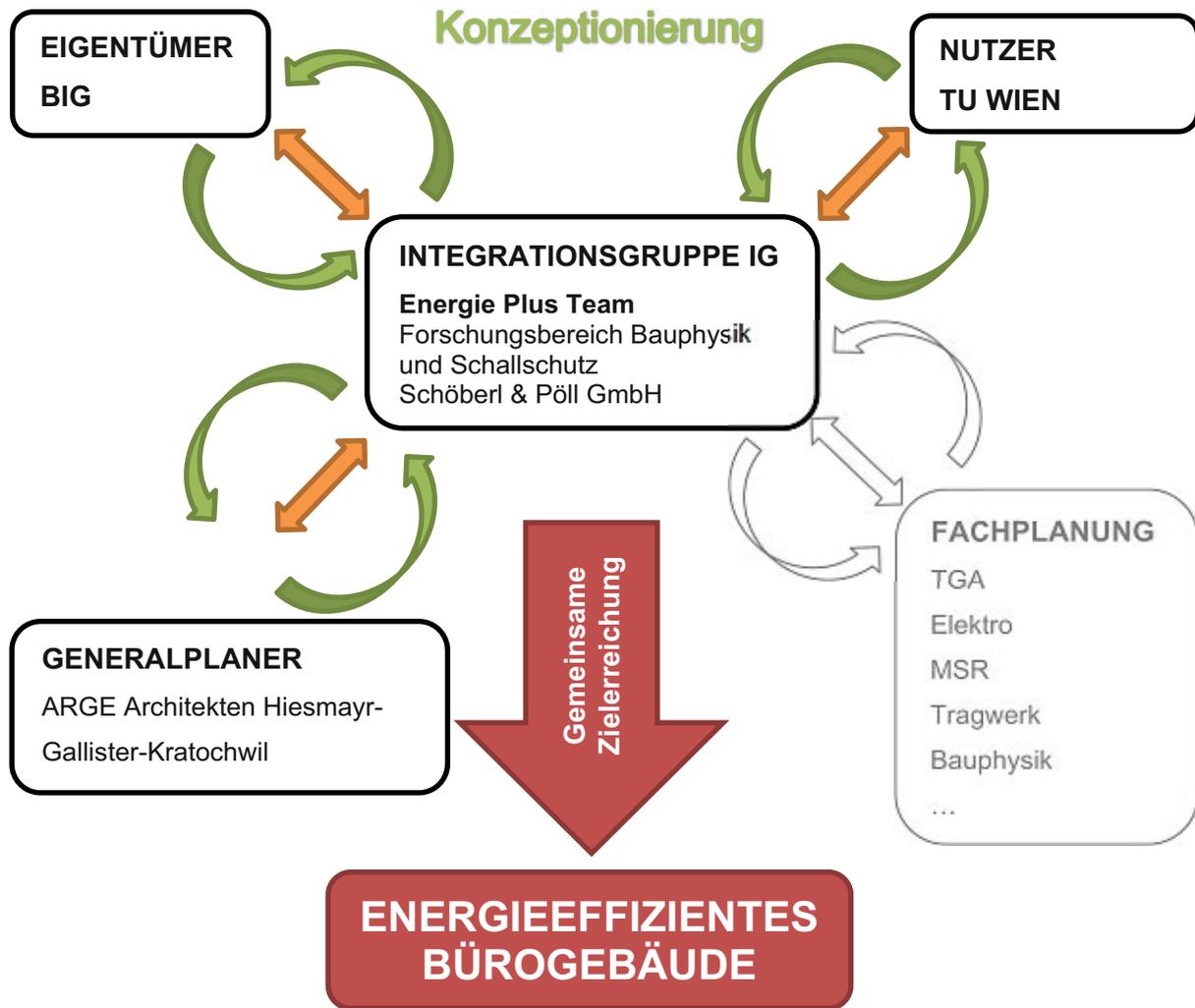
- | | | | |
|--------------------------------|-----------------|---|-------------------------------|
| • Strom - gesamt | f_{PE} | = | 2,62 kWh/kWh |
| • Strom - nicht erneuerbar | $f_{PE,n.ern.}$ | = | 2,15 kWh/kWh |
| • Fernwärme - gesamt | f_{PE} | = | 0,33 kWh/kWh (Fernwärme Wien) |
| • Fernwärme - nicht erneuerbar | $f_{PE,n.ern.}$ | = | 0,06 kWh/kWh (Fernwärme Wien) |

4.2. Die IG-Integrationsgruppe bei der Umsetzung des (Plus)Plusenergiebürohochhaus der TU Wien

Der Einsatz der IG in diesem Projekt resultiert aus mehreren zeitgleichen Projekten an der TU Wien: der geplanten Sanierung des Bürohochhauses im Zuge der TU-University anlässlich der 200 Jahr-Feier der TU Wien, mehreren interdisziplinären Forschungsprojekten an der TU Wien und dem Forschungsprojekt „Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien“, gefördert aus dem Programm Haus der Zukunft Plus. Den erstmaligen Einsatz der IG in den Prozess ermöglichten die Nutzervertreter der TU Wien und der Generalplaner durch eine reibungsfreie Einbindung ab dem Start des Projektes. Die BIG als Eigentümer wurde bei der gemeinsamen Erstellung der IG-Komponentenliste eingebunden. Ein Pflichtenheft wurde für dieses Vorhaben nicht erstellt, da die relevanten Informationen zur Erreichung der Ziele in die IG-Komponentenliste eingetragen wurden. Ein Pflichtenheft kann ergänzend geschrieben werden, um einzelne Ziele ausführlicher zu erläutern. Die Generalplaner generierten den Bedarfsplan nach Vorgaben der Nutzer und der Eigentümer.

4.2.1. Die Anwendung der IG in der Konzeptionierungsphase

Die IG wurde ab der Konzeptionierungsphase in das Projekt eingebunden. Wie in Abbildung 47 ersichtlich bestand das Team in der Konzeptionierungsphase aus dem Eigentümer, der BIG (Bundesimmobiliengesellschaft m.b.H.), dem Nutzer, der Technischen Universität Wien, dem Generalplaner ARGE Architekten Hiesmayr-Gallister-Kratochwil und der Integrationsgruppe bestehend aus dem Forschungsbereich Bauphysik TU Wien und dem Unternehmen Schöberl & Pöll GmbH.



Legende:



Informationsaustausch – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...



Interaktion – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 47: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Konzeptionierungsphase

Eine der ersten Aufgaben war die Definition der Kommunikationswege und des Informationsaustauschs zwischen den einzelnen Gruppen. Weiters wurden die Hauptansprechpersonen inklusive Vertretung festgelegt und eine erste gemeinsame Terminalschiene erarbeitet bzw. ein Jour Fixe vereinbart. BIM wurde im Zuge dieses Projektes nicht angewandt, da zum Zeitpunkt dieses Projektes, im Jahr 2011, die Normierung des Informationsaustauschs noch nicht weit genug gediehen war.

In dieser Phase wurde die im Projekt „Marktreifes Plus-Energie-Büro“ (Reiß et al., 2011) erstellte Komponentenliste als Grundlage für die Weiterentwicklung angewandt. Die Komponentenliste ist im Endbericht vom oben genannten Projekt (Reiß et al., 2011, pp. 38–80) im Kapitel 7 ersichtlich. Für jedes Gewerk wurde eine Tabelle für den Standardbürobau und dem Plusenergiebüro erstellt um die Unterschiede der Maßnahmen ersichtlich und nachvollziehbar darzustellen. Die Zielwerte wurden im Projektteam gemeinsam erarbeitet.

Auch das IG-Tool baut auf den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit auf. Der Detaillierungsgrad im Projekt „Marktreifes Plus-Energie-Büro“ war in der Phase der Konzeptionierung bzw. der frühen Phase des Vorentwurfs sehr hoch. Aufgrund der Situation, dass das behandelte Projekt auch ein Hochhausprojekt war und ein ähnliches Ziel verfolgt wurde, war die erstellte Liste für die Anwendung am (Plus)Plusenergiebürohochhaus geeignet. Da es aber teilweise zu unterschiedlichen Nutzungen kam und es sich um eine Sanierung handelt, musste die Liste an die neue Zielerreichung angepasst werden.

Schon in den ersten Meetings wurde der Bedarfsplan in der oben genannten Konstellation (siehe Abbildung 47) diskutiert, erstellt und an die Zielerreichung angepasst. Erste Fragestellungen wurden gemeinsam eruiert und Varianten für Studien definiert. Die aufgeworfenen Fragestellungen und Varianten wurden von der IG aufgenommen und mittels IG-Tool auf Machbarkeit überprüft.

Nutzereinbindung

Um die Qualität und Aussagekraft der Machbarkeitsstudie in dieser Phase zu erhöhen, wurden Angestellte der TU Wien in den Prozess eingebunden. Wie schon in Kapitel 3.2.1 erklärt, ist das Wissen über die Nutzung für die weitere Planung und Auslegung der technischen Gebäudeausrüstung elementar. Daher wurden im Zuge der Konzeptionierungsphase Befragungen an drei Instituten der TU Wien über die Anwesenheit durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Abwesenheitszeiten (Reisetätigkeit, Urlaub, Krankenstand) der 46 befragten Personen ergaben sich ähnliche durchschnittliche Anwesenheitswerte wie in der Dissertation von Pröglhöf (2009, p. 77)

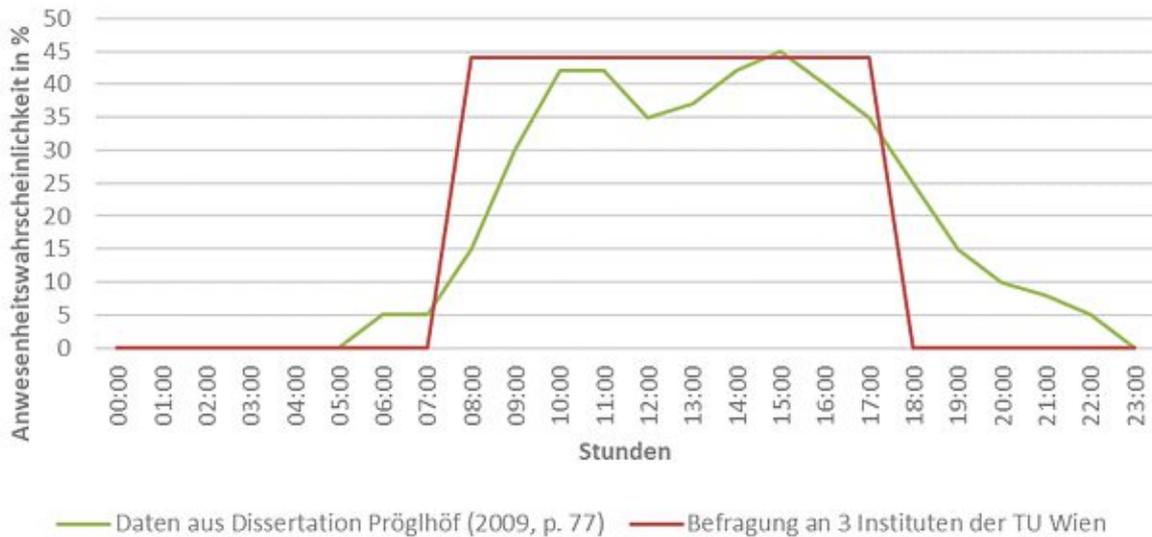


Abbildung 48: Die Anwesenheitswahrscheinlichkeit resultierend aus eigenen Befragungen angepasst an den Tagesverlauf aus der Dissertation Pröglhöf (2009, p. 77)

Im IG-Tool wurde die durchschnittliche Anwesenheitswahrscheinlichkeit (Abbildung 48) aus den Befragungen an den eruierten Tagesverlauf aus Pröglhöf (2009, p. 77) vereinfacht angepasst.

IG-Komponentenliste

Die verwendete konsolidierte IG-Komponentenliste in der Konzeptionierungsphase beruht auf der Verwendung von Default- und Erfahrungswerten, stellt aber auch gleichzeitig die Zielwerte dar. Diese Liste muss, wie in 3.1.1 beschrieben, für alle Gewerke erstellt und zusammengefügt werden.

In Tabelle 5 wurde das bestehende Bauwerk mit der Sanierung verglichen. Somit erhält man für die Berechnungen der Gesamtenergieeffizienz das Einsparungspotential. Bei einem Neubau ist kein Vergleich notwendig. Ein Vergleich könnte aber durchaus Aussagen über Einsparungen gegenüber einer „Standardvariante“ hervorbringen. Beim Forschungsprojekt „Marktreifes Plus-Energie-Büro“ (Reiß et al., 2011) wurde dieser Weg verfolgt und auch die Kosten miteinander verglichen. Auf Basis des Projektes „Marktreifes Plus-Energie-Büro“ wurde auch die IG-Komponentenliste für das Bürohochhaus am Getreidemarkt konzeptioniert.

Die Sammlung der Ergebnisse des Bedarfsplans und der Machbarkeits- und Variantenstudien wurde direkt als weitere Vorgabe in die IG-Komponentenliste eingegeben.

Für das Gewerk Fenster wurde beispielsweise folgende Liste verwendet:

Tabelle 5: Auszug aus der IG-Komponentenliste für das Gewerk Fenster und Sonnenschutz (Schöberl et al., 2009)

Bestand		Zieldefinition	
Fenster:	Verbundfenster	Fenster:	Wärmeschutzverglasung dreifach + Prallscheibe außen
Wärmedurchgangskoeffizient:	$U=2,3 \text{ W/m}^2$	Wärmedurchgangskoeffizient:	$U=0,6 \text{ W/m}^2$
Geamtenergiedurchlassgrad:	$g=0,67$	Geamtenergiedurchlassgrad:	$g=0,435$
Lichttransmissionsgrad:	$\tau_e=0,73$	Lichttransmissionsgrad:	$\tau_e=0,39$
Erhöhung des U-Wertes vom Glas um 30% um Rahmen und Abstandhalter zu berücksichtigen:	$U_{Ges}=3,00 \text{ W/m}^2$	Erhöhung des U-Wertes vom Glas um 30% um Rahmen und Abstandhalter zu berücksichtigen:	$U_{Ges}=0,80 \text{ W/m}^2$
Rahmenanteil:	$F_F = 0,20$	Rahmenanteil:	$F_F = 0,20$
Minderungsfaktor für Verschattung:	$F_S = 0,60$	Minderungsfaktor für Verschattung:	$F_S = 0,60$
Minderungsfaktor für Verschmutzung (Solare Gewinne):	$F_V = 0,98$	Minderungsfaktor für Verschmutzung (Solare Gewinne):	$F_V = 0,98$
Minderungsfaktor für Versprossung:	$k_1 = 0,80$	Minderungsfaktor für Versprossung:	$k_1 = 0,80$
Minderungsfaktor für Verschmutzung (Beleuchtung):	$k_2 = 0,90$	Minderungsfaktor für Verschmutzung (Beleuchtung):	$k_2 = 0,90$
Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall:	$k_3 = 1,00$	Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall:	$k_3 = 1,00$
Sonnenschutz:	$g_{tot} = 0,10$	Sonnenschutz:	$g_{tot} = 0,061$
Außenjalousie 45°-Stellung grau	$\tau_{eff,SA} = 0,032$	Außenjalousie 45°-Stellung weiß	$\tau_{eff,SA} = 0,136$
		Schwelle für die Aktivierung des Sonnenschutzes bei einer Gesamtbestrahlungsstärke:	200 W/m^2
		Schwelle für die Aktivierung des Sonnenschutzes bei einer Direktstrahlung auf die Fassade:	50 W/m^2
Steuerung des Sonnenschutzes:	Manuell	Steuerung des Sonnenschutzes:	Automatisch mit Luxmessern

Machbarkeitsstudie

Im Zuge des Forschungsantrages im Programm Haus der Zukunft Plus des Bmvit wurde im Vorfeld eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. (Schöberl et al., 2009, pp. 78–88)

Durch die Nutzereinbindung in einer sehr frühen Entwicklungsphase des Projektes war es möglich, eine valide Verbrauchsprognose zu erstellen.

In der ersten Prognose (siehe Abbildung 21) konnte das in 4.1.5 definierte Ziel erreicht werden. Die am Standort erzeugte Energie übersteigt den Bedarf um fast 50 %, wobei in der Konzeptionierungsphase noch PV-Anlagen auf den Dächern der Bauteile BB (Winkelbau) und BI (Loschmidt Trakt) in die Bilanz aufgenommen wurden.

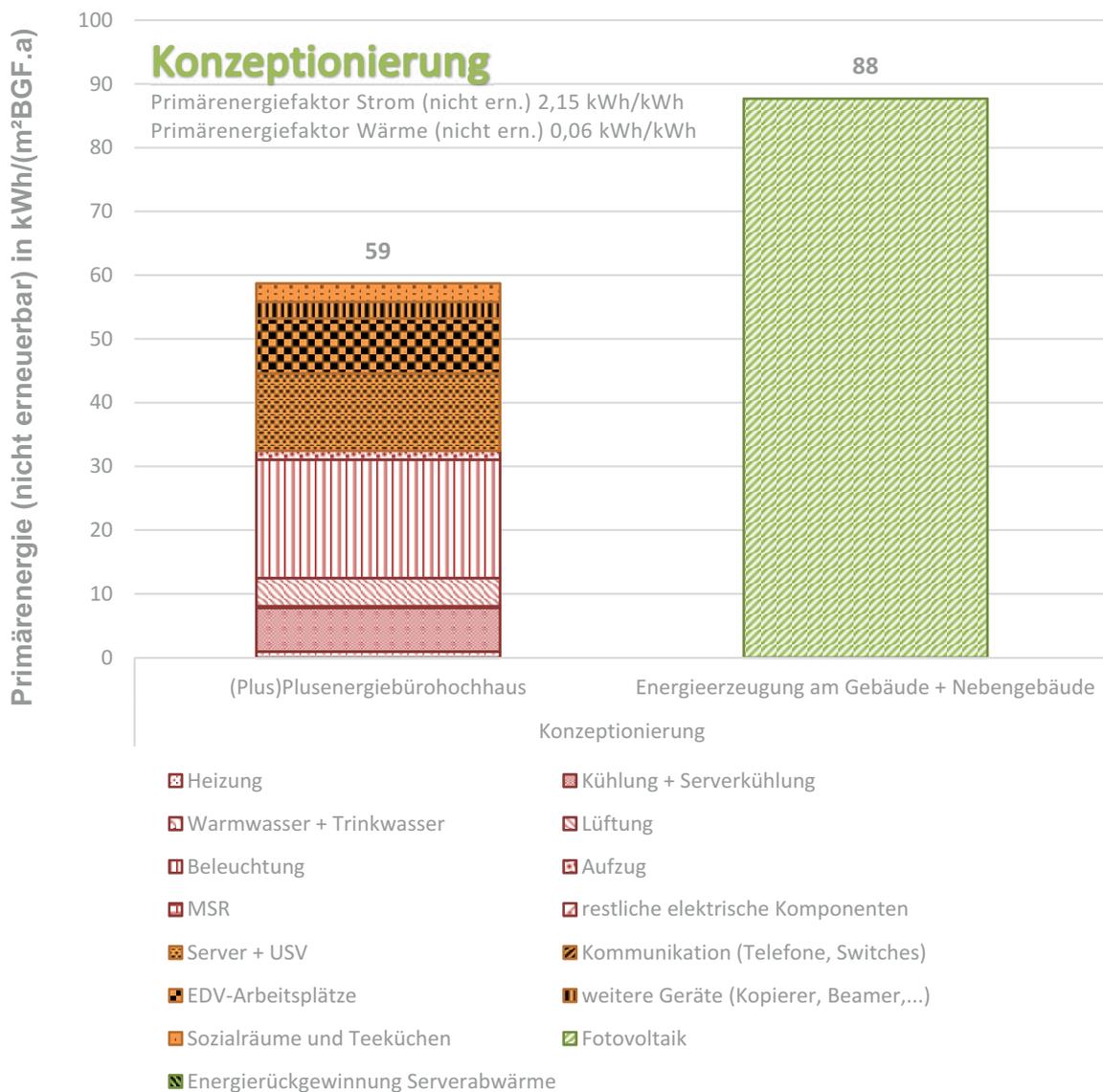


Abbildung 49: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Konzeptionierungsphase (nicht erneuerbar) (Daten aus Schöberl et al., 2009)

Außerdem waren in der Konzeptionierungsphase noch die Nutzung von Geothermie mittels Wärmepumpen und daraus resultierenden Bohrungen im Hof zwischen den Bauteilen BZ (Geniegebäude) und BB (Winkelbau), BI (Loschmidt Trakt) und BA (PlusPlusenergiebürohochhaus und Audimax) am Getreidemarkt geplant.

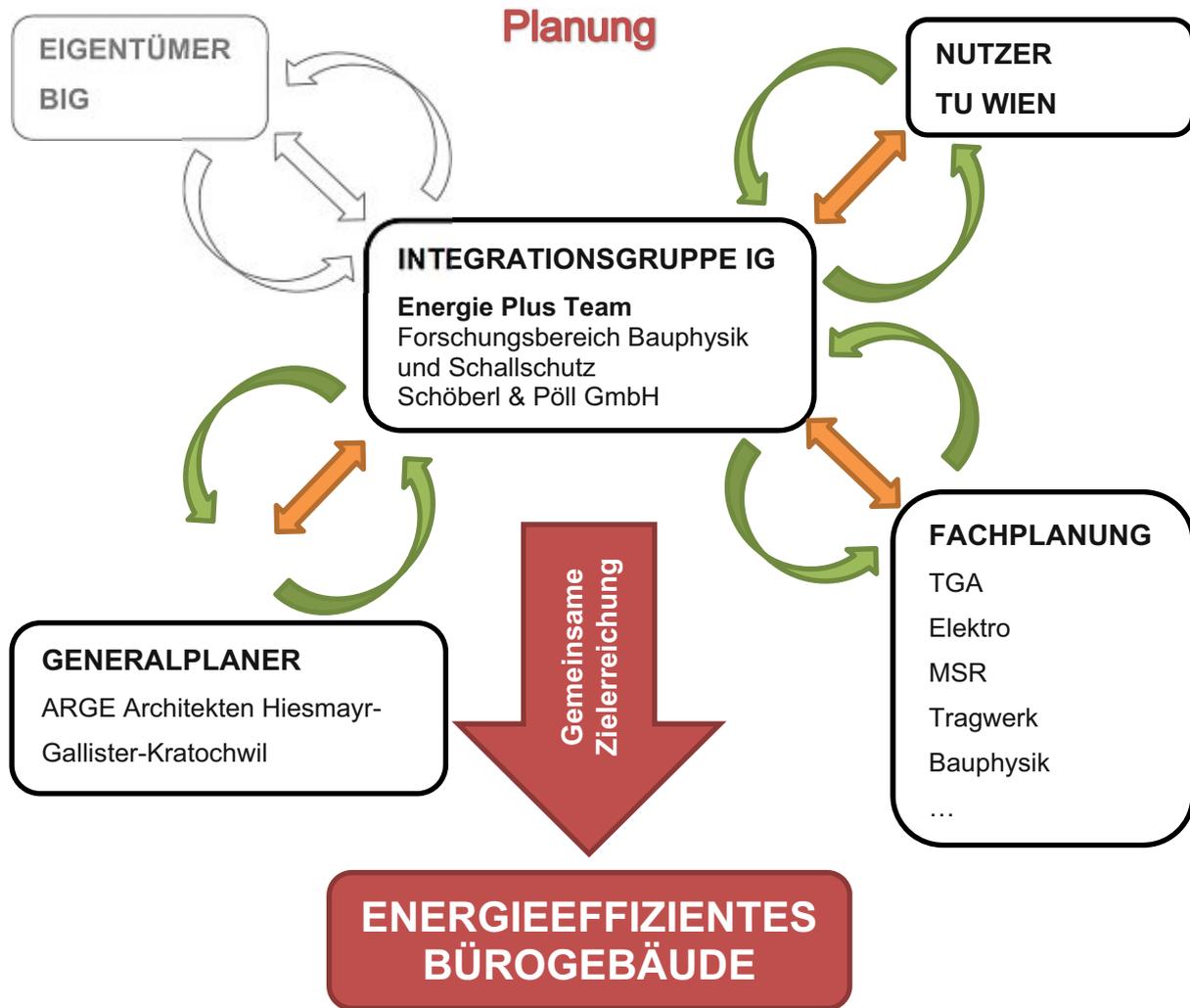
Der Primärenergiebedarf im Antrag (Schöberl et al., 2009) und in Abbildung 49 unterscheidet sich, da in der Konzeptionierung im Jahr 2009 noch andere Primärenergiefaktoren verwendet wurden. Um zwischen den Phasen vergleichen zu können, wurden in dieser Arbeit ausschließlich die Faktoren aus Kapitel 4.1.5 verwendet.

Durch die positiven Ergebnisse der Machbarkeitsstudie und der Befürwortung aller Entscheidungsträger inklusive der Zusage des Forschungsprojektes „Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien“ wurden die weiteren Schritte in Richtung (Plus)Plusenergiebürohochhaus gesetzt.

Die Freigabe des Bedarfsplans und der IG-Komponentenliste und der Beschluss der Planung seitens der Eigentümer stellt das Ende der Konzeptionierungsphase dar.

4.2.2. Die Anwendung der IG in der Planungsphase

Nach dem Beschluss der Planung und der Freigabe der IG-Komponentenliste als Grundlage zur Zielerreichung erfolgte die Planungsphase. Diese Phase unterteilt sich in die integrale Entwurfs-, sowie in die Einreich- und Ausschreibungsplanung. (Ahammer et al., 2017) An Abbildung 50 erkennt man, dass die Einbindung der Eigentümer in der Planungsphase nicht den gleichen Stellenwert hat wie in der ersten Phase. Da in der Konzeptionierung die wesentlichen Vorgaben mittels Bedarfsplan und IG-Komponentenliste intensiv mit den Eigentümern erarbeitet wurden, waren ab der Planungsphase die Nutzer, der Generalplaner, die IG und vor allem die Fachplaner hauptsächlich für die Planung verantwortlich. Der Informationsaustausch zu den Eigentümern fand weiterhin, wenn auch nicht mehr so intensiv, statt. Bei unvorhersehbaren Vorkommnissen wurden die Eigentümer immer in den Entscheidungsprozess involviert.



Legende:

-  **Informationsaustausch** – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...
-  **Interaktion** – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 50: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Planungsphase

In der Konzeptionierungsphase basierte die IG-Komponentenliste auf Erfahrungs- bzw. Defaultwerten. Durch die Integration der Fachplaner in den Prozess erhöht sich der Detaillierungsgrad der Planung und somit die verwendeten Komponenten und Materialien.

Beim (Plus)Plusenergiebürohochhaus waren folgende Fachplaner beteiligt:

- Haustechnik
- Elektro- und Licht
- EDV
- Schallschutz und Akustik
- Fassade
- Bauphysik
- Statik
- Brandschutz
- Mess-, Steuer- und Regeltechnik

Diese Planer wurden von Anfang an mit der Zielsetzung „(Plus)Plusenergiebürohochhaus“ vertraut gemacht und es wurde festgelegt, wie die Kommunikation bzw. der Informationsfluss zu erfolgen hat.

Bei dem ersten integralen Meeting wurden die Vision und das Ziel vorgestellt. Ebenso wurde die Arbeitsweise bezüglich IG-Komponentenliste und auch die Funktion und der Zweck der Integrationsgruppe IG erläutert. Um eine effiziente Planung zu gewährleisten, wurden wöchentliche Jour Fixes einberufen. Bei dringenden Entscheidungen bzw. zeitintensiven Abstimmungen zu verschiedenen Fragestellungen und Themen wurden von der Integrationsgruppe IG bzw. dem Generalplaner zusätzlich einzelne Termine mit den betroffenen Planern vereinbart.

Erweiterung IG-Komponentenliste durch die Fachplaner

Die Fachplaner bekamen je Gewerk die Default IG-Komponentenliste aus der Konzeptionsphase und befüllten, ergänzten und änderten im Zuge der Planung die Liste mit den weiteren Komponenten und den wesentlichen Daten zur Zielerreichung. Weiters wurden die einzelnen Gewerkelisten von der IG zu einer übergeordneten konsolidierten IG-Komponentenliste zusammengefügt und dort Zuständigkeiten und Ansprechpersonen (plus Stellvertretung) angegeben, um einen effizienten Informationsfluss zwischen den Beteiligten sicherzustellen. Auch die Notwendigkeit, Datenblätter aller geplanten Komponenten inklusive Position der wesentlichen Daten (Leistungsaufnahme, Betriebsweise, StandBy, usw.) abzugeben wurde kommuniziert und vereinbart. Von den Planern wurden Name, Fabrikat, Type, Stück und die Leistungsdaten in die Felder „Planung“ eingetragen. Die weiteren Felder sind für die ausführenden Firmen und die Freigabe in der Ausführungsphase konzipiert. Die Stückzahlen und die Werte der einzelnen Geräte wurden von der IG geprüft und je Gewerk freigegeben. Die IG prüfte aber nicht nur die Anzahl und Stück, sondern auch ob die Funktionsweise der Systeme mit den einzelnen Komponenten übereinstimmt.

Tabelle 6: Auszug aus der IG-Komponentenliste für ein Teil des Gewerkes Kälteanlage in der Planungsphase

Nachweis	Kälteanlage:	Fabrikat	Type	Menge (Stk.)	Vorlage Datum	Stromverbrauch Standby (kW*h-1)2	Stromverbrauch Betrieb (kW*h-1)	Standby-Liste Planung - restliche Geschoße ohne Audmax Menge (Stk.)	Standby-Liste Planung - HDZ+ Bereich Menge (Stk.)	Standby-Liste Planung Betrieb	Standby-Liste Planung Standby	Datenblatt Betrieb	Datenblatt Standby	Gesamtv erbrauch pro Jahr [kWh.a]	3 bis 10 Bürogesc hoße-Verbrauch pro Jahr [kWh.a]	Freigabe	Messung Handmusters erforderlich?	Anmerkung Bemusterung
Datenblatt	Regelventile gr. Wassermengen									36 W	2,5 W							
Datenblatt	Kältepumpen Kühlturm - Kreis drehzahleregelt			2			7.500	1	0	1.600	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen Kältemaschine - Kreis - VL drehzahleregelt			3			2.200	2	0		0.000							
Datenblatt	Kältepumpen Verteiler - Kreis - RL drehzahleregelt			3			0.600	2	0		0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 01 - drehzahleregelt			2			0.130	2	0	0.050	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 02 - drehzahleregelt			2			0.190	2	0	0.060	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 03 - drehzahleregelt			2			0.310	2	0	0.300	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 04 - drehzahleregelt			2			0.190	2	0	0.280	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 05 - drehzahleregelt			2			0.190	2	0	0.220	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 06 - drehzahleregelt			2			0.590	2	0	0.240	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 07 - drehzahleregelt			1			1.500	2	0	0.780	0.000							
Datenblatt	Kältepumpen RG 08 - drehzahleregelt			1			0.470	2	0	0.450	0.000							
Datenblatt	Drosselventile Verteiler																	
Datenblatt	Regelventile am Kleinverteiler																	
Datenblatt	Kühlaggregate Serverraum			4			0.044	4	0	990 W	3 W							
Datenblatt	Druckhalteanlage			7		4	800.000	kA	kA	kA	kA							
Datenblatt	Druckhalteanlage			1		4	800.000	kA	kA	kA	kA							

In Tabelle 6 wird als Beispiel ein Teil der IG-Komponentenliste des Gewerkes Kälteanlage gezeigt. In dieser Tabelle ist die iterative Arbeitsweise zwischen der IG und den Fachplanern bzw. den ausführenden Firmen sichtbar. Diese Liste ist bereits die vollständige Liste nach Freigabe der IG in der Planungsphase. Neue Komponenten wurden von den Planern hinzugefügt, die in der Konzipierungsphase noch nicht bedacht waren, oder durch einen Systemwechsel notwendig waren.

Außerdem war in der Konzeptionierungsphase noch wenig Wissen über die MSR Komponenten (Aktoren, Raumbediengerät,...) und die notwendigen Komponenten der Brandmeldeanlage (Haltemagnete, Sicherheitsleuchten,...) vorhanden. Diese fehlenden Komponenten wurden dann in der Liste erweitert und in der Verbrauchsprognose bilanziert.

Unterstützung in der Planung für die IG

Die IG und die Fachplaner haben durch die Komplexität der Aufgabe im gesamten Planungsprozess nicht alle Fragestellungen selbst geklärt. Daher wurden bei multidimensionalen Problemstellungen gezielt Firmen zur Planung und Beratung, in Abstimmung mit den Projektbeteiligten, zugezogen. Für folgende Aufgaben wurden externe Firmen beauftragt:

- Monitoring – Beratung
- Haustechnik – Beratung
- Lichtplanung – Beratung
- Photovoltaik – Beratung und Planung
- Tageslicht – Beratung
- Simulation Fassadenhinterlüftung – Beratung
- EDV-Ausstattung und Serverraum – Beratung

Die Firmen erarbeiteten Variantenstudien zu verschiedenen Fragestellungen und leiteten die Informationen mittels Besprechungen und Berichten bzw. Ausschreibungsunterlagen in das Team zurück.

Arbeitsweise Integrationsgruppe IG

Die vorab angeführten Sicherheitsleuchten der Brandmeldeanlage sollen als Beispiel, um die Arbeitsweise der IG und der Beteiligten aufzuzeigen, herangezogen werden. In einem der integralen Meetings wurde gemeinsam mit den MSR-, Haustechnik- und Brandmeldeanlagen-Planern die Notwendigkeit der andauernd aktivierten Sicherheitsleuchten angesprochen. In Abstimmung mit dem Brandschutzbeauftragten stellte sich heraus, dass die Sicherheitsbeleuchtung nur im Brandfall leuchten muss und daher mit der Notbeleuchtung im Brandfall aktiviert wird. In diesem Fall konnten bei je 8 W/Stück und 158 Stück ca. 11.000 kWh/a elektrische Energie pro Jahr eingespart werden.

An einem weiteren Beispiel, der Auslegung der Heizungs- bzw. Kühlungsanlagen und deren Abgabesystemen, kann die Arbeitsweise der Integrationsgruppe IG ebenso eruiert werden. Die Önorm für die Heizlast (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2015a) bilanziert weder

innere Gewinne noch solare Strahlung. Um die Auslegung der Abgabesysteme bzw. Wärmetauscher ökonomisch und effizient zu gestalten, wandte die IG die ersten Raum- bzw. Gebäudesimulationen (Schöberl et al., 2014, pp. 30–41) an. Noch drastischer war der Unterschied bei der Auslegung der Kühlanlage bzw. dem Kühlabgabesystem. Um wirtschaftlich zu bleiben wird die Fußbodenheizung im Change-Over auch als Kühlung der Büroräumlichkeiten verwendet. Die Leistungsfähigkeit der Kühlung über den Fußboden ist beschränkt, und daher war es umso wichtiger, die inneren Lasten der Geräte im Raum zu reduzieren und auch die Anwesenheiten der Personen in den Büros nicht maximal über den ganzen Tag anzunehmen. (Hausladen & Tichelmann, 2012) Diese Grenzwerte wurden in der IG-Komponentenliste festgelegt. Auch die Performance des Sonnenschutzes und der Gebäudehülle hatten einen wichtigen Stellenwert. Hier wurde mittels Kühllastberechnung (Verein Deutscher Ingenieure, 2015) und auch Raum- bzw. Gebäudesimulation nachgewiesen, dass die Fußbodenkühlung, bei Verwendung von effizienter EDV und Beleuchtung, für die Kühlung der Räume ausreicht. Dies führte, im Gegensatz zu Kühldecken als Alternative in den Büroräumen, zu Minderkosten. (Schöberl et al., 2014, p. 123)

Variantenstudien mittels IG-Tool

Die Anwendung des IG-Tools im laufenden Planungsprozess war zur Überprüfung der Zielerreichung geeignet und das Tool lieferte in angemessener Zeit (meist am selben Tag oder noch während der Besprechung) valide Aussagen zu verschiedenen Varianten. Für z.B. die Auswahl der Fensterelemente wurde das IG-Tool angewandt. Da die Parameter Wärmedurchgangskoeffizient, Gesamtenergiedurchlassgrad und der Lichttransmissionsgrad im Zusammenspiel mit der Verschattung, Tageslichttransport und deren Regelung einen beträchtlichen Einfluss auf den Heiz-, Kühl- und Beleuchtungsenergiebedarf haben, wurden hier einige Varianten mit dem IG-Tool berechnet und verglichen. Es wurden auch weitere Varianten der Gebäudehülle, wie z.B. der Einsatz von Vakuumdämmung an der Decke über der Durchfahrt des Gebäudes, mit dem IG-Tool berechnet und als Entscheidungsgrundlage verwendet. Wie in Schöberl et al., 2014, pp. 42–52 beschrieben, wurden hier die Varianten gewählt, die die Zielerreichung (Plus)Plusenergiebürohochhaus erfüllten.

Das IG-Tool war und ist ein verlässliches Tool zur Entscheidungsfindung und zur Zielerreichung. Es wurde in der Planungsphase für das Eruiieren des Einsparpotentials folgender Fragestellungen, immer mit der Prämisse die Gesamtenergieeffizienz und die Wirtschaftlichkeit abzuwiegen, angewandt:

- Auswahl der Fenster und deren Parameter bzw. Materialeigenschaften in Anbetracht von Tageslichtquotienten, Steuerung der Raffstore und Tageslichttransport
- Dicke Vakuumdämmung Decke über Durchfahrt Erdgeschoß
- Effizienz der Kernlüftung im Gang und Büro
- Gegenüberstellung Kältemaschinen

- Gegenüberstellung Pumpen
- Potential Serverabwärme
- Vergleich verschiedener Leuchtmittel
- Vergleich von Aufzugsanlagen
- Vergleich von Bewegungsmeldern
- Einsatz verschiedenster Komponenten (EDV, Teeküche und sonstige Geräte)

Bei komplexen Fragestellungen muss das IG-Tool mit Gebäude- und Komponentensimulationen abgeglichen werden. Diese Simulationen sind bei großen Änderungen (Gebäudehülle, Änderung Haustechniksystem) bzw. in den verschiedenen Phasen (Konzeptionierung, Einreichung,...) notwendig. Die Entscheidung, ab wann Simulationen zum Einsatz kommen, liegt in der Verantwortung der IG in Abstimmung mit dem Planungsteam.

Gebäude- und Komponentensimulationen in der Planungsphase

Komponenten- und Gebäudesimulationen sind für die Zielerreichung energieeffizienter Gebäude elementar. Erst eine hocheffiziente Gebäudehülle inklusive effektivem Sonnenschutz ermöglicht es, ein Bauwerk effizient zu betreiben. Die Gebäudesimulation inklusive Anlagensimulation wurde in dieser Arbeit mit der Software BuildOpt_Vie durchgeführt. Buildopt_Vie wurde an der TU Wien am Forschungsbereich für Bauphysik entwickelt und im Zuge von (Korjenic et al., 2011) und (Leeb, Deseyve et al., 2011) validiert.

Neben den Simulationen des gesamten Gebäudes wurden bei diesem Objekt verschiedenste Varianten der Lüftungsanlagen für den Bürobereich Anlage A.05 (1. bis 6. OG) und Anlage A.06 (7. bis 10. OG) simuliert. Folgende Fragestellungen wurden beantwortet:

- Kann eine Lüftungsanlage ohne Heizregister betrieben werden, ohne Komfortverluste zu generieren?
- Welchen Gesamtenergiebedarf kann eine Lüftungsanlage mit Doppelrotationswärmetauschern erreichen?
- Kann ohne Befeuchtung, mittels Doppelrotationswärmetauscher und Sorptionsbeschichtung die relative Luftfeuchtigkeit in den Büroräumen über 30 % gehalten werden?
- Kann durch bedarfsgerechte Lüftung der Gesamtenergiebedarf reduziert werden?

Diese Fragestellungen wurden mittels Gebäude- und Anlagensimulationen beantwortet und sind in Schöberl et al., 2014, pp. 68–79 nachlesbar.

Anreizmodell Ausschreibung

Die IG war auch in der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen sowie bei der Freigabe der Ausschreibungen der wesentlichen Gewerke beteiligt.

Weiters wurde bei allen Ausschreibungen ein Prolog eingefügt, indem das Ziel der Energieverbrauchsminimierung erläutert und verdeutlicht wurde. Außerdem wurde auch auf die Wichtigkeit des Zusammenwirkens zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer hingewiesen um die Ziele gemeinsam zu erreichen.

Die IG war gemeinsam mit den Fachplanern verantwortlich dafür, die effizientesten Systeme, Geräte und Materialien zur Zielerreichung in die IG-Komponentenliste einzutragen.

Um die Auftragnehmer auch in die Pflicht zu nehmen und für das Ziel (Plus)Plusenergiebürohochhaus zu gewinnen, wurden Anreizmodelle entwickelt. Auf Basis der Komponentenliste wurden je Gewerk die wichtigsten Komponenten deklariert und für das Anreizmodell aufbereitet. Die Werte aus der IG-Komponentenliste, die über die gesamte Planungsphase adaptiert und ergänzt wurden, stellten die Grundlage für die Rechenmodelle dar. Es mussten zumindest die Vorgabewerte der Ausschreibung und der Anreizmodelle erreicht werden. Der Anreiz für die Anbieter lag darin, dass bei einer effizienteren Ausstattung der Angebotspreis um 4 % erhöht sein durfte, und man trotzdem den Zuschlag als Bestbieter erhält.

In Tabelle 7 und Tabelle 8 ist als Beispiel das Anreizmodell der Ausschreibung der Fördertechnik dargestellt. Jeder Anbieter hat diese Tabelle als gesperrtes Excel-File erhalten und war angewiesen, die geforderten Grenzwerte zumindest einzuhalten. Bei einer Senkung des Energiebedarfs (bis 3 %) bzw. einer Steigerung der Bremsenergieerückgewinnung (bis 1 %) verbesserte sich der Angebotspreis um die errechnete lineare Interpolation.

Tabelle 7: Anreizmodell Ausschreibung für das Gewerk Fördertechnik – Erstes Kriterium

Erstes Kriterium: Verringerung des Bedarfs						
Einhaltung der Vorgabewerte -> 0%						
3% über die Zielwerte aus der VDI 4707; Werte werden abgefragt:						
ist der Energiebedarf um 20% besser als der Wert des ausgeschriebenen Aufzuges, so verbessert sich das Angebot um 3% (dazwischen wird linear interpoliert).						
Die Energiebedarfsklassen für den Stillstand und für das Fahren nach VDI 4707 Tabelle 3 und Tabelle 4 der ausgeschriebenen Aufzüge stellen den Mindeststandard dar. (Diese Werte werden überprüft)						
Der Bereich F14:F16 und H14:H16 muss befüllt werden!						
Produkt	Stück	Energiebedarf Stillstand	Energiebedarf Stillstand Lt. Bieter	Energiebedarf Fahren	Energiebedarf Fahren Lt. Bieter	
		[W]	[W]	[mWh/(kg.m)]	[mWh/(kg.m)]	
Lift 1	1 Stück	50.00 W	50.00 W	0.56 mWh/(kg.m)	0.56 mWh/(kg.m)	100%
Lift 2	1 Stück	50.00 W	50.00 W	0.56 mWh/(kg.m)	0.56 mWh/(kg.m)	100%
Lift 3	1 Stück	50.00 W	50.00 W	0.56 mWh/(kg.m)	0.56 mWh/(kg.m)	100%
Vergleichswert Gesamt				8083 kWh	8083 kWh	100%
Einsparung gegenüber erstem Vergleichswert in %						0.0%
Verbesserung des Angebotes in % (Erstes Kriterium):						0.0%

Tabelle 8: Anreizmodell Ausschreibung für das Gewerk Fördertechnik – Zweites Kriterium

Zweites Kriterium: Energierückgewinnung				
Einhaltung der Vorgabewerte -> 0%				
Erhöhung der Energierückgewinnung verglichen mit den Werten im LV in Abhängigkeit der Bremsenergieerückgewinnung. ist Energierückgewinnung um 20% besser als der Wert des ausgeschriebenen Aufzuges, so verbessert sich das Angebot um 1 % (dazwischen wird linear interpoliert).				
Die unten angeführten Werte stellen den Mindeststandard dar.				
Der Bereich GH45:GH47 muss befüllt werden!				
Produkt	Stück	Bremsenergieerückgewinnung Mindestanforderung	Bremsenergieerückgewinnung Lt. Bieter	
		[W]	[W]	
Lift 1	1 Stück	70.00 %	70.00 %	100%
Lift 2	1 Stück	70.00 %	70.00 %	100%
Lift 3	1 Stück	70.00 %	70.00 %	100%
Vergleichswert Gesamt		70 %	70 %	100%
Einsparung gegenüber zweitem Vergleichswert in %				0.0%
Verbesserung des Angebotes in % (Zweites Kriterium):				0.0%
Verbesserung des Angebotes in %:				0.0%

In einem Gewerk kam es bei diesem Projekt dazu, dass der Zweitbieter durch das Anbieten effizienterer Geräte den Erstbieter überbot und den Zuschlag bekam.

Folgende Gewerke wurden mit einem Anreizmodell ausgeschrieben:

- Heizung
- Kälte
- Lüftung
- Sanitär
- Elektro
- Fördertechnik
- Brandmeldeanlage

In der Ausschreibung wurde auch darauf hingewiesen, dass die Komponenten im Betrieb gemessen und einem Monitoring unterzogen werden, unabhängig davon, ob es sich um alternative oder ausgeschriebene Komponenten handelt.

Freigaben der IG

In der Planungsphase waren mehrere Freigaben der IG erforderlich. Dies erhöht die Verantwortung, den Stellenwert und den Einfluss der IG im Planungsprozess.

Am Anfang des Planungsprozesses wurde die Einarbeitung der Kennwerte der Fachplaner in die IG-Komponentenliste durch die IG überprüft. Die Überprüfung erfolgte durch die Eingabe und Berechnung der neuen Bedarfswerte im IG-Tool. Bei Abweichung der Bedarfswerte aus der Konzeptionierung wurden Maßnahmen im Jour Fixe oder bei extra einberufenen Terminen mit den jeweiligen Fachplanern diskutiert und Einsparpotentiale eruiert und festgelegt.

Um die Qualität der Planung und die Verbrauchsprognose auch in der Ausführung zu gewährleisten, wurden die Werte der IG-Komponentenliste in die Ausschreibung eingearbeitet. Die

Kennwerte in den Ausschreibungsunterlagen musste von der IG überprüft und die Richtigkeit der selbst erstellten Anreizmodelle validiert werden. Erst nach Freigabe der Unterlagen durch die IG wurden die unterschiedlichen Gewerke ausgeschrieben.

Verbrauchsprognose

Das Ergebnis der Verbrauchsprognose nach der Planungsphase ist in Abbildung 51 ersichtlich. Der Bedarf reduziert sich von ca. 59 auf 50 kWh/m².BGF.a. Dies lag hauptsächlich an der Beleuchtungsenergie und der Weiterentwicklung der LED in den Jahren der Konzeptionierungs- und Planungsphase. Auch der Kühlenergiebedarf und die EDV-Arbeitsplätze wurden überschätzt. Es wurden aber auch Bereiche wie MSR und Kommunikation in der ersten Phase stark unterschätzt.

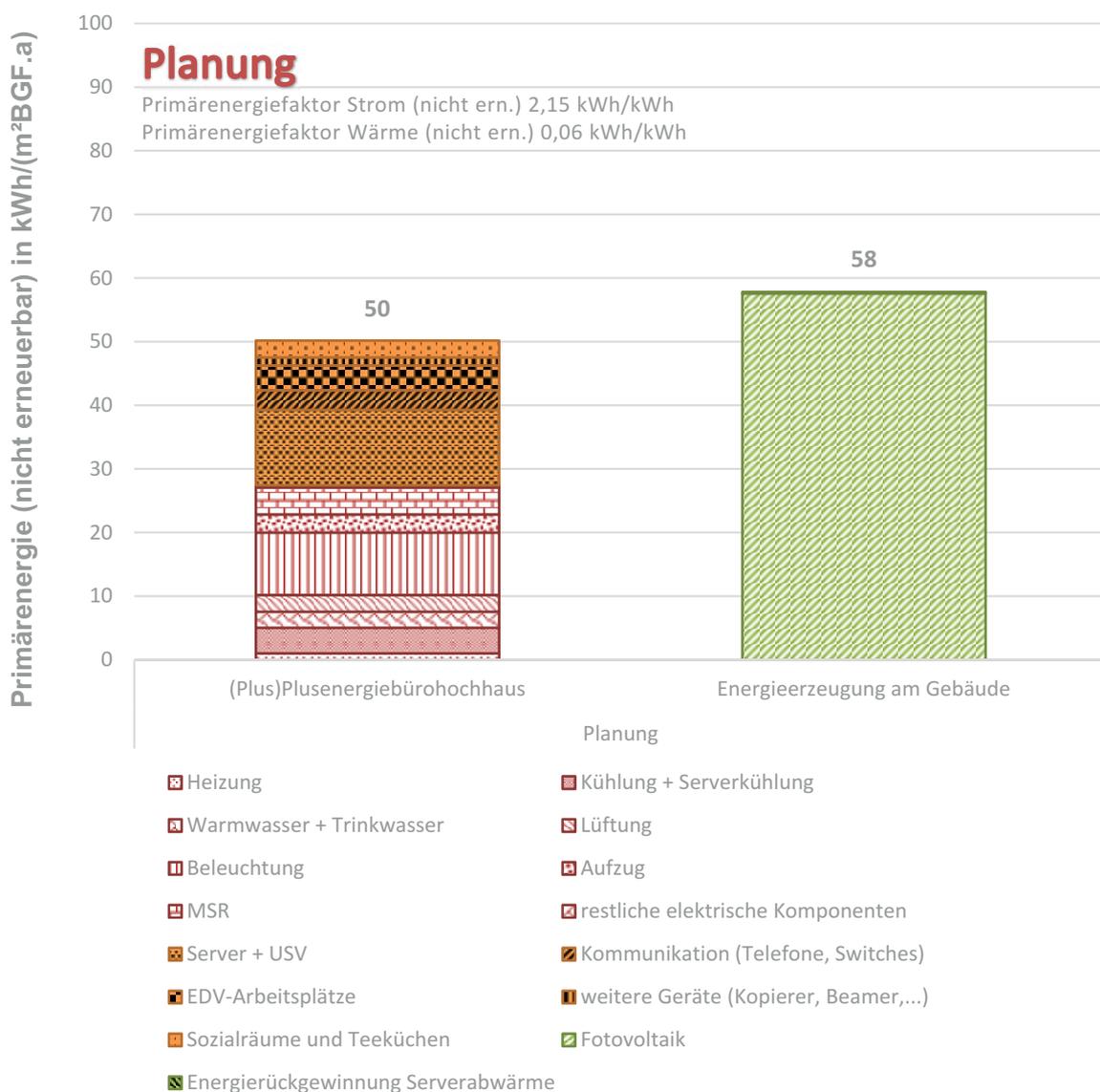


Abbildung 51: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Planungsphase (nicht erneuerbar) (Daten aus David & Bednar, 2018)

Die Reduzierung der erzeugten Primärenergie durch Photovoltaik resultiert aus der Belegung der Nachbardächer (Bauteil BB und BI) in der Konzeptionierungsphase. In der Planung wurde die Vorgabe von der Jury des Forschungsprojektes aufgegriffen und nur die am Gebäude

erzeugte Energie bilanziert. Die Energierückgewinnung durch die Serverabwärme war zwar in der Konzeptionierung nicht bilanziert, schlägt sich in der Planungsphase aber nur mit 0,24 kWh/m².BGF.a nieder.

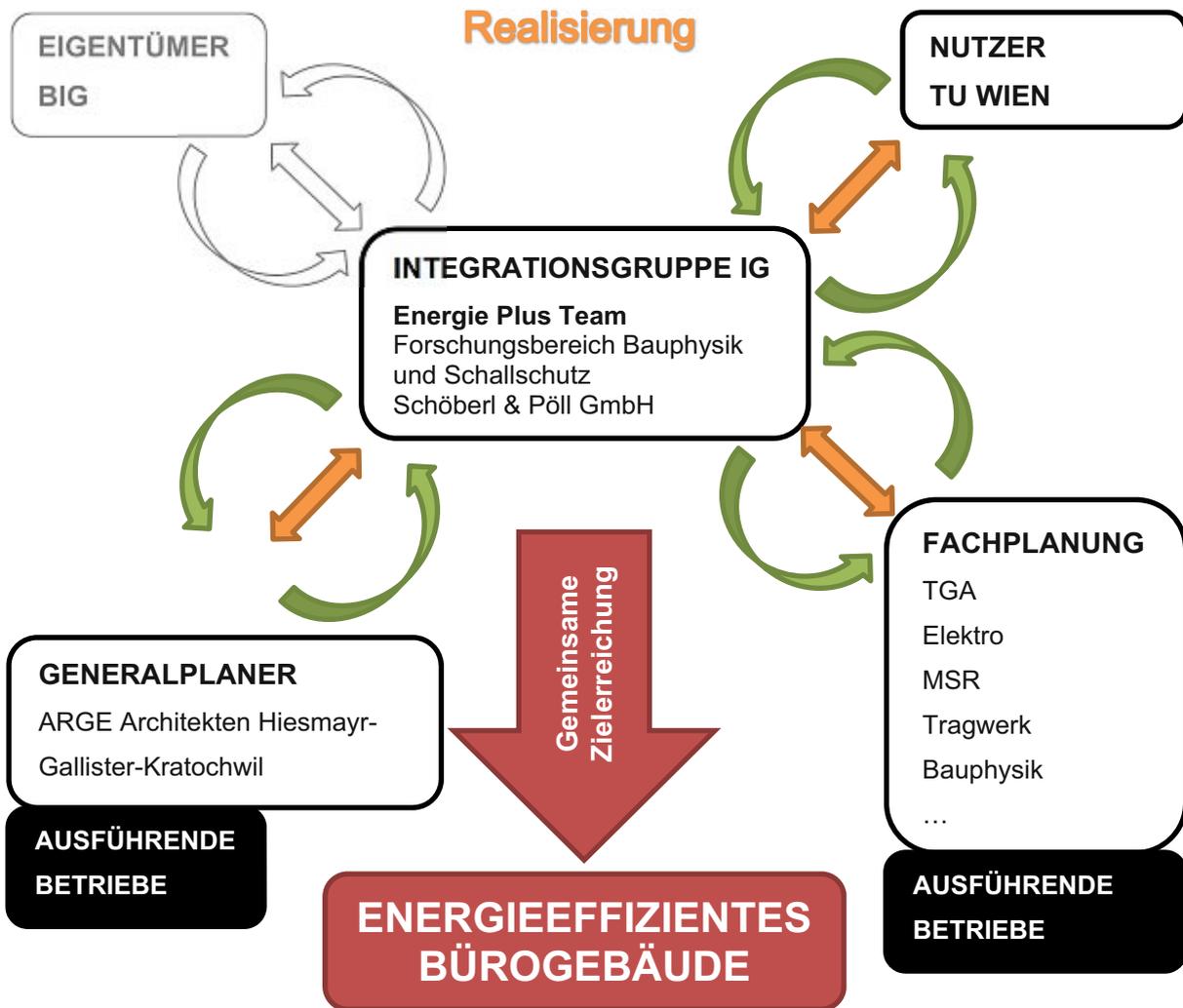
Monitoringkonzept

Die Verbrauchsprognose der Planungsphase muss durch ein Monitoring im realen Betrieb verglichen werden. So wird sichergestellt, dass Optimierungen im realen Betrieb ausgeführt werden können und Fehler der Inbetriebnahme gefunden und gelöst werden. Außerdem werden durch das Monitoring wichtige Erkenntnisse für die Erstellung der Verbrauchsprognosen in den ersten beiden Phasen gewonnen, die für das gesamte Team, aber vor allem für die IG, die im ganzen Prozess beteiligt ist, einen Mehrwert darstellen. Das Monitoring muss auch schon in einer frühen Phase geplant werden und in den Ausschreibungen der einzelnen Gewerke wiederzufinden sein. Das detaillierte Monitoringkonzept ist in Schöberl et al., 2014, pp. 158–159 ersichtlich.

Der Baubeschluss der Eigentümer war das Ende der Planungsphase des (Plus)Plusenergiebürohochhauses und gleichzeitig der Startschuss für die Ausführung.

4.2.3. Die Anwendung der IG in der Realisierungsphase

Die Konstellation des Teams blieb in der Ausführungsphase analog der Planungsphase. Das Team erweiterte sich jeweils um die Ansprechpartner der ausführenden Betriebe. (siehe Abbildung 52) Die Kommunikation des Zieles an die ausführenden Firmen war eine der ersten Aufgaben der IG.



Legende:



Informationsaustausch – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...



Interaktion – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 52: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Realisierungsphase

Wie schon im vorherigen Kapitel beschrieben, sind die Ausschreibungsunterlagen erstellt und veröffentlicht. Der Start dieser Phase ist die Überprüfung der Angebote und die anschließende Vergabe.

Die Aufgaben der IG in der Realisierungsphase liegen in der Begleitung der Umsetzung über alle Gewerke und der Qualitätssicherung im laufenden Bauprozess. Die Qualitätssicherung wurde mit Messungen und der IG-Komponentenliste durchgeführt.

Vor allem bei der Umsetzung des Monitoringkonzeptes war eine umfassende Begleitung notwendig, da die Anlagen im Bauteil BA am Getreidemarkt teilweise die anderen Bauteile mitversorgten und umgekehrt. Hier musste vorab eine klare Trennung gemacht werden, um später ein valides Monitoring zu erhalten.

Angebotsprüfung durch die IG

Standardmäßig werden die Angebote von den ausschreibenden Planern überprüft. Bei diesem Projekt prüfte auch die IG die Angebote. Vor allem alternative Geräte und Komponenten wurden im ersten Schritt durch Sichtung der Datenblätter mit den ausgeschriebenen Komponenten verglichen. Angebote von Alternativen, wie z.B. andere Kombination aus U-Wert und g-Wert der transparenten Fassadenteile wurden mit dem IG-Tool bewertet.

Im Fall der Lüftungsanlage übermittelte ein Bieter alternative Rotationswärmetauscher, die bei der Sichtung der Datenblätter bzw. bei der Kontrolle mit dem IG-Tool zu nicht validen Ergebnissen führte. Hier war es notwendig, den primärenergetischen Vergleich inklusive Beurteilung der Unterschreitungsstunden der relativen Luftfeuchtigkeit mit Hilfe der Gebäude- und Anlagensimulation zu ziehen. In diesem Fall war die ausgeschriebene Variante um ein paar Prozent effizienter als die angebotene Alternative. Ohne Simulation wäre ein valider Abgleich nicht möglich gewesen, und den Bietern konnte klar gezeigt werden, warum welche Variante zur Ausführung kommt.

Qualitätssicherung mit der IG-Komponentenliste

Die IG-Komponentenliste wurde bereits in der Konzipierungs- und Planungsphase für die Qualitätssicherung und den iterativen Austausch zwischen Planern, Ausführenden und der IG in der Realisierung aufgebaut.

Um auf den ersten Blick vergleichen zu können, mussten die Zuständigen der ausführenden Firmen auch die Leistungswerte StandBy und Betrieb eintragen. Somit war es für die IG möglich, den Zeitaufwand bei der Freigabe und der Kontrolle zu minimieren. Die letzten drei Spalten sind zur Freigabe und zum Kommentieren für die IG vorgesehen. In der vorletzten Spalte befindet sich die Kategorie „Messung Handmuster erforderlich?“. Diese Kategorie wurde für die weitere Qualitätssicherung konzipiert, damit die ausführenden Firmen Handmuster für die IG zur Verfügung stellen bzw. Kupplungen zur Messung der Leistungswerte vorbereiten oder zumindest die Zugänglichkeit einzelner Komponenten sichern. Handmuster wurden z.B. für das Raumbediengerät und den Bewegungsmelder zur Verfügung gestellt.

Die Leistungsmessungen der MSR-Komponenten fanden bereits in der Planungsphase vor Ort bei der Firma Sauter statt und mussten nicht mehr im Gebäude aufwändig durchgeführt werden. Bei den Leistungsmessungen wurde z.B. das Potential erhoben, dass die Einzelraumregelungsautomationsstation im Betrieb eine Wirkleistung von 4,65 W aufweist. Bei direkter Anspeisung mit 24 V würden diese Geräte nur 1,66 W aufnehmen. Bei 130 Stück ist das ein Potential von 3405 kWh/a in diesem Gebäude, da Schwachstrom für die Stationen vorhanden gewesen wäre. Aus Gründen der Gewährleistung konnte aber keine direkte Stromversorgung umgesetzt werden. Die Leistungsmessungen der Komponenten wurden von der IG mit dem Leistungsmessgerät Yokogawa WT 210 durchgeführt.

In der Liste kann man auch erkennen, dass die Gewerke nicht komplett trennbar sind. In der Planungsphase waren die Ventile noch beim Gewerk Kälteanlage enthalten und wurden im Zuge der Ausführung zur MSR übertragen.

Qualitätssicherung durch Messungen

Die IG begleitete den Bauprozess und bewerkstelligte die Qualitätssicherung mittels Kontrollen auf der Baustelle. Diese Kontrollen wurden meistens im Zuge der wöchentlichen Jour Fixes durchgeführt und protokolliert. Teilweise wies auch das Team der örtlichen Bauaufsicht auf Mängel bzw. Fehler hin bzw. band die IG in Fragestellungen der ausführenden Firmen mit ein. Wie in Tabelle 9 ersichtlich, wurden manche elektrischen Komponenten von der IG für ein Handmuster ausgewählt. Die Auswahl der IG erfolgte aufgrund relevanter Stückzahl bzw. prognostiziertem Verbrauch oder weil die Komponente nicht extra durch das Energiemonitoring abgedeckt war. Für die Messung wurde das bereits erwähnte Leistungsmessgerät Yokogawa WT 210 angewandt. Es wurden 41 verschiedene Geräte gemessen. Zwei Geräte erreichten die angegebenen Messwerte nicht und wurden von den ausführenden Firmen getauscht. Alle anderen Geräte erreichten oder unterboten die Werte, die in der Planungsphase festgelegt wurden. Teilweise wurden mehrere Geräte über einen Trafo versorgt und daher ergab die Messung die Summe der einzelnen Geräte. Durch die Anwesenheit der ausführenden Firmen während der Messungen konnten diese Diskrepanzen direkt ausgeräumt werden.

Tabelle 9: Auszug aus der IG-Komponentenliste für ein Teil des Gewerkes Kälteanlage in der Realisierungsphase

Nachweis	Kälteanlage:	Fabrikat	Type	Menge (Stk.)	Vorlage Datum	Stromverbrauch Standby (kW*h-1)2	Stromverbrauch Betrieb (kW*h-1)	Standby-Liste Planung - restliche Geschoße ohne Audmax Menge (Stk.)	Standby-Liste Planung - HDZ+ Bereich Menge (Stk.)	Standby-Liste Planung Betrieb	Standby-Liste Planung Standby	Datenblatt Betrieb	Datenblatt Standby	Gesamterverbrauch pro Jahr [kWh.a]	3 bis 10 Bürogesc hoße-Verbrauch pro Jahr [kWh.a]	Freigabe	Messung Handmusterfordnerlich?	Anmerkung Bemusterung
Datenblatt	Regelventile gr. Wassermengen	nicht im Lieferumfang enthalten								36 W	2,5 W			x	x			wo enthalten? MSR
Datenblatt	Kältepumpen Kühlturm - Kreis drehzahleregelt	Wilo	GIGA 100/1-27/4,5	2			7.500	1	0	1.600	0.000	7.500	kA	x	x	ja	nein	MEI Forderung Richtung 0,7; Übermittlung MEI-Wert ausständig
Datenblatt	Kältepumpen Kältemaschine - Kreis - VL drehzahleregelt	Wilo	Giga 80/1-16/1,9	3			2.200	2	0		0.000	1.900	kA	x	x	ja	nein	MEI Forderung Richtung 0,7
Datenblatt	Kältepumpen Verteiler - Kreis - RL drehzahleregelt	Wilo	GIGA 65/1-8/0,6	3			0.600	2	0		0.000	0.600	kA	x	x	ja	nein	MEI Forderung Richtung 0,7
Datenblatt	Kältepumpen RG 01 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 30/1-8	2			0.130	2	0	0.050	0.000	0.130	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Kältepumpen RG 02 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 40/1-10	2			0.190	2	0	0.060	0.000	0.190	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Kältepumpen RG 03 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 32/1-12	2			0.310	2	0	0.300	0.000	0.310	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Kältepumpen RG 04 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 40/1-10	2			0.190	2	0	0.280	0.000	0.190	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Kältepumpen RG 05 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 30/1-10	2			0.190	2	0	0.220	0.000	0.190	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Kältepumpen RG 06 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 50/1-12	2			0.590	2	0	0.240	0.000	0.590	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Kältepumpen RG 07 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 80/1-12	1			1.500	2	0	0.780	0.000	1.500	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Kältepumpen RG 08 - drehzahleregelt	Wilo	Stratos 40/1-12	1			0.470	2	0	0.450	0.000	0.470	kA	x	x	ja	nein	EEI < 0,23
Datenblatt	Drosselventile Verteiler	nicht im Lieferumfang												x	x			wo enthalten? MSR
Datenblatt	Regelventile am Kleinverteiler	nicht im Lieferumfang												x	x			wo enthalten? MSR
Datenblatt	Kühlaggregate Serverraum	SkyStar	SK-52	4			0.044	4	0	990 W	3 W	0,042 - 0,12		1541.760	0.000	ja	nein	Standbywert fehlt, Laufzeit 8760h/a, FUNKTION? Raumkühlung U1 G24 ZID
Datenblatt	Druckhalteanlage	Eder	MCK-S75	7			4	800.000	kA	kA	kA	siehe Datenblatt		1081.1	617.8	ja	nein	Betrieb 150h/a, Standby 8610h/a
Datenblatt	Druckhalteanlage	Eder	MCK-S500	1			4	800.000	kA	kA	kA	siehe Datenblatt		154.4	0.000	ja	nein	Betrieb 150h/a, Standby 8610h/a

Die Qualitätssicherung war vor allem bei der Luft- und der Winddichtheit der Fassade relevant. Es wurden viele Untersuchungen und Messungen während und am Ende der Ausführung der Fassade mittels Blower-Door durchgeführt. Gemeinsam mit der Fassadenfirma wurde vereinbart eine Testfassade zu bauen. Das Fensterelement selbst wurde mit der A-Wertmessung gemessen und erreichte die Anforderung von $q_{50} \leq 0,40 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (Schöberl et al., 2014, p. 157) Alle weiteren Anschlüsse wurden mittels Leckageortung (Blower-Door, Rauch, Thermographie) untersucht. Die Fassadenbaufirma war bei der Untersuchung anwesend und optimierte die weitere Vorgehensweise. Im Bereich der punktuellen Konsolen traten die größten Undichtigkeiten auf, diese konnten aber durch die Messungen eruiert und behoben werden. Nach Fertigstellung der Fassade in einem weiteren Geschoß wurden weitere Blower-Door-Messungen durchgeführt. Die Auftragnehmer wurden im Vorfeld nicht über die Position der weiteren Messungen informiert, um die Qualität am gesamten Gebäude zu sichern. Nach der Fertigstellung der Fassade wurde noch eine Luftdichtheitsmessung des gesamten Gebäudes durchgeführt. Die Messwerte entsprachen, nach Verbesserungsarbeiten in den Liftschächten und im östlichen Stiegenhaus, den geforderten Grenzwerten. ($n_{50} \leq 0,09 \text{ 1/h}$)

Weiters wurde die Ausführung der Fassade hinsichtlich Wärmebrücken ebenfalls mittels örtlichen Begehungen und Thermographieaufnahmen kontrolliert.

Um die Effizienz der Lüftungsanlage zu gewährleisten, wurde auch die Dichtheit der Leitungen inklusive Einbauten ermittelt. Die Luftdichtheit der Luftleitungen wurden mittels Messinstrument Panda Light durch die IG gemessen. (Schöberl et al., 2014, pp. 81–82) Auch die ausführende Firma führte Messungen durch und erreichte während der Ausführung um circa 30 % bessere Werte (Mindestwerte wurden immer eingehalten) Die Verbesserung wurde durch die Verwendung anderer Materialien zur Abdichtung der Luftleitungen erreicht. Dies ist ein sehr gutes Beispiel, wie Qualitätssicherung im laufenden Bauprozess zu Know-How-Gewinn im ausführenden Unternehmen und gleichzeitig zu besseren Ergebnissen führt.

Durch die verschiedenen Messungen war es möglich, die Qualität während des Bauprozesses zu sichern. Durch die Mitarbeit der IG in den vorhergehenden Phasen war schon umfassendes Wissen über Geräte und Details vorhanden. Dies hatte den Vorteil, dass bei der Durchführung der Messungen durch die IG, die relevanten Geräte bzw. die Schwachstellen schon bekannt waren.

Inbetriebnahme inkl. Mängelbehebung plus Verbrauchsprognose und erste Auswertungen des Monitorings

Die Inbetriebnahme des Gebäudes plus Einzug der ersten Institute erfolgte im August 2014. Die Einregulierung und Mängelbehebung und auch das Monitoring wurde ab diesem Zeitpunkt gestartet. Die Behebung der offensichtlichen Mängel wurde von der örtlichen Bauaufsicht durchgeführt. Die verdeckten Mängel hinsichtlich Energieeffizienz wurden von der IG mit Hilfe

des installierten Monitorings in der Betriebsphase gemeinsam mit der Nutzervertretung behoben.

Wie in Abbildung 53 ersichtlich lag der Verbrauch bei 84 kWh/m².BGF.a. Dies ist um 68 % mehr als in der Planungsphase prognostiziert. Die erzeugte Energiemenge kam in Wirklichkeit 4 % unter der Prognose zu liegen. Den größten Unterschied machten die EDV-Arbeitsplätze mit rund 14 kWh/m².BGF.a und die Kühlung bzw. die Lüftung mit je ca. 6 kWh/m².BGF.a aus.

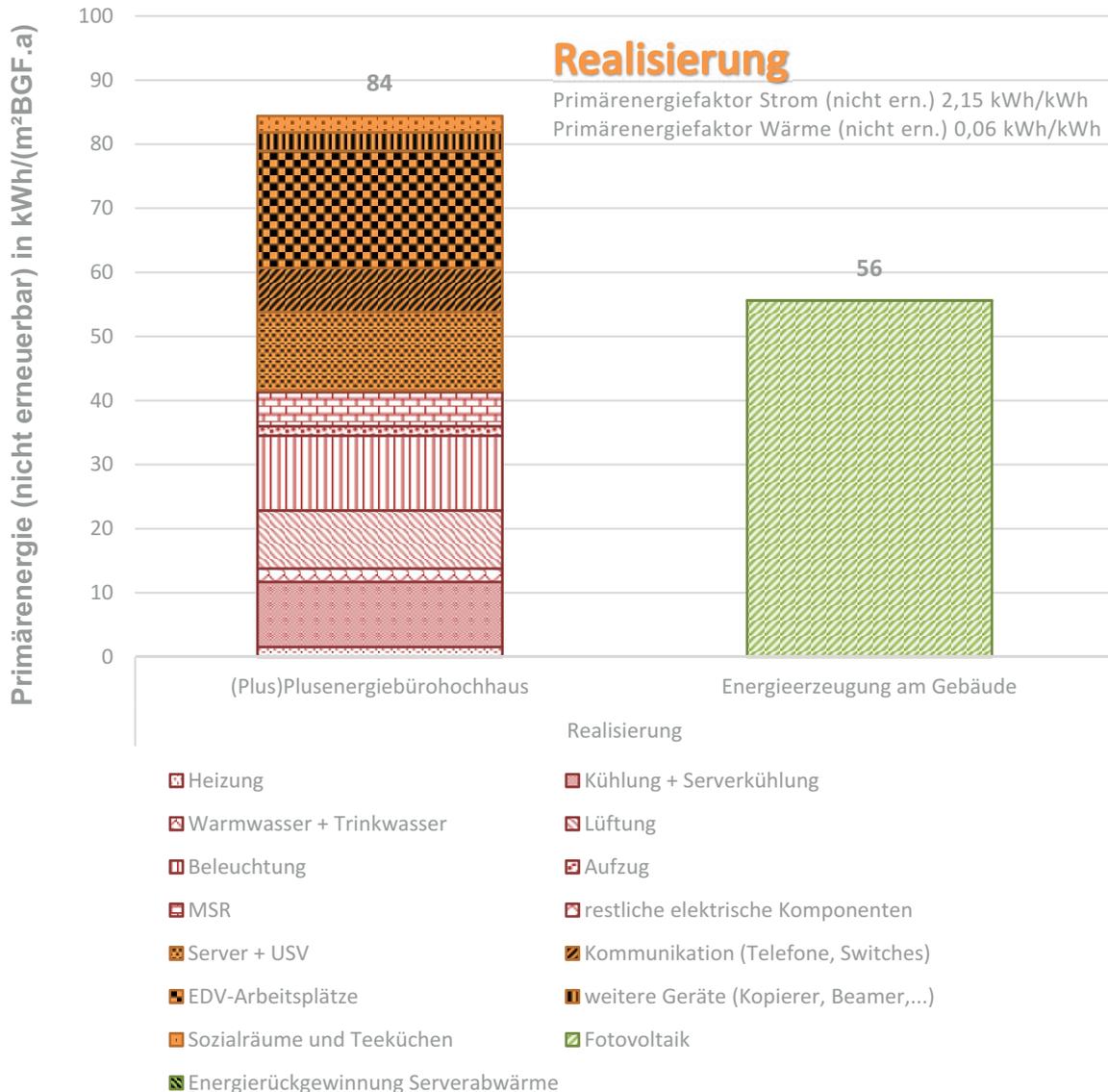
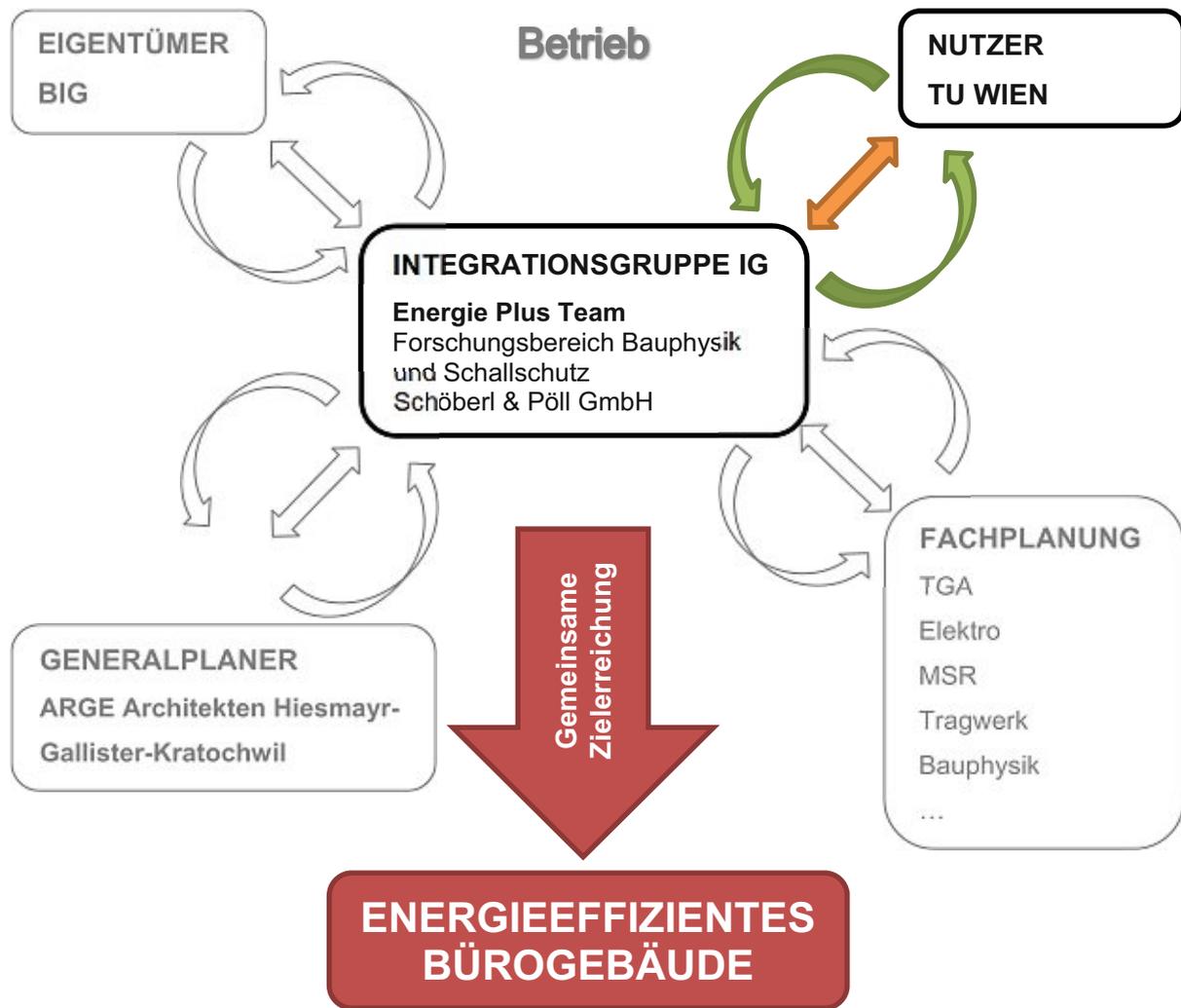


Abbildung 53: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Realisierungsphase (nicht erneuerbar) (Daten aus David & Bednar, 2018)

Trotz der intensiven Qualitätssicherung, Messung und der iterativen Freigaben ab der Planung über alle Gewerke, wichen die Verbrauchsprognose und der tatsächliche Verbrauch außerordentlich ab. Diese Unterschiede wurden von der IG in David & Bednar, 2018 und David, Leeb, & Bednar, 2017 aufbereitet und mittels des Monitoring aufgeschlüsselt. Die Erläuterungen und Optimierungen zu den Abweichungen werden im nächsten Kapitel 4.2.4 beschrieben.

4.2.4. Die Anwendung der IG in der Betriebsphase

Die Betriebsphase zeichnet sich durch die Zusammenarbeit der Nutzer vertreten durch die TU GUT (Gebäude und Technik) und der IG aus. (siehe Abbildung 54) Die Eigentümer sind noch durch das Objektmanagement Team und die Betriebsführung vertreten. Die örtliche Bauaufsicht und das Unternehmen der MSR werden bei der Mängelbehebung bzw. Optimierung eingebunden.



Legende:



Informationsaustausch – z.B.: Rahmenbedingungen, Kriterien, Normen, Komponenten, ...



Interaktion – Ergebnisse Berechnungen, Variantenstudien, Simulationsergebnisse, Abschätzungen IG Tool, ...

Abbildung 54: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Betriebsphase

Durch die großen Abweichungen zwischen Prognose und tatsächlichem Verbrauch war hier eine umfassende Beschäftigung mit dem Thema notwendig. Zusätzlich zu dieser Herausforderung kam noch gleichzeitig zur Einregulierung der Einzug der Institute und der Start des Studierendenbetriebes zwei Monate später. Erschwerend kam hinzu, dass das gesamte Monitoringsystem selbst mehrere Monate in Verzug war und erst im Februar 2015 vollständig in Betrieb ging.

Mängelbehebung

Die meisten Mängel gehen auf die Einregulierung und die Gebäudeautomation zurück. Nach der Umprogrammierung einzelner Steuerungen, Neukonfigurierungen, Feinjustierung und einer Nachregulierung waren die Mängelmeldungen der Nutzerinnen und Nutzer auf ein Minimum reduziert und die Einregulierung nach einem Jahr abgeschlossen. Die Mängelmeldungen betrafen die Bereiche Bewegungsmelder, Beleuchtung, Jalousien, Raumbediengerät, Raumtemperatur zu kalt oder zu warm und die Luftqualität. (David & Bednar, 2018, p. 9) Also waren alle Bereiche der thermischen, hygrischen und visuellen Behaglichkeit betroffen.

Die Mängelmeldung „Raum zu warm“ ist am öftesten genannt worden. Dies lag an mehreren Ursachen. Erstens wurde die Nachlüftung erst im Mai 2015 in Betrieb genommen, zweitens musste die Fußbodenkühlung nachreguliert werden. Aber der Hauptgrund für diese Mängelmeldung war, dass die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Institute nicht wie anfangs geplant, mit den effizienten EDV-Geräten in das (Plus)Plusenergiebürohochhaus gezogen sind, sondern die ineffizienten Geräte mitgenommen haben. Weiters wurden die nötigen Rechenleistungen und die daraus resultierenden Energieverbräuche von der IG unterschätzt. Diese ineffizienten Geräte erhöhten die inneren Lasten und somit auch die Raumtemperaturen, da die Fußbodenkühlung nur auf geringe Lasten und effiziente Geräte ausgelegt worden war.

Diese EDV-Geräte verursachten auch den großen Unterschied zwischen Prognose und erster Messung. Wie in Abbildung 55 erkennbar, sind die ineffizienten EDV-Geräte hauptauschlaggebend für die Erhöhung des Verbrauchs und wirken sich auch negativ auf die inneren Lasten aus.

Die weiteren Gründe sind in der Abbildung 55 erkennbar und detailliert kann die Ursachenfindung in David & Bednar, 2018 nachgelesen werden.

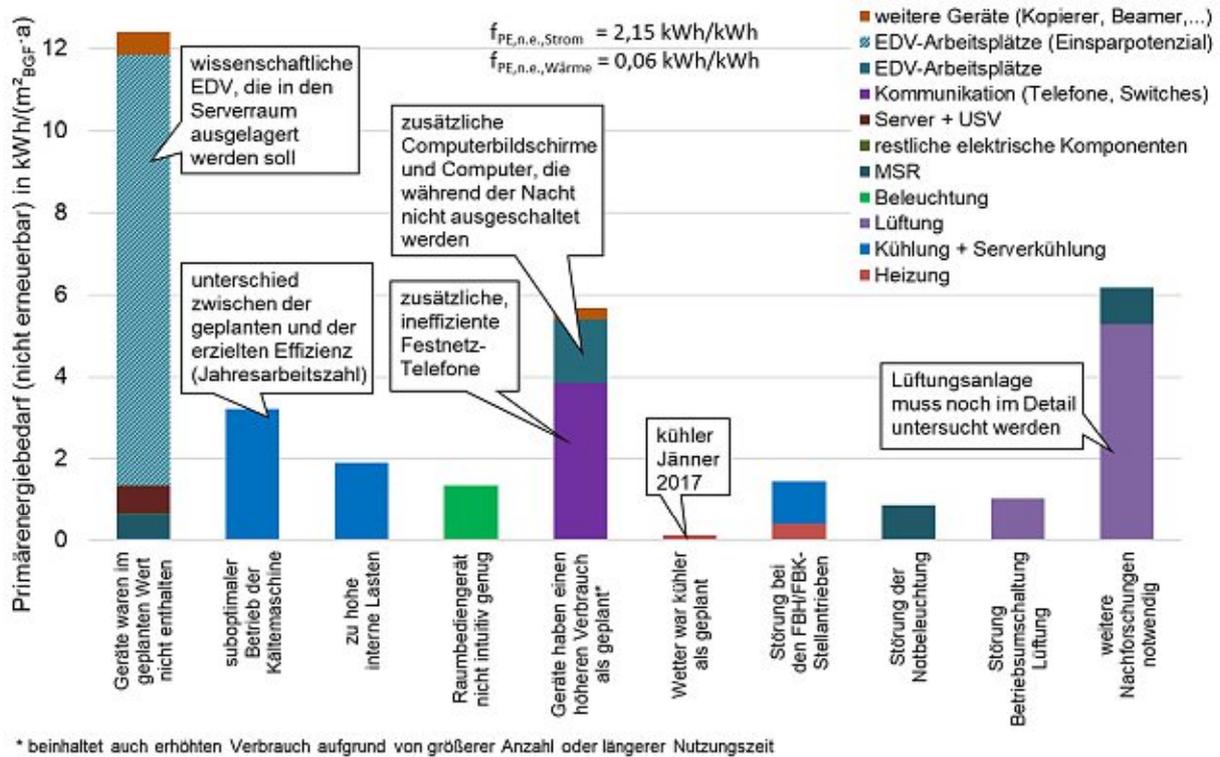


Abbildung 55: Darstellung der zusätzlichen Energieverbräuche in den einzelnen Verbraucherkategorien (Differenz von Monitoring zu technologischem Potenzial der Planung; Primärenergie, nicht erneuerbar) während dem Jahr 2017, aufgeschlüsselt nach Ursachen) (David & Bednar, 2018)

Optimierung

Die Optimierung des (Plus)Plusenergiebürohochhauses läuft seit dem Einzug und ist noch nicht abgeschlossen. Die EDV-Ausstattung wird ständig ausgetauscht und verbessert und eine Senkung des Energiebedarfs ist bereits sichtbar. (siehe Abbildung 56) Stockwerk A wurde bereits bei dem Einzug mit energieeffizienten Geräten ausgestattet. Dies erfolgte um gegenüber den anderen Stockwerken das Austauschpotential der Geräte aufzuzeigen. Es ist außerdem in Abbildung 56 ersichtlich, dass einige Stockwerke bereits einen ähnlichen verminderten Verbrauch aufweisen wie Stockwerk A und dass die Energieeffizienzmaßnahmen greifen.

Im Bereich der Lüftungsanlage (Wagner, Hoefker, & Lützkendorf, 2015) liegt noch ein hohes Potential, welches weiteren Nachforschungen bedarf.

Werden die in David & Bednar, 2018 aufgezeigten Potentiale noch gehoben, ist der Verbrauch noch immer um ca. 18 % höher als die Prognose nach der Planung. Das Ziel ein (Plus)Plusenergiebürohochhaus zu bauen würde ganz knapp nicht erreicht werden. Dies liegt an dem vermehrten Einsatz nicht geplanter EDV-Leistung und dem Einsatz ineffizienter und zusätzlicher Festnetztelefonie. (siehe Abbildung 57)

durchschnittlicher täglicher Energieverbrauch je Monat und Stockwerk in kWh/d

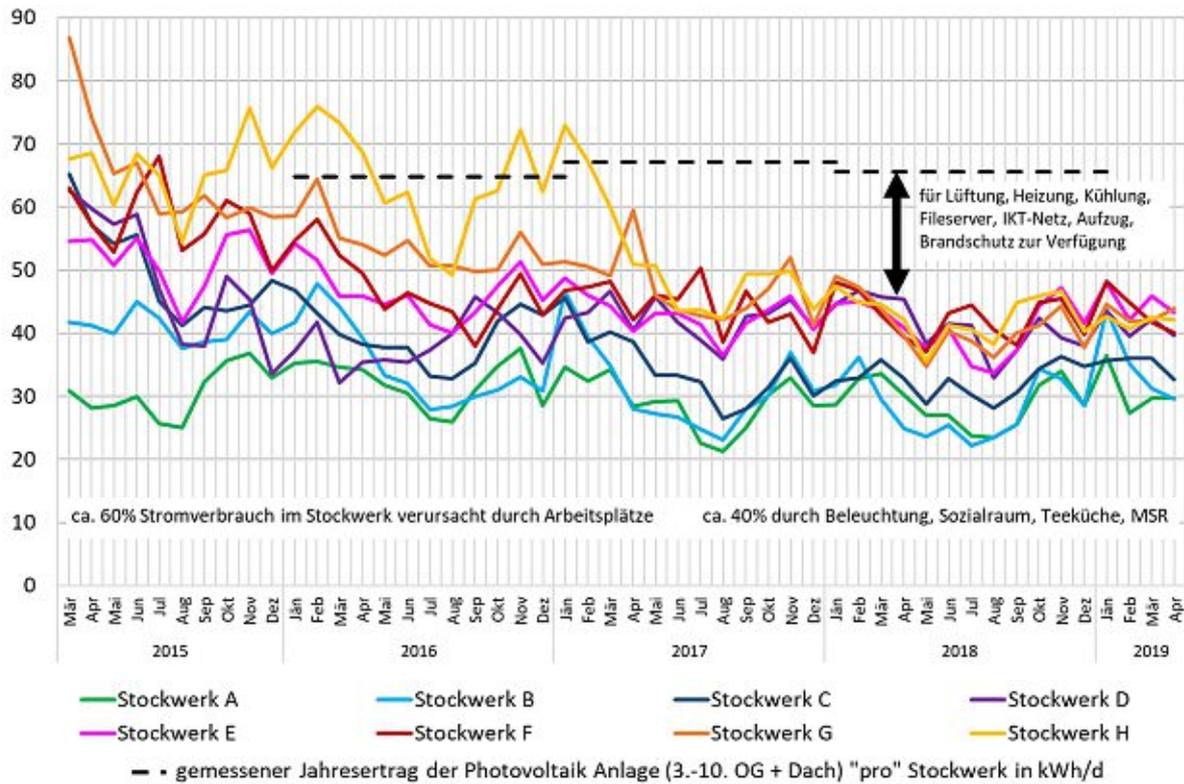


Abbildung 56: Darstellung der Verbräuche der Stockwerke seit der Inbetriebnahme (David & Bednar, 2019)

Monitoring

Ohne das vorhandene Monitoring könnten keine oder nur kleine Optimierungen vorgenommen werden, da keine Unterteilung möglich ist und es nachträglich und mobil schwer möglich ist valide Aussagen zu treffen. Anhand diesem Projekt ist ersichtlich, dass durch das Monitoring und die IG der Performance Gap zwischen der Planungsphase und der Realisierungsphase nahezu eliminiert wird, wenn alle Einsparpotentiale ausgeschöpft werden. (siehe Abbildung 57) Somit ist ein Monitoringkonzept elementar für eine Mängelbehebung bzw. eine Optimierung im Betrieb. Die Genauigkeit des Monitorings beim (Plus)Plusenergiebürohochhaus war für die wissenschaftlichen Fragestellungen richtig konzipiert, wies aber auch kleine Fehler bzw. Ungenauigkeiten auf. Die Bremsenergie rückgewinnung des Aufzuges wurde nie installiert und wird immer gleich direkt von den Aufzügen verbraucht. Daher kann keine Aussage über die Effizienz der Bremsenergie rückgewinnung getroffen werden.

Die Genauigkeit des Monitorings bei ähnlichen Fragestellungen kann etwas reduziert werden. Es reicht, die wesentlichen Verbraucher getrennt zu erfassen um Aussagen für Optimierungen treffen zu können. (Steiner et al., 2014, p. 8) Es hängt aber auch immer von der Zielsetzung ab, welche Zählpunkte notwendig sind.

In der Betriebsphase war die IG gemeinsam mit der Betriebsführung und der Nutzervertretung und unterstützt durch das Monitoring, federführend an der Behebung der Mängel und der Optimierung beteiligt.

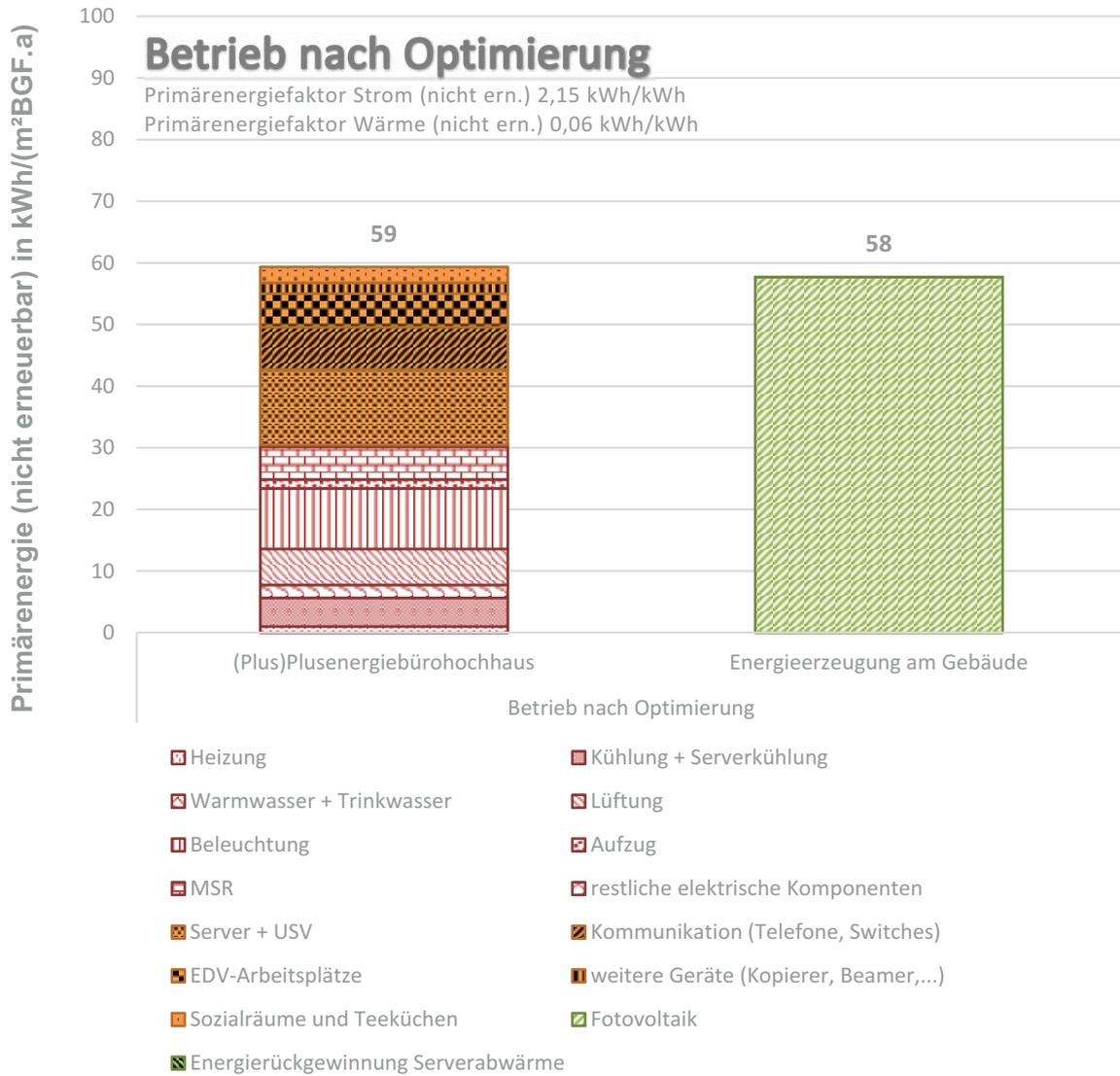


Abbildung 57: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Betriebsphase nach Hebung aller Optimierungspotentiale (nicht erneuerbar) (Daten aus David & Bednar, 2018)

Einfluss Belegung

Eine Erhöhung der Belegungsdichte der Personen in Bürogebäuden hat einen sehr großen Einfluss auf den Energieverbrauch, da mehrere Parameter direkt oder indirekt davon betroffen sind. Der Stromverbrauch für die Beleuchtung, da sich die Fläche der Sehaufgabe vergrößert, und die EDV-Arbeitsplätze, weil die Anzahl der Geräte erhöht wird, steigt. Der höhere Stromverbrauch wirkt sich direkt auf die inneren Gewinne aus und daraus resultiert ein Anstieg des Kühlenergieverbrauchs bei gleichzeitigem Senken der Heizenergie. Bei den verwendeten Primärenergiefaktoren wirkt sich die Senkung der Heizenergie primärenergetisch kaum aus. Das geförderte Luftvolumen der Lüftungsanlage wird größer und die Energie für den Betrieb der Lüftungsanlage steigt. (Leeb, 2009, p. 106)

Am Getreidemarkt wurde durchschnittlich mit einer Belegungsdichte von 8,3 m² je Person (Nutzfläche) geplant. Die Vorgaben der Arbeitsstättenverordnung in Österreich lassen eine Belegungsdichte von 8 m² für die erste Person und 5 m² für jede weitere Person je Raum zu.

(AStV Arbeitsstättenverordnung, 2019) Die Belegungsdichte kann somit eklatant erhöht werden.

Folglich ist für die IG das Wissen über die Belegungsdichte elementar um Optimierungspotentiale im Betrieb zu beziffern.

4.2.5. Vergleich Prognose und Verbrauch der Phasen

In diesem Kapitel werden die Bedarfs- bzw. Verbrauchswerte und die erzeugte Energie am Ende der einzelnen Phasen verglichen. Die Werte in der Konzeptionierungsphase sind aufgrund der geringen Kenntnisse grob angenommen worden. (siehe Abbildung 58) So war es möglich, das Ziel der Konzeptionierung in der Planungsphase noch um ca. 15 % zu senken.

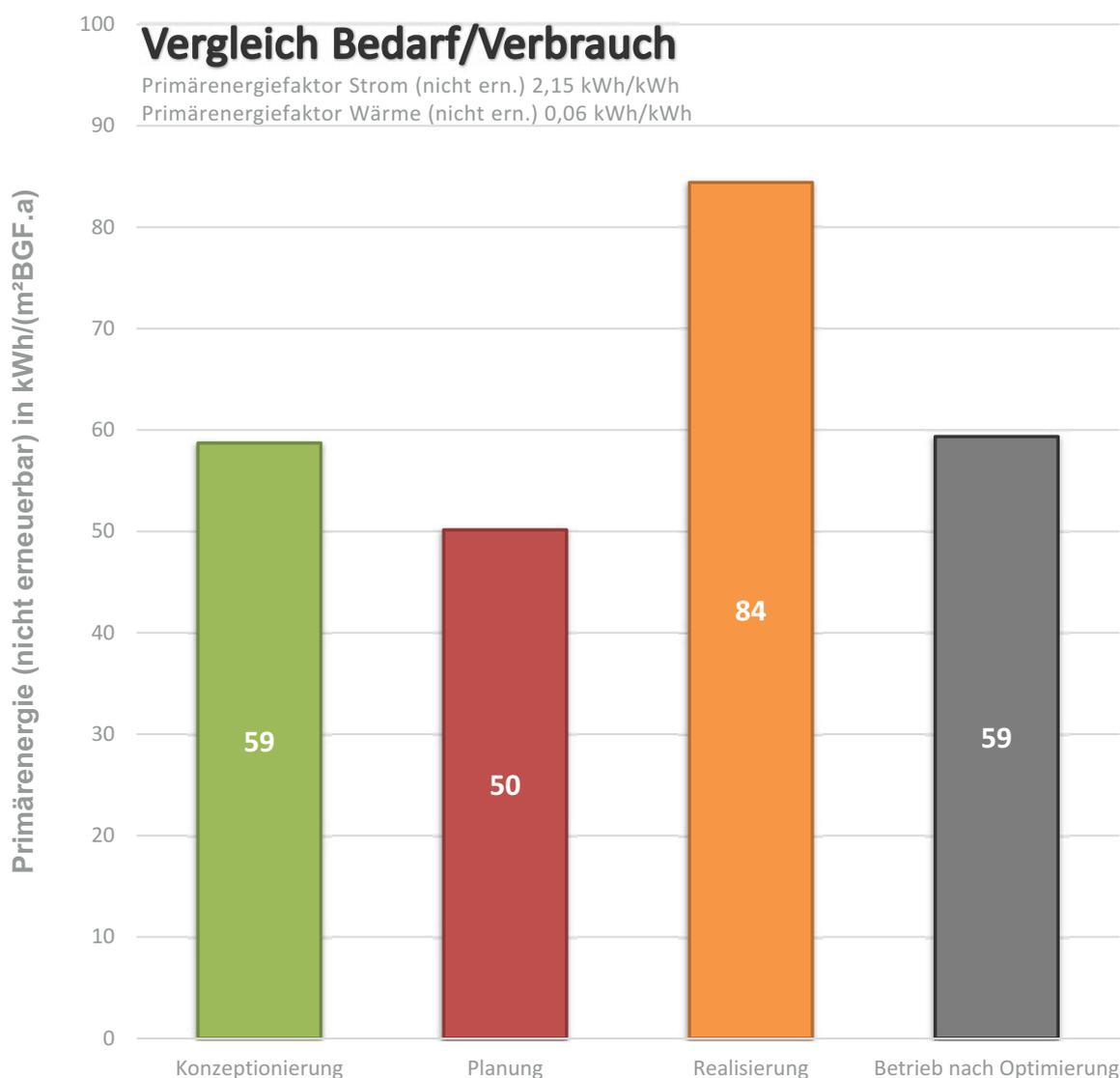


Abbildung 58: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und –verbrauchs in den einzelnen Phasen (nicht erneuerbar) (Daten aus Schöberl et al., 2009 bzw. David & Bednar, 2018)

Nach der Realisierung ergab sich ein Anstieg des Verbrauchs um annähernd 68 % zur Planungsphase und dies trotz erhöhtem Augenmerk auf die Qualitätssicherung im Ausführungsprozess. Wie schon in Kapitel 4.2.3 erläutert, resultiert dieser Unterschied aus der Verwendung der vorhandenen EDV-Infrastruktur der einzelnen Institute und des erhöhten Verbrauchs der Lüftungsanlage, der Kommunikation und der Kältemaschine. Nach weiterer Mängelbehebung und Optimierung im laufenden Betrieb und dem Austausch der bestehenden EDV-Ausstattung mit effizienten Geräten kann in der Betriebsphase eine Senkung des Verbrauchs von ca. 25 kWh/m².BGF.a oder ca. 30 % erreicht werden. Aus dieser Abbildung 58 ist ersichtlich, wie wichtig das Monitoring und die laufende Mängelbehebung bzw. Optimierung im Betrieb sind. Beim Vergleich der Erzeugung am Gebäude (siehe Abbildung 59) ist die Reduktion von der Konzeptionierung zur Planung mit ca. 34 % erkennbar.

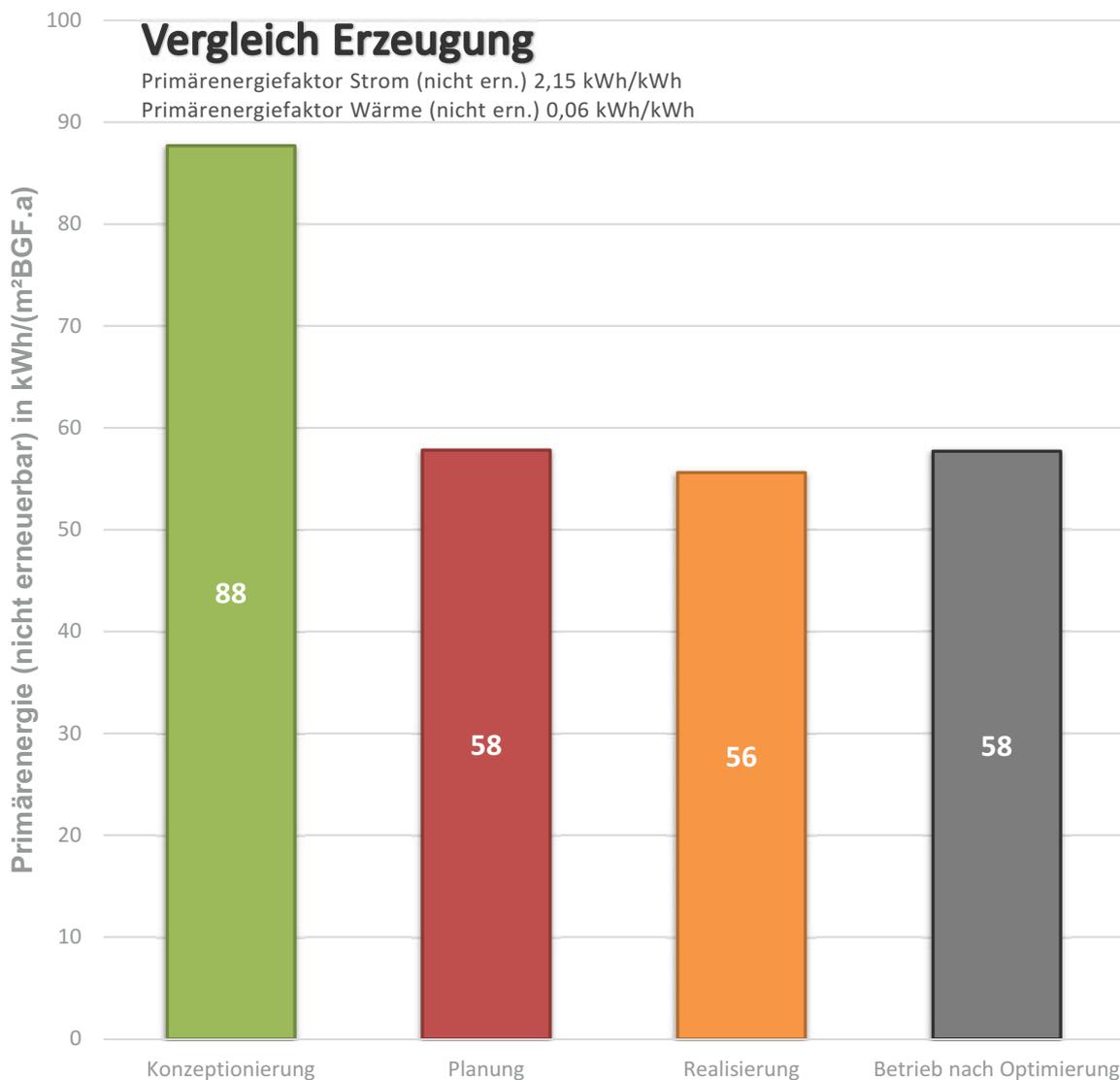


Abbildung 59: Gegenüberstellung der Primärenergieerzeugung den einzelnen Phasen (nicht erneuerbar) (Daten aus Schöberl et al., 2009 bzw. David & Bednar, 2018)

Wie schon in Kapitel 4.2.1 beschrieben, waren in diesem Fall keine Unter- oder Überschätzungen der IG und des Planungsteams dafür verantwortlich, sondern der Umstand, dass auch

die Photovoltaikanlage zweier Nachbardächer in die Bilanz aufgenommen wurde. Die Erzeugung am Gebäude zwischen der Planungs- und Betriebsphase unterscheidet sich nicht. Nur nach der Realisierung lag die Erzeugung um etwa $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{BGF} \cdot \text{a})$ unter der prognostizierten Primärenergie. Auch bei der Erzeugung am oder im Gebäude hatte das implementierte Monitoring inklusive Optimierung durch die IG einen positiven Einfluss auf die erzeugte Primärenergie und der Unterschied konnte ausgeglichen werden.

Das Monitoring inklusive Optimierung der IG, der Nutzervertretung und der Betriebsführung wird noch weitergeführt und weitere Potentiale werden erhoben und umgesetzt.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

Der „Performance Gap“, der Mehrverbrauch im realen Betrieb gegenüber dem prognostizierten Verbrauch, kann mit der der Adaptierung der Planung und der Einbindung der Integrationsgruppe IG in den Planungsprozess eliminiert werden. Die Anwendung der Werkzeuge IG-Tool, IG-Komponentenliste und Gebäude- bzw. Komponentensimulationen stellt die Qualität im Planungsprozess sicher.

Ein vorzeitig geplantes Energiemonitoring ist für energieeffiziente Bürogebäude zur Mängelbehebung und für eine weitere Optimierung im Betrieb unabdingbar. Das Monitoringkonzept muss mit dem definierten Ziel übereinstimmen, um detaillierte Aussagen treffen zu können.

Die IG steht im Mittelpunkt des Planungsprozesses und sammelt, überprüft und gibt Komponenten, Anlagen und Bauteile frei. Mit dem gesamtheitlichen IG-Tool werden Varianten- und Machbarkeitsstudien erstellt und es wird überprüft, welche Auswirkungen alternative Produkte oder Anlagen haben. Die Kommunikation und der Informationsfluss plus Verantwortungen werden im Vorfeld geregelt und vertraglich festgesetzt.

Die Einbindung der Nutzerinnen und Nutzer so bald wie möglich, zumindest ab der Planungsphase, generiert erhebliche Vorteile hinsichtlich Prognosemodell und Auslegung der gebäudetechnischen Komponenten.

Die klare Zieldefinition gemeinsam mit der Investorengruppe in der Konzeptionierung ist ein wesentlicher Baustein zur Zielerreichung. Durch Bedarfspläne, Pflichtenhefte und der IG-Komponentenliste wird zu einem frühen Zeitpunkt detailliert der Grundstein für eine Zielerreichung gelegt. In der Planungsphase entwickelt die IG gemeinsam mit dem Projektteam Varianten und das beste Ergebnis der Variantenstudie wird ausgeschrieben. Bei der Ausschreibung ist die Anwendung von Anreizmodellen ein probates Mittel um effizientere Gebäude zu erhalten und die ausführenden Firmen schon bei der Angebotslegung für die Idee zu gewinnen. Die Realisierungsphase ist geprägt von Qualitätssicherung während und bei der Inbetriebnahme inklusive Freigabe aller Komponenten. Auch die messtechnische Untersuchung einzelner Komponenten ist für die Zielerreichung maßgebend. Bei der Inbetriebnahme und der Betriebsphase kommt das vorher erwähnte Monitoring verstärkt zum Einsatz, um Realität und Prognose abzugleichen bzw. Mängel der Anlagen zu beheben. Weiters wird das Gebäude im Betrieb laufend optimiert.

Durch diese Methode wird ab der Konzeptionierung eine Verbrauchsprognose erstellt und über die Planungs-, Realisierungs- und Betriebsphase geführt, angepasst und detailliert. Aufgrund des ständigen Abgleiches werden die Abweichungen beziffert bzw. Varianten werden hinsichtlich der Zielerreichung überprüft. Bei der Anwendung der Methode am Beispielprojekt konnten die Zielwerte (59 kWh/m².a) aus der Konzeptionierung nach der Optimierung im Betrieb eingehalten werden. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf nach Abschluss der

Planung war um $9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ geringer als in der Konzeptionierung. Ein Performance Gap stellte sich nach der Realisierung ein und aufgrund erhöhter Verbräuche stieg der Primärenergiebedarf um $34 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ auf $84 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ an. Durch die Begleitung der IG und dem Energiemonitoring konnte der Performance Gap wieder eliminiert werden.

Schwächen in der Erweiterung der integralen Planung durch die Einbindung der IG liegen vor allem im Bereich der Kommunikation bzw. der fehlenden Kommunikation. Die zusätzliche Sammlung der Daten in einer IG-Komponentenliste ist durchaus fehleranfällig und teilweise konnten die handelnden Personen der Firmen den Sinn und Zweck der Liste nicht nachvollziehen, da dieser zu wenig kommuniziert wurde. Dies wirkte sich auf die Qualität und Vollständigkeit der Daten aus. Außerdem ist das Wissen des Strombedarfs von Komponenten bei den ausführenden und planenden Firmen und auch den Herstellern mangelhaft. Nur etwa 20 % gaben im ersten Schritt richtige Informationen an. Teilweise werden Anschlussleistungen statt Wirkleistungen vorgegeben bzw. die Laufzeiten nicht oder falsch eingetragen und abgegeben. Dieses Kommunikationsdefizit wirkte sich auf den Aufwand für die Freigaben der IG-Komponenten aus. Freigaben erfolgten teilweise erst im fünften Durchlauf. Dieser Umstand löste bei der IG als auch bei den Firmen Frustrationen aus. Diese Kommunikationsdefizite müssen durch Workshops oder andere geeignete Maßnahmen im Vorfeld geklärt werden, um solche Probleme zu vermeiden. Hinsichtlich Kommunikation ergab sich zudem das Problem, dass nicht klar genug definiert war, welche Unternehmen wann und vor allem mit welchem Detaillierungsgrad die Pläne abgibt.

Weitere Abweichungen ergaben sich durch den Einbau falscher Komponenten, welche durch die Qualitätssicherung und das Monitoring eruiert wurden.

Probleme bereiteten teilweise auch die standardisierten Regelungsstrategien der Gebäudeleittechnik. Eigene Regelungspläne zu implementieren stellte sich als komplex und kostenintensiv heraus. Um diese Probleme auszuschließen sollte im Vorfeld in die Ausschreibung der Mess-, Steuer- und Regeltechnik MSR die Einbindung eigener Regelstrategien formuliert werden. Standardmäßig wird in Österreich die MSR mit dem Gewerk der Haustechnik ausgeschrieben. Um die Gebäudeleittechnik als direkten Ansprechpartner im Projekt zu haben, sollte dieses Gewerk extra ausgeschrieben werden.

Die notwendigen Luftmengen der Lüftungsanlagen wurden in der Planungsphase unterschätzt. In der Realisierungs- und Betriebsphase kam es, vor allem in der Übergangszeit und im Sommer, zu Beschwerden der Nutzerinnen und Nutzer hinsichtlich der Luftgüte. Hinzu kam noch der Einfluss der Möbel auf die Luftqualität durch das ausdiffundieren volatiler Stoffe. Daher wurden die Luftmengen erhöht und daraus resultiert der höhere Energiebedarf gegenüber der Planungsphase. In diesem Bereich bedarf es noch weiterer Forschung.

Building Information Modeling (BIM) ist geeignet, die IG-Komponentenliste einfacher abzubilden und weniger Informationsverluste zu erlangen. (van Treeck et al., 2016) Dieser Datenaustausch kann über IFC oder andere Klassifizierungssysteme erfolgen. Der Freigabeprozess muss zukünftig besser funktionieren wie z.B. in diesem Modell, wo mit Hilfe von BIM die Freigaben organisiert werden. (van Treeck et al., 2016, p. 75) Zu beachten ist auch, dass die definierten Rollen im BIM Prozess keine Integrationsgruppe IG bzw. Integrationsplaner ersetzt. (van Treeck et al., 2019, p. 15)

Die Kombination der IG mit BIM kann zukünftig eine effiziente Planung energieeffizienter Gebäude inklusive der Zielerreichung und einem Abgleich über den gesamten Prozess ermöglichen. Eine echte Verbrauchsprognose ab der Konzeptionierung ist dafür notwendig. Hier bedarf es Änderungen in den Normen, um schon in der ersten Phase des Projektes valide Werte zu erreichen.

Einige der vorab genannten Schwächen sind bei laufenden Projekten bereits in der Lösungsphase. Im Projekt Simultan (Bednar et al., 2018) wird eine neue Softwareumgebung aufgebaut, die die IG-Komponentenliste und das IG-Tool ablösen kann. Der große Vorteil bei Simultan liegt darin, dass jedes Gewerk über einen eigenen oder mehrere Zugänge inklusive Schreibrechte im eigenen Gewerk und Sichtrechte im anderen Gewerk bzw. Freigaberechte verfügt. So entsteht simultan ein digitaler Zwilling unter Einbindung aller Gewerke. Simultan wird zukünftig auch die Software für verschiedenste Nachweise implementieren bzw. über Schnittstellen ansprechen und so die Ergebnisse selbst automatisiert generieren. Diese Schnittstellen werden so aufbereitet, dass sie jede Art von Informationen ablegen und erkennen, sowie diese Informationen für sämtliche Gewerke lesbar und anwendbar machen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des energiesparenden Bauens in Deutschland am Beispiel des Primärenergiebedarfs für die Heizung (Weinläder et al., 2019)..... 6

Abbildung 2: Unterteilung und Spezifizierung des Begriffes Performance Gap (Igor et al., 2018) 9

Abbildung 3: Realer und prognostizierter Gasverbrauch pro Wohnung und Einfluss verschiedener Parameter wie z.B. Temperatur, Dämmung,... (Majcen, Itard, & Visscher, 2013, p. 468)..... 10

Abbildung 4: Das entwickelte nDeep Modell für Nichtwohngebäude (Robinson et al., 2016, p. 33).... 12

Abbildung 5: Ergebnisse aus dem Projekt „Closing the gap between design and as-built performance“ - nächste Schritte zur Vermeidung des "Performance Gap" (Adams et al., 2014, p. 7) 14

Abbildung 6: Der "Over the Wall"-Ansatz im traditionellen sequentiellen Planungsprozess (Evbuomwan & Anumba, 1998, p. 588) 15

Abbildung 7: Ein typisches Projektteam in der integralen lebenszyklusorientierten Planung (Evbuomwan & Anumba, 1998, p. 589) 16

Abbildung 8: Phasen der Objektplanung - Weiterentwicklung zur integralen Planung (Stempkowski et al., 2014)..... 19

Abbildung 9: Zeitstrukturmodell Projektsteuerungsphasen und Leistungsphasen Architektur plus Tragwerksplanung, Bauphysik und Technische Ausrüstung (aus H. Lechner, 2014, p. 9 adaptiert für die Integrale Planung) 20

Abbildung 10: Qualitative Darstellung der Aufwandsverlagerung von Planungs- und Entscheidungsprozessen in frühere Phasen (auf Basis Grim et al., 2014)..... 21

Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung von Lebenszykluskosten in zwei Szenarien (Heidemann & Schmidt, 2012) 22

Abbildung 12: Gründe für Mehrkosten (Monsberger & Fruhwirth, 2018, p. 66)..... 23

Abbildung 13: Gestaltung der integralen Planung (Kovacic, 2012)..... 24

Abbildung 14: Lebenszykluskostenreduktion bei nZEBs im Projekt CRAVEzero (Weiß, Meier, Knotzer, & Höfler, 2019) 26

Abbildung 15: Als Beispiel das Handlungsfeld "Definition of the integrative design team" (Weiß et al., 2019)..... 26

Abbildung 16: Qualitative Darstellung der Veränderung der Kostenstrukturen in Projekten im Idealfall (van Treeck et al., 2016, p. 26) 28

Abbildung 17: Von der sequentiellen Planung über die integrale Planung zum Life Cycle Engineering (M. Bauer et al., 2011, p. 138)..... 30

Abbildung 18: Aktuelle Situation bei der Betriebsoptimierung im Vergleich mit zukünftigen automatisierten Betriebsoptimierungsmethoden (M. Bauer et al., 2013, p. 141)..... 31

Abbildung 19: Entwicklung der phasenabhängigen BIM-Modelle (Kern, 2019, p. 131).....	33
Abbildung 20: Übersicht und Darstellung des Informationsmanagementprozesses (Österreichisches Normungsinstitut (ON), 2019a, pp. 39–40)	35
Abbildung 21: Einzelvergabe (Achammer, 2007, p. 25).....	38
Abbildung 22: Generalplaner (Achammer, 2007, p. 27).....	38
Abbildung 23: Generalunternehmer (C. Achammer, 2007, p. 29).....	39
Abbildung 24: Totalunternehmer (Achammer, 2007, p. 30).....	39
Abbildung 25: Sechs beispielhafte Beschaffungsmodelle - von der Einzelvergabe bis zum Lebenszyklus-Unternehmer (Achammer et al., 2017, p. 17).....	40
Abbildung 26: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten im gesamten Prozess.....	42
Abbildung 27: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Einzelvergabe (auf Basis Achammer, 2007, p. 25).....	43
Abbildung 28: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Generalplaner (auf Basis Achammer, 2007, p. 27).....	44
Abbildung 29: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Generalunternehmer (auf Basis Achammer, 2007, p. 29)	45
Abbildung 30: Die Integrationsgruppe in der Vergabeform Totalunternehmer (auf Basis Achammer, 2007, p. 30)	45
Abbildung 31: Prozessmappe zur Darstellung des Informationsaustauschs und Arbeitsweise der Projektbeteiligten mit der IG-Integrationsgruppe von der Initiierung bis zum Ausschreibungsbeginn..	48
Abbildung 32: Aufbau IG-Tool	61
Abbildung 33: Anzahl der Personen je Stunde in Abhängigkeit der Anwesenheitswahrscheinlichkeit in einem Dreipersonenbüro an einem Arbeitstag (Leeb, Deseyve, Höfer, Korjenic, & Bednar, 2011, p. 1214).....	62
Abbildung 34: Zonierung des Grundrisses im IG-Tool (Reiß et al., 2011)	63
Abbildung 35: Vergleich des Heizenergiebedarfs nach Simulation, Messung und IG-Tool (Leeb, Deseyve et al., 2011, p. 1214)	67
Abbildung 36: Vergleich des Beleuchtungsenergiebedarfs nach Simulation, Messung und IG-Tool (Leeb, Deseyve et al., 2011, p. 1215)	68
Abbildung 37: Vergleich der elektrischen Geräte nach Simulation, Messung und IG-Tool (Leeb, Deseyve et al., 2011, p. 1215)	69
Abbildung 38: Der lebenszyklusorientierte Prozess eines Bauprojekts (Achammer et al., 2017, p. 8) im Vergleich mit den Phasen in dieser Arbeit	72

Abbildung 39: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Konzeptionsphase	75
Abbildung 40: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Planungsphase	78
Abbildung 41: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Realisierungsphase	81
Abbildung 42: Die Integrationsgruppe und deren Zusammenspiel mit den Beteiligten in der Betriebsphase.....	85
Abbildung 43: Areal Getreidemarkt - Chemiehochhaus und Audimax vor der Sanierung (Quelle: Schöberl et al., 2014)	88
Abbildung 44: Chemiehochhaus - Regelgeschoß vor der Sanierung – 5. OG (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer)	88
Abbildung 45: (Plus)Plusenergiebürohochhaus - Regelgeschoß nach der Sanierung (Quelle: ARGE der Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer).....	90
Abbildung 46: Übersicht Betrachtungsraum (Plus)Plusenergiebürohochhaus (David & Bednar, 2018)	91
Abbildung 47: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Konzeptionierungsphase	94
Abbildung 48: Die Anwesenheitswahrscheinlichkeit resultierend aus eigenen Befragungen angepasst an den Tagesverlauf aus der Dissertation Pröglhöf (2009, p. 77).....	96
Abbildung 49: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Konzeptionierungsphase (nicht erneuerbar) (Daten aus Schöberl et al., 2009)	98
Abbildung 50: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Planungsphase	100
Abbildung 51: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Planungsphase (nicht erneuerbar) (Daten aus David & Bednar, 2018).....	108
Abbildung 52: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Realisierungsphase	110
Abbildung 53: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Realisierungsphase (nicht erneuerbar) (Daten aus David & Bednar, 2018).....	115
Abbildung 54: Die Anwendung der Integrationsgruppe am Beispiel des (Plus)Plusenergiebürohochhaus an der TU Wien in der Betriebsphase.....	116
Abbildung 55: Darstellung der zusätzlichen Energieverbräuche in den einzelnen Verbraucherkategorien (Differenz von Monitoring zu technologischem Potenzial der Planung; Primärenergie, nicht erneuerbar) während dem Jahr 2017, aufgeschlüsselt nach Ursachen) (David & Bednar, 2018)	118

Abbildung 56: Darstellung der Verbräuche der Stockwerke seit der Inbetriebnahme (David & Bednar, 2019).....	119
Abbildung 57: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und der Primärenergieerzeugung am Gebäude in der Betriebsphase nach Hebung aller Optimierungspotentiale (nicht erneuerbar) (Daten aus David & Bednar, 2018)	120
Abbildung 58: Gegenüberstellung des Primärenergiebedarfs und –verbrauchs in den einzelnen Phasen (nicht erneuerbar) (Daten aus Schöberl et al., 2009 bzw. David & Bednar, 2018).....	121
Abbildung 59: Gegenüberstellung der Primärenergieerzeugung den einzelnen Phasen (nicht erneuerbar) (Daten aus Schöberl et al., 2009 bzw. David & Bednar, 2018).....	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der sequentiellen und der integralen Planung (aus Müller, 2011, p. 42)	18
Tabelle 2: Beispiel für einen Aufbau der IG-Komponentenliste	57
Tabelle 3: Beispiel für die Datenerhebung eines Federrücklaufantriebs einer Brandschutzklappe in der IG-Komponentenliste	59
Tabelle 4: Übersicht über die Notwendigkeit der Einbindung der relevanten Projektbeteiligten aufgliedert in die vier Phasen	71
Tabelle 5: Auszug aus der IG-Komponentenliste für das Gewerk Fenster und Sonnenschutz (Schöberl et al., 2009).....	97
Tabelle 6: Auszug aus der IG-Komponentenliste für ein Teil des Gewerkes Kälteanlage in der Planungsphase	102
Tabelle 7: Anreizmodell Ausschreibung für das Gewerk Fördertechnik – Erstes Kriterium	106
Tabelle 8: Anreizmodell Ausschreibung für das Gewerk Fördertechnik – Zweites Kriterium	107
Tabelle 9: Auszug aus der IG-Komponentenliste für ein Teil des Gewerkes Kälteanlage in der Realisierungsphase	113

Abkürzungsverzeichnis

AIA	Auftraggeber-Informations-Anforderungen
ASI	Austrian Standard Institute
ARGE	Arbeitsgemeinschaft
BAP	BIM-Abwicklungsplan
BGF	Bruttogeschoßfläche
BH	Bezirkshauptmannschaft
BIG	Bundesimmobiliengesellschaft
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer aided-design
CAFM	Computer Aided Facility Management
CE	Concurrent Engineering
CoBe	Cost-Benefits of Integrated Planning
DIN	Deutsches Institut für Normung
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Erdgeschoß
EN	Europäische Normung
EPBD	European Directive on the Energy Performance of Buildings
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HKLSE	Heizung, Kälte, Lüftung, Sanitär, Elektro
IEAA	Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben
IFC	Industry Foundation Classes
IG	Integrationsgruppe
ISO	Internationale Organisation für Normung
LED	Light-emitting Diode
MSR	Mess-, Steuer- und Regeltechnik
nZEB	Nearly Zero Energy Building
OG	Obergeschoß
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ON	Österreichische Normung
PC	Personal Computer
PE	Primärenergiebedarf
PV	Photovoltaik
Stk	Stück
TGA	Technische Gebäudeausstattung
TU	Technische Universität
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung

VDI Verein Deutscher Ingenieure
VoIP Voice over internet protocol

Einheiten

°C	Grad Celsius
a	Jahr
cm ²	Quadratcentimeter
h	Stunde
J	Joule
m	Meter
m ²	Quadratmeter
s	Sekunde
V	Volt
W	Watt

Anteil an Publikationen

Diese Arbeit basiert auf den Forschungstätigkeiten des Autors am Forschungsbereich Bauphysik des Institutes für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie (vormals Forschungsbereich Bauphysik und Schallschutz des Institutes Hochbau und Technologie) an der Technischen Universität Wien in den Jahren 2010 – 2019. Der Forschungsbereich und das Institut wird von Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar geleitet und die angeführten wissenschaftlichen Arbeiten entstanden unter seiner Betreuung:

1. Bednar, T., & Korjenic, A. (08/2013). IEA Energie in Gebäuden und Kommunen Annex 53: Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden: Analysen und Bewertungsmethoden (No. 18/2014). Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an dieser Veröffentlichung beträgt 10 %. Die Forschungstätigkeit bestand aus der Untersuchung und Gebäudesimulation hinsichtlich Gesamtenergieeffizienz in Abhängigkeit der Nutzerinnen und Nutzer der Fallstudie BH Melk und der Mitarbeit bei der Definition der Bilanzgrenzen.

2. Bointner, R., Bednar, T., Eikemeier, S., Ghaemi, S., Haas, R., Harreither, C., . . . Wimmer, R. (06/2012). Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung (No. 56a/2012). Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an diesem Bericht beträgt 15 %. Hauptsächlich bestand die Forschungstätigkeit in der Entwicklung des energetischen Modells für das Kapitel 7 „Optimierung von Plus-Energie-Gebäuden“ und dem Schreiben des Kapitels. Weiters wurden die Kapitel 6.1-6.4 bzw. 12.2 und 12.3 mitentwickelt.

3. Korjenic, A., & Bednar, T. (2012). Validation and evaluation of total energy use in office buildings: A case study. *Automation in Construction*, 23, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.01.001>

Der Anteil von Markus Leeb an dieser Veröffentlichung beträgt 5 %. Die Aufbereitung der Daten und der Vergleich der Ergebnisse inklusive Plausibilitätscheck wurden gemeinsam durchgeführt.

4. Korjenic, A., Höfer, T., Deseyve, C., & Bednar, T. (2011). Validation and Analysis of Energy Performance Using Dynamic Simulations and Comparisons with Detailed Measurements. In J. Vinha, J. Piironen, & J. Pirinen (Chairs), 9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011. Symposium conducted at the meeting of Tampere University of Technology Department of Civil Engineering, Tampere.

Der Anteil von Markus Leeb an dieser Veröffentlichung beträgt 5 %. Die Aufbereitung der Daten und der Vergleich der Ergebnisse inklusive Plausibilitätscheck wurden gemeinsam durchgeführt.

5. Leeb, M. (2009). Abbildung von Personenströmen bei der Berechnung von Energiekennzahlen zur Optimierung von bau- und gebäudetechnischen Maßnahmen im Bürobau (Master Thesis). Technische Universität Wien, Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an dieser Arbeit beträgt 100 %. Die Arbeit wurde selbstständig durchgeführt. In dieser Diplomarbeit wurde das IG Tool rudimentär hinsichtlich Gesamtenergieeffizienz aufgebaut. Der Algorithmus der Lüftungsanlage wurde aus Bednar et al., 2011 entnommen.

6. Leeb, M., Deseyve, C., Höfer, T., Korjenic, A., & Bednar, T. (2011). Impact of Outdoor Climate and Life Style on the Total Energy Use in Office Buildings. In J. Vinha, J. Piironen, & J. Pirinen (Chairs), 9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011. Symposium conducted at the meeting of Tampere University of Technology Department of Civil Engineering, Tampere.

Der Anteil von Markus Leeb an dieser Veröffentlichung beträgt 85 %. Das Paper zeigt die Validierung des weiterentwickelten IG-Tools anhand eines Fallbeispiels.

7. Pollak, C., Wertz, D., Ponweiser, K., Heimberger, M., Leeb, M., Holzer, T., . . . Bednar, T. (01/2011). Empfehlungen Demonstrationsgebäude. Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an diesem Bericht beträgt 30 %. Hauptsächlich bestand die Forschungstätigkeit in der Entwicklung des energetischen Modells für das Demonstrationsgebäude inklusive Erstellung der daraus resultierenden Berichtsteile. (vorwiegend Kapitel 3 und Mitwirkung in Kapitel 8-10)

8. Reiß, B., Schöberl, H., Leeb, M., & Bednar, T. (04/2011). Marktreifes Plus-Energie-Büro (No. 49). Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an diesem Bericht beträgt 45 %. Hauptsächlich bestand die Forschungstätigkeit in der Entwicklung des energetischen Modells für das Plus-Energie-Büro inklusive Erstellung der daraus resultierenden Berichtsteile. (vorwiegend Kapitel 7 und Mitwirkung in Kapitel 4,6,8+10)

9. Rosenberger, R., Bednar, T., Handler, S., Korjenic, A., Leeb, M., Schöberl, H., . . . Wagner, W. (10/2012). Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN (No. 6/2013). Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an dieser Veröffentlichung beträgt 15 %. Die Forschungstätigkeit bestand aus der Mitwirkung in folgenden Kapiteln: Die Untersuchung der Auswirkung der Nutzermodifikation in Gebäuden auf die Energieeffizienz (Kapitel 6) bzw. der Modifikation der Auslegungsberechnungen für Niedrigstenergiegebäude (Kapitel 8). Weiters war die Modifikation der Energiebedarfsberechnung (Kapitel 9) mittels Simulation verschied-

dener Testgebäude und Abgleich mit den bestehenden Rechenregeln Inhalt der Forschungstätigkeiten inklusive der Mitwirkung bei der Zusammenfassung der Ergebnisse und der Erstellung der Normenvorschläge. (Kapitel 11)

10. Schöberl, H., Hofer, R., Leeb, M., Bednar, T., & Kratochwil, G. (06/2014). Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien (No. 47/2014). Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an diesem Bericht beträgt 40 %. Hauptsächlich bestand die Forschungstätigkeit in der Entwicklung des energetischen Modells für das Plus-Energie-Bürogebäude inklusive Erstellung der daraus resultierenden Berichtsteile. (vorwiegend Kapitel 3,4,6 und Mitwirkung in Kapitel 2,5,8+9)

11. David, A., & Bednar, T. (03/2018). Monitoring Endbericht: TU Wien Plus-Energie-Bürohochhaus 2015-2017. Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an diesem Bericht beträgt 15 %. Hauptsächlich bestand die Forschungstätigkeit vorab in der Entwicklung des Monitoringkonzepts für das Plus-Energie-Bürogebäude.

12. David, A., & Bednar, T. (05/2019). Monitoring Endbericht: TU Wien Plus-Energie-Bürohochhaus 2018-2019. Wien.

Der Anteil von Markus Leeb an diesem Bericht beträgt 15 %. Hauptsächlich bestand die Forschungstätigkeit vorab in der Entwicklung des Monitoringkonzepts für das Plus-Energie-Bürogebäude.

13. David, A., Leeb, M., & Bednar, T. (2017). Comparison of the planned and the real energy consumption of the world's first (Plus-)Plus-Energy Office High-Rise Building. Energy Procedia, 132, 543–548. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.726>

Der Anteil von Markus Leeb an dieser Veröffentlichung beträgt 20 %. Hauptsächlich bestand die Forschungstätigkeit in der vorherigen Abschätzung der Energieverbräuche mittels Simulation und IG-Tool.

References

- Achammer, C. (2007, January). *Vorlesung Intustriebau: Projektorganisation*, Wien.
- Achammer, C., Friedl, K., Heid, S., Kradschnig, W., & Morlock, M. (09/2017). *Der Weg zum Lebenszyklusorientierten Hochbau: Die 3 Säulen erfolgreicher Bauprojekte in einer digitalen Wirtschaft*. Leitfaden für Bauherren und Projektbeteiligte von Hochbauten. Wien.
- Adams, D., Baker, Dave, Beckmann, M., Gething, B., Ingram, N., Jones, M., . . . Elliot, H. (07/2014). *Closing the gap between design and as-built performance: End of Term Report*. London.
- Ahn, K.-U., Kim, D.-W., Park, C.-S., & Wilde, P. de (2017). Predictability of occupant presence and performance gap in building energy simulation. *Applied Energy*, 208, 1639–1652. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.083>
- Alencastro, J., Fuertes, A., & Wilde, P. de (2018). The relationship between quality defects and the thermal performance of buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 883–894. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.029>
- Anumba, C. J., Baugh, C., & Khalfan, M. M.A. (2002). Organisational structures to support concurrent engineering in construction. *Industrial Management & Data Systems*. (102 (5)), 260–270.
- Artola, I., Rademaekers, K., Williams, R., & Yearwood, J. (10/2016). *Boosting Building Renovation: What potential and value for Europe?* Brussels.
- Bächtold, H.-G. (1998). Nachhaltigkeit: Herkunft und Definitionen eines komplexen Begriffs. *Schweizer Ingenieur Und Architekt*, 116(13), 4–7. <https://doi.org/10.5169/SEALS-79470>
- Bauer, E., Bauer, K., Gaudart, D., Holzer, R., Kovacs, P., Malzer, W., . . . Waschl, A. (08/2018). *BIM in der Praxis Auftraggeber-Informationen-Anforderungen AIA* (No. Schrift 12). Wien.
- Bauer, M., Hausladen, G., Hegger, M., Hegner, H.-D., Lützkendorf, T., Rademacher, F.-J., . . . Sobek, W. (2011). *Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähige Konzepte für Planer und Entscheider* (1. Aufl.). *Bauwesen : Forum*. Berlin, Wien u.a.: Beuth.
- Bauer, M., Möhle, P., & Schwarz, M. (2013). *Green Building*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38297-0>
- Bednar, T., Bothe, D., Forster, J., Fritz, S., Gladt, M., Handler, C., . . . Ziegler, M. (2018). SIMULTAN - Simultane Planungsumgebung für Gebäudecluster in resilienten, ressourcen- und höchst energieeffizienten Stadtteilen. Retrieved from <https://publik.tuwien.ac.at/show-entry.php?ID=274755>

- Bednar, T., Hanic, R., Holzer, T., & Grüner, M. (12/2011). *Strategische Optimierung der Luftfeuchteregulation bei Lüftungsanlagen zur Reduktion des Energieeinsatzes für Be- und Entfeuchtungsanlagen*. Wien.
- Bednar, T., & Korjenic, A. (08/2013). *IEA Energie in Gebäuden und Kommunen Annex 53: Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden: Analysen und Bewertungsmethoden* (No. 18/2014). Wien.
- BMVI (12/2015). *Stufenplan Digitales Planen und Bauen*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur.
- Boer, J. de (2012). *Tageslichtbeleuchtung und Kunstlichteinsatz in Verwaltungsbauten mit unterschiedlichen Fassaden*. Stuttgart.
- Bointner, R., Bednar, T., Eikemeier, S., Ghaemi, S., Haas, R., Harreither, C., . . . Wimmer, R. [Robert] (06/2012). *Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung* (No. 56a/2012). Wien.
- Bointner, R., Ghaemi, S., Haas, R., Wertz, D., Bednar, T., Leeb, M., . . . Steiner, T. (2011). Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung. In AEE-INTEC - Institut für Nachhaltige Technologien (Chair), *ökosan¹¹: Internationale Konferenz für hochwertige energetische Sanierung von großvolumigen Gebäuden*, Graz.
- Bormann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2015). *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-05606-3>
- BuildingSMART (2020a). buildingSMART Data Dictionary (bSDD). Retrieved from <http://bsdd.buildingsmart.org/>
- BuildingSMART (2020b). IfcDamper. Retrieved from <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/ifcdamper.htm>
- Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI, 2013 Teil I Nr. 37 (2013).
- AStV Arbeitsstättenverordnung (2019).
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018). Topprodukte. Retrieved from <http://www.topprodukte.at/>
- Construction Specifications Institute (2020). OmniClass. Retrieved from <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>
- CPiC Construction Project Information Committee (2020). Uniclass2 Classification Tables. Retrieved from <https://www.cpic.org.uk/uniclass2/>
- David, A., & Bednar, T. (03/2018). *Monitoring Endbericht: TU Wien Plus-Energie-Bürohochhaus 2015-2017*. Wien.

- David, A., & Bednar, T. (05/2019). *Monitoring Endbericht: TU Wien Plus-Energie-Bürohochhaus 2018-2019*. Wien.
- David, A., Leeb, M., & Bednar, T. (2017). Comparison of the planned and the real energy consumption of the world's first (Plus-)Plus-Energy Office High-Rise Building. *Energy Procedia*, 132, 543–548. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.726>
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (10/2005). *EN ISO 15927-4 Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 4: Stündliche Daten zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für Heiz- und Kühlsysteme*. (Europäische Norm, DIN EN ISO 15927-4). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (02/2007). *DIN V 18599-4 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung*. (Vornorm, DIN V 18599-4). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (04/2008a). *EN ISO 13370 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren*. (Europäische Norm, DIN EN ISO 13370). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (09/2008b). *EN ISO 13790 Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung*. (Europäische Norm, DIN EN ISO 13790). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (08/2012). *EN ISO 13791 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren*. (Europäische Norm, DIN EN ISO 13791). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (10/2016a). *DIN V 18599-4 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung*. (Vornorm, DIN V 18599-4). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (10/2016b). *DIN V 18599-7 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau*. (Vornorm, DIN V 18599-7). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (11/2016c). *DIN 18205 Bedarfsplanung im Bauwesen*. (Deutsche Norm, DIN 18205). Berlin.

- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (02/2017a). *DIN SPEC 91400 Building Information Modeling (BIM) – Klassifikation nach STLB-Bau*. (Deutsche Norm, DIN SPEC 91400). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (04/2017b). *EN ISO 16739 Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und im Anlagenmanagement*. (EN ISO, EN ISO 16739). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (10/2017c). *DIN EN 15193-1 Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung – Teil 1: Spezifikationen, Modul M9; Deutsche Fassung EN 15193-1:2017*. (Europäische Norm, DIN EN 15193-1). Berlin.
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (09/2019). *E EN ISO 16739-1 Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement – Teil 1: Datenschema (ISO 16739-1:2018)*. (prEN ISO, EN ISO 16739-1).
- Economidou, M., Atanasiu, B., Despret, C., Maio, J., Nolte, I., & Rapf, O. (10/2011). *Europes buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings*. Brussels.
- Eichler, C. C. (2016). *BIM-Leitfaden: Struktur und Funktion* (2. Auflage). Niederfrohna: Mironde.
- EPBD recast 2010/31/EU, Official Journal of the European Union (2010).
- EPBD 2012/27/EU, Official Journal of the European Union (2012).
- EPBD 2018/844/EU, Official Journal of the European Union (2018).
- Evbuomwan, N.F.O., & Anumba, C.J. [C.J] (1998). An integrated framework for concurrent life-cycle design and construction. *Advances in Engineering Software*, 29(7-9), 587–597.
- Grim, M., Bachner, D., Amann, S., Hofer, G., Leutgöb, K., Ganahl, J., . . . Jørgensen, P. F. (05/2014). *Integrale Planung: Prozessleitfaden*. Wien.
- Grim, M., Benke, G., Leutgöb, K., Thullner, K., & Amann, S. (04/2013). *Leitlinien für nachhaltiges Facility Management*. Wien.
- Hausladen, G., & Tichelmann, K. (Eds.) (2012). *Ausbau Atlas: Integrale Planung Innenausbau Haustechnik* (1. Aufl.). Basel, München: De Gruyter Inst. für Internationale Architektur-Dokumentation.
- Heidemann, A., Kistemann, T., & Stolbrink, M. (2014). *Integrale Planung der Gebäudetechnik: Erhalt der Trinkwassergüte - Vorbeugender Brandschutz - Energieeffizienz*. VDI-Buch. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Heidemann, A., & Schmidt, P. [Peer] (2012). *Raumfunktionen: Ganzheitliche Konzeption und Integrationsplanung zeitgemäßer Gebäude* (1. Aufl.). Stockach: TGA-Verl.

- Hladky, T. (2015). *Nachweisführung der Kernlüftung von Gebäuden: Modellbildung und experimentelle Validierung anhand des Hochhauses TU-Wien Getreidemarkt Bauteil BA* (Diplomarbeit). Technische Universität Wien, Wien.
- Igor, M., Luzzatto, M., Haller, M., Lehmann, M., Benz, M., & van Velsen, S. (08/2018). *ImmoGap: Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäusern*. Bern.
- Johnston, D., Miles-Shenton, D., & Farmer, D. (2015). Quantifying the domestic building fabric 'performance gap'. *Building Services Engineering Research and Technology*, 36(5), 614–627. <https://doi.org/10.1177/0143624415570344>
- Kern, A. (2019). *Informationsmanagement im BIM-Prozess von der Planung, über den Bau- betrieb bis zum Facility Management* (Diplomarbeit). Technische Universität Wien, Wien.
- Kimpian, J., Davies, E., Bassi, Ranjit, Muthoni, Soni, Davies, H., Woods, P., Gething, B., . . . Moreira, R. (2010). CarbonBuzz: an RIBA CIBSE platform. Retrieved from http://www.carbonbuzz.org/docs/CarbonBuzz_Handbook.pdf
- Konder, H., & Bednar, T. (2008). Estimation of air flow rates in large buildings based on measurements. In C. Rode (Ed.), *Proceedings of the 8th symposium on building physics in the nordic countries: June 16-18* (pp. 363–368). Copenhagen.
- König, H., Kohler, N., Kreißig, J., & Lützkendorf, T. (2009). *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge* (1. Aufl.). *Edition Detail green books*. München: Inst. f. Internat. Architektur-Dokumentation.
- Korjenic, A., & Bednar, T. (2012). Validation and evaluation of total energy use in office buildings: A case study. *Automation in Construction*, 23, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.01.001>
- Korjenic, A., Höfer, T., Deseyve, C., & Bednar, T. (2011). Validation and Analysis of Energy Performance Using Dynamic Simulations and Comparisons with Detailed Measurements. In J. Vinha, J. Piironen, & J. Pirinen (Chairs), *9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011*. Symposium conducted at the meeting of Tampere University of Technology Department of Civil Engineering, Tampere.
- Kovacic, I. (2012). *Co-Be: Cost-Benefits of Integrated Planning*. Wien.
- Kovacic, I., & Achammer, C. M. (2013, November). *Lebenszyklus-orientierte Gebäudeplanung durch integrale Planung: BIM als Werkzeug für IP - Praxis meets Science*. Internationaler Facility Management Kongress, Wien.
- Kovacic, I., Achammer, C. M., Müller, C., Seibel, H., Sreckovic, M., Wiegand, D., . . . Koeszegi, S. T. (2012). *Integrale Planung: Leitfaden für Public Policy, Planer und Bauherrn*. Wien.

- Kovacic, I., Faatz, S., Filzmoser, M., & Koeszegi, S. T. (2011). Research Project Cost Benefits Of Integrated Planning: First Experiment-Results. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*. Advance online publication. <https://doi.org/10.5592/otmcj.2011.1.5>
- Kovacic, I., & Filzmoser, M. (2014). Key success factors of collaborative planning processes. *Engineering Project Organization Journal*, 4(4), 154–164. <https://doi.org/10.1080/21573727.2014.963056>
- Kovacic, I., & Müller, C. (2012). Collaborative Planning Practice for Sustainable Buildings – a Case Study Research. In T. Hanák (Chair), *International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2012*. Symposium conducted at the meeting of Institute of Structural Economics and Management, Lednice, Czech Republic.
- Kovacic, I., & Sreckovic, M. (2013). Designing the planning process for sustainable buildings: from experiment towards implementation. *Engineering Project Organization Journal*, 3(1), 51–63.
- Latham, M. (07/1994). *Constructing the Team: Joint Review of Procurement and Contractual Arrangements in the United Kingdom Construction Industry*. UK.
- Lechner, H. (2014). *LM.Leistungsmodell VM.Vergütungsmodell Begleitende Kontrolle (BK) (Stand: 10.04.2014). LM.VM.2014: ein Vorschlag für Leistungsmodelle + Vergütungsmodelle für Planerleistungen / Hrsg. Hans Lechner. Institut für Baubetrieb + Bauwirtschaft, Projektentwicklung + Projektmanagement, TU Graz. Graz: Verl. der Techn. Univ.*
- Lechner, R., Lipp, B., Lubitz-Prohaska, B., Steiner, T., & Weber, U. (2015). *Nachhaltiges Bauen in Österreich: tatsächlich und nachweislich - Weißbuch 2015*. Wien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-11352-0_1
- Lechner, R., Lubitz-Prohaska, B., Lipp, B., & Steiner, T. (02/2015). *Monitoring der Leitprojekte aus Haus der Zukunft PLUS: monitorPLUS (No. 33/2015)*. Wien.
- Leeb, M. (2009). *Abbildung von Personenströmen bei der Berechnung von Energiekennzahlen zur Optimierung von bau- und gebäudetechnischen Maßnahmen im Bürobau (Master Thesis)*. Technische Universität Wien, Wien.
- Leeb, M., Bednar, T., Korjenic, A., Reiß, B., Kahlert, K., Keul, A., . . . Pokorny, K. (2011). PEB - Marktreifes Plus-Energie-Büro. In AEE-INTEC - Institut für Nachhaltige Technologien (Chair), *ökosan¹¹: Internationale Konferenz für hochwertige energetische Sanierung von großvolumigen Gebäuden*, Graz.
- Leeb, M., Deseyve, C., Höfer, T., Korjenic, A., & Bednar, T. (2011). Impact of Outdoor Climate and Life Style on the Total Energy Use in Office Buildings. In J. Vinha, J. Piironen, & J. Pirinen (Chairs), *9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011*. Symposium

conducted at the meeting of Tampere University of Technology Department of Civil Engineering, Tampere.

Leeb, M., Korjenic, A., & Bednar, T. (2011). PEB – Marketable Energy Plus Office Building. In B. Todorović (Chair), *PROCEEDINGS of the Forty-second International Congress on Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*. Symposium conducted at the meeting of Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), Beograd.

Levermore, G. J. (2000). *Building energy management systems: Applications to low-energy HVAC and natural ventilation control* (2. ed.).

Love, Peter, ED, & Gunasekaran, A. (1997). Concurrent engineering in the construction industry. *Concurrent Engineering, Volume 5*(2), 155–162.

Techniknovelle MA 37 - 53281/2012 (2013).

Majcen, D. (2016). *Predicting energy consumption and savings in the housing stock: A performance gap analysis in the Netherlands* (Dissertation). Delft University of Technology,, Delft.

Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2013). Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings: What causes the differences? *Energy Policy, 61*, 460–471. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.018>

Menezes, A. C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., & Buswell, R. (2012). Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. *Applied Energy, 97*, 355–364. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.075>

Monsberger, M., & Fruhwirth, M. (05/2018). *Die Gebäudetechnik im österreichischen Bauprozess: Eine Studie über Herausforderungen in komplexen Hochbauprojekten aus Sicht unterschiedlicher Stakeholder am Bau*. Graz. <https://doi.org/10.3217/978-3-85125-604-8>

Monsberger, M., Murschetz, J., Hauer, S., Schaffer, B., Ziegler, M., & Hallinger, M. (2020). metaTGA - Metadaten und Prozessmodelle für Open BIM in der TGA. Retrieved from <http://www.metatga.org/>

Müller, C. (2011). *Planungsprozesse für nachhaltige Gebäude* (Master Thesis). Technische Universität Wien, Wien.

Nordby, A. S., Jørgensen, P. F., Salvatore, C., & Leutgöb, K. (05/2014). *Integrated Design Process Guide*. Brussels.

Ornetzeder, M., Wicher, M., & Suschek-Berger, J. (2016). User satisfaction and well-being in energy efficient office buildings: Evidence from cutting-edge projects in Austria. *Energy and Buildings, 118*, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.036>

- Österreichisches Institut für Bautechnik (10/2011). *OIB - Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*. (Richtlinie, OIB RL 6).
- Österreichisches Normungsinstitut (10/2007). *EN 15316-4-5 Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen - Teil 4-5: Wärmeerzeugungssysteme, Leistungsfähigkeit und Effizienz von Fernwärme- und großvolumigen Systemen*. (EN, EN 15316-4-5). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (03/2011a). *B 8110-5 Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*. (Österreichische Norm, B 8110-5). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (03/2011b). *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Kühltechnik-Energiebedarf*. (Österreichische Norm, H 5058). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (03/2011c). *H 5057 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude*. (Österreichische Norm, H 5057). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (03/2013). *B 8110-7 Wärmeschutz im Hochbau Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte*. (Österreichische Norm, B 8110-7). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (11/2014a). *B8110-6 Wärmeschutz im Hochbau Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren — Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*. (Österreichische Norm, B 8110-6). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (11/2014b). *H 5050 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Gesamtenergieeffizienz-Faktors*. (Österreichische Norm, H 5050). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (11/2014c). *H 5056 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Heiztechnik-Energiebedarf*. (Österreichische Norm, H 5056). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (02/2015a). *H 7500-1 Heizungssysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast für Gebäude mit einem mittleren U -Wert $\geq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ - Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 12831*. (Österreichische Norm, H 7500-1). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (2015b, July 1). *A 6241-2 Digitale Bauwerksdokumentation Teil 2: Building Information Modeling (BIM) — Level 3-iBIM*. (Österreichische Norm, A 6241-2). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (2015c, July 1). *A 6241-1 Digitale Bauwerksdokumentation Teil 1: CAD-Datenstruktur und Building Information Modeling (BIM) — Level 2*. (Österreichische Norm, A 6241-1). Wien.

- Österreichisches Normungsinstitut (11/2015d). *H 6010 Pläne der Gebäudetechnik Pläne und deren Inhalte in den einzelnen Projektphasen der Gewerke Heizungs-, Kälte-, Lüftungs-, Sanitär-, Mess-, Steuer und Regeltechnik*. (Österreichische Norm, H 6010). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (04/2017a). *EN ISO 12006-3 Building construction — Organization of information about construction works Part 3: Framework for object-oriented information*. (EN ISO). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (2017b, May 15). *EN ISO 29481-2 Bauwerksinformationsmodelle — Handbuch der Informationslieferungen Teil 2: Interaktionsframework*. (EN ISO, EN ISO 29481-2). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (02/2018). *EN ISO 29481-1 Bauwerksinformationsmodelle — Handbuch der Informationslieferungen Teil 1: Methodik und Format*. (EN ISO). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (2019a, April 15). *EN ISO 19650-1 Organisation von Daten zu Bauwerken — Informationsmanagement mit BIM Teil 1: Konzepte und Grundsätze*. (EN ISO, EN ISO 19650-1). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (2019b, April 15). *EN ISO 19650-2 Organisation und Digitalisierung von Information zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) — Informationsmanagement mit BIM Teil 2: Planungs-, Bau- und Inbetriebnahmephase*. (EN ISO, EN ISO 19650-2). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut (10/2019c). *EN ISO 12006-2 Hochbau — Organisation des Austausches von Informationen über die Durchführung von Hoch- und Tiefbauten Teil 2: Struktur für die Klassifizierung*. Wien.
- Partl, R., Hauer, S., & Monsberger, M. (2019). Data and process model for advanced integration of MEP into BIM projects. In D. Ozevin, H. Ataei, M. Modares, A. Gurgun, S. Yazdani, & A. Singh (Chairs), *ISEC 10 Interdependence between Structural Engineering and Construction Management*. Symposium conducted at the meeting of University of Illinois at Chicago, Chicago.
- Pollak, C., Wertz, D., Ponweiser, K., Heimberger, M., Leeb, M., Holzer, T., . . . Bednar, T. (01/2011). *Empfehlungen Demonstrationsgebäude*. Wien.
- Pröglhöf, C. (2009). *On Patterns of Control-Oriented Human Behavior in office environments* (Dissertation). Technische Universität Wien, Wien.
- Reiß, B., Schöberl, H., Leeb, M., & Bednar, T. (04/2011). *Marktreifes Plus-Energie-Büro* (No. 49). Wien.
- Rietschel, H. (1994). *Raumklimatechnik: Band 1: Grundlagen* (16. Auflage, korrigierter Nachdruck). *VDI-Buch*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Robinson, J. F., Foxon, T. J., & Taylor, P. G. (2016). Performance gap analysis case study of a non-domestic building. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 169(1), 31–38. <https://doi.org/10.1680/ensu.14.00055>
- Rosenberger, R., Bednar, T., Handler, S., Korjenic, A., Leeb, M., Schöberl, H., . . . Wagner, W. (10/2012). *Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN* (No. 6/2013). Wien.
- Ruysevelt, P. (2020). Annex 70 – Building Energy Epidemiology: Analysis of real building energy use at scale. Retrieved from <https://energyepidemiology.org/>
- Schöberl, H., Hanic, R., Skalicky, P., Schimak, G., Seidler, S., Hodecek, G., . . . Jung, M. (11/2009). *Antrag plus Machbarkeitsstudie Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien*. Wien.
- Schöberl, H., Hofer, R., Leeb, M., Bednar, T., & Kratochwil, G. (06/2014). *Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der TU Wien* (No. 47/2014). Wien.
- Staller, H., Tritthart, W., Gratzl-Michlmair, M., Mach, T., Treberspurg, M., Djalili, M., & Smutny, R. (08/2010). *EZ-IEAA - Integration energierelevanter Aspekte in Architekturwettbewerben* (No. GLS 815589). Graz.
- Steiner, T., Huemer-Kals, V., Binting, R., & Lipp, B. (11/2014). *Monitoring von Plusenergie-Gebäuden: Monitoring der Leitprojekte aus HAUSderZukunft*. Leitfaden. Wien.
- Stempkowski, R., Dzuban, P., & Rosenberger, R. (09/2014). *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementleistungen: INTEGRALE PLANUNG*. Band 7. Wien. Retrieved from Bundesinnung Bau website: <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Leitfaden-Band-7-Integrale-Planung.pdf>
- Stempkowski, R., Waldauer, E., Sturm, P., & Rosenberger, R. (01/2012). *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementleistungen: Grundlagen*. Band 1. Wien. Retrieved from Bundesinnung Bau website: https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/Band_1__Grundlagen.pdf
- Technische Universität Wien (2015). TU University: Wir gestalten die Zukunft der Technik. Retrieved from <https://www.univercity.at/standorte/getreidemarkt/>
- Van Aken, J. (2003). *On the Design of Design Process in Architecture and Engineering: Technological Rules and the Principle of Minimal Specification: Working Paper*. Eindhoven.
- Van Treeck, C., Elixmann, R., Rudat, K., Hiller, S., Herkel, S., & Berger, M. (2016). *Gebäude. Technik.Digital*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52825-9>

- Van Treeck, C., Heidemann, A., Siwecki, J., Schmidt, P. [P.], & Zeppenfeld, U. (2019). Integrale Planung BIM – Umsetzungserfahrungen im Projekt „Viega World“. In Viega Technology GmbH & Co. KG (Ed.), *Gebäudetechnik als Strukturgeber für Bau- und Betriebsprozesse: Trinkwassergüte – Energieeffizienz – Digitalisierung* (pp. 7–90). Attendorn: Springer.
- Verein Deutscher Ingenieure (2009). *Aufzüge - Energieeffizienz*. (VDI-Richtlinie, VDI 4707 Blatt 1). Düsseldorf.
- Verein Deutscher Ingenieure (06/2015). *Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)*. (VDI-Richtlinie, VDI 2078). Düsseldorf.
- Verein Deutscher Ingenieure (05/2018). *VDI 2552 Blatt 3 - Building Information Modeling Modellbasierte Mengenermittlung zur Kostenplanung, Terminplanung, Vergabe und Abrechnung*. (VDI-Richtlinie, VDI 2552 Blatt 3). Düsseldorf.
- Verein Deutscher Ingenieure (08/2019). *VDI/BS 2552 Blatt 11.3 Entwurf - Building Information Modeling Informationsaustauschanforderungen Schalungs- und Gerüsttechnik (Ortbetonbauweise)*. (VDI-Richtlinie, VDI/BS 2552 Blatt 11.3). Düsseldorf.
- Verein Deutscher Ingenieure (01/2020). *VDI 2552 Blatt 10 Entwurf - Building Information Modeling Auftraggeber-Informations-Anforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungspläne (BAP)*. (VDI-Richtlinie, VDI 2552 Blatt 10). Düsseldorf.
- Wagner, A., Hoefker, G., & Lützkendorf, T. (2015). *Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden: Empfehlungen für Planung und Betrieb*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Weinläder, H., Klinker, F., Pawelz, F., Wollheim, T., Gross, R., Maas, A., . . . Renner, A. (06/2019). *PCM-Demo II: PCM in Demonstrationsanwendungen*. Berlin.
- Weiß, T., Meier, C., Knotzer, A., & Höfler, R. (02/2019). *CRAVEzero D3.1 Guideline I- nZEB Processes: COST REDUCTION AND MARKET ACCELERATION FOR VIABLE NEARLY ZERO-ENERGY BUILDINGS*. Effective processes, robust solutions, new business models and reliable life cycle costs, supporting user engagement and investors' confidence towards net zero balance.
- Wilde, P. de (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, 41, 40–49.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>
- Wilde, P. de, & Jones, R. (2014). The building energy performance gap: up close and personal. In *CIBSE ASHRAE Technical Symposium: Moving to a new world of building systems performance*. Symposium conducted at the meeting of University of Plymouth - Pearl, Dublin.

Wimmer, R. [Reinhard] (2020). *BIM-Informationsmanagement bei der thermisch-energetischen Simulation von gebäudetechnischen Anlagen* (Dissertation). Rheinisch-Westfälische Technischen Hochschule, Aachen.