

Lakshmishree Venugopal, M.Sc.

Combating User-Behaviour Caused Variations with Robustness in Building Design
Robustness analysis of Two Existing German Office Buildings

Master Thesis, M.Sc. ClimaDesign Department of Architecture at the Technical University of Munich, 2018

Abstract

Motivation: In the current design practice, the Building Performance Simulations (BPS) makes generalisations about building operation to estimate energy demand. But occupant behaviour is one of the most fluctuating boundary conditions that has a significant influence on a building's performance. A holistic solution to tackle the regularly expected variations in user-behaviour can be to design robust buildings. This, in turn, can reduce Performance Gap. Evaluating the robustness of a constructed building provides insights about the practical implications of its design and how it is operated; and support the theoretical studies of building performance robustness and robust optimization.

Methodology: Two in-use office buildings in South Germany were studied for three summer months for a two-part analysis of: *user-behaviour* and *performance robustness*. The user-behaviour was studied by monitoring, interviews and surveys to derive a general behaviour pattern and compare it to the conventional BPS assumptions. Robustness was assessed by an uncertainty analysis which parametrically simulates hundreds of different behaviour patterns. Parameters were analysed to find the ones which cause high energy consumption and bad comfort. These can be highlighted as the most critical and must be taken care of while making design decisions.

Conclusions: Occupant behaviour was found to be inconsistent and unpredictable and does not match the conventional BPS inputs. For example, the measured CO₂ levels, just before a window is opened, ranged from 400-2000 ppm while BP simulations assumes 800 ppm; Automatic shading were manually overridden by 80% of the sample group, either every day or at least once a week; Decentralized mechanical ventilation systems were under-used due to lack of widespread operational knowledge. This highlights the inaccuracy in BP simulation predictions which is one of the design-side reasons for performance gap.

The uncertainty analysis found that the building which had *smaller windows, higher thermal mass, automated shading systems and slightly higher room volume*, showed a lower deviation in energy demand and thermal comfort. It also had a lower overall range. However, the daylight quality was unsatisfactory in this building. The parameters that have the highest influence on energy demand (amongst those than can be altered by an occupant) are: thermostat set point temperatures, shading, CO₂ threshold preference and number of occupants. An interesting find was that an increase in heating setpoint by just two degrees could even double the heating energy demand under other behaviour variations.

Keywords: Building performance robustness, user behaviour, occupant behaviour, uncertainty analysis, sensitivity analysis, post occupancy evaluation, performance gap.

Einfluss des Nutzerverhaltens auf die Gebäudeperformance und Robustheit des Gebäudedesigns als ausgleichende Maßnahme; Analyse zweier Bürogebäude im Betrieb

Hintergrund:

Zur Vorhersage des Gebäudebetriebsverhaltens - abgeleitet aus komplexen dynamischen Computersimulationen (Building Performance Simulations, BPS) - werden in der gegenwärtigen Planungspraxis viele Annahmen zum Gebäudebetrieb vorgenommen. Das Nutzerverhalten ist in diesem Zusammenhang ein wesentlicher Einflussparameter, stellt jedoch eine im höchsten Maße variierende Randbedingung dar.

Ein ganzheitlicher Lösungsansatz, um dem aus Nutzerverhalten resultierenden „Performance-Gap“ zu begegnen, besteht in der Gestaltung robuster Gebäude. Dabei ist die Betriebsrobustheit die Fähigkeit eines Bauwerks, schwankenden Einflüssen standzuhalten, ohne dass sich die Eigenschaften in Bezug auf Energieverbrauch oder Aufenthaltskomfort wesentlich ändern. Somit können robuste Gebäude auch vermeintliches „Nutzerfehlverhalten“ in gewissen Grenzen tolerieren. Eine Bewertung der Robustheit von bestehenden Gebäuden kann Einblicke in die praktischen Auswirkungen getroffener Entwurfsentscheidungen geben. So können Studien und Analysen zur Beständigkeit der Gebäudeperformance dazu beitragen, zukünftige Planungsprozesse und die daraus resultierenden Gebäude zu optimieren.

Methodik:

Während dreier Sommermonate erfolgte die Untersuchung zweier Bürogebäude in Süddeutschland, um Nutzerverhalten und Leistungsrobustheit abzubilden. Dabei wurde das Nutzerverhalten durch Monitoring, Interviews und Umfragen ermittelt. Standardisierte Verhaltensmuster waren daraus ableitbar, um diese mit den BPS-Annahmen aus dem Planungsprozess zu vergleichen. Mit Hilfe von einer Vielzahl parametrischer Gebäudesimulationen, die die verschiedenen Nutzerverhaltensmuster berücksichtigten, war die Betriebsrobustheit beider Gebäude quantitativ zu bewerten. Die für den Planungsprozess maßgeblichen Parameter, die mit hohem Energieverbrauch bzw. schlechter Behaglichkeit verknüpft sind, wurden identifiziert.

Fazit:

Das im Monitoring beobachtete und erfragte Nutzerverhalten in beiden Gebäuden stimmte nicht mit dem in den BP-Simulationen angenommenen Verhalten überein. Daraus können unrealistische Prognosen des Energiebedarfes resultieren. Die Analyse des Verhaltens der Nutzer ergab zudem, dass es uneinheitlich und unvorhersehbar ist. Beispielsweise lagen die zum Zeitpunkt des Öffnens von Fenstern gemessenen CO₂-Werte in der Raumluft in einer Bandbreite zwischen 400 und 2000 ppm; die automatische Regelung der Verschattung wurde in der Stichprobengruppe zu 80 % übersteuert; dezentrale mechanische Lüftungssysteme wurden mangels ausreichender Betriebskenntnisse durch die Nutzer nicht adäquat genutzt.

Die Analyse zeigt, dass das Gebäude mit den kleineren Fenstern, der höheren thermischen Masse, mit automatisierten Beschattungssystemen und etwas höherem Raumvolumen pro Nutzer eine bessere Robustheit in Bezug auf Energiebedarf und thermischer Behaglichkeit aufweist. Auch ist allgemein die Bandbreite der Schwankungen geringer. Allerdings befriedigt die Tageslichtqualität in diesem Gebäude nicht.

Die Parameter, die den größten Einfluss auf den Energiebedarf haben und gleichzeitig durch die Nutzer verändert werden können, sind die Thermostat-Sollwerttemperaturen, die Verschattung, die CO₂-Schwellenpräferenz und die Anzahl der Personen im Raum. Hervorzuheben ist, dass es eine Erhöhung des Heizsollwerts um nur zwei Grad bei unveränderten anderen nutzerbedingten Eingriffen benötigt, um den Heizenergiebedarf zu verdoppeln.