

ANALYSE DER ENERGIEEFFIZIENZ VON GEBÄUDEN MIT DER GEBÄUDEENERGIE-SIMULATION

Kurzfassung

Diese Ausarbeitung/Analyse zielt darauf ab, den Prozess zur Optimierung der Energieeffizienz eines Bürogebäudes in der Planungsphase mit dem Simulationsprogramm Design-Builder zu analysieren, und um wichtige Energiesparstrategien zu identifizieren. Dabei werden die Gebäudekubatur, bauphysikalische Qualitäten der Gebäudehülle, die internen Lasten, die komplexe Gebäudetechnik (Kombination unterschiedlicher Energieerzeuger und raumtechnische Abgabesysteme), die Regelstrategien und die unterschiedlichen Nutzungen berücksichtigt. Die Hauptfaktoren für den Energieverbrauch des Gebäudes und die wichtigsten Energiesparstrategien wurden mit einer Sensitivitätsanalyse ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, daß durch die Verbesserung der thermischen Gebäudehülle und eine energieeffizientere Beleuchtung Kosteneinsparungen von 28,2 % und eine Optimierung der Energiebedarf von 38,3 % möglich sind.

Schlüsselwörter

Gebäudeenergieeffizienz, Bürogebäude, Simulation, Heiz- Kühllast, Energiebedarf

Einführung

Der Gebäudesektor ist der größte einzelne Energieverbraucher in Deutschland. Auf Gebäude entfallen 35 Prozent des Endenergieverbrauchs (BME, 2019) und sie sind für circa 30 Prozent der Treibhausgasemissionen (Welke, M., u.a., 2020) verantwortlich.

Der heutige Mensch hält sich etwa 80 Prozent seiner Zeit in Gebäuden auf. Rund ein Viertel dieser Zeit verbringt er in den Gebäuden, in denen er seiner Berufstätigkeit nachgeht (Krimmling, J., u.a., 2017).

Bei diesen Gebäuden handelt es sich in zunehmendem Maße um Bürogebäude, was man mit zwei Tatsachen belegen kann:

- 1- Die größte Teilmenge der ca. 3,5 Mio. Nichtwohngebäude ist die der Büro- und Verwaltungsgebäude, welche ca. 700000 Gebäude (20 Prozent) umfasst.
- 2- Der Anteil von klassischen Industriearbeitsplätzen nimmt immer weiter ab, dagegen steigt der Anteil von Arbeitsplätzen im privaten und öffentlichen Dienstleistungssektor stark an.

In der Debatte über die Wege zur Umsetzung des Energieeffizienz-Ziels wird vorrangig über Wohngebäude diskutiert, während den Nichtwohngebäuden (Gewerbeimmobilien und öffentliche Gebäude) kaum Beachtung geschenkt wird. Die Größenunterschiede zwischen den Gebäuden, bedingt durch die unterschiedlichen Nutzungszwecke, machen die Untersuchungen zu Energieeffizienz und Einsparpotenziale im Nichtwohngebäudebereich wesentlich komplexer als in den Wohngebäuden (Cischinsky, H., u.a., 2021).

Trotz des vergleichsweisen geringen Kenntnisstands ist jedoch klar, dass auch bei Nichtwohngebäuden auf die rund ein Drittel des Endenergieverbrauchs für Raumwärme, Warmwasser, Kühlung, und Beleuchtung des gesamten Gebäudebestands entfällt – sehr große Einsparpotenziale existieren, die es in den nächsten Jahrzehnten zu nutzen gilt (Hegner, A., u.a., 2016).

Ein Großteil des gesamten Energiebedarfs muss für die Beheizung des Gebäudes (69 Prozent) (BMVBS, 2013), um die gewünschte Raumtemperatur zu erhalten, aufgebracht werden, gefolgt von der Beleuchtung mit 13 Prozent und der „Information & Kommunikation“ mit 11 Prozent (Sunderland, L., 2021).

Die Planungsphase ist die wesentlichste Phase im Lebenszyklus eines Gebäudes. Daher ist es wichtig, in dieser Phase auf die Energieeffizienz eines neuen Bürogebäudes zu achten, bevor die Bauphase beginnt. Das vorliegende Dokument zielt darauf ab, den Prozess der Erhöhung und Berücksichtigung der Energieeffizienz eines Bürogebäudes in der Planungsphase im Verwaltungsgebäudesektor darzustellen.

Case Study

Bei dem Neubauprojekt handelt es sich um die Planung und Entwicklung eines neuen Quartiers in Eschborn bei Frankfurt am Main. Beim 1. Bauabschnitt bzw. Bauteil A handelt es sich um den Neubau eines Bürohochhauses mit angeschlossenem Flachbau. Dabei umfasst das Hauptgebäude (Tower) insgesamt 17 oberirdische Vollgeschosse und zwei Technikebenen auf dem Dach. Dagegen umfasst der an den Tower anschließende Flachbau insgesamt sechs Vollgeschosse. Beide Gebäude sind durch eine zweigeschossige Tiefgarage unterkellert.

Methodologie

Da die Bauherrenschaft für das Gebäude mindestens das LEED-Zertifikat „Gold“ erreichen möchte, muss das Projekt insgesamt eine Mindestanzahl von 60 Punkten erreichen, LEED „Platin“ ist angestrebt. Dabei nimmt die „Energie Performance“ des Gebäudes einen hohen Stellenwert ein. So lassen sich mit dem "Leadership in Energy and Environment Design " (LEED)-Credit „Optimize Energy Performance“ der LEED- Kategorie „Energy and Atmosphere“ bis zu 18 Punkte erreichen, was einen Anteil von 30 Prozent an der Mindestpunktzahl für das LEED-Gold-Zertifikat bzw. Platin ausmacht. Durch einen durchgeführten Quick-Check Simple Box konnte bereits abgeschätzt werden, welche Zertifizierungsstufe mit der aktuell vorliegenden Planung unter Vorbehalt erreicht werden kann. Um die im Quick-Check getroffenen Annahmen bezüglich der erreichbaren Punkte in Bezug auf die "Energy Performance" zu validieren und Auswirkungen verschiedener Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und der Haustechnik im Vergleich zum bisherigen Planungsstand vorab abschätzen zu können, wurde das geplante Gebäude mit dem Simulationsprogramm "Design-Builder (DB)" (Design Builder Ltd. 2006) im Rahmen des sogenannten "Simple Box Modeling" vereinfacht modelliert und mit verschiedenen Varianten simuliert.

Baseline Building: Referenzgebäude

Variante 0: Ausgangsplanung von Planungsteam

Variante 1: Bauliche Maßnahmen

- Verbesserung der thermischen Gebäudehülle durch eine Unterschreitung der aktuellen EnEV-Anforderungen um 15 Prozent.

Variante 2: Technische Maßnahmen

- Verbesserung der Beleuchtungsanlage durch den Einsatz effizienterer Leuchtmittel.
- Einsatz einer Erdsondenanlage (Geothermie) in Verbindung mit einer Wärmepumpe zur Heizung und Kühlung des Gebäudes.

Variante 3: Kombination

- Verbesserung der thermischen Gebäudehülle (EnEV – 15 Prozent) in Verbindung mit einer effizienteren Beleuchtungsanlage.

Gebäudemodell für Quick Check

Für das Hochhaus im Quick-Check wurde eine Seitenlänge von 32m festgelegt und die Verglasung der Fassade mit einem Flächenanteil von 70 Prozent angenommen. Das Projekt wurde in der Abschlussphase detailliert modelliert. Abbildung 1 zeigt das verwendete Gebäudemodell aus

südöstlicher Richtung vom Simple Box Model und vom finalen Modell.

Nach dem Quick-Check und der damit verbundenen Optimierung in Hinsicht der Energie- und Kosteneffizienz, sowie den möglichen „Credits“ für LEED-Zertifizierung der analysierten Varianten, hat das Planungsteam die Ergebnisse dieser Vorzertifizierung berücksichtigt. Nach Abschluss der Leistungsphase 3 (LPH 3) wurde das Gebäude mittels DB simuliert.

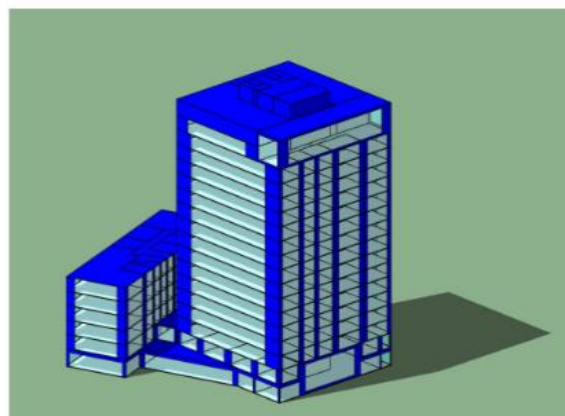


Abbildung 1: Simple-Box Modell

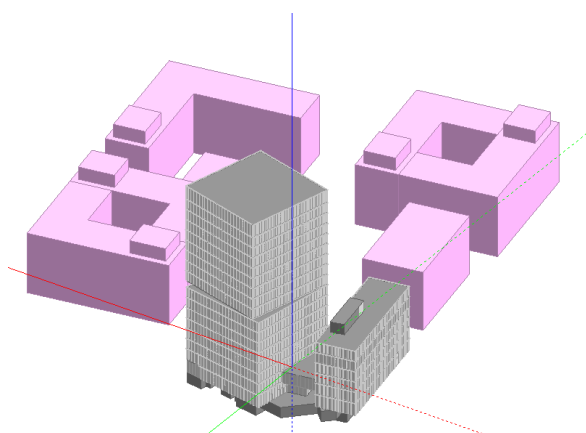


Abbildung 2: Finales Modell des Gebäudes

Zur Simulation wurde für die Untersuchungen das mittlere Testreferenzjahr 2015 für Frankfurt am Main angewendet, das durch den Deutschen Wetterdienst bereitgestellt wird. Frankfurt liegt etwa 10 km südöstlich vom Planungsgebiets Eschborn, weshalb der gewählte Wetterdatensatz eine ausreichend genauer Annäherung darstellt. Die Bauteilaufbauten und U-Werte wurden auf Basis des bauphysikalischen Bauteilkatalogs festgelegt (Tabelle 1).

Tabelle 1: U-Werte der Thermischen Gebäudehülle
(Variante 1)

| BAUTEILE | AUSGANGS- VARIANTE [W/(M ² K)] | VARIANTE 1 [W/(M ² K)] |
|------------------------------------|---|---|
| DACH | 0.28 | 0.24 |
| AUßENWAND | 1.30 | 1.1 |
| WÄNDE GEGEN UNBEHEIZTE RÄUME | 0.24 | 0.24 |
| DECKE ÜBER TG. | 0.28 | 0.24 |

Interne Lasten und Zeitprofil

Um zu berücksichtigen, dass die angesetzten internen Lasten nicht immer zu hundert Prozent an den Raum abgegeben werden, sondern während des Tagesverlaufes variieren, kommen verschiedene Zeitprofile zum Einsatz, mit denen die internen Lasten tageszeitabhängig variiert werden. Diese Nutzungs- und Betriebsprofile werden auf Basis der der Normen DIN-18599-10:2018-09 (DIN - Normenausschuss Bauwesen, 2018) und SIA MB 2024:2021 (SIA, 2021) entwickelt. Die durch die Personen und Geräte, wie z.B. Computer, verursachten internen Lasten werden gemäß SIA:2024-2021 bzw. gem. DIN-18599-10:2018-09 berücksichtigt. Die Beleuchtungsleistungen des Gebäudes werden gemäß ASHRAE 90.1-2010 (ASHREA, 2010) bzw. gem. DIN-18599-10:2018-09 angesetzt.

Energietarif

Für die Bewertung der Energy Performance innerhalb vom LEED-Zertifizierungssystem werden die durch den Energiebedarf entstehenden Energiekosten eines Referenzgebäudes (Baseline Building) mit dem Aktuellen gültigen Energiekosten des geplanten Gebäudes verglichen. Um die jährlichen Energiekosten zu ermitteln, müssen deshalb Arbeitspreise für die genutzten Energieträger festgelegt werden. Die durchgeführten Untersuchungen basieren auf den Energie-Arbeitspreisen des regionalen Energieversorgers Mainova. Anfallende Grundpreise bleiben unberücksichtigt. Es werden die folgenden Arbeitspreise zugrunde gelegt:

- Arbeitspreis Erdgas: 0,0612 €/kWh
- Arbeitspreis Strom: 0,2430 €/kWh

Gebäudetechnische Anlagen

Die untersuchten Räume werden über Lüftungsanlagen, Heiz- und Kühldecken und über Radiatoren konditioniert. Während der Heizperiode wird das Gebäude mit 22 °C warmer Zuluft versorgt,

die Raumlufttemperatur der Hauptnutzung ist gemäß TGA Grundlagenermittlung mit 22 °C nach unten begrenzt. Während der Kühlperiode wird die Zulufttemperatur auf 18 °C abgesenkt. Für die Regelung der Kühldecken wird angenommen, dass diese während der Kühlperiode, Mai bis September, aktiv werden und die Soll-Raumlufttemperatur von 26 °C einhalten. Die Räume des Gebäudes werden über zentrale Lüftungsanlagen be- und entlüftet. Die Heiz- und Kühlregister werden von den luftgekühlten Kältemaschinen und den Gas-Brennwertkesseln versorgt.

Gebäudesimulation

Um die Energie- und Kosteneinsparungen des Gebäudes zu vergleichen, wurden das Simple-Box Modell (verschiedene Varianten) und das Modell nach Abschluss LPH 3 mit Design-Builder simuliert. Die Modelle haben die gleichen Einstellungen und Randbedingungen wie z.B. interne Lasten, Zeitprofile und Energietarife verwendet. Andere Parameter wie z.B. Gebäudehülle und Beleuchtung hängen von der Variante ab.

Der Unterschied zwischen der thermischen Gebäudehülle der Varianten 0, 1 und dem Modell nach LPH3 besteht in der Optimierung der U-Werte von den Bauteilen auf der Grundlage der EnEV und GEG. Die Außenwand stellt die größte Fläche dar, welche auch den Hauptanteil an den Transmissionswärmeverlusten ausmacht. Ohne eine gute Gebäudehülle und internen Speichermassen kann auf Dauer kein behagliches und Raumklima ohne hohen technischen Einsatz erzielt werden kann.

Es treten bei Außenwänden in Deutschland von Wohn/Nichtwohngebäuden Transmissionswärmeverluste von über 54,7 Prozent auf, die Zahl variiert abhängig von den Witterungsverhältnissen (Wenig, M., 2010).

Die Fenster und Türen spielen eine relativ große Rolle für den Heizwärmebedarf. So muss unbedingt auf eine gute bis sehr gute Glasqualität geachtet werden, um Wärmeverluste durch transparente Bauteile zu vermeiden. Fenster und Türen verursachen gleich nach der Außenwand die größten Transmissionswärmeverluste Anteil, mit ca. 18,5 Prozent. (Wenig, M., 2010).

Durch die Verbesserung der Glasqualität wurden daher auch die Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle minimiert. Die Variante 2 unterscheidet sich von der Variante 0 durch die effizientere Beleuchtung und Gebäudetechnik. Die spezifische Beleuchtungsstärke wurde zum damaligen Zeitpunkt mit Best-Practis Werten angepasst, welche während der Planungsphase rechnerisch bestätigt und realisiert worden sind. Die Variante 3 ist eine Kombination der Variante 1 und 2. Die Variante 4 gehört zu den Modell nach LPH3.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 3 präsentiert den Energiebedarf nach Verbrauchern der analysierten Varianten. Die Ergebnisse zeigen, dass der größte Teil der Energieeinsparungen auf den Heizungssektor entfällt.

Die Qualität der Gebäudehülle und auch die Gebäudetechnik sind zwei wichtige Faktoren zur Reduzierung des Energiebedarfs im Heizungsbereich.

Je besser die Qualität der Gebäudehülle ist, desto weniger Wärme verliert das Gebäude im Winter über Transmission. Folglich verbraucht es auch weniger Energie für die Beheizung.

Anmerkung: Im Sommer kann das Gebäude mit einer guten thermischen Gebäudehülle schlechter in den kühlen Nachtstunden auskühlen.

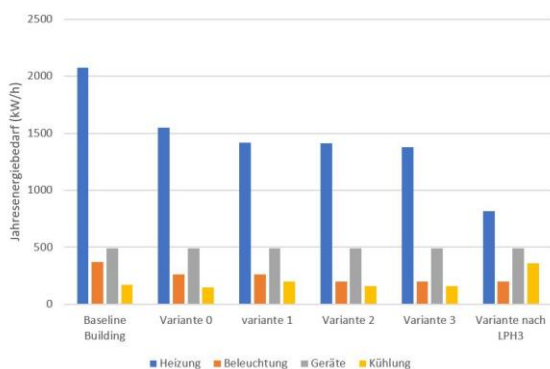


Abbildung 3: Energiebedarf nach Verbrauch

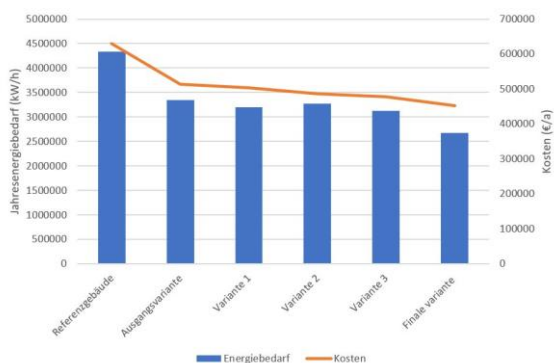


Abbildung 4: Energiebedarf und Energiekosten nach Varianten

In der Abbildung 4 sind der Energiebedarf und die Energiekosten der Varianten dargestellt. Die „Finale Variante“ hat dabei die besten Ergebnisse bzw. Bedarfswerte und Kosten.

Tabelle 2 zeigt für den Vergleich den Anteil der Einsparungen der Energiekosten und vom Energiebedarf zwischen der Ausgangsvariante und dem „Baseline Building“. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ausgangsvariante im Vergleich zum „Baseline Building“ bis zu 18,57 Prozent der

Energiekosten und 22,27 Prozent des Energiebedarfs einsparen kann.

Tabelle 2: Energieeinsparung der verschiedenen Varianten

EN.EINSPAR (%): Energieeinsparung (%)

EN.KOST. SPAR (%):. Energiekosteneinsparung (%)

| | EN. EINSPAR (%) | EN. KOST.SPARG (%) |
|----------------|-----------------|--------------------|
| V.0 | 22.72 | 18.57 |
| V.1 | 26.07 | 19.99 |
| V.2 | 24.35 | 22.77 |
| V.3 | 27.8 | 24.23 |
| FINALES MODELL | 38.3 | 28.2 |

Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen der Ausgangsvariante und den vorgeschlagenen Varianten zeigen, dass durch die Optimierung der thermischen Gebäudehülle die Energieeinsparung am höchsten ist. Gemäß den erforderlichen Punkten für die LEED-Platin-Zertifizierung, die bereits in dem Kapitel „Methodologie“ erläutert wurden, und entsprechend der dargestellten Informationen (Tabelle 3) war es mit dem ersten Modell möglich, 7 LEED-Punkte zu erhalten. Aufgrund der Optimierungen, die umgesetzt wurden, kann das finale Modell des Gebäudes jedoch 12 Punkte für ein LEED-Zertifikat erhalten.

Tabelle 3: Energieeinsparung der verschiedenen Varianten

| | KOST.SPARG [%] | LEED PUNKTE |
|-----------------|----------------|-------------|
| V. 0 | 18.57 | 7 |
| V.1 | 19.99 | 8 |
| V.2 | 22.77 | 9 |
| V.3 | 24.23 | 10 |
| FINALEN MODELLE | 28.2 | 12 |

Zusammenfassung

Die Energieeffizienz von Gebäuden ist derzeit das wichtigste Ziel im Bausektor. Die Planungsphase ist die wichtigste Phase im Lebenszyklus eines Gebäudes, die es ermöglicht, Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und der Null-Energie-Gebäude zu ergreifen. Durch den Einsatz von Gebäudesimulationsmodellen in der frühen Planungsphase ist es möglich, einen besseren und energieeffizienteren Entwurf zu erstellen, bevor die Bauphase beginnt.

Literature

- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BME), 2019. Energieeffizienz in Zahlen, Umweltbundesamt, Berlin, Deutschland.
- Welke, M., Beck, M., 2020, Klimaschutz in Zahlen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und ungelare Sicherheit (BMU), Berlin, Deutschland.
- Krimmling, J., Flanderka, O., 2017. Energiebedarf von Bürogebäuden: Richtwerte und Einflussparameter für die Planung, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart, Deutschland.
- Cischinsky, H., Hörner, M., Rodenfels, M., Bischof, J., Nuss, G., Späck, G., 2021. Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude (ENOB), Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, Deutschland.
- Henger, R., Deschermeier, PH., Hunde, M., Seipelt, B., Voigtländer, M., 2016. Energieeffizienz bei Büroimmobilien, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, Deutschland.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2013. Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude-Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen, BMVBS-Online-Publikation 27/2013, Deutschland.
- Sunderland, L., Jahn, A., 2021. Energetische Mindeststandards für den Gebäudebestand, Regulatory Assistance Project, (RAP), Brüssel, Belgien.
- Design Builder Software Ltd., 2006, London, UK.
- DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) (DIN 18599-10-2018-10), 2018. Energetische Bewertung von Gebäuden, Berlin, Deutschland.
- Schweizer Regel des Bauwesen (SIA-2024:2021), 2021. Raumnutzungsdaten für die Energie und Gebäudetechnik, Zürich, Schweiz.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010. Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings (ASHREA 90.1-2010), GA., USA.
- Wenig, M., 2010, Energetische Optimierung von Gebäuden: Analyse von Maßnahmen, Hochschule Deggendorf, Deutschland.

