

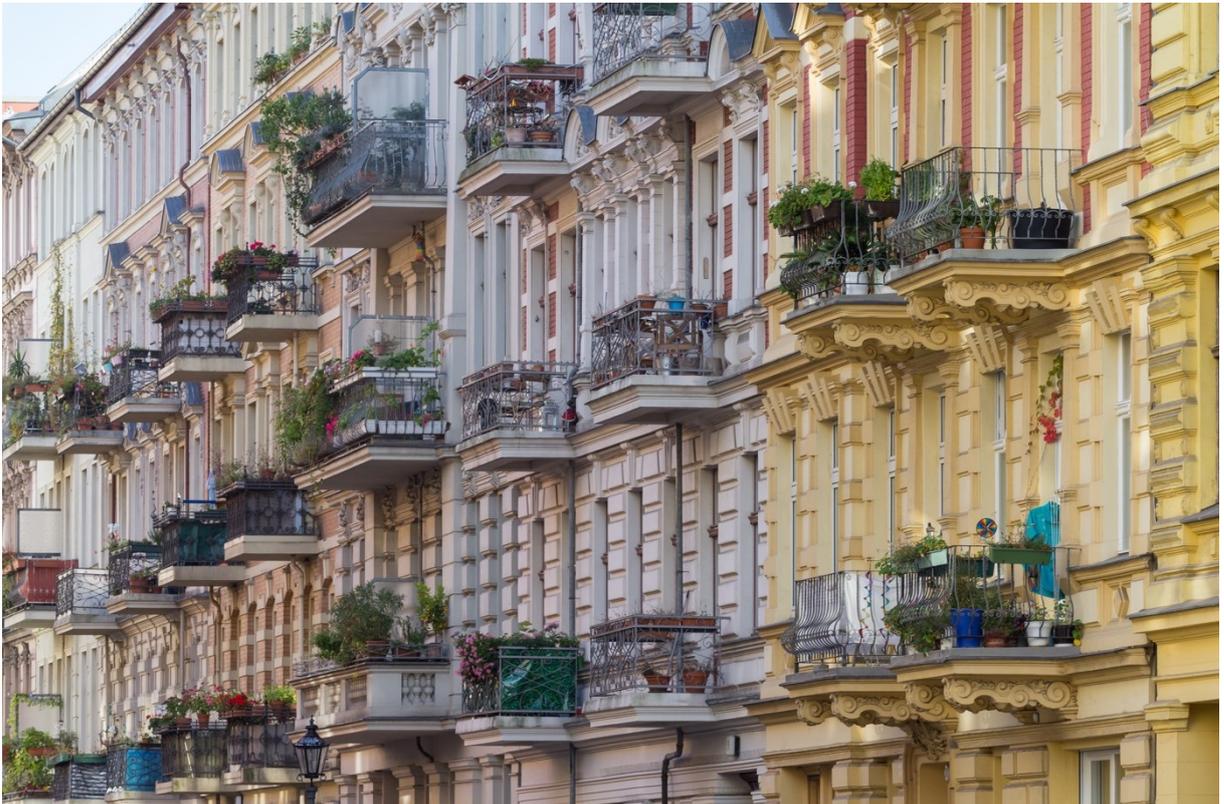


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 19. Dezember 2022

Suffizienzorientierte Berechnung der Grauen Energie und Treibhausgasemissionen von Wohnbauten





Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
T 0041 43 300 50 40
F 0041 43 255 15 35
team@umweltchemie.ch
www.umweltchemie.ch

**Büro für
umweltchemie**

Datum: 19. Dezember 2022

Ort: Zürich

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

Büro für Umweltchemie GmbH
Schaffhauserstrasse 21, CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

Autoren:

Daniel Savi, Büro für Umweltchemie GmbH, Zürich, team@umweltchemie.ch
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie GmbH, Zürich, team@umweltchemie.ch

Expertenbeirat:

Katrin Pfäffli, Architekturbüro K. Pfäffli, Zürich
Severin Lenel, Basler & Hofmann, St. Gallen

BFE-Projektbegleitung:

Nadège Vetterli, Leiterin Forschungsprogramm

Begleitgruppe:

Basil Monkewitz, Minergie-Eco, Geschäftsstelle ecobau, Zürich
Daniel Kellenberger, Stv. Heidi Mittelbach, Projektleitung 2000W-Areal, Intep, Zürich
Katrin Pfäffli, Kommissionen SIA 2032, 2040, Architekturbüro K. Pfäffli, Zürich
Severin Lenel, SNBS-, Minergie-, Minergie-Eco-Label, Basler & Hofmann, St. Gallen
Stefan Schrader, SGNI-Fachausschuss, Büro für Nachhaltigkeit am Bau, Zürich

Danksagungen:

Christoph Popp, Auskunftsdienst Gebäude- und Wohnungsstatistik, Bundesamt für Statistik BFS, Sektion Bevölkerung POP, Neuchâtel

Quelle Titelbild: JoachimKohler-HB, commons.wikimedia.org, CCSA 4.0

BFE-Vertragsnummer: SI/502291-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Kennzahlen werden in Gebäudelabels verwendet zur vergleichenden Bewertung. Zwei davon sind die Energie und die Treibhausgasemissionen der Erstellung von Gebäuden. Durch ihre numerische Natur wirken Kennzahlen objektiv und wertfrei. Jedoch werden die Kennzahlen nicht alleine durch die Eigenschaften der untersuchten Objekte bestimmt. Für die Berechnung der Kennzahlen wird eine standardisierte Methodik verwendet, welche das Rezept zur Ermittlung der Kennzahlen vorgibt. Diese Methodik bestimmt darüber mit, welche Kennzahlen die untersuchten Gebäude erhalten. Bei der Bildung der Kennzahlen der Grauen Energie und Treibhausgasemissionen wird die berechnete absolute Menge an verbrauchter Energie oder ausgestossener Treibhausgasemissionen durch die Energiebezugsfläche des Gebäudes geteilt. Zudem werden die absolute Energiemenge oder die absoluten Emissionen mit einer pro Bauteil festgelegten Amortisationszeit auf Jahreswerte umgerechnet. So entsteht eine Kennzahl mit Bezug pro Jahr und pro Quadratmeter Energiebezugsfläche.

Mit dieser Kennzahlbildung wird eine Abhängigkeit zur Energiebezugsfläche eingeführt, die zu ungewollten Effekten führen kann. Wenn ein Planerteam bestrebt ist, die Energiebezugsfläche bei gleichbleibendem Nutzen eines Gebäudes zu verkleinern – was eine Einsparung an benötigter Heizenergie ermöglicht – dann führt das im Allgemeinen zu einer grösseren Kennzahl für die Graue Energie oder Treibhausgasemissionen pro Jahr und Quadratmeter Energiebezugsfläche. Die Kennzahl des Gebäudes verschlechtert sich also, statt sich zu verbessern. Mit der vorliegenden Arbeit schlagen wir einen Lösungsansatz für dieses Problem für den Wohnungsbau vor.

Unser Vorschlag orientiert sich am primären Ziel der Erstellung von Wohnbauten: diese sollen Wohnraum für Personen schaffen. Wir erarbeiten eine Methode, um die künftige Anzahl Bewohner:innen von Bauprojekten zu ermitteln. Die prognostizierte Anzahl Bewohner:innen verwenden wir weiter zur Berechnung einer Referenzfläche für das Bauprojekt. Zur Ermittlung der Referenzfläche multiplizieren wir die prognostizierte Anzahl Bewohner:innen mit dem mittleren Flächenverbrauch pro Kopf. Nehmen wir nun die effektive Projektfläche und teilen sie durch die soeben ermittelte Referenzfläche, erhalten wir den personenbezogenen Flächeneffizienzfaktor. Je kleiner der resultierende Flächeneffizienzfaktor wird, desto effizienter geht das Projekt mit der geschaffenen Fläche um.

Der personenbezogene Flächeneffizienzfaktor wurde in einer Variante weiterentwickelt zu einem suffizienten Flächeneffizienzfaktor. Für diesen wird die Personenzahl in derselben Weise prognostiziert wie bisher. Dann wird die Anzahl künftiger Bewohner:innen jedoch mit einem suffizienten Flächenverbrauch pro Kopf multipliziert, um die suffiziente Referenzfläche zu erhalten. Der suffiziente Flächenverbrauch pro Kopf wird in der vorliegenden Studie definiert. Nun kann wie im ersten Ansatz die Referenzfläche durch die Projektfläche geteilt werden, um den suffizienten Flächeneffizienzfaktor zu erhalten.

Für die Ermittlung des Flächeneffizienzfaktors wird eine zweite wohnungsbezogene Methode entwickelt, welche die Wohnungsflächen des geplanten Projekt in Bezug setzt zu den mittleren Wohnungsflächen der Schweiz. Dieser Ansatz wird in der Diskussion zugunsten des personenbezogenen verworfen. Er wurde jedoch ebenfalls vollständig entwickelt und könnte dasselbe leisten wie der von den Autoren favorisierte Personenbezug.

Der Flächeneffizienzfaktor eines Gebäudes kann auf unterschiedliche Weise für die Gebäudebeurteilung eingesetzt werden:

- Eine Möglichkeit besteht darin, den reinen Flächeneffizienzfaktor als Vergleichsmassstab in der Projektentwicklung oder zwischen verschiedenen Projekten zu verwenden. Projektvarianten mit kleinerem Flächeneffizienzfaktoren sind bezüglich Flächennutzung besser als solche mit grösserem Flächeneffizienzfaktor.
- Der reine Flächeneffizienzfaktor kann auch als Bewertungsmassstab verwendet werden, indem gewisse Zielvorgaben gesetzt werden. Es könnte z.B. gefordert werden, dass Wettbewerbsprojekte einen Flächeneffizienzfaktor kleiner gleich eins erreichen müssen.



- In einem Labelkriterium können die Werte des Flächeneffizienzfaktors mit Noten gleichgesetzt werden. Für eine solche Verwendung im SNBS-Label macht die Studie einen konkreten Vorschlag.
- Im Falle von Gebäudelabel mit einer berechnungsbasierten Bewertung der Grauen Energie oder Treibhausgasemissionen kann der Flächeneffizienzfaktor in die Berechnung des Grenzwerts einfließen. Wir schlagen ein konkretes Verfahren für die Grenzwertbildung von Minergie-Eco oder SNBS vor.
- Bei der Berechnung der Grauen Energie oder Treibhausgasemissionen von Gebäuden kann das Ergebnis mit dem Flächeneffizienzfaktor gewichtet werden, um einen personengewichteten Gebäudewert zu erhalten.

Welche Verwendung des Flächeneffizienzfaktors zielführend ist, hängt ab von der Projektphase und vom Kontext. Es ist denkbar, den reinen Flächeneffizienzfaktor in frühen Projektphasen zu verwenden, um dann in späteren Phasen auf eine Bewertung der Treibhausgasemissionen mittels flächengewichteten Grenzwerten zu wechseln.

Die vorgeschlagene Bewertungsmethode wurde an einem Dutzend Beispielgebäude getestet. Es handelt sich durchgehend um reale Gebäude in einem realisierungsfähigen Planungsstand. Es zeigt sich, dass der Einbezug des Flächeneffizienzfaktors mehrere Vorteile für die Bewertung generiert. Er löst problematische Effekte des heute verwendeten Flächenbezugs, der eine optimierte Energiebezugsfläche oder die Erstellung kleinerer Zimmer bestraft. Wie gewünscht verbessert sich die Zielerreichung von Gebäuden mit weniger gegenüber Gebäuden mit mehr Flächenverbrauch pro Person.

In der Analyse der Beispielgebäude zeigte sich, dass bewusst flächenoptimiert geplante Bauten nach heutigem Baustandard personenbezogene Flächeneffizienzfaktoren von 0.7-0.8 erreichen können. Wenig flächenoptimierte Gebäude wiesen Flächeneffizienzfaktoren um 1.2 auf. Wobei anzumerken ist, dass keine ausgesprochenen Luxusbauten in der Gebäudeauswahl vorkamen. Die erwähnten Zahlen beziehen sich auf Flächeneffizienzfaktoren, die auf dem mittleren Wohnflächenverbrauch der Schweiz basieren.

Die Autoren empfehlen den Einbezug des Flächeneffizienzfaktors in die Ermittlung der Grenzwerte für Graue Energie und Treibhausgasemissionen der Gebäudelabels Minergie-Eco und SNBS. Wenn die entwickelten Flächeneffizienzfaktoren in die bestehende Bewertungsmethodik von Gebäudelabels eingepflegt werden, entsteht ein Bewertungsmassstab für die Grauen Treibhausgasemissionen oder die Graue Energie unter Einbezug der künftigen Anzahl Bewohner:innen. Damit wird flächeneffiziente Planung in der Bewertung sichtbar und numerisch fassbar.

Résumé

Des indicateurs sont utilisés dans les labels de construction pour une évaluation comparative. Deux d'entre eux sont l'énergie et les émissions de gaz à effet de serre liées à la construction de bâtiments. De par leur nature numérique, les indicateurs sont perçus comme objectifs et sans valeur. Toutefois, les indicateurs ne sont pas déterminés uniquement par les caractéristiques des objets examinés. Pour le calcul des indicateurs, on utilise une méthodologie standardisée qui donne la recette pour déterminer les indicateurs. Cette méthodologie détermine les chiffres clés attribués aux bâtiments étudiés. Lors de la création des indicateurs de l'énergie et des émissions de gaz à effet de serre grise, la quantité absolue calculée d'énergie consommée ou d'émissions de gaz à effet de serre émises est divisée par la surface de référence énergétique du bâtiment. De plus, la quantité absolue d'énergie ou les émissions absolues sont converties en valeurs annuelles avec une durée d'amortissement définie pour chaque élément de construction. On obtient ainsi un ratio avec référence par an et par mètre carré de surface de référence énergétique.



La formation de ce ratio introduit une dépendance par rapport à la surface de référence énergétique, ce qui peut conduire à des effets indésirables. Si une équipe de concepteurs s'efforce de réduire la surface de référence énergétique d'un bâtiment tout en conservant son utilité - ce qui permet d'économiser l'énergie de chauffage nécessaire -, cela entraîne généralement une augmentation du ratio d'énergie ou d'émissions de gaz à effet de serre grise par an et par mètre carré de surface de référence énergétique. L'indice du bâtiment se détériore donc au lieu de s'améliorer. Dans le présent travail, nous proposons une solution à ce problème pour la construction de logements.

Notre proposition s'oriente vers l'objectif primaire de la construction de logements : ceux-ci doivent créer des logements pour les personnes. Nous élaborons une méthode permettant de calculer le nombre d'habitants prévu dans les projets de construction. Nous utilisons ensuite le nombre d'habitants prévu pour calculer une surface de référence pour le projet de construction. Pour déterminer la surface de référence, nous multiplions le nombre d'habitants prévu par la consommation moyenne de surface par habitant. Si nous prenons la surface effective du projet et la divisons par la surface de référence que nous avons calculée, nous obtenons le facteur d'efficacité de la surface lié à la personne. Plus le facteur d'efficacité de la surface qui en résulte est petit, plus le projet est efficace avec la surface créée.

Le facteur d'efficacité de la surface lié à la personne a été développé dans une variante pour devenir un facteur d'efficacité de la surface suffisant. Pour ce dernier, le nombre de personnes est pronostiqué de la même manière que précédemment. Le nombre de habitants prévu est ensuite multiplié par une consommation de surface suffisante par personne afin d'obtenir la surface de référence suffisante. La consommation d'espace suffisante par habitant est définie dans la présente étude. Comme dans la première approche, la surface de référence peut maintenant être divisée par la surface du projet afin d'obtenir le facteur d'efficacité de la surface suffisante.

Pour déterminer le facteur d'efficacité de la surface, une deuxième méthode est développée, qui met en relation les surfaces de logement du projet prévu avec les surfaces moyennes de logement en Suisse. Cette approche est rejetée dans la discussion au profit de celle liée aux personnes. Cependant, elle a également été entièrement développée et pourrait apporter la même chose que la référence à la personne privilégiée par les auteurs.

Le facteur d'efficacité surfacique d'un bâtiment peut être utilisé de différentes manières pour l'évaluation du bâtiment :

- L'une des possibilités consiste à utiliser le facteur d'efficacité surfacique pur comme critère de comparaison lors du développement d'un projet ou entre différents projets. Les variantes de projet présentant un facteur d'efficacité surfacique plus faible sont meilleures en termes d'utilisation de la surface que celles présentant un facteur d'efficacité surfacique plus élevé.
- Le facteur d'efficacité surfacique pur peut également être utilisé comme critère d'évaluation en fixant certains objectifs. On pourrait par exemple exiger que les projets en compétition atteignent un facteur d'efficacité surfacique inférieur ou égal à un.
- Dans un critère de label, les valeurs du facteur d'efficacité surfacique peuvent être assimilées à des notes. L'étude fait une proposition concrète pour une telle utilisation dans le label SNBS.
- Dans le cas des labels de bâtiments en Suisse avec une évaluation de l'énergie grise ou des émissions de gaz à effet de serre basée sur le calcul, le facteur d'efficacité surfacique peut être intégré dans le calcul de la valeur limite. Nous proposons une procédure concrète pour le calcul de la valeur limite de Minergie-Eco ou du SNBS.
- Lors du calcul de l'énergie grise ou des émissions de gaz à effet de serre des bâtiments, le résultat peut être pondéré par le facteur d'efficacité surfacique afin d'obtenir une valeur de bâtiment pondérée par la personne.

L'utilisation du facteur d'efficacité surfacique dépend de la phase du projet et du contexte. Il est envisageable d'utiliser le facteur d'efficacité surfacique pur dans les premières phases du projet, puis de passer



à une évaluation des émissions de gaz à effet de serre au moyen de valeurs limites pondérées par la surface dans les phases ultérieures.

La méthode d'évaluation proposée a été testée sur une douzaine d'exemples de bâtiments. Il s'agit systématiquement de bâtiments réels à un stade de planification réalisable. Il s'avère que la prise en compte du facteur d'efficacité surfacique génère plusieurs avantages pour l'évaluation. Il résout les effets problématiques de la référence à la surface utilisée aujourd'hui, qui pénalise une surface de référence énergétique optimisée ou la construction de petites pièces. Comme souhaité, la réalisation des objectifs des bâtiments consommant moins de surface par personne est améliorée par rapport à celle des bâtiments consommant plus de surface par personne.

L'analyse des exemples de bâtiments a montré que les bâtiments conçus de manière délibérément optimisée en termes de surface pouvaient atteindre des coefficients d'efficacité surfacique de 0,7 à 0,8 selon les normes de construction actuelles. Les bâtiments peu optimisés en termes de surface présentent des coefficients d'efficacité de l'ordre de 1,2. Il convient de noter qu'aucun bâtiment de luxe n'a été parmi les exemples. Les chiffres mentionnés se réfèrent à des facteurs d'efficacité surfacique basés sur la consommation moyenne de surface habitable en Suisse.

Les auteurs recommandent d'intégrer le facteur d'efficacité des surfaces dans la détermination des valeurs limites pour l'énergie grise et les émissions de gaz à effet de serre des labels de bâtiments Minergie-Eco et SNBS. Si les facteurs d'efficacité des surfaces développés sont intégrés dans la méthode d'évaluation existante des labels de bâtiments, on obtient un critère d'évaluation pour les émissions grises de gaz à effet de serre ou l'énergie grise en tenant compte du nombre futur d'habitants. Ainsi, une planification efficace en termes de surface devient visible dans l'évaluation et peut être saisie numériquement.

Summary

Several indicators are used in building labels for comparative assessment. Two of these are energy and greenhouse gas emissions from the construction of buildings. Due to their numerical nature, indicators appear objective and value-free. However, these values are not determined solely by the properties of the objects examined. A standardised methodology is used, which provides the recipe to calculate the indicators. This methodology also plays a role to determine which values are assigned to a certain building. When calculating the indicators for grey energy and greenhouse gas emissions, the calculated absolute amount of energy consumed or greenhouse gas emissions emitted is divided by the energy reference area of the building. In addition, the absolute amount of energy or the absolute emissions are converted to annual values with an amortisation period defined for each building component. This results in a key figure with a reference per year and per square metre of energy reference area.

With this approach, a dependency on the energy reference area is introduced, which can lead to undesired effects. If a planning team strives to reduce the energy reference area of a building while keeping its usability on the same level - which enables savings in the required heating energy - then this generally leads to a larger indicator for grey energy or greenhouse gas emissions per year and per square metre of energy reference area. The building's performance indicator therefore deteriorates instead of improves. In this paper, we propose a solution to this problem for residential buildings.

Our proposal is oriented towards the primary objective of the construction of residential buildings: they should create living space for people. We develop a method to predict the future number of occupants of construction projects. We further use the predicted number of occupants to calculate a reference floor space for the building project. To determine the reference floor space, we multiply the predicted number of residents by the average space consumption per capita. If we now take the effective project floor space and divide it by the reference floorspace we have just calculated, we obtain the floorspace efficiency factor. The smaller the resulting floorspace efficiency factor, the more efficiently the project uses the space created.



The person-related floorspace efficiency factor was further developed in a variant to a sufficiency-related floorspace efficiency factor. For this, the number of people is forecast in the same way as before. Then, however, the number of predicted residents is multiplied by a sufficient space consumption per capita in order to obtain the sufficient reference area. The sufficient floor space consumption per capita is defined in this study. Now, as in the first approach, the reference area can be divided by the project area to obtain the sufficiency factor.

A second method is developed for determining the floorspace efficiency factor, which relates the residential floor areas of the planned project to the average residential floor areas in Switzerland. This approach is rejected in the discussion in favour of the person-based one. However, it has also been fully developed and could achieve the same results as the person-based approach favoured by the authors.

The floorspace efficiency factor of a building can be used in different ways for assessing buildings:

- One way is to use the pure floorspace efficiency factor as a benchmark in project development or project comparison. Project variants with smaller floorspace efficiency factors are better in terms of space utilisation than those with larger floorspace efficiency factors.
- The pure floorspace efficiency factor can also be used as an assessment benchmark by setting certain targets. For example, it could be required that projects in architectural competitions must achieve a floorspace efficiency factor of less than or equal to one.
- In a label criterion, the values of the floorspace efficiency factor can be related to grades. The study makes a proposal for such a use in the SNBS label.
- In the case of building labels with a calculation-based assessment of grey energy or greenhouse gas emissions, the floorspace efficiency factor can be included in the calculation of the threshold value. We propose such a procedure for the limit value calculation of Minergie-Eco or SNBS.
- When calculating the grey energy or greenhouse gas emissions of buildings, the result can be weighted with the floorspace efficiency factor to obtain a person-weighted building value.

The appropriate use of the floorspace efficiency factor depends on the project phase and the context. It is conceivable to use the pure floorspace efficiency factor in early project phases and then switch to an assessment of greenhouse gas emissions by means of area-weighted limit values in later phases.

The proposed assessment method was tested on a dozen example buildings. All of them are real buildings in a realisable planning stage or later. It turns out that the inclusion of the floorspace efficiency factor has several advantages for the assessment. It solves the problematic effects of the currently used area reference, which penalises an optimised energy reference area or the construction of smaller rooms. As desired, the target achievement of buildings with less compared to buildings with more space consumption per person is improved.

We found that buildings planned for optimised space consumption, can achieve floorspace efficiency factors of 0.7-0.8 according to today's building standards. Buildings with more generous space usage scored floorspace efficiencies of around 1.2. It should be noted, however, that the example buildings did not include any luxury buildings. The figures mentioned refer to floorspace efficiency factors based on the average residential space consumption in Switzerland.

The authors recommend including the floorspace efficiency factor in the calculation of the threshold values for grey energy and greenhouse gas emissions of the Minergie-Eco and SNBS building labels. If the developed floorspace efficiency factors are incorporated into the existing evaluation methodology of building labels, an evaluation benchmark for the grey greenhouse gas emissions or the grey energy will be created, taking into account the future number of occupants. This makes space-efficient planning visible and numerically tangible in the assessment.



Take-home messages

deutsch

- Suffizientes Bauen führt heute zu schlechteren Kennzahlen für die Graue Energie und Treibhausgasemissionen von Gebäuden
- Eine Kennzahlbildung unter Einbezug des Flächeneffizienzfaktors belohnt suffiziente oder effiziente Gebäudeplanung
- Der Flächeneffizienzfaktor eignet sich als Planungsinstrument über alle Planungsphasen
- Die entwickelte Methodik ist ausgereift und kann in Gebäudelabels angewendet werden

français

- La construction suffisante provoque aujourd'hui une baisse des indices de l'énergie grise et des émissions de gaz à effet de serre des bâtiments.
- La création d'un indice intégrant le facteur d'efficacité surfacique récompense la planification de bâtiments suffisants ou efficaces.
- Le facteur d'efficacité surfacique est un instrument de planification adapté à toutes les phases de planification.
- La méthodologie développée est bien élaborée et peut être utilisée dans les labels de bâtiments.

english

- Today, sufficiency in construction leads to poorer indicators for the grey energy and greenhouse gas emissions of buildings.
- The use of the floorspace efficiency factor in the calculation of indicators rewards efficient building design.
- The floorspace efficiency factor is suitable as a planning instrument for all planning phases.
- The methodology is mature and can be used in building labels.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
1.1	Ausgangslage und Hintergrund	12
1.2	Motivation des Projektes	12
1.3	Problematik des Flächenbezugs bei der Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen.....	13
1.4	Projektziele	16
2	Vorgehen und Methode.....	17
2.1	Berücksichtigung der künftigen Bewohner in der Bezugsgrösse der Grauen Energie	17
2.2	Statistische Datengrundlagen zur Wohnungsbelegung	18
2.3	Entwicklung des Flächeneffizienzfaktors.....	22
2.4	Anwendung des Flächeneffizienzfaktors auf Gebäude	33
2.5	Beispielgebäude für die Anwendung	34
3	Ergebnisse und Diskussion	46
3.1	Formeln für die Effizienzfaktoren.....	46
3.2	Vergleich künftige Anzahl Bewohner:innen in Beispielgebäuden	46
3.3	Bewohnerbasierter Flächeneffizienzfaktor	48
3.4	Vergleich Wohnungs-Referenzflächen der Mustergebäude	49
3.5	Wohnungsbasierter Flächeneffizienzfaktor	51
3.6	Empfehlung für die Wahl des Flächeneffizienzfaktors	52
3.7	Suffiziente Flächeneffizienzfaktoren.....	55
3.8	Vergleich der Auswertungen für WF, EBF, GF	56
3.9	Umrechnungsfaktoren für Gebäudeflächen	58
4	Schlussfolgerungen und Fazit	59
4.1	Optimalen Umgang mit Raum belohnen statt bestrafen	59
4.2	Berechnung der Flächeneffizienz benötigt nur bekannte Kenngrössen	59
4.3	Anwendung in allen Planungsphasen möglich.....	59
4.4	Das Bauwesen ist weit von einer suffizienten Bauweise entfernt	60
4.5	Empfehlung zur weiteren Verwendung	61
5	Ausblick und zukünftige Umsetzung	62
5.1	Anwendung auf Bewertung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen in Labels	62
5.2	Verwendung des Flächeneffizienzfaktors als eigenes Kriterium.....	65
5.3	Anwendung in Architektur-Wettbewerben	66
5.4	Anwendung in Portfolio-Analysen	67
5.5	Anwendung im Normierungswesen.....	67
6	Nationale und internationale Zusammenarbeit	67
7	Literaturverzeichnis	68



8	Anhang	70
8.1	Herleitung personenbezogener Grenzwerte	70
8.2	Äquivalenz zwischen personenbezogenen und gewichteten flächenbezogenen Grenzwerten	74
8.3	Indikator Nutzungsdichte des SNBS Hochbau	76
8.4	Vergleich der Prognose der künftigen Bewohner:innen je nach verwendeter Datenreihe	76
8.5	Analyse der Differenz zwischen personenbasiertem und wohnungsbasiertem Flächeneffizienzfaktor	79



Abkürzungs- und Begriffsverzeichnis

EBF	Energiebezugsfläche, gemäss SIA-Norm 380, im Gebäude beheizte Fläche.
Gebäudefläche	Eine der standardisierten Flächen für Gebäude wie EBF, GF, HNF, NNF, WF, wenn sie im Kontext nicht weiter spezifiziert wird.
GF	Geschossfläche, gemäss SIA-Norm 416, umschlossene und überdeckte Grundrissfläche aller zugänglichen Geschosse.
HNF	Hauptnutzfläche, gemäss SIA-Norm 416, Geschossfläche ohne Konstruktionsbauteile, die der Wohnnutzung des Gebäudes im engeren Sinn gilt.
NNF	Nebennutzfläche, gemäss SIA-Norm 416, Geschossfläche ohne Konstruktionsbauteile, die die Hauptnutzfläche ergänzt. In der vorliegenden Studie wird die NNF innerhalb der Wohnungen ausgewertet. Dies sind im Wesentlichen Abstellräume / Re-duits.
Pers.	Person
SNBS	Standard nachhaltiges Bauen Schweiz
WBS	Wohnungsbewertungssystem des Bundes
WF	Wohnungsfläche, gemäss Merkmalskatalog des eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters (Merkmal WF), in der vorliegenden Studie erhoben als HNF und NNF innerhalb der Wohnung.
Whg.	Wohnung



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Die Schweiz setzt sich ambitionierte Ziele zur Erreichung einer Volkswirtschaft, welche Netto keine Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen erzeugt («Netto-Null»). Der Bausektor ist weit von der Erreichung einer Gebäudeerstellung mit Netto-Null-Treibhausgasemissionen entfernt. Eine Erreichung des Ziels ist nur mit umfangreichen Massnahmen auf allen Ebenen der Gebäudeerstellung und des Betriebs denkbar.

Einer der wichtigsten Faktoren ist die Reduktion des Baustoff- und Energiebedarfs zur Bereitstellung des benötigten Wohnraums. Das Stichwort für diese Massnahmen lautet Suffizienz. Damit suffiziente Planung gefördert wird, müssen solche Leistungen sichtbar und belohnt werden. Suffizienz besteht im Wohnungsbau besonders darin, die gewünschten Leistungen mit weniger Wohnflächenverbrauch als heute üblich, sowie planerischer Reduktion von Erschliessungs- oder schlecht nutzbaren Flächen bereitzustellen.

Die Bereitstellung von Wohnraum hat zum Ziel Wohnungen für künftige Bewohner zu schaffen. Diese Zielsetzung kann mit sehr unterschiedlichen Ansätzen erreicht werden. Aus ökologischer Sicht interessiert vor allem die Frage, wie gross der Energieverbrauch oder die Treibhausgasemissionen für die Bereitstellung von Wohnraum sind. Da die Nutzer von Wohnraum die Bewohner sind, liegt es nahe, diese als Bezugsgrösse für die Bewertung der Grauen Energie oder der Treibhausgasemissionen eines Projekts zu verwenden.

Die Herleitung der Zielwerte im SIA-Effizienzpfad Energie (SIA, 2017) basiert auf einer personenbezogenen Betrachtung. Der Effizienzpfad gibt ein Ziel von 2000 Watt/Person respektive 2 Tonnen Treibhausgasemissionen/Person vor, welches bis 2050 erreicht werden soll¹. Die Zielwerte im SIA-Effizienzpfad gelten pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und pro Jahr. Sie wurden im Bereich Wohnen mit einem durchschnittlichen Flächenverbrauch von 60m² Energiebezugsfläche (EBF) pro Person aus den personenbezogenen Werten abgeleitet. Die Grenzwerte für die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen in den Gebäudelabels Minergie-Eco, Minergie-A und SNBS wurden von jenem im SIA-Effizienzpfad abgeleitet. Demzufolge basieren auch sie letzten Endes auf einer personenbezogenen Betrachtung.

Durch die Betrachtung von flächenbezogenen Grenzwerten geht der Personenbezug in der konkreten Gebäudeplanung jedoch verloren. Dadurch wird suffizientes Bauen nicht sichtbar, da die Belegungsdichte des erstellten Wohnraums nicht in die Berechnung einfliesst. Eine Bezugsgrösse, welche sich auf die künftige Anzahl Bewohner bezieht, würde demgegenüber suffiziente Grundrisse besser belohnen.

1.2 Motivation des Projektes

Eine suffiziente Nutzung der Wohnfläche ist heute wenig sichtbar in der Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen der Erstellung von Wohngebäuden. Damit sie besser abgebildet wird und in der Planung berücksichtigt werden kann, soll ein Verfahren zur Ermittlung des personenbezogenen Flächenverbrauchs anhand der Grundrisse und der geplanten Bewirtschaftung von Wohngebäuden entwickelt werden. Das Verfahren soll fair und robust sein und in einem Gebäudelabel oder Vergabeverfahren angewendet werden können.

¹ Aufgrund der Forderungen der Netto-Null-Gesellschaft müsste das Ziel für fossile CO₂-Emissionen auf Null reduziert werden.



Die Dringlichkeit der Förderung einer suffizienten Nutzung von Wohnraum zeigt ein Blick auf den mittleren Wohnflächenverbrauch in der Schweiz. Dieser steigt seit Jahren an (BfS, 1993, 2022; Farago et al., 2005). In den letzten vierzig Jahren betrug der Anstieg der personenbezogenen Wohnfläche über 30% (Abbildung 1).

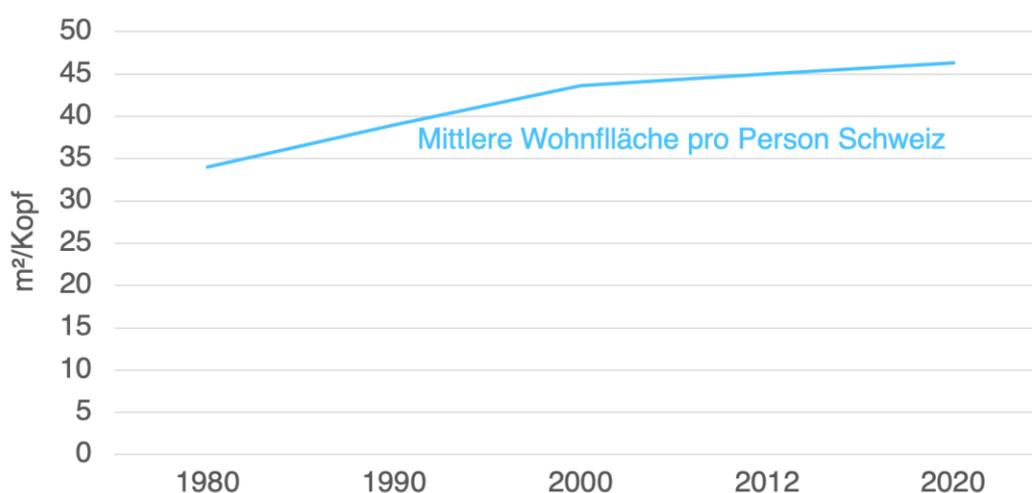


Abbildung 1: Mittlere Wohnfläche pro Person in der Schweiz

Auf europäischer Ebene ist keine einheitliche Datenbasis vorhanden zu den Wohnflächen der Länder. Für die Nachbarländer Deutschland und Österreich sind Zeitreihen mit jährlichen Daten bei den statistischen Ämtern verfügbar. Für Frankreich sind einzelne Datenpunkte alle 4-7 Jahre bekannt (Insee, 2017). Für Italien konnten keine Daten gefunden werden. Für die Nachbarländer mit verfügbaren Daten präsentieren sich die Wohnflächen pro Person gemäss Tabelle 1. Zum Vergleich wird auch die mittlere Wohnfläche der Schweiz aufgeführt. Es zeigt sich, dass die mittleren Wohnflächen im deutschsprachigen Raum sehr ähnlich sind. In Frankreich ist die mittlere Wohnfläche rund 10% kleiner.

Tabelle 1: Wohnflächen pro Person in Nachbarländern der Schweiz.

Land	Neueste verfügbare Angabe [Jahr]	Wohnfläche [m²/Pers.]
Deutschland	2020	47.4
Österreich	2020	45.5
Frankreich	2013	40.3
Schweiz	2019	46.0

1.3 Problematik des Flächenbezugs bei der Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen

Die Graue Energie von Gebäuden wird heute pro Quadratmeter Energiebezugsfläche des Gebäudes ausgewiesen. Zudem werden die Bauteile über ihre Lebensdauer amortisiert, womit der Bezug pro Quadratmeter Energiebezugsfläche pro Jahr resultiert. Da sich die vorliegende Studie mit der Problematik des Flächenbezugs auseinandersetzt und den Jahresbezug unverändert lässt, formulieren wir im



Folgenden oft «pro Quadratmeter» statt korrekterweise «pro Quadratmeter und Jahr». Diese Ungenauigkeit erlauben wir uns im Dienste der besseren Lesbarkeit. Wird die Graue Energie pro Fläche ausgewiesen, so sind die Ergebnisse für Wohnungen mit kleineren Räumen grösser gegenüber Wohnungen mit grösseren Räumen. Die Abbildung 2 und Abbildung 3 illustrieren dies beispielhaft. Abbildung 2 zeigt einen Regelgrundriss mit Zimmergrössen im heute üblichen Massstab. Die Abbildung 3 zeigt dasselbe Regelgeschoss, nun jedoch mit 2-Zimmerwohnungen mit sehr grosszügigen Wohnräumen.

Das Regelgeschoss in Abbildung 3 kommt mit weniger Wänden aus als das Regelgeschoss in Abbildung 2. Die Graue Energie für die Erstellung sinkt somit. Durch die grösseren Spannweiten nimmt im Gegensatz dazu die Deckenstärke aus statischen Gründen eventuell zu. Die Materialeinsparung durch die entfernten Wände dürfte jedoch in den meisten Fällen überwiegen. Besonders wenn der Entwurf architektonisch mehr Sinn ergibt als dieses sehr vereinfachte Beispiel. Insgesamt resultiert somit in der Tendenz eine geringere Graue Energie pro Fläche für Wohnungen mit grösseren Räumen.

Wenn wir nun die mögliche Anzahl künftiger Bewohner anschauen, wird unmittelbar klar, dass die Wohnungsgrundrisse in Abbildung 2 mehr Personen Platz bieten als die Wohnungen in Abbildung 3. Die Graue Energie pro Bewohner würde damit für die Wohnungen in Abbildung 2 eher kleiner ausfallen als für die Wohnungen in Abbildung 3.

Die Graue Energie pro Person verhält sich somit genau gegenläufig zur Grauen Energie pro Fläche. Da sich suffiziente Grundrisse dadurch auszeichnen, dass sie die Fläche effizient nutzen und somit kleinere Räume geplant werden, werden solche Entwürfe in der Tendenz bestraft. Ein Einbezug der Anzahl potentieller Bewohner in die Bezugsgrösse der Grauen Energie soll diesen Missstand beheben.

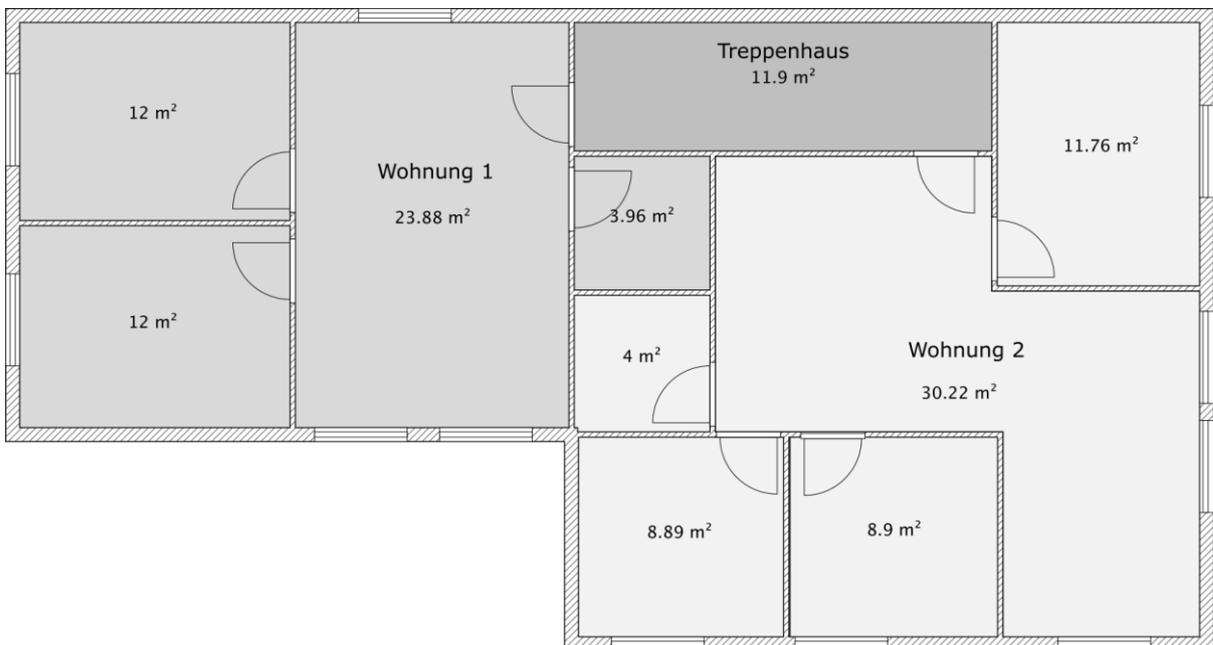


Abbildung 2: Illustrierendes Beispiel für ein Regelgeschoss mit einer 3- und einer 4-Zimmer-Wohnung

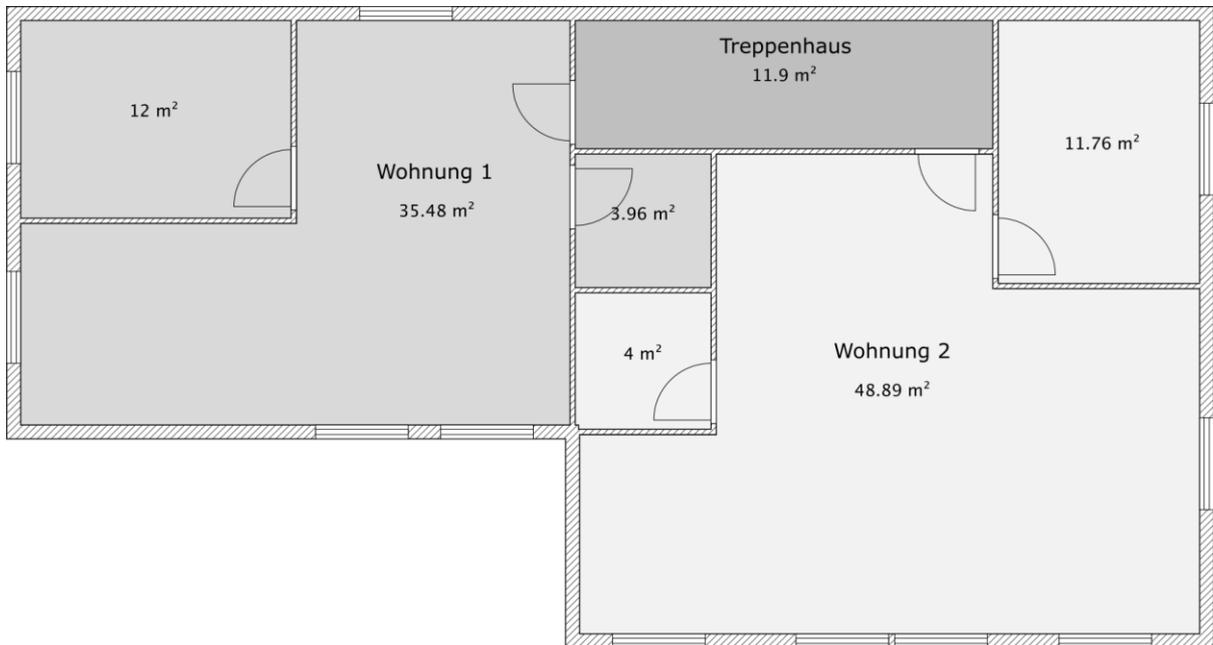


Abbildung 3: Regelgeschoss mit gleicher Grundfläche und zwei grosszügigen 2-Zimmer-Wohnungen

Ein weiterer unerwünschter Effekt des Flächenbezugs auf die Energiebezugsfläche tritt auf für Gebäude, welche die Erschliessungsflächen ausserhalb der beheizten Gebäudehülle führen. Diese führt zu einer Reduktion der beheizten Fläche und ist aus ökologischer Sicht erwünscht. Wegen der Reduktion der Energiebezugsfläche, steigt jedoch die Graue Energie oder die Treibhausgasemissionen der Erstellung in Bezug auf die Energiebezugsfläche.

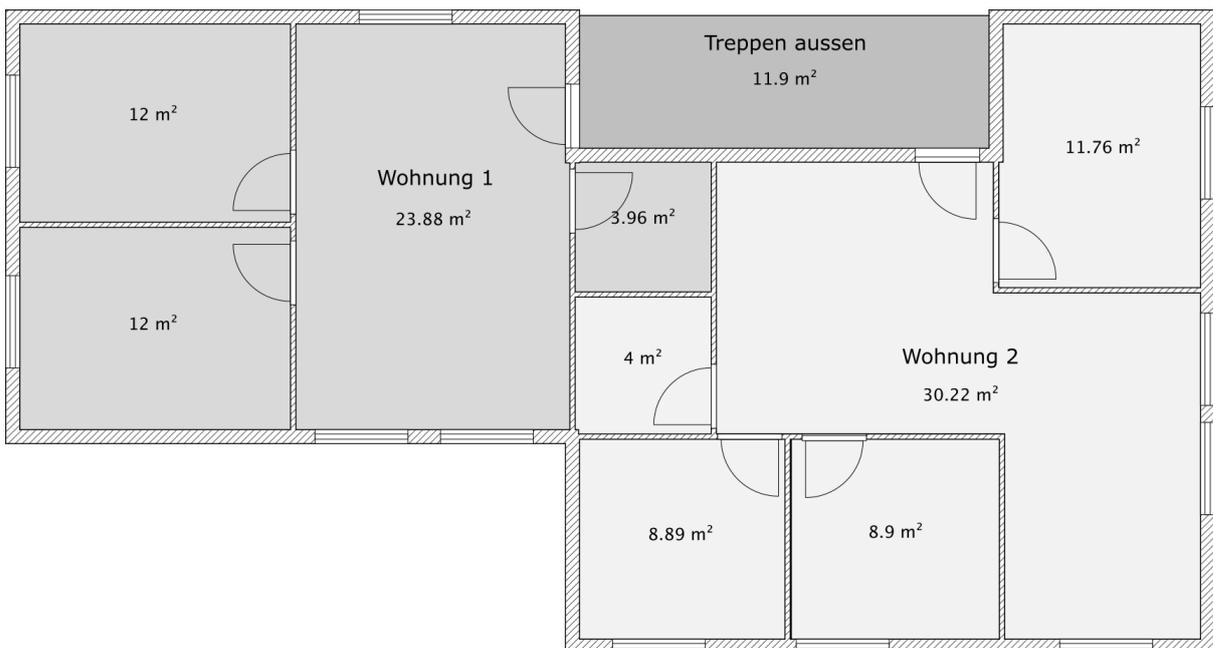


Abbildung 4: Regelgeschoss mit Treppenhaus ausserhalb Gebäudehülle



1.4 Projektziele

Aufbauend auf den bestehenden Grenzwerten pro Person des SIA-Merkblatt 2040 «Effizienzpfad Energie», der Berechnung der Nutzungsdichte im SNBS-Label und weiteren Arbeiten soll die Bewertung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen der Erstellung künftig projektbezogen und «pro erwarteter Anzahl Bewohner», bzw. «pro bereitgestellter Wohnung» erfolgen können. Das Verfahren soll fair und robust sein und in einem Gebäudelabel oder einem Vergabeverfahren angewendet werden können.

Damit eine suffiziente Nutzung der Wohnfläche in der Bewertung der Grauen Energie, bzw. der Treibhausgasemissionen von Wohngebäuden «sichtbar» wird und in der Planung berücksichtigt werden kann, soll ein Verfahren zur Ermittlung des personenbezogenen Flächenverbrauchs anhand der Grundrisse und der geplanten Bewirtschaftung von Wohngebäuden entwickelt werden. Dieser kann dann mit dem statistischen Mittelwert verglichen werden. Aus den Überlegungen zum personenbezogenen Flächenverbrauch wird zudem eine wohnungsbezogene Betrachtung entwickelt. Für diese Betrachtung wird der Wohnungsspiegel eines konkreten Wohnbauprojektes mit den statistischen Durchschnittsflächen multipliziert. Damit wird ein Vergleich der projektspezifischen Wohnfläche mit dem statistischen Mittelwert möglich.

Der Vergleich mit den statistischen Mittelwerten führt zwar ein Mass der Personenbelegung in die Grenzwertermittlung ein. Das Mass ist jedoch noch nicht suffizient. Eine suffiziente Nutzung von Wohnraum bedeutet definitionsgemäss eine Verringerung gegenüber dem heute üblichen Verbrauch. Aufgrund von Literaturangaben und eigenen Überlegungen entwickeln wir in der vorliegenden Studie eine Herleitung von Suffizienz-orientierten Zielwerten.

Für die Anwendung in Bewertungsinstrumenten wird eine Reihe von möglichen Bewertungsmassstäben entwickelt und deren Folgen beurteilt. Zum ersten ist dies ein Flächeneffizienzfaktor. Zum zweiten eine Gewichtung der heute eingeführten Grenzwerte mit diesem Faktor und zum dritten eine Gewichtung der berechneten Grauen Energie, bzw. Treibhausgasemissionen mit diesem Faktor.

Anhand von Testrechnungen an realen Beispielgebäuden sollen die Auswirkungen der vorgeschlagenen Bezugsgrössen und Grenzwerte geprüft werden.



2 Vorgehen und Methode

2.1 Berücksichtigung der künftigen Bewohner in der Bezugsgrösse der Grauen Energie

Für die Berücksichtigung der Bewohner:innen eines Bauprojekts könnte die Anzahl Bewohner:innen des Bauprojekts ermittelt werden. Dann könnte die amortisierte Graue Energie des Projekts durch diese Bewohnerzahl geteilt werden. Daraus würde eine Graue Energie pro Person resultieren. Dies würde zu einem Wechsel der Bezugsgrösse von heute üblichen Angaben «pro Quadratmeter Energiebezugsfläche pro Jahr» zu «pro Bewohner pro Jahr» führen. Dieser Wechsel der Bezugsgrösse hätte jedoch zur Folge, dass die heute eingeführten Kenngrössen nicht mehr vergleichbar wären mit den neuen. Bei Planern inzwischen vorhandenes Wissen darüber, wie gross die Graue Energie von Gebäuden typischerweise ist, würde damit verloren gehen. Auch könnten keine der bestehenden Grenzwerte weiter verwendet werden. Wir wählen für unseren Lösungsvorschlag deshalb den Ansatz, die Personenbelegung als Effizienzfaktor in die Berechnung einzubringen, womit der Flächenbezug erhalten bleibt. Es kann gezeigt werden, dass dieser Ansatz zu äquivalenten Ergebnissen führt wie ein Bezug pro Person (siehe dazu im Anhang 8.2). Der Ansatz eines Flächeneffizienzfaktors kann zudem auch auf Wohnungen angewendet werden, was wir als zweite Möglichkeit in dieser Studie erarbeiten. Daraus ergeben sich die beiden Möglichkeiten, die in Abbildung 5 illustriert werden.

 Pro Person	 Pro Wohnung	
$\frac{\text{Graue Energie / Energiebezugsfläche}}{\text{Fläche des untersuchten Bauprojekts pro prognostiziertem Bewohner}} \cdot \frac{\text{Referenzfläche pro prognostizierter Bewohnerin}}{\text{Referenzfläche}}$	$\frac{\text{Graue Energie / Energiebezugsfläche}}{\text{Geplante Fläche des untersuchten Bauprojekts}} \cdot \frac{\text{Referenzfläche der geplanten Wohnungen}}{\text{Referenzfläche}}$	Flächeneffizienzfaktor
$= \frac{\text{Graue Energie / Energiebezugsfläche}}{\text{gewichtet mit der Personenzahl}}$	$= \frac{\text{Graue Energie / Energiebezugsfläche}}{\text{gewichtet mit Wohnungsflächen}}$	

Abbildung 5: Anwendung Flächeneffizienzfaktor auf die Graue Energie oder Treibhausgasemissionen am Beispiel der Energiebezugsfläche

Die in Abbildung 5 gezeigte Gewichtung der Grauen Energie mit dem Flächeneffizienzfaktor stellt nur eine Anwendungsmöglichkeit dar. In dieser Studie werden weitere Anwendungen aufgezeigt. Statt die Graue Energie zu gewichten, können die Grenzwerte für die Graue Energie oder die Treibhausgasemissionen mit dem Faktor gewichtet werden. Der Flächeneffizienzfaktor kann auch als eigene Kennzahl verwendet werden, ohne einen Bezug zur Grauen Energie herzustellen.



2.2 Statistische Datengrundlagen zur Wohnungsbelegung

Bei Entwicklung des Flächeneffizienzfaktors greift die Studie an zahlreichen Stellen auf statistische Daten der Schweiz zu. Dieser werden in diesem Abschnitt konzentriert dargestellt. Die Methodenentwicklung wird dann im folgenden Punkt 2.3 erläutert.

Die Gebäude- und Wohnungsstatistik des Bundesamts für Statistik bietet eine Auswertung der mittleren Wohndichte nach Anzahl Zimmern pro Wohnung. Aus dieser Angabe kann die mittlere Anzahl Personen pro Zimmer herausgelesen werden (BfS, 2019a). Das Bundesamt für Wohnungswesen veröffentlicht auf derselben Datenbasis eine Sonderauswertung der Wohndichte für gemeinnützige Wohnbauträger (BWO, 2019c). Die gemeinnützigen Wohnbauträger umfassen Wohnbaugenossenschaften und öffentliche Liegenschaftsverwaltungen. Gemessen an der Anzahl Gebäude fallen 1.3% der Gebäude der Schweiz mit Wohnnutzung in die Kategorie der gemeinnützigen Wohnbauträger (BfS, 2019c; BWO, 2019b). Um den Einfluss der Eigentümerstruktur auf die Wohnungsbelegung zu beurteilen, erhielten wir vom BfS eine Sonderauswertung der Wohndichte nach Eigentumsverhältnissen (Popp, 2022b). Diese zeigt die Belegungen pro Zimmer im Wohneigentum, bzw. zur Miete. Die Tabelle 2 listet die Daten für das letzte verfügbare Jahr auf. Die Zahlen werden nach Zimmerzahl pro Wohnung ermittelt, wobei alle Wohnungen mit sechs oder mehr Zimmern in der Kategorie «6+-Zimmer-Wohnungen» zusammengefasst werden.

Tabelle 2: Mittlere Bewohnerzahl pro Zimmer, gegliedert nach Anzahl Zimmer pro Wohnung

Zimmerzahl pro Wohnung	Schweizer Mittelwert 2020 [Pers. / Zi.]	Wohneigentum 2020 [Pers. / Zi.]	Miete 2020 [Pers. / Zi.]	Gemeinnütziger Wohnungsbau 2020 [Pers. / Zi]
1-Zi. Whg.	1.22	1.48	1.14	1.14
2-Zi. Whg.	0.68	0.80	0.65	0.62
3-Zi. Whg.	0.63	0.63	0.62	0.61
4-Zi. Whg.	0.62	0.59	0.65	0.72
5-Zi. Whg.	0.55	0.54	0.59	0.74
6+-Zi. Whg.	0.45	0.45	0.48	0.65

Für unsere Studie interessieren uns die Bewohnerzahlen pro Wohnung. Diese sind für den schweizerischen Mittelwert über alle Wohnungen beim Bundesamt für Statistik verfügbar (erste Spalte in Tabelle 3). Für die anderen Kategorien (Spalten zwei bis vier in Tabelle 3) sind die Daten nur als Personen pro Zimmer verfügbar. Für die Angaben in den Spalten zwei bis vier in der Tabelle 3 haben wir die Personen pro Zimmer gemäss Tabelle 2 mit der Anzahl Zimmer pro Wohnung multipliziert. Für die aggregierte Kategorie für 6+-Zimmer-Wohnungen kann der Wert pro Zimmer allerdings nicht mit 6 multipliziert werden, weil auch Wohnungen mit mehr als sechs Zimmern darin enthalten sind. Wir leiten deshalb den Multiplikationsfaktor aus den Werten für den Schweizer Mittelwert her. Der Schweizer Mittelwert für Personen pro Wohnungen in 6+-Zimmer-Wohnungen beträgt 3.0. Der Wert pro Zimmer beträgt 0.45 Personen pro Zimmer. Das Verhältnis der beiden Zahlen beträgt 6.666... Dies ist auch gleich die mittlere Zimmeranzahl der Kategorie der 6+-Zi.-Wohnungen im Schweizer Mittel. Dieses Verhältnis stimmt für die anderen Auswertungen (Wohneigentum, Miete, gemeinnütziger Wohnungsbau) zwar nicht exakt, es ist dennoch der einzige Faktor, den wir kennen. Dementsprechend wurden in den Spalten zwei bis vier für die 6+-Zi. Whg. die Pers./Zimmer mit 6.666 multipliziert, um Pers./Whg. zu erhalten.



Tabelle 3: Mittlere Bewohnerzahl pro Wohnung, gegliedert nach Anzahl Zimmer pro Wohnung

Zimmerzahl pro Wohnung	Schweizer Mittelwert 2020 [Pers. / Whg.]	Wohneigentum 2020 [Pers. / Whg.]	Miete 2020 [Pers. / Whg.]	Gemeinnütziger Wohnungsbau 2020 [Pers. / Whg.]
1-Zi. Whg.	1.2	1.5	1.1	1.2
2-Zi. Whg.	1.4	1.6	1.3	1.3
3-Zi. Whg.	1.9	1.9	1.8	1.8
4-Zi. Whg.	2.5	2.3	2.6	2.9
5-Zi. Whg.	2.8	2.7	3.0	3.7
6+-Zi. Whg.	3.0	3.0	3.2	4.3

Die Statistik zeigt, dass 1- bis 2-Zimmerwohnungen stärker belegt sind, wenn sie von den Eigentümern bewohnt werden. 3-Zimmerwohnungen sind unabhängig von den Eigentumsverhältnissen gleich dicht bewohnt. Ab einer Zimmerzahl von 4 Zimmern sind Mietwohnungen etwas stärker belegt als Eigentumswohnungen. Zu beachten ist jedoch die unterschiedliche Stichprobengrösse für Mieter und Eigentümer. Kleine Wohnungen werden mit hohem Anteil vermietet, grosse Wohnungen hingegen befinden sich mit hohem Anteil im Wohneigentum (Abbildung 6). Besonders bei 1- und 2-Zimmer-Wohnungen ist der Anteil der Eigentümer sehr gering. Die unterschiedliche Belegung könnte also auch mit der höheren Unsicherheit bei der Ermittlung des Mittelwerts zusammenhängen.

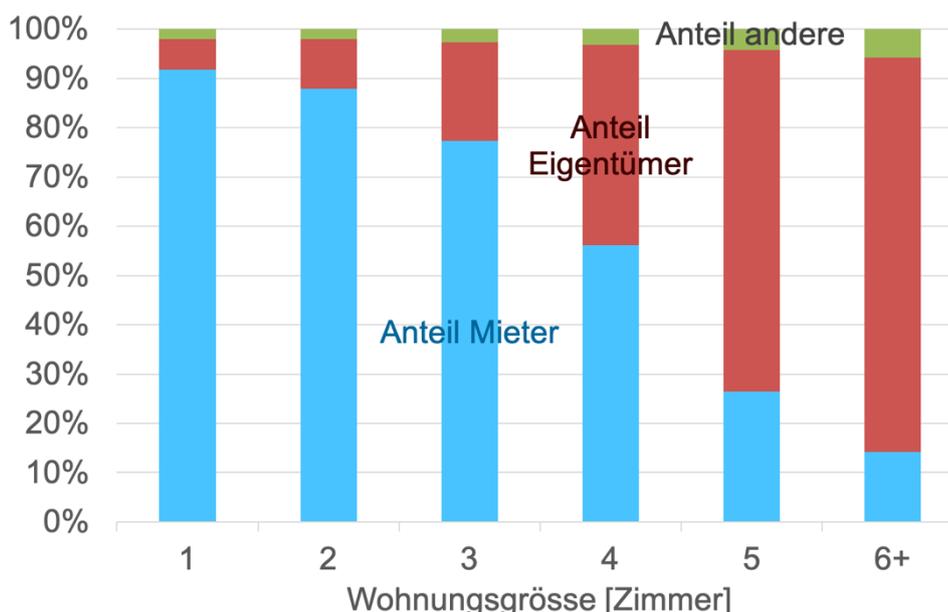


Abbildung 6: Anteile vermietete Wohnungen und solche im Wohneigentum

Für den Vergleich und die spätere Methodenentwicklung wesentlich ist auch die Wohnfläche der Wohnungen. Diese Flächen stehen für den Schweizer Mittelwert (BfS, 2019b) und als Sonderauswertung für den gemeinnützigen Wohnungsbau (BWO, 2019a) zur Verfügung.



Tabelle 4: Wohnungsfläche pro Wohnung, gegliedert nach Anzahl Zimmer pro Wohnung

Zimmerzahl pro Wohnung	Schweizer Mittelwert 2020 [m ² / Whg.]	Wohneigentum 2020 [m ² / Whg.]	Miete 2020 [m ² / Whg.]	Gemeinnütziger Wohnungsbau 2020 [m ² / Whg.]
1-Zi. Whg.	36	46	36	37
2-Zi. Whg.	58	64	58	57
3-Zi. Whg.	80	90	78	73
4-Zi. Whg.	106	117	101	92
5-Zi. Whg.	139	144	127	115
6+-Zi. Whg.	178	181	138	160
Statistischer Mittelwert	99	–	–	77

Hier zeigt sich, dass Mieter über alle Zimmerzahlen in kleineren Wohnungen (und Häusern) wohnen als Eigentümer. Die Wohnungen des gemeinnützigen Wohnungsbaus sind für 1- bis 3-Zimmerwohnungen etwa gleich gross wie Mietwohnungen im Allgemeinen. 4- und 5-Zimmerwohnungen sind im gemeinnützigen Wohnungsbau eher kleiner als im Mietwohnungsmarkt als Ganzes. Bei den grossen Wohnungen mit 6 oder mehr Zimmern zeigt sich dann wiederum das umgekehrte Bild. Es kann gemutmasst werden, dass grössere Wohnungen kaum zur Miete angeboten werden. Das würde dann bedeuten, dass die Kategorie «Wohneigentum» deutlich mehr Wohnungen mit mehr als 6 Zimmern enthält als die Kategorie «Mieter», womit sich der eklatante Flächenunterschied erklären liesse. Ohne Einblick in die Daten der Erhebung lässt sich die Richtigkeit der Vermutung jedoch nicht klären.

Die Wohnungsflächen in der Statistik werden als Bruttowohnflächen angegeben, wenn sie verfügbar sind. Es können jedoch auch Schätzwerte aus Länge * Breite der Wohnung angegeben werden. Gemäss Definition ist die Wohnungsfläche die Summe der Flächen sämtlicher Zimmer, Küchen, Kochnischen, Badezimmer, Toiletten, Abstellräume, Gänge, Veranden usw. einer Wohnung. Offene Balkone und Terrassen, zusätzliche Räume wie Mansarden, unbewohnbare Dach- oder Kellerräume werden nicht mitgerechnet. (BfS, 2018)

Aus den statistischen Daten erhebt das BfS auch den Flächenverbrauch pro Kopf. Diese Kennwerte stellt die Abbildung 7 dar. Sie sind für den Mittelwert über alle Wohnungen in der Schweiz und als Sonderauswertung für den gemeinnützigen Wohnungsbau verfügbar.

Eine Auswertung der Wohnungsstatistik nach Einkommensklassen der Bewohner:innen wäre für diese Studie ebenfalls von Interesse gewesen, ist jedoch nicht verfügbar.

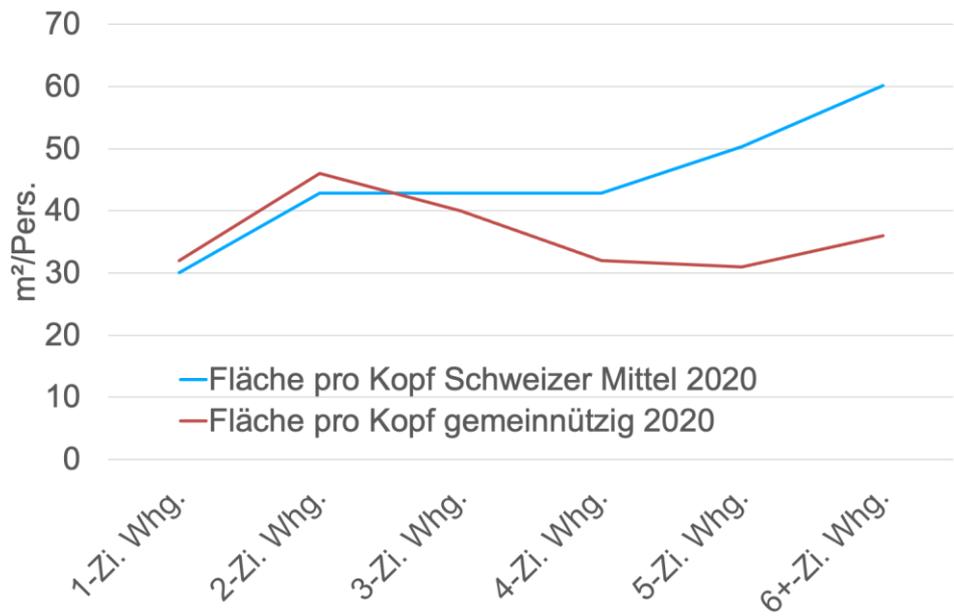


Abbildung 7: Flächenverbrauch pro Kopf nach der Zimmerzahl gemäss Statistik



2.3 Entwicklung des Flächeneffizienzfaktors

2.3.1 Übersicht zur Methodenentwicklung

Zuerst stellen wir die Überlegungen zur Entwicklung eines personenbezogenen Flächeneffizienzfaktors vor, danach diejenigen für einen wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktor.

Im Kapitel 2.3.2 wird die Entwicklung der Prognose für die zukünftige Personenbelegung pro Wohnung erläutert.

Das Kapitel 2.3.3 erläutert die Herleitung einer Personenbelegung über die Anzahl abschliessbarer Zimmer eines Projekts, die sich als Schlafzimmer eignen.

In Kapitel 2.3.4 wird der personenbezogene Flächeneffizienzfaktor entwickelt: Zur Ermittlung der Anzahl Bewohner:innen in einem Bauprojekt wird eine Prognose für die künftige Anzahl Bewohner:innen benötigt. Aus der Energiebezugsfläche des Bauprojekts und der Bewohnerprognose kann eine projektspezifische Energiebezugsfläche pro Person berechnet werden. Diese wird dann durch eine Referenz-Energiebezugsfläche geteilt, wodurch sich der projektspezifische Flächeneffizienzfaktor ergibt. Als Referenz-Energiebezugsfläche wird einerseits der Schweizer Durchschnitt und andererseits ein eigens hergeleiteter suffizienter Flächenverbrauch verwendet.

In Kapitel 2.3.5 werden die Überlegungen auf eine wohnungsbezogene Betrachtung angewendet. Jedes Bauprojekt verfügt über einen spezifischen Wohnungsspiegel. Der Wohnungsspiegel kann mit einer Referenzfläche pro Wohnung multipliziert werden. Dies wird einerseits mit den Flächen der Wohnbaustatistik durchgeführt. Andererseits mit in dieser Studie entwickelten suffizienten Wohnungsflächen. Aus der effektiv geplanten, projektspezifischen Wohnungsfläche und der Referenzfläche kann ein wohnungsbezogener Flächeneffizienzfaktor hergeleitet werden.

In Kapitel 2.4.2 werden die Flächeneffizienzfaktoren auf bestehende Grenzwerte von eingeführten Bewertungsinstrumenten angewendet. Dies ermöglicht eine Gewichtung der Grenzwerte mit Bezug zur prognostizierten Bewohnerzahl, bzw. zu den geplanten Wohnungen.

Statt der Grenzwerte könnten auch die Ergebnisse der projektbezogenen Werte für die Graue Energie oder Treibhausgasemissionen mit den Flächeneffizienzfaktoren gewichtet werden. Diesen Ansatz zeigen wir in Kapitel 2.4.3 auf.

Wie die hergeleiteten Faktoren, Grenzwerte und gewichteten Gebäudedaten auf Beispielgebäude angewendet werden, erläutert das Kapitel 2.5

2.3.2 Herleitung der Personenbelegung aus dem Wohnungsspiegel

2.3.2.1. Drei Ansätze, um die Personenbelegung pro Wohnung zu prognostizieren

Wir haben in dieser Studie drei Ansätze für die Prognose der künftigen Bewohnerzahl entwickelt, die nachfolgend erläutert werden:

- Berechnung aufgrund der Belegung der Wohnungen gemäss Wohnungsstatistik der Schweiz.
- Berechnung aufgrund der Belegung gemäss Belegungsvorschriften der Gebäudeeigentümer.
- Berechnung aufgrund der Anzahl Schlafzimmer und einer mittleren Belegung pro Schlafzimmer.



2.3.2.2. Berechnung basierend auf der Wohnungsstatistik

Die Daten aus der Gebäude- und Wohnungsstatistik lassen sich heranziehen zur Berechnung einer projektspezifischen prognostizierten Bewohnerinnenzahl. Wir verwenden den schweizerischen Mittelwert der Personenbelegung in Abhängigkeit von der Anzahl Zimmer pro Wohnung. Dies sind die Daten in der ersten Spalte der Tabelle 3. Die zweite Grösse, die wir für die Berechnung verwenden, ist der Wohnungsspiegel eines Projekts. Als Wohnungsspiegel wird in einem Bauprojekt die Aufstellung der Anzahl Wohnungen nach der Anzahl Zimmer pro Wohnung verstanden. Wir multiplizieren die geplanten Wohnungen gemäss ihrer Zimmerzahl mit der Anzahl Personen, die im Schweizer Durchschnitt in Wohnungen dieser Grösse wohnen. Daraus erhalten wir die Prognose für die Anzahl künftiger Bewohner:innen eines Bauprojekts.

Im Detail verläuft die Berechnung wie folgt: Die Anzahl 1-Zimmer-Wohnungen im Wohnungsspiegel wird mit der Anzahl Bewohner:innen von 1-Zimmer-Wohnungen gemäss Schweizer Durchschnitt multipliziert. Danach wird die Anzahl 2-Zimmer-Wohnungen im Wohnungsspiegel mit der Anzahl Bewohner:innen von 2-Zimmer-Wohnungen gemäss Schweizer Durchschnitt multipliziert. Nach derselben Methoden wird für 3-, 4-, 5-Zimmer-Wohnungen etc. verfahren, bis alle Wohnungen im Wohnungsspiegel berücksichtigt worden sind. Alle Teilergebnisse werden summiert und es ergibt sich die Prognose für die Anzahl künftiger Bewohner:innen eines Bauprojekts.

Die Autoren schlagen vor, Wohnungsgrundrisse mit halben Zimmern jeweils der tieferen Wohnungskategorie ohne halbe Zimmer zuzurechnen. Also beispielsweise die Personenbelegung von 3.5-Zimmerwohnungen mit derjenigen von 3-Zimmerwohnungen gleichzusetzen. Dies entspricht auch der Einteilung in der Statistik (Popp, 2022a). Dieses Verfahren weicht für Wohnungen mit halben Zimmern (1.5-Zimmer-Whg., 2.5-Zimmer-Whg., 3.5-Zimmer-Whg. etc.) von der heute im SNBS-Label verwendeten Berechnung ab. Dieses interpoliert die Zahlen der ganzzahligen Zimmerzahlen, um daraus Bewohnerdichten für Wohnungen mit halben Zimmern zu erhalten. Es erscheint den Autoren nicht realistisch, dass Wohnungen mit grösseren Wohnzimmern zu einer höheren Dichte bei den Bewohnern führen. Die Unterscheidung zwischen einer 3-Zimmer- und einer 3.5-Zimmer-Wohnung ist nicht eindeutig festgelegt und wird in der Statistik auch nicht erfasst. Es dürfte auch stärker vom Einkommen der Bewohner:innen und der Verfügbarkeit von Wohnungen abhängen, ob Mieter:innen in einer Wohnung mit grösseren oder kleineren allgemeinen Räumen wohnt. Ein Blick in Wohnungsinserate zeigt zudem, dass die Vermarktung von Wohnungen als solche mit halbem Zimmer oder ohne auf Marketingeinschätzungen beruht und zwischen verschiedenen Objekten nicht vergleichbar ist.

Grundsätzlich könnten die Eigentumsverhältnisse bei der Prognose der künftigen Bewohner:innen berücksichtigt werden. Es könnten also die Daten aus der zweiten Spalte in Tabelle 3 verwendet werden, wenn Eigentumswohnungen erstellt werden und die Daten aus der dritten Spalte derselben Tabelle, wenn Mietwohnungen erstellt werden. Dies wurde in dieser Studie auch teilweise vorgenommen (siehe im Anhang). Es zeigten sich jedoch geringe Unterschiede zwischen den Datenreihen. Zudem wird die Datenbasis im Falle der Eigentümer bei kleinen Wohnungen klein, und für Mietverhältnisse bei grossen Wohnungen. Wir haben uns deshalb dafür entschieden, immer den Schweizerischen Mittelwert anzuwenden, solange keine Belegungsvorschriften berücksichtigt werden. Das Vorgehen für Gebäude mit Belegungsvorschriften wird im nächsten Abschnitt dargestellt.

2.3.2.3. Einbezug von Belegungsvorschriften in die prognostizierte Personenbelegung

Gemeinnützige Wohnbauträger verfügen oft über Vorgaben zur Mindestbelegung von Wohnungen. Diese wird oft in Abhängigkeit von der Zimmerzahl formuliert. Zum Beispiel: «Die Anzahl Personen pro Wohnung muss mindestens der Anzahl Zimmer minus eins entsprechen». Die Statistik bietet keine Angaben dazu, welcher Anteil der gemeinnützigen Wohnbauträger solche Vorschriften vorgibt. In der Tabelle 5 wird die theoretisch berechnete Belegung bei vollständiger und exakter Einhaltung der Mindestbelegungsvorschrift «Personenzahl mindestens gleich der Zimmerzahl minus eins» angegeben. Für 1-Zimmer-Wohnungen wurde der Wert aus der Mindestbelegungsvorschrift angepasst auf eine Person.



Andere Zahlen ergeben sich, falls die Belegungsvorschrift lautet, dass die Personenzahl pro Wohnung der Zimmerzahl entsprechen muss. Die Anzahl Personen pro Zimmer muss in diesem Fall unabhängig von der Zimmerzahl pro Wohnung gleich eins sein.

Die Umrechnung auf Personen pro Wohnung in der Tabelle 5 ist bis auf die Zeile der «6+-Zi.-Whg.» selbsterklärend. Für diese Kategorie kann nicht einfach mit der Zimmerzahl sechs multipliziert werden, da darin auch Wohnungen mit mehr als sechs Zimmern enthalten sind. Wir wählten für diese Kategorie den Faktor 6.66..., den wir aus den statistischen Daten abgeleitet hatten (siehe dazu Kapitel 2.2).

Tabelle 5: Vergleich Bewohnerzahl pro Zimmer für unterschiedliche Mindestbelegungsvorschriften

Zimmerzahl pro Wohnung	Vorschrift «Anzahl Bewohner:innen gleich Zimmer minus eins»		Vorschrift «Anzahl Bewohner:innen gleich Anzahl Zimmer»	
	[Pers. / Zi.]	[Pers. / Whg.]	[Pers. / Zi.]	[Pers. / Whg.]
1-Zi.-Whg.	1.0	1.0	1	1.0
2-Zi.-Whg.	0.50	1.0	1	2.0
3-Zi.-Whg.	0.67	2.0	1	3.0
4-Zi.-Whg.	0.75	3.0	1	4.0
5-Zi.-Whg.	0.80	4.0	1	5.0
6+-Zi.-Whg.	0.83	5.6	1	6.7

Ein Vergleich der Werte in Tabelle 5 mit dem schweizerischen Mittelwert in Tabelle 2 zeigt, dass Ein-Zimmer-Wohnungen in der Realität stärker belegt sind, als zur Erfüllung der angenommenen Mindestbelegung nötig. Wenn die Belegungsvorschrift «Anzahl Bewohner:innen gleich Zimmer minus eins» lautet, gilt dies auch für 2-Zimmer-Wohnungen. Drei-Zimmer-Wohnungen und grössere sind hingegen im statistischen Mittel weniger stark belegt als zur Erfüllung der Belegungsvorschrift nötig wären. Somit führt die Belegungsvorschrift mit Ausnahme der 1- und 2-Zimmerwohnungen zu einer höheren Belegungsdichte als im statistischen Mittel.

2.3.2.4. Prognosewerte für die Berechnung der künftigen Bewohnerzahl in Wohnbauten

In der Tabelle 6 führen wir die Prognosewerte für die Bewohnerzahlen pro Wohnung gemäss den beiden vorhergehenden Kapiteln 2.3.2.2 und 2.3.2.3 zusammen. Die Tabelle enthält drei Spalten: eine für Wohnungen ohne Belegungsvorschriften, eine für Wohnungen mit der Belegungsvorschrift «Anzahl Bewohner:innen gleich Zimmer minus eins» und eine für die Belegungsvorschrift «Anzahl Bewohner:innen gleich Anzahl Zimmer». Für den Wohnungsbau mit Belegungsvorschriften sollen diese in der Prognose der künftigen Bewohnerzahl berücksichtigt werden. Für Wohnungen mit einem oder zwei Zimmern führt jedoch die Anwendung der exakten Mindestbelegungszahl in der Berechnung zu einem schlechteren Ergebnis als der statistische Mittelwert. Eine solche Auslegung wäre nicht fair, da von einer systematisch höheren Belegung der Wohnungen als gemäss Mindestbelegung ausgegangen werden kann. Für grössere Wohnungen führt im Gegensatz dazu die Anwendung der Mindestbelegung zu einer höheren Personenbelegung als die Verwendung des statistischen Mittelwerts. Es kann vermutet werden, dass nicht alle gemeinnützigen Wohnbauträger in der Statistik Vorgaben zur Mindestbelegung machen und umsetzen. Spezifische Projekte mit solchen Vorschriften sollen diese jedoch anwenden können. Die Autoren schlagen deshalb vor, die Werte einer Mindestbelegungsvorschrift dann einzusetzen, wenn sie



grösser sind als die Werte aus der Statistik. In der Tabelle 6 wurden die Belegungszahlen für 1- und 2-Zimmerwohnungen entsprechend angehoben, wo nötig.

Tabelle 6: Bewohnerzahlen pro Wohnung für die Prognose aus dem Wohnungsspiegel

Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Bewohner ohne Belegungsvorschrift (entspricht dem Schweizer Mittelwert) [Pers. / Whg.]	Anz. Bewohner mit Belegungsvorschrift «Anzahl Bewohner gleich Zimmer minus eins» (gemäss Herleitung in dieser Studie) [Pers. / Whg.]	Anz. Bewohner mit Belegungsvorschrift «Anzahl Bewohner gleich Anzahl Zimmer» (gemäss Herleitung in dieser Studie) [Pers. / Whg.]
1-1.5 Zi-Whg.	1.2	1.2	1.2
2-2.5 Zi-Whg.	1.4	1.4	2
3-3.5 Zi-Whg.	1.9	2	3
4-4.5 Zi-Whg.	2.5	3	4
5-5.5 Zi-Whg.	2.8	4	5
6-6.5 Zi-Whg.	2.7	5	6
7-7.5 Zi-Whg.	3.2	6	7
8+ Zi-Whg.	3.6	7	8

2.3.3 Herleitung der Personenbelegung aus der Anzahl abschliessbarer Zimmer

Ein weiterer Ansatz zur Herleitung der Bewohnerzahl basiert auf der Idee, dass die Anzahl abschliessbarer Zimmer, die sich als Schlafzimmer nutzen lassen, für die künftige Belegung der Wohnung relevant ist. Andere Zimmer wie Durchgangszimmer, Garderobenräume etc. führen im Gegensatz dazu nicht zu mehr Bewohner:innen (Pfäffli, 2022). Dieser Ansatz unterscheidet sich darin grundsätzlich von den bisher vorgestellten, dass die Zimmer und nicht die Wohnungen eines Bauprojekts gezählt werden.

Bei der Anwendung dieser Methode werden für ein konkretes Bauprojekt die Zimmer gezählt, die als Schlafzimmer geeignet sind. Schlafzimmer erfüllen folgende Bedingungen:

- Eine Möblierung als Schlafzimmer ist möglich.
- Es ist kein Durchgangszimmer zu einem anderen Zimmer.
- Das Zimmer ist gegenüber anderen Räumen abschliessbar.

Pro Wohnung wird mindestens ein Schlafzimmer angerechnet.

Um von der Zimmerzahl zur Anzahl Bewohner:innen zu gelangen, muss die prognostizierte Anzahl Personen pro Schlafzimmer festgelegt werden. Dieser Wert unterscheidet sich von den bisher gezeigten Statistikwerten für Personen pro Zimmer. Die bisherigen Werte richten sich nach der Anzahl Zimmer pro Wohnung inklusive der Wohnzimmer, der gesuchte Wert soll pro Schlafzimmer gelten. Wir teilen nun also die statistischen Werte aus Tabelle 3 durch die Anzahl Schlafzimmer. Für die Umrechnung wird eine Annahme für die Anzahl Schlafzimmer pro Zimmerzahl einer Wohnung gemäss Tabelle 7 vorgenommen. Die Auswertung geht vereinfachend davon aus, dass es im Bestand keine Zimmer in



Wohnungen gibt, die nicht als Schlafzimmer gemäss obiger Definition nutzbar sind. Wie die Tabelle zeigt, sinkt die mittlere Belegung pro Schlafzimmer mit zunehmender Zimmerzahl pro Wohnung. Der Mittelwert über alle Wohnungen beträgt ziemlich genau 1 Person pro Schlafzimmer. Dies gilt unabhängig davon, ob der Bauträger gemeinnützig ist oder nicht. Wir verwenden diesen Mittelwert von 1 Person pro Schlafzimmer für die Berechnung der künftigen Bewohnerzahl. In einem konkreten Projekt wird als die Anzahl als Schlafzimmer geeigneter Zimmer gezählt. Diese Zahl entspricht auch der prognostizierten Anzahl künftiger Bewohner.

Tabelle 7: Auswertung der Bewohner:innen pro Schlafzimmer nach Zimmerzahl pro Wohnung

Bauträger		Mittelwert Schweiz	Gemeinnütziger Wohnungsbau
Zimmerzahl pro Wohnung	Schlafzimmer	Bewohner:innen pro Schlafzimmer	Bewohner:innen pro Schlafzimmer
1-Zi. Whg.	1	1.2	1.1
2-Zi. Whg.	1	1.4	1.2
3-Zi. Whg.	2	1	0.9
4-Zi. Whg.	3	0.8	1
5-Zi. Whg.	4	0.7	0.9
6+-Zi. Whg.	5	0.6	0.9
Mittelwert		1	1

Diese Zählung der Schlafzimmer führt dazu, dass die Anzahl Bewohner:innen in kleinen Wohnungen gegenüber der statistisch eruierten Auslastung unterschätzt wird. Bei grossen Wohnungen verhält es sich umgekehrt. Für diese würde die Anzahl Bewohner:innen eher überschätzt. Eine Unterscheidung der Zimmerbelegung nach der Anzahl Zimmer pro Wohnung würde die Anwendung der Methode jedoch erheblich komplizierter und fehleranfälliger machen. Zudem würde sich kaum noch ein Unterschied zur zuvor entwickelten Festlegung von mittleren Personenzahlen pro Wohnung ergeben. Deshalb wird darauf verzichtet. Dem erwähnten Nachteil steht der Vorteil gegenüber, dass die individuellen Grundrisse von Bauprojekten besser berücksichtigt werden.



*Abbildung 8: Auch dieses Zimmer eignet sich gemäss Methodik als Schlafzimmer.
Quelle: Historisches und Völkerkundemuseum St. Gallen: Period Room Opsersaal. CCSA 3.0*



2.3.4 Entwicklung des personenbezogenen Flächeneffizienzfaktors

2.3.4.1. Formel zur Berechnung des personenbezogenen Flächeneffizienzfaktors

Aus der prognostizierten Bewohnerzahl eines Gebäudes wird ein personenspezifischer Flächenverbrauch des Gebäudes ermittelt. Dazu wird die Gebäudefläche geteilt durch die prognostizierte Bewohnerzahl. Dies kann für die Energiebezugsfläche erfolgen, indem die Energiebezugsfläche des Gebäudes durch die Anzahl Personen geteilt wird. Für die Wohnfläche pro Person wird die gesamte Wohnfläche des (geplanten) Gebäudes durch die Anzahl Personen geteilt. Für die Geschossfläche pro Person wird dieselbe Berechnung mit der Geschossfläche des Gebäudes vorgenommen. In jedem Fall resultiert eine gebäudespezifische Fläche pro Person.

Die gebäudespezifische Fläche pro Person wird dann geteilt durch eine Referenzfläche, woraus sich der Flächeneffizienzfaktor ergibt, wie in Abbildung 5 und Formel 1 dargestellt. Als Referenzfläche kann einerseits der schweizerische Durchschnitt, andererseits ein eigens erarbeiteter suffizienter Referenzwert verwendet werden.

Formel 1: Berechnung Flächeneffizienzfaktor aus der Personenbelegung, für die Gebäudefläche können die EBF, GF oder WF, für die Referenzfläche der schweizerische Durchschnitt oder suffiziente Referenzwert eingesetzt werden

$$\text{Flächeneffizienzfaktor}_{\text{Pers}} = \frac{\text{Gebäudefläche}_{\text{Projekt}}}{\text{Anzahl Bewohner}_{\text{Prognose}} * \text{Referenzfläche pro Person}}$$

Ein dimensionsloser Flächeneffizienzfaktors (Formel 1) von eins bedeutet, dass die Fläche des Projekts genau der Referenzfläche entspricht. Ein grösserer Wert zeigt einen höheren Flächenverbrauch an als in der Referenz. Ein Faktor kleiner eins zeigt einen tieferen Flächenverbrauch an als in der Referenz.

2.3.4.2. Referenzwerte für den Flächenverbrauch aus dem aktuellen Durchschnitt

Für die Herleitung der Referenzfläche gemäss schweizerischem Durchschnitt ist aus der Literatur ein statistischer Mittelwert für den Wohnflächenverbrauch pro Person bekannt. Dieser beträgt 46 m² WF/Pers. im Jahr 2019. Gemäss SIA 2040 beträgt der mittlere Verbrauch an Energiebezugsfläche pro Person 60 m² EBF/Pers. Aus der Betrachtung der Beispielgebäude kann die EBF der Gebäude durch deren Wohnfläche geteilt werden. Es resultiert ein leicht grösserer Umrechnungsfaktor von der WF zur EBF (siehe Ergebnisse 3.9). Wird dieser zur Berechnung der mittleren EBF eingesetzt, so erhält man eine mittlere Energiebezugsfläche von 66 m² EBF/Pers. Wir verwenden in unserer Studie die mittlere EBF aus dem SIA-Merkblatt von 60 m² EBF/Pers., weil sich die aktuellen Instrumente darauf beziehen. Wir weisen jedoch darauf hin, dass dieser Wert überprüft werden sollte.

Für die Geschossfläche ist die Datenbasis noch dürftiger. Sie wird in der Statistik nicht erfasst, weshalb nur die Umrechnung aus der Wohnungsfläche möglich bleibt. In der Literatur finden sich dafür Schätzwerte (Jakob et al., 2016), die auf Erfahrungswerten basieren. Aus der Auswertung der Mustergebäude in dieser Studie wird ein Mittelwert aus zehn MFH hergeleitet (siehe dazu 3.9). Wir schätzen die Zuverlässigkeit dieses Faktors höher ein als die Literaturwerte und verwenden diesen für die Berechnung der mittleren GF pro Person aus der Wohnungsfläche.

2.3.4.3. Suffiziente Referenzwerte für den Flächenverbrauch

Für die Herleitung des suffizienten Flächeneffizienzfaktors gilt es festzulegen, welcher Verbrauch von Wohnfläche oder Energiebezugsfläche pro Person als suffizienter Referenzwert gelten soll.

Wie schon im Kapitel 1.4 erwähnt wurde, ist die Beurteilung des Flächenverbrauchs pro Person im Verhältnis zu einem statistischen Mittelwert als Referenzwert noch keine Beurteilung der Suffizienz. Der



heutige durchschnittliche Wohnflächenverbrauch von 46 m² pro Person ist rund 35% höher als das, was noch im Jahre 1980 üblich war. Gemäss dem ökologischen Fussabdruck der Schweiz (BfS, 2021) verbraucht die Schweizer Bevölkerung so viel Ressourcen, dass fast drei Erden erforderlich wären, wenn alle Menschen auf der Welt so leben würden. Der heutige durchschnittliche Wohnflächenverbrauch dürfte auch deutlich höher sein, als das, was global gesehen umweltverträglich ist. Es gibt allerdings bis heute noch keine Untersuchung, die ermittelt hat, welcher Wohnraum uns heute aus Gründen der Nachhaltigkeit noch zustehen würde. Wenn man davon ausgehen würde, dass unser Wohnflächenverbrauch um den gleichen Faktor zu hoch ist wie unser sonstiger Verbrauch an Ressourcen, müsste man die heute übliche Wohnfläche pro Person um einen Faktor drei reduzieren. Das würde rund 15 m² pro Person entsprechen. Eine vierköpfige Familie hätte somit Anrecht auf eine 60 m² grosse Wohnung, was bei den heutigen durchschnittlichen Wohnungsgrössen in etwa einer 2-Zimmerwohnung entspräche (Tabelle 4). Es ist zweifelhaft, ob eine Anforderung an die Begrenzung des Wohnraums zielführend ist, wenn sie so weit von der heutigen Realität entfernt ist.

Das Wohnungsbewertungssystem des Bundes (WBS) gibt minimale Zimmer- und Wohnungsgrössen vor, die bei staatlich geförderten Projekten zu berücksichtigen sind. Gemäss dem Bewertungssystem sollte eine Dreizimmerwohnung mindestens 60 m² und eine Vierzimmerwohnung mindestens 80 m² gross sein (Tabelle 8). Mit der durchschnittlichen Anzahl Bewohner:innen pro Wohnung gemäss Statistik (BfS, 2019a) können die Wohnungsflächen in eine Fläche pro Person umgerechnet werden. Bei 2- bis 4-Zimmerwohnungen liegt diese Fläche bei rund 32 m² pro Person. Bei 1-Zimmerwohnungen ist sie mit rund 24 m² deutlich kleiner und bei Wohnungen mit fünf Zimmern oder mehr mit über 35 m² deutlich grösser. Es wird vermutet, dass das WBS bei grösseren Wohnungen von einer höheren Belegungsdichte ausgeht, als es aufgrund der Statistik tatsächlich der Fall ist. Wenn man davon ausgeht, dass ein Grossteil der bei Neubauten erstellten Wohnungen 2- bis 4-Zimmerwohnungen sind, läge eine durchschnittliche «Mindestwohnfläche» pro Person ca. 32 m². Das entspricht einem Wohnflächenverbrauch, der vor rund 40 Jahren in der Schweiz als durchschnittlich galt.

Tabelle 8: Mindestgrössen für Wohnungen gemäss WBS, Umrechnung auf Wohnflächen pro Person

Wohnung	1-Zi.	2-Zi.	3-Zi.	4-Zi.	5-Zi.	6-Zi.	7-Zi.
Mindestgrösse WBS [m ²]	30	45	60	80	100	120	140
Ø Anz. Pers. im schweizerischen Mittel	1.2	1.4	1.9	2.5	2.8	2.7	3.2
Fläche pro Pers. [m ²]	25	33	32	32	36	44	44

Wenn man die Daten für minimale Wohnungsgrössen des WBS unter der Anwendung einer Belegungsvorschrift umrechnet, ergeben sich andere Flächen pro Person (Tabelle 9). Es wurde hier eine Belegungsvorschrift angewendet, wie sie in vielen Genossenschaften gilt. Demzufolge gilt für Wohnungen mit zwei oder mehr Zimmern, dass die Anzahl Bewohner:innen mindestens der Anzahl Zimmer minus eins entsprechen muss. Also wird zum Beispiel in einer 3-Zimmerwohnung eine Mindestbelegung von 2 Personen vorgeschrieben. Es wurde in Tabelle 9 unten eine Belegung gemäss Tabelle 6 angenommen. Demzufolge ist die Belegung in 1- und 2-Zimmerwohnungen etwas höher als eine Person (siehe Begründung im Kapitel 2.3.2). Die Resultate dieser Auswertung zeigen, dass Wohnungen mit 4 Zimmern oder mehr deutlich effizienter sind im personenbezogenen Flächenverbrauch als kleinere Wohnungen. Bei einer vierköpfigen Familie in einer 5-Zimmerwohnung beträgt der Flächenverbrauch pro Person 25 m². In einer 7-Zimmerwohnung liegt der Flächenverbrauch pro Person nur noch bei 23 m². Am wenigsten effizient sind 2-Zimmerwohnungen, wo bei einer Mindestbelegung der Flächenverbrauch 33 m² beträgt. Es ist klar, dass mit Wohnungen mit möglichst vielen Zimmern kombiniert mit einer Belegungsvorschrift der Flächenverbrauch pro Person am geringsten ist. Allerdings ist die Nachfrage für Wohnungen mit mehr als fünf Zimmern auf dem Wohnungsmarkt beschränkt.



Tabelle 9: Mindestgrössen für Wohnungen gemäss WBS und Umrechnung auf Wohnfläche pro Person unter Anwendung einer Vorschrift für die Mindestbelegung

Wohnung	1-Zi.	2-Zi.	3-Zi.	4-Zi.	5-Zi.	6-Zi.	7-Zi.
Mindestgrösse WBS [m ²]	30	45	60	80	100	120	140
Anz. Pers. mit Vorschrift zur Belegung	1.2	1.4	2	3	4	5	6
Fläche pro Pers. [m ²]	25	33	30	27	25	24	23

Ein weiterer Hinweis für einen Wohnflächenverbrauch, der geringer ist als der heute übliche Durchschnitt, findet sich in der Studie «Wohnsiedlungen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft» (Pfäffli et al., 2013). Die Studie untersuchte unter anderem den Wohnflächenverbrauch im Bestand der städtischen Wohnsiedlungen der Stadt Zürich. Für die Wohnsiedlungen gilt eine Belegungsvorschrift «Anzahl Bewohner:innen mindestens gleich Anzahl Zimmer minus eins». Die Untersuchung ergab einen durchschnittlichen Wohnflächenverbrauch von 32 m² pro Person. Das Ergebnis ist also vergleichbar mit den Flächenverbrauch pro Person für 3- und 4-Zimmerwohnungen in Tabelle 8.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden auch zwei Mehrfamilienhäuser untersucht, für die ein effizienter Flächenverbrauch in der Planung ein wichtiges Kriterium war. Das Gebäude MFH 10 hat von allen untersuchten Gebäuden den tiefsten Flächenverbrauch und kommt auf einen Wert von 31.6 m² pro Person. Bei vier Gebäuden liegt der Flächenverbrauch zwischen 35 m² und 40 m² pro Person. Sechs Gebäude haben einen Flächenverbrauch von mehr als 40 m² pro Person.

Wie die obigen Überlegungen zeigen, ist es relativ schwierig, aufgrund der vorhandenen Daten einen Wert für einen Flächenverbrauch, der objektiv als suffizient gelten soll, festzulegen. Zudem sollte der Wert mit den heutigen Bedürfnissen des Wohnungsmarktes auch umsetzbar sein. Ein suffizienter Flächenverbrauch pro Person kann unabhängig oder auch abhängig von der Zimmerzahl pro Wohnung definiert werden. Für die weiteren Untersuchungen wurde in diesem Projekt versuchsweise ein Flächenverbrauch von 32 m² pro Person (unabhängig von der Zimmerzahl pro Wohnung) als suffizient definiert. Zumal für diesen niedrigen Flächenverbrauch auch ein Referenzgebäude sowie Daten aus einer Studie vorhanden sind, welche die Realisierbarkeit zeigen.

Die Wohnungsfläche kann mit dem Verhältnis zwischen mittlerer EBF gemäss SIA Effizienzpfad von 60 m²/Pers. und dem mittleren Wohnflächenbedarf von 46 m²/Pers. in einen suffizienten Verbrauch von Energiebezugsfläche pro Person umgerechnet werden. Dasselbe ist möglich für die Geschossfläche mit dem Umrechnungsfaktor aus Tabelle 13. Es ergeben sich dann die Kennzahlen für suffiziente Referenzflächen gemäss Tabelle 10.

Tabelle 10: Suffiziente Referenzflächen für unterschiedliche Bezugsflächen

Bezugsfläche	Fläche pro Person
Wohnungsfläche WF	32 m ² /Pers.
Energiebezugsfläche EBF	42 m ² /Pers.
Geschossfläche GF	61 m ² /Pers.



2.3.4.4. Übersicht zu den entwickelten Varianten

Die bisher entwickelten Varianten für die Berechnung des Flächeneffizienzfaktors ergeben bereits eine Vielzahl möglicher Kennzahlen. Zum ersten kann er berechnet werden für die Wohnungsfläche, die Energiebezugsfläche oder die Geschossfläche. Dies ergibt die Berechnungen gemäss Formel 2. Zum zweiten bezieht sich der Flächeneffizienzfaktor entweder auf die heutigen schweizerischen Mittelwerte für den Flächenverbrauch, oder auf den in dieser Studie definierten suffizienten Flächenverbrauch. Zum dritten existieren 3 Herleitungen für die Anzahl Bewohner:innen. Es ergeben sich also 18 mögliche Berechnungsvarianten, wie in Tabelle 11 dargestellt. Für die Mustergebäude wurden die Varianten vergleichend ausgewertet und sukzessive reduziert, um sich nicht in aussagegelassenen Variantenstudien zu verlieren.

Formel 2: Flächeneffizienzfaktor aus der Personenbelegung mit unterschiedlichen Flächenbezügen

$$\text{Flächeneffizienzfaktor } WF_{Pers} = \frac{WF_{Projekt}}{\text{Anzahl Bewohner}_{Prognose}} / \frac{WF_{Referenz}}{1 \text{ Bewohner}}$$

$$\text{Flächeneffizienzfaktor } EBF_{Pers} = \frac{EBF_{Projekt}}{\text{Anzahl Bewohner}_{Prognose}} / \frac{EBF_{Referenz}}{1 \text{ Bewohner}}$$

$$\text{Flächeneffizienzfaktor } GF_{Pers} = \frac{GF_{Projekt}}{\text{Anzahl Bewohner}_{Prognose}} / \frac{GF_{Referenz}}{1 \text{ Bewohner}}$$

Tabelle 11: Variantenübersicht für die Berechnung der Flächeneffizienzfaktoren

Variable	Varianten			
Flächenbezug		Wohnungsfläche WF	Energiebezugs- fläche EBF	Geschossfläche GF
Referenzfläche	Statistischer Mittelwert	WF _{Referenz} : 46 m ² /Pers.	EBF _{Referenz} : 60 m ² /Pers.	GF _{Referenz} : 87 m ² /Pers.
	Suffizienter Verbrauch	WF _{Referenz} : 32 m ² /Pers.	EBF _{Referenz} : 42 m ² /Pers.	GF _{Referenz} : 61 m ² /Pers.
Anzahl Bewohner:innen	Für jede Referenzflä- che 3 Möglichkeiten zur Ermittlung der Anzahl Bewohner _{Prognose} :	- Wohndichte allgemein	- Wohndichte Belegungs- vorschrift	- Wohndichte Schlafzimmer

2.3.5 Entwicklung des wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktors

2.3.5.1. Idee des wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktors

Bisher wurde die künftige Bewohnerzahl eines Bauprojekts abgeschätzt und daraus ein Flächeneffizienzfaktor entwickelt. Ein Flächeneffizienzfaktor kann jedoch auch direkt aus den Wohnungsflächen eines konkreten Projekts hergeleitet werden. Dazu müssten diese durch Referenzflächen geteilt werden, was erneut zu einem Flächeneffizienzfaktor führen würde. Grundsätzlich sind dafür zwei Ansätze denkbar.



Im ersten Ansatz könnten die Wohnungsflächen für alle Wohnungen eines Projekts mit der derselben Anzahl Zimmer gemittelt und durch eine Referenzfläche für Wohnungen mit derselben Anzahl Zimmer geteilt werden. Daraus würden sich Flächeneffizienzfaktoren pro Wohnungskategorie mit derselben Anzahl Zimmer ergeben. Um daraus einen Flächeneffizienzfaktor für das gesamte Projekt zu ermitteln, müssten diese dann in einer Form miteinander verrechnet werden. Dies könnte im einfachsten Fall als Mittelwert über alle Wohnungen erfolgen. Das würde jedoch rasch zu Problemen mit der Gewichtung der unterschiedlichen Wohnungsgrössen im Gesamtergebnis führen. In einem fiktiven Projekt mit einer 1-Zimmerwohnung und 50 3-Zimmerwohnungen hätte nach dieser Berechnungsmethode die 1-Zimmerwohnung dasselbe Gewicht wie alle 30 3-Zimmerwohnungen. Die Wahl eines Gewichtungsfaktors lässt wiederum viele Freiheiten offen. Soll die Anzahl Wohnungen als Mass genommen werden? Deren Flächenanteil am Projekt? Die künftige Bewohnerzahl?

Diese Schwierigkeiten treten mit dem zweiten Ansatz nicht auf, der den wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktor gleich auf Gebäudeebene berechnet. Dazu wird die geplante Wohnungsfläche eines Bauprojekts aus den Plänen abgelesen. Die Referenzfläche wird ebenfalls für das gesamte Gebäude hergeleitet. Dafür verwenden wir den Wohnungsspiegel des Projekts und multiplizieren die Anzahl Wohnungen mit derselben Zimmerzahl mit einer Referenzfläche für Wohnungen mit entsprechender Zimmerzahl. Die Summe aller Flächen ergibt die projektspezifische Referenzfläche.

2.3.5.2. Formel zur Berechnung des wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktors

Die Wohnungsflächen in der Statistik werden als Bruttowohnflächen angegeben. Es ergibt sich daraus eine Diskrepanz zur Wohnfläche in Bauprojekten, die üblicherweise mit der Hauptnutzfläche der Wohnung gemäss SIA gleichgesetzt wird. Die Hauptnutzfläche umfasst keine Konstruktionsflächen (Wände in der Wohnung). Sie umfasst auch keine Nebennutzflächen. Für Wohnungen betrifft dies Abstellräume oder Reduits, die zur Nebennutzfläche gezählt werden.

Zur Ermittlung des wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktors wird die geplante Wohnfläche des Projekts zuerst auf eine Wohnungsfläche gemäss Definition des Bundesamts für Statistik umgerechnet. Dazu müssen wohnungsinterne Nebennutzflächen zur Wohnfläche des Gebäudes addiert werden, falls sie nicht schon darin enthalten sind. Die geplante Wohnungsfläche des Projekts wird dann geteilt durch die theoretische Wohnungsfläche für durchschnittlich grosse Wohnungen. Es ergibt sich die Formel 3.

Formel 3: Berechnung Flächeneffizienzfaktor aus Wohnungsflächen

$$\text{Flächeneffizienzfaktor}_{WF} = \frac{\text{Hauptnutzfläche}_{\text{Projekt}} + \text{Nebennutzfläche in Whgen}_{\text{Projekt}}}{\text{Wohnungsfläche}_{\text{Referenz}}}$$

Ein Faktor gleich eins bedeutet, dass das geplante Bauprojekt dieselbe Wohnfläche bereitstellt wie ein Gebäude aus lauter durchschnittlich grossen Wohnungen gemäss Referenz. Ein Faktor grösser eins weist auf grössere Wohnflächen als in der Referenz hin. Ein Faktor kleiner eins auf Wohnflächen, die kleiner sind als in der Referenz.

2.3.5.3. Berechnung der Wohnungs-Referenzfläche eines Projekts

Für die Herleitung der Wohnungsreferenzflächen werden dieselben Varianten verwendet wie in der personenbezogenen Berechnung: im ersten Ansatz entspricht die Referenzfläche dem statistischen Mittelwert der Schweiz, im zweiten suffizienten Wohnungsflächen pro Zimmerzahl, die wir eigens herleiten.

Für den ersten Ansatz können die Wohnungsflächen für 1- bis 5-Zimmerwohnungen direkt den statistischen Daten aus Tabelle 4 entnommen werden. In Tabelle 12 werden diese Daten lediglich wiederholt. Die statistische Sammelkategorie für 6-Zimmerwohnungen oder grösser kann nicht direkt für die Berechnung von Referenzflächen verwendet werden. Diese wird aufgeteilt in 6-Zimmer-Wohnungen, 7-



Zimmer-Wohnungen und 8-Zimmerwohnungen. Aus der Analyse der statistischen Daten für die Personenbelegung in Kapitel wissen wir, dass die mittlere Zimmerzahl in der Kategorie «6+» 6.666 beträgt. Wir können also die statistische erfasste Fläche der Kategorie «&+» durch 6.666 teilen und mit der Zimmerzahl 6, 7, oder 8 multiplizieren. Die Flächen gemäss Tabelle 12 können mit dem Wohnungsspiegel eines Bauprojekts multipliziert werden. Daraus ergibt sich eine theoretische Wohnungsfläche für durchschnittlich grosse Wohnungen gemäss Statistik.

Aus den Überlegungen zu einem suffizienten Flächenverbrauch lassen sich auch suffiziente Referenzflächen pro Zimmerzahl herleiten. Dazu multiplizieren wir die suffiziente Fläche pro Person mit der Personenbelegung gemäss schweizerischem Mittelwert (1. Spalte in Tabelle 6). Mit diesem Ansatz resultiert für 1-Zimmer-Wohnungen eine suffiziente Fläche von 39m². Diese liegt über dem heutigen Mittelwert, was wenig Sinn macht. Da eine Einzimmerwohnung für eine Bewohnerin ausgelegt wird, legen wir den Wert auf 32 m² fest. Für 6-Zimmerwohnungen ist die Personenbelegung gemäss Statistik kleiner als für 5-Zimmerwohnungen. Dies führt dazu, dass die suffiziente Fläche für 6-Zimmer-Wohnungen kleiner wird als für 5-Zimmerwohnungen. Dies macht keinen Sinn, weshalb wir die suffiziente Fläche für 6-Zimmerwohnungen aus den benachbarten Werten für 5- und 7-Zimmerwohnungen interpolieren. Somit ergeben sich die Flächen gemäss Tabelle 12.

Tabelle 12: Mittlere Wohnungsflächen pro Wohnung in der Schweiz 2019

Zimmerzahl pro Wohnung	Schweizer Mittelwert [m ² /Whg.]	Gemeinnütziger Wohnungsbau [m ² /Whg.]	Suffiziente Flächennutzung [m ² /Whg.]
1-Zi. Whg.	36	36	32
2-Zi. Whg.	58	56	44
3-Zi. Whg.	80	73	60
4-Zi. Whg.	106	92	79
5-Zi. Whg.	138	115	88
6-Zi. Whg.	160	144	94
7-Zi. Whg.	187	168	101
8-Zi. Whg.	213	192	115

Für die Berechnung des wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktors sind dieselben Varianten möglich wie beim personenbezogenen. Als Bezugsflächen können neben der Wohnungsfläche auch die Energiebezugsfläche, Geschossfläche oder Nettogeschossfläche eingesetzt werden.

Damit die wohnungsbezogene Bewertung auf die Energiebezugsfläche bezogen werden kann, ist eine Umrechnung nötig. Im Zähler verwenden wir dazu die Energiebezugsfläche des Projekts. Die Referenz-Wohnungsfläche im Nenner müssten wir idealerweise mit einem allgemeingültigen Mittelwert multiplizieren. Das dieser nicht greifbar ist, ziehen wir ersatzweise das Verhältnis aus der EBF/Pers. gemäss SIA-Effizienzpfad und mittlerer Wohnungsfläche pro Person gemäss Statistik heran (Formel 4).

Für eine Umrechnung der wohnungsbezogenen Bewertung auf die Geschossfläche wird im Zähler der Formel die gebäudespezifische Geschossfläche eingesetzt. Für die Multiplikation im Nenner greifen wir mangels anderer Angaben auf den Mittelwert der ausgewerteten Beispielgebäude gemäss Tabelle 13 zurück (Formel 4).



Formel 4: Berechnungsvarianten für die Flächeneffizienz mit Wohnungsbezug

$$\begin{aligned} \text{Flächeneffizienzfaktor}_{WF} &= \frac{WF_{\text{Projekt}}}{WF_{\text{Referenz}}} \\ \text{Flächeneffizienzfaktor}_{EBF} &= \frac{EBF_{\text{Projekt}}}{WF_{\text{Referenz}} * EBF_{SIA} / WF_{\text{Statistik}}} \\ \text{Flächeneffizienzfaktor}_{GF} &= \frac{WF_{\text{Projekt}}}{WF_{\text{Referenz}} * GF / WF_{Bsp.geb.}} \end{aligned}$$

2.4 Anwendung des Flächeneffizienzfaktors auf Gebäude

2.4.1 Verwendung der Flächeneffizienzfaktoren ohne Verbindung zur Grauen Energie oder den Grauen Treibhausgasemissionen

Die bisher entwickelten Flächeneffizienzfaktoren können direkt als Bewertungsmaßstab verwendet werden. Kleinere Faktoren bedeuten bessere Suffizienz. In Wettbewerben können die Flächeneffizienzfaktoren der eingereichten Projekte mit geringem Aufwand berechnet und die Projekte damit untereinander verglichen werden. In der Projektentwicklung kann der Effizienzfaktor für alle Planungsschritte kontinuierlich berechnet und damit die suffizientesten Planungsvarianten gewählt werden.

2.4.2 Gewichtung bestehender Grenzwerte mit Flächeneffizienzfaktoren

Die bisher entwickelten Flächeneffizienzfaktoren können dazu verwendet werden, die Grenzwerte für Graue Energie oder Treibhausgasemissionen zu gewichten. Mathematisch erfolgt dies durch eine Division des bestehenden Grenzwerts pro Fläche durch den Flächeneffizienzfaktor. Falls ein Projekt überdurchschnittlich viel Fläche verbraucht, sinkt der Grenzwert pro m² Fläche. Verbraucht es hingegen weniger Fläche als der Durchschnitt, so steigt der Grenzwert pro m² Fläche. Gebäude mit niedrigem Flächenverbrauch werden also belohnt, solche mit hohem werden bestraft.

Die Gewichtung führt eine Abhängigkeit der Grenzwerts für die Graue Energie oder die Treibhausgasemissionen zur Flächeneffizienz ein. Falls der personenbezogene Faktor verwendet wird, führt dieses Vorgehen zu denselben Ergebnissen wie die Einführung von personenbezogenen Grenzwerten. Diese Aussage wird im Anhang 8.1 begründet.

Der Flächenbezug für energetische Kennwerte ist bereits gut eingeführt und üblich. In dieser Studie wird deshalb, statt der Entwicklung einer personenbezogenen Bezugsgrösse, die mathematisch äquivalente Gewichtung der flächenbezogenen Bewertung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen bevorzugt. Das Ziel einer personenbezogenen Bewertung wird mit diesem Vorgehen ebenso erreicht wie mit personenbezogenen Kennwerten.

2.4.3 Gewichtung der Gebäudedaten mit Flächeneffizienzfaktoren

Eine weitere Möglichkeit zur Anwendung der Flächeneffizienzfaktoren besteht in der Gewichtung der Ergebnisse aus der projektspezifischen Berechnung der Grauen Energie oder der Treibhausgasemissionen. Mathematisch wird in diesem Fall das Ergebnis der Berechnung mit dem Flächeneffizienzfaktor multipliziert. Falls ein Projekt überdurchschnittlich viel Fläche verbraucht, vergrößert sich der Kennwert pro m² Fläche. Verbraucht es hingegen weniger Fläche als der Durchschnitt, so verkleinert sich der Kennwert pro m² Fläche. Gebäude mit niedrigem Flächenverbrauch werden also belohnt, solche mit hohem werden bestraft.



Bei der Anwendung in einem Label kann mit diesem Vorgehen der bestehende Grenzwert unverändert bleiben. Der Personenbezug wird nun über die Gewichtung der Projektkennwerte erreicht. Das Verhältnis von Projektwert zu Grenzwert bleibt bei den Ansätzen der beiden Kapitel 2.4.2 und 2.4.3 gleich. Sie sind mathematisch äquivalent.

2.5 Beispielgebäude für die Anwendung

2.5.1 Einleitung

Zur Prüfung der entwickelten Masse werden diese auf eine Reihe von Beispielgebäuden angewendet. Ausgewertet wurden 10 Mehrfamilienhäuser und 2 Einfamilienhäuser. Im Folgenden werden die Gebäude in anonymisierter Form dargestellt.

Die ausgewerteten Gebäude umfassen alle Grössenklassen und Marktsegmente. Die Grösse reicht vom Einfamilienhaus bis zu einem Hochhaus mit 15 Etagen und einer Blockrandbebauung mit 240 Wohnungen. Die Marktsegmente reichen von Genossenschaftswohnungen für kleine Einkommen bis zu Eigentumswohnungen für gut situierte Besitzer.

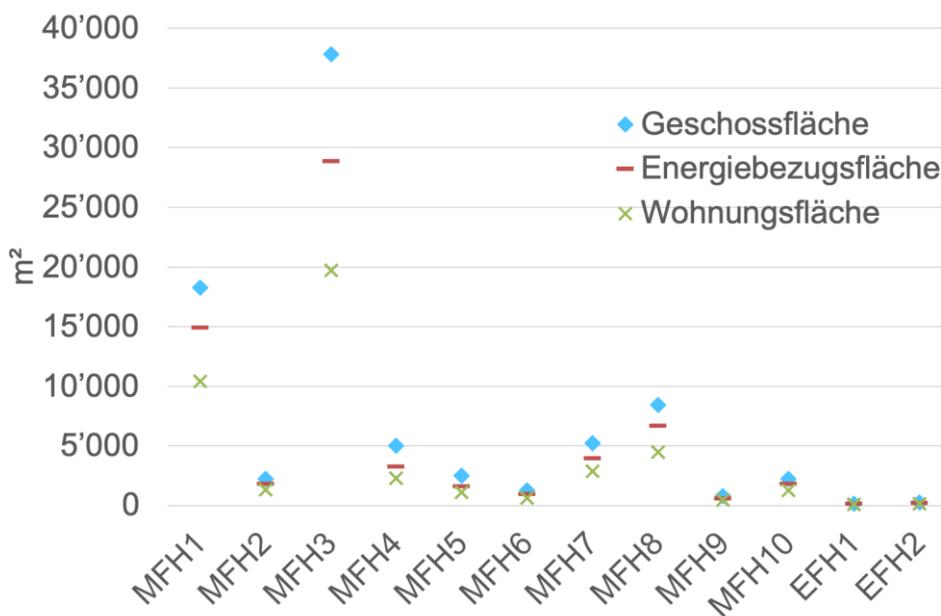


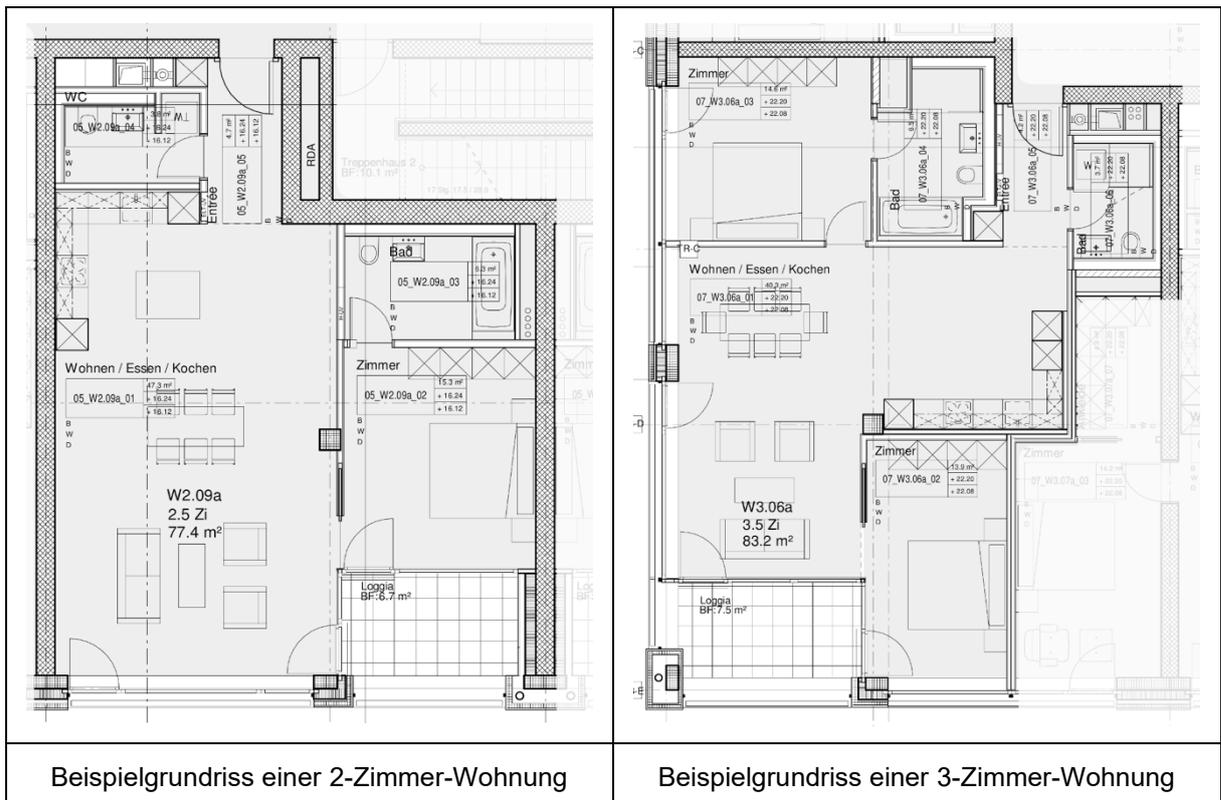
Abbildung 9: Übersicht über GF und EBF der ausgewerteten Beispielgebäude



2.5.2 MFH1

Marktsegment	Eigentums- und Mietwohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	Minergie-Eco	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	15	1 - 1.5	2
Flächenkennzahlen		2 - 2.5	66
Geschossfläche GF	Nicht ermittelt	3 - 3.5	43
Energiebezugsfläche EBF	14'900 m ²	4 - 4.5	16
Wohnungsfläche WF	10'400 m ²	Total	127

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude

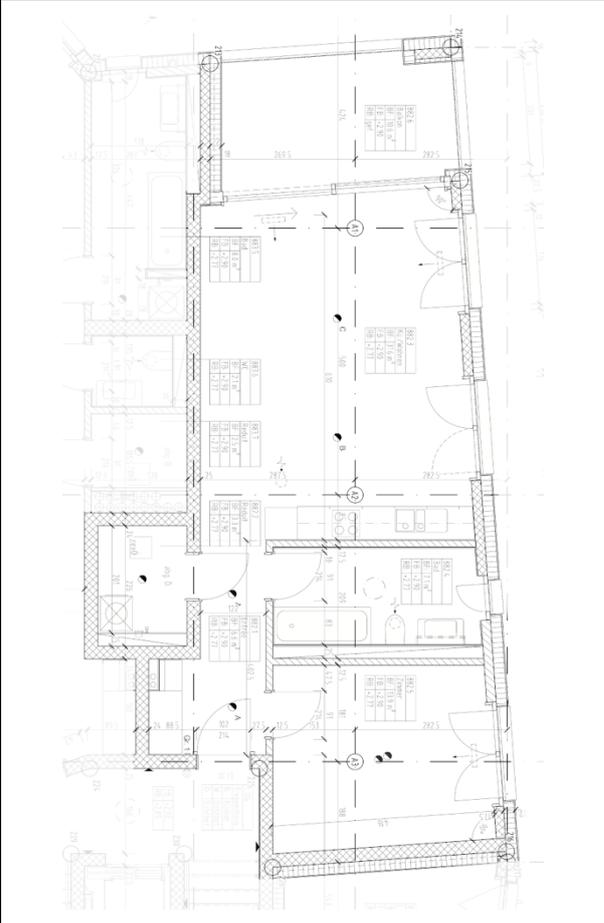
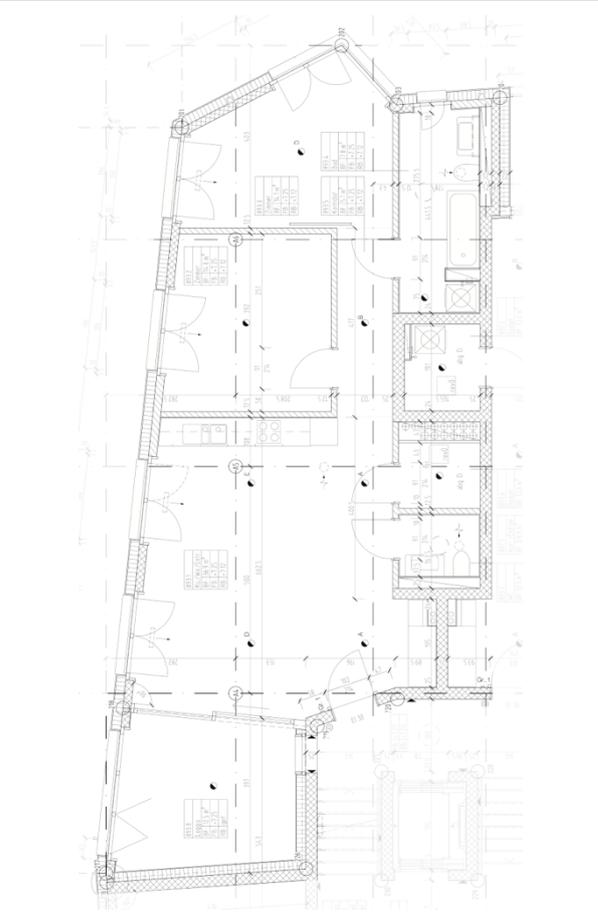




2.5.3 MFH2

Marktsegment	Genossenschafts-Wohnungen	Wohnungsspiegel	
		Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Gebäudelabel			
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	4	2 - 2.5	6
Flächenkennzahlen		3 - 3.5	7
Geschossfläche GF	2300 m ²	4 - 4.5	2
Energiebezugsfläche EBF	1800 m ²	5 - 5.5	1
Wohnungsfläche WF	1300 m ²	Total	16

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude

	
Beispielgrundriss einer 2-Zimmer-Wohnung	Beispielgrundriss einer 3-Zimmer-Wohnung



2.5.4 MFH3

Marktsegment	Eigentums- und Mietwohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	Minergie-P	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	7	1 - 1.5	10
Flächenkennzahlen		2 - 2.5	82
Geschossfläche GF	37'800 m ²	3 - 3.5	72
Energiebezugsfläche EBF	28'800 m ²	4 - 4.5	69
Wohnungsfläche WF	19'700 m ²	5 - 5.5	5
		8 und grösser	2
		Total	240

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude

<p>Beispielgrundriss einer 3-Zimmer-Wohnung</p>	<p>Beispielgrundriss einer 4-Zimmer-Wohnung</p>



2.5.5 MFH4

Marktsegment	Mietwohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	Auftraggeber-Label	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	5	1 - 1.5	10
Flächenkennzahlen		2 - 2.5	20
Geschossfläche GF	5000 m ²	3 - 3.5	10
Energiebezugsfläche EBF	3200 m ²	Total	40
Wohnungsfläche WF	2300 m ²		

Grundrisse werden mangels Zustimmung nicht publiziert.

2.5.6 MFH5

Marktsegment	Mietwohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	Auftraggeber-Label	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	5	1 - 1.5	10
Flächenkennzahlen		3 - 3.5	10
Geschossfläche GF	2500 m ²	Total	20
Energiebezugsfläche EBF	1600 m ²		
Wohnungsfläche WF	1100 m ²		

Grundrisse werden mangels Zustimmung nicht publiziert.



2.5.7 MFH6

Marktsegment	Mietwohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	Minergie-Eco	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	4	2 - 2.5	2
Flächenkennzahlen		3 - 3.5	4
Geschossfläche GF	1300 m ²	4 - 4.5	2
Energiebezugsfläche EBF	1000 m ²	Total	8
Wohnungsfläche WF	700 m ²		

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude

<p>Beispielgrundriss einer 2-Zimmer-Wohnung</p>	<p>Beispielgrundriss einer 4-Zimmer-Wohnung</p>



2.5.8 MFH7

Marktsegment	Mietwohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	Minergie-Eco	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	5	2 - 2.5	21
Flächenkennzahlen		3 - 3.5	19
Geschossfläche GF	5200 m ²	4 - 4.5	4
Energiebezugsfläche EBF	4000 m ²	Total	44
Wohnungsfläche WF	2900 m ²		

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude

Beispielgrundriss einer 2-Zimmer-Wohnung	Beispielgrundriss einer 3-Zimmer-Wohnung



2.5.9 MFH8

Marktsegment	Genossenschaftswohnungen	Wohnungsspiegel	
		Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Gebäudelabel			
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	6	2 - 2.5	24
Flächenkennzahlen		3 - 3.5	21
Geschossfläche GF	8500 m ²	4 - 4.5	6
Energiebezugsfläche EBF	6700 m ²	5 - 5.5	3
Wohnungsfläche WF	4500 m ²	Total	54

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude

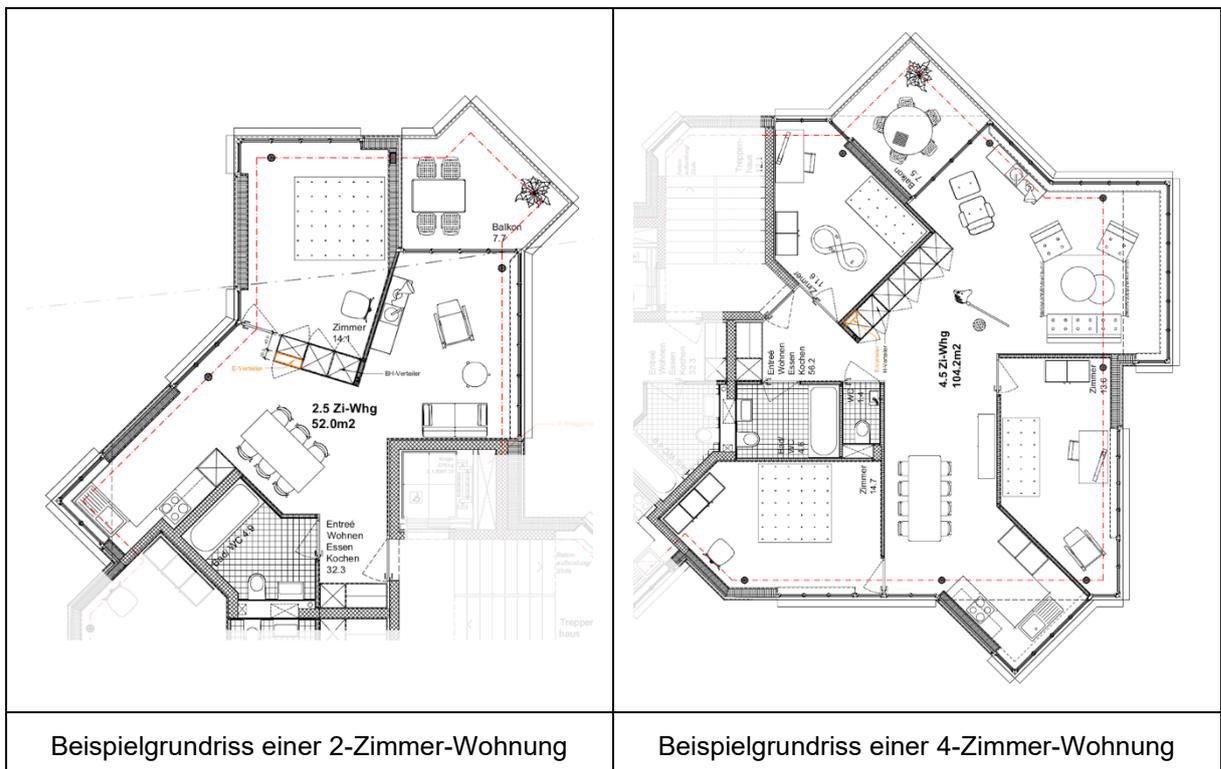
Beispielgrundriss einer 2-Zimmer-Wohnung	Beispielgrundriss einer 3-Zimmer-Wohnung



2.5.10 MFH9

Marktsegment	Genossenschaftswohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	SIA Effizienzpfad Energie	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	3	2 - 2.5	3
Flächenkennzahlen		4 - 4.5	3
Geschossfläche GF	800 m ²	Total	6
Energiebezugsfläche EBF	600 m ²		
Wohnungsfläche WF	500 m ²		

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude





2.5.11 MFH10

Marktsegment	Genossenschaftswohnungen	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	keines	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	6	1 - 1.5	16
Flächenkennzahlen		2 - 2.5	1
Geschossfläche GF	2200 m ²	3 - 3.5	7
Energiebezugsfläche EBF	1800 m ²	4 - 4.5	2
Wohnungsfläche WF	1300 m ²	Total	26

Beispielgrundrisse von Wohnungen im Gebäude

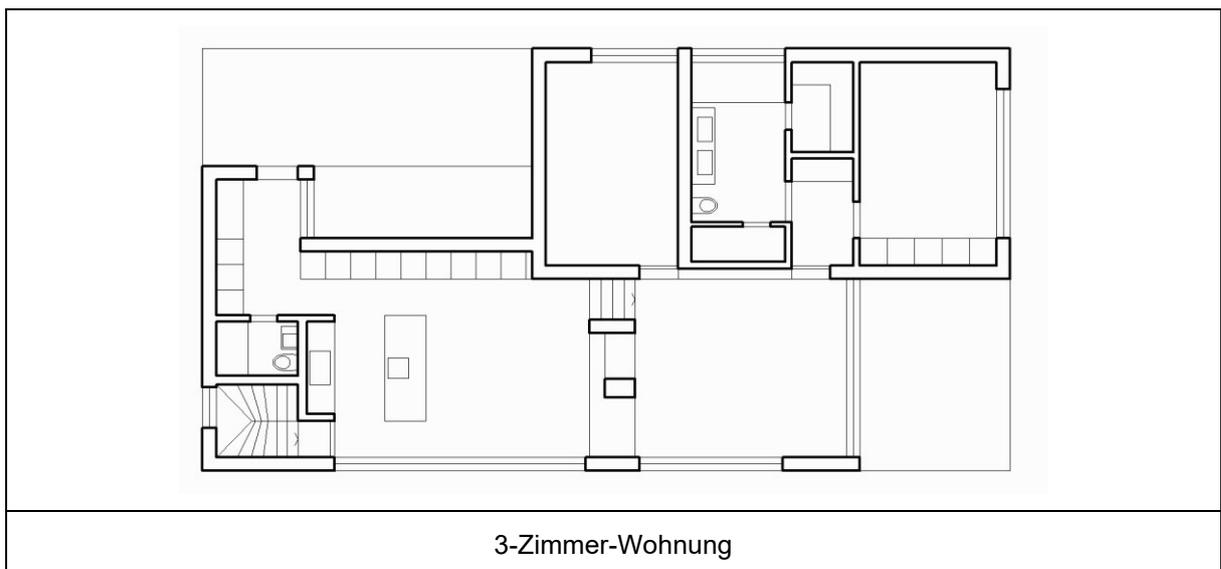
<p>Beispielgrundriss einer 2-Zimmer-Wohnung</p>	<p>Beispielgrundriss einer 4-Zimmer-Wohnung</p>



2.5.12 EFH1

Marktsegment	Eigentum	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	keines	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	1	3 - 3.5	1
Flächenkennzahlen		Total	1
Geschossfläche GF	180 m ²		
Energiebezugsfläche EBF	150 m ²		
Wohnungsfläche WF	100 m ²		

Grundriss der Wohnung im Gebäude

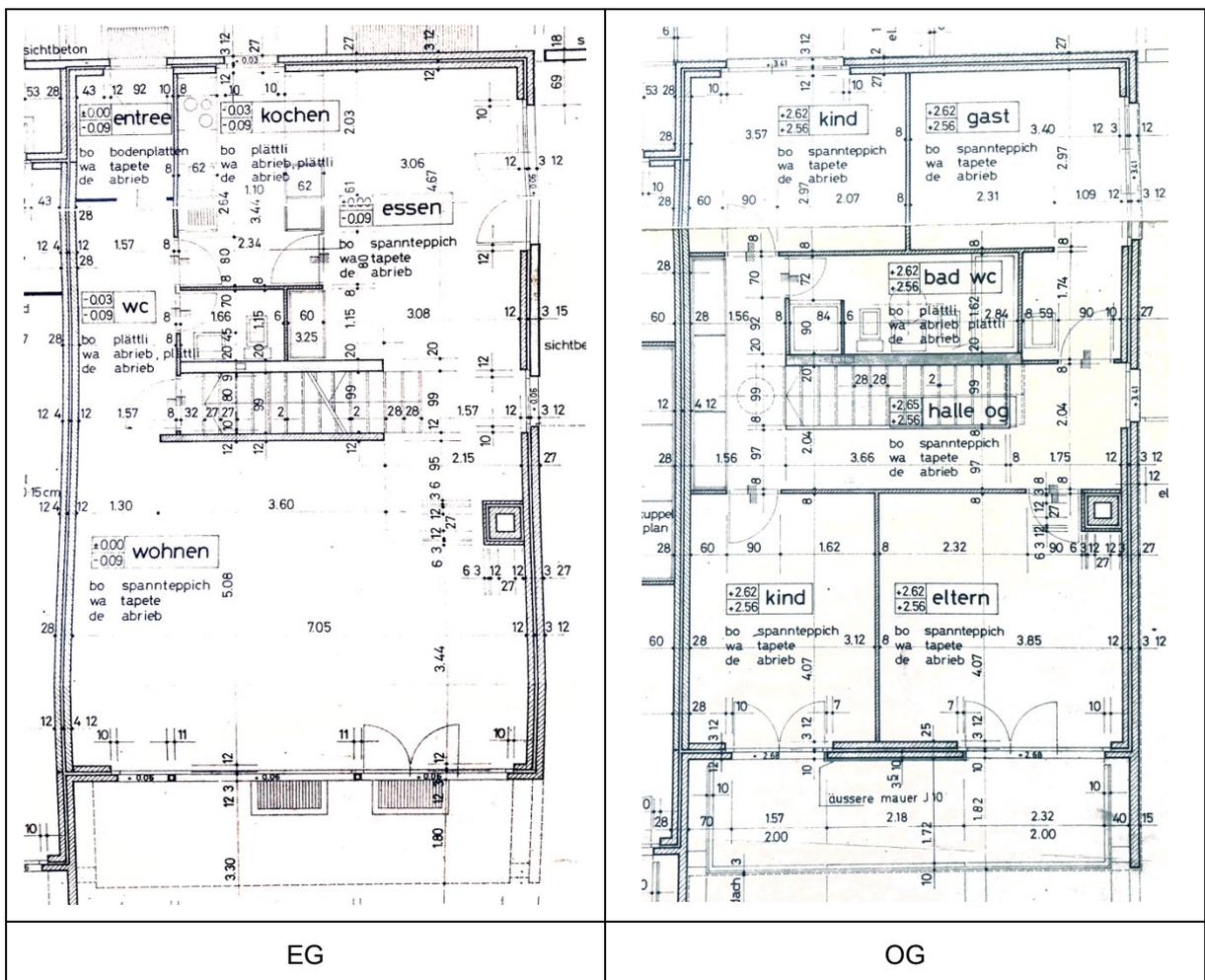




2.5.13 EFH2

Marktsegment	Eigentum	Wohnungsspiegel	
Gebäudelabel	keines	Zimmerzahl pro Wohnung	Anzahl Wohnungen
Anzahl Geschosse mit Wohnnutzung	1	5 - 5.5	1
Flächenkennzahlen		Total	1
Geschossfläche GF	258 m ²		
Energiebezugsfläche EBF	211 m ²		
Wohnungsfläche WF	166 m ²		

Grundriss der Wohnung im Gebäude





3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Formeln für die Effizienzfaktoren

Für die Herleitung verweisen wir auf das Methodik-Kapitel. Im Folgenden stellen wir nur die Berechnungsformeln mit Bezug zur Energiebezugsfläche EBF konzentriert dar.

Der Flächeneffizienzfaktor aus der Abschätzung der künftigen Bewohnerzahl berechnet sich wie folgt:

$$\text{Flächeneffizienzfaktor}_{\text{Pers}} = \frac{\text{Energiebezugsfläche}_{\text{Projekt}}}{\text{Anzahl Bewohner}_{\text{Prognose}} * \text{Energiebezugsfläche pro Person}}$$

Der Flächeneffizienzfaktor aus dem Vergleich des Wohnungsspiegels mit den Referenzflächen für Wohnungen berechnet sich wie folgt:

$$\text{Flächeneffizienzfaktor}_{\text{Whg}} = \frac{\text{Energiebezugsfläche}_{\text{Projekt}}}{\text{Wohnungsfläche}_{\text{Referenz}} * \frac{\text{EBF}_{\text{SIA}}}{\text{WF}_{\text{Statistik}}}}$$

Die Effizienzfaktoren können einerseits direkt angewendet werden. Sie können andererseits auch verwendet werden, um einen Personenbezug in die Bewertung der Grauen Energie oder der Treibhausgasemissionen der Erstellung einzuführen. Dies wird im Kapitel 5.1 erläutert. Die Formel dazu lautet:

$$\text{Grenzwert}_{\text{Graue Energie od. THG}} = \frac{\text{Grenzwert}_{\text{Label heute}}}{\text{Flächeneffizienzfaktor}}$$

Mathematisch äquivalent zur obigen Formel ist auch die Gewichtung der Gebäudekennzahl für die Graue Energie oder die Treibhausgase der Erstellung möglich (siehe dazu ebenfalls Kapitel 5.1):

$$\begin{aligned} \text{Graue Energie od. Treibhausgase}_{\text{Personenbezug}} \\ = \text{Graue Energie od. Treibhausgase}_{\text{Gebäude}} * \text{Flächeneffizienzfaktor} \end{aligned}$$

3.2 Vergleich künftige Anzahl Bewohner:innen in Beispielgebäuden

Die Berechnung der künftigen Bewohner:innen ist der erste Schritt zur Berechnung des personenbezogenen Flächeneffizienzfaktors, dessen Herleitung im Kapitel 2.3.4 beschrieben wird.

Die Gebäudegrössen der Beispielgebäude sind sehr unterschiedlich. Dementsprechend sind auch die ermittelten Bewohnerzahlen sehr unterschiedlich. Sie bewegen sich zwischen 2 und 486 Personen. Die Abbildung 10 zeigt die Anzahl künftiger Bewohner:innen gemäss den entwickelten Schätzmethode. Durch die grossen Unterschiede unter den Gebäuden sind die Unterschiede zwischen den Methoden nur schlecht zu erkennen. Diese zeigen sich besser in der Abbildung 11. Die Differenzen zwischen den Methoden werden in dieser Abbildung wie folgt dargestellt: die Berechnung der Personenzahl mit den schweizerischen Mittelwerten (gemäss erster Spalte in Tabelle 3) wird in jedem Gebäude als 100% gesetzt. Dann wird die Differenz dazu für die Berechnung mit Belegungsvorschriften oder gemäss Zählung der Schlafzimmer dargestellt.

Der Vergleich der Berechnungsvarianten für die künftige Anzahl Bewohner:innen führt zu mehreren Erkenntnissen:

- Falls eine Belegungsvorschrift in die Berechnung eingeführt wird, steigt die Personenzahl erwartungsgemäss. Für den Vergleich wurde die Belegungsvorschrift «Anzahl Bewohner:innen gleich Zimmer minus 1» verwendet. Der Unterschied zwischen Belegungsvorschrift und Mittelwert ist umso ausgeprägter, je grösser der Anteil grosser Wohnungsgrundrisse ist. Für diese ist der Unterschied zwischen der Bewohnerzahl mit Belegungsvorschrift und der Bewohnerzahl am grössten



(siehe dazu Tabelle 3 und Tabelle 5). Die Berechnungsmethode hat also wie gewünscht den Effekt, dass Belegungsvorschriften bei der Prognose der Bewohner:innen honoriert werden

- Über alles gesehen, lässt sich kein eindeutiger Trend zwischen der Zählung der Schlafzimmer und der Berechnung aus dem Wohnungsspiegel ableiten. Die Zählung der Schlafzimmer liefert für sechs Gebäude die kleinsten Bewohnerzahlen. In vier Fällen ergibt die Zählung der Schlafzimmer mehr Personen als die Herleitung aus der mittleren Wohnungsbelegung. Das Ergebnis ergibt sich, weil die Bewohnerzahl bei der Zimmerzählung für 1- und 2-Zimmerwohnungen unter dem statistischen Mittel liegt, bei 3-Zimmerwohnungen und grösser jedoch darüber, falls alle Zimmer als Schlafzimmer genutzt werden können.
- Die grössten Unterschiede in der prognostizierten Bewohnerzahl zeigen sich zwischen der Zählung der Schlafzimmer und der Berechnung mit Belegungsvorschrift. Die Differenz ist am grössten für MFH8. Dieses verfügt in allen Wohnungen über Zimmer, die mit einer Schiebetür abgetrennt sind. Diese Zimmer wurden nicht als mögliche Schlafzimmer gezählt, was zu der deutlich tieferen Bewohnerzahl führt als bei der Zählung der Wohnungen.
- Das Gebäude mit der zweitgrössten Diskrepanz ist MFH4. Wie aus Abbildung 18 zu sehen ist, ist es das Gebäude mit dem höchsten Anteil von 1- und 2-Zimmer-Wohnungen. Für diese liegt die Bewohnerdichte im statistischen Mittel bei 1.2, bzw. 1.4 Personen. In der Schlafzimmerzählung wird diesen Wohnungen jedoch jeweils nur eine Person angerechnet. Daraus ergibt sich die Differenz im Resultat. Auch das MFH10 weist einen sehr hohen Anteil von 1-Zimmerwohnungen aus. Die 30% 3- und 4-Zimmer-Wohnungen kompensieren jedoch den Effekt der kleinen Wohnungen weitgehend, und es resultiert nur ein kleiner Unterschied zwischen der Personenschätzung aus der Anzahl Schlafzimmer und aus den Wohnungsgrundrissen.
- Für die beiden untersuchten Einfamilienhäuser fallen die Ergebnisse sehr unterschiedlich aus. Für das EFH1 ergibt sich mit allen Zählmethoden dieselbe Anzahl Bewohner:innen. Die Bewohnerzahl bleibt unter der Annahme einer Belegungsvorschrift fast gleich wie im statistischen Mittel. Es handelt sich beim EFH1 um eine 3-Zimmer-Wohnung. Darin wohnen mit Belegungsvorschrift 2 Personen, im statistischen Mittel 1.9 Personen. Für das EFH2 resultiert mit Belegungsvorschrift und bei der Zählung der Schlafzimmer eine Bewohner:in mehr. In der prozentualen Auswertung ergibt das einen Unterschied von 33%.

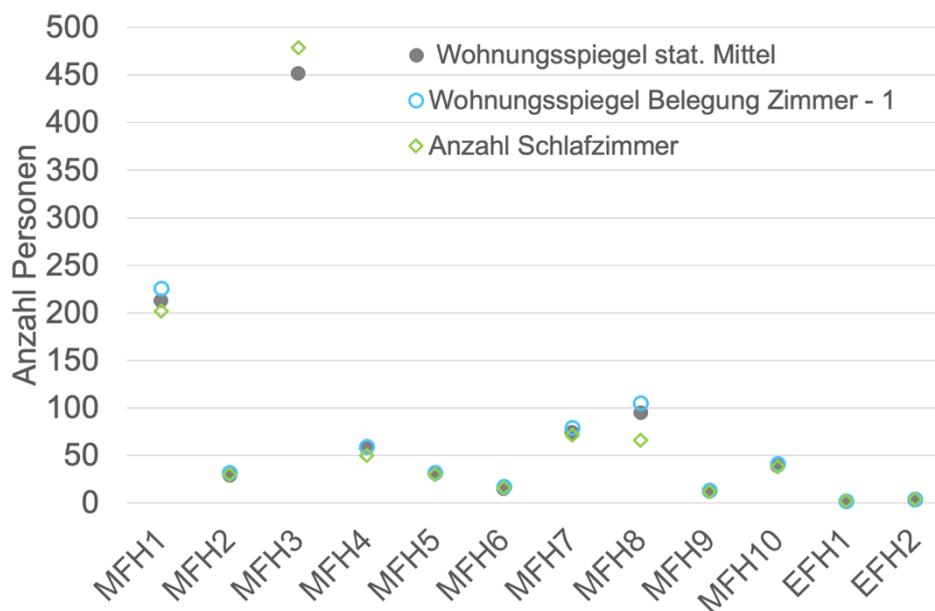


Abbildung 10: Anzahl künftiger Bewohner:innen pro Beispielgebäude

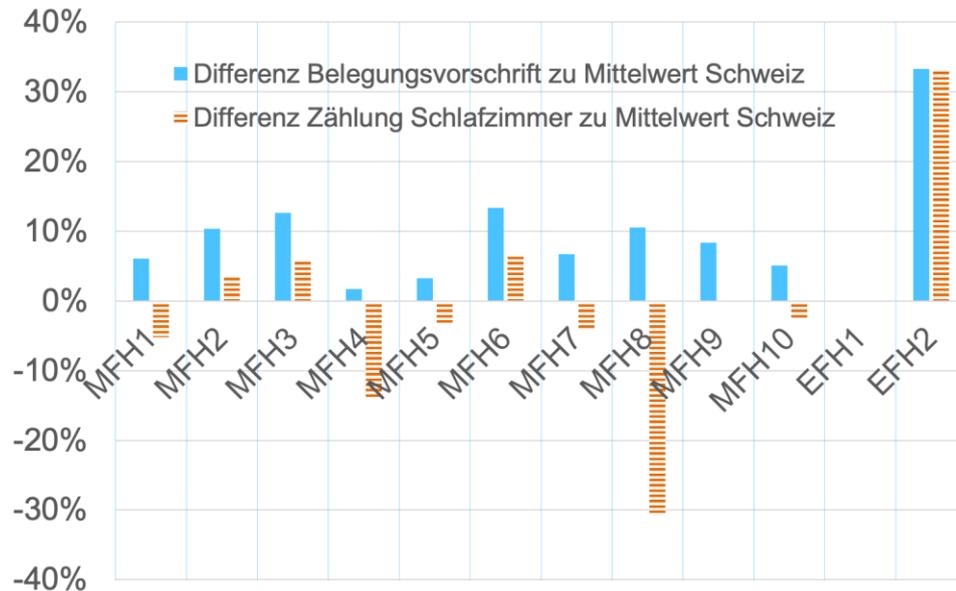


Abbildung 11: Differenzen zwischen den unterschiedlichen Methoden zur Personenprognose

Im Vergleich zwischen der Ermittlung der Bewohner:innen aus den statistischen Mittelwerten und der Zählung der Schlafzimmer empfehlen wir, der ersten den Vorzug zu geben. Mehrere Gründe sprechen dafür: Die Zählung der Schlafzimmer unterschätzt die Bewohnerzahl für 1- oder 2-Zimmer-Wohnungen, weil die mittlere Belegung pro Schlafzimmer auf eine Person angenommen wurde. Die Herleitung dieser Zahl aus der Mittelung aller Wohnungsgrössen unter Annahme einer Anzahl Schlafzimmer je nach Zimmerzahl pro Wohnung führt dazu, dass sie unsicherer ist als die Daten aus der Statistik. Zudem muss die Anzahl Schlafzimmer eines Bauprojekts eigens ermittelt werden. Die Daten zum Wohnungsspiegel sind hingegen ohne Zusatzaufwand verfügbar.

Wir empfehlen daher, die Bewohnerzahl aus dem Wohnungsspiegel mit den statistischen Daten für den Schweizer Durchschnitt über alle Wohnungen zu ermitteln.

Für Gebäude mit Belegungsvorschriften empfehlen wir, diese für alle Wohnungen zu berücksichtigen, die mit der Belegungsvorschrift eine höhere Belegung erreichen als im statistischen Mittel.

3.3 Bewohnerbasierter Flächeneffizienzfaktor

Für die Berechnung des bewohnerbasierten Flächeneffizienzfaktors wird zuerst die Bewohnerzahl mit der festgelegten Referenzfläche pro Person multipliziert. In Abbildung 12 ist dies die EBF pro Person gemäss SIA Merkblatt 2040 von 60m² EBF/Kopf. Dann wird die EBF des untersuchten Gebäudes durch die so ermittelte Referenz-EBF geteilt. Die beiden Varianten in Abbildung 12 entstehen dadurch, dass ein Gebäude eine höhere künftige Bewohnerzahl erhält, falls in dem Gebäude Belegungsvorschriften gelten. Für die Mustergebäude wurde jeweils eine Belegungsvorschrift von «Anzahl Bewohner:innen mindestens gleich Anzahl Zimmer minus eins» angenommen.

Der Unterschied zwischen den beiden Berechnungsvarianten wird mit grösserem Anteil von Wohnungen mit 3 oder mehr Zimmern grösser. Für 1- oder 2-Zimmer-Wohnungen wird nach beiden Zählweisen dieselbe Bewohnerzahl prognostiziert.

Der Vergleich der Flächeneffizienzfaktoren zwischen den Gebäude wird im Kapitel 3.6 vorgenommen.

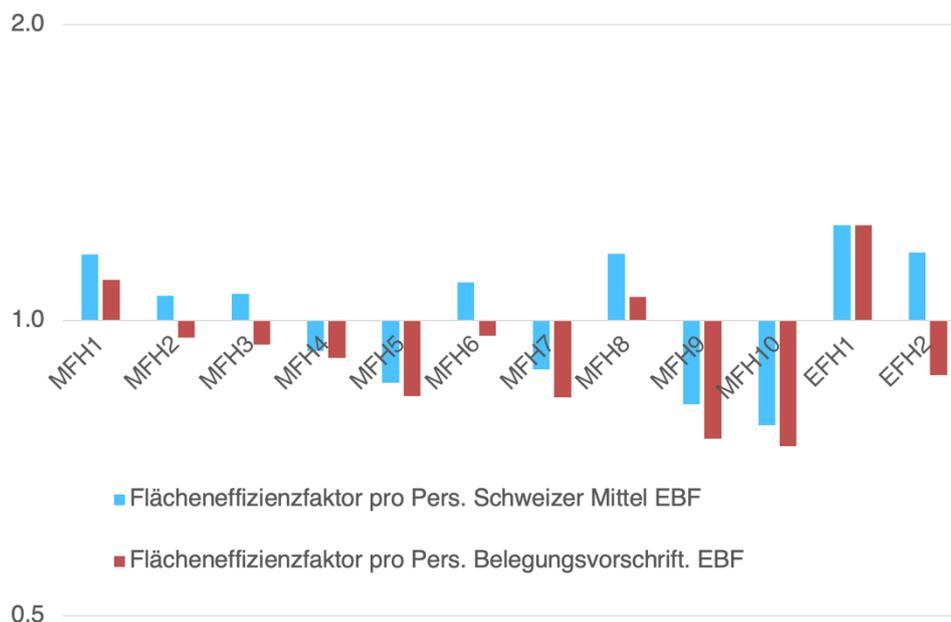


Abbildung 12: Flächeneffizienzfaktoren aus der personenbezogenen Berechnung. Die Darstellung erfolgt als Abweichung vom Faktor 1. Ein Faktor 2 entspricht dem doppelten EBF-Verbrauch, ein Wert von 0.5 dem halben EBF-Verbrauch des Vergleichswerts. Die Skala ist logarithmisch mit Basis 2.

3.4 Vergleich Wohnungs-Referenzflächen der Mustergebäude

Die Berechnung der Referenzflächen ist der erste Schritt zur Berechnung des wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktors, der im Kapitel 2.3.5 entwickelt wurde.

Die Bandbreite der Wohnungsflächen der Beispielgebäude ist in Abbildung 13 dargestellt. Die Wohnungsflächen nehmen wie zu erwarten mit der Anzahl Zimmer pro Wohnung zu. Darüber hinaus ist zu sehen, dass kein Gebäude durchs Band die grössten Grundrisse anbietet. Zum Beispiel sind die 1-Zimmer-Wohnungen im MFH3 im Mittel am kleinsten, die 3 und 4-Zimmerwohnungen jedoch in der oberen Hälfte aller Gebäude angesiedelt. Für den Vergleich der Flächen unter den Wohnungen mit derselben Anzahl Zimmer eignet sich die Abbildung 14 besser. In dieser wurden die Flächen pro Wohnungskategorie mit derselben Anzahl Zimmer indiziert. Die Fläche der grössten Wohnung der Kategorie wurde jeweils auf 100% gesetzt und die anderen ins Verhältnis dazu. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass das MFH 4 Wohnungsgrössen anbietet, deren Flächen zwischen 70% und 75% der grössten Wohnungen in den Gebäuden MFH1 oder MFH8 betragen. Über alle Wohnungskategorien wurden im MFH1 grosse Wohnungen gebaut. Das MFH2 hat die grössten 4- und 5-Zimmerwohnungen, während sich seine 2- und 3-Zimmerwohnungen in der Mitte aller analysierten Gebäude befinden. Die beiden EFH positionieren sich jeweils an der Spitze der Wohnungen mit derselben Zimmerzahl.

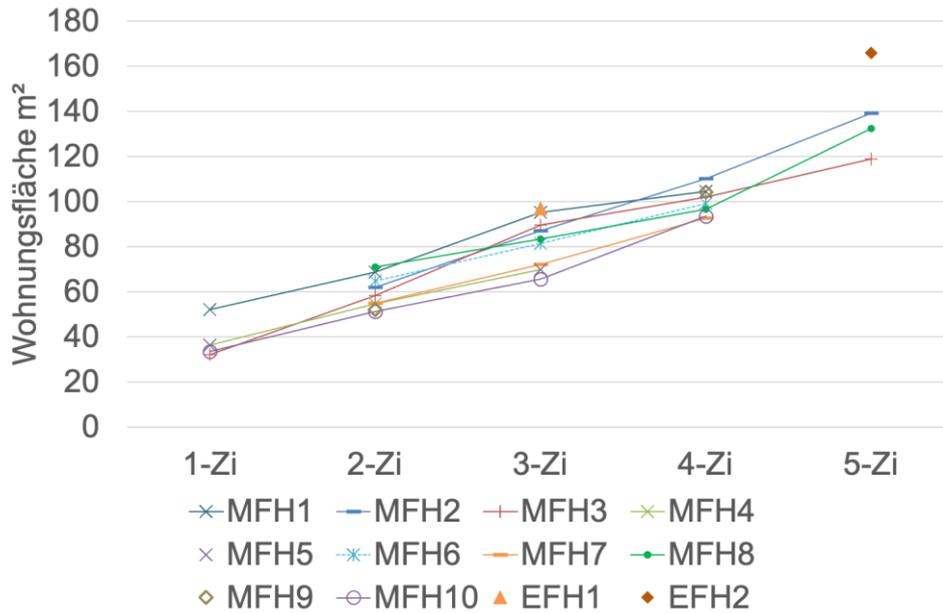


Abbildung 13: Mittlere Wohnungsflächen der Beispielgebäude pro Wohnungsgrösse in m²

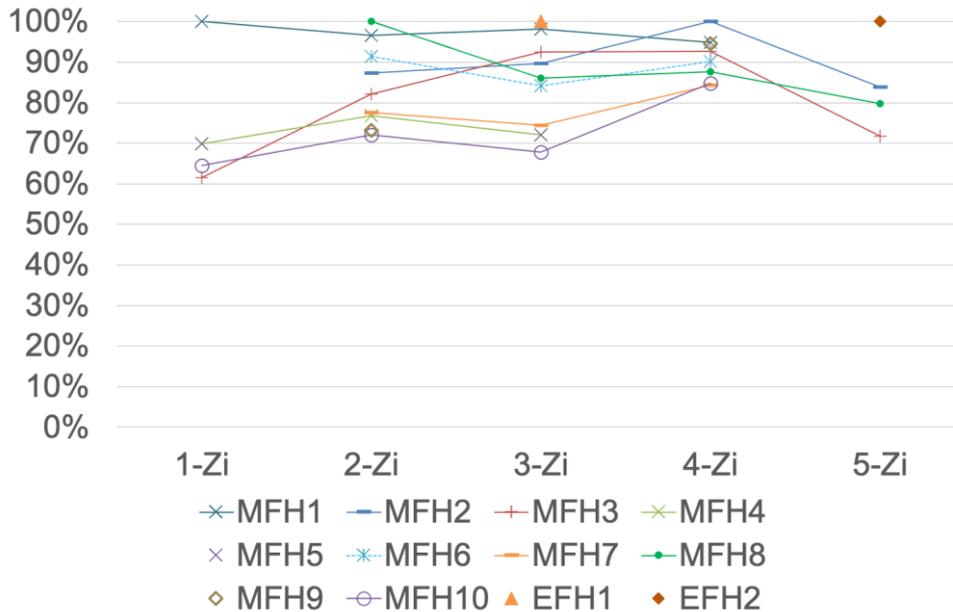


Abbildung 14: Mittlere Wohnungsflächen der Beispielgebäude pro Wohnungsgrösse indiziert

Zur Berechnung der Referenzfläche aus der Statistik stehen zwei Varianten zur Verfügung: die Berechnung kann in der ersten Variante auf den schweizerischen Durchschnittsflächen basieren. In der zweiten Variante basiert sie auf den mittleren Wohnungsgrössen der gemeinnützigen Bauträger. Diese beiden Varianten werden einander in der Abbildung 15 gegenübergestellt. Für die Darstellung in der Abbildung 15 wurde die Differenz aus der Referenzfläche gemäss Schweizer Mittelwert minus der Referenzfläche gemäss Mittelwert gemeinnütziger Bauträger gebildet und diese durch die Referenzfläche gemäss Schweizer Mittelwert geteilt. Die Unterschiede liegen für MFH durchs Band unter 10%. Im EFH2 entspricht der Unterschied demjenigen von 5-Zimmerwohnungen in der Statistik. Die Unterschiede sind



also klein und für das Projektziel vernachlässigbar. Da die statistische Basis des schweizerischen Mittelwerts massiv grösser ist als diejenige der Sonderauswertung für gemeinnützige Bauträger ist der ersten Auswertung klar der Vorzug zu geben.

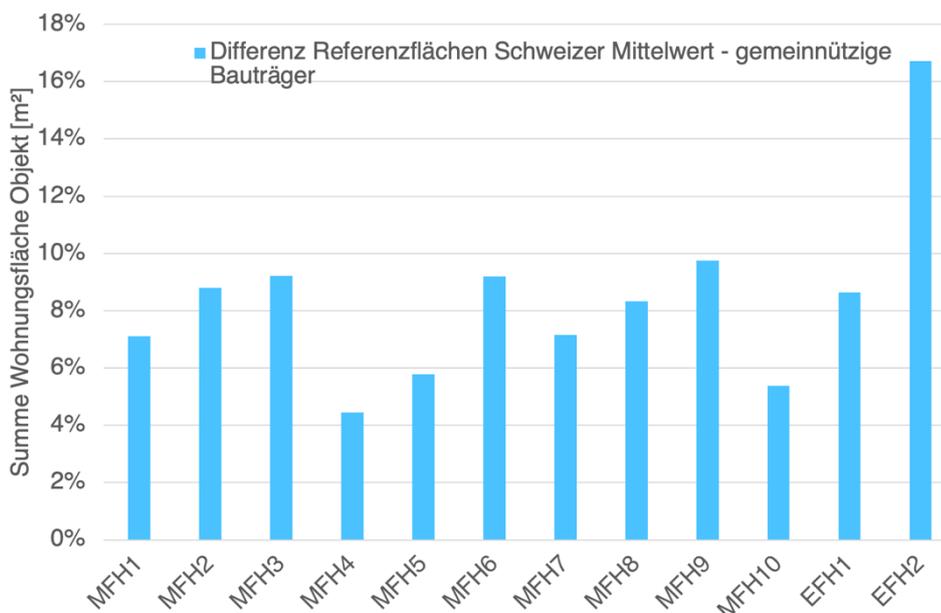


Abbildung 15: Vergleich der Referenzflächen nach Datengrundlagen (Skala logarithmisch)

3.5 Wohnungsbasierter Flächeneffizienzfaktor

Die Berechnung der wohnungsbasierten Flächeneffizienzfaktoren teilt die effektiv geplante Wohnungs- oder Energiebezugsfläche durch die Referenzfläche. Die Flächeneffizienzfaktoren wurden zum einen mit den schweizerischen Mittelwerten für die Berechnung der Referenzfläche und zum anderen mit dem Mittelwert gemeinnütziger Bauträger berechnet. In Abbildung 16 werden die Ergebnisse für die Mustergebäude gegenüber gestellt. Wie schon aus Abbildung 15 im vorhergehenden Kapitel ersichtlich war, sind die Unterschiede zwischen den beiden Referenzflächen gering. Dementsprechend unterscheiden sich auch die Flächeneffizienzfaktoren nur geringfügig.

Weil die Referenzflächen des gemeinnützigen Wohnungsbaus kleiner sind als der Schweizer Mittelwert, werden die Flächeneffizienzfaktoren grösser, wenn die gemeinnützigen Referenzflächen zugrunde gelegt werden. Es gibt jedoch keine grundsätzlichen Unterschiede, die Rangfolge der Gebäude ändert sich nur unwesentlich. Die Empfehlung zur Verwendung der schweizerischen Mittelwerte für die Berechnung der wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktoren kann nochmals bekräftigt werden.

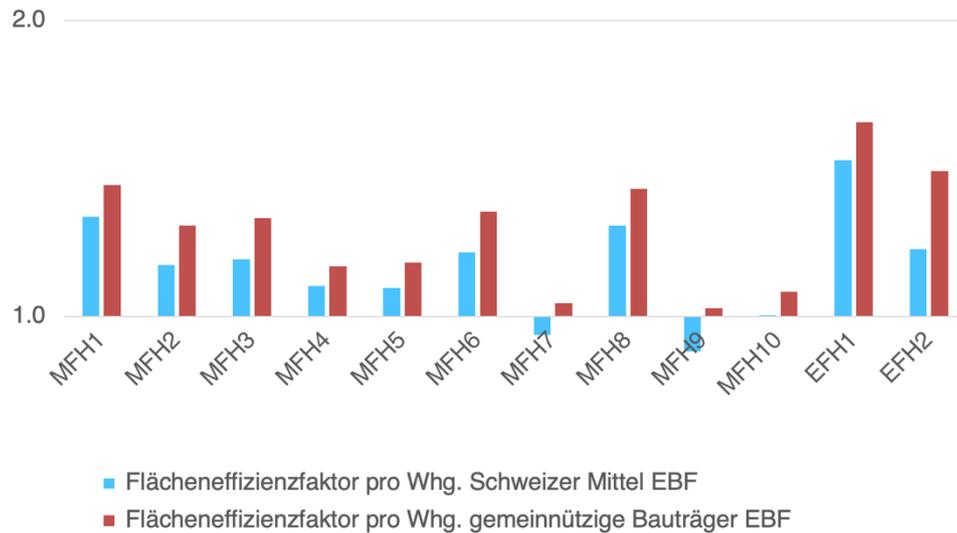


Abbildung 16: Flächeneffizienzfaktoren aus der wohnungsbezogenen Berechnung

3.6 Empfehlung für die Wahl des Flächeneffizienzfaktors

Die Abbildung 17 vergleicht die Flächeneffizienzfaktoren aus der personenbezogenen Herleitung mit denjenigen aus der wohnungsbezogenen Herleitung.

Bei den personenbezogenen Flächeneffizienzfaktoren werden die MFH 10 und 9 am besten bewertet. Zusammen mit den MFH5, 7 und 4 bilden sie die Gruppe der Mustergebäude mit Flächeneffizienzfaktoren kleiner eins. Das bedeutet, dass diese Gebäude mehr Bewohner:innen Wohnraum anbieten als im schweizerischen Durchschnitt zu erwarten wäre. Die weiteren sieben Gebäude weisen personenbezogene Flächeneffizienzfaktoren grösser eins aus. Sie bieten somit weniger Personen Wohnraum als im Schweizer Mittel zu erwarten wäre.

Bei den wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktoren liegen nur die Gebäude 9 und 7 unter einem Wert von eins. Das Gebäude zehn liegt so nahe am Wert 1, dass auf der Grafik kein Balken zu erkennen ist. Ein Wert kleiner eins bedeutet bei der wohnungsbezogenen Berechnung, dass die Wohnungen eines Projekts weniger Fläche beanspruchen, als im schweizerischen Mittel zu erwarten wäre. Die neun Gebäude mit Effizienzfaktoren über eins beanspruchen also mehr Energiebezugsfläche als durchschnittliche Wohnungen der Schweiz.

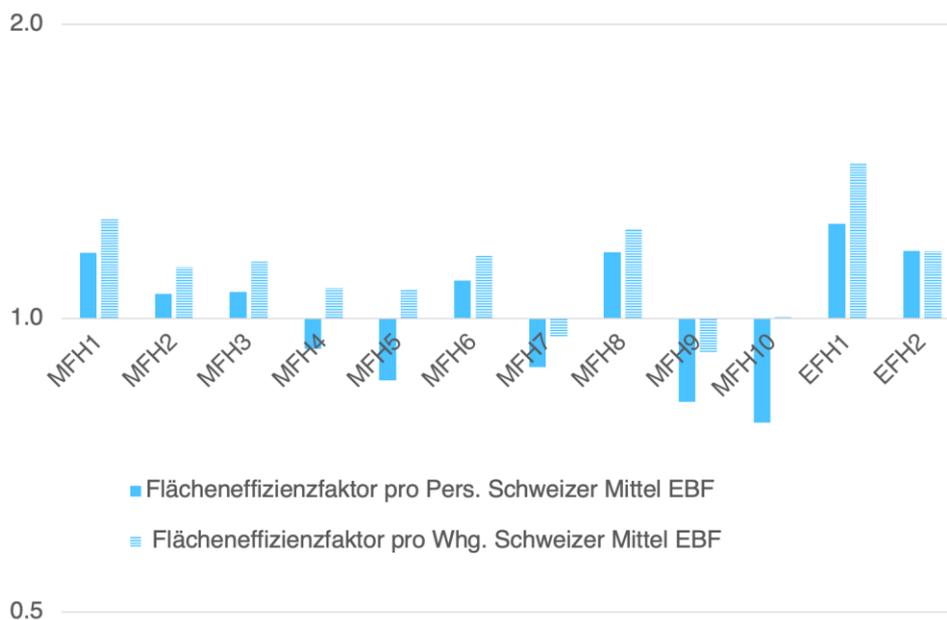


Abbildung 17: Flächeneffizienzfaktoren für unterschiedliche Herleitungsmethoden

Bei den Beispielgebäuden zeigen sich teilweise erhebliche Unterschiede zwischen dem Effizienzfaktor, der aus der künftigen Anzahl Bewohner:innen und aus der Referenzfläche für durchschnittlich grosse Wohnungen berechnet wurde (Abbildung 17). Dies erstaunt, da beide Berechnungen auf statistischen Mittelwerten beruhen und darum ähnliche Faktoren erwartet werden könnten. Es zeigen sich jedoch insbesondere für die MFH 4, 5 und 10 grössere Unterschiede zwischen den beiden Faktoren.

Eine Analyse der Zimmerzahlen der Wohnungen in den Gebäuden (Abbildung 18) zeigt auf, dass die MFH 4 und 5 über 1-3-Zimmerwohnungen verfügen, grössere Wohnungen jedoch fehlen. Auch das MFH10 hat über 60% 1-Zimmerwohnungen. Dies führt aus folgenden Gründen zur beobachteten Diskrepanz:

- In 1-Zimmerwohnungen wohnen pro Zimmer am meisten Personen aller Wohnungsgrössen (Tabelle 2). Somit wird die Anzahl der prognostizierten Bewohner:innen grösser mit einem grösseren Anteil kleiner Wohnungen.
- Gleichzeitig ist der Flächenverbrauch pro Kopf in kleineren Wohnungen geringer als in grösseren Wohnungen (Tabelle 4). Somit sinkt die Referenzfläche in der wohnungsbezogenen Bewertung mit grösserem Anteil kleiner Wohnungen.

Somit erhält ein Gebäude mit vielen kleinen Wohnungen mit durchschnittlicher Grösse eine positive Bewertung beim personenbezogenen Effizienzfaktor. In der Berechnung des Effizienzfaktors aufgrund der mittleren Wohnungsfläche pro Grundriss mit derselben Anzahl Zimmer gibt es keinen solchen Effekt. Kleine Wohnungen werden bei dieser Berechnung mit der mittleren Wohnfläche für kleine Wohnungen verglichen. Die Differenz zwischen den beiden Faktoren korreliert denn auch gut mit dem Anteil der 1-Zimmer-Wohnungen eines Gebäudes. Die Grafik dazu findet sich im Anhang als Abbildung 29.

MFH1 und MFH9 haben ebenfalls einen hohen Anteil kleiner Wohnungen, jedoch zeigt sich ein geringerer Unterschied zwischen der personenbezogenen und der wohnungsbezogenen Bewertung. Dies liegt im MFH1 daran, dass die Flächen der kleinen Wohnungen im Gebäude deutlich über der Durchschnitt liegen, während sich die grösseren Wohnungen nahe des Mittelwerts befinden. Somit wird der beschriebene Effekt durch die projektspezifischen Zimmerzahlen der Wohnungen kompensiert. Im MFH9 kompensiert der hohe Anteil 4-Zimmerwohnungen den Effekt der 1-Zimmerwohnungen teilweise.

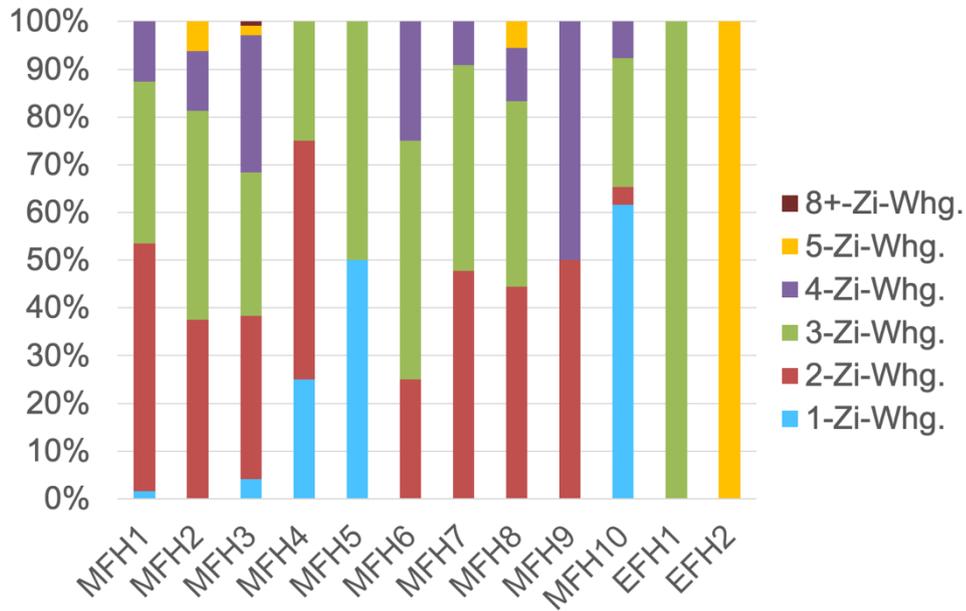


Abbildung 18: Verteilung der Zimmerzahlen pro Wohnung in den Beispielgebäuden

Trotz der festgestellten Unterschiede zeigt der Vergleich zwischen personenbezogenen und wohnungsbezogenen Flächeneffizienzfaktoren, dass die Rangfolge der Gebäude bei beiden Berechnungen sehr ähnlich bleibt (Abbildung 19). In der wohnungsbezogenen Bewertung verliert MFH10 zwei Ränge, wie auch das MFH1. MFH5 verliert einen Rang. Als Folge daraus rückt MFH9 um einen Rang vor. MFH7 und EFH2 verbessern sich um zwei Ränge. Die Ränge der übrigen sechs Gebäude verändern sich nicht. Die Gründe für die schlechteren Ränge der MFH 5 und 10 wurden bereits erläutert. Das MFH1 verliert zwei Ränge, weil es einen hohen Anteil 1- und 2-Zimmer-Wohnungen (Abbildung 18) mit grossen Flächen (Abbildung 14) aufweist.

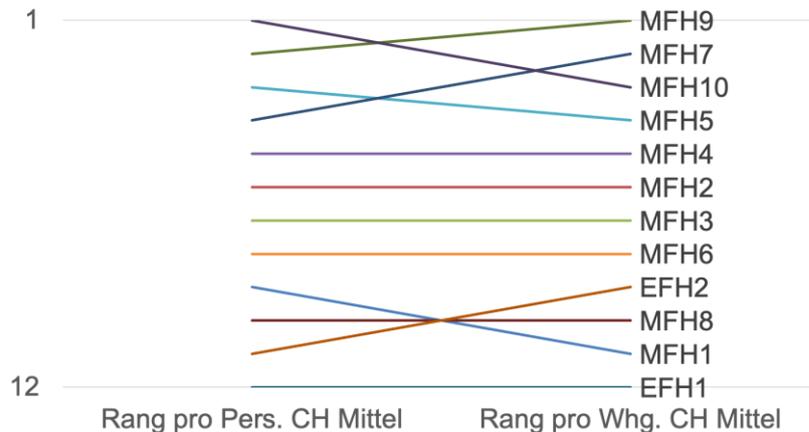


Abbildung 19: Rangfolge der Gebäude im Vergleich der Herleitungsmethoden

Der personenbezogene Faktor bietet gegenüber dem wohnungsbezogenen eine grössere Differenzierung. Dies ist für eine Bewertungsmethode durchaus erwünscht. Ein weiterer Vorteil ist der, dass die personenbezogene Bewertung pro EBF mathematisch identische Ergebnisse liefert wie eine Bewertung mit Bezug zur Anzahl Bewohner:innen (siehe dazu Anhang 8.1). Die personenbezogene Bewertung



bewertet die Erstellung von 1-Zimmer-Wohnungen deutlich besser als die wohnungsbezogene. Dies liegt daran, dass 1-Zimmer-Wohnungen pro verfügbarem Zimmer deutlich stärker belegt sind als alle grösseren Wohnungen. Die Erstellung von Gebäuden mit zahlreichen 1-Zimmer-Wohnungen mit wenig Fläche wird in der personenbezogenen Betrachtung stark belohnt. Wir halten den Markt für solche Wohnungen für stark begrenzt, weshalb der Effekt für reale Gebäude nicht zu stark ins Gewicht fallen dürfte. Falls er bei der Anwendung des Faktors z.B. in einem Label nicht gewünscht ist, könnte die prognostizierte Bewohnerzahl von 1-Zimmer-Wohnungen willkürlich auf eins reduziert werden.

Wir empfehlen aus den genannten Gründen die Verwendung personenbezogener Flächeneffizienzfaktoren.

3.7 Suffiziente Flächeneffizienzfaktoren

Bisher wurde der personenbezogene Flächeneffizienzfaktor so berechnet, dass zuerst die Anzahl Bewohner:innen ermittelt wurde. Dann wurde diese Personenzahl mit dem mittleren Flächenverbrauch pro Person in der Schweiz in eine Fläche umgerechnet. Falls ein Gebäude Wohnungen anbietet, die gleich gross sind wie dieser mittlere Flächenverbrauch, erreicht es den Flächeneffizienzfaktor 1. Damit wird suffizientes Bauen honoriert, indem suffiziente Gebäude Faktoren kleiner 1 erreichen können. Der Flächeneffizienzfaktor kann auch so berechnet werden, dass der Wert 1 bereits einen suffizienten Flächenverbrauch bezeichnet. Die Faktoren in Abbildung 20 sind so berechnet, dass der suffiziente Flächenverbrauch gemäss Kapitel 2.3.4.3 den Wert 1 definiert.

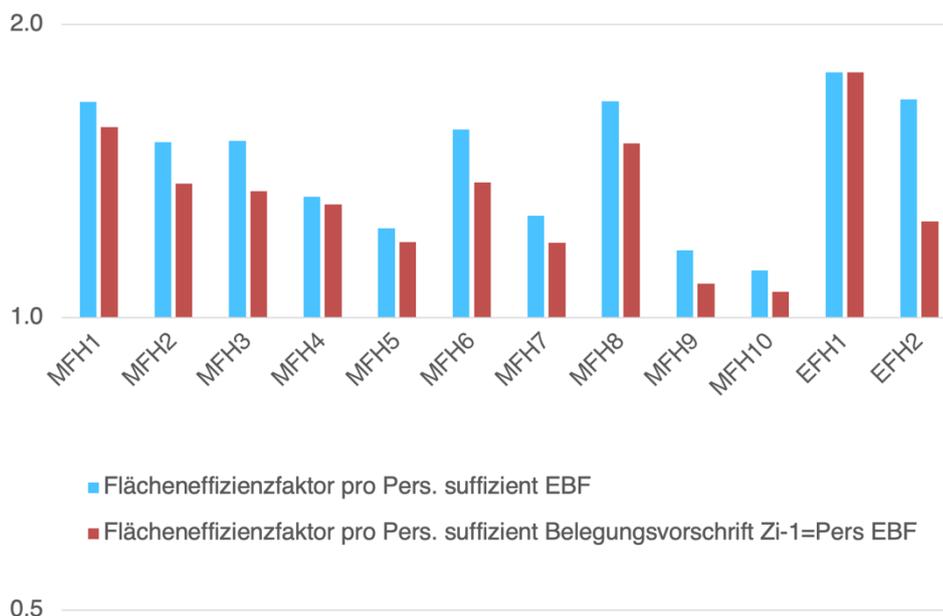
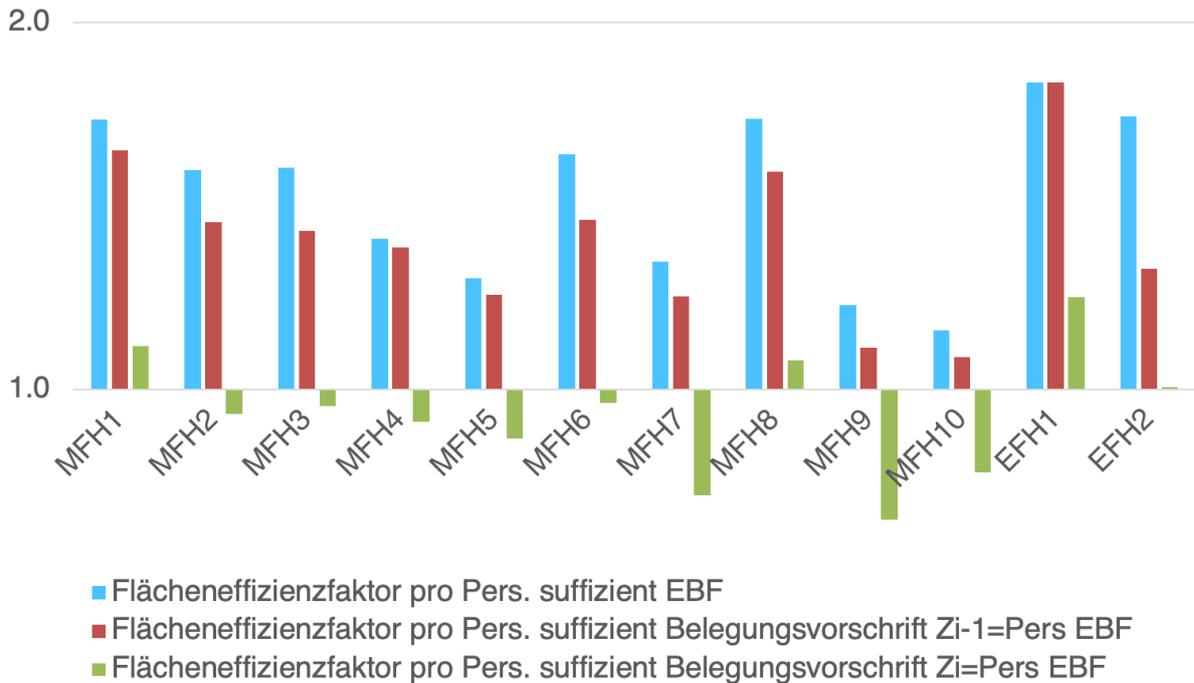


Abbildung 20: Suffiziente Flächeneffizienzfaktoren

Keines der untersuchten Gebäude erreicht den suffizienten Flächenverbrauch. Deshalb sind alle Werte grösser als eins. Zwischen den Gebäuden gibt es jedoch erhebliche Unterschiede. MFH9 und 10 liegen nur knapp über eins, falls sie mit einer Belegungsvorschrift von «Bewohner:innen mindestens gleich Zimmerzahl minus 1» vermietet werden. Schwieriger zu erreichen ist der suffiziente Flächenverbrauch mit Einfamilienhäusern. Obwohl es sich beim EFH1 um ein sehr effizient angelegtes EFH handelt, liegt sein Faktor es weit über einem Wert von 1. Auch EFH2 liegt ohne Belegungsvorschrift auf demselben Niveau. Mit Belegungsvorschrift resultieren für das EFH2 vier statt drei Bewohner:innen, was den Faktor stark verbessert. Für die überwiegende Zahl der EFH ist die Vorgabe einer Belegungsvorschrift jedoch nicht realistisch. So ein Fall könnte höchstens bei vermieteten (Reihen-)Einfamilienhäusern vorkommen.



Falls die strengere Belegungsvorschrift angewendet wird, dass die Bewohnerzahl der Zimmerzahl entsprechen muss, würde die meisten MFH einen Faktor von unter 1 erreichen. Die Sicherstellung einer guten Auslastung der Wohnungen trägt also mehr zu einer suffizienten Flächennutzung bei, als die Planung kleinerer Wohnungsgrundrisse, wie aus Abbildung 21 ersichtlich wird.



0.5

Abbildung 21: Suffiziente Flächeneffizienzfaktoren ergänzt um Belegungsvorschrift «Anzahl Personen mindestens gleich Anzahl Zimmer»

3.8 Vergleich der Auswertungen für WF, EBF, GF

Die Flächeneffizienzfaktoren wurden in den bis hier vorgestellten Ergebnissen jeweils auf die Energiebezugsfläche (EBF) bezogen. Sie können auch auf die Geschossfläche (GF) oder die Wohnungsfläche (WF) referenzieren. Der Einbezug der Geschossfläche führt dazu, dass auch Nebenflächen ausserhalb des Dämmperimeters wie Tiefgaragen in die Bewertung einfließen. Der Bezug auf die Wohnfläche führt im Gegenteil dazu, dass alle Nebenflächen ausser denjenigen in den Wohnungen nicht in die Bewertung einfließen. Der Effekt der Wahl der verschiedenen Flächen auf die Flächeneffizienzfaktoren wurde an den Beispielgebäuden geprüft (Abbildung 22).

Für Gebäude mit einem ungünstigen Verhältnis zwischen EBF und WF verbessert sich die Bewertung bei der Verwendung der WF als Bezugsgrösse. Bei den EBF hängt der Unterschied zwischen der Bewertung pro Wohnungsfläche und pro Energiebezugsfläche vor allem davon ab, wie viele Nebenflächen unbeheizt, bzw. beheizt sind. Auffällig ist, dass die Faktoren mit Referenz auf die WF bis auf zwei Ausnahmen kleiner ausfallen als die Faktoren mit Bezug zur EBF. Es ist dies ein weiterer Hinweis darauf, dass das Verhältnis zwischen EBF und WF in der SIA 2040 nicht mit demjenigen der Mustergebäude übereinstimmt und überprüft werden sollte. Dies erläutern wir im Kapitel 3.9 ausführlicher.



Die Bewertung aufgrund der GF verändert das Bild ebenfalls erheblich. Gebäude ohne Tiefgarage zeigen in dieser Bewertung durchs Band bessere Werte als solche mit Tiefgarage. Für grössere Überbauungen kann die Zuordnung der GF zu einzelnen Gebäuden nicht eindeutig sein. Dies ist der Fall, wenn Tiefgaragen oder Technikräume für mehrere Gebäude bereitgestellt werden. Dies führt bei der Verwendung der GF als Referenz zu einem weiteren Störfaktor, der die Interpretation erschweren kann.

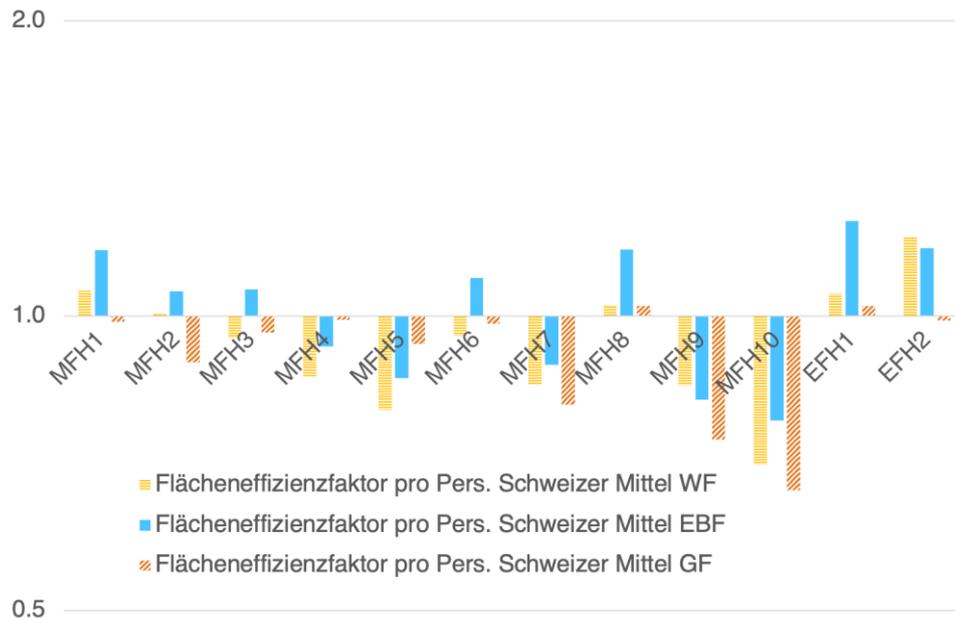


Abbildung 22: Personenbezogene Flächeneffizienzfaktoren mit Referenz auf Wohnungs-, Energiebezugs- oder Geschossflächen



3.9 Umrechnungsfaktoren für Gebäudeflächen

Die Analyse der Beispielgebäude erlaubt eine Auswertung der Verhältnisse zwischen den verschiedenen Gebäudeflächen wie Geschossfläche, Energiebezugsfläche, Wohnfläche/Hauptnutzfläche und Wohnungsfläche. Diese weichen erheblich vom Verhältnis zwischen EBF und Wohnfläche gemäss SIA Effizienzpfad und mittlerem Wohnungsflächenverbrauch gemäss Statistik ab. Die Faktoren aus der vorliegenden Studie in Tabelle 13 basieren auf 10 Mehrfamilienhäusern. Da es sich dabei um effektiv gebaute Gebäude handelt, empfehlen wir die Faktoren aus unserer Studie den bisherigen Literaturwerten vorzuziehen. Bei einer Anwendung auf den Gebäudebestand ist zu beachten, dass hier nur Neubauten ausgewertet wurden.

Tabelle 13: Umrechnungsfaktoren gemäss Auswertung der Beispielgebäude

Umrechnungsfaktor	MFH
Energiebezugsfläche zu Wohnfläche	1.44
Energiebezugsfläche zu Wohnungsfläche	1.41
Geschossfläche zu Energiebezugsfläche	1.34
Geschossfläche zu Wohnfläche	1.94
Geschossfläche zu Wohnungsfläche	1.89

Wohnfläche = HNF

Wohnungsfläche = HNF + NNF in den Wohnungen



4 Schlussfolgerungen und Fazit

4.1 Optimalen Umgang mit Raum belohnen statt bestrafen

Der Einbezug der künftigen Bewohnerzahl in die Bewertung der Grauen Energie oder der Treibhausgasemissionen eines Bauprojekts bietet gegenüber dem heutigen Flächenbezug mehrere Vorteile. Zum einen bewirkt die Einführung des Flächeneffizienzfaktors, dass sich die Bewertung auf die Zielgrösse des Wohnungsbaus bezieht – nämlich die Schaffung von Wohnraum für Bewohner:innen. Zum anderen löst die Einführung eines Flächeneffizienzfaktors in die Bewertung problematische Effekte des Flächenbezugs, wie er heute verwendet wird. Der Bezug auf die Energiebezugsfläche führt dazu, dass Gebäude mit optimierter EBF – zum Beispiel indem sie Verkehrsflächen ausserhalb der Gebäudehülle führen – in der Bewertung der Grauen Energie schlechtere Kennzahlen erreichen als Gebäude mit mehr Nebenflächen innerhalb der EBF. Der heutige Bezug auf die EBF führt auch zu schlechteren Ergebnissen, wenn auf gleicher Fläche mehr Innenwände gebaut werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn mehr Zimmer pro Fläche geplant werden. Beide Probleme löst der in dieser Studie entwickelte Flächeneffizienzfaktor. Sowohl eine optimierte EBF, wie auch kleinere Zimmergrössen führen zu einem kleineren Flächeneffizienzfaktor. Bei der Anwendung auf die Grenzwerte für die Graue Energie oder die Treibhausgasemissionen der Erstellung verbessert sich die Zielerreichung von Gebäuden mit weniger Flächenverbrauch pro Person gegenüber Gebäuden mit mehr Flächenverbrauch pro Person.

4.2 Berechnung der Flächeneffizienz benötigt nur bekannte Kenngrössen

Für die Berechnung des Flächeneffizienzfaktors eines Projekts werden nur Kenngrössen verwendet, die in einem Bauprojekt ohnehin bekannt sind. Benötigt wird der Wohnungsspiegel, die Energiebezugsfläche, sowie die Angabe, ob eine Belegungsvorschrift für die künftige Wohnnutzung gilt. Für die Berechnung des Flächeneffizienzfaktors wurde ein Excel-Tool entwickelt, das aus den erwähnten Angaben den projektspezifischen Flächeneffizienzfaktor berechnet (Savi et al., 2022).

4.3 Anwendung in allen Planungsphasen möglich

Der Flächeneffizienzfaktor eignet sich zur Projektsteuerung und Unterstützung der Planung in allen Planungsphasen. Im Projektwettbewerb kann er als reine Kennzahl angewendet werden, die einfach zu ermitteln ist. Im Wettbewerbsprogramm kann eine Zielvorgabe für den Flächeneffizienzfaktor definiert werden. Wettbewerbsteamts können ihn als Mass zur Optimierung eines Projektentwurfs einsetzen. In der Wettbewerbsbeurteilung kann er als Vergleichsinstrument zwischen den eingereichten Beiträgen verwendet werden.

Im Vorprojekt kann der Flächeneffizienzfaktor als objektives Mass für den Wohnflächenbedarf des Projekts in regelmässigen Abständen berechnet werden. Ab der Stufe Vorprojekt bis zur Realisierung können die Graue Energie oder die Grauen Treibhausgasemissionen des Projekts berechnet und mit dem Flächeneffizienzfaktor gewichtet werden.

In der Projektkennzeichnung kann das Projekt mit einem mit dem Flächeneffizienzfaktor gewichteten Grenzwert für die Graue Energie oder Treibhausgasemissionen verglichen werden.

Der Flächeneffizienzfaktor ist ebenfalls geeignet als Kenngrösse im Portfoliomanagement. Zum einen können die bestehenden Gebäude hinsichtlich ihrer Flächeneffizienz vergleichend beurteilt werden, zum anderen können Zielvorgaben für die strategische Portfolioentwicklung definiert werden.



Tabelle 14: Mögliche Verwendung des Flächeneffizienzfaktors nach Projektphasen

Projektphase	Verwendung Flächeneffizienzfaktor
Wettbewerb	Zielvorgabe Wettbewerbsprogramm Optimierungsinstrument für Projektteams Vergleichsinstrument Projektbeurteilung
Vorprojekt	Flächeneffizienzfaktor als Steuerungsgrösse Graue Energie oder Treibhausgasemissionen mit Flächeneffizienzfaktor gewichtet
Bauprojekt	Flächeneffizienzfaktor als Steuerungsgrösse Graue Energie oder Treibhausgasemissionen mit Flächeneffizienzfaktor gewichtet Mit Flächeneffizienzfaktor gewichtete Graue Energie oder Treibhausgasemissionen zur Projektkennzeichnung
Portfolio- Management	Flächeneffizienzfaktor als Kenngrösse zum Gebäudevergleich Zielgrösse für strategische Portfolioentwicklung

4.4 Das Bauwesen ist weit von einer suffizienten Bauweise entfernt

Unter den Mustergebäuden in dieser Studie ist der Anteil von Gebäuden mit nachhaltigem Gebäudelabel viel höher als im Gesamtmarkt Schweiz. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Gebäude mit stärkerem Fokus auf eine nachhaltige Bauweise geplant wurden als im Schweizer Durchschnitt. Dennoch erreicht keines der Gebäude einen Flächenverbrauch pro Kopf, der einer suffizienten Flächennutzung entsprechen würde. Beim Studium der Pläne der Mustergebäude lassen sich mehrere Gründe dafür eruieren. Zimmer werden heute grösser geplant als früher. Solche mit weniger als 12m² sind in Neubauten nicht zu finden. Die Anzahl Nasszellen pro Wohnung liegt heute deutlich höher als in naher Vergangenheit. Bereits Drei-Zimmer-Wohnungen werden heute durchgängig mit zwei Nasszellen versehen. In den meisten Fällen werden beide Nasszellen mit Bad oder Dusche ausgestattet. Die Bestückung der Wohnung mit eigenem Waschturm ist üblich geworden. Diese Faktoren erhöhen den Flächenbedarf bedeutend. Dadurch nimmt auch der Installations-, Herstellungs- und Unterhaltsaufwand für Apparate und Erschliessung zu.

Mit einer Reduktion der Ausstattung auf das für das Marktsegment Notwendige könnte bereits einiges erreicht werden. Selten werden zwei komplette Nasszellen benötigt. Auch in grösseren Wohnungen würde eine zweite Toilette statt einer Dusche oder eines Badezimmers die Bedürfnisse der Bewohner befriedigen. Gemeinschaftsnasszellen könnten den Flächenbedarf von 1- oder 2-Zimmer-Wohnungen signifikant reduzieren. Daraus resultierende geringere Erstellungskosten könnten in zentral organisierte Unterhaltsleistungen (Reinigung der Nasszellen) investiert werden. Eigene Waschtürme sind ein Luxus, der selten benötigt wird. Mit elektronischen Reservationssystemen könnte der Gemeinschaftswaschküche ein grosser Teil ihres Konfliktpotentials genommen werden. Zudem geht mit der Individualisierung der Infrastruktur auch eine soziale Komponente des Zusammenlebens verloren. Gut platzierte raumhohe Einbaumöbel können mit wenig Flächenbedarf viel Stauraum schaffen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen deutlich, dass eine Erhöhung der Auslastung insbesondere von Wohnungen mit mehr als 3 Zimmern die Flächeneffizienz stärker erhöht als die Verkleinerung der Wohnungsflächen. Belegungsvorschriften können zu einer höheren Belegung von Wohnungen beitragen. Die Durchsetzung solcher Vorschriften ist jedoch mit Schwierigkeiten verbunden. Eine Kontrolle bei



der Neuvermietung reicht dazu nicht aus. Der Auszug von Kindern aus Familienwohnungen, Trennungen von Paaren oder Todesfälle führen über die Zeit zu weniger belegten Wohnungen. Für die Durchsetzung von Belegungsvorschriften braucht es für betroffene Mieter Ersatzangebote an kleineren Wohnungen, idealerweise im selben Quartier. Um auch über längere Zeit eine hohe Auslastung von Wohnungen sicherzustellen, ist also eine grössere Anzahl von Wohnungen mit unterschiedlichen Zimmerzahlen, wie auch eine aktive und vorausschauende Bewirtschaftung der Wohnungen nötig.

Zukunftsorientierte Ökobilanzen zeigen auf, dass allein mit technischen Massnahmen kein klimaneutrales Bauen möglich ist (Alig et al., 2020). Neben Verbesserungen im Herstellungsprozess von Baustoffen ist auch eine Reduktion des Materialverbrauchs bei der Erstellung von Wohnraum nötig.

Die vorliegende Arbeit trägt einen Mosaikstein zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung im Wohnungsbau bei. Die Anpassung der Bewertung der Grauen Energie und Treibhausgasemissionen in der empfohlenen Weise würde suffizient geplante Gebäude künftig belohnen. Eine Korrektur der Marktkräfte, welche heute zu immer opulenteren Grundrissen führen, erfordert jedoch weitere Massnahmen.

4.5 Empfehlung zur weiteren Verwendung

In dieser Studie werden zahlreiche Varianten zur Herleitung des Flächeneffizienzfaktors erarbeitet und diskutiert. Auch in der Begleitgruppe zur Studie wurden zahlreiche Ideen über die genaue Ausgestaltung des Faktors eingebracht und diskutiert. Dabei trat manchmal die wesentliche Eigenschaft des Flächeneffizienzfaktors etwas in den Hintergrund: Er führt, unabhängig von der exakten Definition der Referenzflächen oder der Anzahl Personen pro Wohnung, eine numerische Bewertung suffizienter oder effizienter Grundrisse ein. Bei der Bewertung der Grauen Energie oder Treibhausgasemissionen unter Einbezug des Flächeneffizienzfaktors werden dadurch suffizientere oder effizientere Grundrisse belohnt. Dies ist heute nicht der Fall, wie zwei Beispielgebäude mit kleinen Wohnungsgrössen in dieser Studie zeigen.

Wir empfehlen die Einführung des Flächeneffizienzfaktors in die Herleitung von Grenzwerten für die Graue Energie oder Graue Treibhausgasemissionen in den ökologischen Baulabels. Namentlich SNBS, Minergie-Eco, SGNI. Die heutige Herleitung der Grenzwerte sollte ergänzt werden um die Division durch den Flächeneffizienzfaktor, wie in der vorliegenden Studie beschrieben (Kapitel 5.1). Der Flächeneffizienzfaktor soll durch die Herleitung der künftigen Anzahl Bewohner:innen aus dem Wohnungsspiegel und den mittleren Wohndichten der Schweiz ermittelt werden.

Bauherrschaften empfehlen wir die Anwendung des Flächeneffizienzfaktors als Benchmark in Projektwettbewerben und als Steuerungsinstrument in der Portfolioentwicklung.

Für die Verwendung in Normen, insbesondere der Personenermittlung für die Verbrauchsschätzung bieten sich mögliche Anknüpfungspunkte zur vorliegenden Arbeit. Für eine Anwendung der hier entwickelten Personenschätzung z.B. im SIA Effizienzpfad Energie wären jedoch weitere Arbeiten nötig.



5 Ausblick und zukünftige Umsetzung

5.1 Anwendung auf Bewertung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen in Labels

5.1.1 Angepasster Grenzwert für die Graue Energie

Der Flächeneffizienzfaktor kann durch eine einfache Erweiterung der bestehenden Instrumente in die Berechnung der Grenzwerte für die Graue Energie und Treibhausgasemissionen einbezogen werden. Konkret wird der Grenzwert für die Graue Energie oder Treibhausgasemissionen mit den bestehenden Formeln aus den Gebäudeflächen und den technischen Anlagen ermittelt. Die bestehende Formel wird erweitert um die Division durch den Flächeneffizienzfaktor mit Bezug zur EBF. Der bisherige Grenzwert wird also lediglich durch den Flächeneffizienzfaktor geteilt (Formel 5). Wie wir im Anhang 8.1 zeigen, ist dieses Vorgehen mathematisch gleichbedeutend mit der Einführung personenbezogener Grenzwerte, bietet jedoch den Vorteil, dass der Flächenbezug der Grenzwerte erhalten bleibt.

Formel 5: Erweiterung der Grenzwerte für Graue Energie oder Treibhausgasemissionen um den Flächeneffizienzfaktor

$$\text{Grenzwert}_{\text{Graue Energie od. THG}} = \frac{\text{Grenzwert}_{\text{Label heute}}}{\text{Flächeneffizienzfaktor}}$$

Die heute aktuelle Berechnung der Grenzwerte der Label wird für Minergie-Eco und SNBS in (Kellenberger et al., 2012) in den Kapiteln P und Q erläutert.

5.1.2 Gewichtung der Grauen Energie von Gebäuden

Statt einer Anpassung der Grenzwerte ist auch eine Gewichtung des Projektwerts für die Graue Energie oder die Treibhausgasemissionen der Erstellung möglich. Dafür wird das Ergebnis der Berechnung mit dem Flächeneffizienzfaktor multipliziert gemäss Formel 6. Der Effekt auf die Zielerreichung hinsichtlich des Grenzwerts ist für beide Vorgehen – Gewichtung des Ergebnisses oder Anpassung des Grenzwerts – derselbe.

Formel 6: Gewichtung der Grauen Energie oder der Treibhausgase eines Gebäudes mit dem Flächeneffizienzfaktor

$$\begin{aligned} \text{Graue Energie od. Treibhausgase}_{\text{Personenbezug}} \\ = \text{Graue Energie od. Treibhausgase}_{\text{Gebäude}} * \text{Flächeneffizienzfaktor} \end{aligned}$$

Die Gewichtung des Gebäudewerts birgt ein Potential für Fehlinterpretationen. Das so gewichtete Ergebnis kann nämlich nicht mehr mit der Fläche multipliziert werden, um den Gebäudewert pro Jahr zu erhalten. Die Einheit einer so gewichteten Grauen Energie oder Treibhausgasemissionen sollte deshalb mit einem Zusatz «personengewichtet» gekennzeichnet werden.

5.1.3 Auswirkungen des Flächeneffizienzfaktors auf die Zielerreichung der Mustergebäude

In der Abbildung 23 stellen wir die Auswirkung einer Anpassung des Grenzwerts in der beschriebenen Weise auf die Zielerreichung durch die Beispielgebäude dar, wenn die Flächeneffizienzfaktoren auf Basis des mittleren Wohnflächenverbrauchs der Schweiz eingesetzt werden. In der Abbildung 24 erfolgt die Auswertung unter Verwendung der suffizienten Flächeneffizienzfaktoren. Für beide Grafiken gilt, dass die Punkte die Relation zur Bewertung für die Graue Energie gemäss Minergie Eco oder SNBS



zeigen. Die runden grünen Punkte zeigen die Bewertung mit der aktuellen Berechnungsmethodik. Wenn ein Punkt unterhalb einer Linie liegt, erreicht das Gebäude die entsprechende Bewertung. Wird der Grenzwert dividiert durch den Flächeneffizienzfaktor, so ergibt sich ein neuer Grenzwert und die Position des Gebäudes in Relation zum Grenzwert verändert sich. Dies wird in der Abbildung 23 durch die blauen Andreaskreuze dargestellt. Die roten Kreuze zeigen die neue Position nach Einführung des Flächeneffizienzfaktors, falls für das Gebäude eine Vorschrift für die Personenbelegung von «Anzahl Bewohner:innen mindestens gleich Anzahl Zimmer minus eins» gilt.

Lesebeispiel für MFH5: In der heutigen Bewertung liegt das Gebäude zwischen dem oberen und dem unteren Grenzwert von Minergie-Eco. Im SNBS-Label erreicht es die Note 4 (grüner Punkt). Würde der Flächeneffizienzfaktor in die Festlegung der Grenzwerte eingeführt, dann würde das Gebäude im SNBS neu die Note 5 erreichen. Für Minergie-Eco bleibt die Bewertung dieselbe, das Gebäude rückt jedoch näher an den unteren Grenzwert und heran und erhält mehr Reserve zum Grenzwert 2 (blaues Andreaskreuz). Mit der Belegungsvorschrift verbessert sich die Position im Vergleich zu den Grenzwerten ein weiteres Stück, es wird jedoch keine bessere Note erreicht (rotes Kreuz).

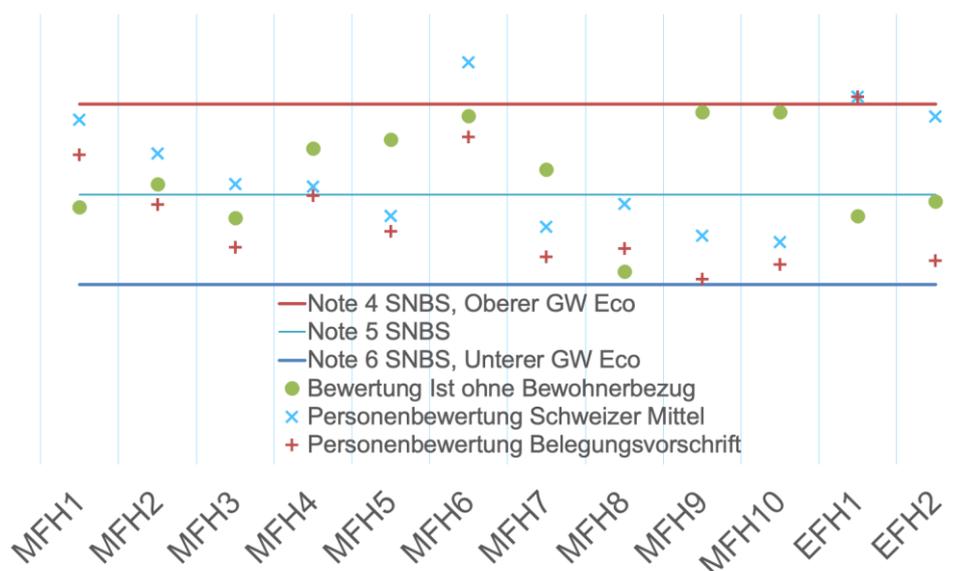


Abbildung 23: Graue Energie der Gebäude in Relation zu den Grenzwerten Minergie-Eco und SNBS

Alle untersuchten Gebäude liegen nach heutiger Bewertung zwischen den beiden Grenzwerten von Minergie Eco. Sie sind also alle nach Minergie-Eco zertifizierbar, jedoch erreicht keines eine sehr gute Bewertung. Durch die Einführung des Flächeneffizienzfaktors verändert sich die Bewertung im SNBS-Label für die Mehrheit der Gebäude. Vier Gebäude verbessern sich von Note vier auf fünf. Die MFH2 und MFH4 würden nur bei einer Vermietung mit Belegungsvorschrift die Note fünf statt vier erreichen. Für zwei Gebäude verschlechtert sich die Note von fünf auf vier. Das EFH1 verschlechtert sich von fünf auf drei. Dieses Gebäude würde im Minergie-Eco-Label die Mindestanforderung nicht mehr erfüllen. EFH2 würde die Note vier noch knapp erreichen. Im für EFH seltenen Fall, dass eine Mindestbelegung vorgegeben ist, würde es sich hingegen in der Bewertung leicht verbessern. Das MFH6 schliesslich würde sich ohne Belegungsvorschrift von vier zu einer drei entwickeln. Im Minergie-Eco-Label könnte es ohne Belegungsvorschrift nicht mehr zertifiziert werden. Keines der Gebäude erreicht mit der Einführung des Effizienzfaktors die Note 6 in SNBS oder eine sehr gute Bewertung in Minergie-Eco. Für die beiden Gebäude mit dem geringsten Flächenbedarf – MFH9 und MFH10 – zeigt sich dennoch eine deutliche Verbesserung. Mit Belegungsvorschrift fehlt dem MFH9 nicht viel für eine sehr gute Bewertung. An MFH10 mit aussen liegenden Verkehrsflächen ist auch deutlich sichtbar, dass eine Reduktion der EBF heute bestraft wird. Erreicht es doch heute nur knapp die Mindestanforderung von Minergie-Eco,



trotz effizienter Holzbauweise. Für EFH zeigt sich, dass sie kaum flächeneffizient realisierbar sind. Damit diese weiterhin gelabelt werden könnten, müsste der bereits heute weniger strenge Grenzwert im Vergleich zu MFH weiter gelockert werden.

Die bisher besprochene Bewertung setzt den schweizerischen Durchschnittsbedarf an Wohnfläche als Benchmark. Es ist also eine reine Einführung der Personenbewertung, ohne spezifische Vorgaben für suffizientes Bauen einfließen zu lassen. Dafür setzen wir die früher entwickelten suffizienten Flächeneffizienzfaktoren in die Berechnung der Grenzwerte für die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen ein. Nun ergibt sich das Bild in Abbildung 24. Alle Beispielgebäude weisen einen Flächenbedarf auf, der über der suffizienten Fläche liegt, wie sie in dieser Studie definiert wurde. Folgerichtig verschlechtert sich die Bewertung der Grauen Energie für alle Gebäude. Ohne Belegungsvorschrift würden fünf der untersuchten Gebäude die Note 1 im SNBS erhalten. Mit Belegungsvorschrift deren drei. Ohne Belegungsvorschrift würde lediglich ein Gebäude die Note 3 erreichen, mit Belegungsvorschrift würden fünf diese Hürde schaffen. Keines der untersuchten Gebäude würde die Mindestanforderung gemäss Minergie-Eco erreichen.

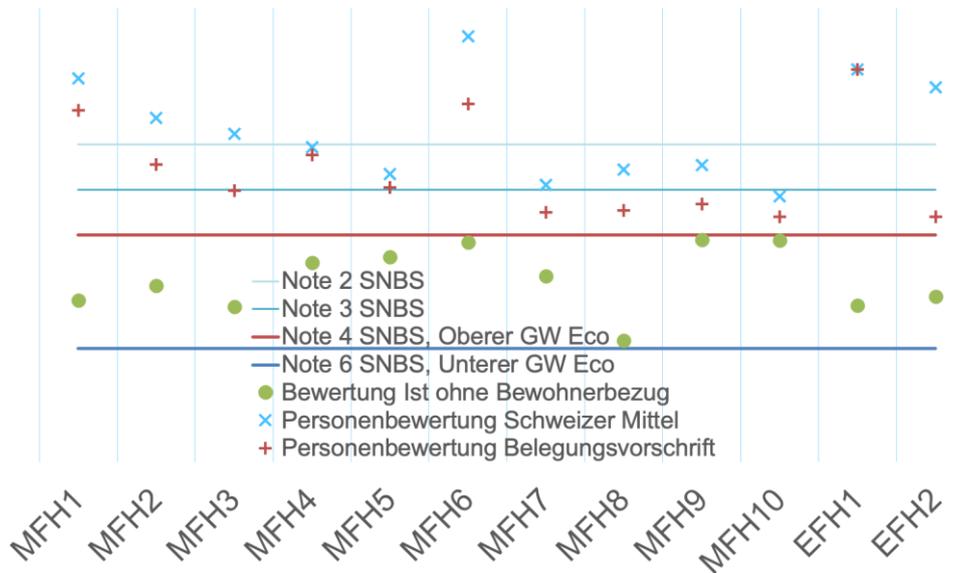


Abbildung 24: Einfluss der suffizienten Flächenfaktoren auf die Labelbewertung



5.2 Verwendung des Flächeneffizienzfaktors als eigenes Kriterium

Die Effizienzfaktoren können in einem Label als Einzelkriterium verwendet werden. Sie lassen sich durch einfache Umrechnung auf eine Bewertungsskala abbilden. Sollen Schulnoten von eins bis sechs vergeben werden, so muss festgelegt werden, welche Note für den Flächeneffizienzfaktor 1 vergeben werden soll. Wenn der Faktor 1 definiert wird durch den Schweizer Durchschnitt, schlagen die Studienautoren vor, diesen mit der Note 3 festzusetzen. Note 4 soll ein Mindestmass für nachhaltiges Bauen festlegen. Beim Flächenverbrauch ist es jedoch so, dass der heutige Durchschnitt kein nachhaltiges Niveau abbildet. Note 5 könnte auf den Flächenverbrauch für suffizientes Bauen gelegt werden. Die weiteren Noten ergeben sich dann durch Extrapolation. Wenn diese Skala auf die Beispielgebäude angewendet würde, ergäbe sich die Notenverteilung gemäss Abbildung 25. Von den Beispielgebäuden erreichen fünf eine Note über 4. Natürlich wäre ein Label frei, eine weniger anspruchsvolle Skala einzusetzen, z.B. indem der Faktor 1 gleich einer Note 4 gesetzt wird. Bei Einsatz einer solchen milderen Skala würden acht Beispielgebäude eine genügende Note erhalten.

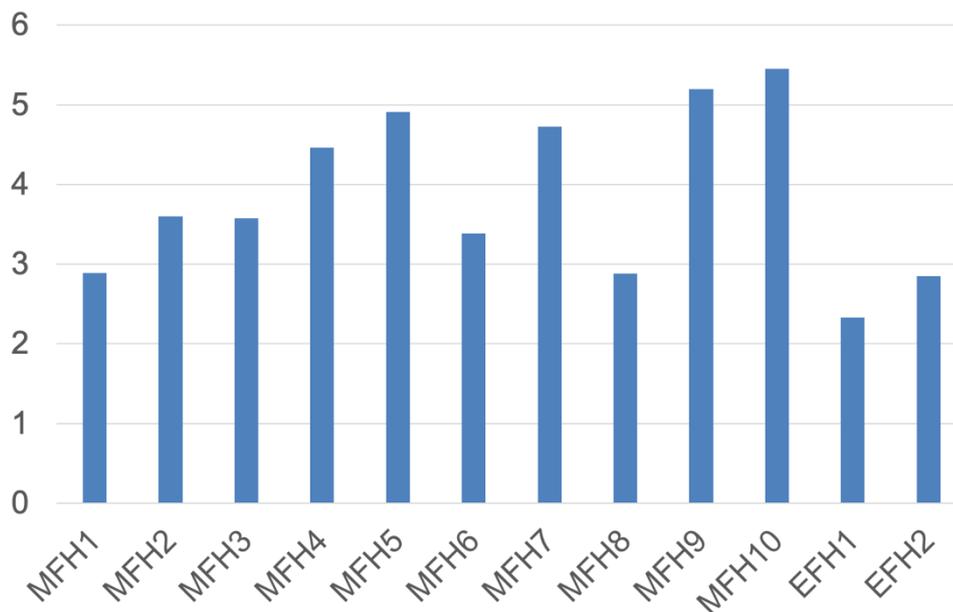


Abbildung 25: Noten für die Beispielgebäude bei einer möglichen direkten Anwendung der Effizienzfaktoren in einem Gebäudelabel



5.3 Anwendung in Architektur-Wettbewerben

Für die Ermittlung der Flächeneffizienzfaktoren werden nur wenige Daten benötigt. Der Wohnungsspiegel wird bereits im Raumprogramm der Wettbewerbsausschreibung definiert. Die Geschossflächen können schon für eingereichte Projekte ermittelt werden. Der Bezug zur Energiebezugsfläche könnte vereinfacht werden auf die voraussichtlich beheizte GF. Aus diesen Angaben lässt sich der Effizienzfaktor berechnen. Somit eignet er sich zum einen als Benchmark für das Wettbewerbsprogramm, zum anderen als Vergleichsinstrument für die eingereichten Projekte.

Für eine Anwendung als Vergleichsgrösse bietet sich eine Darstellung wie in Abbildung 26 an. In dieser ist die Y-Achse so skaliert, dass die Null zuoberst ist und die Werte gegen unten zunehmen. Somit sind die Projekte mit der besten Flächennutzung in der Darstellung oben positioniert, was der intuitiven Lesart solcher Diagramme entspricht. Die Darstellung zeigt zusätzlich zur Bewertung mit Bezug EBF auch noch die Faktoren für die Flächenbezüge zur GF und WF. Alle können grundsätzlich verwendet werden, die exakten Werte weichen für konkrete Projekte jedoch voneinander ab. Für die Beispielgebäude ergeben sich je nach Bezugsfläche andere Rangfolgen. Wie schon früher begründet, empfehlen wir die Verwendung der EBF, oder ersatzweise der beheizten GF.

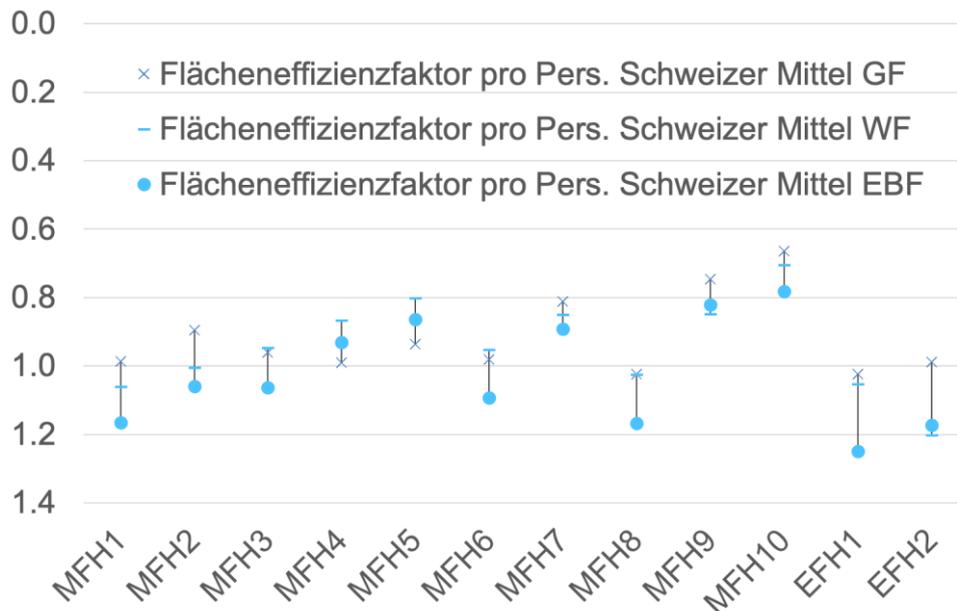


Abbildung 26: Darstellung der Effizienzfaktoren der Beispielgebäude für unterschiedliche Bezugsgrößen mit gedrehter X-Achse



5.4 Anwendung in Portfolio-Analysen

Der Flächeneffizienzfaktor kann in Portfolioanalysen eingesetzt werden, um einen Überblick über das vorhandene Wohnungsangebot zu erhalten. In Verbindung mit den finanziellen Parametern können individuelle Spannbreiten für die Flächeneffizienz pro Marktsegment ausgewiesen werden. Die Daten können verwendet werden, um strategische Ziele für die Weiterentwicklung des Portfolios hinsichtlich des Flächenverbrauchs zu setzen. Er eignet sich auch als Kontrollgrösse, um die Entwicklung des Portfolios mitzuverfolgen.

5.5 Anwendung im Normierungswesen

Bei der Weiterentwicklung von Normen kann die Methode zur Berechnung der Anzahl künftiger Bewohner:innen einfließen in die Abschätzung des Nutzerbedarfs. Mögliche Felder dafür sind die Auslegung von Wärme- und Kälteanlagen oder die Festlegung des Wasserbedarfs. Die heutige Norm SIA 2024 verwendet eine Nettogeschossfläche pro Person von 35 m² als Standard. Es erfolgt also keine projektspezifische Ermittlung der Personenbelegung. Wie die Ermittlung der künftigen Bewohnerzahl gemäss der vorliegenden Studie in der SIA 2040 verwendet werden könnte, und ob sich daraus gegenüber der heutigen Berechnung Vorteile ergeben würden, müsste in weiteren Arbeiten ermittelt werden.

6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Begleitgruppe des Projekts umfasste Vertreter:innen aller bedeutenden Gebäudelabel der Schweiz, der relevanten SIA-Kommissionen, sowie der Auftraggeberin.



7 Literaturverzeichnis

M. Alig, R. Frischknecht, L. Krebs, L. Ramseier & P. Stolz (2020) *LCA of climate friendly construction materials*. Bern: Bundesamt für Energie BFE, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB.

BfS (1993) *Eidgenössische Volkszählung 1990, Gebäude und Wohnungen, Thematische Tabellen*. Bern: Bundesamt für Statistik.

BfS (Hrsg.) (2018) *Merkmalskatalog Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister, Version 4.1*. Sektion Gebäude und Wohnungen, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BfS (Hrsg.) (2019a) *Belegungsdichte der bewohnten Wohnungen nach der Zimmerzahl und nach Kanton*. Bundesamt für Statistik, Bern.

BfS (Hrsg.) (2019b) *Durchschnittliche Wohnfläche nach Zimmerzahl und Kanton*. Bundesamt für Statistik, Bern.

BfS (Hrsg.) (2019c) *Gebäude nach Kategorie, Bauperiode und Kantonen*. Bundesamt für Statistik, Bern.

BfS (2. Februar 2021) *Der ökologische Fussabdruck der Schweiz*. Bundesamt für Statistik, Bern. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/nachhaltige-entwicklung/weitere-indikatoren-achhaltige-entwicklung/oekologischer-fussabdruck.html>

BfS (2022) *Durchschnittliche Wohnfläche pro Bewohner in den bewohnten Wohnungen nach Zimmerzahl und nach Kanton 2012-2021 T 09.03.02.04.01*. Tabelle, Bern: Bundesamt für Statistik.

BWO (Hrsg.) (2019a) *Durchschnittliche Wohnfläche des gemeinnützigen Wohnungsbaus nach Zimmerzahl und Kanton*. Bundesamt für Wohnungswesen, Bern.

BWO (Hrsg.) (2019b) *Gebäude des gemeinnützigen Wohnungsbaus nach Kategorie, Bauperiode und Kantonen*. Bundesamt für Wohnungswesen, Bern.

BWO (Hrsg.) (2019c) *Wohndichte der bewohnten Wohnungen des gemeinnützigen Wohnungsbaus nach Zimmerzahl, nach Kanton*. Bundesamt für Wohnungswesen, Bern. Abgerufen von <https://www.bwo.admin.ch/bwo/de/home/wohnraumfoerderung/zahlen-und-fakten/zahlen-zum-gemeinnuetzigen-wohnungsbau/zahlen-zum-gemeinnuetzigen-wohnungsbau-2019.html>

P. Farago & B. Brunner (2005) *Wohnverhältnisse ausgewählter sozialer Gruppen*. In *Wohnen 2000*, Detailauswertung der Gebäude- und Wohnungserhebung (Bd. 75). Bern: Bundesamt für Statistik.

Insee (2017) *Les conditions de logement en France*. Institut national de la statistique et des études économiques 18, boulevard Adolphe-Pinard, 75675 PARIS CEDEX 14. Abgerufen von www.insee.fr

M. Jakob, G. Catenazzi, R. Forster, T. Egli & T. Kaiser (2016) *Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie - Schlussbericht*. TEP Energy GmbH, Rotbuchstrasse 68, CH-8037 Zürich.

D. Kellenberger, S. Lenel, M. Org, M. Grossmann, F. Foradini, S. Citherlet, ... M. di Paolantonio (2012) *Systemnachweis MINERGIE-ECO, Erweiterte Erprobungsphase*. Bern: Bundesamt für Energie BFE.

Minergie (11. Januar 2021) *Berechnung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen bei Minergie-ECO, Minergie-P-ECO und Minergie-A-ECO-Bauten* (S. 21). Basel: Minergie Schweiz, Geschäftsstelle, Bäumeleingasse 22, 4051 Basel.

K. Pfäffli (2022) *Persönliche Mitteilung*.

K. Pfäffli & Y. Züger (2013) *Wohnsiedlungen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft*. Liegenschaftsverwaltung der Stadt Zürich.

C. Popp (18. Januar 2022a) *Zimmereinteilung Whgen*.



C. Popp (24. März 2022b) *Anfrage Wohnstatistik*.

D. Savi & M. Klingler (5. Dezember 2022) *Berechnungstool für projektspezifischen Flächeneffizienzfaktor*. Zürich: Büro für Umweltchemie. Abgerufen von <https://umweltchemie.ch/wp-content/uploads/Berechnungstool-Flaecheneffizienzfaktor-SuffiBer-v1.zip>

SIA (2017) *SIA-Effizienzpfad Energie SIA 2040:2017* (Merkblatt 2040). Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Postfach, 8027 Zürich.



8 Anhang

8.1 Herleitung personenbezogener Grenzwerte

8.1.1 SIA Effizienzpfad Energie Merkblatt 2040

Im SIA-Merkblatt 2040 «Effizienzpfad Energie» wird ein Zukunftsszenario entworfen für eine nachhaltige Entwicklung des Energieverbrauchs. Dieses legt für die Jahre 2050 und 2100 zulässige energetische Leistungen fest, die eingehalten werden müssen, um die Ziele der 2000 Watt-Gesellschaft zu erreichen. Bis zum Jahre 2050 soll gemäss SIA Effizienzpfad Energie der Einsatz von nicht-erneuerbarer Energie auf 2000 W gesenkt werden. Bis 2100 soll dieses Ziel für den Gesamtenergiebedarf erreicht werden. Davon abgeleitet werden auch Grenzwerte für die Treibhausgasemissionen zu den beiden Zeitpunkten (Tabelle 15).

Tabelle 15: Tab 1 aus SIA 2040; festgelegte Grenzwerte für die Erreichung der 2000W-Ziele

Bezugsgrösse	Einheit	2010	2050	2100
Mittlere Leistung Primärenergie gesamt	W / Person	6200	3500	2000
Mittlere Leistung nicht-erneuerbare Primärenergie	W / Person	5500	2000	500
Jährliche Treibhausgasemissionen	t / Person / Jahr	7.8	2	1

Der SIA Effizienzpfad Energie entwickelt die nachfolgend zitierte Methodik zur Umrechnung der personenbezogen hergeleiteten Grenzwerte auf Grenzwerte mit Flächenbezug. Dabei sollte beachtet werden, dass der Flächenbezug zur Energiebezugsfläche hergestellt wird. Diese ist nicht gleich der Wohnungsfläche, die häufig bei der statistischen Erfassung des Flächenverbrauchs im Wohnbereich verwendet wird.

«1.2.2.4 Die Zielwerte werden auf die Energiebezugsfläche bezogen; die Verbrauchswerte in der 2000-Watt-Gesellschaft sind personenbezogen. Die Umrechnung erfolgt über Standardpersonenflächen. In diesem Merkblatt wird davon ausgegangen, dass der Flächenbedarf pro Person in der Zeitspanne der Gültigkeit dieses Merkblatts konstant bleibt. Diese Vereinfachung ist periodisch zu überprüfen. Wenn die Energiebezugsflächen pro Person in Zukunft weiter zunehmen, müssen die Zielwerte entsprechend verschärft werden.

1.2.2.5 Der Flächenbedarf pro Person (Personenfläche) wird aus den aktuellen gesamtschweizerischen Durchschnittswerten pro Gebäudekategorie abgeleitet. Es handelt sich dabei um die Energiebezugsfläche. Die Standardpersonenflächen (...) basieren auf der Studie (Jakob et al., 2016)».

«2.1.1.2 Wohnbauten mit Belegungsvorschriften weisen im gesamtschweizerischen Durchschnitt einen um rund einen Viertel kleineren Flächenbedarf pro Person auf. (...)»

Für den Wohnbereich ergeben sich die Standardpersonenflächen gemäss Tabelle 16. Mithilfe dieser Flächen lassen sich die im Merkblatt 2040 angegebenen Richt- und Zielwerte pro Fläche (Tabelle 17) wieder auf Richt- und Zielwerte pro Person umrechnen. Es ergeben sich die Zahlen gemäss Tabelle 18



Tabelle 16: Tab. 11 aus SIA 2040: Festlegung der Standardpersonenfläche für die Umrechnung in EBF

Wohnkategorie	Berechnung / Quelle	Standardpersonenfläche
Wohnen	486 Mio m ² EBF CH 7.87 Mio Einwohner CH	60 m ²
Wohnen mit Belegungsvorschrift	BWO (2013) Zahlen zum gemeinnützigen Wohnungsbau, Bundesamt für Wohnungswesen, Grenchen	45 m ²

Tabelle 17: Tab. 3 aus SIA 2040; Richtwerte Wohnen pro Fläche

Bautätigkeit	Neubau		Umbau	
	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/m ² EBF/a]	CO ₂ eq [kg/m ² EBF/a]	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/m ² EBF/a]	CO ₂ eq [kg/m ² EBF/a]
Erstellung	30	9	20	5
Betrieb	60	3	70	5
Mobilität	30	4	30	4
Zielwert	120	16	120	14

Tabelle 18: Umrechnung Tab 3 SIA 2040 Richtwerte Wohnen mit Personenbezug

Bautätigkeit	Neubau		Umbau	
	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/Person/a]	CO ₂ eq [kg/Person/a]	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/Person/a]	CO ₂ eq [kg/Person/a]
Erstellung	1800	540	1200	300
Betrieb	3600	180	4200	300
Mobilität	1800	240	1800	240
Zielwert	7200	960	7200	840

8.1.2 Minergie-A, -Eco, SNBS

Die Bewertung der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen von Neubauten basiert auf einem objektspezifischen unteren und oberen Grenzwert pro m² Energiebezugsfläche und Jahr. Die Grenzwerte für ein Gebäude werden mit den Basisgrenzwerten für beheizte und unbeheizte Flächen sowie Basisgrenzwerte für PV-Anlagen, thermische Solarkollektoren und Erdsonden ermittelt.



Tabelle 19: Eco-Grenzwerte für die Graue Energie pro EBF

Nutzung	Unterer Grenzwert beheizt	Oberer Grenzwert beheizt	Unterer Grenzwert unbeheizt	Oberer Grenzwert unbeheizt
	kWh/m ² /a	kWh/m ² /a	kWh/m ² /a	kWh/m ² /a
Wohnen MFH	25.0	36.1	8.3	13.9
EFH	27.8	40.3		
Verwaltung	30.6	41.7		
Schule	25.0	36.1		
Verkauf	47.2	58.3		
Restaurant	33.3	44.4		
Museen	38.9	50.0		
Spital	44.4	55.6		
Industrie	38.9	50.0		
Kleine Schulbauten	27.8	40.3		
Sportbauten	38.9	50.0		

Tabelle 20: Eco-Grenzwerte für die Treibhausgasemissionen der Erstellung pro EBF

Nutzung	Unterer Grenzwert beheizt	Oberer Grenzwert beheizt	Unterer Grenzwert unbeheizt	Oberer Grenzwert unbeheizt
	kg CO ₂ /m ² /a			
Wohnen MFH	8.0	10.0	2.8	4.7
EFH	8.0	10.5		
Verwaltung	8.0	11.0		
Schule	8.0	11.0		
Verkauf	11.0	16.0		
Restaurant	8.0	13.0		



Nutzung	Unterer Grenzwert beheizt	Oberer Grenzwert beheizt	Unterer Grenzwert unbeheizt	Oberer Grenzwert unbeheizt
Museen	11.0	14.0		
Spital	11.0	16.0		
Industrie	11.0	14.0		
Kleine Schulbauten	8.0	11.5		
Sportbauten	11.0	14.0		

Die Basisgrenzwerte für beheizte Flächen wurden aus dem SIA-Merkblatt 2040 abgeleitet. Da die Richtwerte für die Erstellung in SIA 2040 nicht objektspezifisch sind und das gesamte Gebäude (beheizte und unbeheizte Flächen) inklusive haustechnische Anlagen umfassen, wurde diese Richtwerte mit Korrekturwerten von Minergie-Eco in Basisgrenzwerte für beheizte Flächen umgerechnet. Der untere Basisgrenzwert von Minergie-Eco ergibt sich aus dem Richtwert von SIA 2040 abzüglich einem Korrekturwert von 5.55 kWh/m²a. Die Summe aus dem Basisgrenzwert und dem Korrekturwert entspricht dem nutzungsspezifischen Richtwert aus SIA 2040. Der obere Basisgrenzwert für beheizte Flächen sowie die Basisgrenzwerte für unbeheizte Flächen wurden aus der Berechnung und Analyse von 10 Neubauten hergeleitet (Tabelle 20, Quelle (Minergie, 2021)).

Für Haustechnikelemente gibt es jeweils einen eigenen Basisgrenzwert gemäss Tabelle 21.

Tabelle 21: Eco-Grenzwerte für die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen pro EBF

Nutzung	Fotovoltaik-Anlagen	Therm. Solarkollektoren	Erdsonden
Alle Nutzungen	Bauteilfläche		EBF
	47.2 kWh/m ² /a	23.2 kWh/m ² /a	1.4 kWh/m ² /a
	13.3 kg CO ₂ /m ² /a	5.2 kg CO ₂ /m ² /a	0.3 kg CO ₂ /m ² /a

Diese Grenzwerte können mit der Standardpersonenfläche aus SIA 2040 auf Grenzwerte pro Person umgerechnet werden. Diese Berechnung ergibt nur für die Kategorien «Wohnen MFH» und «EFH» Sinn. Die Korrekturfaktoren für PV-Anlagen und Solarkollektoren beziehen sich nicht auf die EBF, nur die Faktoren für die Erdsonden können nach derselben Methode umgerechnet werden. Daraus ergeben sich die Werte gemäss Tabelle 22 und Tabelle 23.

Tabelle 22: Eco-Grenzwerte für die Graue Energie pro Person

Nutzung	Unterer Grenzwert beheizt [kWh/Pers./a]	Oberer Grenzwert beheizt [kWh/Pers./a]	Unterer Grenzwert unbeheizt [kWh/Pers./a]	Oberer Grenzwert unbeheizt [kWh/Pers./a]
Wohnen MFH	1500	2166	498	834



Nutzung	Unterer Grenzwert beheizt [kWh/Pers./a]	Oberer Grenzwert beheizt [kWh/Pers./a]	Unterer Grenzwert unbeheizt [kWh/Pers./a]	Oberer Grenzwert unbeheizt [kWh/Pers./a]
EFH	1668	2418	498	834

Tabelle 23: Eco-Grenzwerte für die Treibhausgasemissionen pro Person

Nutzung	Unterer Grenzwert beheizt [kg CO ₂ eq /Pers./a]	Oberer Grenzwert beheizt [kg CO ₂ eq /Pers./a]	Unterer Grenzwert unbeheizt [kg CO ₂ eq /Pers./a]	Oberer Grenzwert unbeheizt [kg CO ₂ eq /Pers./a]
Wohnen MFH	480	600	168	282
EFH	480	630	168	282

Tabelle 24: Eco-Grenzwerte für die Graue Energie und die Treibhausgasemissionen pro Person

	Erdsonden
Bezugsgrösse	Laufmeter
kWh/Pers./a	84
kg CO ₂ eq/Pers./a	18

8.2 Äquivalenz zwischen personenbezogenen und gewichteten flächenbezogenen Grenzwerten

Die Einführung personenbezogener Grenzwerte ist zu einer Gewichtung der Grenzwerte mit personenbezogenen Flächeneffizienzfaktoren äquivalent. Sie führen zum gleichen Grad der Zielerfüllung für konkrete Projekte.

Im bestehenden Nachweissystem muss ein flächenbezogener Grenzwert einen flächenbezogenen Kennwert erfüllt werden. Mathematisch ergibt dies folgende Formel:

Formel 7: Bewertung mit flächenbezogenem Grenzwert

$$GW_A \geq KW_A$$

Der Gebäudekennwert für das gesamte Gebäude berechnet sich aus dem flächenbezogenen Gebäudekennwert mal die EBF des Gebäudes:

Formel 8: Zusammenhang Gebäudekennwert zu flächenbezogenem Kennwert

$$KW_{Geb} = KW_A * EBF_{Geb}$$

Flächenbezogene Grenzwerte werden mit einer EBF von 60 m² multipliziert, um personenbezogene Grenzwerte zu erhalten. Die Gebäudekennwerte für das gesamte Gebäude für Graue Energie oder Treibhausgasemissionen werden durch die prognostizierte Personenzahl dividiert:



Formel 9: Herleitung personenbezogene Bewertung aus flächenbezogenem Grenzwert und Kennzahl

$$GW_A * EBF_{Pers} \geq \frac{KW_{Geb}}{B_{Prog}}$$

Der personenbezogene Kennwert wird berechnet aus der mittleren EBF, der EBF des Gebäudes und der prognostizierten Bewohnerzahl gemäss:

Formel 10: Berechnung personenbezogener Kennwert aus Gebäudedaten und statistischem Mittelwert

$$PK = \frac{EBF_{Geb}}{B_{Prog}} / EBF_{Pers}$$

Eine Gewichtung des flächenbezogenen Grenzwerts entspricht also der Formel:

Formel 11: Berechnung des gewichteten flächenbezogenen Grenzwerts

$$GW_{Agew} = \frac{GW_A}{PK} = GW_A * \frac{B_{Prog}}{EBF_{Geb}} * EBF_{Pers}$$

Dieser gewichtet Grenzwert muss durch den flächenbezogenen Gebäudekennwert erfüllt werden, wie in folgender Formel dargestellt:

Formel 12: Bewertung mit gewichtetem flächenbezogenen Kennwert

$$GW_{Agew} \geq KW_A$$

Durch einsetzen der obigen Zusammenhänge und Umstellen kommt man wieder auf dieselbe Formel wie bei der Verwendung von personenbezogenen Grenzwerten:

Zusammenhang Gebäudekennwert zu flächenbezogenem Kennwert

Formel 13: Nachweis der Gleichwertigkeit beider Ansätze durch umstellen der Formel 6 zur Formel 3

$$GW_A * EBF_{Pers} \geq \frac{KW_A * EBF_{Geb}}{B_{Prog}}$$

$$GW_A * EBF_{Pers} \geq \frac{KW_{Geb}}{B_{Prog}}$$

Die beiden Betrachtungen sind also mathematisch gleichwertig und führen zu denselben Ergebnissen.

Legende:

B_{Prog}: prognostizierte Anzahl Bewohner:innen

EBF_{Geb}: Energiebezugsfläche des Gebäudes

EBF_{Pers}: Mittlere Energiebezugsfläche pro Person

GW_A: flächenbezogener Grenzwert

GW_{Agew}: flächenbezogener Grenzwert gewichtet

KW_A: flächenbezogener Kennwert des Gebäudes

KW_{Geb}: Kennwert für das gesamte Gebäude

PK: personenbezogener Kennwert



8.3 Indikator Nutzungsdichte des SNBS Hochbau

Der Indikator «Nutzungsdichte» des Standard nachhaltiges Bauen Schweiz belohnt höhere Bewohnerzahlen pro m² Energiebezugsfläche eines Projekts mit besseren Noten. Der Bezug von EBF zu Bewohner:innen wird über Standardwerte pro Zimmerzahl hergestellt. Beispielsweise wird pro 3-Zimmer-Wohnung mit 1.9 Bewohner:innen gerechnet. Der Grenzwert für die Benotung wird dem geplanten Preissegment für die Vermietung angepasst. Je teurer die Wohnungen, desto geringer wird die benötigte Nutzungsdichte für eine Note 6 angesetzt. Für die abschliessende Beurteilung soll immer die realisierte Bewohnerzahl berücksichtigt werden. Für noch nicht vermietete oder verkaufte Einheiten gelten die Annahmen aus der Abschätzung weiterhin. Der Bezug zur realisierten Bewohnerzahl erscheint für die Praxis konstruiert. Da der Abschluss der Zertifizierung auf den Zeitpunkt der Fertigstellung oder kurz danach angestrebt wird, ist in vielen Fällen von einem beträchtlichen Leerstand auszugehen. Zudem sind Käufer von Eigentumswohnungen oder Mieter von Wohnungen ohne spezielle Belegungsvorschriften nicht dazu verpflichtet, die Anzahl Bewohner:innen gegenüber der Bauherrschaft zu deklarieren.

Die Tabelle 25 zeigt die angenommenen Belegungszahlen pro Zimmerzahl. Die Werte entsprechen dem schweizerischen Mittel gemäss Statistik (siehe dazu Tabelle 3). Für halbe Zimmer werden die Werte zwischen dem nächstkleineren und nächstgrösseren Wohnungsgrundriss interpoliert. Ab einer Zimmerzahl von 5 Zimmern bleibt die Anzahl Bewohner:innen konstant.

Tabelle 25: Angenommene Belegungszahlen für Wohnungsgrundrisse im SNBS-Label

Zimmerzahl Whg.	Belegung [Pers.]	Zimmerzahl Whg.	Belegung [Pers.]
1	1.3	4	2.5
1.5	1.4	4.5	2.7
2	1.4	5	2.8
2.5	1.7	5.5	2.8
3	1.9	6	2.8
3.5	2.2	>6	2.8

8.4 Vergleich der Prognose der künftigen Bewohner:innen je nach verwendeter Datenreihe

Der Vergleich aller Berechnungsvarianten für die künftige Anzahl Bewohner:innen (Abbildung 27 und Abbildung 28) führt zu mehreren Erkenntnissen:

- Die grössten Bewohnerzahlen resultieren, wenn die statistischen Daten für Wohneigentum als Referenzgrösse verwendet werden. Der Unterschied steigt mit dem Anteil kleiner Wohnungen im Gebäude. Der Grund dafür wird aus Tabelle 3 ersichtlich: in kleinen Wohnungen wohnen mehr Personen, wenn sie deren Eigentümer sind.
- Wird die Statistik für vermietete Wohnungen als Basis genommen, dann sind die Differenzen zur allgemeinen Statistik sehr klein. Die Belegung fällt gleich bis etwas geringer aus.
- Zwischen den statistischen Daten für den gemeinnützigen Wohnungsbau und dem schweizerischen Mittelwert resultieren ebenfalls nur geringe Unterschiede. Die Ergebnisse für den gemeinnützigen Wohnungsbau liegen teilweise höher und teilweise tiefer als für den Mittelwert über alle Wohnungen. Dies hängt zusammen mit den Zimmerzahlen der Wohnungen eines Gebäudes, da



kleine Wohnungen im gemeinnützigen Wohnungsbau schwächer, grosse Wohnungen hingegen stärker belegt sind.

- Falls eine Belegungsvorschrift in die Berechnung eingeführt wird, steigt die Bewohnerzahl erwartungsgemäss. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je grösser der Anteil grosser Wohnungsgrundrisse ist. Für diese ist der Unterschied zwischen der Bewohnerzahl mit Belegungsvorschrift und der Bewohnerzahl gemäss statistischem Mittel am grössten.
- Die Zählung der Schlafzimmer liefert für vier Gebäude die kleinsten Bewohnerzahlen. In vier Fällen ergibt die Zählung der Schlafzimmer mehr Personen als die Herleitung aus der mittleren Wohnungsbelegung. Das Ergebnis ergibt sich, weil die Bewohnerzahl bei der Zimmerzählung für 1- und 2-Zimmerwohnungen unter dem statistischen Mittel liegt, bei 3-Zimmerwohnungen und grösser jedoch darüber, falls alle Zimmer als Schlafzimmer genutzt werden können. Anders verhält es sich für das MFH8. Dieses weist pro Wohnung in der Regel ein Zimmer mit einer Schiebetüre auf, das nicht als potentielles Schlafzimmer gezählt wurde. Somit wird die Bewohnerschätzung für die Schlafzimmerzählung viel kleiner.
- Für die beiden untersuchten Einfamilienhäuser fallen die Ergebnisse sehr unterschiedlich aus. Für das EFH1 ergibt sich mit allen Zählmethoden dieselbe Anzahl Bewohner:innen. Für das EFH2 resultiert eine Bewohnerin mehr, wenn die statistische Datenbasis vom allgemeinen Mittelwert auf den Mittelwert des gemeinnützigen Wohnungsbaus gewechselt wird. Auch mit Belegungsvorschrift und bei der Zählung der Schlafzimmer resultiert die höhere Anzahl Personen. In der prozentualen Auswertung ergibt das einen Unterschied von 33%.

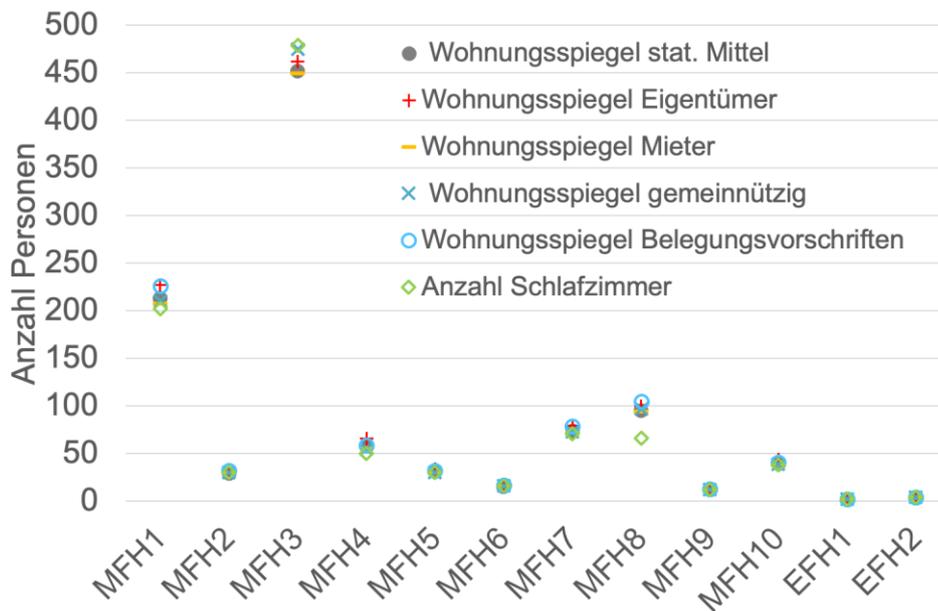


Abbildung 27: Künftige Bewohner:innen pro Beispielgebäude für alle verfügbaren Belegungsstatistiken

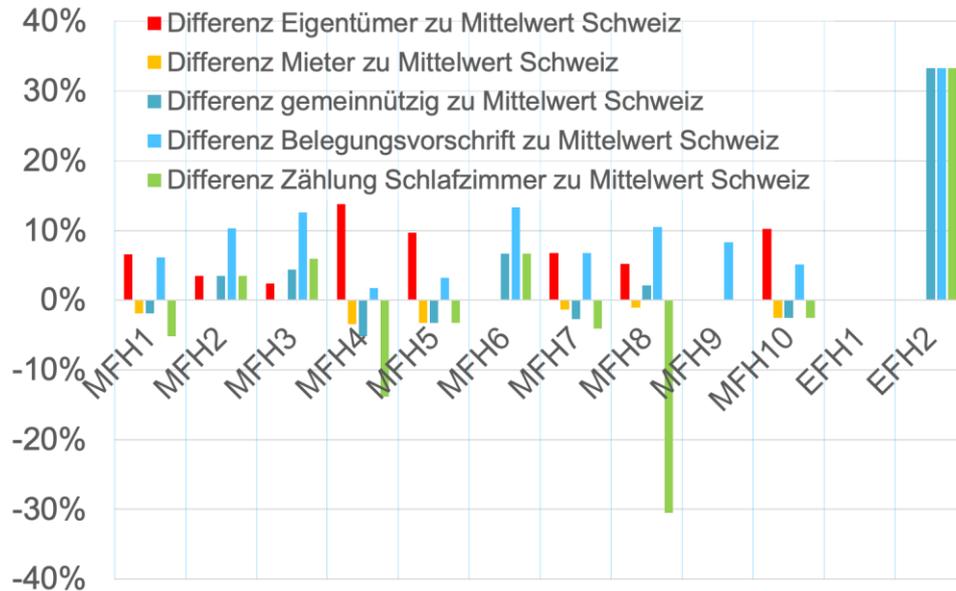


Abbildung 28: Differenzen der unterschiedlichen Methoden zur Personenprognose für alle verfügbaren Belegungsstatistiken

Aus den Beobachtungen schliessen wir, dass die schweizerischen Mittelwerte am besten geeignet sind für die Abschätzung der künftigen Bewohner:innen eines Bauprojekts. Diese sind statistisch am besten abgesichert. Die Diskrepanzen zwischen den Bewohner:innen bei Auswertung der Statistik nur für Eigentümer und nur für Mieter werden durch die Belegung der kleinen Wohnungen verursacht. Die beiden Spezialauswertungen basieren jedoch für kleine Wohnungen auf sehr unterschiedlichen Stichprobengrössen (Abbildung 6). Es stellt sich also auch die Frage, inwiefern die Unterschiede durch die grössere Unsicherheit in den kleineren Stichprobe für Eigentumswohnungen hervorgerufen werden.

Wir verzichten deshalb auf eine Berücksichtigung der Eigentumsverhältnisse in den Berechnungsinstrumenten für die prognostizierte Anzahl Bewohner:innen.



8.5 Analyse der Differenz zwischen personenbasiertem und wohnungs-basiertem Flächeneffizienzfaktor

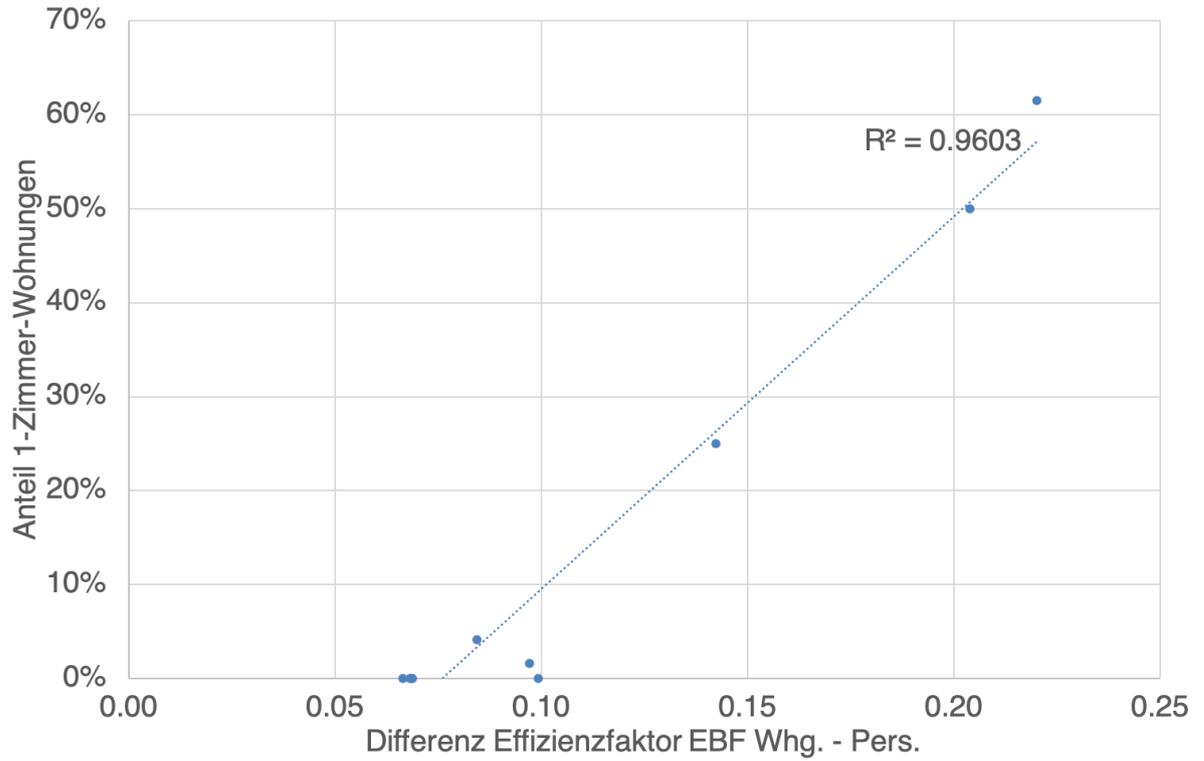


Abbildung 29: X-Y-Plot mit linearer Beziehung und Korrelationsgrad