



Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude

Ergänzungsarbeiten mit Fokus auf den
Einfluss der Technisierung auf die Umwelt-
belastung von Büro- und Wohnbauten

Autoren

**Laura Tschümperlin¹, Rolf Frischknecht¹, Katrin Pfäffli², Marc Schultheiss³,
Kevin Knecht³**

Mitarbeit

Andreas Edelmann⁴

¹ treeze Ltd.

² Architekturbüro Preisig Pfäffli

³ Sustainable System Solutions GmbH

⁴ edelmann energie

Auftraggeber

Bundesamt für Energie BFE, Bundesamt für Umwelt BAFU

Uster, 22. Juli 2016

Impressum

Titel

Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude

Autoren
Mitarbeit

Laura Tschümperlin¹, Rolf Frischknecht¹, Katrin Pfäffli², Marc Schultheiss³, Kevin Knecht³
Andreas Edelmann⁴

¹ treeze Ltd., fair life cycle thinking
Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster

² Preisig Pfäffli, Architekturbüro K. Pfäffli
Schaffhauserstrasse 21, CH 8006 Zürich

³ Sustainable System Solutions GmbH
Zürichstrasse 45, 8600 Dübendorf

⁴ edelmann energie
Kalkbreitestrasse 12, CH 8003 Zürich

www.treeze.ch

Tel. +41 44 940 61 91

Fax +41 44 940 61 94

tschuemperlin@treeze.ch, frischknecht@treeze.ch

Kunde
Inhaltliche
Verantwortung
Version

Bundesamt für Energie BFE, Bundesamt für Umwelt BAFU
Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autorinnen und Autoren
dieses Berichts verantwortlich.
560-Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude_v1.1.docx, 22.07.2016 11:12:00

Abkürzungen und Glossar

a	Jahr
CED	Kumulierter Energiebedarf, siehe KEA (engl. cumulative energy demand)
CH	Schweiz
COP	Leistungszahl (engl. coefficient of performance)
EBF	Energiebezugsfläche
EKG	Elementkostengliederung
GLO	Globaler Durchschnitt
GWP	Treibhauspotential (engl. global warming potential)
JAZ	Jahresarbeitszahl
KBOB	Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes
KEA	Kumulierter Energiebedarf
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LCA	Ökobilanz (engl. life cycle assessment)
LCI	Sachbilanz (engl. life cycle inventory analysis)
LCIA	Wirkungsabschätzung (engl. life cycle impact assessment)
MJ	Megajoule
MoeK	Methode der ökologischen Knappheit
$Q_{h_{eff}}$	Effektiver Luftstrom
Q_{ww}	Wärmebedarf Warmwasser
RER	Europa
THG	Treibhausgasemissionen
tkm	Tonnenkilometer, Einheit für Transport
UBP	Umweltbelastungspunkte

Zusammenfassung

Ausgangslage

Anfang 2015 wurde der Bericht „Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude“ veröffentlicht, in welchem die Machbarkeit eines Zielwerts für die Gesamtumweltbelastung von Gebäuden gemäss dem Bilanzierungskonzept des SIA-Effizienzpfads Energie anhand von gut dreissig Gebäuden geprüft wurde¹. Unter den analysierten Gebäuden befanden sich nur wenige Bürogebäude. Zudem stellte sich die Frage nach den Umweltauswirkungen von Gebäuden mit unterschiedlichem Technisierungsgrad in Bezug auf Heizen und Lüften. Deshalb haben das Bundesamt für Energie und das Bundesamt für Umwelt weitere Bürogebäude hinsichtlich ihrer Umweltbelastung bilanzieren lassen.

Ziel der Studie

Im Rahmen dieser Ergänzungsarbeiten werden folgende vier Gebäude gemäss den grundlegenden methodischen und inhaltlichen Annahmen und Definitionen der vorstehend erwähnten Studie bilanziert:

- Bürogebäude ARE, Ittigen
- Bürogebäude 2226, Lustenau, Österreich
- Bürogebäude HPZ, ETH Zürich
- Wohngebäude 2SOL, Witikon

Methodik

Von den vier Gebäuden wird die Umweltbelastung der Gebäudeerstellung (inklusive Entsorgung), des Betriebs und der gebäudeinduzierten Mobilität erfasst. Gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2012 „Ökobilanzdaten im Baubereich“ werden die vier Umweltindikatoren Gesamtumweltbelastung, Treibhausgasemissionen und kumulierter Energieaufwand gesamt und nicht erneuerbar zur Beurteilung der Umweltbelastung der Gebäude herangezogen. In dieser Studie beschränkt man sich jedoch auf den Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, der Primärenergiebedarf gesamt wird nicht ausgewiesen.

¹ Wyss F., Frischknecht R., Pfäffli K. and John V. (2015) Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude. Bundesamt für Energie, BfE Bundesamt für Umwelt BAFU, Amt für Hochbauten Stadt Zürich AHB, Zürich.

Untersuchte Gebäude

Die Gebäude unterscheiden sich stark bezüglich Volumetrien, Technisierung und Materialisierung (siehe Tab. Z. 1). Damit können Erkenntnisse gewonnen werden, inwiefern die Technisierung beziehungsweise die Materialisierung sich auf die Höhe der Gesamtumweltbelastung, der Treibhausgasemissionen und des Primärenergiebedarfs von Bürogebäuden auswirken können. Abschliessend zeigt Tab. Z. 1 die Gesamtumweltbelastung der vier Gebäude in Umweltbelastungspunkten (UBP) pro m² und Jahr für die Erstellung, den Betrieb und die gebäudeinduzierte Mobilität auf.

Tab. Z. 1 Übersicht über die analysierten Gebäude mit Angaben zur Art der Nutzung und weiteren wesentlichen Charakteristika

Gebäudename	ARE, Ittigen	2226, Lustenau	HPZ, Areal ETH Hönggerberg	2SOL MFH, Witikon
Art/Nutzung	Bürogebäude	Bürogebäude	Bürogebäude	Wohngebäude
Bauliche Massnahmen	Neubau	Neubau	Sanierung	Neubau
Energiestandard/Label	Minergie-P-Eco			
Bauart	Mischbauweise	Massivbau	Massivbau	Massivbau
Energiebezugsfläche m ²	2'552	3'201	2'780	3'112
Baujahr / Sanierung	2012-2013	2013	2011	2013-2014
Heizsystem	Grundwasser-Wärmepumpe, Solarkollektoren	keines	Anergienetz ETH	Erdsonden-Wärmepumpe, Hybridkollektoren
Wärmeverteilung	Fussbodenheizung	keine	Hepta-Paneelen, Airboxen	Fussbodenheizung
Belüftung	Lufttechnische Anlage mit mechanischer Lüftung	Lüftungsklappen, CO ₂ - und temperaturgesteuert	Dezentrale Zuluft (Airboxen), Zentrale Abluft (Hepta-Paneelen)	Lufttechnische Anlage mit mechanischer Lüftung
Erstellung in UBP/m ² a	14'300	11'500	9'590	16'500
Betrieb in UBP/m ² a	11'500	10'600	21'800	7'710
Gebäudeinduzierte Mobilität in UBP/m ² a	12'700	14'300	15'100	6'460

Ergebnisse

Fig. Z. 1 stellt die Gesamtumweltbelastung der vier untersuchten Gebäude den bilanzierten Gebäuden der ursprünglichen Studie gegenüber. Ersichtlich ist, dass sich die Gebäude einerseits pro Nutzungstyp, aber auch pro Erstellungsart (Sanierung versus Neubau) unterscheiden. Während bei den Sanierungen bereits ein Grossteil der Primärstruktur amortisiert ist, bleibt der Heizwärmebedarf auch nach der Sanierung in der Regel höher als bei Neubauten. Die Gesamtumweltbelastung der Erstellung des HPZ Bürogebäudes liegt im Rahmen derjenigen der anderen Sanierungen. Während der Sanierung wurden an der Gebäudehülle zwar nur minimale Eingriffe gemacht, aber die Gebäudetechnik wurde komplett erneuert. Der Betrieb hingegen weist deutlich höhere Umweltbelastungen auf. Dies hat verschiedene Gründe. Einerseits wird die Erstellung des Anergienetzes dem Betrieb angerechnet. Andererseits ist der Raumwärmebedarf verhältnismässig hoch, weil die Gebäudehülle vorwiegend aus denkmalpflegerischen Gründen nur minimal isoliert wurde.

Bei Neubauten ist der Bereich Erstellung dominant. Dank gut gedämmten Gebäudehüllen und moderner Gebäudetechnik zeigen Neubauten eher tiefe Werte in der Betriebsphase, dafür höhere Werte in der Gebäudeerstellung. Die Büroliegenschaften ARE und 2226 verursachen in der Erstellung tiefere Gesamtumweltbelastungen als die beiden anderen Büroliegenschaften (A und B).. Die Wohnliegenschaft 2SOL weist hingegen verhältnismässig hohe Belastungen in der Erstellung auf im Vergleich zu den anderen Wohnliegenschaften. Das liegt am ungünstigen Verhältnis von Geschossfläche zu Energiebezugsfläche (ein unbeheiztes Kellergeschoss auf drei Vollgeschosse), an den vielen tragenden Innenwänden und an der eher aufwändigen Gebäudetechnik. Hinsichtlich des Betriebs zeigt die 2SOL Technik jedoch wiederum eine tiefere Umweltbelastung als klassische Neubauten. Das Bürogebäude 2226 weist sowohl in der Erstellung als auch im Betrieb eine leicht tiefere Umweltbelastung auf als das ARE Gebäude.

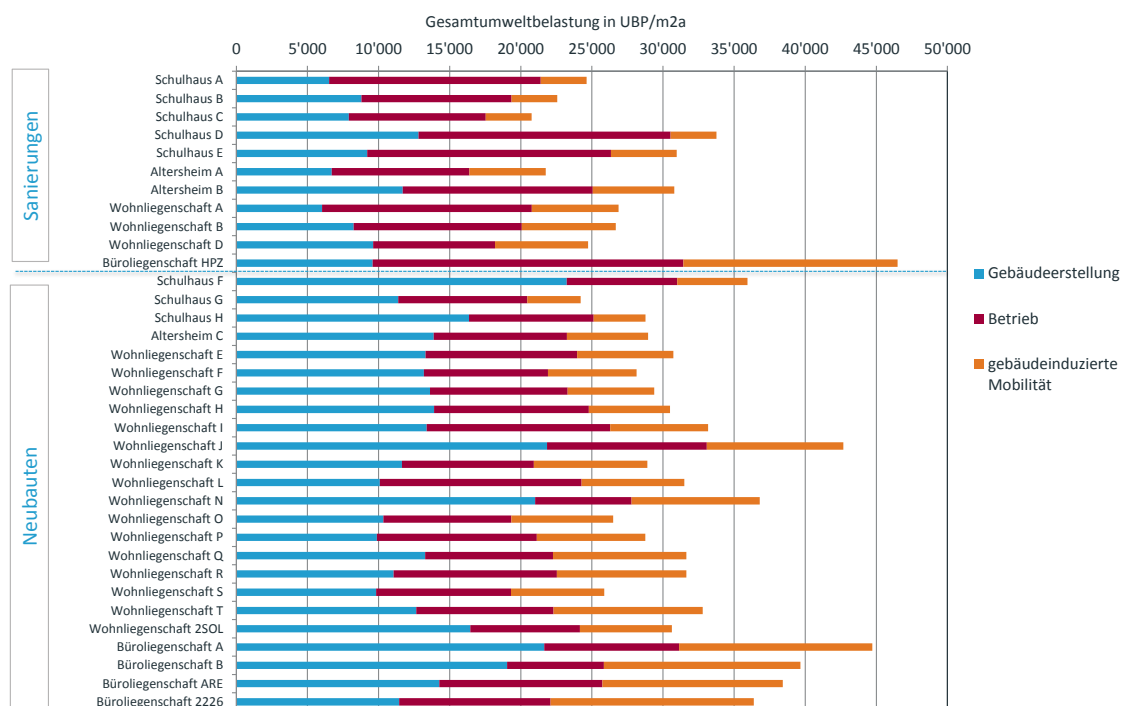


Fig. Z. 1 Gesamtumweltbelastung aller in dieser Studie und in Wyss et al. (2015) untersuchten Gebäude aufgegliedert in Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität. Bei den Gebäuden oben handelt es sich um Sanierungen, die Gebäude unten sind Neubauten
 Wohnliegenschaft C: nicht aufgeführt, da untypisch wegen grosser Solaranlage; Wohnliegenschaft M: nicht aufgeführt, da Sachbilanzdaten nicht plausibel

Fazit

Die untersuchten vier Gebäude liegen alle nahe oder unter den Zielwerten nach SIA 2040. Das Minergie-P-Eco Gebäude (ARE Bürogebäude) und das Gebäude 2226 mit reduzierter Gebäudetechnik unterschreiten die Zielwerte nach SIA 2040 bezüglich

Treibhausgasemissionen und nicht erneuerbarer Primärenergie deutlich und sie unterschreiten auch die Zielwerte für die Gesamtumweltbelastung. Einzig der Richtwert für die Gesamtumweltbelastung im Betrieb wird beim ARE Bürogebäude und beim Gebäude 2226 überschritten. Die Wohnliegenschaft 2SOL überschreitet die Zielwerte für die Gesamtumweltbelastung und die Treibhausgasemissionen. Dies deshalb, da alle drei Richtwerte der Erstellung überschritten werden. Dafür werden die Richtwerte des Betriebes bezüglich allen Umweltindikatoren erfüllt. Beim HPZ Bürogebäude trifft das Gegenteil zu. Alle Richtwerte der Erstellung werden unterschritten, währenddem die Richtwerte des Betriebs in allen Indikatoren überschritten werden. Insgesamt unterschreitet das HPZ Bürogebäude die Zielwerte bezüglich Gesamtumweltbelastung und Treibhausgasemissionen.

Das Anergienetz kann die Zielwerterreichung unterstützen, falls nebst dem Wärmebedarf auch ein Kühlbedarf gegeben ist. Zusätzlich müssen die grossen Installationen (Ringleitung, Erdsondenfelder) gut ausgelastet sein. Mit entscheidend für die Umweltintensität des Anergienetzes und letztendlich für die Zielerreichung ist die Lebensdauer der Ringleitung und der Erdsonden, welche gemäss den eher konservativen Vorgaben von SIA 2032 angesetzt wurde.

Hauptverantwortlich für die hohen Umweltauswirkungen in der Betriebsphase des HPZ Gebäudes ist der sehr hohe Raumwärmebedarf. Dies liegt daran, dass bewusst auf Dämmungsmassnahmen der Fassade verzichtet wurde. Das Energiekonzept sah die Verwendung eines speziellen Strommixes vor, der in dieser Studie aus Vergleichsgründen nicht berücksichtigt ist. Mit einer Senkung des Raumwärmebedarfs hätte die Umweltbilanz des HPZ Gebäudes wesentlich verbessert werden können.

Die tiefen Umweltauswirkungen im Betrieb des 2SOL Wohnhauses können dessen Mehraufwendungen in der Erstellung nicht beziehungsweise nur knapp kompensieren. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich einerseits um ein Prototypgebäude mit ineffizienter Warmwassererwärmung (Reihenschaltung zweier Wärmepumpen) handelt andererseits die Ökobilanz auf Planungsdaten basiert. Ob sich der Trade-Off zwischen höheren Umweltauswirkungen in der Erstellung aufgrund ausgeklügelter Heizsysteme und dafür geringen Auswirkungen im Betrieb lohnt, ist abhängig vom Objekt und der Kompetenz des Planungsteams.

Daraus lässt sich schliessen, dass Wege über mehr Gebäudetechnik wie z.B. beim ARE Gebäude (Minergie-P-Eco) als auch über eine stark reduzierte Gebäudetechnik (z.B. Bürogebäude 2226) zielführend sein können. Das Bürogebäude 2226 kann dank seiner kompakten Gebäudeform, dem kleinen Fensteranteil und der hohen Speicherwirkung der schweren Massivbauweise auf eine Heizung und Klimatisierung komplett verzichten und reduziert damit den Aufwand an Gebäudetechnik im Vergleich stark. Das wirkt sich sowohl im Bereich Erstellung, als auch im Betrieb und wohl vor allem auch im Unterhalt positiv aus.

Bei einer aufwändigen Gebäudetechnik ist eine richtige Dimensionierung, eine gute Planung und vor allem eine Optimierung aller Systemkomponenten massgebend. Dabei sind Investitionen in die Gebäudetechnik und erneuerbare Energien kein Freipass für hohe Raumwärmebedarfe. Ein Optimum des Aufwandes der Erstellung (Dämmen,

Gebäudetechnik) und des Betriebes (Raumwärme) sollte jeweils in der Vorprojektphase projektspezifisch mit Ökobilanzen (SIA 2040) eruiert werden.

Inhalt

1	Einführung und Ziel der Studie	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Ziel der Studie	1
1.3	Umweltindikatoren	2
1.4	Aufbau des Berichts	2
2	Modellierungsgrundsätze	3
2.1	Übersicht	3
2.2	Materialisierung und Erstellung	3
2.3	Betrieb	4
2.4	Gebäudeinduzierte Mobilität	5
2.5	Datenherkunft und Datenbasis	6
3	Charakterisierung der untersuchten Gebäude	8
4	Umweltbelastung der Gebäude	10
4.1	Einführung	10
4.2	Bürogebäude	10
4.2.1	Vergleich der Bürogebäude	10
4.2.2	Bürogebäude ARE	11
4.2.3	Bürogebäude 2226	17
4.2.4	Bürogebäude HPZ	19
4.3	Wohnliegenschaften	22
4.3.1	Vergleich von Wohnliegenschaften	22
4.3.2	Wohnliegenschaft 2SOL	23
4.4	Umweltbelastung der untersuchten Gebäude im Vergleich zu allen ausgewerteten Gebäuden	26

5	Fazit und Ausblick	28
	Literatur	30
	Anhang	32
	Bildnachweis Anhang	33
	Abbildungsverzeichnis Anhang	34
	Tabellenverzeichnis Anhang	35
A.	Fallbeispiele Gebäude	36
A.1.	ARE, Ittigen (Büro / Neubau)	37
A.2.	2226, Lustenau (Büro / Neubau)	43
A.3.	HPZ Zentralgebäude, ETH Zürich (Büro / Umbau)	52
A.4.	MFH 2SOL, Buchzelgstrasse 58, Witikon (Wohnen / Neubau)	58

1 Einführung und Ziel der Studie

1.1 Ausgangslage

Der SIA-Effizienzpfad Energie (SIA 2011a) gibt Zielwerte vor für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen, verursacht durch die Erstellung, den Betrieb und die standortabhängige Mobilität von Bauten. Die Zielwerte werden für die drei Nutzungstypen Wohnen, Büro und Schulen, sowie für Neubauten und Sanierungen definiert und sind auf das Etappenziel 2050 der 2000-Watt-Gesellschaft ausgerichtet. Zur Kontrolle der Machbarkeit werden Richtwerte für die drei Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität definiert. Richt- und Zielwerte werden pro Person und Jahr angegeben. Durch vorgegebene Standardpersonenflächen lassen sie sich in Werte pro m² Energiebezugsfläche und Jahr umrechnen.

In der Diskussion um den SIA-Effizienzpfad Energie ist von Interesse, ob neben der nicht erneuerbaren Primärenergie und den Treibhausgasemissionen allenfalls umfassendere Indikatoren für die Beurteilung der Umwelteffizienz von Bauten herangezogen werden können.

Anfang 2015 wurde ein Bericht veröffentlicht, in welchem die Machbarkeit eines Zielwerts für die Gesamtumweltbelastung von Gebäuden gemäss dem Bilanzierungskonzept des SIA-Effizienzpfads Energie anhand von gut dreissig Gebäuden geprüft wurde (Wyss et al. 2015). Unter den analysierten Gebäuden befanden sich jedoch nur zwei Bürogebäude.

Das Bundesamt für Energie und das Bundesamt für Umwelt haben im Hinblick auf eine eco-bau/NNBS-Tagung im März 2016 zum Themenbereich „Low Tech / High Tech“ weitere Bürogebäude hinsichtlich ihrer Umweltbelastung in methodisch vergleichbarer Form zum oben genannten Projektbericht (Wyss et al. 2015) bilanzieren lassen.

1.2 Ziel der Studie

Im Rahmen dieser Ergänzungsarbeiten werden insgesamt vier weitere Gebäude, darunter drei Bürogebäude gemäss den grundlegenden methodischen und inhaltlichen Annahmen und Definitionen der Studie von Wyss et al. (2015) bilanziert. Es handelt sich dabei um folgende vier Gebäude:

- Bürogebäude ARE, Ittigen
- Bürogebäude 2226, Lustenau, Österreich
- Bürogebäude HPZ, ETH Zürich
- Wohngebäude 2SOL, Witikon

1.3 Umweltindikatoren

Gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1 (KBOB et al. 2012) werden die folgenden drei Umweltindikatoren zur Beurteilung der Umweltbelastung der Gebäude herangezogen:

- Gesamtumweltbelastung (in UBP, nach der Methode der ökologischen Knappheit 2006, Frischknecht et al. 2008)
- Treibhausgasemissionen (in kg CO₂ eq, IPCC 2007)
- Kumulierter Energieaufwand, unterschieden in erneuerbare und nicht erneuerbare Energien (MJ Öl eq, Frischknecht et al. 2007)

1.4 Aufbau des Berichts

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut. Kapitel 2 beschreibt die Modellierungsgrundsätze, mit denen die Umweltbelastung der vier Gebäude quantifiziert wird. Die vier Gebäude werden im Folgenden in Kapitel 3 vorgestellt. Kapitel 4 diskutiert die Umweltbelastungen der untersuchten Gebäude einzeln und im Vergleich mit den Gebäuden aus Wyss et al. (2015). Der Bericht schliesst mit einem Fazit und Ausblick in Kapitel 5.

2 Modellierungsgrundsätze

2.1 Übersicht

Die vier untersuchten Gebäude sind alle nach denselben Grundsätzen erfasst. Einerseits wird die Umweltbelastung der Gebäudeerstellung (inklusive Entsorgung) untersucht, andererseits auch die Umweltbelastung des Betriebs und der gebäudeinduzierten Mobilität. In den nachfolgenden Unterkapiteln wird das Vorgehen bei den einzelnen Phasen beschrieben. Da das Vorgehen auf demjenigen von Wyss et al. (2015) basiert, stammen die Unterkapitel 2.2 bis 2.4 zu einem grossen Teil aus diesem Bericht.

2.2 Materialisierung und Erstellung

Die Gebäudeerstellung umfasst neben der Bauphase auch die Instandhaltung (Renovationen, Ersatz, Erneuerungen) und den Rückbau des Gebäudes. Betrachtet wird ein Zeitraum von 60 Jahren. Die Amortisationszeiten der einzelnen Bauteile sind dem Merkblatt SIA 2032 (SIA 2010) entnommen. Nach Ablauf der Amortisationszeit eines Bauteils wird dieses durch ein identisches Bauteil ersetzt. Die Materialien und die Umweltauswirkungen der Ersatzbauteile werden in der Instandhaltung bilanziert. Transportleistungen vom Regionallager zum Gebäude sind berücksichtigt. Am Ende der Nutzungsdauer des Gebäudes wird dieses rückgebaut und die Materialien dem entsprechenden Entsorgungsweg zugeführt. Diese Aufwendungen werden unter „Rückbau“ verbucht. In den Rückbauprozessen sind die durchschnittlichen Standardtransportleistungen zur Entsorgungsstelle (KVA, Deponie etc.) berücksichtigt. Die Entsorgung schliesst sowohl die Materialien, die erstmalig eingebaut wurden mit ein, als auch sämtliche Materialien, welche in der Instandhaltung verbucht sind.

Die Gebäude wurden gemäss der Elementkostengliederung (EKG) analysiert (SN508502 1995). Diese umfasst die folgenden Positionen:

- D Rohbau Gebäude bis Oberkante Bodenplatte
 - D0 Baugrubenaushub
 - D1 Hinterfüllungen
 - D2 Fundamentplatte

- E Rohbau Gebäude oberhalb Bodenplatte (E0 – E6)
 - E0 Decken
 - E1 Dächer
 - E2 Stützen

- E3 Aussenwände UG
 - E4 Aussenwände EG+OG
 - E5 Fenster
 - E6 Innenwände Rohbau
-
- I Installationen und Transportanlagen (I)
Elektro, Heizung, Lüftung, Sanitär
-
- M Ausbau Gebäude (M1, M3 – M5)
 - M1 Trennwände/Innentüren
 - M3 Bodenbeläge
 - M4 Wandbekleidung
 - M5 Deckenbekleidung

Die Positionsnummer I „Installationen und Transportanlagen“ umfasst die technischen Installationen für Elektro, Sanitär, Heizung und Lüftung. Je nach Gebäude wird die entsprechende Infrastruktur für die gesamte Energiebezugsfläche oder nur für Teile davon benötigt (beispielsweise sind in einem Gebäude nicht alle Räume belüftet oder beheizt). Gemäss der Systemgrenze des SIA Merkblatts 2032 sind Möbel und Inneneinrichtungen wie Küchen oder Einbauschränke in den Bilanzen nicht berücksichtigt.

Die Lebensdauer der einzelnen Bauelemente ist in Übereinstimmung mit den Vorgaben des Merkblatts SIA 2032 in der Form von Amortisationszeiten berücksichtigt. Die für die Erstellung benötigten Materialien und Bauelemente werden in Bezug zur Energiebezugsfläche und zur Amortisationszeit bilanziert. Das heisst, es handelt sich um amortisierte Werte pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr.

Das Bürogebäude 2226, welches sich im österreichischen Lustenau befindet, wird ebenfalls nach dem schweizerischen Bilanzierungskonzept des SIA-Effizienzpfads Energie erfasst, als ob es sich in der Schweiz befände.

2.3 Betrieb

Der Betrieb umfasst die Energieaufwendungen während der Nutzung der Liegenschaft. Unterschieden wird der Energiebedarf für die Raumwärme, für Warmwasser sowie für die Belüftung (und eine allfällige Kühlung²) und die übrige Elektrizität.

² Die hier untersuchten Gebäude werden allerdings nicht mit Kältemaschinen gekühlt.

Alle vier bilanzierten Gebäude weisen eine einheitliche Nutzung auf, um eine Vergleichbarkeit untereinander zu gewährleisten. Sie werden entweder vollständig als Büro- oder im Falle des 2SOL Gebäudes als Wohngebäude genutzt. Das Gebäude 2226 in Lustenau verfügt zwar über eine Cafeteria und Ausstellungsräume im Erdgeschoss, welche in der folgenden Bilanzierung jedoch herausgerechnet werden, da diese den Energieverbrauch pro Energiebezugsfläche des Bürogebäudes stark beeinflussen würden. Des Weiteren befindet sich angrenzend an die Garage der 2SOL Wohnliegenschaft ein Tonstudio. Dieses wird aufgrund der Vereinheitlichung der Gebäudenutzung in der Bilanzierung ebenfalls weggelassen.

Die Berechnung der Umweltbelastung für die Geräte und die Beleuchtung aller Gebäude basieren auf Default-Werten gemäss SIA-Effizienzpfad Energie (2011a). SIA Default-Werte werden zudem für den Strombedarf der Lüftung der Gebäude HPZ, ARE und 2SOL eingesetzt. Für das Bürogebäude ARE werden obengenannte SIA Default-Werte verwendet, da sich die Planungswerte auf eine Überbelegung und nicht auf die Standardpersonenfläche beziehen. Der Vergleichbarkeit der Gebäude halber wird der Strombedarf aller Gebäude mit dem Schweizer Verbraucher-Strommix modelliert.

Wo sich aus der Gebäudekonzeption oder den gewählten Gebäudetechniksystemen Abweichungen von den Default-Werten aufdrängen, werden diese in der Grundvariante beschrieben und eingerechnet. Für das Gebäude 2226 wird der Default-Wert der Beleuchtung um 50 % erhöht, weil die Beleuchtung bei anhaltenden Kälteperioden als Wärmelieferant zugezogen wird. Beim HPZ Gebäude wird der SIA Default Energiebedarf für Warmwasser um 50 % erhöht, aufgrund abweichender Jahresarbeitszahlen. Der Raumwärmebedarf des HPZ Gebäudes wird dem Energienachweis entnommen. Zudem enthalten Raumwärme und Warmwasser des HPZ Gebäudes die Aufwendungen für die Erstellung des Anergienetzes. Beim 2SOL Gebäude basiert der Bedarf an elektrischer Hilfsenergie für Raumwärme und Warmwasser auf eigenen Berechnungen und der Raumwärmebedarf stammt aus dem Energienachweis des Gebäudes. Die elektrische Hilfsenergie des HPZ Gebäudes beträgt Null, da diese bereits in der Jahresarbeitszahl (JAZ) enthalten ist. Zum Gebäude 2226 stehen Messwerte für den Stromverbrauch zur Verfügung, welche in einer Sensitivitätsrechnung (siehe Anhang A.2) berücksichtigt und diskutiert werden. Effektiv gemessene Verbräuche werden also nur punktuell zur Justierung von Defaultwerten verwendet.

2.4 Gebäudeinduzierte Mobilität

Der Betrieb der Gebäude beinhaltet die gebäudeinduzierte Mobilität gemäss dem Merkblatt SIA 2039 (SIA 2011b). Das bestehende Tool zur Berechnung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen der gebäudeinduzierten Mobilität wurde von Wyss et al. (2015) um die Berechnung der Umweltbelastung gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2006 ergänzt.

Die Parameter zur Berechnung der gebäudeinduzierten Mobilität der Büro- und Wohnliegenschaften werden gemäss dem Merkblatt SIA 2039 (SIA 2011b) ermittelt. Obwohl,

das Gebäude 2226 nicht in der Schweiz steht und die Anwendung der Rechenhilfe SIA 2039 (welche mit Schweizer Durchschnittswerten hinterlegt ist) deshalb theoretisch nicht ganz korrekt ist, wird aus Gründen der Vergleichbarkeit und auch weil Lustenau doch sehr grenznah liegt, die Mobilität des Gebäudes 2226 basierend auf Schweizer Durchschnittswerten berechnet.

Für Wohnliegenschaften wird beim Siedlungstyp zwischen Kernstadt (Index 1), zentrale Lage (Index 0.46, Schweizer Durchschnitt) und ländlich (Index 0) unterschieden. Die Bauzone und die ÖV-Gütekategorie der untersuchten Gebäude wird standortgenau bestimmt und ist auf dem GIS-Portal der Bundesverwaltung abrufbar³. Für das Gebäude 2226 in Österreich wird der Schweizer Mittelwert für die Bauzone angenommen und die ÖV-Gütekategorie anhand der Verfügbarkeit von und der Nähe zu öffentlichen Verkehrsmitteln abgeschätzt. Die Distanz zum nächsten Detailhandelsgeschäft wird im Falle vom 2SOL Gebäude in Witikon objektgenau ermittelt.

Die Anzahl vorhandener Auto- und Veloparkplätze (ohne Besucherparkplätze) wird auf Grund der Baudokumentation erfasst. Die Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Parkplätze wird für das Bürogebäude ARE und 2226, auf eine Standardbelegung bezogen, angepasst. Das Areal ETH Höggerberg, wo unter anderem das Bürogebäude HPZ steht, verfügt über eine grosse Tiefgarage und mehrere oberirdische Parkplätze. Eine Zuweisung einer bestimmten Anzahl Parkplätze auf das HPZ Gebäude ist jedoch nicht möglich. Deshalb wird für das Bürogebäude HPZ mit dem Schweizer Mittelwert gerechnet. Dieser Mittelwert ist für das sich in der Stadt Zürich befindende HPZ Bürogebäude eher eine Überschätzung.

Die Personenwagenverfügbarkeit in der Wohnliegenschaft 2SOL entspricht dem Durchschnittswert (368 Personenwagen pro 1000 Einwohner) der Stadt Zürich (Stadt Zürich 2012). Für die Verfügbarkeit eines Dauerabonnements des öffentlichen Verkehrs wird bei allen untersuchten Gebäuden der Schweizer Durchschnitt verwendet. Für alle Gebäude werden in Übereinstimmung mit dem Vorgehen gemäss Merkblatt SIA 2040 SIA-Effizienzpfad Energie die Pkw-Fahrten mit der durchschnittlichen Personenwagenflotte des Jahres 2050 (3-Liter-Auto) modelliert.

2.5 Datenherkunft und Datenbasis

Die für die Ökobilanzen benötigten Daten des Bürogebäudes ARE stammen von Edelmann Energie, Zürich. Einzig für die Bewehrung der Betonkubaturen mussten in der Praxis geläufige Armierungsgehalte angenommen werden, da diese zum Zeitpunkt der Studie für das ARE Gebäude noch nicht erfasst worden waren.

Die Daten des Bürogebäudes 2226 in Lustenau basieren auf zahlreichen Publikationen des Gebäudes und Angaben des Energie- und Bauphysikers P. Widerin, Tau GmbH, Lustenau und wurden von Preisig Pfäffli/K. Pfäffli, Zürich, erfasst.

³ <http://map.are.admin.ch>

Die Datenerfassung des HPZ Bürogebäudes erfolgte durch s3-engineering basierend auf Informationen der Immobilienabteilung der ETH Zürich. Ebenfalls erfasste s3-engineering das 2SOL Wohngebäude anhand von Angaben der HKL Pfiffner AG, Zürich sowie Plänen und dem Energienachweis von Maier Hess Architekten, Zürich.

Die Ökobilanzdaten für die Herstellung und Entsorgung der Baumaterialien, der Bauteile und der Gebäudetechnik (Heizung, Sanitärinstallationen, Beleuchtung, Betriebseinrichtungen und Lüftung), für die Energieträgerbereitstellung und für die Transportleistungen werden der KBOB Empfehlung 2009/1, Stand April 2012 (KBOB et al. 2012) beziehungsweise direkt dem ecoinvent Datenbestand v2.2 (ecoinvent Centre 2010) entnommen. In einer Sensitivitätsanalyse wird das ARE Gebäude in Ittigen zusätzlich mit den Hintergrunddaten der jüngsten KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 (KBOB et al. 2014a) beziehungsweise dem ecoinvent Datenbestand v2.2+ (KBOB et al. 2014b) gerechnet.

Die Berechnungen erfolgen für das Gebäude 2226 in der Software grisli (www.grisli.net) und für die anderen drei Gebäude in SimaPro (PRé Consultants 2012; PRé Consultants 2014) und für das 2SOL und HPZ Gebäude zum Teil auch in Lesosai (www.lesosai.com).

3 Charakterisierung der untersuchten Gebäude

Drei der analysierten Gebäude werden als Büro- und eines als Wohngebäude genutzt. Unter den analysierten Gebäuden hat es drei Neubauten und ein Sanierungsobjekt. Die drei Bürogebäude unterscheiden sich stark bezüglich Volumetrien, Technisierung und Materialisierung. Damit können Erkenntnisse gewonnen werden, inwiefern die Technisierung beziehungsweise die Materialisierung sich auf die Höhe der Gesamtumweltbelastung, der Treibhausgasemissionen und des Primärenergiebedarfs von Bürogebäuden auswirken können.

Tab. 3.1 gibt einen Überblick über die untersuchten Gebäude in Bezug auf Nutzung, Bauart, Energiebezugsfläche und Ausbaustandard. Im Anhang A sind die Gebäude detailliert beschrieben hinsichtlich der Materialisierung, der Energiebedarfe in der Nutzung, und der Kennzahlen zur Ermittlung der gebäudeinduzierten Mobilität. Anhang A enthält zudem die Detailergebnisse der Ökobilanz der Gebäude.

Tab. 3.1 Übersicht über die analysierten Gebäude mit Angaben zur Art der Nutzung und weiteren wesentlichen Charakteristika

Gebäudename	ARE, Ittigen	2226, Lustenau	HPZ, Areal ETH Hönggerberg	2SOL MFH, Witikon
Art/Nutzung	Bürogebäude	Bürogebäude	Bürogebäude	Wohngebäude
Bauliche Massnahmen	Neubau	Neubau	Sanierung	Neubau
Energiestandard/Label	Minergie-P-Eco			
Bauart	Mischbauweise	Massivbau	Massivbau	Massivbau
Energiebezugsfläche m ²	2'552	3'201	2'780	3'112
Baujahr / Sanierung	2012-2013	2013	2011	2013-2014
Heizsystem	Grundwasser-Wärmepumpe, Solarkollektoren	keines	Anergienetz ETH ¹	Erdsonden-Wärmepumpe, Hybridkollektoren
Wärmeverteilung	Fussbodenheizung	keine	Hepta-Paneelen, Airboxen	Fussbodenheizung
Belüftung	Lufttechnische Anlage mit mechanischer Lüftung	Lüftungsklappen, CO ₂ und Temperaturgesteuert	Dezentrale Zuluft (Airboxen), Zentrale Abluft (Hepta-Paneelen)	Lufttechnische Anlage mit mechanischer Lüftung

¹: Das Anergienetz der ETH Zürich besteht aus mehreren Erdsondenfeldern, die über eine Ringleitung miteinander verbunden sind. Über diverse Unterstationen wird dem System Wärme zugeführt oder entnommen, um damit die Gebäude zu kühlen und zu heizen. Durch die Ringleitung kann zudem in den Übergangsmonaten die Abwärme aus gewissen Gebäuden für das Heizen der anderen verwendet werden.

Der Neubau ARE in Ittigen ist ein Holzbau und erfüllt den Minergie-P-Eco Standard (BBL 2015), sowie die Anforderungen nach Gesundem Innenraumklima (GI) und ist 2000-Watt-kompatibel erstellt. Es wird mit Grundwasser im Sommer gekühlt und im Winter geheizt. Eine thermische Solaranlage wird zur Erwärmung des Warmwassers eingesetzt.

Der Bürobau in Lustenau (Vorarlberg, Österreich) von Baumschlager Eberle ist ein Massivbau und braucht durch die hervorragende Kompaktheit, die geschickt gesetzten Fensteröffnungen und die über 70 cm dicken Aussenwände in Verbundmauerwerk keine zusätzliche Wärmedämmung und weder eine Heizung noch eine Kühlung. Es ist das typische Low-Tech-Gebäude mit der Leitidee „Atmosphäre statt Maschine“.

Das Bürogebäude HPZ am Standort ETH Höggerberg ist an das neue Areal ETH Höggerberg Anergienetz (dynamischer Erdspeicher) angeschlossen. Die Wärmeabgabe und die Lüftung sind über neuartige Hightech-Geräte umgesetzt. In die Gebäudehülle und die Bausubstanz wurden nur wenige Eingriffe getätigt. Die gesamte Renovation wurde unter dem Slogan ‚Low-Ex‘ durchgeführt, wobei eine Reduktion des Exergieverbrauchs im Vordergrund stand, nicht aber unbedingt eine Reduktion der verbrauchten Wärmemenge.

Das Mehrfamilienhaus in Witikon, welches mit dem 2SOL-Ansatz geheizt und mit Warmwasser versorgt wird, entzieht die benötigte Anergie dem Boden vor allem über die Wintermonate. Damit der Boden nicht von Jahr zu Jahr mehr auskühlt, wird er mit Solarenergie über die Sommermonate regeneriert. Ausserdem wird das Gebäude im Sommer passiv über die Erdsonden gekühlt. Der 2SOL Ansatz ist der ‚Low-Ex‘-Idee zuzuordnen, bei welcher der Exergieanteil im Betrieb minimiert wird.

4 Umweltbelastung der Gebäude

4.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Gebäudeökobilanzen beschrieben und diskutiert. Die Ergebnisse sind bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche und ein Jahr. Unterkapitel 4.2 widmet sich den drei untersuchten Bürogebäuden. Zuerst wird deren Umweltbelastung mit den bereits in Wyss et al. (2015) bilanzierten Bürogebäuden verglichen. Anschliessend wird jedes Bürogebäude einzeln diskutiert. Unterkapitel 4.3 vergleicht und diskutiert die Umweltbelastung der Wohnliegenschaft 2SOL mit den Wohnliegenschaften aus Wyss et al. (2015). Abschliessend werden die zusätzlichen 4 Gebäude in Unterkapitel 4.4 im Rahmen aller bis jetzt untersuchten Gebäude analysiert. Detaillierte Ergebnisse zu den einzelnen Gebäuden sind im Anhang A dokumentiert. Dort sind auch die Ergebnisse zum Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbar und zu den Treibhausgasemissionen enthalten.

4.2 Bürogebäude

4.2.1 Vergleich der Bürogebäude

Fig. 4.1 zeigt die prozentualen Anteile der Erstellung, des Betriebes und der gebäudeinduzierten Mobilität der untersuchten Gebäude bezüglich Erreichung der Zielwerte für die Indikatoren Gesamtumweltbelastung, Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen auf. Die drei untersuchten Bürogebäude werden den Bürogebäuden A und B, welche in Wyss et al. (2015) bilanziert wurden, gegenübergestellt. Einzig das Bürogebäude HPZ überschreitet den SIA Zielwert für Primärenergie nicht erneuerbar. Die Belastungen der Erstellung sind beim HPZ Gebäude auffallend klein im Vergleich zu denjenigen des Betriebs, da es sich um ein saniertes Gebäude handelt, bei welchem der Grossteil der Primärstruktur bereits amortisiert ist. Ausserdem wurde bewusst nur das nötige Minimum saniert. Vor allem bei den Neubauten A und B ist der Bereich Erstellung dominant. Dank gut gedämmten Gebäudehüllen und moderner Gebäudetechnik zeigen die Neubauten eher tiefere Werte in der Betriebsphase. Das Bürogebäude 2226 hat die tiefste Gesamtumweltbelastung und das Bürogebäude ARE die tiefsten Treibhausgasemissionen bezogen auf die jeweiligen Zielwerte. In der Mobilität weist das Gebäude 2226 in der vorgenommenen Bilanzierung leicht höhere Umweltintensitäten auf als das ARE Gebäude, da mehr Parkplätze pro Arbeitsplatz vorhanden sind.

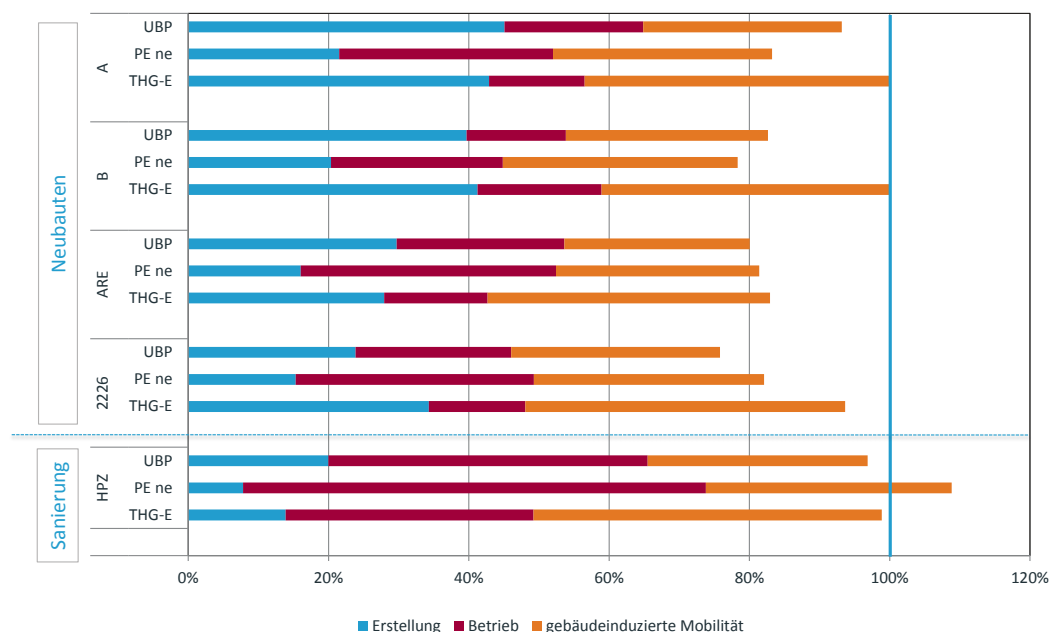


Fig. 4.1: Prozentuale Anteile der Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität pro Indikator Gesamtumweltbelastung, Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen bezogen auf die Zielwerte der drei Bürogebäude und der in Wyss et al. (2015) bilanzieren Bürogebäude A und B. Der Zielwert liegt bei 100 %.

4.2.2 Bürogebäude ARE

In der Gesamtbilanz erfüllt das Bürogebäude ARE alle drei Zielwerte (Umweltbelastung, Primärenergie nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen).

Fig. 4.2 zeigt die Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (MoeK 2006) des Bürogebäudes ARE in Ittigen auf. Das Bürogebäude verursacht rund 38'400 UBP/m²a durch dessen Erstellung (37 %), Betrieb (30 %) und gebäudeinduzierten Mobilität (33 %). Die in Wyss et al. (2015) vorgeschlagenen Richtwerte für Büro-Neubauten bezüglich Gesamtumweltbelastung werden für die Erstellung und die Mobilität erfüllt. Der Richtwert für den Betrieb wird jedoch um 28 % überschritten.

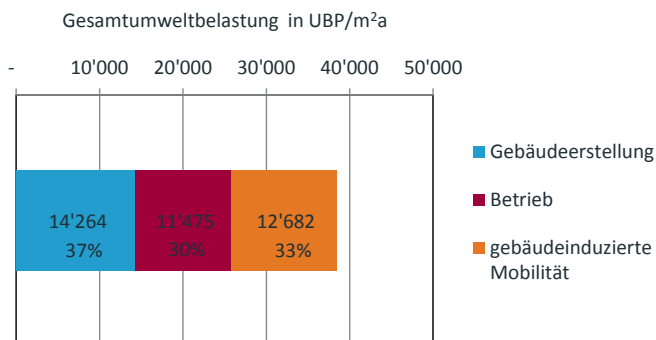


Fig. 4.2: Gesamtumweltbelastung [UBP_2006] des Bürogebäudes ARE

Bezüglich Primärenergiebedarf nicht erneuerbar akzentuiert sich die Bedeutung des Betriebes und der gebäudeinduzierten Mobilität. So verursachen der Betrieb 45 % und die gebäudeinduzierte Mobilität 36 % des gesamten Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar (537 MJ/m²a). Die Richtwerte zur Erstellung, zum Betrieb und zur Mobilität bezüglich Primärenergiebedarf nicht erneuerbar werden alle unterschritten. Das ARE Gebäude verursacht 21.2 CO₂-eq/m²a Treibhausgasemissionen. Die Mobilität ist für 49 % der totalen Treibhausgasemissionen des ARE Bürogebäudes verantwortlich. Auch bezüglich Treibhausgasemissionen liegt das ARE Bürogebäude in der Erstellung, im Betrieb und in der Mobilität unter den Richtwerten nach SIA 2040.

Nebst der Auswertung des Bürogebäudes gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1 (KBOB et al. 2012), wird zur Überprüfung der Stabilität der Resultate eine Sensitivitätsanalyse analog zu Wyss et al. (2015) durchgeführt. Dabei wird mit den Hintergrunddaten der jüngsten KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 (KBOB et al. 2014a) beziehungsweise dem ecoinvent Datenbestand v2.2+ (KBOB et al. 2014b) gerechnet. Die Gesamtumweltbelastung wird mit den aktualisierten Bewertungsfaktoren gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) und die Treibhausgasemissionen mit den neusten Treibhauspotentialen des fünften Sachstandsberichts des IPCC (IPCC 2013) berechnet.

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (MoeK 2013) wird in Fig. 4.3 abgebildet. Diese Auswertung führt beim Bürogebäude ARE gesamthaft zu rund 36'500 UBP/m²a. Die Erstellung trägt neu zu 39 % der Gesamtumweltbelastung des Gebäudes bei, währenddem der Beitrag zur totalen Gesamtbelastung durch den Betrieb um 6 % abgenommen und derjenige durch die Mobilität um 4 % zugenommen hat. Dieselbe Tendenz zeigt sich auch in der Auswertung bezüglich Treibhausgasemissionen. Die Teilbeiträge des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar bleiben nahezu unverändert.

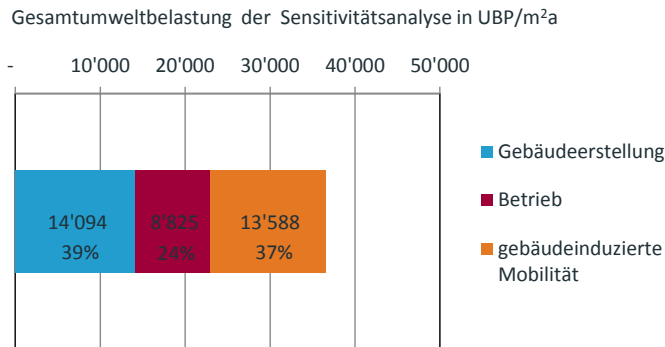


Fig. 4.3: Gesamtumweltbelastung [UBP_2013] der Sensitivitätsanalyse des Bürogebäudes ARE

Fig. 4.4 gibt Auskunft über die Anteile der Umweltbelastung der einzelnen EKG-Positionen innerhalb der Gebäudeerstellung. Es werden die Belastungen nach KBOB-Empfehlung 2009/1 und der Sensitivitätsanalyse aufgezeigt. Charakteristisch für das ARE Bürogebäude ist der hohe Einsatz an Massivholz. Bei den Aussenwänden handelt es sich um einen Holzrahmenbau. 86 % der m² der Aussenwände im EG und OG (EKG-E4) sind Holzwände und 71 % der m² Decken (EKG-E0) sind Holzdecken. Auch das Flachdach (EKG-E1) und der Dachrand besteht zu einem grossen Teil aus Holz. Davon ausgeschlossen ist einzig das Flachdach über dem Betonkern, welches ein kleines Ausmass annimmt. EKG-E5 umfasst die Fenster, welche aufgrund einer Amortisationszeit von 30 Jahren vergleichsweise hohe Belastungen in der Instandhaltung aufweisen. Der Fensteranteil an der Fassade beträgt 27 % und wurde optimiert hinsichtlich Wärmeschutz einerseits und Tageslichtnutzung andererseits.

Die Gesamtbelastung der Gebäudeerstellung gemäss Sensitivitätsanalyse ist praktisch identisch. Die Bereiche Erstellung und Instandhaltung weisen in der Sensitivitätsanalyse im Total eine höhere Umweltbelastung auf, währenddem im Rückbau die Belastung um 44 % abgenommen hat. Der stärkere Rückgang der Belastung im Rückbau ist auf die in den Hintergrunddaten neu angepassten, spezifischen Umweltbelastungen der Kehrlichtverbrennung und der Abfalldeponierung zurückzuführen. Dies betrifft vor allem Massivholz, welches beim Rückbau zu 50 % in Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) verbrannt und zu 50 % recycelt wird. Deshalb verzeichnet die EKG Position E4, in welcher vor allem Massivholz verwendet wird, in der Sensitivitätsanalyse im Rückbau eine um 83 % geringere Umweltbelastung. Auch in EKG Position E5 nimmt die Umweltbelastung um fast 70 % aufgrund der Entsorgung der Fensterrahmen in KVA ab. In EKG E0 und E1 nimmt die Belastung des Rückbaus aufgrund der Entsorgung der verwendeten Dreischichtplatten (50 % KVA) ebenfalls markant ab. Zusätzlich trägt die Entsorgung der Bitumenbahn in EKG E1 (100 % KVA) zum stärkeren Rückgang der Belastung im Rückbau bei. Andererseits führt die Sensitivitätsanalyse im Bereich Erstellung und Instandhaltung bei allen EKG Positionen ausser E6 und D2 zu leicht höheren Belastungen. Diese Zunahmen sind insbesondere

durch die erhöhten Ökofaktoren (bspw. Treibhausgase, Bewertung von mineralischen Primärressourcen etc.) von MoeK 2013 verglichen mit MoeK 2006 begründet.

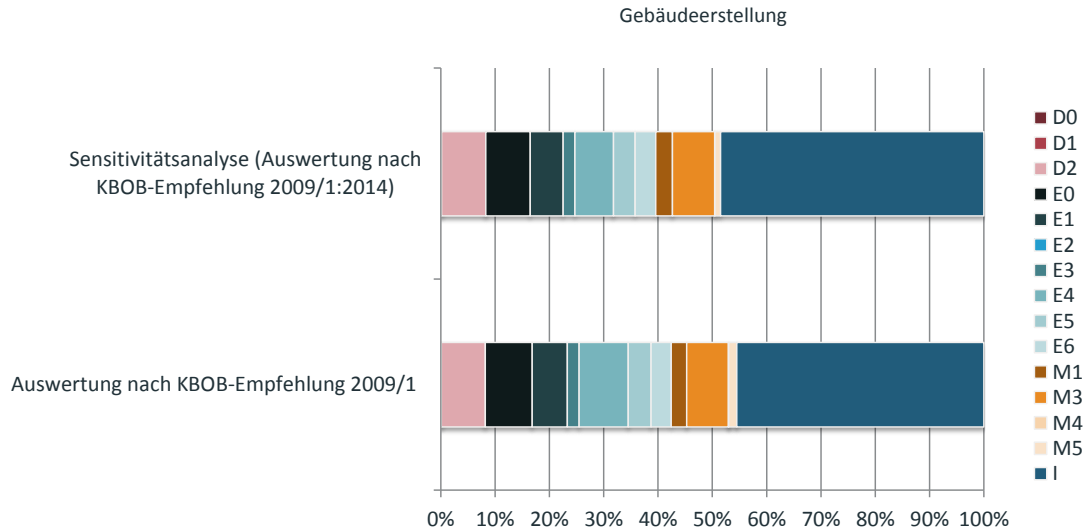


Fig. 4.4: Amortisierte Gesamtumweltbelastung der Gebäudeerstellung des Bürogebäudes ARE einmal gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1 (KBOB et al. 2012) und als Sensitivitätsanalyse gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 (KBOB et al. 2014a) bezogen auf 100 %.

Fig. 4.5 gibt einen Einblick in die Belastungsbeiträge der drei Bereiche Erstellung, Instandhaltung und Rückbau der Gebäudeerstellung des ARE Gebäudes (detaillierte Ergebnisse siehe Anhang A.1). Die Gebäudetechnik (Elektroanlagen, Wärmepumpe etc.) verursacht fast die Hälfte der Belastung der Gebäudeerstellung (siehe Balken EKG Position I in Fig. 4.5). Die Erstellung der Elektroanlagen alleine trägt 61 % der Belastung der Gebäudetechnik bei, aufgrund des verwendeten Kupfers. Für EKG Position I weist die Instandhaltung noch leicht höhere Umweltbelastungen auf als die Erstellung der Gebäudetechnik, da die Lebensdauer der Wärmepumpe und der Solarkollektoren nur 20 Jahre beträgt. Armierungseisen dominieren die Gesamtumweltbelastung der Erstellung der EKG Positionen D2, E0, E3 und E6 mit 53 %, 35 %, 43 % und 48 %. In all diesen Positionen ist zudem keine Instandhaltung während dem Betrachtungszeitraum von 60 Jahren erforderlich. Beim Rückbau fällt in der Position D2, E3 und E6 vor allem der Stahlbeton ins Gewicht. EKG Position E4 weist die zweit höchste totale Belastung in der Gebäudeerstellung auf. Das Massivholz findet in EKG E4 Verwendung als Holzständer, Wandschalung, Lattung und 3-Schichtplatten. Die Lattung und die Wandschalung der Aussenwände und Dachränder werden nach 40 Jahren ersetzt. Rippen und Holzständer der Decken, Dächer und Aussenwände weisen hingegen eine Amortisationszeit von 60 Jahren auf. Des Weiteren müssen Dreischichtplatten in Aussenwänden bereits nach 30 Jahren ersetzt werden, währenddem diese in den Decken und Dächern eine Amortisationszeit von 60 Jahren aufweisen. Eine kürzere Lebenszeit wirkt sich negativ auf die Gesamtumweltbelastung der Instandhaltung aus. Pro m² Aussenwand müssen im Rückbau 47.1 kg Holz und 11.7 kg Dreischichtplatten entsorgt werden. Somit ruft das Holz die grösste Belastung im

Rückbau der Position E4 hervor. Die Umweltbelastung der Erstellung und des Rückbaus der EKG Position M3 wird von der Belastung des Anhydrit Unterlagsbodens dominiert. 84 % der Böden des ARE Gebäudes besitzen einen Anhydrit Unterlagsboden.

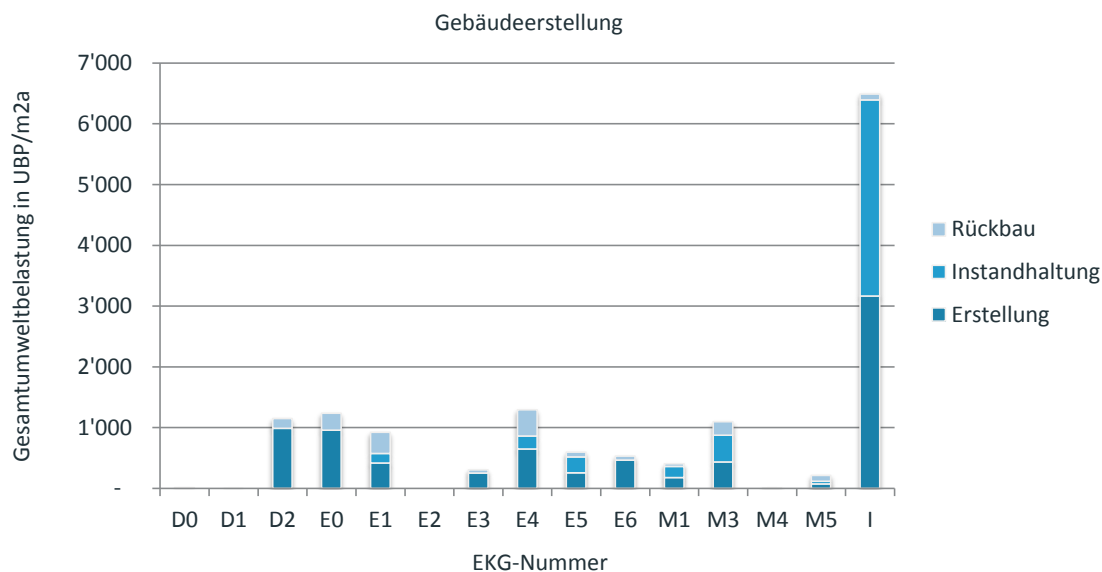


Fig. 4.5: Gesamtumweltbelastung des ARE-Gebäudes der Bereiche Erstellung, Instandhaltung und Rückbau innerhalb der Gebäudeerstellung gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1 (KBOB et al. 2012)

Gemäss Fig. 4.6 weist die Kategorie “übrige Betriebsenergie“ die grössten Umweltbelastungen im Betrieb des Bürogebäudes ARE auf. Diese Kategorie beinhaltet die elektrische Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser, die Beleuchtung und die Elektrizität für Betriebseinrichtungen. Für die Bilanzierung der Kategorien “übrige Betriebsenergie“ und “Lüftung“ werden SIA Default-Werte für Bürogebäude gemäss SIA (2011a) verwendet, da das ARE Gebäude effektiv überbelegt ist und sich eine Überbelegung vor allem auf die Beleuchtung und die Geräte (übrige Betriebsenergie) erhöhend auswirken würde.

Umweltbelastung der Gebäude

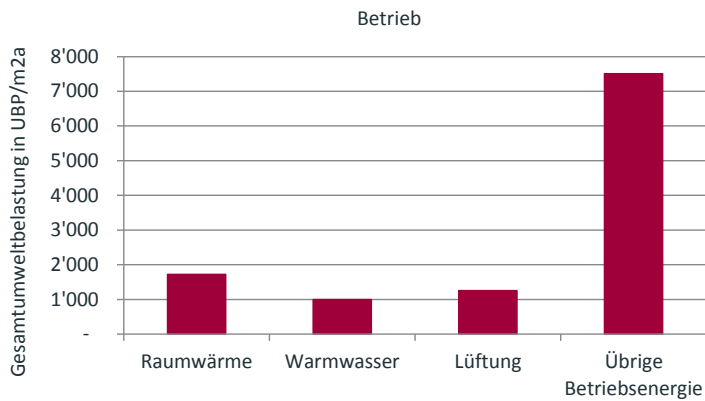


Fig. 4.6: Gesamtumweltbelastung des Betriebs des Bürogebäudes ARE

Die Auswertung der Sensitivitätsanalyse führt im Bereich Betrieb zu tieferen Umweltbelastungen als man gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2012 erhalten würde. Dies ist insbesondere auf die Senkung der Umweltintensität des Schweizer Verbraucher-Strommixes zurückzuführen. Da in jeder Betriebskategorie einzig Strom eingesetzt wird, nimmt die Umweltbelastung des Betriebs in der Sensitivitätsanalyse zwar ab. Die Anteile der Kategorien am Total, wie Fig. 4.7 zeigt, bleiben jedoch identisch.

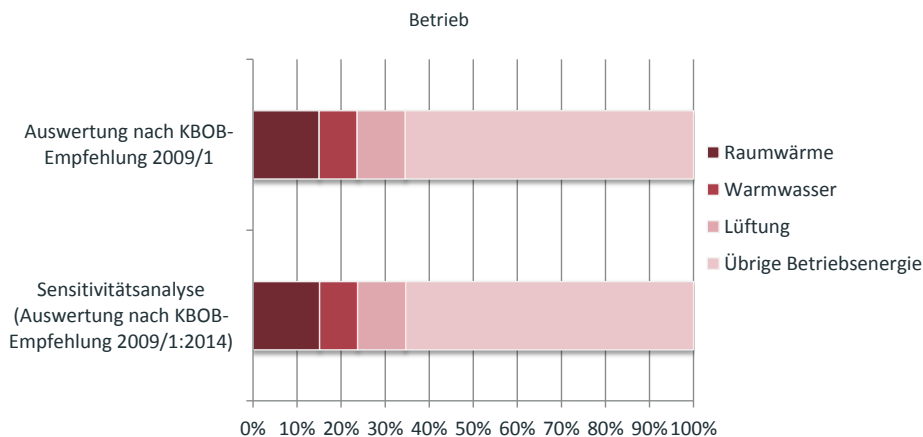


Fig. 4.7: Anteile der Gesamtumweltbelastung des Betriebs des Bürogebäudes ARE einmal gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1 (KBOB et al. 2012) und als Sensitivitätsanalyse gemäss der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 (KBOB et al. 2014a) bezogen auf 100 %.

Bei den Indikatoren Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen zeigt sich ein leicht anderes Bild. Beim Primärenergiebedarf nicht erneuerbar wurden keine Ökofaktoren angepasst, daher spielen hier ausschliesslich die Einflüsse der Aktualisierung der Sachbilanzdaten eine Rolle. Die Aktualisierung der Daten führt beim ARE Bürogebäude zu einem minim geringeren totalen Primärenergieverbrauch (-2 %), aufgrund einer Reduktion der Belastung des Betriebs. Die Berechnungsweise und die

Ökofaktoren des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs für die gebäudeinduzierte Mobilität bleiben unverändert. Daher verändern sich die Primärenergieverbräuche der gebäudeinduzierten Mobilität nicht.

Bezüglich Treibhausgasemissionen weist das ARE Bürogebäude in der Sensitivitätsanalyse im Total 7 % geringere Emissionen auf. Die Belastung durch die Erstellung hat leicht abgenommen. Der Betrieb des ARE Gebäudes verursacht im Schnitt deutlich geringere Treibhausgasemissionen (- 31 %). Dies ist wiederum auf die Aktualisierung des Umweltkennwertes des Schweizer Verbraucher-Strommixes zurückzuführen. Die Mobilität wurde nicht aktualisiert und weist daher wiederum keine Änderung auf.

4.2.3 Bürogebäude 2226

In der Gesamtbilanz erfüllt das Bürogebäude 2226 alle drei Zielwerte (Umweltbelastung, Primärenergie nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen) relativ problemlos. Der Ansatz vermag durchgehend zu überzeugen.

Fig. 4.8 zeigt die Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2006 des Bürogebäudes 2226 in Lustenau auf. Das Bürogebäude verursacht rund 36'400 UBP/m²a durch die Erstellung, den Betrieb und die gebäudeinduzierte Mobilität. 31 % der Belastung ist der Erstellung, 29 % dem Betrieb und 39 % der gebäudeinduzierten Mobilität des Gebäudes zuzuschreiben. Die in Wyss et al. (2015) vorgeschlagenen Richtwerte für Büro-Neubauten bezüglich Gesamtumweltbelastung werden für die Erstellung und die Mobilität erfüllt. Der Richtwert für den Betrieb wird um 18 % überschritten.

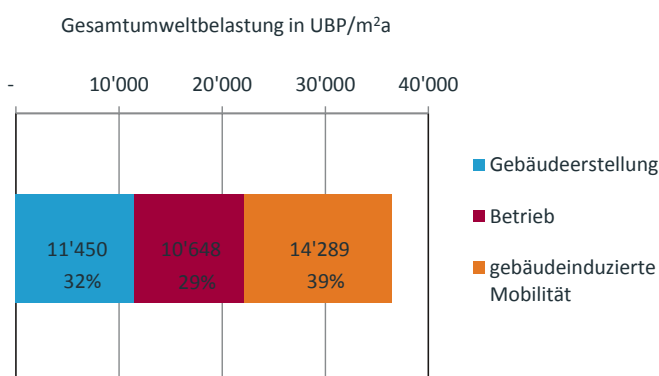


Fig. 4.8: Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes 2226

Das Bürogebäude 2226 verbraucht rund 540 MJ/m²a nicht erneuerbare Primärenergie durch die Erstellung (19 %), den Betrieb (41 %) und die gebäudeinduzierte Mobilität (40 %). Die Richtwerte zur Erstellung, zum Betrieb und zur Mobilität bezüglich Primärenergiebedarf nicht erneuerbar werden alle erreicht. Es werden ausserdem 23.9

kg CO₂-eq/m²a Treibhausgasemissionen emittiert. 37 % davon entstehen auf Kosten der Erstellung, 15 % aufgrund des Betriebs und 49 % wegen der gebäudeinduzierten Mobilität. Bezüglich Treibhausgasemissionen liegt das Bürogebäude 2226 in der Erstellung und im Betrieb unter den Richtwerten nach SIA 2040. Der Richtwert der Mobilität wird jedoch knapp überschritten.

Fig. 4.9 zeigt die Anteile der Umweltbelastung der einzelnen EKG-Positionen innerhalb der Gebäudeerstellung, ausgedrückt in UBP/m²a. Die wichtigsten Einflussgrößen für eine tiefe Gesamtumweltbelastung sind beim Gebäude 2226 konsequent berücksichtigt und umgesetzt: Das Gebäude ist ausserordentlich kompakt (Kompaktheit = 1.0). Auf ein Untergeschoss wird verzichtet, was auch dazu führt, dass die gesamte Geschossfläche der Energiebezugsfläche entspricht. Der Öffnungsanteil (Fenster, Türen, Lüftungsflügel) an der Fassade ist mit rund 24% moderat. Die Erstellung der Fenster (E5) macht deshalb nur 5 % der gesamten Umweltbelastung aus. Bei der Materialisierung wurde auf eine reine Massivbauweise gesetzt – insbesondere die Aussenwände (E4, 10 %) sind durchaus ressourcenintensiv. Da die ganze homogene Aussenwand als Primärkonstruktion gilt, wird sie mit einer Amortisationszeit von 60 Jahren (gemäss SIA 2032) gerechnet, was den hohen Aufwand zu relativieren vermag. Nicht zuletzt ist das gute Resultat im Bereich Erstellung dem kleinen Aufwand an Gebäudetechnik geschuldet. Die Haustechnik (EKG-I) alleine verursacht rund 31 % der Gesamtbelastung und liegt damit deutlich unter den Anteilen vergleichbarer Bauten. Dies, da das Gebäude 2226 über kein Heizsystem verfügt und ohne technisch anspruchsvolle Lüftungsanlage belüftet wird.

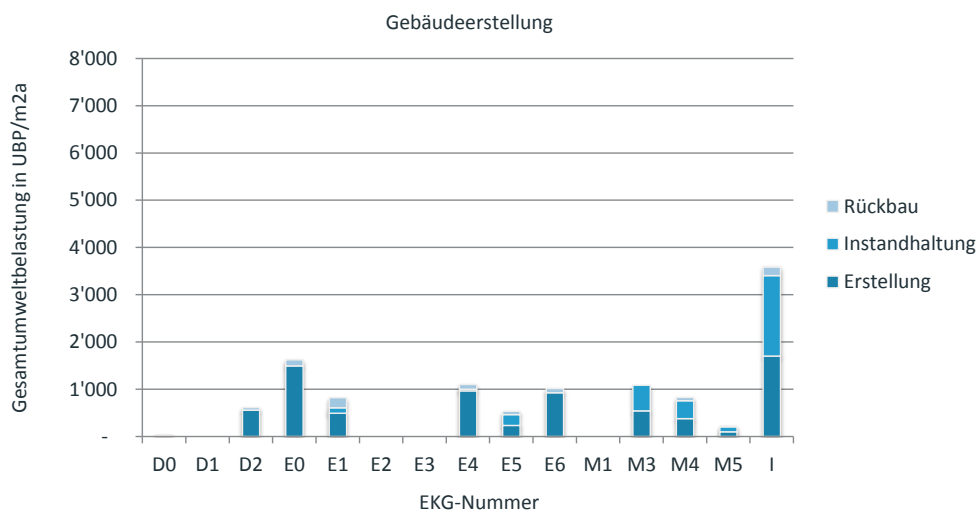


Fig. 4.9: Gesamtumweltbelastung der Gebäudeerstellung des Bürogebäudes 2226

Im Bereich Betrieb werden die Richtwerte bezüglich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen nach SIA 2040 gut eingehalten. Der vorgeschlagene Richtwert bezüglich Gesamtumweltbelastung wird überschritten. Das sehr gute Resultat ist hauptsächlich der Nullbilanz im Verwendungszweck Raumwärme und Klimatisierung geschuldet. Entsprechend machen die übrigen Betriebsenergien (Beleuchtung und

Geräte) und die Bereitstellung des Warmwassers die verbleibenden grössten Posten aus (siehe Fig. 4.10). Die Endenergie bei der Beleuchtung liegt über den Default-Werten gemäss SIA 2040. Bei der Beleuchtung wurde auf eine energiesparende LED-Lösung verzichtet. Die Beleuchtung dient bei lange anhaltenden Kälteperioden als Wärmelieferantin und steht damit wohl intensiver und länger in Betrieb, als es für die eigentliche Raumbeleuchtung notwendig wäre. Die Warmwassererzeugung sorgt als zweitgrösster Posten für 10 % der Belastung im Betrieb, geschieht direkt elektrisch und ist nicht energieeffizient gelöst. Der erhöhte Bedarf bei der Beleuchtung wird durch den wegfallenden beziehungsweise geringen Bedarf bei den anderen Verwendungszwecken wettgemacht.

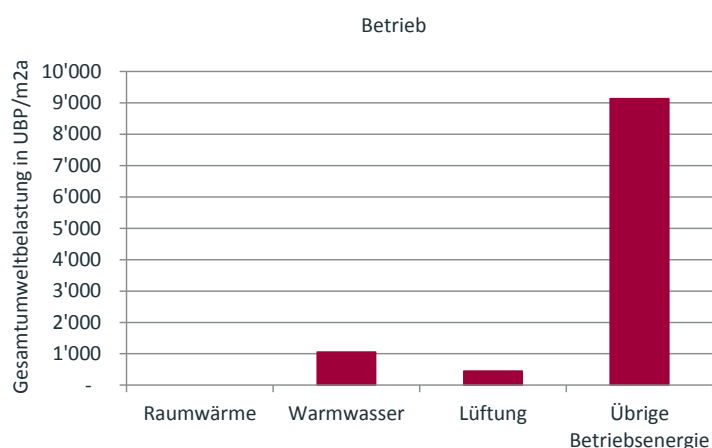


Fig. 4.10: Gesamtumweltbelastung des Betriebs des Bürogebäudes 2226

Ein differenzierteres Bild ergibt sich, wenn die beiden Erdgeschossnutzungen Cafeteria und Ausstellungsräume mit berücksichtigt werden und der effektive Stromverbrauch aus Messwerten eingesetzt wird, wie die Sensitivitätsrechnung im Anhang A.2 zeigt. Die Differenzen deuten darauf hin, dass die Default-Werte gemäss SIA 2040 im Vergleich zu realen Werten zu tief angesetzt sind.

4.2.4 Bürogebäude HPZ

In der Gesamtbilanz erfüllt das Bürogebäude HPZ die Zielwerte Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen, überschreitet jedoch um 9 % den Zielwert Primärenergie nicht erneuerbar.

Fig. 4.11 zeigt die Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2006 des HPZ in Zürich auf. Das Bürogebäude verursacht rund 46'500 UBP/m²a durch dessen Erstellung, Betrieb und durch die gebäudeinduzierte Mobilität und erfüllt damit den in Wyss et al. (2015) vorgeschlagenen Zielwert für Umbauten. 21% der Belastung ist der Erstellung, 47 % dem Betrieb und 32 % der gebäudeinduzierten Mobilität des

Gebäudes zuzuschreiben. Damit werden die vorgeschlagenen Richtwerte der Erstellung und der Mobilität erfüllt. Derjenige für den Betrieb wird jedoch um 21 % überschritten.

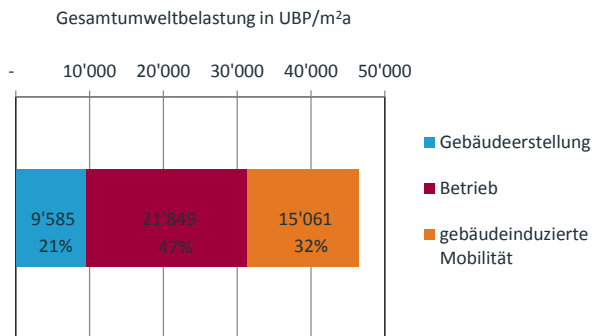


Fig. 4.11: Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes HPZ

Das HPZ verbraucht rund $720 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ nicht erneuerbare Primärenergie durch Erstellung (7 %), Betrieb (60 %) und gebäudeinduzierte Mobilität (33 %). Es verursacht ausserdem $24.2 \text{ kg CO}_2\text{-eq/m}^2\text{a}$ Treibhausgasemissionen für Erstellung (14 %), Betrieb (36 %) und gebäudeinduzierte Mobilität (50%).

Der Vergleich mit den Richtwerten gemäss SIA 2040 zeigt, dass das HPZ diejenigen für die Erstellung um 35 % bezüglich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs und um 43 % bezüglich der Treibhausgasemissionen unterschreitet. Der Betrieb überschreitet die Richtwerte jedoch um 24 % in beiden Fällen. Dies kommt einerseits davon, dass das Anergienetz der ETH als Fernwärmenetz modelliert wurde. Die Umweltbelastungen des Baus des Anergienetzes sind deshalb nicht in der Erstellung des HPZ berücksichtigt, sondern in der bezogenen Wärmeenergie im Betrieb. Andererseits wurde beim HPZ-Gebäude durch die minimale Sanierung gemäss Low-Ex Ansatz bewusst ein höherer Heizwärmebedarf in Kauf genommen, da die Energie effizient und mit wenig Exergieinsatz bereitgestellt werden kann (vergleichsweise viel, dafür aber relativ emissionsarme Heizenergie). Wenn man die Belastungen für Erstellung und Betrieb addiert, wird der kumulierte Richtwert für die nicht erneuerbare Primärenergie um 11 % überschritten, für die Treibhausgasemissionen allerdings um 7 % unterschritten. Der Zielwert wird für die Primärenergie nicht erneuerbar um 9 % überschritten, für die Treibhausgasemissionen allerdings um 1 % unterschritten.

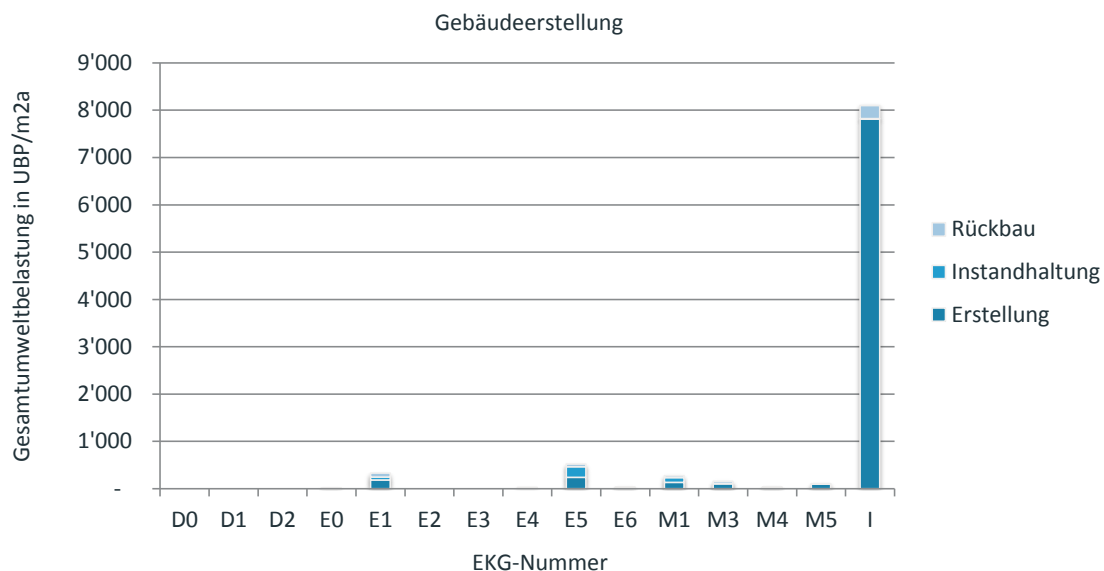


Fig. 4.12: Gesamtumweltbelastung der Gebäudeerstellung des Bürogebäudes HPZ

Fig. 4.12 zeigt die Gesamtumweltbelastung für die Gebäudeerstellung des HPZ in UBP/m²a, aufgeschlüsselt nach den EKG-Nummern. Da bei der Sanierung nur minimale Eingriffe getätigt wurden, sind generell sehr tiefe Werte ersichtlich. Die komplette Erneuerung der technischen Installationen und Leitungsführungen stellt den grössten Anteil dar, wegen der z.T. tiefen Amortisationsdauern der Systeme und des Prototypcharakters der verwendeten Komponenten (Airboxen, Hepta-Paneeelen). Ansonsten haben der Ersatz der Fenster (Position E5) und die Sanierung des Daches (E1) den grössten Anteil.

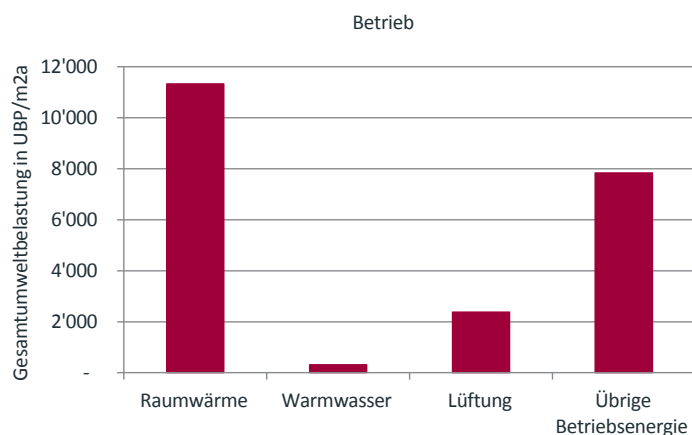


Fig. 4.13: Gesamtumweltbelastung des Betriebs des Bürogebäudes HPZ

Wie in Fig. 4.13 ersichtlich ist, verursacht der Betrieb des HPZ eine Gesamtumweltbelastung von rund 21'850 UBP/m²a. Die Aufschlüsselung zeigt, dass die Bereitstellung der Raumwärme alleine 52 % der Belastung ausmacht. Dies kann wieder mit der bewusst minimalen Isolierung des HPZ und des daraus resultierenden hohen Wärmebedarfs erklärt werden. Ausserdem wurde die Umweltbelastung für die Erstellung des Anergienetzes anteilmässig, wie bei Fernwärmesystemen, der Betriebsenergie zugewiesen. Dieses Bauelement fällt auch deshalb stark ins Gewicht, weil die Lebensdauer der Erdsonden und der Ringleitung gemäss den Vorgaben des Merkblatts SIA 2032 eher konservativ festgelegt wurden (40 Jahre). Die übrige Betriebsenergie sorgt als zweitgrösster Posten für 36 % der Belastung im Betrieb. Weniger ins Gewicht fallen die Lüftung (11 %) und die Warmwassererzeugung (1 %). Der kleine Warmwasseranteil ist auf den geringen Warmwasserbedarf des HPZ als Bürogebäude zurückzuführen.

4.3 Wohnliegenschaften

4.3.1 Vergleich von Wohnliegenschaften

Da im Rahmen dieser Ergänzungsarbeit nur ein Wohngebäude bilanziert wird, wird dieses im Folgenden mit den in Wyss et al. (2015) analysierten Wohngebäuden verglichen. Fig. 4.14 beschränkt sich dabei auf die Neubauten und zeigt die prozentualen Anteile der Erstellung, des Betriebes und der gebäudeinduzierten Mobilität der untersuchten Gebäude bezüglich Erreichung der Zielwerte für die Indikatoren Gesamtumweltbelastung, Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen auf. Nur gerade zwei Neubauten erreichen die Zielwerte aller drei Indikatoren. Dies sind die Wohnliegenschaft F, ein Leichtbau mit Grundwasser Wärmepumpe, und Wohnliegenschaft S, ein Minergie-P-Eco Massivbau ebenfalls mit Wärmepumpe. Wyss et al. (2015)

enthält die detaillierten Charakterisierungen der Wohnliegenschaften und diskutiert deren Ergebnisse bezüglich den Zielwerten.

Beim 2SOL Gebäude handelt es sich um einen Massivbau, welcher mit einer Erdsonden-Wärmepumpe und Hybridkollektoren beheizt wird. Im Vergleich zu den anderen Wohnbauten weist das 2SOL Gebäude überdurchschnittlich hohe Umweltintensitäten in der Gebäudeerstellung auf. Das liegt am ungünstigen Verhältnis von Geschossfläche zu Energiebezugsfläche (ein unbeheiztes Kellergeschoss auf drei Vollgeschosse), an den vielen tragenden Innenwänden und an der eher aufwändigen Gebäudetechnik. Dafür zeigt das 2SOL Gebäude im Betrieb wiederum tiefe Belastungswerte im Vergleich zu den anderen Neubauten. Insgesamt hält das 2SOL Gebäude nur den Zielwert bezüglich Primärenergie nicht erneuerbar ein.

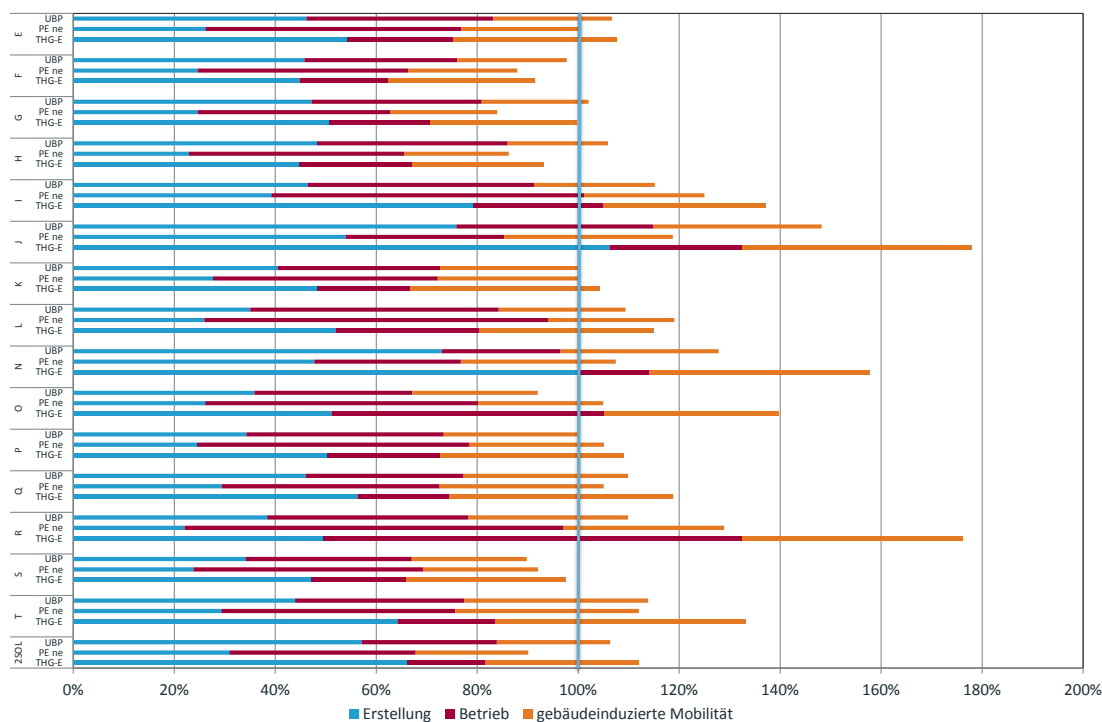


Fig. 4.14: Prozentuale Anteile der Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität pro Indikator Gesamtumweltbelastung, Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen bezogen auf die Zielwerte des 2SOL und der in Wyss et al. (2015) untersuchten Wohnliegenschaften. Bei allen Gebäuden handelt es sich um Neubauten. Der Zielwert liegt bei 100 %.

4.3.2 Wohnliegenschaft 2SOL

Fig. 4.15 zeigt die Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2006 der Wohnliegenschaft 2SOL in Witikon auf. Das Wohngebäude verursacht rund 30'600 UBP/m²a durch dessen Erstellung, Betrieb und die gebäudeinduzierte Mobilität. Damit liegt es knapp über dem in Wyss et al. (2015) vorgeschlagenen Zielwert von 29'000 UBP/m²a. 54 % der Belastung ist der Erstellung, 25 % dem Betrieb und 21 %

der gebäudeinduzierten Mobilität des Gebäudes zuzuschreiben. Währenddem die Belastungen im Betrieb und der Mobilität unter den Richtwerten liegen, überschreitet das 2SOL Gebäude den Richtwert der Erstellung um 27 %.

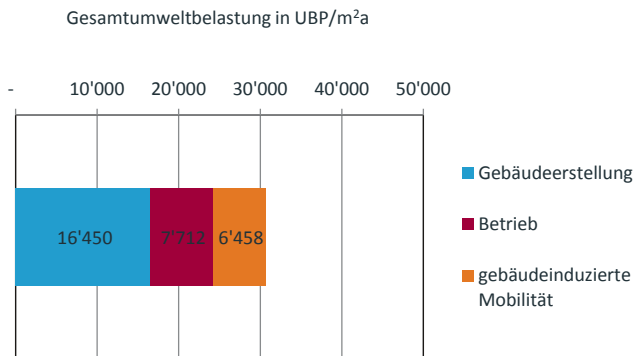


Fig. 4.15: Gesamtumweltbelastung der Wohnliegenschaft 2SOL

Das Wohnhaus 2SOL verbraucht rund 400 MJ/m²a nicht erneuerbare Primärenergie durch Erstellung (34 %), Betrieb (41 %) und gebäudeinduzierte Mobilität (25 %). Es verursacht ausserdem 18.5 kg CO₂-eq/m²a Treibhausgasemissionen für Erstellung (59 %), Betrieb (14 %) und gebäudeinduzierte Mobilität (27 %).

Die Wohnliegenschaft 2SOL überschreitet die Richtwerte Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen der Erstellung gemäss SIA 2040 um 24 % beziehungsweise um 28 %. Der Betrieb unterschreitet den Richtwert im Fall der nicht erneuerbaren Primärenergie deutlich um 32 %. Im Fall der Treibhausgasemissionen kann der Richtwert um 2 % knapp nicht eingehalten werden. Wenn man die Belastungen für Erstellung und Betrieb addiert, wird der kumulierte Richtwert für die nicht erneuerbare Primärenergie um 4 % unterschritten, für die Treibhausgasemissionen allerdings um 22 % überschritten. Der Zielwert wird für die Primärenergie nicht erneuerbar um 10 % unterschritten, für die Treibhausgasemissionen allerdings um 12 % überschritten. Der 2SOL-Ansatz zahlt sich, zumindest bei diesem konkreten Beispiel, bezüglich nicht erneuerbarer Primärenergie aus.

Fig. 4.16 gibt Auskunft über die Anteile der Umweltbelastung der einzelnen EKG-Positionen innerhalb der Gebäudeerstellung, ausgedrückt in UBP/m²a. Die Hausechnik alleine verursacht rund 31 % der Gesamtbelastung. Ein grosser Anteil davon wird verursacht durch die relativ aufwändige Installation mit Erdsonden und Hybridkollektoren. Zusätzlich werden diese Werte intensiviert durch die Amortisationszeit der Erdsonden von nur 40 Jahren gemäss SIA 2032. Durch die Massivbauweise fallen erhebliche Mengen an Stahlbeton in den Decken (E0, 12 %) und Innenwänden (E6, 17 %) an. Die Erstellung der Fenster (E5, 10 %) fällt durch den sehr hohen Anteil an der Fassade auch ins Gewicht. Wegen der massiven Bauweise und dem hohen Anteil an Haustechnik hat das Gebäude trotz der kompakten Gebäudeform eine eher hohe Umweltbelastung.

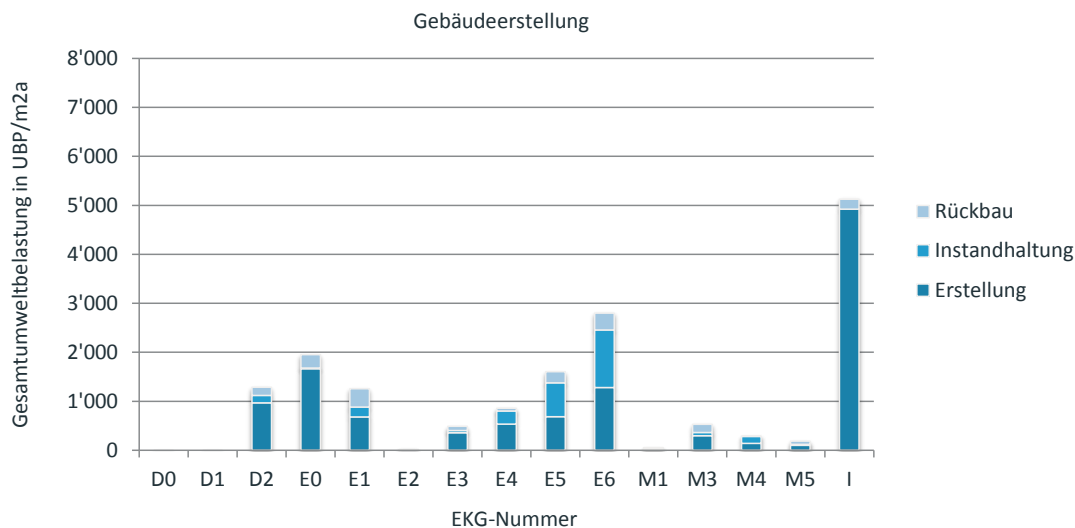


Fig. 4.16: Gesamtumweltbelastung der Gebäudeerstellung der Wohnliegenschaft 2SOL

Wie in Fig. 4.17 ersichtlich ist, verursacht der Betrieb der Wohnliegenschaft 2SOL eine Gesamtumweltbelastung von rund 7'700 UBP/m²a. Die Aufschlüsselung zeigt, dass die Bereitstellung des Warmwassers alleine 35 % der Belastung ausmacht. Dies liegt unter anderem daran, dass das Warmwasser durch eine exergetisch nicht optimale Verschaltung zweier Wärmepumpen erzeugt wird (zweistufige Erwärmung des Warmwassers). Fast gleich wichtig ist die übrige Betriebsenergie, welche als zweitgrösster Posten für 34 % der Belastung im Betrieb sorgt. Weniger ins Gewicht fallen die Erzeugung der Raumwärme (21 %) und die Lüftung (10 %). Der tiefe Wert für die Raumwärme kommt davon, dass durch den niedrigen Temperaturhub die Wärmepumpe mit einer hohen Leistungszahl bzw. hohem COP betrieben werden kann.

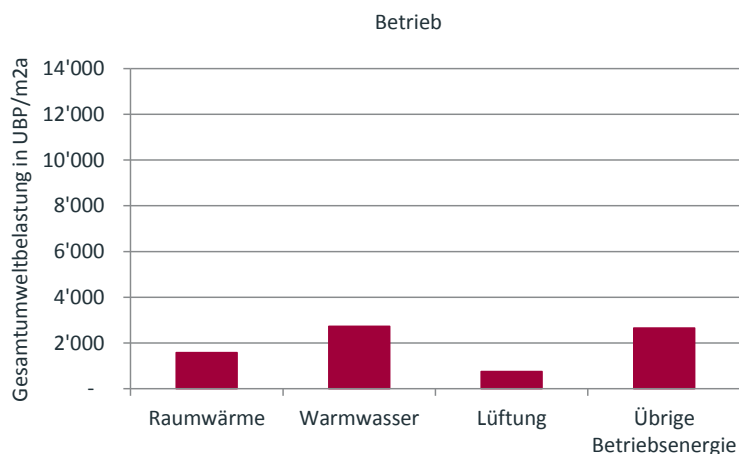


Fig. 4.17: Gesamtumweltbelastung des Betriebs der Wohnliegenschaft 2SOL

4.4 Umweltbelastung der untersuchten Gebäude im Vergleich zu allen ausgewerteten Gebäuden

Fig. 4.18 stellt die Gesamtumweltbelastung aller Gebäude gegenüber. Ersichtlich ist, dass sich die Gebäude einerseits pro Nutzungstyp, aber auch pro Erstellungsart (Sanierung versus Neubau) unterscheiden. Die Gesamtumweltbelastung verhält sich in der Tendenz gleich wie die Primärenergie nicht erneuerbar und die Treibhausgasemissionen. Während bei den Sanierungen bereits ein Grossteil der Primärstruktur amortisiert ist, bleibt der Heizwärmebedarf auch nach der Sanierung in der Regel höher als bei Neubauten. Die Gesamtumweltbelastung der Erstellung des HPZ Bürogebäudes liegt im Rahmen derjenigen der anderen Sanierungen. Während der Sanierung wurden an der Gebäudehülle zwar nur minimale Eingriffe gemacht aber die Gebäudetechnik wurde komplett erneuert. Der Betrieb hingegen weist deutlich höhere Umweltbelastungen auf. Dies einerseits, weil die Erstellung des Anergienetzes dem Betrieb angelastet wird und andererseits, weil der Raumwärmebedarf verhältnismässig hoch ist aufgrund einer minimalen Isolation der Gebäudehülle.

Bei Neubauten ist der Bereich Erstellung dominant. Dank gut gedämmten Gebäudehüllen und moderner Gebäudetechnik zeigen sie eher tiefe Werte in der Betriebsphase, dafür höhere Werte in der Erstellung. Währenddem die Büroliegenschaften ARE und 2226 hinsichtlich Gesamtumweltbelastung in der Erstellung deutlich tiefere Werte erreichen als die beiden anderen Büroliegenschaften (A und B), weist die Wohnliegenschaft 2SOL verhältnismässig hohe Belastungen in der Erstellung auf im Vergleich zu den anderen Wohnliegenschaften. Dies ist jedoch nicht nur auf die Mehraufwendungen des 2SOL Systems zurückzuführen, sondern auch auf die Bauweise und die vollständige (und unbeheizte) Unterkellerung. Hinsichtlich des Betriebs zeigt die 2SOL Technik jedoch wiederum eine tiefere Umweltbelastung als

Umweltbelastung der Gebäude

klassische Neubauten. Das Bürogebäude 2226 weist in der Erstellung und im Betrieb eine leicht tiefere Umweltbelastung auf als das ARE Gebäude.

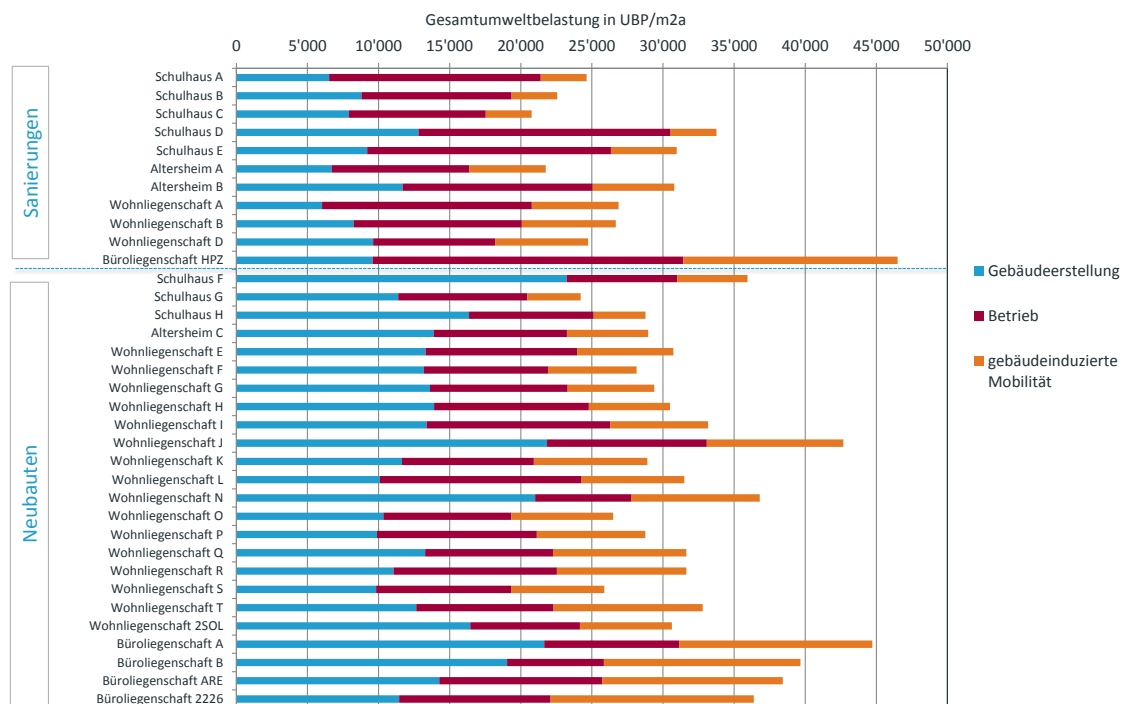


Fig. 4.18: Gesamtumweltbelastung aller der in dieser Studie und in Wyss et al. (2015) untersuchten Gebäude aufgegliedert in Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität. Bei den Gebäuden oben handelt es sich um Sanierungen, die Gebäude unten sind Neubauten.

Wohnliegenschaft C: nicht aufgeführt, da untypisch wegen grosser Solaranlage; Wohnliegenschaft M: nicht aufgeführt, da Sachbilanzdaten nicht plausibel.

5 Fazit und Ausblick

Die untersuchten vier Gebäude liegen alle nahe oder unter den Zielwerten nach SIA 2040. Das Minergie-P-Eco Gebäude (ARE Bürogebäude) und das Gebäude 2226 mit reduzierter Gebäudetechnik unterschreiten die Zielwerte nach SIA 2040 bezüglich Treibhausgasemissionen und nicht erneuerbarer Primärenergie deutlich und sie unterschreiten auch die Zielwerte für die Umweltbelastung gemäss Wyss et al. (2015). Einzig der Richtwert für die Gesamtumweltbelastung im Betrieb wird beim ARE Bürogebäude und beim Gebäude 2226 überschritten. Dieser Richtwert ist vergleichsweise streng angesetzt. Mit einem optimierten Strombedarf für Hilfsenergie, Beleuchtung und Betriebseinrichtungen und/oder der Installation einer Photovoltaikanlage kann er jedoch eingehalten werden. Die Wohnliegenschaft 2SOL überschreitet die Zielwerte für die Gesamtumweltbelastung und die Treibhausgasemissionen. Dies deshalb, da alle drei Richtwerte der Erstellung überschritten werden. Dafür werden die Richtwerte des Betriebes bezüglich allen Umweltindikatoren erfüllt. Beim HPZ Bürogebäude trifft das Gegenteil zu. Alle Richtwerte der Erstellung werden unterschritten, währenddem die Richtwerte des Betriebs in allen Umweltindikatoren überschritten werden. Insgesamt unterschreitet das HPZ Bürogebäude die Zielwerte bezüglich Gesamtumweltbelastung und Treibhausgasemissionen. Hinsichtlich der Mobilität unterschreiten alle untersuchten Gebäude die in Wyss et al. (2015) vorgeschlagenen Gesamtumweltbelastungs-Richtwerte. Die Richtwerte bezüglich Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen werden von der Mobilitätssituation des ARE und des 2SOL Gebäudes erfüllt und vom Gebäude 2226 und HPZ jedoch knapp nicht erreicht. Da in dieser Studie der Fokus jedoch auf Low-Tech/High-Tech und damit weniger auf dem Standort der Gebäude liegt, wurde das sich in Österreich befindende Gebäude 2226 mehrheitlich mit Schweizer Durchschnittswerten abgebildet und für das HPZ Bürogebäude die durchschnittliche Schweizer Parkplatzverfügbarkeit angenommen, welche in der Realität in der Kernstadt Zürich vermutlich eher tiefer liegen würde. Damit sind Aussagen zur Mobilitätssituation der untersuchten Gebäude weniger aussagekräftig.

Das Anergienetz ist für die Zielwerterreichung gut geeignet, wenn neben dem Wärmebedarf auch ein Kühlbedarf gegeben ist, die grossen Installationen (Ringleitung, Erdsondenfelder) gut ausgelastet sind und der Raumwärme- und Kühlbedarf optimiert sind. Entscheidend für die Umweltintensität des Anergienetzes und letztendlich für die Zielerreichung sind die Annahmen zur Lebensdauer/Ammortisationszeit. Eine Lebenszeit von 40 Jahren für Erdsonden in einem Anergienetz ist eher eine konservative Schätzung. Eine solche Lebensdauer ist eine gute Annahme für Einzelsonden von Einfamilienhäuser, jedoch sollte die technische Lebensdauer von Erdsonden eines Anergienetzes höher sein. Durch die Regeneration im Sommer gibt es zudem keine Auskühlungsprobleme, die eine langfristige Nutzung verunmöglichen würden.

Obwohl das Anergienetz des Bürogebäudes HPZ an sich noch provisorisch ist und weiter optimiert werden kann, ist die Umweltbelastung der gelieferten Wärme ähnlich

derjenigen einer Elektrowärmepumpe mit Erdsonden. Eine gegenüber der Amortisationszeit nach SIA 2032 erhöhte Lebensdauer der Erdsonden würde die Belastung des Anergienetzes reduzieren und damit Umweltbelastung der gelieferten Wärme weiter senken. Hauptverantwortlich für die hohen Umweltauswirkungen in der Betriebsphase ist jedoch der sehr hohe Raumwärmebedarf des HPZ Gebäudes. Dies liegt daran, dass bei der Sanierung bewusst auf Dämmungsmassnahmen der Fassade verzichtet wurde. Das Energiekonzept sah die Verwendung eines speziellen Strommixes vor, der in dieser Studie aus Vergleichsgründen nicht berücksichtigt ist. Mit einer Senkung des Raumwärmebedarfs hätte die Umweltbilanz des HPZ Gebäudes wesentlich verbessert werden können.

Die tiefen Umweltauswirkungen im Betrieb des 2SOL Wohnhauses können dessen Mehraufwendungen in der Erstellung nicht beziehungsweise nur knapp kompensieren. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es sich einerseits um ein Prototypgebäude mit ineffizienter Warmwassererwärmung (Reihenschaltung zweier Wärmepumpen) handelt und andererseits die Ökobilanz auf Planungsdaten basiert. Ob sich der Trade-Off zwischen höheren Umweltauswirkungen in der Erstellung aufgrund ausgeklügelter Heizsysteme und dafür geringen Auswirkungen im Betrieb lohnt, ist stark vom Objekt und der Kompetenz des Planungsteams abhängig. Als Prototypgebäude besteht beim 2SOL Wohngebäude noch Verbesserungspotenzial, insbesondere auch in einer weniger massiven Tragstruktur und einem kleineren Kellergeschoss.

Daraus lässt sich schliessen, dass Wege über mehr Gebäudetechnik wie z.B. beim ARE Gebäude (Minergie-P-Eco) als auch über eine stark reduzierte Gebäudetechnik (z.B. Bürogebäude 2226) zielführend sein können. Bei einer aufwändigen Gebäudetechnik ist eine richtige Dimensionierung, eine gute Planung und vor allem eine Optimierung aller Systemkomponenten massgebend. Dabei sind Investitionen in die Gebäudetechnik und erneuerbare Energien kein Freipass für hohe Raumwärmebedarfe. Ein Optimum des Aufwandes der Erstellung (Dämmen, Gebäudetechnik) und des Betriebes (Raumwärme) sollte jeweils projektspezifisch mit Ökobilanzen (SIA 2040) eruiert werden.

Literatur

- ecoinvent Centre 2010 ecoinvent Centre (2010) ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischier R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de.
- Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013 Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.
- IPCC 2007 IPCC (2007) The IPCC fourth Assessment Report - Technical Summary. Cambridge University Press., Cambridge.
- IPCC 2013 IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- KBOB et al. 2012 KBOB, eco-bau and IPB (2012) Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2012. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.
- KBOB et al. 2014a KBOB, eco-bau and IPB (2014a) KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.
- KBOB et al. 2014b KBOB, eco-bau and IPB (2014b) ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
- PRé Consultants 2012 PRé Consultants (2012) SimaPro 7.3.3, Amersfoort, NL.

Literatur

- PRé Consultants 2014 PRé Consultants (2014) SimaPro 8.0.4, Amersfoort, NL.
- SIA 2010 SIA (2010) Merkblatt 2032: Graue Energie von Gebäuden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.
- SIA 2011a SIA (2011a) Merkblatt 2040: SIA-Effizienzpfad Energie. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.
- SIA 2011b SIA (2011b) Merkblatt 2039: Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.
- SN508502 1995 SN508502 (1995) SN 508 502:1995 - Elementkostengliederung EKG (ed. Bauwesen C. S. f. d.), Zürich.
- Stadt Zürich 2012 Stadt Zürich (2012) Mobilität in Zahlen - Im Fokus: Städtevergleich Mobilität, Zürich.
- Wyss et al. 2015 Wyss F., Frischknecht R., Pfäffli K. and John V. (2015) Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude. Bundesamt für Energie, BfE Bundesamt für Umwelt BAFU, Amt für Hochbauten Stadt Zürich AHB, Zürich.

Anhang

Anhang

Bildnachweis Anhang

Abbildungsverzeichnis Anhang

Tabellenverzeichnis Anhang

Anhang A Fallbeispiele Gebäude

Bildnachweis Anhang

Folgende Bilder wurden von Edelman Energie zur Verfügung gestellt:

Abb. A. 1 Bürogebäude ARE

Abb. A. 2 Grundriss 3. Obergeschoss

Folgende Bilder wurden vom Architekturbüro Preisig Pfäffli zur Verfügung gestellt:

Abb. A. 3 Bürogebäude 2226

Abb. A. 4 Grundriss Regelgeschoss und Schnitt

Folgende Bilder wurden vom Architekturbüros Baumschlager Eberle zur Verfügung gestellt:

Abb. A. 5 Rohbau mit Wienerberger Mauersteinen

Abb. A. 6 Lüftungsflügel bei raumhohen Fenstern, Kalkputz

Folgende Bilder wurden von s3-engineering zur Verfügung gestellt:

Abb. A. 7 HPZ Zentralgebäude

Abb. A. 8 Neubau MFH 2SOL

Abb. A. 9 Grundriss Regelgeschoss

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abb. A. 1: Bürogebäude ARE	37
Abb. A. 2: Grundriss 3. Obergeschoss	37
Abb. A. 3: Bürogebäude 2226	43
Abb. A. 4: Grundriss Regelgeschoss und Schnitt	43
Abb. A. 5: Rohbau mit Wienerberger Mauersteinen	44
Abb. A. 6: Lüftungsflügel bei raumhohen Fenstern, Kalkputz	44
Abb. A. 7: HPZ Zentralgebäude	52
Abb. A. 8: Neubau MFH 2SOL	58
Abb. A. 9: Grundriss Regelgeschoss	58

Tabellenverzeichnis Anhang

Tab. A. 1:	Zuordnung der anonymisierten und der tatsächlichen Namen	36
Tab. A. 2	Kennzahlen Erstellung des ARE Bürogebäudes	39
Tab. A. 3:	Kennzahlen des ARE Bürogebäudes	40
Tab. A. 4:	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des ARE Bürogebäudes, bezogen auf 1 m ² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer	41
Tab. A. 5:	Sensitivitätsanalyse: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des ARE Bürogebäudes, bezogen auf 1 m ² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer	42
Tab. A. 6:	Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau	45
Tab. A. 7:	Kennzahlen Erstellung des Bürogebäudes 2226, Lustenau	46
Tab. A. 8:	Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau	47
Tab. A. 9:	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes 2226 in Lustenau, bezogen auf 1 m ² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer	48
Tab. A. 10:	Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau inkl. Cafeteria	50
Tab. A. 11:	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes 2226, bezogen auf 1 m ² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer	51
Tab. A. 12:	Kennzahlen des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich	54
Tab. A. 13:	Kennzahlen Erstellung des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich	55
Tab. A. 14:	Kennzahlen des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich	56
Tab. A. 15:	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich, bezogen auf 1 m ² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer	57
Tab. A. 16:	Kennzahlen des Wohngebäudes 2SOL	59
Tab. A. 17:	Kennzahlen Erstellung des Wohngebäudes 2SOL	60
Tab. A. 18:	Kennzahlen des Wohngebäudes 2SOL	61
Tab. A. 19:	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Wohngebäudes 2SOL, bezogen auf 1 m ² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer	62

A. Fallbeispiele Gebäude

In den folgenden Unterkapiteln werden die vier untersuchten Gebäude detailliert beschrieben hinsichtlich des Gebäudetyps, der baulichen Massnahmen, der Materialisierung sowie des Energiestandards. Zudem werden die Ergebnisse der Ökobilanz pro m² (Erstellung, Unterhalt, Rückbau und Total) sowie pro m² und Jahr (Gebäude, Betrieb und Mobilität) gezeigt.

In Wyss et al. (2015) wurden die untersuchten Gebäude anonymisiert. Die folgende Tab. A. 1 zeigt die reellen Namen dieser Gebäude, damit diese in den Graphiken aus Kapitel 4 entschlüsselt werden können. Die Bezeichnungen mfh01 bis mfh12 beziehen sich auf John (2012).

Tab. A. 1: Zuordnung der anonymisierten und der tatsächlichen Namen

*: Gebäude unterhalb Zielwerte Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen

§: Gebäude unterhalb Zielwert Primärenergie

#: Gebäude unterhalb Zielwert Treibhausgasemissionen

Name anonymisiert	Tatsächlicher Name	Name anonymisiert	Tatsächlicher Name
Schulhaus A #	Schulhaus Bläsi	Wohnliegenschaft D *	Wohngebäude Sihlweid
Schulhaus B	Schulhaus Ilgen A	Wohnliegenschaft E §	Wohngebäude Rautistrasse
Schulhaus C §	Schulhaus Ilgen B	Wohnliegenschaft F *	Wohngebäude Badenerstrasse
Schulhaus D	Schulhaus Holderbach	Wohnliegenschaft G *	Wohngebäude 50plus
Schulhaus E *	Schulhaus Milchbuck	Wohnliegenschaft H *	Wohngebäude Sihlbogen
Schulhaus F	Schulhaus Leutschenbach	Wohnliegenschaft I	Wohngebäude mfh01
Schulhaus G *	Schulhaus ZüriModular	Wohnliegenschaft J	Wohngebäude mfh02
Schulhaus H *	Schulhaus Eichmatt	Wohnliegenschaft K	Wohngebäude mfh03
Altersheim A	Altersheim Dorflinde	Wohnliegenschaft L	Wohngebäude mfh04
Altersheim B	Pflegezentrum Witikon	Wohnliegenschaft N	Wohngebäude mfh06
Altersheim C	Altersheim Trotte	Wohnliegenschaft O	Wohngebäude mfh07
Büroliegenschaft A §	Büro Axpo	Wohnliegenschaft P	Wohngebäude mfh08
Büroliegenschaft B §	Büro WFW	Wohnliegenschaft Q	Wohngebäude mfh09
Wohnliegenschaft A	Wohngebäude Kehlhof	Wohnliegenschaft R	Wohngebäude mfh10
Wohnliegenschaft B *	Wohngebäude Paradies Haus B	Wohnliegenschaft S *	Wohngebäude mfh11
Wohnliegenschaft C *	Wohngebäude Segantini	Wohnliegenschaft T	Wohngebäude mfh12

A.1. ARE, Ittigen (Büro / Neubau)

- **Bauherrschaft:** Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Bern
- **Architektur:** mischa badertscher architekten ag, Zürich
- **Gebäudetechnik:** 3-Plan Haustechnik AG, Winterthur
- **SIA-Effizienzpfad / Berechnungen:** edelmann energie, Zürich
- **Bauzeit:** 2012-2013



Abb. A. 1: Bürogebäude ARE



Abb. A. 2: Grundriss 3. Obergeschoss

Das neue Verwaltungsgebäude für das ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) erfüllt die strengen Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit des Bundes.

Das Bürogebäude mit 96 Arbeitsplätzen ist nach Minergie-P-ECO zertifiziert (Label BE-038-P-ECO), 2000-Watt-kompatibel erstellt und erfüllt die Anforderungen nach GI Gesundem Innenraumklima. Dies wird ermöglicht durch einen sehr kompakten Baukörper mit geringer Abwicklung, einem modernen Holzbau mit dem Minimum an notwendiger Betonstruktur.

Die Struktur des Gebäudes inkl. Haustechnik ist teilweise flexibel, die Bürobereiche sind mit nicht tragenden Leichtbauwänden unterteilt, welche eine variable Nutzung ermöglichen. Die Leitungsverteilung Lüftung erfolgt im Korridorbereich, sämtliche Medien werden im Brüstungskanal entlang der Fassaden geführt.

Die Fenster sind einheitlich gestaltet und die Grössen und Eigenschaften wurden präzise evaluiert, um das Optimum zwischen Wärmeverlusten und solaren Gewinnen im Winter, Solarlasten im Sommer sowie der Tageslicht-Nutzung zu finden.

Die notwendige Wärme wird durch eine effiziente Grundwasser-Wärmepumpe produziert, mit Ergänzung einer Solarkollektor-Anlage.

Das ARE Gebäude liegt in unmittelbarer Nähe sowohl zum Bahnhof Papiermühle wie auch zum Bahnhof Ittigen. Die Parkplatzanzahl wurde deshalb minimal gehalten.

Systemgrenzen / Abgrenzung für die Berechnung

Die Berechnung geht von folgenden Annahmen aus, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Bürogebäuden zu gewährleisten:

- Im Bereich Betrieb werden für den Energieverbrauch der Lüftung, der Beleuchtung, der elektrischen Hilfsenergie und der Betriebseinrichtungen die Default-Werte gemäss SIA 2040 eingesetzt. Zudem wird der Strombedarf mit dem Schweizer Verbraucher-Strommix modelliert, obwohl das Bürogebäude ARE rein erneuerbaren Strom bezieht.
- Im Bereich Mobilität wird die Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Parkplätze auf eine Standardbelegung bezogen, angepasst. Zudem wird für die Verfügbarkeit eines Dauerabonnements des öffentlichen Verkehrs der Schweizer Durchschnitt verwendet.

Kennzahlen und Betrieb

Tab. A. 2: Kennzahlen des ARE Bürogebäudes

Parameter	Einheit	Menge	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	2'948		
Energiebezugsfläche	m ²	2'552		
Energiebedarf Raumwärme Q _{h,eff}	MJ/m ² a	56.9	Grundwasser- Wärmepumpe	Deckungsgrad: 100 % JAZ: 4.26
Energiebedarf Warmwasser Q _{ww}	MJ/m ² a	24.8	Grundwasser- Wärmepumpe	Deckungsgrad: 75 % JAZ: 2.37
			Solarkollektor-Anlage	Deckungsgrad: 25 %
Energiebedarf Lüftung	MJ/m ² a	10.0	Strom	Deckungsgrad: 100 %
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	MJ/m ² a	60.0	Strom	Deckungsgrad: 100 %

Erstellung und Materialisierung

Tab. A. 2 Kennzahlen Erstellung des ARE Bürogebäudes

EKG-Nummer	Bezeichnung	Ausmass	Materialisierung
D0	Baugrubenaushub	680 m ²	Aushub maschinell
D1	Hinterfüllungen	209 m ²	Aushub maschinell
D2	Fundamentplatte	648.2 m ²	Bodenplatte UG und EG, mehrheitlich gedämmt
E0	Decken	2304.1 m ²	Davon sind 71 % Holzdecken (3-Schichtplatten) und 29 % Betondecken, 28 cm aus CEM II/A
E1	Dächer	594.9 m ²	Flachdach aus Holz (3-Schichtplatte), gedämmt mit extensiver Begrünung und Dachfenster
		66.2 m ²	Flachdach über Betonkern CEM II/A, gedämmt
E2	Stützen	-	-
E3	Aussenwände UG	279 m ²	Betonwand 25 cm, Innendämmung
E4	Aussenwände EG/OG	1367.1 m ²	Holzrahmenbau mit Glaswolle Dämmung zu 86 % auf 3-Schichtplatte und zu 14 % auf Beton, 20 cm
E5	Fenster	369 m ²	3-IV Verglasung, Holz-Aluminiumrahmen
E6	Innenwände tragend	695.8 m ² 222 m ²	Betonwand 20-25 cm, CEM II/A Kalksandstein 12-20cm
M1	Trennwände / Innentüren	21 m ² 1344.8 m ²	Holztüren Davon sind 91 % Leichtbauständerwände aus Gipskartonplatten und 9 % Glastrennwände (2-IV Verglasung, VSG)
		1574.7 m ²	Anhydrit Unterlagsboden ohne Belag mit Glaswolle Trittschalldämmung
		755.5 m ²	Parkett mit Anhydrit Unterlagsboden und Glaswolle Trittschalldämmung
M3	Bodenbeläge	370.7 m ² 72 m ²	Zement Unterlagsboden ohne Trittschalldämmung Keramik-/Steinzeugplatten mit Zement Unterlagsboden und Schaumglas Dämmung
M4	Wandbekleidung	277.2 m ²	Zementputz nur auf Massivbau. Auf restlichen Aussen- und Innenwänden keine Bekleidung.
M5	Deckenbekleidung	787.3 m ² 756.8 m ²	Nur 50 % der Decken haben eine Deckenbekleidung Akustikdecken in Holzwolke zementgebunden Gipskartonverkleidungen
I	Haustechnik	2552 m ² 14 m ²	Elektro / Sanitär / Wärmepumpe/ Verteilung über Fussbodenheizung / Lüftungsanlage/ Flachkollektoren für Warmwasser

Induzierte Mobilität

Tab. A. 3: Kennzahlen des ARE Bürogebäudes

Parameter	Kommentar	ARE, Ittigen
Bauzone	1=Arbeitszone; 0=keine Arbeitszone	0
ÖV-Güteklasse am Gebäudestandort	1= ÖV-Güteklasse A; 0= ÖV-Güteklasse B - E	0
Verfügbarkeit eines Autoparkplatzes am Arbeitsort	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Parkplätze	0.17
Verfügbarkeit von Veloabstellplätzen am Arbeitsort	1=verfügbar; 0=nicht verfügbar	1
Verfügbarkeit von Dauerabos für den öffentlichen Verkehr	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Dauerabos	0.22 (CH-Durchschnitt)

Umweltbelastungen

Tab. A. 4: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des ARE Bürogebäudes, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Gebäudeerstellung	Indikator	Gesamtumweltbelastung					Primärenergiebedarf nicht erneuerbar					Treibhausgasemissionen				
	Einheit	UBP/m ² a	UBP/m ²				MJ/m ² a	MJ/m ²				kg CO ₂ /m ² a	kg CO ₂ /m ²			
	EKG-Nummer	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
D0		11.80	708	708	-	-	0.1	8.6	8.6	-	-	0.01	0.57	0.57	-	-
D1		4	218	218	-	-	0.0	2.6	2.6	-	-	0.00	0.17	0.17	-	-
D2		1'150	68'979	59'407	-	9'572	6.9	411.7	340.2	-	71.5	0.70	42.27	38.43	-	3.84
E0		1'238	74'250	57'496	-	16'755	8.0	477.5	419.2	-	58.3	0.67	40.23	35.49	-	4.73
E1		921	55'283	25'002	9'367	20'915	11.9	711.1	434.4	247.3	29.4	0.73	43.61	15.69	6.34	21.57
E2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E3		306	18'364	15'231	-	3'133	2.4	144.9	131.1	-	13.8	0.26	15.61	12.85	-	2.76
E4		1'294	77'633	38'964	12'877	25'792	10.5	629.5	452.3	156.2	21.0	0.58	34.95	23.44	8.46	3.05
E5		596	35'745	15'530	15'530	4'685	7.1	428.0	212.1	212.1	3.7	0.49	29.11	13.56	13.56	2.00
E6		532	31'910	27'932	-	3'979	3.5	210.5	180.4	-	30.2	0.39	23.34	21.73	-	1.60
M1		403	24'178	10'790	10'790	2'598	5.9	353.5	170.1	170.1	13.3	0.37	22.40	10.63	10.63	1.14
M3		1'099	65'935	26'225	26'225	13'485	15.7	939.4	437.3	437.3	64.8	0.80	48.24	19.00	19.00	10.24
M4		5	293	131	131	31	0.0	2.6	1.2	1.2	0.2	0.01	0.36	0.17	0.17	0.01
M5		214	12'819	4'344	2'777	5'698	1.4	81.3	41.7	35.2	4.4	0.11	6.43	3.29	2.89	0.24
I		6'492	389'507	190'096	193'680	5'732	32.4	1'945.3	954.6	978.3	12.4	2.00	120.04	55.36	56.87	7.81
Summe Gebäude		14'264	855'824	472'073	271'377	112'374	105.8	6'346.3	3'785.6	2'237.7	323.0	7.12	427.31	250.38	117.92	59.00
Betrieb	Raumwärme	1720	103'178				35.2	2'111.4				0.55	33.03			
	Warmwasser	994	59'646				20.7	1'240.6				0.32	19.41			
	Lüftung	1'252	75'098				26.3	1'580.8				0.41	24.73			
	Übrige Betriebsenergie	7'510	450'580				158.1	9'484.6				2.47	148.39			
	Summe Betrieb	11'475	688'502				240.3	14'417.3				3.76	225.57			
gebäudeinduzierte Mobilität	Total Mobilität	12'682	760'914				191.1	11'464.9				10.27	616.22			
Gesamt-total	Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität	38'421					537.1					21.15				
Zielwert							660.0					25.50				

Tab. A. 5: Sensitivitätsanalyse: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des ARE Bürogebäudes, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Gebäudeerstellung	Indikator	Gesamtumweltbelastung					Primärenergiebedarf nicht erneuerbar					Treibhausgasemissionen				
	Einheit	UBP/m ² a	UBP/m ²				MJ/m ² a	MJ/m ²				kg CO ₂ /m	kg CO ₂ /m ²			
	EKG-Nummer	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
	D0	13.17	790	790	-	-	0.1	8.4	8.4	-	-	0.01	0.57	0.57	-	-
	D1	4	243	243	-	-	0.0	2.6	2.6	-	-	0.00	0.17	0.17	-	-
	D2	1'150	68'992	59'039	-	9'953	6.5	392.1	321.9	-	70.2	0.61	36.34	32.57	-	3.77
	E0	1'154	69'239	60'342	-	8'897	7.5	451.2	393.0	-	58.2	0.60	35.81	30.92	-	4.89
	E1	854	51'244	27'260	10'404	13'580	11.6	695.5	422.1	242.1	31.3	0.71	42.87	14.82	6.09	21.95
	E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E3	307	18'414	15'553	-	2'861	2.3	139.2	125.5	-	13.7	0.23	13.93	11.15	-	2.78
	E4	999	59'969	40'825	14'745	4'398	9.9	594.4	424.1	148.9	21.4	0.55	32.84	21.34	8.19	3.31
	E5	563	33'808	16'190	16'190	1'428	6.8	409.8	203.2	203.2	3.4	0.45	26.79	12.39	12.39	2.01
	E6	532	31'937	27'789	-	4'147	3.3	200.4	170.8	-	29.6	0.34	20.24	18.67	-	1.58
	M1	435	26'116	12'162	12'162	1'791	5.7	342.7	164.8	164.8	13.1	0.37	22.08	10.47	10.47	1.15
	M3	1'096	65'782	27'285	27'285	11'212	15.4	924.0	429.6	429.6	64.7	0.79	47.66	18.66	18.66	10.33
	M4	6	341	155	155	31	0.0	2.5	1.2	1.2	0.2	0.01	0.35	0.17	0.17	0.01
	M5	146	8'788	4'962	3'182	645	1.3	78.0	40.1	33.9	4.0	0.11	6.32	3.24	2.85	0.23
	I	6'833	409'957	200'900	204'733	4'324	35.9	2'154.1	1'061.7	1'084.2	8.2	2.14	128.11	59.45	60.84	7.82
	Summe Gebäude	14'094	845'618	493'494	288'857	63'268	106.6	6'395.0	3'769.0	2'308.0	318.0	6.90	414.09	234.59	119.67	59.82
Betrieb	Raumwärme	1'331	79'889				33.6	2'016.5				0.38	22.63			
	Warmwasser	766	45'962				19.7	1'184.9				0.22	13.30			
	Lüftung	961	57'662				25.2	1'509.8				0.28	16.94			
	Übrige Betriebsenergie	5'766	345'963				151.0	9'058.6				1.69	101.65			
	Summe Betrieb	8'825	529'475				229.5	13'769.7				2.58	154.51			
gebäudeinduzierte Mobilität	Total Mobilität	13'588	815'303				191.1	11'464.9				10.27	616.22			
Gesamt-total	Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität	36'507					527.2					19.75				
Zielwert							660.0					25.50				

A.2. 2226, Lustenau (Büro / Neubau)

- **Bauherrschaft:** Baumschlager Eberle, Lustenau
- **Architektur:** Baumschlager Eberle, Lustenau
- **Energietechnik:** Tau GmbH, Lustenau
- **SIA-Effizienzpfad / Berechnungen:** Preisig Pfäffli/K. Pfäffli, Zürich
- **Bauzeit:** 2013



Abb. A. 3: Bürogebäude 2226

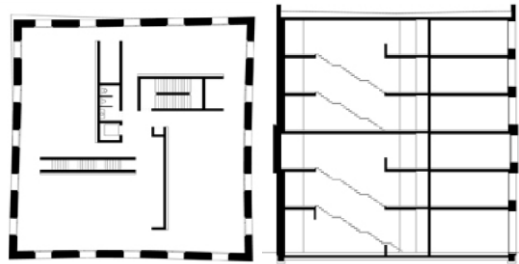


Abb. A. 4: Grundriss Regelgeschoss und Schnitt

Der Büroneubau in Lustenau gilt als Vorzeigebau für ein Low-Tech-Gebäude. Der Neubau besticht durch eine ausserordentlich hohe Kompaktheit: Das Volumen entspricht einem Würfel mit der Seitenlänge von knapp 24 m, im Innern stapeln sich sechs Stockwerke, auf ein Untergeschoss wird verzichtet. Im Grundriss umschliessen die massiven tragenden Aussenwände eine offene Abfolge von Raumeinheiten, welche nur durch frei gesetzte Kernelemente für Treppen, Lift und Nebenräume gegliedert werden. Das überhohe Erdgeschoss beherbergt ein Restaurant und eine Galerie, die oberen fünf Bürogeschosse erinnern mit einer lichten Raumhöhe von fast 3.4 m an traditionelle Gründerzeithäuser.

Die Gebäudevolumetrie, -konzeption und Materialisierung ermöglicht ein Klimakonzept mit stark reduzierter Gebäudetechnik. Es gibt keine Heizung, keine Kühlung und keine mechanische Lüftungsanlage. Und das braucht es auch nicht, denn: die Kombination der kompakten Gebäudeform, das grosse Luftvolumen, die 76 cm dicken Aussenwände aus Mauerwerk und die Betondecken mit ihrem Speichervermögen, die massvolle Befensterung mit innenbündig gesetzten, weitgehend verschatteten Fenstern folgen allen Regeln der Kunst und verhindern eine Auskühlung im Winter genauso wie eine Überhitzung im Sommer.

Das Gebäude ist ein klassischer Massivbau. Vorgespannte Betonfertigdecken mit Aufbeton und Aussenwände mit 76 cm dicken Verbundmauerwerk bilden die Primärstruktur. Das Verbundmauerwerk besteht aus Hohllochsteinen, wobei die äusseren Steine auf die Dämmwirkung optimiert sind und die inneren Steine die Traglast übernehmen. Die Fassaden sind aussen- wie innenseitig mit geschlammtem Kalkputz versehen. Bei den Bodenaufbauten kommt ein Doppelboden zur Anwendung, bei dem auf einer Holzschalung die Trittschalldämmung und ein Anhydrit-Unterlagsboden eingesetzt wird. Beheizt wird das Gebäude ausschliesslich durch die internen Lasten aus den Geräten und der Beleuchtung in Kombination mit der Wärmeabgabe der Menschen (ein Mensch ist eine Wärmequelle von immerhin 80 W). Damit entfällt nicht nur die Wärmeerzeugung, sondern auch die Wärmeverteilung, sowie natürlich die Wartung und der Unterhalt der Anlagen. Auch die Lüftung ist reduziert: Schmale Lüftungsflügel neben den Fenstern öffnen sich sensorgesteuert beispielsweise bei zu hohem CO₂-Gehalt der Innenraumluft oder für eine Nachtauskühlung im Sommer. Eine Eigenproduktion von Strom oder Wärme gibt es im Gebäude in Lustenau nicht. Der Warmwasserbedarf wird mittels eines Elektroboilers gedeckt.

Das Gebäude ist seit bald zwei Jahren in Betrieb und es scheint, dass das Konzept funktioniert: Die Temperatur im Gebäude wird im Komfortbereich von 22 – 26 °C gehalten, welche dem Gebäude auch seinen Namen – 2226 – geben.

Das Bürogebäude liegt im Milleniumpark, einem Gewerbegebiet neben der Kernzone der Vorarlberger Gemeinde Lustenau in direkter Nachbarschaft zur Schweiz.

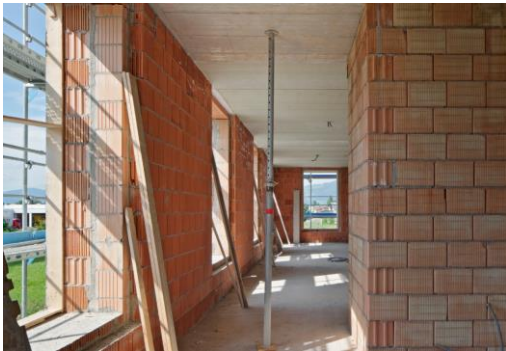


Abb. A. 5: Rohbau mit Wienerberger Mauersteinen



Abb. A. 6: Lüftungsflügel bei raumhohen Fenstern, Kalkputz

Systemgrenzen / Abgrenzung für die Berechnung

Die Berechnung geht von folgenden Annahmen aus, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Bürogebäuden zu gewährleisten:

- Das ganze Gebäude wird der Gebäudekategorie Büro zugerechnet. Die Erdgeschossnutzung mit Ausstellung und Cafeteria wird nicht berücksichtigt.

- Das Gebäude steht in morastigem Grund und musste unterpfählt werden. Die Pfähle sind im Bereich Erstellung nicht eingerechnet. Es wird von einer normalen Foundation ausgegangen.⁴
- Im Bereich Betrieb werden für die Geräte die Default-Werte gemäss SIA 2040 eingesetzt. Bei der Beleuchtung wird der Default-Wert um 50% erhöht, weil die Beleuchtung bei anhaltenden Kälteperioden als Wärmelieferant zugezogen wird.

In einer Sensitivitätsrechnung wird als Variante die effektive Nutzung mit Ausstellungsfläche und Cafeteria eingesetzt und der effektiv gemessene Stromverbrauch der letzten zwei Jahre berücksichtigt.

Kennzahlen und Betrieb

Tab. A. 6: Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau

Parameter	Einheit	Menge	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	3'201		
Energiebezugsfläche	m ²	3'201		Kein Untergeschoss
Max. Spitzenheizleistung	W/m ²	8*	Abwärme von Mensch und Geräten	Deckungsgrad: 100%
Energiebedarf Raumwärme Q _{heff}	MJ/m ² a	0	Kein Heizsystem	Bei langen Kälteperioden wird die Beleuchtung zur Haltung der Raumtemperatur aktiviert
Energiebedarf Warmwasser Q _{ww}	MJ/m ² a	7	Strom (Elektro-Wassererwärmer)	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad: 0.85
Energiebedarf Lüftung	MJ/m ² a	4	Strom	Lüftungsflügel über Sensoren gesteuert
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	MJ/m ² a	73	Strom	Deckungsgrad: 100%

* Spitzenleistung bei -6°C Aussentemperatur und 22°C Raumtemperatur

⁴ Die Datengrundlage zur Pfahlfundation im Projekt 2226 ist nicht ausreichend für eine fundierte Berechnung. Um den Stellenwert grob abzuschätzen, wurde in einer Sensitivitätsrechnung von rund 100 vorgefertigten, 24m langen, armierten Betonpfählen ausgegangen. Im Vergleich zur Flachfundation erhöht sich bei diesen (ungesicherten) Annahmen zur Pfählung das Resultat im Bereich Erstellung je nach Indikator um 4-6%.

Erstellung und Materialisierung

Tab. A. 7: Kennzahlen Erstellung des Bürogebäudes 2226, Lustenau

EKG-Nummer	Bezeichnung	Ausmass	Materialisierung
D0	Baugrubenaushub	532 m ³	-
D1	Hinterfüllungen	-	-
D2	Fundamentplatte	532 m ²	Bodenplatte für 6 Geschosse, wasserdicht, gedämmt
E0	Decken	2135 m ²	Betondecke CEM II 300 kg/m ³ , 112.5 kg/m ³ Bewehrung mit Überbeton
E1	Dächer	532 m ²	Betondecke, Foliendach, 30 – 40 cm XPS, Kies
E2	Stützen	0 Stk	-
E3	Aussenwände UG	0 m ²	-
E4	Aussenwände EG/OG	1740 m ² 1815 m ²	Verbundmauerwerk 76 cm, innen druckfest, aussen dämmend mit erhöhtem Luftkammeranteil. Gelöschter Kalkputz aussen
E5	Fenster Lüftungsflügel / Türen	371 m ² 120 m ²	3-IV Verglasung, Holzrahmen Lüftungsflügel und Türen in Holz mit Kerndämmung
E6	Innenwände tragend	4053 m ²	Mauerwerk 20 cm - 25cm
M1	Trennwände / Innentüren	0 m ²	-
M3	Bodenbeläge	2481 m ²	Doppelboden auf Lattung und Holzschalung: Trittschalldämmung und Anhydrit-Unterlagsboden
M4	Wandbekleidung	9650 m ²	Wandputz mineralisch auf Mauerwerk
M5	Deckenbekleidung	2481 m ²	Deckenputz mineralisch auf Beton
I	Haustechnik	3201 m ²	Elektro / Sanitär

Induzierte Mobilität

Tab. A. 8: Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau

Parameter	Kommentar	2226, Lustenau
Bauzone	1=Arbeitszone; 0=keine Arbeitszone	0.26 (CH-Durchschnitt)
ÖV-Güteklasse am Gebäudestandort	1= ÖV-Güteklasse A; 0= ÖV-Güteklasse B - E	0
Verfügbarkeit eines Autoparkplatzes am Arbeitsort	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Parkplätze	0.39 (34 Parkplätze)
Verfügbarkeit von Veloabstellplätzen am Arbeitsort	1=verfügbar; 0=nicht verfügbar	1
Verfügbarkeit von Dauerabos für den öffentlichen Verkehr	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Dauerabos	0.22 (CH-Durchschnitt)

Umweltbelastungen

Tab. A. 9: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes 2226 in Lustenau, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Gebäudeerstellung	Indikator	Gesamtumweltbelastung					Primärenergiebedarf nicht erneuerbar					Treibhausgasemissionen				
	Einheit	UBP/m ² a	UBP/m ²				MJ/m ² a	MJ/m ²				kg CO ₂ /m ² a	kg CO ₂ /m ²			
	EKG-Nummer	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
D0		31	1'879	1'607	-	272	0.5	28.4	23.8	-	4.6	0.03	1.61	1.44	-	0.17
D1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D2		610	36'628	33'392	-	3'236	5.4	323.3	288.2	-	35.1	0.44	26.40	23.35	-	3.05
E0		1'623	97'390	89'664	-	7'725	10.2	609.2	523.2	-	85.9	0.98	58.83	54.18	-	4.65
E1		819	49'133	29'457	7'116	12'560	9.0	541.3	318.0	187.6	35.7	0.76	45.77	21.34	7.84	16.58
E2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E4		1'099	65'929	57'917	2'142	5'870	15.6	938.1	835.5	20.7	82.0	1.54	92.34	84.57	3.29	4.47
E5		533	31'983	13'924	13'924	4'135	5.6	333.5	164.2	164.2	5.1	0.38	22.62	10.66	10.66	1.30
E6		1'016	60'961	55'492	-	5'469	15.0	902.4	821.6	-	80.9	1.41	84.70	80.69	-	4.01
M1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3		1'086	65'167	32'584	32'584	-	16.2	973.2	486.6	486.6	-	0.78	46.95	23.47	23.47	-
M4		828	49'679	22'770	22'770	4'138	7.8	467.4	220.2	220.2	27.0	1.24	74.27	35.02	35.02	4.23
M5		221	13'241	6'084	6'084	1'073	2.1	127.1	60.0	60.0	7.1	0.33	19.61	9.26	9.26	1.09
I		3'583	215'000	102'100	102'100	10'800	13.7	820.7	402.5	402.5	15.6	0.86	51.61	17.92	17.92	15.77
Summe Gebäude		11'450	686'991	444'992	186'720	55'278	101.1	6'064.7	4'143.8	1'541.9	379.1	8.75	524.71	361.91	107.47	55.33
Betrieb	Raumwärme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Warmwasser	1'060	63'600	-	-	-	22.3	1'339.2	-	-	-	0.35	21.00	-	-	-
	Lüftung	451	27'060	-	-	-	9.5	569.2	-	-	-	0.15	9.00	-	-	-
	Übrige Betriebsenergie	9'137	548'220	-	-	-	192.4	11'541.1	-	-	-	3.01	180.60	-	-	-
	Summe Betrieb	10'648	638'880	-	-	-	224.2	13'449.4	-	-	-	3.51	210.60	-	-	-
gebäudeinduzierte Mobilität	Total Mobilität	14'289	857'335	-	-	-	216.5	12'989.2	-	-	-	11.62	697.30	-	-	-
Gesamt-total	Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität	36'387	-	-	-	-	541.7	-	-	-	-	23.88	-	-	-	-
Zielwert							660.0					25.50				

Sensitivitätsrechnung: Berechnung mit gemischter Nutzung und effektiven Messwerten für den Stromverbrauch

In der Grundvariante wird das ganze Gebäude 2226 der Gebäudekategorie Büro zugewiesen, um eine Vergleichbarkeit der Resultate mit anderen Bürogebäuden zu erreichen. Zudem wird für den Strombedarf der Geräte auf die Default-Werte gemäss SIA 2040 zurückgegriffen. Nur so ist eine Vergleichbarkeit mit den Zielwerten des SIA und den anderen untersuchten Bürogebäuden gegeben.

Effektiv wird das Gebäude aber nur in den Obergeschossen als Bürogebäude genutzt, im Erdgeschoss befinden sich eine Cafeteria und Ausstellungsflächen. Der Stromverbrauch, insbesondere in der Cafeteria, ist aufgrund der Nutzung deutlich höher als in den Bürogeschossen (betrifft vor allem den Warmwasserbedarf und die Geräte).

Für das Gebäude liegen Messwerte für den Stromverbrauch der Jahre 2014 und 2015 vor. Diese liegen sehr deutlich über den Default-Werten gemäss SIA 2040. Der effektive Stromverbrauch liegt mit knapp 40 kWh/m² in einem durchaus vertretbaren Bereich. Es ist davon auszugehen, dass der höhere Stromverbrauch nicht auf einen uneffizienten Gebäudebetrieb zurückzuführen ist, sondern die Default-Werte in SIA 2040 (Planungswerte für die Vorprojektphase) zu tief angesetzt waren. Diese Vermutung bestätigt sich mit Blick auf die Default-Werte für Bürobauten in der zurzeit in Revision stehenden SIA 2040: Die Werte für Bürobauten werden neu fast doppelt so hoch angesetzt wie bisher (Default-Wert Geräte neu abgeleitet aus Grenzwert SIA 2024 statt aus Zielwert).

In folgender Sensitivitätsrechnung wird der Vollständigkeit halber das Gebäude 2226 mit den effektiven Nutzungen und mit dem effektiv gemessenen Stromverbrauch berechnet. Die Zuteilung des Stromverbrauchs auf die einzelnen Verwendungszwecke und die beiden Nutzungen Büro und Cafeteria ist dabei angenommen. Im Bereich Erstellung und Mobilität verändert sich nichts, im Bereich Betrieb erhöht sich der Elektrizitätsbedarf deutlich.

Kennzahlen und Betrieb bei gemischter Nutzung und effektivem Stromverbrauch

Tab. A. 10: Kennzahlen des Bürogebäudes 2226, Lustenau inkl. Cafeteria

Parameter	Einheit	Büro	Cafeteria	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	3'051	150		
Energiebezugsfläche	m ²	3'051	150		Kein Untergeschoss
Max. Spitzenheizleistung	W/m ²	8*		Abwärme von Mensch und Geräten	Deckungsgrad: 100%
Wärmebedarf Warmwasser Q _{ww}	MJ/m ² a	7	212	Strom (Elektro-Wassererwärmer)	Deckungsgrad: 100% Nutzungsgrad: 0.85
Energiebedarf Lüftung	MJ/m ² a	4	11	Strom	Lüftungsflügel über Sensoren, Küche Abluft
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	MJ/m ² a	118	266	Strom	Deckungsgrad: 100%

* Spitzenleistung bei -6°C Aussentemperatur und 22°C Raumtemperatur

Umweltbelastung bei gemischter Nutzung und effektivem Stromverbrauch

Tab. A. 11: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes 2226, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

	Indikator	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie n. erne	Treibhausgasemissionen
	Einheit	UBP/m ² a	MJ/m ² a	kg CO ₂ /m ² a
	EKG-Nummer	Total amortisiert	Total amortisiert	Total amortisiert
Erstellung	Summe Gebäude	11'450	101.1	8.75
Betrieb	Raumwärme	-	-	-
	Warmwasser	2'503	53.0	0.83
	Lüftung	501	11.0	0.17
	Übrige Betriebsenergie	15'646	279.0	5.16
	Summe Betrieb	18'650	343.0	6.15
gebäudeinduzierte	Total Mobilität	14'289	216.5	11.62
Gesamt-total	Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität	44'388	660.6	26.52
Zielwert	keine Zielwerte in SIA 2040			

A.3. HPZ Zentralgebäude, ETH Zürich (Büro / Umbau)

- **Bauherrschaft:** ETH Zürich Immobilien, Abteilung Bauten
- **Architektur:** Meierhofer Munz Architekten, Zürich
- **Energietechnik:** Luginbühl & Partner AG, Zürich
- **SIA-Effizienzpfad / Berechnungen:** s3-engineering, Zürich
- **Bauzeit:** 2011



Abb. A. 7: HPZ Zentralgebäude

Die ersten Gebäude des Standortes ETH Höggerberg wurden in den Sechzigerjahren geplant und gebaut. Ein Bebauungsplan, der stark auf die topographische Situation eingeht, legte das Bebauungsmuster fest. Die einzelnen Gebäude zeichnen sich durch eine formal reduzierte Architektursprache und einen funktionalen Ausdruck aus, was den industriell-technischen Charakter der Gesamtanlage unterstreicht.

Dem Gebäude liegt ein Ausmass von 1.80 zu Grunde. Die Tragkonstruktion mit Stützen und Decken ist in Beton, die Fassade in vorfabrizierten Leichtmetallelementen ausgeführt. Wesentliche Bauwerksteile des in den 70er Jahren erstellten Bürogebäudes HPZ hatten das Ende des Nutzungszyklus erreicht. Diese Teile bedurften einer Instandstellung oder mussten ersetzt werden. Zudem mussten feuerpolizeiliche Anforderungen umgesetzt werden, die durch eine Gesetzesanpassung nötig wurden. Ausserdem wurde das Gebäude behindertengerecht ausgebaut.

Das Gebäude wurde nur wo absolut notwendig rückgebaut. Der Umbau ist Teil eines Forschungsprojektes, dessen Ziel es ist, eine energetische Sanierung bei gleichzeitigem Erhalt möglichst grosser Teile des Bestandes durchzuführen. Der architektonische Ausdruck blieb erhalten und die kultur-historische Wichtigkeit wurde somit nicht geschmälert.

Hauptkomponente des Eingriffes waren der Ersatz der Fenster. In den Geschossen F und G wurde die Verglasung mit M-Gläsern ersetzt, welche durch eine spezielle Oberflächenbeschichtung den sommerlichen Sonnenschutz direkt integrieren. Im Geschoss E wurde die bestehende Fensterfront ersetzt. Leitungsführungen und sämtliche technischen Installationen wurden erneuert. Die gesamte Gebäudetechnik wurde energieeffizient und dezentral aufgebaut. Das neue Lüftungskonzept besteht aus dezentralen Zuluftgeräten (Airboxen) und einer zentralen Abluftführung über Hepta-Paneelen mit Wärmerückgewinnung. Die Airboxen sorgen für kurze Ansaugwege und heizen und kühlen die Luft ausserdem vor. Die Hepta-Paneelen saugen die Luft CO₂-gesteuert ab und heizen/kühlen ausserdem mittels Aktivierung der Betondecken als Speichermasse. Das Gebäude wurde an das Anergienetz Höneggerberg der ETH angeschlossen. Abgesehen vom Flachdach, das ausserdem neu abgedichtet wurde, hat man bewusst keine zusätzliche Wärmedämmung eingebaut. Im Innern wurden ansonsten nur minimal Beläge und Einrichtungen ersetzt und Trennwände erneuert.

Die Lage des Gebäudes auf dem Höneggerberg ist sehr gut mit dem öffentlichen Verkehr erschlossen (öV-Güteklasse A).

Systemgrenzen / Abgrenzung für die Berechnung

Die folgende Berechnung geht von folgenden Annahmen aus, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Bürogebäuden zu gewährleisten:

- Das ganze Gebäude wird der Gebäudekategorie Büro zugerechnet.
- Das Anergienetz auf dem Höneggerberg wurde detailliert modelliert. Die Umweltbelastung für dessen Erstellung, Betrieb und Entsorgung werden auf sämtliche Wärmebezüger anteilmässig verteilt und in der Betriebsphase verrechnet.
- Die Erstellung des Lüftungs- und Wärmeverteilungsnetz wurde detailliert modelliert, da Standardwerte in diesem Fall die Anlage ungenügend charakterisieren würden.
- Das HPZ erfüllt den Grenzwert der SIA 380/1 bezüglich Heizwärmebedarf nicht und wäre deswegen streng genommen gemäss SIA 2040 1.2.2.6 von der Betrachtung gemäss SIA-Effizienzpfad Energie ausgeschlossen. Aus wissenschaftlichem Interesse wird dieser Paragraph hier ignoriert.

Kennzahlen und Betrieb

Tab. A. 12: Kennzahlen des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich

Parameter	Einheit	Menge	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	2968.9		
Energiebezugsfläche	m ²	2779.6		
Energiebedarf Raumwärme	MJ/m ² a	346.0	Anergienetz	Deckungsgrad: 100% Arbeitszahl: 5.5
Wärmebedarf Warmwasser Q _{ww}	MJ/m ² a	7.5	Anergienetz	Deckungsgrad: 100% Arbeitszahl: 3.1
Energiebedarf Lüftung	MJ/m ² a	19.0	Strom	Deckungsgrad: 100%
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	MJ/m ² a	62.7	Strom	Deckungsgrad: 100%

Erstellung und Materialisierung

Tab. A. 13: Kennzahlen Erstellung des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich

EKG-Nummer	Bezeichnung	Ausmass	Materialisierung
D0	Baugrubenaushub	-	
D1	Hinterfüllungen	-	
D2	Fundamentplatte	-	
E0	Decken	24 m ²	Betondecke
E1	Dächer	819 m ²	Flachdach, Dämmung EPS 12cm, extensiv begrünt
E2	Stützen	-	
E3	Aussenwände UG	-	
E4	Aussenwände EG/OG	29 m ²	Erneuerung Lüftungsflügel Alu
E5	Fenster + Aussentüren	528 m ²	M-Glas, 3-IV-IR
E6	Innenwände tragend	71 m ²	Backstein 17 cm
M1	Trennwände / Innentüren	466 m ²	Gipskartonständerwand, Glastrennwände
M3	Bodenbeläge	1856 m ²	Steinzeugplatten, Teppich
M4	Wandbekleidung	348 m ²	Keramikfliesen, Weissputz
M5	Deckenbekleidung	662 m ²	Lochplatten aus Blech, Deckenpaneele, Weissputz
I	Haustechnik	2780 m ²	Elektro / Sanitär / Lüftung / Heizung

Induzierte Mobilität

Tab. A. 14: Kennzahlen des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich

Parameter	Kommentar	HPZ, ETH Zürich
Bauzone	1=Arbeitszone; 0=keine Arbeitszone	0
ÖV-Güteklasse am Gebäudestandort	1= ÖV-Güteklasse A; 0= ÖV-Güteklasse B - E	1
Verfügbarkeit eines Autoparkplatzes am Arbeitsort	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Parkplätze	0.74 (CH-Durchschnitt)
Verfügbarkeit von Veloabstellplätzen am Arbeitsort	1=verfügbar; 0=nicht verfügbar	1
Verfügbarkeit von Dauerabos für den öffentlichen Verkehr	Zahl der pro Beschäftigten verfügbaren Dauerabos	0.22 (CH-Durchschnitt)

Umweltbelastungen

Tab. A. 15: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Bürogebäudes HPZ, ETH Zürich, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Gebäudeerstellung	Indikator	Gesamtumweltbelastung					Primärenergiebedarf nicht erneuerbar					Treibhausgasemissionen				
	Einheit	UBP/m ² a	UBP/m ²				MJ/m ² a	MJ/m ²				kg CO ₂ /m ² a	kg CO ₂ /m ²			
	EKG-Nummer	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
D0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E0	15	898	471	312	116	0.1	6.3	3.2	2.3	0.9	0.01	0.88	0.44	0.39	0.04	
E1	330	19779	11006	3712	5061	4.7	281.5	186.5	93.2	1.8	0.32	19.04	7.98	3.79	7.26	
E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
E4	30	1790	1790	-	-	0.3	19.6	19.6	-	-	0.02	1.37	1.37	-	-	
E5	520	31'200	14'474	13'357	3'369	6.5	388.1	199.6	185.2	3.3	0.45	27.20	13.32	12.24	1.64	
E6	33	1'969	1'136	550	283	0.4	24.9	17.0	7.1	0.8	0.03	1.95	1.37	0.46	0.11	
M1	274	16'454	7'957	6'276	2'221	3.3	196.1	105.1	86.9	4.2	0.21	12.88	6.46	5.58	0.83	
M3	157	9'393	6'495	320	2'577	2.4	141.5	128.6	10.3	2.7	0.20	11.96	8.25	0.42	3.29	
M4	31	1'875	1'463	56	356	0.3	17.0	16.2	0.5	0.3	0.02	1.00	0.84	0.07	0.09	
M5	98	5'903	5'902	-	2	0.4	24.3	24.3	-	0.0	0.02	1.49	1.49	-	0.00	
I	8097	485'846	468'973	358	16'515	33.2	1'994.2	1'962.6	7.5	24.1	2.11	126.30	102.53	0.32	23.45	
Summe Gebäude	9'585	575'106	519'667	24'941	30'498	51.6	3'093.6	2'662.6	393.0	38.1	3.40	204.06	144.06	23.28	36.73	
Betrieb	Raumwärme	11'330	679'788.00			214.6	12'876.0				5.15	309.00				
	Warmwasser	310	18'570.00			6.0	360.0				0.13	7.98				
	Lüftung	2'375	142'500.00			50.0	2'998.2				0.79	47.10				
	Übrige Betriebsenergie	7'835	470'077.20			164.8	9'890.4				2.59	155.40				
	Summe Betrieb	21'849	1'310'935			435.4	26'124.6				8.66	519.48				
gebäudeindu- zierte Mobilität	Total Mobilität	15'061	903'632			231.4	13'881.1				12.16	729.73				
Gesamt-total	Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität	46'495				718.3					24.22					
Zielwert						660.0					24.50					

A.4. MFH 2SOL, Buchzelgstrasse 58, Witikon (Wohnen / Neubau)

- **Bauherrschaft:** Fam. Miklos Dobozi
- **Architektur:** Maier Hess Architekten GmbH, Zürich
- **Energietechnik:** Pfiffner AG, Zürich
- **SIA-Effizienzpfad / Berechnungen:** s3-engineering, Zürich
- **Bauzeit:** 2013-2014



Abb. A. 8: Neubau MFH 2SOL



Abb. A. 9: Grundriss Regelgeschoss

Das MFH in Witikon wurde 2014 nach den Plänen von Maier Hess Architekten erbaut. Das Gebäude umfasst 22 Wohnungen auf 4 Etagen, ein Tonstudio im UG und eine unbeheizte Einstellhalle. Der Baukörper hat eine einfache und kompakte kubische Form mit zurückversetzten Loggias und extensiv begrüntem Flachdach. Die Fassade ist praktisch vollständig mit raumhohen Fenstern verglast, die ein Maximum an Tageslicht in den Raum lassen. Vorgehängte stabförmige dekorative Fassadenelemente aus Recyclingbeton komplettieren die Aussenansicht. Die Tragstruktur aus Decken, aussteifenden Wänden und Kern um die zwei Treppenhäuser besteht aus Stahlbeton. Die ergänzenden raumtrennenden Wände sind gemauert.

Die Nutzwärme wird mit dem System 2SOL erzeugt, d.h. die im Winter mit Wärmepumpen den Erdsonden entzogene Energie wird im Sommer mittels Hybridkollektoren auf dem Flachdach zu 100% zurückgeführt und regeneriert. Die Wärmeverteilung findet über eine Bodenheizung statt. Das Gebäude wird ausserdem im Sommer passiv über die Bodenheizung und die Erdsonden gekühlt („Free-cooling“). Der sommerliche Wärmeschutz wird mittels aussenliegendem Sonnenschutz realisiert. Es ist eine Lüftung mit Zu- und Abluft installiert.

Das Gebäude ist zentral gelegen und sehr gut mit dem öffentlichen Verkehr erschlossen (öV-Güteklasse A).

Systemgrenzen / Abgrenzung für die Berechnung

Die Berechnung geht von folgenden Annahmen aus, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Bürogebäuden zu gewährleisten:

- Das ganze Gebäude wird der Gebäudekategorie Wohnen zugerechnet.
- Das angebaute Tonstudio im UG wird nicht berücksichtigt.
- Die Komponenten des Wärmeerzeugungssystems wurden detailliert erfasst und modelliert, da es sich um ein 2SOL-System handelt und deswegen mit Standardwerten schlecht modellierbar ist.

Kennzahlen und Betrieb

Tab. A. 16: Kennzahlen des Wohngebäudes 2SOL

Parameter	Einheit	Menge	Energieträger	Weitere Informationen
Geschossfläche	m ²	4227.0		
Energiebezugsfläche	m ²	3111.6		Ohne Einstellhalle
Energiebedarf Raumwärme	MJ/m ² a	92.0	Erdwärme	Deckungsgrad: 100% Arbeitszahl: 7.3
Wärmebedarf Warmwasser Q _{ww}	MJ/m ² a	75.0	Erdwärme	Deckungsgrad: 100% Arbeitszahl: 3.4
Energieerzeugung	MJ/m ² a	25.1	Hybridkollektor (Strom)	Wärmegewinn für Regeneration Erdsonde
Energiebedarf Lüftung	MJ/m ² a	6.0	Strom	Deckungsgrad: 100%
Hilfsenergie/ Beleuchtung/ Betriebseinrichtungen	MJ/m ² a	71.4	Strom	Deckungsgrad: 100%

Erstellung und Materialisierung

Tab. A. 17: Kennzahlen Erstellung des Wohngebäudes 2SOL

EKG-Nummer	Bezeichnung	Ausmass	Materialisierung
D0	Baugrubenaushub	1280 m ³	Baugrubenaushub, abzgl. Aushubvolumen abgerissenes Gebäude
D1	Hinterfüllungen	924 m ³	Hinterfüllungen
D2	Fundamentplatte	1051 m ²	Flachfundation
E0	Decken	3165 m ²	Betondecken
E1	Dächer	835 m ²	Flachdach extensiv begrünt, Dämmung EPS 24 cm
E2	Stützen	11 Stk	Betonstützen Einstellhalle
E3	Aussenwände UG	407 m ²	Aussenwände Beton
E4	Aussenwände EG/OG	393 m ²	Aussenwände Beton / Dämmung / Fassadenbleche / Brüstung
E5	Fenster + Aussentüren	1002 m ²	3-IV Verglasung, Holz-Metall-Rahmen
E6	Innenwände tragend	1924 m ²	Innenwände Beton 18 cm – 25 cm
M1	Trennwände / Innentüren	1476 m ²	Kalksandstein 15 cm, Backstein 13 cm
M3	Bodenbeläge	2734 m ²	Trittschalldämmung, Anhydritbelag versiegelt
M4	Wandbekleidung	6274 m ²	Wandputz mineralisch auf Mauerwerk und Beton
M5	Deckenbekleidung	2693 m ²	Deckenputz mineralisch auf Beton
I	Haustechnik	3112 m ²	Bodenheizung / Erdsonden / Hybridkollektoren / Lüftung / Elektro / Sanitär / Wärmeerzeugung

Induzierte Mobilität

Tab. A. 18: Kennzahlen des Wohngebäudes 2SOL

Parameter	Kommentar	MFH 2SOL
Siedlungstyp	1=Kernstädte (vgl. untenstehende Liste); 0=andere Gemeinden	1
ÖV-Güteklasse am Gebäudestandort	5= A, 4= B, 3= C, 2= D, 1= E	5
Luftlinien-Distanz zum nächsten Detailhandelsgeschäft mit 20-40 Beschäftigten	Distanz in km (0.1 bis 10)	0.2
Anzahl verfügbarer Park- und Garagenplätze pro Haushalt	0 bis 5	0.91
Personenwagenverfügbarkeit pro Haushalt	Zahl der pro Bewohner verfügbaren Personenwagen	0.37 (Durchschnitt Stadt Zürich)
Verfügbarkeit eines Dauerabos für den öffentlichen Verkehr (GA, Jahresabo, Monatsabo, Gleis 7)	Zahl der pro Bewohner verfügbaren Dauerabos	0.25 (CH-Durchschnitt)

Umweltbelastungen

Tab. A. 19: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung des Wohngebäudes 2SOL, bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche beziehungsweise 60 Jahre Lebensdauer

Gebäudeerstellung	Indikator	Gesamtumweltbelastung					Primärenergiebedarf nicht erneuerbar					Treibhausgasemissionen				
	Einheit	UBP/m ² a	UBP/m ²				MJ/m ² a	MJ/m ²				kg CO ₂ /m ² a	kg CO ₂ /m ²			
	EKG-Nummer	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau	Total amortisiert	Total	Erstellung	Instandhaltung	Rückbau
	D0	5	273	273	-	-	0.1	3.3	3.3	-	-	0.00	0.22	0.22	-	-
	D1	3	197	197	-	-	0.0	2.4	2.4	-	-	0.00	0.16	0.16	-	-
	D2	1'287	77'238	58'234	9'022	9'982	7.9	472.6	343.9	53.7	75.0	0.88	52.93	42.36	6.56	4.01
	E0	1'951	117'041	99'923	902	16'216	12.2	729.5	615.9	16.7	96.9	1.32	79.23	70.80	0.52	7.91
	E1	1'258	75'482	40'834	12'120	22'528	16.7	1'002.3	565.4	390.9	46.0	1.24	74.67	33.62	13.31	27.73
	E2	15	894	403	382	109	0.1	5.5	2.5	2.3	0.8	0.01	0.60	0.28	0.27	0.04
	E3	488	29'285	21'640	2'597	5'047	4.0	242.6	184.5	41.9	16.1	0.50	29.85	20.36	4.37	5.12
	E4	857	51'418	32'054	15'987	3'378	4.8	287.1	181.9	88.8	16.4	0.39	23.61	14.24	7.12	2.25
	E5	1'603	96'167	41'333	41'333	13'501	18.7	1'121.9	555.3	555.3	11.2	1.27	76.28	35.15	35.15	5.97
	E6	2'801	168'081	76'847	70'689	20'545	20.1	1'208.3	557.8	504.7	145.7	2.10	125.86	60.87	56.92	8.07
	M1	52	3'119	1'309	1'309	502	0.6	36.2	16.2	16.2	3.8	0.05	3.17	1.49	1.49	0.19
	M3	533	31'966	17'836	4'073	10'057	5.6	336.4	223.6	76.6	36.2	0.37	22.38	10.51	2.37	9.50
	M4	286	17'182	8'575	8'301	306	1.7	105.0	52.8	49.8	2.4	0.10	6.08	3.06	2.90	0.11
	M5	188	11'253	5'975	1'364	3'915	3.0	179.3	138.7	37.5	3.1	0.20	11.90	5.28	1.25	5.37
	I	5'124	307'428	295'453	-	11'975	40.5	2'430.4	2'415.7	-	14.8	2.47	147.92	130.45	-	17.47
	Summe Gebäude	16'450	987'025	700'885	168'079	118'060	136.0	8'162.6	5'859.9	1'834.4	468.3	10.91	654.86	428.85	132.25	93.75
Betrieb	Raumwärme	1'575	94'520				33.1	1'988.7				0.52	31.20			
	Warmwasser	2'729	163'741				57.4	3'445.1				0.90	54.12			
	Lüftung	750	45'000				15.8	946.8				0.25	14.88			
	Übrige Betriebsenergie	2'658	159'468				55.9	3'354.0				0.88	52.68			
	Summe Betrieb	7'712	462'730				162.2	9'734.6				2.55	152.88			
gebäudeinduzierte Mobilität	Total Mobilität	6'458	387'480				98.2	5'890.0				5.00	300.00			
Gesamt-total	Erstellung, Betrieb und gebäudeinduzierte Mobilität	30'621					396.5					18.46				
Zielwert							440.0					16.50				