

# Gebäudekategorie «Hochschule» für 2000-Watt-Areale

Schlussbericht inklusive Berechnungsverfahren Mobilität

Version 1.0 | Weitere Informationen [www.2000watt.swiss](http://www.2000watt.swiss)



Projektleitung 2000-Watt-Areale  
Daniel Kellenberger  
c/o Intep - Integrale Planung GmbH  
Pfungstweidstrasse 16  
8005 Zürich  
Tel. 043 488 38 90  
areal@2000watt.ch

Zertifizierungsstelle 2000-Watt-Areal  
Maren Kornmann  
Geschäftsstelle Trägerverein Energiestadt  
c/o ENCO Energie-Consulting AG  
Munzachstrasse 4  
4410 Liestal  
Tel. 061 965 99 00  
zertifizierung@2000watt.ch

Programmverantwortung 2000-Watt-Areal  
Ricardo Bandli  
Bundesamt für Energie BFE - Sektion Gebäude  
Mühlestrasse 4  
3063 Ittigen  
Tel. +41 (0)58 462 54 32  
ricardo.bandli@bfe.admin.ch

Technische Entwicklung 2000-Watt-Areal  
Heinrich Gugerli  
c/o Gugerli Dolder GmbH  
Solistrasse 2  
8180 Bülach  
Tel. 079 704 26 82  
technik@2000watt.ch

## Impressum

HERAUSGEBER EnergieSchweiz  
AUFTRAGGEBER  
Ricardo Bandli  
Bundesamt für Energie BFE - Sektion Gebäude  
Mühlestrasse 4  
3063 Ittigen

Kanton Luzern  
Dienststelle Umwelt und Energie  
Jürgen Ragaller  
Libellenrain 15  
6002 Luzern

UNIL | Université de Lausanne  
UNIBAT – Service des bâtiments et travaux  
Loïc Furcy  
Ferme de la Mouline  
1015 Lausanne

AUFTRAGNEHMER  
Hochschule Luzern  
Technik & Architektur  
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE  
Technikumstrasse 21  
6048 Horw

Hochschule Luzern  
Wirtschaft  
Kompetenzzentrum für Mobilität  
Rösslimatte 48  
6002 Luzern

AUTOREN  
Gianrico Settembrini HSLU T&A  
Timo Ohnmacht HSLU W  
Silvia Domingo HSLU T&A

BEGLEITGRUPPE  
Heinrich Gugerli Leiter Technische Entwicklung  
Daniel Kellenberger Intep GmbH, Projektleiter 2000-Watt-Areale  
Katrin Pfäffli Architekturbüro Pfäffli, SIA-Effizienzpfad Energie  
Stefan Schneider Planungsbüro Jud, Mobilitätsexperte  
Francine Wegmüller Weinmann Énergies, Romandie  
Martin Jakob TEP Energy, Rechenhilfe II für 2000-Watt-Areale

TECHNISCHE KOMMISSION  
Heinrich Gugerli Leiter Technische Entwicklung, Gugerli Dolder GmbH (Leitung)  
Daniel Kellenberger Projektleiter 2000-Watt-Areale Intep GmbH  
Céline Pahud Zertifizierungsstelle 2000-Watt-Areal, Canton de Vaud  
Katrin Pfäffli SIA-Effizienzpfad Energie, Architekturbüro Pfäffli  
Stefan Schneider Mobilitätsexperte, Planungsbüro Jud  
Urs Vogel Instrumente, Amstein + Walther AG  
Francine Weinmann Regionalleitung 2000-Watt-Areale F-CH, Romandie

VERSION V1.0, Dezember 2018  
SPRACHEN DE  
LAYOUT Agence Trio, Lausanne  
LOGO Miux Agentur, Chur

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Ausgangslage</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Ziel</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Vorgehen</b> .....	<b>9</b>
<b>4 Resultate und Analyse</b> .....	<b>11</b>
4.1 Top-Down-Ansatz .....	11
4.2 Bottom-Up-Ansatz .....	16
4.3 Vorschlag Richt- und Zielwerte.....	23
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>25</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>26</b>
<b>7 Anhang 1: Datengrundlagen</b> .....	<b>28</b>
7.1 Ist-Wert Mobilität – Detaillierte Informationen zur Herleitung .....	28
7.2 Analyse Personenflächen .....	30
7.3 Hochschulgebäude «Suurstoffi» HSLU Rotkreuz .....	37
7.4 Hochschulareal UNIL.....	40
7.5 Bottom-Up-Ansatz Betrieb – Detaillierte Informationen zur Herleitung des Richtwerts .....	43
7.6 Mobilität – Plausibilisierungsbeispiele zum Bottom-Up-Ansatz.....	51
<b>8 Anhang 2: Berechnungsgrundlagen Mobilität für Nutzung „Hochschulen“</b> .....	<b>56</b>
8.1 Ausgangslage und Zielsetzung .....	56
8.2 Grundlagen .....	57
8.3 Herleitung von Mittelwerten und Änderungsfaktoren .....	58
8.4 Drittnutzungsanteil .....	66
8.5 Plausibilisierung der Daten .....	67
8.6 Herleitung von Richtwerten für die Mobilität .....	68

## Vorwort

**Mit dem vorliegenden Schlussbericht sollen die Voraussetzungen für die Auszeichnung von Hochschularealen mit dem 2000-Watt-Areal-Zertifikat geschaffen werden. Der Bericht beinhaltet Richt-, Zielwerte und Zusatzanforderungen für eine neue Gebäudekategorie «Hochschule», abgeleitet nach der Methodik des SIA-Effizienzpfades Energie. Für die Berechnung werden Default-Werte für den Bereich Betrieb vorgeschlagen sowie die Methode für unbekannte Alltagsmobilität nach SIA 2039 erweitert. Die Ergebnisse sind bereits in der V1.4 der Rechenhilfe II für 2000-Watt-Areale implementiert. Falls die Erprobung an den Pilotarealen «Transformation» positiv verläuft, werden diese Grundlagen im Sinne einer Ergänzung zu SIA 2040:2017 in die nächste Version des «Handbuches zum Zertifikat 2000-Watt-Areal» übernommen.**

Zu Beginn des Pilotprojektes «Transformation» bestand ein grosses Interesse für eine Auszeichnung von Hochschularealen mit dem 2000-Watt-Areal-Zertifikat. Aus diesem Grunde wurde die vorliegende Studie zur Ableitung von Anforderungen und Berechnungsgrundlagen für eine neue Gebäudekategorie «Hochschule» vom Bundesamt für Energie mit Unterstützung der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern und der Universität de Lausanne (UNIL) in Auftrag gegeben. In einem ersten Schritt wurde vom Kompetenzzentrum für Mobilität der Hochschule Luzern (HSLU) aus Mikrozensusdaten analog zu den übrigen Nutzungen der SIA 2039:2016 das Berechnungsmodell für unbekannte Mobilität um eine neue Gebäudekategorie «Hochschule» erweitert. Im zweiten Schritt erfolgte durch HSLU Technik + Architektur die Ableitung der Anforderungen analog zur Methodik SIA 2040. Die Werte wurden ermittelt ausgehend vom Gebäudepark an mehreren Standorten der HSLU sowie ergänzt durch erste Ergebnisse der UNIL, des Campus Sursee des SBV und weiterer Hochschulen. Dabei zeigte sich die grosse Heterogenität der Hochschulareale.

In einem nächsten Schritt wird die Gebäudekategorie «Hochschule» für den quantitativen Nachweis in den Zertifizierungsanträgen der Pilotareale «Transformation» verwendet. Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Anwendung der neuen Gebäudekategorie werden in den Schlussbericht zum Pilotprojekt Transformation einfließen.

Heinrich Gugerli  
Leiter Technische Entwicklung 2000-Watt-Areale

## Zusammenfassung

### Ausgangslage

Das SIA MB 2040 „SIA-Effizienzpfad Energie“ [1] definiert derzeit die 2000-Watt-Anforderungen für die Gebäudekategorien: «Wohnen», «Wohnen mit Belegungsvorschriften», «Verwaltung», «Schule», «Fachgeschäft», «Lebensmittelverkauf» und «Restaurant». 2000-Watt-Areale basieren auf den bestehenden Richt- und Zielwerte des SIA MB 2040. Bei der Zertifizierung wurden bis anhin lediglich Areale in Betracht gezogen, welche hauptsächlich den genannten Gebäudekategorien zugeordnet werden konnten. In der Zukunft wird eine Erweiterung der zertifizierbaren Gebäudekategorien angestrebt.

### Zielsetzung

Das Ziel der Studie bestand darin, die Voraussetzungen für die zeitnahe 2000-Watt-Zertifizierung von Hochschularealen zu schaffen. Die primäre Aufgabe des Projektteams war demzufolge die Ermittlung realistischer Richtwerte der Gebäudekategorie «Hochschule» für die Bereiche *Betrieb*, *Erstellung* und *Mobilität*. Aus deren Summe lassen sich die Zielwerte für die Kenngrössen Primärenergie gesamt  $PE_{ges}$ , Primärenergie nicht erneuerbar  $PE_{ne}$  sowie Treibhausgasemissionen THGE festlegen.

### Methodik

Die Herleitung der Richtwerte folgte der Methodik, welche beim SIA MB 2040 angewendet wurde. Die Basis bildete das Dokument «SIA-Effizienzpfad Energie – Bestimmung der Ziel- und Richtwerte Top-Down und Bottom-Up Methodikpapier», K. Pfäffli et al., 2017 [2].

Dementsprechend wurden die zwei folgenden methodischen Ansätze verfolgt:

- Beim *Top-Down-Ansatz* kommen die im SIA MB 2040 [1] vorgegebenen Reduktionsfaktoren zur Anwendung. Deren Multiplikation mit den Ist-Werten der jeweiligen Gebäudekategorien ergeben 2000-Watt-kompatible Zielwerte.
- Beim *Bottom-Up-Ansatz* wird das Prinzip „hart aber machbar“ angewendet. Dabei werden Fallbeispiele mit besonders günstigen Randbedingungen (kompaktes Gebäude, Standort mit guter Anbindung an den ÖV, effiziente Wärmeerzeugung etc.) angenommen und daraus Richtwerte für die einzelnen Bereiche hergeleitet. Aus der Gegenüberstellung der zwei Ansätze werden realistische Zielwerte bestimmt.

Die Ermittlung und die Plausibilisierung der vorgeschlagenen Richtwerte basierte zum grossen Teil auf Kennwerten bestehender Studien, insbesondere auf die «Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie», M. Jakob et al. 2016 [3], sowie auf Projektwerte von bestehenden oder geplanten Hochschularealen.

Im Bereich Mobilität wurde – basierend auf der Datenlage des «Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015», BfS, 2017 – in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum für Mobilität der Hochschule Luzern eine neue Berechnungsgrundlage für die Nutzung Hochschule geschaffen.

Der vorliegende Schlussbericht (Anhang 2) beinhaltet die Berechnungsgrundlagen für 2000-Watt-Areale zur Mobilität für die Nutzung «Hochschulen». Die Änderungsfaktoren nach Gebäudeumfeld und Raumstruktur werden vorgestellt. Diese Grundlagen fliessen in die Systematik der Bewertung für die Nutzung «Hochschulen» ein, wo auch die Richt- und Zielwerte für die Gesamtbetrachtung für Bau, Betrieb und Mobilität festgelegt werden.

Abbildung 1 zeigt die in der Studie vorgeschlagenen Richt- und Zielwerte analog zum SIA MB 2040 für die Gebäudekategorie «Hochschule», jeweils für Neubauten bzw. Umbauten, auf.

		Richtwert Erstellung	Richtwert Betrieb	Richtwert Mobilität	Zielwert SIA 2040
Neubau	PE gesamt (kWh/m <sup>2</sup> )	45	220	70	<b>335</b>
	PE nicht erneuerbar (kWh/m <sup>2</sup> )	40	100	60	<b>200</b>
	THGE (kg/m <sup>2</sup> )	10.5	5.0	8.0	<b>23.5</b>
Umbau	PE gesamt (kWh/m <sup>2</sup> )	30	235	70	<b>335</b>
	PE nicht erneuerbar (kWh/m <sup>2</sup> )	25	115	60	<b>200</b>
	THGE (kg/m <sup>2</sup> )	7.0	7.5	8.0	<b>22.5</b>

Abbildung 1: vorgeschlagene Richt- und Zielwerte für die Gebäudekategorie Hochschule «Neubau» und «Umbau».

## Ergebnisse

Die Analyse der im Rahmen der Studie herangezogenen Hochschulanlagen zeigte, dass die vorgeschlagenen Zielwerte anspruchsvoll, mit entsprechenden Massnahmen jedoch vermutlich erfüllbar sein werden.

Der Einsatz von erneuerbaren Energiequellen für den Betrieb der Gebäude, sowohl zur Wärmeerzeugung als auch für den Strombedarf, wird eine Voraussetzung für eine 2000-Watt-Zertifizierung sein. Dies zeigt das Beispiel UNIL eindrücklich auf.

Die Projektwerte der durchgerechneten Hochschulbeispielanlagen aus dem HSLU-Gebäudepark sind für eine erste Plausibilisierung der vorgeschlagenen Richt- und Zielwerten wertvoll. Sie zeigen einerseits die Realisierbarkeit von Hochschulanlagen innerhalb der Zielwerte, andererseits zeigten sie auch die Problematik der auf Schweizer Durchschnittswerte basierenden Berechnungsmethodik. Generell wird behauptet, dass jedes Gebäude anders ist. Bei Hochschulbauten sind die Unterschiede unter den Anlagen besonders ausgeprägt. Dies hat bereits die Analyse der verschiedenen Abteilungen der HSLU eindrücklich aufgezeigt. Der Aspekt gilt es bei allfälligen künftigen Zertifizierungen von Hochschulanlagen zu bedenken. Allenfalls ist darauf mit flexiblen Vorgaben zu reagieren.

Es erscheint sinnvoll, die erarbeiteten Richtwerte mit den in dieser Studie gewonnenen Erkenntnissen im Rahmen der zweiten Phase des Pilotprojekts «2000-Watt-Areale in Transformation» beim Campus Sursee und der UNIL in der vorgeschlagenen Form anzuwenden. Es gilt zu bedenken, dass es sich in der ersten Bearbeitungsphase der Pilotprojekte bei den ermittelten Werte teilweise um approximative Abschätzungen handelte. Die Berechnungsmethodik zur Ermittlung des Energiebedarfs bei Hochschulbauten war in einigen Aspekten, z.B. bei der Mobilität, noch unklar.

Die definitive Konvalidierung der Richt- und Zielwerte der Gebäudekategorie «Hochschule» sollte anschliessend, im Idealfall anhand von zusätzlichen, konkreteren bzw. detaillierteren Berechnungen sowie der Auswertung der Pilotobjekte, erfolgen.

## 1 Ausgangslage

Zur Beseitigung der Raumengpässe des Departements Technik & Architektur plant der Kanton Luzern einen Ausbau am Standort Horw. Ziel ist es, einen städtebaulich, ökologisch und wirtschaftlich überzeugenden neuen, erweiterten *Campus Horw* zu entwerfen und zu bauen.

Um die entsprechenden Potenziale auf dem Hochschulareal auszuloten, führte der Kanton Luzern eine Testplanung durch. Im Programm wurden in den unterschiedlichen Themenbereichen Ziele festgelegt. Der neue *Campus* sollte unter anderem einen hohen Stand im Bereich «Energie / Nachhaltigkeit» vorweisen. Als Ergebnis der Testplanung wählte das Beurteilungsgremium ein Projekt aus und schlug es einstimmig als Grundlage für die Ausarbeitung eines Masterplans vor.

Das Institut für Gebäudetechnik und Energie der Hochschule Luzern hat den erarbeiteten Masterplandesign für den *Campus Horw* hinsichtlich Nachhaltigkeit bewertet. Insbesondere wurde dabei dessen Kompatibilität mit den vorgegebenen Kriterien und Anforderungen für 2000-Watt-Areale<sup>1</sup> überprüft. Die Bewertung wurde hauptsächlich anhand damals verfügbaren Instrumente durchgeführt: Das «2000-Watt-Areal-Management-Tool» und die «Rechenhilfe 2000-Watt-Areale».

Als Grundlage für die Analyse dienten die verfügbaren Rechenwerte der Gebäudekategorien «Schule» und «Büro», da explizite Werte für Hochschulen nicht existieren. Da der *Campus Horw* eine praxisorientierte Hochschule ist und sowohl ein Bildungsangebot führt als auch Forschung und Dienstleistungen anbietet, wurden für die Aufgabe approximative Vergleichswerte anhand einer fiktiven Nutzung «Schule/Büro» kreiert. Deren Rechen-, Richt- und Zielwerte wurden aus dem jeweiligen Mittelwert der Gebäudekategorien «Schule» und «Büro» gebildet. Weitere Gebäudekategorien eines typischen Hochschulcampus wie z.B. Labors konnten dabei nicht in ausreichendem Masse berücksichtigt werden.

Die durchgeführte Studie zeigte, dass die Erfüllung der 2000-Watt-Anforderungen in den Themenbereichen «Gebäude» und «Mobilität» besonders anspruchsvoll ist.

Solche Untersuchungen zu einem frühen Zeitpunkt sind wichtig, sie bilden jedoch noch keine Garantie für eine Zertifizierung respektive für die Einhaltung der 2000-Watt-Bedingungen. Einerseits liefern Masterpläne zu wenig konkrete Hinweise über das endgültige Projekt. Andererseits liegen noch keine fassbaren Anforderungen für die Zertifizierung einer tatsächlichen **Gebäudekategorie „Hochschule“** vor.

Unterdessen wurde die neue Variante des 2000WA-Zertifikats „in Transformation“ lanciert. Zwei Hochschulprojekte wurden zur entsprechenden Pilotphase zugelassen: Der Campus Sursee (Ausbildungszentrum Baumeisterverband) und die UNIL (L'Université de Lausanne). Der Startworkshop dazu fand am 26.06.2017 statt. Der Zertifizierungsantrag zu diesen Arealen soll noch im 2018 gestellt werden, diesbezügliche Machbarkeitsabklärungen sind bereits durchgeführt worden. Das Interesse an Richt- und Zielwerten für Hochschulen ist dementsprechend hoch.

Allgemein ist der Wunsch nach Definition von Kriterien für neue Gebäudekategorien äußerst stark. Dies wurde in Workshops deutlich, welche vom Bundesamt für Energie und Intep – Integrale Beratung und Planung AG zum Thema «2000-Watt-Areale in Transformation» durchgeführt wurden.

---

<sup>1</sup> Informationen, Vorgaben und entsprechende Tools unter [www.2000watt.ch](http://www.2000watt.ch)

## 2 Ziel

Das Ziel der Studie war, die Voraussetzungen für die zeitnahe **2000WA-Zertifizierung von Hochschularealen** zu schaffen. Die Aufgabe des Projektteams war demnach die Ermittlung realistischer **Richtwerte für Neubauten und Umbauten der Gebäudekategorie «Hochschule»** für die Bereiche **Betrieb, Erstellung** und **Mobilität**. Aus deren Summe würde man die entsprechenden Zielwerte und Zusatzanforderungen für die Kenngrössen Primärenergie gesamt  $PE_{ges}$ , Primärenergie nicht erneuerbar  $PE_{ne}$  sowie Treibhausgasemissionen THGE festlegen können.

Im Bereich der Mobilität sollten zudem Mittelwerte, Änderungsfaktor und Richtwerte hergeleitet werden, sodass eine schweizweit gültige Berechnungsgrundlage entsteht, die für diverse Hochschulnutzungen angewandt werden kann.

Die Herleitung und die resultierenden Zielwerte sollten mit denjenigen aus dem SIA MB 2040 „SIA-Effizienzpfad Energie“ [1] kompatibel sein. Dieses Merkblatt definiert derzeit die 2000-Watt-Anforderungen im Gebäudebereich für folgende Gebäudekategorien: «Wohnen», «Wohnen mit Belegungsvorschriften», «Verwaltung», «Schule», «Fachgeschäft», «Lebensmittelverkauf» und «Restaurant».

Primär sollten die Richtwerte und Zielwerte der neuen Gebäudekategorie der 2000WA-Zertifizierung dienen und künftig in der dafür zu verwendenden Rechenhilfe II für 2000-Watt-Areale integriert werden. Anzustreben war, dass die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dieser Arbeit auch beim Projekt «Harmonisierung SIA-Standardwerte und Gebäudekategorien» einfließen könnten.



### 3 Vorgehen

Die Herleitung von **Richt- und Zielwerten** orientierte sich am Vorgehen, das beim SIA MB 2040 angewandt wurde, konkret an das Dokument «SIA-Effizienzpfad Energie – Bestimmung der Ziel- und Richtwerte Top-Down und Bottom-Up Methodikpapier» [2]. Diese Arbeit übernahm daraus die Methodik und teilweise Textbausteine.

Bei den Zielwerten für die 2000-Watt-Gesellschaft können grundsätzlich zwei methodische Ansätze verfolgt werden:

- Beim **Top-Down-Ansatz** kommen die im SIA MB 2040 [1] vorgegebenen Reduktionsfaktoren zur Anwendung. Deren Multiplikation mit den heutigen Ist-Werten der einzelnen Gebäudekategorien ergeben – sofern vorhanden – 2000-Watt-kompatible Zielwerte für die Treibhausgasemissionen und die Primärenergie.
- Beim **Bottom-Up-Ansatz** wird das Prinzip „hart aber machbar“ angewendet. Dabei werden Fallbeispiele mit besonders günstigen Randbedingungen (kompaktes Gebäude, Standort mit guter Anbindung an den öffentlichen Verkehr, effiziente Wärmeerzeugung etc.) angenommen und daraus Richtwerte für die Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität hergeleitet. Die Zielwerte ergeben sich aus der Summe der einzelnen Richtwerte. Aus der Gegenüberstellung der zwei Ansätze können für die untersuchte Gebäudekategorie im Idealfall realistische Zielwerte bestimmt werden.

Die Ermittlung der Richtwerte für die Bereiche **Erstellung** und **Betrieb** erfolgte vorwiegend unter Berücksichtigung von Erkenntnissen aus bestehenden Studien. Im BFE-Forschungsprojekt GEPAMOD „Gebäudeparkmodell - 2000 Watt Areale“ [3] wurden bereits ansatzweise Grundlagen für Hochschulnutzungen erarbeitet. Weiter bildeten bestehende Hochschulareale der HSLU sowie die Hochschulprojekte der Pilotphase «2000-Watt-Areale in Transformation» eine relevante Basis (Campus Sursee und UNIL).

Im Rahmen dieser Studie konnten einerseits heutige Verbrauchsdaten (Ist-Zustand) der bestehenden Areale, soweit verfügbar, in die Betrachtung einfließen und andererseits die entsprechenden Werte aus dem GEPAMOD [3] für Hochschulnutzung plausibilisiert werden.

Dem Bereich **Mobilität** musste eine erhöhte Beachtung geschenkt werden. Dort liegt der Hauptunterschied zwischen der heute bereits erfassten Gebäudekategorie «Schule» und der effektiven Nutzung «Hochschule». Die Analyse dieses Bereichs erfolgte in Zusammenarbeit mit Fachleuten aus der Hochschule Luzern, dem Kompetenzzentrum Mobilität der HSLU - Wirtschaft.

Basierend auf der neuen Datenlage des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 [4] sind die Voraussetzungen gegeben, eine neue Berechnungsgrundlage für die Projektwerte Mobilität der Gebäudekategorie Hochschule zu schaffen (vgl. dazu die detaillierteren Ausführungen im Anhang 2: Berechnungsgrundlagen der Mobilität für 2000-Watt-Arealen für die Nutzung „Hochschule“ von Timo Ohnmacht). Die Erfordernisse sind die folgenden:

- a) die Herleitung von Mittelwerten und projektspezifischen Parametern (Änderungsfaktoren für Lage und Infrastruktur) und
- b) die Ableitung von Richtwerten für den Teilbereich der gebäudestandortabhängigen Mobilität

Für den Bereich der Mobilität wurden demnach anhand der Methodik nach SIA MB 2039 Mittelwerte und Änderungsfaktoren sowie Richtwerte hergeleitet, so dass eine schweizweit harmonisierte Berechnungsgrundlage entsteht, die für diverse Hochschulnutzungen angewandt werden kann.

Es wurde wie folgt vorgegangen:

**Schritt 1:** Identifikation von Wegen zu Hochschulnutzungen in den Datensätzen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010/2015 für Studierende und Weiterzubildende

**Schritt 2:** Multiplikation der Wegedistanzen mit Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionskoeffizienten je Verkehrsmittel

**Schritt 3:** Variation der Mittelwerte anhand der Infrastruktur und räumlichen Lage

**Schritt 4:** Ableitung von Korrekturfaktoren

**Schritt 5:** Plausibilisierung der Daten

## 4 Resultate und Analyse

### 4.1 Top-Down-Ansatz

#### 4.1.1 Reduktionsfaktoren

Die Reduktionsfaktoren für den Top-Down-Ansatz lassen sich aus den Grenzwerten der 2000-Watt-Gesellschaft ableiten. Sie werden angewendet, um die Zielwerte von SIA-Effizienzpfad kompatiblen Gebäude zu definieren, und limitieren deren Verbrauch für Betrieb, Erstellung und Mobilität auf die 2050 dafür zur Verfügung stehenden Mengen (3500 W pro Person an PE<sub>ges</sub>, 2000 W pro Person an PE<sub>ne</sub> sowie 2 t pro Person an THGE). Dabei wird pro Gebäudekategorie der **Ist-Wert** des gesamtschweizerischen Energieverbrauchs bzw. der THGE mit dem **Reduktionsfaktor** multipliziert, um den Zielwert zu erhalten. Die in der Abbildung 2 dargestellten Reduktionsfaktoren entsprechen denjenigen aus dem SIA MB 2040 [1] und bildeten die Basis für die vorliegende Studie.

	Gesamtenergiestatistik (Ø 2008-2012)	Umgerechnet in Einheiten der 2000W-Gesellschaft	Etappenziel 2050 der 2000W-Gesellschaft	Reduktionsfaktor
Primärenergie gesamt	1'526'865 TJ /Jahr	6165 W/Person	3'500 W/Person	0.57
Primärenergie nicht erneuerbar	1'366'512 TJ / Jahr	5505 W/Person	2'000 W/Person	0.36
Treibhausgasemissionen	61.7 Mio. t / Jahr	7.83 t /Person jährlich	2 t/Person jährlich	0.26

Abbildung 2: aus der Gesamtenergiestatistik abgeleitete Reduktionsfaktoren gemäss Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie [2].

#### 4.1.2 Ist-Wert Erstellung

Im GEPAMOD [3] wurden für jede Nutzungskategorie Gebäudetypen ermittelt und deren Graue Energie gemäss SIA MB 2032 «Graue Energie von Gebäuden» [6] berechnet. Dabei wurde zwischen Gesamtbestand, Neubauten und Umbauten unterschieden. Neubauten wiesen erwartungsgemäss die höchsten Werte auf.

Abbildung 3 fasst die Kennwerte zum Energieverbrauch und den entsprechenden Emissionen (Betrieb und Erstellung) für die Gebäudekategorie «Hochschulen» zusammen. Als Ist-Wert Erstellung wurden, analog den anderen Kategorien im Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie[2], die Neubauwerte aus dem GEPAMOD festgelegt.

		Spezifischer Verbrauch						Endenergie						
		PE Erst. Total	PE Betr. Total	PE Erst. n. ern.	PE Betr. n. ern.	THGE Erst.	THGE Betr.	Beleuchtung	Geräte	Prozessanlagen	Lüftung / Klima	Allg. Gebäudetechnik	Heizung	Warmwasser
		kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kgCO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	kgCO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
2010	Gesamtbestand	23	337	18	299	4.6	4.2	16.3	5.6	10.6	10.4	8.3	140.1	9.2
	<b>Neubau</b>	<b>42</b>	<b>205</b>	<b>35</b>	<b>120</b>	<b>9.5</b>	<b>10.8</b>							
	Umbau	21	303	16	189	3.8	25.4							
Referenzszenario 2050	Gesamtbestand	28	173	22	51	5.7	12	12.3	4.6	9.9	21	7.3	66	9.4
	<b>Neubau</b>	<b>39</b>	<b>158</b>	<b>32</b>	<b>50</b>	<b>8.7</b>	<b>8.7</b>							
	Umbau	20	190	16	66	3.6	11.4							
Effizienz-szenario 2050	Gesamtbestand	28	118	23	30	5.9	7	5.8	4.6	9.7	12.2	4.8	43	10.4
	<b>Neubau</b>	<b>39</b>	<b>111</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>8.9</b>	<b>5.8</b>							
	Umbau	27	110	23	38	5.7	6.7							
Sensitivitätsanalyse 2010	Gesamtbestand	23	337	17	299	4.4	4.2	16.3	5.6	10.6	10.4	8.3	140.1	9.2
	<b>Neubau</b>	<b>36</b>	<b>205</b>	<b>30</b>	<b>120</b>	<b>8</b>	<b>10.8</b>							
	Umbau	23	303	19	189	4.8	25.4							
Ref 2050, Sensitivitätsanalyse	Gesamtbestand	28	173	22	51	5.7	12	12.3	4.6	9.9	21	7.3	66	9.4
	<b>Neubau</b>	<b>35</b>	<b>158</b>	<b>29</b>	<b>50</b>	<b>7.6</b>	<b>8.7</b>							
	Umbau	23	337	17	299	4.4	4.2							
Eff 2050, Sensitivitätsanalyse	Gesamtbestand	28	118	23	30	6	7	5.8	4.6	9.7	12.2	4.8	43	10.4
	<b>Neubau</b>	<b>35</b>	<b>111</b>	<b>29</b>	<b>34</b>	<b>7.7</b>	<b>5.8</b>							
	Umbau	26	110	22	38	5.6	6.7							

Abbildung 3: Übersicht der Kennwerte zu Energieverbrauch und Emissionen aus dem GEPAMOD [3] für 2010 und den verschiedenen Szenarien bis 2050 für die Gebäudekategorie «Hochschule». Die grau umrahmten Werte sind für den Ist-Wert Erstellung massgebend.

### 4.1.3 Ist-Wert Betrieb

Der GEPAMOD [3] lieferte bei der Festlegung des Ist-Werts Betrieb ebenfalls die Grundlage (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5). Eingesetzt wurden die entsprechenden Werte des Gesamtbestands.

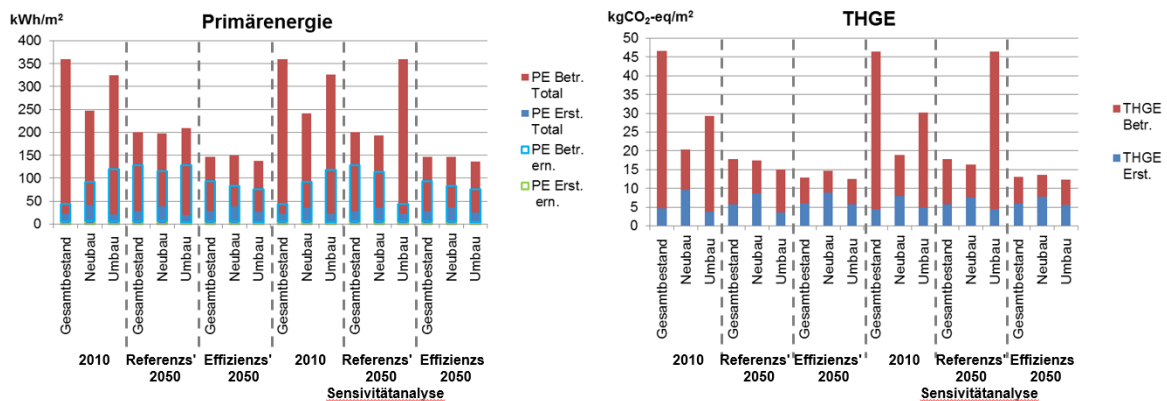


Abbildung 4: Darstellung zu Energieverbrauch und Emissionen (Betrieb und Erstellung) aus dem GEPAMOD [3] für das Jahr 2010 und den verschiedenen Szenarien bis 2050 für die Gebäudekategorie «Hochschule».

		Spezifischer Verbrauch						Endenergie						
		PE Erst. Total	PE Betr. Total	PE Erst. n. ern.	PE Betr. n. ern.	THGE Erst.	THGE Betr.	Beleuchtung	Geräte	Prozessanlagen	Lüftung / Klima	Allg. Gebäudetechnik	Heizung	Warmwasser
		kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²	kgCO₂-eq/m²	kgCO₂-eq/m²	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²	kWh/m²
2010	Gesamtbestand	23	337	18	299	4.6	42	16.3	5.6	10.6	10.4	8.3	140.1	9.2
	Neubau	42	205	35	120	9.5	10.8							
	Umbau	21	303	16	189	3.8	25.4							
Referenzszenario 2050	Gesamtbestand	28	173	22	51	5.7	12	12.3	4.6	9.9	21	7.3	66	9.4
	Neubau	39	158	32	50	8.7	8.7							
	Umbau	20	190	16	66	3.6	11.4							
Effizienz 2050	Gesamtbestand	28	118	23	30	5.9	7	5.8	4.6	9.7	12.2	4.8	43	10.4
	Neubau	39	111	33	34	8.9	5.8							
	Umbau	27	110	23	38	5.7	6.7							
2010, Sensitivitätsanalyse	Gesamtbestand	23	337	17	299	4.4	42	16.3	5.6	10.6	10.4	8.3	140.1	9.2
	Neubau	36	205	30	120	8	10.8							
	Umbau	23	303	19	189	4.8	25.4							
Ref 2050, Sensitivitätsanalyse	Gesamtbestand	28	173	22	51	5.7	12	12.3	4.6	9.9	21	7.3	66	9.4
	Neubau	35	158	29	50	7.6	8.7							
	Umbau	23	337	17	299	4.4	42							
Eff 2050, Sensitivitätsanalyse	Gesamtbestand	28	118	23	30	6	7	5.8	4.6	9.7	12.2	4.8	43	10.4
	Neubau	35	111	29	34	7.7	5.8							
	Umbau	26	110	22	38	5.6	6.7							

Abbildung 5: Übersicht der Kennwerte zu Energieverbrauch und Emissionen aus dem GEPAMOD [3] für das Jahr 2010 und den verschiedenen Szenarien bis 2050 für die Gebäudekategorie «Hochschule». Die rot umrahmten Werte sind für den Ist-Wert Betrieb massgebend. Für den Top-Down-Ansatz wurden die entsprechenden Werte des Gesamtbestands eingesetzt.

### 4.1.4 Ist-Wert Mobilität

Der Mobilitätsaufwand bei der Gebäudekategorie «Hochschule» setzt sich grundsätzlich aus demjenigen der Studierenden und demjenigen der Hochschulangestellten zusammen.

Die Herleitung des Ist-Werts Mobilität wird im Anhang 2 (Kapitel 8) «Berechnungsgrundlagen der Mobilität für 2000-Watt-Areale für die Nutzung „Hochschule“» detailliert beschrieben. Dort wurden der tägliche Mobilitätsaufwand (Primärenergie und Treibhausgasemissionen) von Studierenden und Weiterzubildenden quantifiziert und mit dem vorhandenen Wert für Beschäftigte in Arbeitsstätten verglichen (Abbildung 6).

Primärenergie (kWh, nicht erneuerbar/Tag)		Primärenergie (kWh, total/Tag)		Treibhausgasemissionen (CO₂ kg/Tag)	
2010/2015	2050	2010/2015	2050	2010/2015	2050
9.13	6.07	14.27	9.31	1.47	0.80
Vergleich: Arbeitsstätten (Modell-Mittelwerte, Ohnmacht et al. 2016, S. 20)					
14.49	8.19	15.28	8.97	2.87	1.28

Abbildung 6: Mobilitätsaufwand für Weiterzubildende/Studierende (Modell-Mittelwerte) pro Kopf und Tag für die Jahre 2010/2015 sowie 2050. In grauer Schrift der entsprechende Wert für Angestellte in Arbeitsstätten (Anhang 2)

Durch Multiplikation des täglichen Mobilitätsaufwands mit der Anzahl Präsenztage der verschiedenen Formate des Studien- und Weiterbildungsangebots gemäss Anhang 2 wurde der entsprechende jährliche Mobilitätsaufwand von **Studierenden** ermittelt. Für den Ist-Wert Mobilität wurden die Kennwerte der Flotte 2016 verwendet.

	Flotte 2016			Flotte 2050		
	PE <sub>nen</sub> kWh	PE kWh	THGE kg	PE <sub>nen</sub> kWh	PE kWh	THGE kg
<b>Studierende</b>	1187	1855	191	789	1210	104
<b>Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende</b>	767	1199	123	510	782	67
<b>Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)</b>	110	171	18	73	112	10
<b>Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)</b>	183	285	29	121	186	16
<b>Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)</b>	365	571	59	243	372	32
<b>Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)</b>	566	885	91	376	577	50

Abbildung 7: Durchschnittlicher jährlicher Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, totaler Primärenergie und daraus resultierende Treibhausgasemissionen pro Kopf, bzw. Studierende/Weiterzubildende für Hochschulnutzungen für die Flotte 2016 bzw. 2050 (Anhang 2, Kapitel 8).

Gemäss Hochschulstatistik (Ausgabe 2018) [7] zählt die Schweiz derzeit 244'000 Studierende und Weiterzubildende. Aufgrund der Studie der Statistiken und der Internet-Recherche zu verschiedenen Hochschulen (vgl. Anhang 7.1 Ist-Wert Mobilität – Detaillierte Informationen zur Herleitung wurde zur Ermittlung des Ist-Werts Mobilität folgender Mix angenommen:

- 215'000 Vollzeitstudierende (ca. 88%) und
- 29'000 Weiterzubildende (ca. 12%), davon je 14'500 in CAS und MAS

Weitere Kennwerte zur Ermittlung des jährlichen Mobilitätsaufwands, insbesondere derjenige von **Hochschulangestellten**, wurden dem SIA MB 2039 [5] entnommen. Für die Berechnung der Primärenergie und den Emissionen pro Energiebezugsfläche für Hochschulnutzung (Abbildung 8 und Abbildung 9) waren folgende Daten relevant (vgl. Anhang 1, Abschnitt 7.1):

- Anzahl Hochschulangestellte (Vollzeitäquivalente in 2010): 49'909
- Oberirdische Geschossfläche<sup>2</sup> der Nutzungskategorie «Hochschule»: 3.88 Mio. m<sup>2</sup>

PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )		PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )		THGE (kg/m <sup>2</sup> )	
2010/2015	2050	2010/2015	2050	2010/2015	2050
66	44	104	68	10.7	5.8
Mobilitätsaufwand für Hochschulangestellte gemäss Arbeitsstätten (Modell-Mittelwerte, Ohnmacht et al. 2016, S. 20)					
42	24	44	26	8.3	3.7

Abbildung 8: Mobilitätsaufwand für Weiterbildende/Studierende (schwarz) und Hochschulangestellte (grau) pro Energiebezugsfläche für die Jahre 2010/2015 (Fahrzeugflotte 2016) resp. Fahrzeugflotte 2050.

PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )		PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )		THGE (kg/m <sup>2</sup> )	
2010/2015	2050	2010/2015	2050	2010/2015	2050
<b>108</b>	<b>68</b>	<b>148</b>	<b>94</b>	<b>19.0</b>	<b>9.5</b>

Abbildung 9: Totaler Mobilitätsaufwand für Weiterbildende/Studierende + Hochschulangestellte pro Energiebezugsfläche für die Jahre 2010/2015 (Fahrzeugflotte 2016) resp. Fahrzeugflotte 2050. (Summe aus Abbildung 8)

<sup>2</sup> Für die Berechnung wurde angenommen, dass die oberirdische Geschossfläche der Energiebezugsfläche entspricht. Die Analyse von verschiedenen Hochschulgebäuden bestätigte, dass die Annahme eine genügende Genauigkeit aufweist.

#### 4.1.5 Zwischenergebnis Top-Down

Zur Berechnung der Top-Down-Zielwerte wurde die Summe der ermittelten Ist-Werte aus den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität mit den Reduktionsfaktoren multipliziert. Abbildung 10 stellt das Ergebnis und den Vergleich zu anderen Gebäudekategorien des SIA MB 2040 [1] dar.

REDUKTIONSFAKTOR

	Ist-Wert Erstellung	Ist-Wert Betrieb	Ist-Wert Mobilität	Ist-Wert	Soll-Wert
<b>Wohnen</b>					
PE gesamt in kWh/m <sup>2</sup>	46	262	71	379	216
PE nicht ern. in kWh/m <sup>2</sup>	38	222	68	328	119
THGE in kg/m <sup>2</sup>	10.8	33.8	14.3	58.9	15.0
<b>Verwaltung</b>					
PE gesamt	44	360	116	520	296
PE nicht ern.	37	314	110	461	167
THGE	10.1	34.9	22.2	67.2	17.2
<b>Schule</b>					
PE gesamt	46	246	34	326	185
PE nicht ern.	38	198	32	269	98
THGE	10.7	29.5	6.6	46.8	11.9
<b>Hochschulen</b>					
PE gesamt	42*	337**	148***	527	300
PE nicht ern.	35*	299**	108***	442	159
THGE	9.5*	42.0**	19.0***	70.5	18.3

Folie 44, 27.03.2018  
 \*:Ist-Werte Erstellung → Neubauwerte GEPAMOD 2010  
 \*\*:Ist-Werte Betrieb → Gesamtbest' GEPAMOD 2010  
 \*\*\*: Herleitung → Statistische Grundlagen (SIA-MB 2040)

Abbildung 10: Zielwerte der Gebäudekategorien «Wohnen», «Verwaltung» und «Schule» aus dem Methodikpapier SIA-Effizienzpfad [2] sowie diejenigen aus der vorliegenden Studie für die Gebäudekategorie «Hochschule». Die Ist-Werte Mobilität entsprechen denjenigen aus der Abbildung 9 und basieren auf den im Abschnitt 4.1.4 und in Anhang 2 (Kapitel 8) erwähnten statistischen Grundlagen.

#### 4.1.6 Standardpersonenflächen

Beim Übertrag der Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft (Werte pro Kopf) auf solche für den Gebäudepark ist die Festlegung der Standardpersonenfläche entscheidend. Abbildung 11 stellt die Standardpersonenflächen dar, welche die Basis für den SIA-Effizienzpfad Energie [1] bilden.

Gebäudekategorie		Branche	Standardpersonenflächen
Verwaltung	5.1	Verkehr: Poststellen	45 m <sup>2</sup> EBF / Person (VZÄ)
	6.1	IKT: Informations- und Kommunikationstechnik	
	9.1	Finanzwesen	
	10.1	öffentliche Verwaltung	
	12.2	Gesundheitswesen: Arztpraxen	
	14.1	Unternehmensdienstleistungen	
	15.2	andere Dienstleistungen: Unternehmensdienstleistungen	
15.3	andere Dienstleistungen: persönliche andere Dienstleistungen		
Schule	11.1	Erziehungswesen: Volksschulen	180 m <sup>2</sup> EBF / Person (VZÄ)
Fachgeschäft	4.3	Detailhandel: Non-Food, grosser Laden/Einkaufszentrum	90 m <sup>2</sup> EBF / Person (VZÄ)
	4.4	Detailhandel: Non-Food, Fachgeschäft klein	
Lebensmittelverkauf	4.1	Detailhandel: Food, grosser Laden/Einkaufszentrum	65 m <sup>2</sup> EBF / Person (VZÄ)
	4.2	Detailhandel: Food, Fachgeschäft klein	
Restaurant	8.1	Gastronomie: Restaurants und Bars	65 m <sup>2</sup> EBF / Person (VZÄ)

Abbildung 11: Standardpersonenflächen für die verschiedenen Gebäudekategorien des SIA-Effizienzpfads [2]. Sie wurden im GEPAMOD [3] auf Branchenebene ausgewiesen.

Für die Hochschulnutzung ergaben die Werte aus dem GEPAMOD [3] und aus der Hochschulstatistik (vgl. Kapitel 4.1.4 Ist-Wert Mobilität) folgende Personenflächen:

- Beschäftigte 78 m<sup>2</sup>/Person (VZA)
- Studierende (Vollzeit) 18 m<sup>2</sup>/Person
- Weiterzubildende 134 m<sup>2</sup>/Person
- Studierende +Weiterzubildende (in der Summe) 16 m<sup>2</sup>/Person

Die Werte wurden mit den Kenndaten von verschiedenen Hochschulen verglichen. Im Vordergrund standen dabei die Daten aus dem Mobilitätsplan Hochschulgebiet Zürich, Weidmann et al. [8] (ETH und Universität Zürich), die ermittelten Daten aus der Pilotphase «2000WA in Transformation (Campus Sursee)» [9], die verfügbaren Statistiken zu den verschiedenen Abteilungen der Hochschule Luzern (HSLU) [10, 11] sowie das provisorische Wettbewerbsprogramm zum Campus Horw (HSLU Campus Horw) [12].

Die Auswertung der verschiedenen Kennwerte zu den Personenflächen ist in Abbildung 12 zusammengefasst. Weitergehende Details zur Herleitung dieser Personenflächenwerten, zu den Unterschieden in den verschiedenen Abteilungen der jeweiligen Hochschulen oder zum entsprechenden Verhältnis zwischen der Anzahl Studierenden und Angestellten in den diversen Hochschultypen finden sich im Anhang 1 (Abschnitt 7.2 Analyse Personenflächen).

	Beschäftigte (VzÄ)	Studierende Vollzeit	Weiterzubil- dende	Total Stud.	Stud. (VzÄ)
<b>GEPAMOD</b>	78				
<b>BfS</b>	80	18	134	16	17
<b>ETH</b>	78	65			
<b>Uni</b>	127	17.4			
<b>Sursee</b>	102*	41** (Allg.)			
<b>HSLU</b>	104-121	20-23	32-37	12-14	17-21
<b>HSLU Campus Horw</b>	117-136			18-21	

\* Personen, die täglich pendeln (100 Tagesgäste +200 Mitarb.)

\*\* 750 Übernachtungsgäste (350 Personen im Hotel in EZ, 400 Lehrlinge im Wohnheim in DZ)

Abbildung 12: Personenflächen für Hochschulbeschäftigte und Studierende aus den verschiedenen untersuchten Quellen: GEPAMOD [3], Hochschulstatistik des BfS [7], ETH und Universität Zürich [8], Campus Sursee [9], Hochschule Luzern bestehend [10, 11] sowie dem geplanten Campus in Horw [12].

Die Untersuchung der Personenflächen der verschiedenen Unterlagen zeigte vielfältige Ergebnisse. Einerseits bestehen zwischen den einzelnen untersuchten Hochschulen, und vor allem unter den jeweiligen Abteilungen innerhalb der Hochschulen, grosse Unterschiede. Andererseits stimmten die Kennzahlen, insbesondere bei den Beschäftigten, relativ gut mit den gesamtschweizerischen Werten des Bundesamts für Statistik überein. Die Unterschiede der einzelnen Hochschulen zu diesen statistischen Werten waren zumeist plausibel erklärbar. Fachhochschulen wie die Hochschule Luzern haben beispielsweise in ihren Studiengängen ein vielfältigeres Weiterbildungsangebot als universitäre Hochschulen und weisen deshalb deutlich tiefere Personenflächen für Weiterzubildende aus. Die Unterteilung in explizite Arbeits- und Bildungsflächen der Hochschulen lieferte keine massgeblichen Erkenntnisse für die Bestimmung der Standardpersonenflächen, die den Aufwand für eine entsprechende Differenzierung rechtfertigen würden. Für die Standardpersonenflächen der Gebäudekategorie «Hochschule» werden demnach, in Anlehnung an die Werte des Bundesamts für Statistik, folgende Kennwerte vorgeschlagen:

- Angestellte (231 Arbeitstage/Jahr) 80 m<sup>2</sup>/VZA
- Studierende (Vollzeit, 130d/Jahr) 20 m<sup>2</sup>/Person
- Weiterzubildende (Teilzeit, 84d/Jahr) 130 m<sup>2</sup>/Person
- Studierende + Weiterzubildende (Summe) 15 m<sup>2</sup>/Person

## 4.2 Bottom-Up-Ansatz

### 4.2.1 Erstellung

Die bisherigen Erfahrungen im Rahmen des SIA-Effizienzpfads Energie [1] haben gezeigt, dass die Richtwerte Erstellung gegenüber den heutigen Ist-Werten realistischerweise nur unwesentlich reduziert werden können. Der Vorschlag für die Richtwerte wurde deshalb in Anlehnung an den Ist-Wert Erstellung Neubau aus dem GEPAMOD [3], dem Vergleich zu den anderen Gebäudekategorien aus dem Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie [2] sowie einem durchgerechneten Gebäudebeispiel erarbeitet (vgl. Abbildung 13).

Bei der  $PE_{ne}$  liegen die bestehenden Richtwerte der Gebäudekategorien «Verwaltung», «Fachgeschäft», «Lebensmittelverkauf» und «Restaurant» leicht über dem Ist-Wert. Bei «Wohnen» und «Schule» liegen die Richtwerte hingegen deutlich darunter. Bei den THGE liegt der Richtwert bei sämtlichen Kategorien unter dem Ist-Wert. Gemäss Methodikpapier [2] ist bei der Grauen Energie der Baumaterialien und der Verkehrsinfrastruktur (Teil der Mobilitätsenergie) auch längerfristig keine starke Reduktion zu erwarten. Am ehesten kann der Aufwand für die Erstellung der Gebäude durch die Kompaktheit der Baukörper, insbesondere ein günstiges Verhältnis zwischen Geschoss- und Energiebezugsfläche, und durch die Materialwahl beeinflusst werden. Diese Massnahmen wirken sich bei den THGE stärker als bei der  $PE_{ne}$  aus.

Beim analysierten Gebäude handelt es sich um das neue Hochschulgebäude der HSLU in der «Saurstoffi» bei Rotkreuz. Pläne und Berechnungsgrundlagen dazu finden sich im Anhang 1 (Abschnitt 7.3). Der siebengeschossige Bau besticht durch seine kubische, kompakte Form und ist in Massivbauweise mit einer Holzelementfassade erstellt. Die Berechnung des Erstellungsaufwands erfolgte anhand der Bauteilflächen aus dem SIA 2040 Tool [13] und ergab folgende Projektwerte:  $PE_{ne}$  38 kWh/m<sup>2</sup>, THGE 10.4 kg/m<sup>2</sup>. Die Werte entsprechen ziemlich genau dem Ist-Wert der Gebäudekategorie «Schule» und sind höher als die GEPAMOD-Hochschulneubauwerte. Letzteres erstaunt angesichts des hohen Kompaktheitsgrades des Gebäudes etwas. In dieser Hinsicht dürften kaum bessere Werte erzielt werden können. Die hohen THGE-Werte lassen sich vor allem durch die überdurchschnittlich grosse PV-Anlage (nahezu 800m<sup>2</sup> Panelfläche) und durch die Betondeckenstärken von nahezu 50cm erklären. (Die Version 2017 des SIA 2040 Tools [13] erlaubt erstmals eine Differenzierung der Betondeckenstärken. Die berechneten Werte mit der vorgängigen Version lagen entsprechend tiefer). Zudem ist das Gebäude mit einem erstellungsintensiven Erdsondenfeld ausgestattet.

Ohne PV-Anlage würden sich für die «Saurstoffi» Projektwerte von 34 kWh/m<sup>2</sup>, respektive 9.4 kg/m<sup>2</sup> ergeben. Diese Werte liegen erwartungsgemäss unterhalb des Ist-Werts Erstellung Neubau aus dem GEPAMOD [3].

Als Neubaurichtwerte für die Kategorie «Hochschule» werden 40 kWh/m<sup>2</sup>, respektive 10.5 kg/m<sup>2</sup> vorgeschlagen. Der Vorschlag gleicht sich bei der  $PE_{ne}$  der Kategorie «Verwaltung» an. Deren Ist-Wert Erstellung bei der  $PE_{ne}$  liegt im Bereich der Kategorie «Hochschule». Ein analoger Richtwert erscheint erreichbar. Bei den THGE wird bewusst ein höherer Richtwert als bei den anderen Kategorien vorgeschlagen. Bei Hochschulen sind überdurchschnittliche Spannweiten durchaus die Regel. Bei Massivbauten – und diese werden bei Hochschulbauten ebenfalls mehrheitlich anzutreffen sein – wirkt sich dies auf die Betondeckenstärken aus, was insbesondere die Grauen THGE des Gebäudes stark beeinflusst. Hochschulbauten zeichnen sich zudem durch überdurchschnittliche Geschosshöhen aus. Das heisst, dass in der Regel mehr Fassadenfläche, und dementsprechend mehr Fensterfläche, pro EBF als bei anderen Gebäudekategorien anfällt. Der Erstellungsaufwand von Fenstern macht sich bei den THGE stärker bemerkbar als bei der  $PE_{ne}$ . Aufgrund der Vorbildfunktion von öffentlichen Bauten ist auch davon auszugehen, dass Hochschulbauten oftmals Energiekonzepte aufweisen werden, die verstärkt auf erneuerbare Energien basieren. Überdurchschnittlich grosse PV-Anlagen, und somit ein höherer Erstellungsaufwand dürften die Regel sein.

Dass die Richtwerte so angesetzt werden, dass das berechnete überaus kompakte Beispielgebäude der «Saurstoffi» nur knapp darunter liegen, mag auf ersten Blick erstaunen. Weniger kompakte Ge-



bäude, die viel in einen optimalen Betrieb investieren (z.B. durch ausgedehnte PV-Flächen oder ein Erdsondenfeld) werden den hohen Wert im Bereich *Erstellung* mit einem vergleichsweise tiefen Wert im Bereich *Betrieb* entsprechend kompensieren können. Kompaktere Gebäude, die weniger in den *Betrieb* investieren, werden hingegen im Bereich *Erstellung* deutlich tiefere Werte ausweisen.

Erstellung	PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )		THE (kg/m <sup>2</sup> )	
	Ist-Wert	Richtwert	Ist-Wert	Richtwert
Wohnen	38	30	10.8	9.0
Verwaltung	37	40	10.1	9.0
Schule	38	30	10.7	9.0
Fachgeschäft	37	40	10.3	9.0
Lebensmittelverkauf	37	40	10.3	9.0
Restaurant	39	40	10.9	9.0
Hochschulen	35*	40	9.5*	10.5
	reales Beispiel		reales Beispiel	
«Saurstoffi»	38		10.4	
«Saurstoffi» ohne PV	34		9.4	

\* Ist-Werte Erstellung → Neubauwert GEPAMOD 2010

Abbildung 13: Ist-Werte und Richtwerte Erstellung für Neubauten der Gebäudekategorien aus dem Methodikpapier zum SIA MB 2040 [2] (weisse Feldern) sowie Ist-Werte gemäss GEPAMOD [3] und vorgeschlagene Richtwerte für die Gebäudekategorie «Hochschule» (hellgrüne Felder). Darunter die berechneten Projektwerte für das «Saurstoffi»-Gebäude der HSLU in Rotkreuz (rote Felder).

#### 4.2.2 Betrieb

Bei der Festlegung des Richtwerts Betrieb anhand des Bottom-Up-Ansatzes ist der Grundsatz «hart aber machbar» besonders wichtig. Die Unterschiede können in Abhängigkeit der gewählten Energiequelle zur Wärmeerzeugung massiv sein. Um den möglichen Richtwert anzunähern, wurden im Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie [2] bei fiktiven Referenzgebäuden die Default-Werte für den Betrieb gemäss SIA 2040 eingesetzt. Diese können mit den heute verfügbaren technischen Mitteln erreicht werden. Der Heizwärmebedarf wurde 20% tiefer als der Grenzwert nach SIA 380/1:2016 angenommen. Zur Wärmeerzeugung wurde eine Wärmepumpe gewählt. Auf den Dachflächen wurde eine PV-Anlage eingesetzt, die je nach Gebäudekategorie zwischen 9 und 30 % des Elektrizitätsbedarfs im Gebäude abdeckte. Für den Restbedarf an Strom wurde der CH-Verbrauchermix eingesetzt. Derselbe Grundgedanke wurde bei der Ermittlung des Richtwerts Betrieb für Hochschulen angewendet. Der erwartete Betriebsaufwand von Hochschulen wurde anhand des angenommenen Flächenmix aus dem GEPAMOD [3] sowie dem Arbeitspapier zum Projekt «Harmonisierung der SIA-Standardwerte» [14] mit den Verbrauchszahlen aus dem SIA MB 2024 [15] und aus dem Minergie Strommodell für Zweckbauten [16] berechnet und verglichen. Details zu den Berechnungsannahmen sind im Anhang 1 (Abschnitt 7.5 «Bottom-Up-Ansatz Betrieb – Detaillierte Informationen zur Herleitung») ersichtlich.

Für den Flächenmix nach GEPAMOD [3] ergaben sich bei der Berechnung 111 kWh/m<sup>2</sup>, respektive 5.7 kg/m<sup>2</sup> (Annahme: 20% des allg. Strombedarfs werden durch die eigene PV-Anlage gedeckt, der Rest durch den CH-Verbrauchermix; COP der Wärmepumpe 3.0). Der Flächenmix gemäss SIA-Harmonisierung lieferte etwas tiefere Werte: 88 kWh/m<sup>2</sup>, respektive 4.6 kg/m<sup>2</sup>. Letztere Hochschulwerte für den Bereich Betrieb liegen sowohl bei den PE<sub>ne</sub> als auch bei den THGE nahezu 20% über

denjenigen der Verwaltungsbauten. Gegenüber den Werten der Gebäudekategorie «Schule» betragen die Hochschulwerte über das Doppelte (Abbildung 14).

Betrieb	PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )		THE (kg/m <sup>2</sup> )	
	Default-Werte bei Wärmepumpe und Anteil PV	Richtwert	Default-Werte bei Wärmepumpe und Anteil PV	Richtwert
Wohnen	56	<b>60</b>	2.9	<b>3.0</b>
Verwaltung	75	<b>80</b>	3.9	<b>4.0</b>
Schule	37	<b>50</b>	1.9	<b>2.0</b>
Fachgeschäft	114	<b>130</b>	5.9	<b>5.9</b>
Lebensmittelverkauf	573	<b>520</b>	29.5	<b>29.0</b>
Restaurant	190	<b>200</b>	9.8	<b>10.0</b>
Hochschulen		<b>100</b>		<b>5.0</b>
Nutzungsmix GEPAMOD	111*		5.7*	
Nutzungsmix SIA-Harmonisierung	88*		4.6*	
	Reale Beispiele	CH-Verbr./ Zert.**	Reale Beispiele	CH-Verbr./ Zert**
Suurstoffi (Neubau)	<b>94</b> <b>71</b>	100% / 0% 75% / 25%	<b>4.9</b> <b>3.8</b>	100% / 0% 75% / 25%
UNIL (Neubau+Umbau)	<b>146</b> <b>112</b> <b>8</b>	100% / 0% 75% / 25% 0% / 100%	<b>8.6</b> <b>7.0</b> <b>2.1</b>	100% / 0% 75% / 25% 0% / 100%

\* Werte berechnet mit Default-Werten bei Wärmepumpen und Anteil PV (20% des allg. Stromverbrauchs). Der Stromrestbedarf wird durch den CH-Verbrauchermix gedeckt. Berechnungsdetails gemäss Anhang 1, Abschnitt 7.5.1.

\*\* Der Strommix bezieht sich auf die Restmenge des Strombedarfs abzüglich der PV-Produktion. Es wurden KBOB-Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissions-Koeffizienten für den CH-Verbrauchermix und den Mix zertifizierter Stromprodukte CH eingesetzt.

Abbildung 14: Ist-Werte und Richtwerte Betrieb für Neubauten der Gebäudekategorien aus dem Methodikpapier zum SIA MB 2040 [2] (weisse Felder), berechnete Betriebswerte für Beispielhochschulanlagen mit dem Raumnutzungsmix gemäss GEPAMOD [3] und Harmonisierung SIA-Standardwerte [14] sowie der vorgeschlagene Richtwert für die Kategorie «Hochschule» (hellgrüne Feldern). Darunter die Verbrauchswerte des Suurstoffi»-Gebäudes der HSLU in Rotkreuz und die Projektwerte der UNIL, berechnet mit Strommix-Varianten (rote Felder).

Als Richtwerte werden 100 kWh/m<sup>2</sup>, respektive 5.0 kg/m<sup>2</sup> vorgeschlagen. Diese liegen somit 25% höher als diejenigen für Verwaltungsbauten. Bei den meisten anderen Gebäudekategorien betragen die Richtwerte jeweils etwas mehr als die berechneten Default-Werte. Die vorgeschlagenen Richtwerte für die Hochschulbauten liegen zwischen den berechneten Default-Werten mit dem GEPAMOD-Nutzungsmix [3] und dem Nutzungsmix gemäss SIA-Harmonisierung [14]. Da Hochschulbauten in der Regel durch die öffentliche Hand initiiert und betrieben werden, gehen wir davon aus, dass etwas strengere Anforderungen realistisch sind. Solche Bauten haben oft auch eine gewisse Vorbildfunktion zu erfüllen. Bessere JAZ-Werte für die Wärmepumpe sind technisch bereits möglich. Bei einem Strommix mit einem Anteil von 25% zertifizierter Stromprodukte<sup>4</sup> lagen zudem die Default-Werte gemäss GEPAMOD-Nutzungsmix [3] ebenfalls bereits deutlich unter den vorgeschlagenen Richtwerten.

<sup>4</sup>: In allen Berechnungen wurden für zertifizierten Stromprodukte die Primärenergiefaktoren und die Treibhausgaskoeffizienten des «Mix zertifizierter Stromprodukte CH» verwendet (ID: 45.022 KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich 2014 [17])

Beim zur Plausibilisierung herangezogenen Gebäude «Suurstoffi» der HSLU-Rotkreuz wurden die Richtwerte auch ohne zusätzliche Berücksichtigung von zertifizierten Stromprodukten für den nicht durch die eigene PV-Anlage gedeckten Strombedarf unterboten. Die grosse PV-Anlage wirkt sich beim Betrieb selbstverständlich positiv aus. Im Bereich Erstellung hatte sie erwartungsgemäss eine gegenteilige Wirkung. Die Summe beider Bereiche ist schlussendlich für die Einhaltung des Zielwerts relevant. Die Richtwerte in der Studie wurden so angelegt, dass sie vom «Suurstoffi»-Gebäude eingehalten werden können.

Suurstoffi: Variation Wärmeerzeugung	PEne kWh/m <sup>2</sup>	Strommix CH / Zert.*	PEges kWh/m <sup>2</sup>	Strommix CH / Zert.*	THGE kg/m <sup>2</sup>	Strommix CH / Zert.*
WP mit Erdsonden (JAZ 3.0)	<b>94</b>	100% / 0%	<b>110</b>	100% / 0%	<b>4.9</b>	100% / 0%
	<b>71</b>	75% / 25%	<b>93</b>	75% / 25%	<b>3.8</b>	75% / 25%
Pelletsfeuerung (JAZ 0.7)	<b>52</b>	100% / 0%	<b>183</b>	100% / 0%	<b>5.7</b>	100% / 0%
	<b>45</b>	75% / 25%	<b>178</b>	75% / 25%	<b>4.5</b>	75% / 25%
Fernwärme (JAZ 1.0)	<b>75</b>	100% / 0%	<b>107</b>	100% / 0%	<b>10.8</b>	100% / 0%
	<b>68</b>	75% / 25%	<b>104</b>	75% / 25%	<b>10.6</b>	75% / 25%

Abbildung 15: Variation am realen HSLU-Gebäudebeispiel Suurstoffi für die Wärmeerzeugung und den Strommix. Die Tabelle zeigt die resultierenden PE- und THG-Werte bei heutigem Verbrauch für das aktuelle Wärmeerzeugungssystem (Wärmepumpe mit Erdsonden), eine fiktive Pelletsfeuerung und einen Fernwärmeanschluss (CH-Durchschnitt) jeweils bei 100% CH-Verbrauchermix oder 25% Mix zertifizierter Stromprodukte CH gemäss KBOB [17] am Reststrombedarf.

Das Beispielgebäude wurde ebenfalls mit alternativen Wärmeerzeugungssystemen berechnet. Mit einer Holzfeuerung und einem Anteil an Strom aus erneuerbaren Quellen sollten die Richtwerte ebenfalls realisierbar sein (Abbildung 15). Ob der Richtwert für die THGE für Wärmeerzeugungssysteme, die nicht auf Wärmepumpen basieren, allenfalls noch etwas zu streng ist, wird sich idealerweise nach Abschluss der Pilotphase der «2000WA in Transformation» zeigen.

Bei Umbauten wird davon ausgegangen, dass diese einen höheren Heizwärmebedarf sowie ineffizientere Gebäudetechniksysteme aufweisen. Die Richtwerte Umbau sind entsprechend höher angesetzt als diejenige für Neubau. In der Regel ergeben sich die Richtwerte Umbau im Betrieb bei der Primärenergie aus der Differenz zwischen [Richtwerten Erstellung + Betrieb Neubau] und dem [Richtwert Erstellung Umbau].

### 4.2.3 Mobilität

Bei der Mobilität kann künftig ein grösseres Einsparpotenzial ausgemacht werden. Einerseits wird rein durch die Effizienzsteigerung der Fahrzeugflotte eine deutliche Verbesserung erwartet. Dies ergibt die klare Differenz zwischen den Ist-Werten der Flotte 2015 zu denjenigen der Flotte 2050 in der Abbildung 16. Andererseits wird durch zentrale Lage und gute Anbindung an den öffentlichen Verkehr der Mobilitätsaufwand weiter reduziert werden können. Der Ist-Wert mit der Fahrzeugflotte 2050 ist demnach bei der Richtwertfestlegung von hoher Bedeutung. Mit Ausnahme der Gebäudekategorie «Schule» liegen die Richtwerte Mobilität in der Regel ca. 30% unterhalb des 2050-Ist-Werts.

Geht man vom Ist-Wert für die Flotte 2050 von PE<sub>ne</sub> 68 kWh/m<sup>2</sup> bzw. THGE 9.5 kg/m<sup>2</sup> für die Gebäudekategorie «Hochschule» aus (vgl. Abschnitt 4.1.4 «Ist-Wert Mobilität»), würden sich für die Richtwerte Mobilität gemäss obigem Berechnungsansatz (Reduktion um 30%) 50 kWh/m<sup>2</sup> (PE<sub>ne</sub>) bzw. 7.0 kg/m<sup>2</sup> (THGE) ergeben. Aufgrund der untenstehend bzw. im Anhang 1 beschriebenen Berechnungen des Mobilitätsaufwands von mehreren Hochschulanlagen und den entsprechenden Überlegungen dazu wurde jedoch entschieden die Richtwerte anzuheben. Die vorgeschlagenen Richtwerte lauten 60 kWh/m<sup>2</sup> (PE<sub>ne</sub>) bzw. 8.0 kg/m<sup>2</sup> (THGE).

Damit würde der Richtwert für Hochschulen bei der PE<sub>ne</sub> um 50% höher liegen als derjenige für Verwaltung. Bei den THGE wäre er ebenfalls höher, der Unterschied wäre jedoch kleiner, nämlich rund 30%. Dies entspricht auch den Beobachtungen bei der Ermittlung des Ist-Werts und bei den berech-

neten Beispielen: Das Mobilitätsaufkommen bei Hochschulen ist heute im Vergleich zu demjenigen von Verwaltungsbauten ähnlich bzw. höher und basiert stärker auf öffentlichen, somit treibhausgasärmeren Verkehrsmitteln.

Die Plausibilisierung der Mobilitätsrichtwerte erfolgte anhand der Projektwerte der Pilotphase für «2000WA in Transformation» unter Anwendung der Mobilitätswerte der Flotte 2050, aber vor allem anhand von berechneten Beispielen basierend auf HSLU-Gebäuden und -Daten:

Zwei HSLU-Abteilungen an zwei verschiedenen Standorten wurden im Detail analysiert: die Technik & Architektur (T&A) in Horw, als Beispiel für eine Hochschule in der Agglomeration (ÖV-Güteklasse C), und die Wirtschaftsabteilung (W) beim Bahnhofgebäude in Luzern, als Beispiel einer Hochschule im Zentrum (ÖV-Güteklasse AB). Der Mobilitätsaufwand wurde jeweils unter Anwendung zweier Berechnungsmethoden ermittelt: einmal mit der effektiven Anzahl Angestellter und Studierender (unterteilt in Vollzeit- und Teilzeitstudierenden), einmal anhand der im Abschnitt 4.1.6 vorgeschlagenen Standardpersonenflächen. Die Details zu den Berechnungen finden sich im Anhang 7.6 «Mobilität – Plausibilisierungsbeispiele zum Bottom-Up-Ansatz».

Das Beispiel in Horw zeigt zwei Aspekte der Mobilitätsberechnung. Geht man vom Mobilitätsaufwand der effektiven Anzahl Studierender und Angestellter aus, wird der vorgeschlagene Richtwert Mobilität für Hochschulen unterschritten. Benutzt man bei der Berechnung jedoch die entsprechenden Standardpersonenflächen, wird der Richtwert sowohl bei den  $PE_{ne}$  als auch bei den THGE knapp nicht eingehalten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Hochschulanlage in Horw nicht flächeneffizient genutzt wird und im Durchschnitt weniger Angestellte und Studierende pro EBF anfallen. Der so berechnete Mobilitätswert der Hochschulanlage in Horw liesse sich allerdings in der Realität verbessern, beispielsweise durch eine Reduktion der effektiven Anzahl an Parkplätzen.

Bei der HSLU-W zeigt sich der gegenteilige Effekt der Flächeneffizienz. Berechnet man den Mobilitätsaufwand mit der Standardpersonenfläche wird der Richtwert deutlich unterschritten. Dies erstaunt aufgrund der bahnhofsnahe Lage und der kaum vorhandenen Parkplätze nicht. Die im Verhältnis zur EBF überdurchschnittlich hohe Anzahl an Studierende und Angestellte führt hingegen dazu, dass bei der entsprechenden Berechnung die Richtwerte überschritten werden. Dies zeigt die Problematik der Erfassung des Mobilitätsaufwands auf, wenn die an und für sich positive Flächeneffizienz nicht berücksichtigt wird. Interessant wäre bei der HSLU-W eine Erfassung des effektiven Mobilitätsaufwands anhand einer statistischen Umfrage. Es ist davon auszugehen, dass die effektiven THGE aufgrund der überdurchschnittlichen Nutzung des ÖVs im Vergleich zum Mobilitätsdurchschnitt niedriger sein dürften. Dafür werden durch die gute Zuganbindung höchstwahrscheinlich überdurchschnittlich hohe Wege zurückgelegt. Die neuere HSLU-W deutet an, dass künftig Hochschulflächen effizienter genutzt werden dürften. Dabei spielt die Diversifizierung des Bildungs- und Weiterbildungsangebots ebenfalls eine Rolle. Dass die Richtwerte für «Hochschulen» generell höher angesetzt werden als diejenigen für «Verwaltung», erscheint unter diesen Aspekten plausibel.

Die Beispiele der Pilotphase «2000WA in Transformation» übertreffen die Richtwerte bei den THGE. Sie stammen aus den entsprechenden Berichten der Pilotphase und sind vorwiegend mit auf die Nutzungskategorie «Büro» basierenden Daten ermittelt worden. Sie sollten anhand der in der Studie ermittelten durchschnittlichen Werte für Studierende und Angestellte in Hochschulen nochmals überprüft werden und können in der bisher vorliegenden Form nicht zur Plausibilisierung herangezogen werden.

Mobilität	PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )			THE (kg/m <sup>2</sup> )		
	Ist-Werte Flotte 2015	Ist-Werte Flotte 2050	Richtwert Flotte 2050	Ist-Werte Flotte 2015	Ist-Werte Flotte 2050	Richtwert Flotte 2050
Wohnen	68	36	<b>30</b>	14.3	6.5	<b>4.0</b>
Verwaltung	110	61	<b>40</b>	22.2	9.9	<b>7.0</b>
Schule	32	18	<b>20</b>	6.6	3.6	<b>3.0</b>
Fachgeschäft	98	53	<b>30</b>	20.5	9.0	<b>6.0</b>
Lebensmittelverkauf	367	196	<b>120</b>	77.5	34.1	<b>20.0</b>
Restaurant	407	217	<b>140</b>	84.3	38.4	<b>24.0</b>
Hochschulen	108*	68	<b>60</b>	19.0*	9.5	<b>8.0</b>
		Flotte 2050	Kalkulation**		Flotte 2050	Kalkulation**
HSLU T&A, Horw (Agglomeration)		<b>50</b> <b>67</b>	Effektive PF Standard-PF		<b>7.5</b> <b>10.0</b>	Anzahl real Standard-PF
HSLU W, Luzern (Zentrum)		<b>72</b> <b>44</b>	Effektive PF Standard-PF		<b>8.8</b> <b>5.5</b>	Anzahl real Standard-PF
Campus Sursee		<b>57</b>	Pilotphase		<b>9.1</b>	Pilotphase
UNIL		<b>49</b>	Pilotphase		<b>8.3</b>	Pilotphase

\* Ist-Werte gemäss statistischen Grundlagen aus dem Top-Down-Ansatz (vgl. Abbildung 9)

\*\* Bei der Kalkulation der Plausibilisierungsbeispiele wurden bei den HSLU-Abteilungen einerseits die reale Anzahl Studierende und Mitarbeitende eingesetzt (Var. «reale Anzahl») verwendet oder die im Abschnitt 4.1.6 vorgeschlagenen Standardpersonnenflächen angenommen. Die Werte des Campus Sursee und der UNIL stammen aus den jeweiligen Überlegungen der Projektteams aus der Pilotphase «2000WA in Transformation».

**Abbildung 16: Ist-Werte und Richtwerte Mobilität der Gebäudekategorien aus SIA MB 2040 [1] (weisse Felder) sowie Ist-Wert gemäss Berechnungsgrundlagen der Mobilität von 2000WA (Anhang 2) und der vorgeschlagene Richtwert für die Kategorie «Hochschule» (hellgrüne Felder). Darunter die berechneten Projektwerte mit Flotte 2050 der HSLU-Abteilungen Wirtschaft und T&A sowie für Campus Sursee und UNIL aus Pilotphase «2000WA in Transformation» (rote Felder) Die UNIL-Werte sind für Plausibilisierung nicht anwendbar, da mit Standardwerten Kategorie «Büro» ermittelt.**

#### 4.2.4 Zwischenergebnis Bottom-Up

Abbildung 17 fasst die anhand des Bottom-Up-Ansatzes hergeleiteten Richtwerte für die Gebäudekategorie «Hochschule» zusammen und erlaubt den Vergleich mit den Richtwerten für die Gebäudekategorien «Wohnen», «Verwaltung» und «Schule». Es wird deutlich, dass die Bottom-Up-Richtwerte von Hochschulen näher bei denjenigen der Gebäudekategorie «Verwaltung» liegen als zu solchen der Gebäudekategorie «Schule». In der Regel liegen sie sogar höher als die Werte für «Verwaltung».

Die Gegenüberstellung der auf Bottom-Up- respektive Top-Down-Ansatz basierenden Zielwerten zeigt, dass die Bottom-Up-Werte durchwegs etwas höher als die Top-Down-Werte liegen. Will man tatsächlich gesamthaft am Ziel eines 2000-Watt-kompatiblen Gebäudeparks festhalten, ist der mögliche Beitrag der jeweiligen Nutzungen abzuschätzen, und daraus folgend einen realistischen Zielwert für die Gebäudekategorie «Hochschulen» zu bestimmen.

2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

	<b>Richtwert Erstellung Neu-/Umbau</b>	<b>Richtwert Betrieb Neu-/Umbau</b>	<b>Richtwert Mobilität Neu-/Umbau</b>	<b>Zielwert SIA 2040 gew. Neu-/Umbau</b>	<b>Soll-Werte</b>
<b>Wohnen</b>					
PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	35/25	140/150	35	<b>210</b>	<b>216</b>
PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	30/20	60/70	30	<b>120</b>	<b>119</b>
THGE (kg/m <sup>2</sup> )	9.0/5.0	3.0/5.0	4.0	<b>14.7</b>	<b>15.0</b>
<b>Verwaltung</b>					
PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	45/25	190/210	45	<b>280</b>	<b>296</b>
PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	40/20	80/100	40	<b>160</b>	<b>167</b>
THGE (kg/m <sup>2</sup> )	9.0/6.0	4.0/6.0	7.0	<b>19.3</b>	<b>17.2</b>
<b>Schule</b>					
PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	35/25	120/130	26	<b>180</b>	<b>185</b>
PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	30/20	50/60	20	<b>100</b>	<b>98</b>
THGE (kg/m <sup>2</sup> )	9.0/6.0	2.0/4.0	3.0	<b>13.3</b>	<b>11.9</b>
<b>Hochschule</b>					
PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	45/30*	220**/235	70	<b>335***</b>	<b>300****</b>
PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	40/25*	100/115	60	<b>200***</b>	<b>159****</b>
THGE (kg/m <sup>2</sup> )	10.5/7.0*	5.0/7.5	8.0	<b>22.8***</b>	<b>18.3****</b>

\* Richtwert Umbau ca. 60%; \*\* PE<sub>tot</sub> geschätzt; \*\*\* Bottom-Up Wert; \*\*\*\* Top-Down Wert

Abbildung 17: Richt- und Zielwerte der Gebäudekategorien aus dem Methodikpapier zum SIA MB 2040 [2] (in den weissen Feldern) im Vergleich zum Sollwert gemäss Top-Down-Ansatz. Im unteren Bereich die entsprechenden Werte aus dem Bottom-Up- sowie dem Top-Down-Ansatz für die Nutzungskategorie «Hochschule» (hellgrüne Felder).

### 4.3 Vorschlag Richt- und Zielwerte

Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die anhand der Studienerkenntnisse vorgeschlagenen Richt- und Zielwerte für die Gebäudekategorie «Hochschule» auf, zuerst für Neubauten, danach für Umbauten. Die Abbildungen fassen die Herleitung der Zielwerte anhand der beiden Ansätze (Top-Down und Bottom-Up) zusammen. Der Vorschlag für die Richtwerte hält sich durchwegs an die Bottom-Up-Werte. Die Auswahl aus den Projektwerten der verschiedenen analysierten Hochschulbeispiele dient als Orientierung bei der Diskussion des Vorschlags. Aus den Berechnungen zu den Pilotprojekten Campus Sursee und UNIL lassen sich leider die Werte für Umbauten und Neubauten nicht einfach separieren. Darauf kann idealerweise bei der weiteren Bearbeitung der Projekte noch eingegangen werden.

NEUBAU	SIA 2039 /GEPAM OD	Top-Down Ansatz (Reduktionsf.)		Suurstoffi (Neubau)		Campus Sursee (Neu-+Umbau)*		UNIL (Neu-+ Umbau)**		Bottom-Up Ansatz (Top-Hochschule)		Vorschlag «Hochschule» (Neubau)	
	"Ist-Werte 2010"	Zielwerte 2050	Projektwert + Messung	Total Projekt	Projektwert Transform.	Total Projekt	Projektwert Transform.	Total Projekt	Richtwerte 2050	Zielwerte 2050	Richtwerte 2050	Zielwerte 2050	
PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>527</b>	<b>300</b>		<b>0</b>		<b>238</b>		<b>255.6</b>		<b>335</b>		<b>335</b>	
Erstellung	42		<i>n. V.</i>		32		57.2		45		<b>45</b>		
Betrieb	337		89*		144		140.4***		220		<b>220</b>		
Mobilität	148		<i>n. V.</i>		62		58		70		<b>70</b>		
PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>442</b>	<b>159</b>		<b>0</b>		<b>126</b>		<b>207.1</b>		<b>200</b>		<b>200</b>	
Erstellung	35		38		26		52		40		<b>40</b>		
Betrieb	299		66*		43		106.1***		100		<b>100</b>		
Mobilität	108		<i>n. V.</i>		57		49		60		<b>60</b>		
THGE (kg/m <sup>2</sup> )	<b>70.5</b>	<b>18.3</b>		<b>0</b>		<b>19.3</b>		<b>25.6</b>		<b>23.5</b>		<b>23.5</b>	
Erstellung	9.5		10.4		4.9		11.7		10.5		<b>10.5</b>		
Betrieb	42.0		2.8*		5.3		5.6***		5.0		<b>5.0</b>		
Mobilität	19.0		<i>n. V.</i>		9.1		8.3		8.0		<b>8.0</b>		

\* Werte aus: Schürmann, K. (Hans Abicht AG), „Campus Sursee. 2000-Watt-Areal in Transformation. Machbarkeitsstudie“

\*\* Werte gemäss Herleitung im Abschnitt 7.4 Hochschulareal UNIL

\*\*\* Wert mit Elektrizität 25 % Mix zertifizierter Stromprodukte CH, 75% CH-Verbrauchermix

Abbildung 18: vorgeschlagene Richt- und Zielwerte für die Gebäudekategorie «Hochschule Neubau» (rosa Spalte ganz rechts). Links (graue und lila Spalte) wird die Herleitung der Zielwerte mit dem Top-Down Ansatz aufgezeigt. Die hellgrüne Spalte rechts stellt die anhand des Bottom-Up-Ansatzes hergeleiteten Richtwerte dar. Dazwischen sind Projektwerte aus verschiedenen analysierten Beispielbauten und -arealen festgehalten, die der Plausibilisierung der vorgeschlagenen Hochschulwerten dienen.

2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

UMBAU	SIA 2039/ GE- PAMOD	Top-Down Ansatz (Re- duktionsf.)		HSLU Horw (Bestand)		Campus Sur- see (Neu- +Umbau)*		UNIL (Umbau)**		Bottom-Up Ansatz (Top-Hochschule)		Vorschlag «Hochschule» (Umbau)	
	"Ist-Werte 2010"		Zielwerte 2050	Projektwert + Messung	Total Projekt	Projektwert Transform.	Total Projekt	Projektwert Transform.	Total Projekt	Richtwerte 2050	Zielwerte 2050	Richtwerte 2050	Zielwerte 2050
PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>527</b>		<b>300</b>		<b>0</b>		<b>238</b>		<b>336.6</b>		<b>335</b>		<b>335</b>
Erstellung	42			<i>n. V.</i>		32		28.6		30		30	
Betrieb	337			<i>n. V.</i>		144		250***		235		235	
Mobilität	148			51****		62		58		70		70	
PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	<b>442</b>		<b>159</b>		<b>0</b>		<b>126</b>		<b>262</b>		<b>200</b>		<b>200</b>
Erstellung	35			<i>n. V.</i>		26		26		25		25	
Betrieb	299			<i>n. V.</i>		43		187***		115		115	
Mobilität	108			38****		57		49		60		60	
THGE (kg/m <sup>2</sup> )	<b>70.5</b>		<b>18.3</b>		<b>0</b>		<b>19.3</b>		<b>25.5</b>		<b>22.5</b>		<b>22.5</b>
Erstellung	9.5			<i>n. V.</i>		4.9		7.8		7.0		7.0	
Betrieb	42.0			<i>n. V.</i>		5.3		9.4***		7.5		7.5	
Mobilität	19.0			4.2****		9.1		8.3		8.0		8.0	

\* Werte: Schürmann, K. (Hans Abicht AG), „Campus Sursee. 2000-Watt-Areal in Transformation. Machbarkeitsstudie“

\*\* Werte gemäss Herleitung im Abschnitt 7.4 Hochschulareal UNIL

\*\*\* Wert mit Elektrizität 25 % Mix zertifizierter Stromprodukte CH, 75% CH-Verbrauchermix

\*\*\*\* Wert mit der realen Anzahl Studierende und Angestellte

Abbildung 19: vorgeschlagene Richt- und Zielwerte für die Gebäudekategorie Hochschule «Umbau» (rosa Spalte ganz rechts). Links (graue und lila Spalte) wird die Herleitung der Zielwerte mit dem Top-Down Ansatz aufgezeigt. Die hellgrüne Spalte rechts stellt die anhand des Bottom-Up-Ansatzes hergeleiteten Richtwerte dar. Dazwischen sind Projektwerte aus verschiedenen analysierten Beispielbauten und -arealen festgehalten, die der Plausibilisierung der vorgeschlagenen Hochschulwerten dienen.



## 5 Diskussion

Die Analyse der im Rahmen der Studie herangezogenen Hochschulanlagen zeigte, dass die vorgeschlagenen Zielwerte anspruchsvoll, mit entsprechenden Massnahmen jedoch vermutlich erfüllbar sein werden.

Der Einsatz von erneuerbaren Energiequellen für den Betrieb der Gebäude, sowohl zur Wärmeerzeugung als auch für den Strombedarf, wird eine Voraussetzung für eine 2000-Watt-Zertifizierung sein. Dies zeigt das Beispiel UNIL eindrücklich auf.

Die Projektwerte der durchgerechneten Hochschulbeispielanlagen aus dem HSLU-Gebäudepark sind für eine erste Plausibilisierung der vorgeschlagenen Richt- und Zielwerten wertvoll. Sie zeigen einerseits die Realisierbarkeit von Hochschulanlagen innerhalb der Zielwerte, andererseits zeigten sie auch die Problematik der auf Schweizer Durchschnittswerte basierenden Berechnungsmethodik. Generell wird behauptet, dass jedes Gebäude anders ist. Bei Hochschulbauten sind die Unterschiede unter den Anlagen besonders ausgeprägt. Dies hat bereits die Analyse der verschiedenen Abteilungen der HSLU eindrücklich aufgezeigt. Der Aspekt gilt es bei allfälligen künftigen Zertifizierungen von Hochschulanlagen zu bedenken. Allenfalls ist dabei mit flexiblen Vorgaben zu reagieren.

Es erscheint sinnvoll, die erarbeiteten Richtwerte mit den in dieser Studie gewonnenen Erkenntnissen im Rahmen der zweiten Phase des Pilotprojekts «2000-Watt-Areale in Transformation» beim Campus Sursee und der UNIL in der vorgeschlagenen Form anzuwenden. Es gilt zu bedenken, dass es in der ersten Bearbeitungsphase der Pilotprojekte bei den ermittelten Werten teilweise um approximative Abschätzungen handelte. Die Berechnungsmethodik zur Ermittlung des Energiebedarfs bei Hochschulbauten war in einigen Aspekten, z.B. bei der Mobilität, noch unklar.

Die definitive Konvalidierung der Richt- und Zielwerte der Gebäudekategorie «Hochschule» sollte anschliessend, im Idealfall anhand von zusätzlichen, konkreteren bzw. detaillierteren Berechnungen sowie der Auswertung der Pilotobjekte, erfolgen.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „SIA Merkblatt 2040, SIA-Effizienzpfad Energie,“ SIA, Zürich, 2017.
- [2] K. Pfäffli, „SIA-Effizienzpfad Energie. Bestimmung der Ziel- und Richtwerte Top-Down und Bottom-Up. Methodikpapier,“ 2017.
- [3] M. Jakob, G. Catenazzi, R. Forster, T. Egli, T. Kaiser, R. Looser, M. Melliger, C. Nägeli, U. Reiter, M. Soini und B. Sunarjo, „Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie,“ 2016.
- [4] Bundesamt für Statistik (BfS) und Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), „Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/erhebungen/mzmv.html>.
- [5] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „SIA Merkblatt 2039, Mobilität - Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort,“ SIA, Zürich, 2016.
- [6] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „SIA Merkblatt 2032, Graue Energie von Gebäuden,“ SIA, Zürich, 2010.
- [7] Bundesamt für Statistik, BfS, „Hochschulstatistik. Ausgabe 2018,“ 27 2 2018. [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bildung-wissenschaft.assetdetail.4482588.html>.
- [8] U. Weidmann, K. W. Axhausen, P. Spacek, B. Alt, G. Anderhub, R. Dorbritz, A. Frei, M. Laube, M. Scherer und C. Weis, „Mobilitätsplan Hochschulgebiet Zürich,“ Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, 2008.
- [9] Schürmann, K. (Hans Abicht AG), „Campus Sursee 2000-Watt-Areal in Transformation,“ in 2. *Workshop für Machbarkeitsstudien*, 2017.
- [10] Hochschule Luzern, HSLU, „Jahresbericht 2016 der Hochschule Luzern,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.hslu.ch/-/media/campus/common/files/dokumente/h/ueber-uns/zahlen-und-fakten/jahresbericht-2016.pdf>.
- [11] Hochschule Luzern, HSLU, „Personensuche,“ 22 3 2018. [Online]. Available: <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/ueber-uns/personensuche/>.
- [12] Wunderlich, C., Zangger, T. (Planconsult), „Erneuerung und Erweiterung Campus Horw. Hochschule Luzern - Technik & Architektur,“ 2017 (Version 1.0).
- [13] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.energytools.ch/index.php/de/downloads/tools/download/2-tools/66-tool-sia-2040-d>.
- [14] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „Harmonisierung SIA-Standardwerte und Gebäudekategorien,“ 4. Entwurf für AG-Sitzung vom 13. November 2017, Zürich.
- [15] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „SIA Merkblatt 2024, Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik,“ SIA, Zürich, 2015.
- [16] S. G. e. GmbH, Minergie Strommodell für Zweckbauten, Zürich: Minergie, 2018.
- [17] Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, KBOB, „Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2014,“ [Online]. Available: [https://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Oekobilanzdaten/Flyer\\_Oekobilanzdaten\\_Oktober\\_2014.pdf](https://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Oekobilanzdaten/Flyer_Oekobilanzdaten_Oktober_2014.pdf).
- [18] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „Flächen und Volumen von Gebäuden,“ SIA, Zürich, 2003.
- [19] U. Bogenstätter, „Flächen- und Raumkennzahlen, ifBOR FRZ 2007-10,“ Institute for Building Operations Research, Nürtingen-Geislingen University, 2007.
- [20] Hochschule Luzern, HSLU, „Jahresbericht 2017 der Hochschule Luzern,“ 2018. [Online]. Available: [https://issuu.com/hslu/docs/180503\\_hslu\\_jahresbericht17\\_a4\\_479d23082a746b/58](https://issuu.com/hslu/docs/180503_hslu_jahresbericht17_a4_479d23082a746b/58).
- [21] P. Lischer, „Kennzahlenentwicklung zum Ressourcenverbrauch an der Hochschule Luzern,“ Luzern, 2018.
- [22] Wegmueller, F., „Université de Lausanne. Etude de planification énergétique dans le cadre du développement du site. Développement des scénarios d’approvisionnement énergétique (provisorisches Dokument),“ 2017.
- [23] elight GmbH, Stefan Gasser, „Strommodell für Zweckbauten,“ Minergie, Zürich, 2018.

- [24] SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, „SIA 380, Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden,“ SIA, Zürich, 2015.
- [25] H. W. H. H. N. J. M. M. G. G. N. Gugerli, „Gebäudeparkmodell. Büro-, Schul- und Wohngebäude. Vorstudie zur Erreichbarkeit der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft für den Gebäudepark der Stadt Zürich. Schlussbericht,“ Juni 2010. [Online]. Available: [http://www.tep-energy.ch/docs/2010\\_06\\_WallbaumHeerenJakob\\_GPM%20ZH\\_Schlussbericht\\_ETHZ\\_NachhaltigesBauenTEP.pdf](http://www.tep-energy.ch/docs/2010_06_WallbaumHeerenJakob_GPM%20ZH_Schlussbericht_ETHZ_NachhaltigesBauenTEP.pdf).
- [26] Energiestadt, energieschweiz, „2000-Watt-Gesellschaft,“ 7 April 2016. [Online]. Available: <http://www.2000watt.ch/>.
- [27] D. Kellenberger, M. Ménard, S. Schneider, M. Org, K. Victor und S. Lenel, „Arealentwicklung für die 2000-Watt-Gesellschaft. Leitfaden und Fallbeispiele,“ 2012..
- [28] „Handbuch zum Zertifikat 2000-Watt-Areal,“ EnergieSchweiz für Gemeinden, Bern, 2017
- [29] Ohnmacht, T., Hirzel, D., Schneider, S & A. Frei, „Erklärungsmodelle für die gebäudestandort-abhängige Mobilität – Methodenbericht SIA 2039 Mobilität: Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort,“ ITW Working Paper Series Mobilität 001/2016, Hochschule Luzern – Wirtschaft, Luzern, 2016

## 7 Anhang 1: Datengrundlagen

### 7.1 Ist-Wert Mobilität – Detaillierte Informationen zur Herleitung

	UH	FH	PH	Mittelwert
Weiterbildung	2007	2670	128	
	6%	15%	2%	8%
Doktorat	3936	60	75	
	12%	0%	1%	7%
Lizenziat/Diplom	100	60	1024	
	0%	0%	18%	2%
Master	13852	2723	1249	
	40%	15%	21%	30%
Bachelor	14319	12866	3374	
	42%	70%	58%	52%
<b>TOTAL</b>	<b>34214</b>	<b>18379</b>	<b>5850</b>	

Abbildung 20: Zusammensetzung «Studierende / Weiterzubildende» in universitären Hochschulen (UH), Fachhochschulen (FH) und pädagogische Hochschulen (PH) in statistischen Daten aus Deutschland.

Anzahl: 244'000 Studierende

Studierende	215'000 Studierende	~88%
Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende		
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)	14'500	
Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)		~12%
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)		
Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)	14'500	

Abbildung 21: letztendliche Annahme für die Berechnung des Ist-Werts Mobilität, basierend auf Angaben des Bundesamts für Statistik (Hochschulstatistik Ausgabe 2018) und der Recherche auf verschiedenen Hochschulen der Schweiz.

Multiplikation:

Jahreswert pro Kopf x Anzahl

	Flotte 2016			Flotte 2050			
	$\frac{PE_{nren}}{GWh}$	PE GWh	THGE 10 <sup>6</sup> kg	$\frac{PE_{nren}}{GWh}$	PE GWh	THGE 10 <sup>6</sup> kg	
Studierende	248	387	40	165	252	22	215'000
Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende	0	0	0	0	0	0	
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)	3	4	0	2	3	0	14'500
Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)	0	0	0	0	0	0	
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)	0	0	0	0	0	0	14'500
Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)	8	13	1	5	8	1	
<b>TOTAL</b>	<b>258</b>	<b>404</b>	<b>42</b>	<b>172</b>	<b>263</b>	<b>23</b>	<b>244'000</b>

Abbildung 22: totaler jährlicher Mobilitätsaufwand Schweizer Hochschulen in Abhängigkeit des Studientyps und der angenommenen Anzahl Studierender.

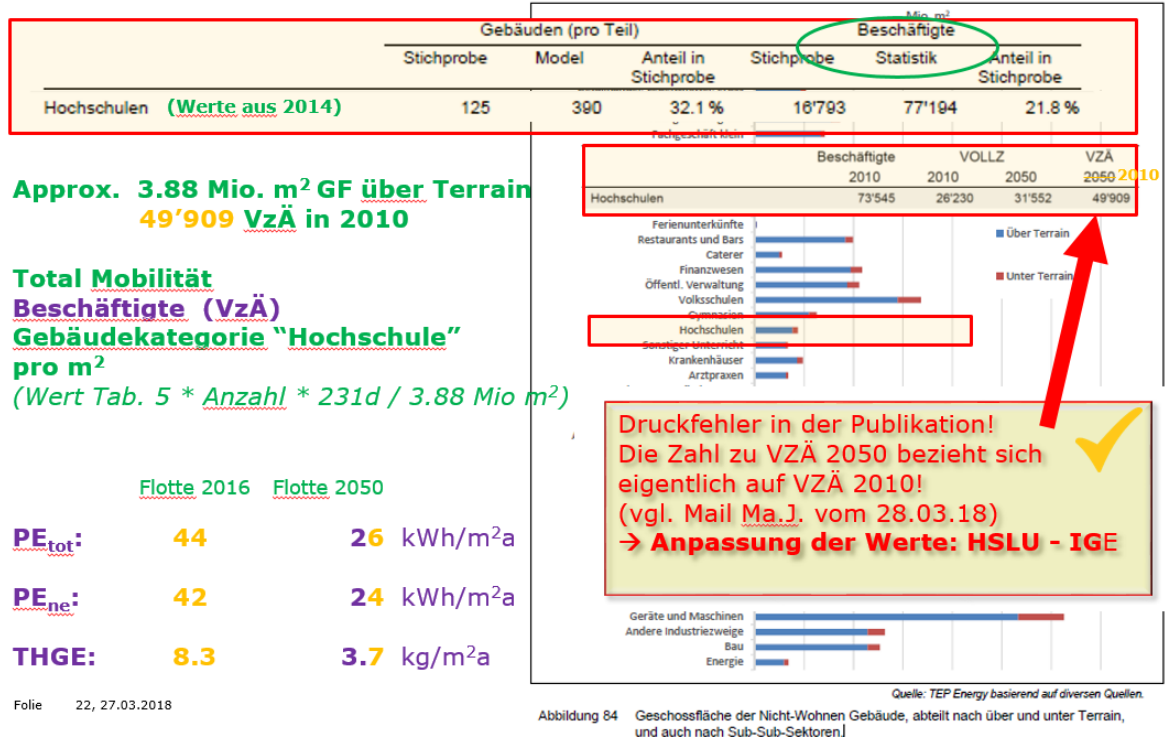


Abbildung 84 Geschossfläche der Nicht-Wohnen Gebäude, abteilt nach über und unter Terrain, und auch nach Sub-Sub-Sektoren

Abbildung 23: Ist-Wert Mobilität von Hochschulangestellten mit der Fahrzeugflotte 2016, respektive 2050. (unten links) Oben und rechts: Auszüge aus der GEPAMOD-Studie [3] zur Anzahl Beschäftigte sowie zur Geschossfläche in Hochschulen.

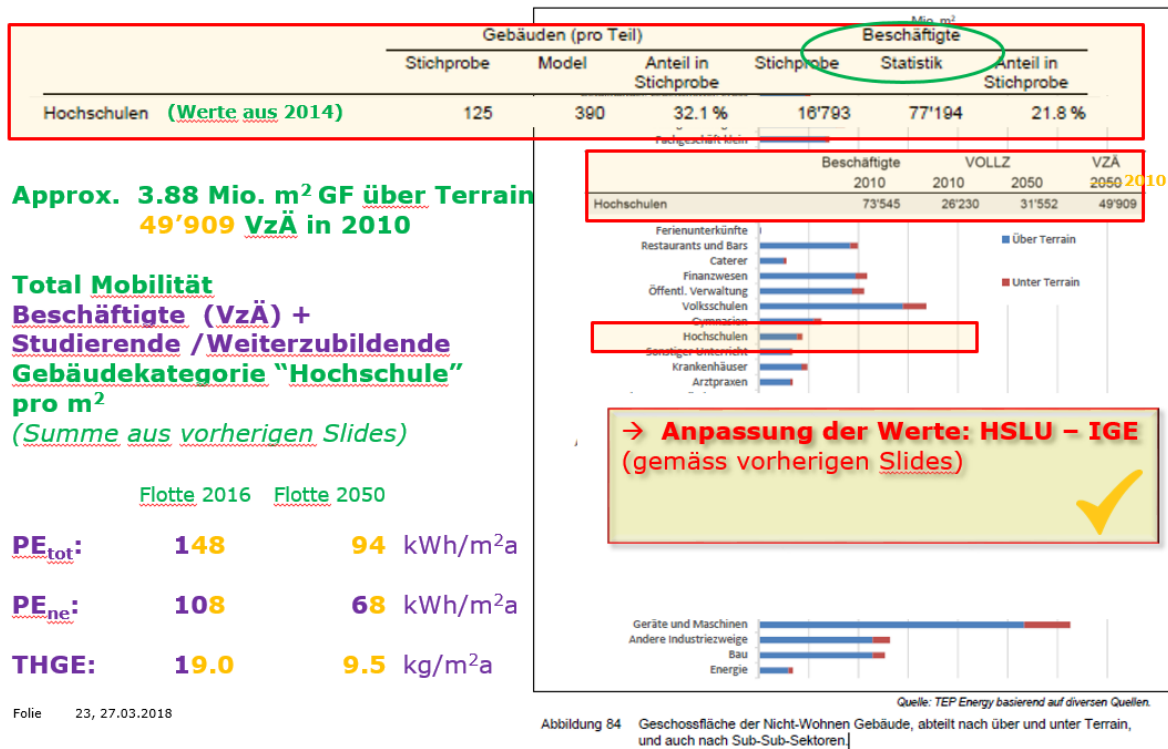


Abbildung 84 Geschossfläche der Nicht-Wohnen Gebäude, abteilt nach über und unter Terrain, und auch nach Sub-Sub-Sektoren

Abbildung 24: Total des Ist-Werts Mobilität von Hochschulangestellten + Studierenden mit der Fahrzeugflotte 2016 / 2050 (unten links). Auszüge aus der GEPAMOD-Studie [3] zur Anzahl Beschäftigte sowie zur Geschossfläche in Hochschulen (oben und rechts).

## 7.2 Analyse Personenflächen

Die Bestimmung der Personenflächen (Beschäftigte und Studierende) basierte hauptsächlich auf der Analyse folgender Quellen:

- Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie, Jakob, M. et al. (GE-PAMOD) [3]
- Hochschulstatistik. Ausgabe 2018, Bundesamt für Statistik (BfS) [7]
- Mobilitätsplan Hochschulgebiet Zürich, Weidmann, U. et al. (ETH) [8]
- Daten aus der Pilotphase «2000WA in Transformation, Campus Sursee» (Sursee) [9]
- Statistiken zu den verschiedenen Abteilungen der Hochschule Luzern (HSLU) [10], [11]
- Provisorische Wettbewerbsprogramm zum Campus Horw (HSLU Campus Horw) [12]

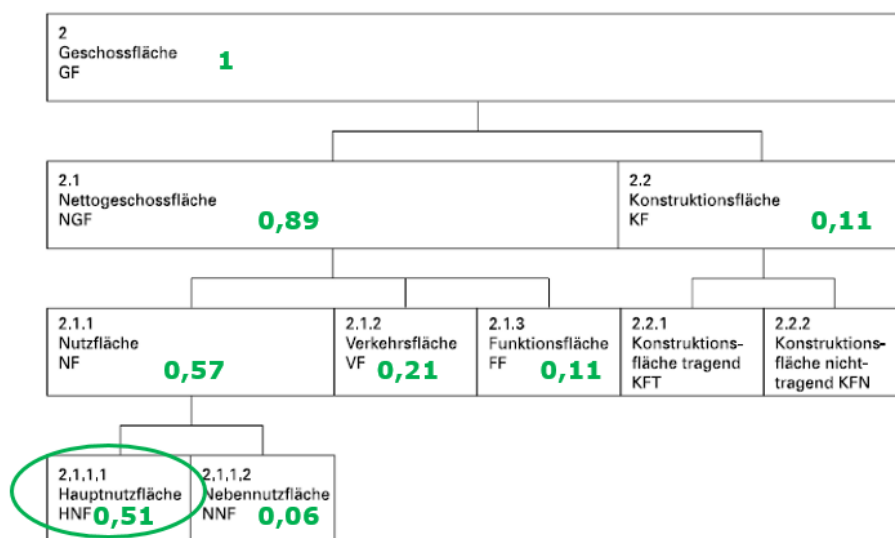
Dieser Abschnitt zeigt, wie die Werte der Personenflächen pro Studierende und Beschäftigte aus ETH, Universität Zürich, Campus Sursee und HSLU (aktuelle Werte und Erweiterung Campus Horw) berechnet wurden.

### 7.2.1 ETH und Universität Zürich

Die Studie Mobilitätsplan Hochschulgebiet Zürich, Weidmann et al. [8] liefert Daten zu Personen in Bezug zur Hauptnutzfläche (HNF). Das Verhältnis HFN/EBF für die Gebäudekategorie «Hochschule» wurde dem Dokument Flächen- und Raumkennzahlen, Bogenstätter, U. [10] entnommen.

Abbildung 25 zeigt die Gliederung der Geschossfläche eines Gebäudes nach der Norm SIA 416 [18] für die Gebäudekategorie «Institutsgebäude für Lehre und Forschung». Das Verhältnis für «Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung»,  $0,52 \text{ m}^2 \text{ HFN} / \text{m}^2 \text{ BFG}$ , wurde gemäss Abbildung 26 angenommen.

#### GESCHOSSFLÄCHE GF



**Werte aus Gruppe Institutsgebäude für Lehre und Forschung [Quelle: Flächen und Raumkennzahlen, Bogenstätter]**

Abbildung 25: Gliederung der Geschossfläche eines Gebäudes nach der Norm SIA 416 [18] (Bild) für die Gebäudekategorie «Institutsgebäude für Lehre und Forschung» (Werte in grün). Quelle: Flächen- und Raumkennzahlen, Bogenstätter, U. [19]

2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

Hauptgruppe	Nebengruppe Bezeichnung	Bezugseinheit [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ] bzw. [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	Quelle	Durchschnitt	Minimum	Maximum	Variations- koeffizient	Modalwert
200	Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung	NGF / BGF	[ages 1998] Anh. 9	0,89				
		NF / BGF	[ages 1998] Anh. 9	0,61				
		HNF / BGF	[ages 1998] Anh. 9	0,52				

Abbildung 26: Verhältnis zwischen der Hauptnutzfläche (HNF) und der Brutto-Grundfläche (BGF) für «Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung». Quelle: Flächen- und Raumkennzahlen, Bogenstätter, U. [19]

Tabelle 5 Gebäudenutzung der ETH durch Studierende im Zentrum

Departement	HNF [m <sup>2</sup> ]	# Studierende	Verbrauch m <sup>2</sup> HNF/Stud.
AGRL	17'165	475	36.1
ZDETH	70'059	-	-
ERDW	12'502	231	54
GESS	6'022	25	236.7
INFK	7'753	1073	7.2
ITET	18'554	969	19.2
MATH	3'789	432	8.8
MAVT	24'944	986	25.3
MTEC	4'341	498	8.7
UWIS	15'348	686	22.4
Summe	180'477	5375	33.6

Gebäude für wissenschaftliche Lehre und  
Forschung:  
Werte aus Gruppe Institutsgebäude für  
Lehre und Forschung  
[Quelle: Flächen und Raumkennzahlen,  
Bogenstätter

0,52 m<sup>2</sup> HNF/ m<sup>2</sup> BGF

Durchschnittlich wird im Zentrum pro Student eine HNF von 34 m<sup>2</sup> beansprucht, welches auch Flächen beinhaltet, die nicht zu einem bestimmten Departement zugeordnet werden können. Auffallend sind die teilweise sehr grossen Flächen pro Student, welche aber aufgrund

≈ 65'4 m<sup>2</sup> EBF/Studierende

Abbildung 27: Personenflächen (HNF) für ETH Studierende aus den Mobilitätsplan Hochschulgebiet Zürich, Weidmann et al. [8] und resultierende Personenfläche (EBF) für Studierende (ETH) (Werte in grün).

Tabelle 7 Gebäudenutzung des Hochschulgebietes im Zentrum

	Studierende /Patienten	Mitarbeitende	Total	HNF [m <sup>2</sup> ]	Verbrauch m <sup>2</sup> HNF/P.
ETH	5'375	4'697	10'072	190'184	18.90
Universität	13'693	1'874	15'567	123'826	7.95
Universitätsspital	3'250	4'820	8'070	149'112	18.48
Total	22'318	11'391	33'709	463'122	13.74

0,52 m<sup>2</sup> HNF/ m<sup>2</sup> BGF

ETH: ≈ 78 m<sup>2</sup> EBF/Besch.  
Univ.: ≈ 127 m<sup>2</sup> EBF/Besch.  
Univ.: ≈ 17.4 m<sup>2</sup> EBF/Stud.

**Verhältnis  
Studierende/Beschäftigte**

**ETH: 1.14 Stud./Besch.  
Univ.: 7.31 Stud./Besch.**

Abbildung 28: Hauptnutzfläche (HNF) im Verhältnis zu Studierende und Mitarbeitende der ETH, der Universität und des Universitätsspitals aus den Mobilitätsplan Hochschulgebiet Zürich, Weidmann et al. [8] und resultierende Personenfläche (EBF) für Studierende und Beschäftigte der ETH und der Universität Zürich (Werte in grün).

## 7.2.2 Campus Sursee

Tab. 5: Mobilitätsbetrachtung Stellvertreter-Kategorien

Nutzung Campus Sursee	Hotel und Wohnheim	Schul- und Verwaltungsgebäude
Gebäudekategorie SIA 2039	Wohnen	Arbeitsstätte, Büro
Energiebezugsfläche	16'700 m <sup>2</sup>	30'700 m <sup>2</sup>
zugeordnete Personen pro Tag	750	300 (100 Tagesgäste + 200 Mitarbeiter)
Personenflächen effektiv	22 m <sup>2</sup>	102 m <sup>2</sup>
Standardpersonenfläche SIA 2039	60 m <sup>2</sup>	45 m <sup>2</sup>
Faktor	2.70	0.44
Standard-Mobilität SIA 2039 pro Tag *	19 km	10 km
effektiver Weg pro Pers. und Tag **	ca. 50 km	ca. 25 km
Faktor	2.6	2.5
Häufigkeit ***	0.25	1
Berechnung	2.7 x 2.6 x 0.25 = 1.75	0.44 x 2.5 x 1 = 1.1
Ergebnis	Korrekturfaktor 1.75	Korrekturfaktor 1.1

\* Wohnen: SIA 2039 S. 52, 6475:365=18km, Büro: S. 53, 2174:220=10km  
 \*\* geschätzter Einzugsradius 50 km, für Tagesgäste 35 km, für Mitarbeiter wie SIA 2039  
 \*\*\* bei Hotel nur jeden 4. Tag, Mitarbeiter und Tagesgäste jeden Tag

### Kennzahlen Mobilität

Gemeindetyp	Gemeinde in ländlichem Raum
OV-Güteklasse	Klasse D

### Wohnen

Werte entsprechen Areal Standardwerten oder der Summe aus allen Zonen.

Parkfelder-Anzahl Bewohner	400.0
Parkfelder pro Haushalt	0.6
Personenwagen-Verfügbarkeit	0.8

### Arbeitsstätten: Beschäftigte

Parkfelder-Anzahl Beschäftigte	350.0
Parkfelder pro Beschäftigte	0.5
Parkfelder Kunden/Besucher	37.4

### Werte aus der Machbarkeitsstudie Pilotprojekt 2000WA in Transformation "Campus Sursee":

**102 m<sup>2</sup> EBF/Beschäftigte (Tagesgäste + Mitarbeiter) nicht VzÄ!?**

**Anzahl des Studierenden: 750 (Übernachtungsgäste: 350 Personen im Hotel in EZ, 400 Lehrlinge im Wohnheim in DZ)**

**41 m<sup>2</sup> EBF/Studierende**

Abbildung 29: Energiebezugsfläche der beiden Hauptnutzungen des Campus Sursee [9] und kalkulierte Personenflächen für Studierende und Mitarbeitende des Campus Sursee (Werte in grün).

## 7.2.3 HSLU

### Anzahl Mitarbeitende HSLU (aufgeteilt nach Organisationseinheiten)

Nach Organisationseinheit	2017		2016		2015	
	VZA	in %	VZA	in %	VZA	in %
Rektorat & Services	184	14%	180	14%	164	13%
Technik & Architektur	413	31%	433	33%	432	34%
Wirtschaft	268	20%	282	22%	293	23%
Soziale Arbeit	122	9%	116	9%	119	9%
Design & Kunst	152	11%	149	11%	140	11%
Musik	117	9%	119	9%	121	10%
Informatik	85	6%	28	2%	0	0%
Total	<b>1'341</b>		1'307		1'269	

Abbildung 30: Anzahl Mitarbeitende der HSLU nach Organisationseinheit [20].



### Gebäudeflächen HSLU und Beziehung EBF/Beschäftigte (VZA)

	Mietfläche (m <sup>2</sup> )	HNF (m <sup>2</sup> )	EBF (m <sup>2</sup> )	VZA 2017 (P)	EBF/Beschäftigte (m <sup>2</sup> /VZA)
Rektorat & Services	3'364	2'403	4'620	184	25.1
Technik & Architektur	35'090	25'064	48'201	413	116.7
Wirtschaft	19'645	14'032	26'985	268	100.7
Soziale Arbeit	5'687	4'062	7'812	122	64.0
Design & Kunst	28'464	20'331	39'099	152	257.2
Musik	6'816	4'868	9'362	117	80.0
Informatik	2'087	1'491	2'866	85	33.7
<b>Total</b>	<b>101'152</b>	<b>72'251</b>	<b>138'945</b>	<b>1'341</b>	<b>103.6</b>

Quellen: Mietfläche: Kennzahlenentwicklung zum Ressourcenverbrauch an der Hochschule Luzern. Autor: Philipp Lischer

Faktor Mietfläche/HFN: 1.2-1.4. Section 2.5. Seite: 6. Angenommener Faktor: 1.4

Faktor HFN/EBF: 0.52 Flächen- und Raumkennzahlen. Autor: Prof. Dr. -Ing. Ulrich Bogenstätter

### ≈ 105 m<sup>2</sup> EBF/Beschäftigte (VZA)

Abbildung 31: Mietfläche [21], Hauptnutzfläche und Energiebezugsfläche, Mitarbeitende-Vollzeitäquivalente und Verhältnis EBF pro Beschäftigte der HSLU nach Organisationseinheit. Der Durchschnittswert der gesamten HSLU wird mit einer grünen Ellipse signalisiert. Unten die resultierende Personenfläche in grün.

### Anzahl Studierende HSLU (aufgeteilt in Studierende / Weiterzubildende)

	Studierende in Ausbildung (Bachelor und Master)	Bachelor-Studierende	Master-Studierende nicht in Kooperationen	Master-Studierende in Koopera- tionen	Diplom-Studierende	Studierende EMBA und MAS	Studierende DAS und CAS	Total	VZA
Technik & Architektur	1'873	1'715	0	158	0	167	581	2'621	2'034
Wirtschaft	1'786	1'213	555	0	0	851	1317	3'954	2'354
Soziale Arbeit	783	750	0	33	0	138	800	1'721	965
Design & Kunst	695	596	99	0	0	19	76	790	715
Musik	508	229	263	0	16	0	91	599	522
Informatik	1'269	1'200	0	69	0	22	304	1'595	1'325
<b>Total 2017</b>	<b>6'896</b>	<b>5'703</b>	<b>917</b>	<b>260</b>	<b>16</b>	<b>1'197</b>	<b>3'169</b>	<b>11'280</b>	<b>7'916</b>

≈ 60%

≈ 40%

Abbildung 32: Anzahl Studierende aufgeteilt in den verschiedenen Studientypen nach Organisationseinheit [20].

### HSLU: Beziehung EBF/Studierende + Weiterzubildende (Summe)

	Mietfläche (m <sup>2</sup> )	HNF (m <sup>2</sup> )	EBF (m <sup>2</sup> )	Studis 2017 (P)	EBF/Studis (m <sup>2</sup> /P)
Rektorat & Services	3'364	2'403	4'620		
Technik & Architektur	35'090	25'064	48'201	2'621	18.4
Wirtschaft	19'645	14'032	26'985	3'954	6.8
Soziale Arbeit	5'687	4'062	7'812	1'721	4.5
Design & Kunst	28'464	20'331	39'099	790	49.5
Musik	6'816	4'868	9'362	599	15.6
Informatik	2'087	1'491	2'866	1'595	1.8
Total	101'152	72'251	138'945	11'262	12.3

Variabilität 14.4 m<sup>2</sup>/Studis

(Faktor Mietfläche/HFN: 1.2)

Quellen: Mietfläche: Kennzahlenentwicklung zum Ressourcenverbrauch an der Hochschule Luzern. Autor: Philipp Lischer  
Faktor Mietfläche/HFN: 1.2-1.4. Section 2.5. Seite: 6. Angenommener Faktor: 1.4

Faktor HFN/EBF: 0.52 Flächen- und Raumkennzahlen. Autor: Prof. Dr. -Ing. Ulrich Bogenstätter

Abbildung 33: Mietfläche [21], Hauptnutzfläche und Energiebezugsfläche, Total Anzahl Studierende (Studierende + Weiterzubildende) und Verhältnis EBF pro Total Studierende der HSLU nach Organisationseinheit (mit einer grünen Ellipse signalisiert).

### HSLU: Beziehung EBF/Studierende Vollzeit (Bachelor + Master)

	Mietfläche (m <sup>2</sup> )	HNF (m <sup>2</sup> )	EBF (m <sup>2</sup> )	Studierende Vollzeit 2017	EBF/Studis (m <sup>2</sup> /P)
Rektorat & Services	3'364	2'403	4'620		
Technik & Architektur	35'090	25'064	48'201	1'873	25.7
Wirtschaft	19'645	14'032	26'985	1'786	15.1
Soziale Arbeit	5'687	4'062	7'812	783	10.0
Design & Kunst	28'464	20'331	39'099	695	56.3
Musik	6'816	4'868	9'362	508	18.4
Informatik	2'087	1'491	2'866	1'269	2.3
Total	101'152	72'251	138'945	6'914	20.1

Variabilität 23.4 m<sup>2</sup>/Studis

(Faktor Mietfläche/HFN: 1.2)

Quellen: Mietfläche: Kennzahlenentwicklung zum Ressourcenverbrauch an der Hochschule Luzern. Autor: Philipp Lischer  
Faktor Mietfläche/HFN: 1.2-1.4. Section 2.5. Seite: 6. Angenommener Faktor: 1.4

Faktor HFN/EBF: 0.52 Flächen- und Raumkennzahlen. Autor: Prof. Dr. -Ing. Ulrich Bogenstätter

Abbildung 34: Mietfläche [21], Hauptnutzfläche und Energiebezugsfläche, Anzahl Vollzeit Studierende (Bachelor + Master) und Verhältnis EBF pro Vollzeit Studierende der HSLU nach Organisationseinheit (mit einer grünen Ellipse signalisiert).

### HSLU: Beziehung EBF/Weiterzubildende (berufsbegleitend)

	Mietfläche (m <sup>2</sup> )	HNF (m <sup>2</sup> )	EBF (m <sup>2</sup> )	Weiterzubil. 2017	EBF/Studis (m <sup>2</sup> /P)
Rektorat & Services	3'364	2'403	4'620		
Technik & Architektur	35'090	25'064	48'201	748	64.4
Wirtschaft	19'645	14'032	26'985	2'168	12.4
Soziale Arbeit	5'687	4'062	7'812	938	8.3
Design & Kunst	28'464	20'331	39'099	95	411.6
Musik	6'816	4'868	9'362	91	102.9
Informatik	2'087	1'491	2'866	326	8.8
Total	101'152	72'251	138'945	4'366	31.8

Variabilität 37.1 m<sup>2</sup>/Studis

(Faktor Mietfläche/HFN: 1.2)

Quellen: Mietfläche: Kennzahlenentwicklung zum Ressourcenverbrauch an der Hochschule Luzern. Autor: Philipp Lischer

Faktor Mietfläche/HFN: 1.2-1.4. Section 2.5. Seite: 6. Angenommener Faktor: 1.4

Faktor HFN/EBF: 0.52 Flächen- und Raumkennzahlen. Autor: Prof. Dr. -Ing. Ulrich Bogenstätter

Abbildung 35: Mietfläche [21], Hauptnutzfläche und Energiebezugsfläche, Anzahl Weiterzubildende und Verhältnis EBF pro Weiterzubildende der HSLU nach Organisationseinheit (mit einer grünen Ellipse signalisiert).

### HSLU: Beziehung EBF/ Studierende + Weiterzubildende (VZA)

	Mietfläche (m <sup>2</sup> )	HNF (m <sup>2</sup> )	EBF (m <sup>2</sup> )	VZA Studis 2017 (P)	EBF/Studis (m <sup>2</sup> /P)
Rektorat & Services	3'364	2'403	4'620		
Technik & Architektur	35'090	25'064	48'201	2'034	23.7
Wirtschaft	19'645	14'032	26'985	2'354	11.5
Soziale Arbeit	5'687	4'062	7'812	965	8.1
Design & Kunst	28'464	20'331	39'099	715	54.7
Musik	6'816	4'868	9'362	522	17.9
Informatik	2'087	1'491	2'866	1'325	2.2
Total	101'152	72'251	138'945	7'916	17.6

Variabilität 16.5 m<sup>2</sup>/Studis

(Faktor Studierende DAS und CAS: 40 Präsenztage)

Variabilität 20.5-19.3 m<sup>2</sup>/Studis

(Faktor Mietfläche/HFN: 1.2)

Quellen: Mietfläche: Kennzahlenentwicklung zum Ressourcenverbrauch an der Hochschule Luzern. Autor: Philipp Lischer

Faktor Mietfläche/HFN: 1.2-1.4. Section 2.5. Seite: 6. Angenommener Faktor: 1.4

Faktor HFN/EBF: 0.52 Flächen- und Raumkennzahlen. Autor: Prof. Dr. -Ing. Ulrich Bogenstätter

Abbildung 36: Mietfläche [21], Hauptnutzfläche und Energiebezugsfläche, Anzahl Weiterzubildende und Verhältnis EBF pro Weiterzubildende der HSLU nach Organisationseinheit (mit einer grünen Ellipse signalisiert).

## Anzahl Studierende/Beschäftigte HSLU 2017 pro Abteilung

	EBF (m <sup>2</sup> )	Total Studierende	VzÄ Beschäftigte	Verhältnis Stud./Besch.	EBF/Studier.	EBF/Besch. (VzÄ)	Heizungsverbr. kWh/m <sup>2</sup>	Stromsverbr. kWh/m <sup>2</sup>	Farblegende: Begründung zu den jeweiligen Werten	
<b>Rektorat &amp; Services</b>	4'620		184			25.1	13.3	83.2	↓ hoher Anteil der Besch. pro m <sup>2</sup> EBF mehr Dienstleistungen und Labore Ähnlicher Wert, unabhängig vom Verhältnis Stud./Besch.!!! Ältere Gebäude	
<b>Architektur, Bau- und Planungswesen</b>	48'201	2'621	413	6.3	18.4	116.7	87.2	59.4		
<b>Wirtschaft und Dienstleistungen</b>	26'985	3'954	268	14.8	6.8	100.7	26.3	28.6		
<b>Soziale Arbeit</b>	7'812	1'721	122	14.1	4.5	64.0	15.3	27.6		
<b>Design &amp; Kunst</b>	39'099	790	152	5.2	49.5	257.2	26.2	25.9		
<b>Musik</b>	9'362	599	117	5.1	15.6	80.0	81.8	25		
<b>Informatik</b>	2'866*	1'595	85	18.8	1.8	33.7	12.4	28.7		
<b>Total</b>	<b>138'945</b>	<b>11'280</b>	<b>1'341</b>	<b>8.4</b>	<b>12.3</b>	<b>103.6</b>	<b>49.8</b>	<b>40</b>		
CH ges.:		4.90 Stud./Besch.								In diesen Abteilungen gibt es grosse Räume für Werkstätten
ETH:		1.14 Stud./Besch.								
Univ.:		7.31 Stud./Besch.								

\* EBF 2016. Anzahl Studenten/Beschäftigte 2017.

Vergleich Verhältnis Studierende pro Beschäftigte zu Daten der gesamten Schweiz, ETH / Universität Zürich (Werte in grün).

Abbildung 37: Vergleich der Energiebezugsfläche (EBF), Anzahl Studierende und Beschäftigte, Verhältnis Studierende pro Beschäftigte, EBF pro Studierende und Beschäftigte nach Organisationseinheit der HSLU (Daten aus [20]). Heizungs- und Stromverbrauch pro Abteilung (zwei letzte Spalten rechts) und Begründung der Werte.

### 7.2.4 HSLU Campus Horw

Die Anzahl vorgesehener Studenten (pro Kategorie) und Angestellter ist wie folgt:

	Anzahl	Personenfläche m <sup>2</sup> /P
<b>Studierende</b>	1715 Personen	25.7 m <sup>2</sup> /P
<b>Weiterzubildende: berufsbe- gleitend Studierende</b>		
<b>Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)</b>		
<b>Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)</b>	581 Personen	83.0 m <sup>2</sup> /P
<b>Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)</b>		
<b>Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)</b>	167 Personen	288.7 m <sup>2</sup> /P
<b>Angestellte (VZA)</b>	413 Personen	116.7 m <sup>2</sup> /P
<b>EBF (m<sup>2</sup>)</b>	48'201 m <sup>2</sup>	

Abbildung 38: Anzahl der Studenten und Angestellten an der HSLU – T&A mit den entsprechenden Personenflächen.

### 7.3 Hochschulgebäude «Suurstoffi» HSLU Rotkreuz

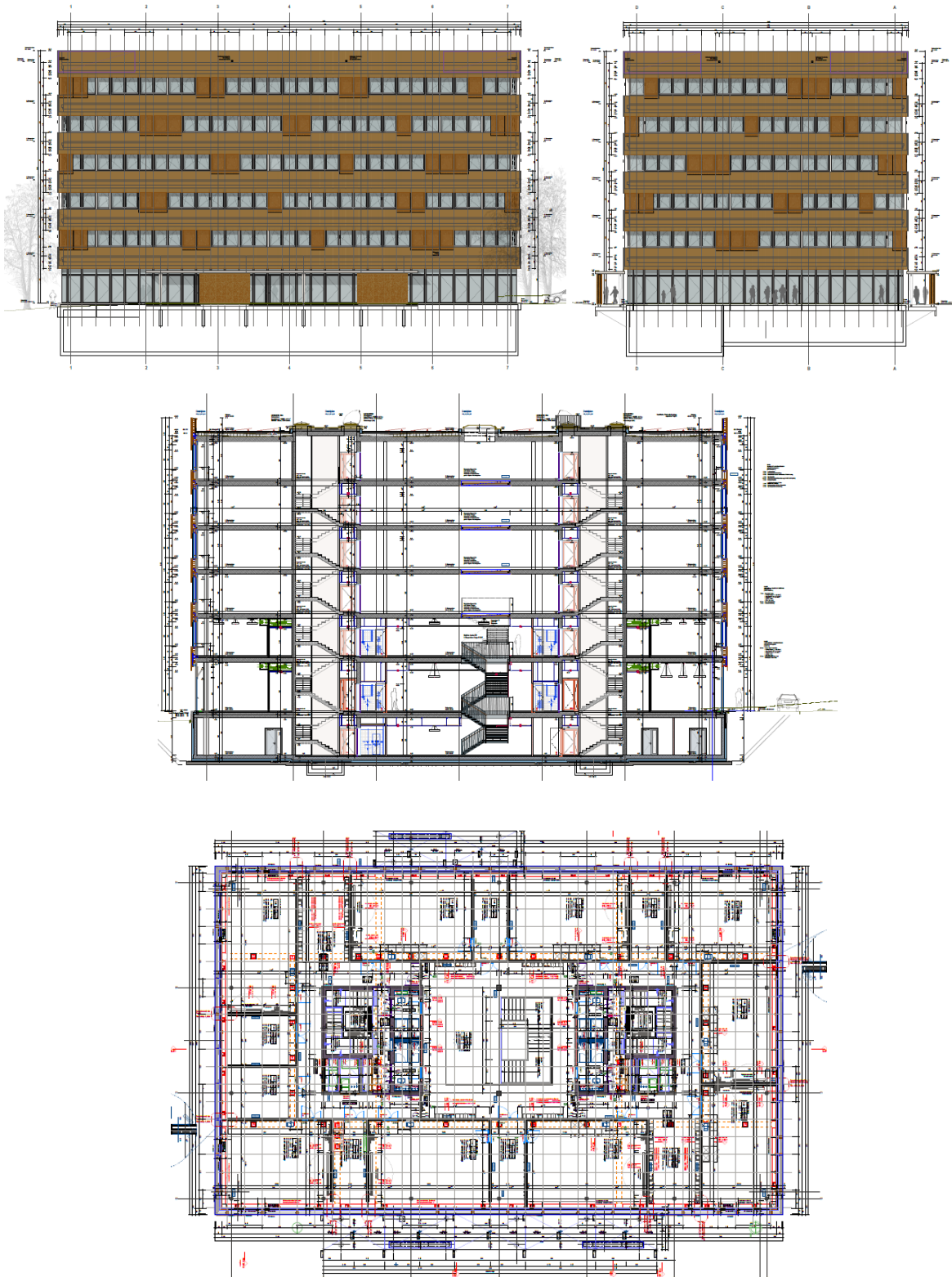


Abbildung 39: Planauswahl des Schul-/Bürogebäudes S41 der «Suurstoffi» an der HSLU Rotkreuz. Ost-/Nordfassade, Längsschnitt und Grundriss 1. Obergeschoss.

### 7.3.1 Erstellung

Rechenhilfe SIA 2040: Vorstudie / Vorprojekt						Erstellung	
Projektinformation			0			Legende:	
Objekteingaben			GF	m <sup>2</sup>	8'223	Geschossfläche	Eingabefelder Auswahlfelder übernom. Werte BTF = Bauteilfläche
			EBF	m <sup>2</sup>	7'122	Energiebezugsfläche	
						Primärenergie nicht erneuerbar kWh/m <sup>2</sup>	Treibhausgas- emissionen kg/m <sup>2</sup>
						amortisiert auf ein Jahr, bezogen auf EBF	
Bezeichnung	Bezug	Einheit	Menge	Ausführungsvariante			
Gebäude unter Terrain	Aushub	Volumen	6347	ohne Grundwasser	0.6	0.13	
	Fundament, Bodenplatte	BTF	1187	gedämmt	1.1	0.37	
	Aussenwand	BTF	618	gedämmt	0.6	0.22	
	Dach	BTF	58	gedämmt	0.1	0.03	
Gebäude über Terrain	Aussenwand: Tragwerk	BTF	1402	Holzwanne	0.4	0.07	
	(Reserve)	BTF	70	Betonwand	0.0	0.01	
	Aussenwand: Aufbau	BTF	1402	Bekleidung leicht, hinterlüftet	1.0	0.20	
	(Reserve)	BTF	0	Aussenwand Aufbau:	0.0	0.00	
	Fenster inkl. Sonnenschutz	BTF	1857		5.6	1.38	
	Innenwände	BTF	6578		3.6	1.20	
	Decke: Tragwerk	BTF	4662	Betondecke (50cm)	4.9	1.75	
	(Reserve)	BTF	2374	Betondecke (25cm)	1.2	0.45	
	Decke: Aufbau	BTF	5849	UB und Bodenbelag	3.7	0.82	
	(Reserve)	BTF	0	Decke Aufbau:	0.0	0.00	
	Balkon	BTF	0		0.0	0.00	
	Dach: Tragwerk	BTF	1187	Betondecke (25cm)	0.6	0.22	
	(Reserve)	BTF	0	Dach Tragwerk:	0.0	0.00	
	Dach: Aufbau	BTF	1187	gedämmt (Flachdach)	1.5	0.33	
	(Reserve)	BTF	0	Dach Aufbau:	0.0	0.00	
Gebäudetechnik	Elektroanlage	EBF	7122	Elektroanlage inkl. Verteilung	3.4	0.73	
	Solarstromanlage	max. Leist.	111	(Eingabe im Blatt 'Betrieb')	3.8	1.02	
	Wärmeanlage	EBF	7122	Wärmeanlage inkl. Verteilung	3.6	0.82	
	Thermische Solarkollektoren	BTF	0	(Eingabe im Blatt 'Betrieb')	0.0	0.00	
	Lufttechnische Anlage	EBF	7122	(Eingabe im Blatt 'Betrieb')	2.0	0.48	
	Wasseranlage	EBF	7122	Sanitäranlagen inkl. Verteilung	0.7	0.15	
<b>Projektwert</b>						<b>38</b>	<b>10.4</b>
<i>Richtwert</i>						35	9.0

Abbildung 40: Berechnung der Grauen Energie des Schul-/Bürogebäudes S41 der «Suurstoffi» an der HSLU Rotkreuz anhand der Bauteilflächen mit dem SIA 2040-Tool.

### 7.3.2 Betrieb

Der gemessene Energieverbrauch der Jahre 2016 und 2017 der «Suurstoffi» wurde als Grundlage für die Plausibilisierung des vorgeschlagenen Richtwerts Betrieb herangezogen. Das Gebäude wird mit einer Sole/Wasser Wärmepumpe beheizt und besitzt eine PV-Anlagenfläche von ca. 800 m<sup>2</sup>. Die Räumlichkeiten des Gebäudes wurden im Laufe der letzten Jahre laufend in Beschlag genommen. Langfristig wurden für den Betrieb des Gebäudes folgende Werte angenommen: Stromverbrauch für die Wärmeerzeugung 25 kWh/m<sup>2</sup>, allgemeiner Stromverbrauch 45 kWh/m<sup>2</sup> und eine Stromproduktion von 35 kWh/m<sup>2</sup>. Wird angenommen, dass der produzierte Strom dem Eigengebrauch dient, ergibt dies einen totalen Stromverbrauch von 35 kWh/m<sup>2</sup> (Abbildung 41).

		WP Strom- verb.	PV- Strom- produktion	Stromverbr. (Allg.+Mieter.)	Mietfläche (m <sup>2</sup> )	EBF (m <sup>2</sup> )
2016	kWh	71'182	121'979	96'313	2'178	2'646
	kWh/m <sup>2</sup> EBF	26.9	46.1	36.4		
2017	kWh	83'307	104'852	162'056	3'000	3'644
	kWh/m <sup>2</sup> EBF	22.9	28.8	44.5		
Mittelwert	kWh	77'245	113'416	129'185	2'589	3'145
	kWh/m <sup>2</sup> EBF	24.6	36.1	41.1		
Annahme	kWh/m <sup>2</sup> EBF	<b>25.0</b>	<b>35.0</b>	<b>45.0</b>		

Abbildung 41: Gemessener Stromverbrauch und PV-Produktion des Gebäudes der «Suurstoffi» an der HSLU Rotkreuz.

Die in der Abbildung 41 angenommenen Werte für den Strombedarf der Wärmeerzeugung, für den allgemeinen Stromverbrauch sowie für den produzierten Strom wurden verwendet, um die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen für den Betrieb des Gebäudes bei verschiedenen Wärmeerzeugungsvarianten zu kalkulieren. Dabei wurden Faktoren und Koeffizienten aus der aktuellen KBOB-Liste [17] verwendet. Beim Strom wurden jeweils eine Variante mit 100%igem CH-Verbrauchermix sowie mit einem Anteil von 25% *zertifizierter Stromprodukte*<sup>5</sup> berechnet. Neben der bestehenden Sole-Wasser-Wärmepumpe wurden eine Pelletsfeuerung und ein Fernwärmeanschluss analysiert. Es wurde angenommen, dass die Leistungszahl der aktuellen Wärmepumpe 3.5 beträgt. Die berechneten Werte sind in Abbildung 42 zusammengefasst.

Varianten Wärmeerzeugung		Nutzenergie (kWh/m <sup>2</sup> )	Endenergie (kWh/m <sup>2</sup> )	PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	THGE (kg/m <sup>2</sup> )
Aktuelles System (JAZ 3.5)	Wärmeerzeugung	87.5	25	67* / 51**	79* / 66**	3.5* / 2.7**
	Elektrizität allg.	10.0	10	27* / 20**	31* / 27**	1.4* / 1.1**
	<b>Total Betrieb</b>			<b>94* / 71**</b>	<b>110* / 93**</b>	<b>4.9* / 3.8**</b>
Pelletsfeuerung (JAZ 0.7)	Wärmeerzeugung	87.5	125.5	25	152	4.3
	Elektrizität allg.	10.0	10	27* / 20**	31* / 27**	1.4* / 1.1**
	<b>Total Betrieb</b>			<b>52* / 45**</b>	<b>183* / 178**</b>	<b>5.7* / 4.5**</b>
Fernwärme CH-Durchschnitt (JAZ 1.0)	Wärmeerzeugung	87.5	87.5	48	76	9.5
	Elektrizität allg.	10.0	10	27* / 20**	31* / 27**	1.4* / 1.1**
	<b>Total Betrieb</b>			<b>75* / 68**</b>	<b>107* / 104**</b>	<b>10.8*/10.6**</b>

Abbildung 42: Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen für das Gebäude S41 der «Suurstoffi» mit verschiedenen Wärmeerzeugungssystemvarianten, jeweils mit 100 % CH-Verbrauchermix\* sowie mit dem Elektrizität-Mix von 25% zertifizierter Stromprodukte und 75% CH-Verbrauchermix\*\*.

<sup>5</sup>: in sämtlichen Berechnungen des Berichts wurden für die *zertifizierten Stromprodukte* die Primärenergiefaktoren und die Treibhausgaskoeffizienten des «Mix zertifizierter Stromprodukte CH» verwendet (ID: 45.022 KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich 2014 [17])

## 7.4 Hochschulareal UNIL

Aus dem Studium des Dokuments «Etude de planification énergétique dans le cadre du développement du site. Développement des scénarios d’approvisionnement énergétique» [22] und der ergänzenden Unterlagen konnten Projektwerte für Erstellung, Betrieb (nur Wärmeerzeugung im Neubau) und Mobilität für Neu- und Umbau abgeleitet werden. Für den Neubau wurde angenommen, dass der Stromverbrauch  $35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  beträgt.

Zur Bestimmung der  $PE_{ne}$  und THGE bei der Erstellung wurden die Richtwerte für die Gebäudekategorie «Verwaltung» der Norm SIA MB 2040 [1] verwendet. Diese Werte wurden mit einem Koeffizienten von 1.3 gewichtet.  $PE_{tot}$  ist 1.1-mal  $PE_{ne}$ .

Zur Bestimmung der PE und der THGE beim Betrieb im Neubau wurden die Werte der Wärmeerzeugung aus dem Szenario 5 des Dokuments [22] verwendet und ein allgemeiner Stromverbrauch von  $35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  addiert. Diese Werte entsprechen nicht nur dem Neubau, sondern auch dem Umbau. In den verfügbaren Dokumenten gibt es keine Werte, die nur für Neubau gelten.

Der Energieverbrauch für die Wärmeerzeugung gemäss Szenario 5 teilt sich wie folgt auf:

	MWh
Elektrizität Verbrauch Wärmepumpe (jährlich COP 3.12)	4962
Elektrizität Verbrauch Pumpe Seewasser	879
Gas Verbrauch (8%)	1529
ÖL Verbrauch (2%)	382
Elektrizität Herstellung PV (Eigenverbrauch)	-156

Abbildung 43: Energieverbrauch für die Wärmeerzeugung gemäß Szenario 5 des Dokuments „Etude de planification énergétique dans le cadre du développement du site. Développement des scénarios d’approvisionnement énergétique“ [22].

Die Primärenergiefaktoren und Treibhausgaskoeffizienten wurden der KBOB-Liste [17] entnommen:

Energieträger	PEF / THGE-K		
	$PE_{ne}$	$PE_{tot}$	THGE
Gas	1.06	1.07	0.228
Öl	1.22	1.23	0.298
Pellets	0.197	1.21	0.034
Elektrizität mix CH	2.69	3.14	0.139
Elektrizität NMS	0.03339	1.21	0.014
PV (Eigenverbrauch)	-	-	-

Abbildung 44: PE-Faktoren THGE-Koeffizienten aus der KBOB-Liste [17].

Die resultierenden Primärenergiewerte und die Treibhausgasemissionen für die Wärmeerzeugung (Neubau) gemäss Studie [22] mit 100 % CH-Verbrauchermix, mit dem angenommenen Elektrizität-Mix (25% zertifizierter Stromprodukte und 75% CH-Verbrauchermix) sowie mit 100% zertifizierter Stromprodukte sind in der \* 100 % CH-Verbrauchermix

\*\* angenommener Elektrizitäts-Mix (25% zertifizierte Stromprodukte CH und 75% CH-Verbrauchermix)

\*\*\* 100% zertifizierte Stromprodukte CH gemäss KBOB-Liste

Abbildung 45 dargestellt:



2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

	Endenergie (MWh)	PE <sub>ne</sub> (MWh)	PE <sub>tot</sub> (MWh)	THGE (kg)
Elektrizität Verbrauch Wärmepumpe (jährliche COP 3.12)	4'962	13'348* 10'053** 168***	15'581* 13'187** 6'004***	688* 534** 71***
Elektrizität Verbrauch Pumpe Seewasser	879	2'365* 1'781** 30***	2'760* 2'336** 1'064***	122* 95** 13***
Gas Verbrauch (8%)	1'529	1'621	1'636	348
ÖL Verbrauch (2%)	382	466	470	114
Stromproduktion PV (Eigenverbrauch)	-156	-420* 316** -5.3***	- -490* -415** -189***	-22* -17** -2***
<b>TOTAL WÄRMEERZEUGUNG</b>	7'596	17'379* 13'604** 2'280***	19'957* 17'214** 8'895***	1'250* 1'073** 544***
In kWh/m <sup>2</sup> bzw. kg/m <sup>2</sup>	22.8	52.2* 40.9** 6.8***	59.9* 51.7** 27.0***	3.8* 3.2** 1.6***

\* 100 % CH-Verbrauchermix

\*\* angenommener Elektrizitäts-Mix (25% zertifizierte Stromprodukte CH und 75% CH-Verbrauchermix)

\*\*\* 100% zertifizierte Stromprodukte CH gemäss KBOB-Liste [17]

Abbildung 45: Primärenergie und die Treibhausgasemissionen für Wärmeerzeugung (Neubau).

Für den Strombedarf wurden 35 kWh/m<sup>2</sup> angenommen. Dieser Wert entspricht dem Mittel der nach den Normen SIA 2024 (30 kWh/m<sup>2</sup>) und SIA 2056 + SIA 387/4 (40 kWh/m<sup>2</sup>) berechneten Werte gemäss Dokument „Strommodell für Zweckbauten“ [23]. Die Summe der Betriebsenergie von Neubauten nach Stromart ist in der \* 100 % CH-Verbrauchermix

\*\* angenommener Elektrizitäts-Mix (25% zertifizierte Stromprodukte CH und 75% CH-Verbrauchermix)

\*\*\* 100% zertifizierte Stromprodukte CH

Abbildung 46 dargestellt:

	Endenergie kWh/m <sup>2</sup>	PE <sub>ne</sub> kWh/m <sup>2</sup>	PE <sub>tot</sub> kWh/m <sup>2</sup>	THGE kg/m <sup>2</sup>
Wärmeerzeugung	22.8	52.2* 40.9** 6.8***	59.9* 51.7** 27.0***	3.8* 3.2** 1.6***
Elektrizität	35.0	94.2* 70.9** 1.2***	109.9* 93.0** 42.4***	4.9* 3.8** 0.5***
<b>Total Betrieb</b>	57.8	146.3* 111.8** 8.0***	169.8* 144.7** 69.3***	8.6* 7.0** 2.1***

\* 100 % CH-Verbrauchermix

\*\* angenommener Elektrizitäts-Mix (25% zertifizierte Stromprodukte CH und 75% CH-Verbrauchermix)

\*\*\* 100% zertifizierte Stromprodukte CH

Abbildung 46: Betriebswerte (Neubau) mit unterschiedlichem Strommix

Für die Plausibilisierung des Umbau-Richtwerts (Betrieb) wurden die für die Pilotphase "2000-Watt-Areale in Transformation" für das Jahr 2038 berechneten Werte übernommen (ergänzendes Dokument "Graue Energieberechnungen"). Die Projektwerte für Mobilität wurden aus demselben Dokument der Pilotphase entnommen.

	Umbau		Neubau + Umbau	
	Projektwert Transform.	Projektwert Transform.	Projektwert Transform.	Projektwert Transform.
<b>PE<sub>tot</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>391.6</b>		<b>185</b>	
Erstellung	28.6		57.2	
Betrieb	305		69.3*	
Mobilität	58		58	
<b>PE<sub>ne</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>337</b>		<b>109</b>	
Erstellung	26		52	
Betrieb	262		8.2*	
Mobilität	49		49	
<b>THGE (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>31.0</b>		<b>22.2</b>	
Erstellung	7.8		11.7	
Betrieb	14.9		2.2*	
Mobilität	8.3		8.3	

\* Werte für Umbau + Neubau mit 100% Mix zertifizierter Stromprodukte CH aus KBOB-Liste [17].

Abbildung 47: Projektwerte für Neubau und Umbau des UNIL-Projekts aus der Pilotphase "2000-Watt-Areale in Transformation".

Wird für den Strombedarf ein Mix bestehend aus 25 % «Mix zertifizierter Stromprodukte CH» und 75% CH-Verbrauchermix angenommen, resultieren folgende Werte in der Abbildung 48.

	Umbau		Neubau + Umbau	
	Projektwert Transform.	Projektwert Transform.	Projektwert Transform.	Projektwert Transform.
<b>PE<sub>tot</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>336.6</b>		<b>255.6</b>	
Erstellung	28.6		57.2	
Betrieb	250*		140.4*	
Mobilität	58		58	
<b>PE<sub>ne</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>262</b>		<b>207.1</b>	
Erstellung	26		52	
Betrieb	187*		106.1*	
Mobilität	49		49	
<b>THGE (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>25.5</b>		<b>25.6</b>	
Erstellung	7.8		11.7	
Betrieb	9.4		5.6*	
Mobilität	8.3		8.3	

\* Wert mit Elektrizität 25 % «Mix zertifizierter Stromprodukte CH», 75% CH-Verbrauchermix

Abbildung 48: Werte für Neubau und Umbau des UNIL-Projekts aus der Pilotphase "2000-Watt-Areale in Transformation" mit einem Strommix von 25 % «Mix zertifizierter Stromprodukte CH» und 75% CH-Verbrauchermix.

## 7.5 Bottom-Up-Ansatz Betrieb – Detaillierte Informationen zur Herleitung des Richtwerts

### 7.5.1 Berechnung von Bottom-Up-Betriebswerten anhand von Beispielhochschulanlagen

Die Ermittlung von Betriebswerten für den Bottom-Up-Ansatz wurde analog dem Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie [2] anhand der Analyse von besonders energieeffizienten Beispielbauten durchgeführt. Diese wurden fiktiv, unter Berücksichtigung der jeweiligen Raumnutzungsaufteilung der Gebäudekategorie „Hochschule“ aus den Dokumenten Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3], generiert. Die Klassifizierung der Raumnutzung erfolgte gemäss SIA 2024 [17].

	Harmonisierung SIA-Standardwerte [14]	GEPAMOD [3]
1.1 Wohnen MFH		
1.2 Wohnen EFH		
2.1 Hotelzimmer		
2.2 Empfang, Lobby	5	1.2
3.1 Einzel-, Gruppenbüro	10	10
3.2 Grossraumbüro		
3.3 Sitzungszimmer	5	5
3.4 Schalterhalle, Empfang	5	
4.1 Schulzimmer	10	12
4.2 Lehrerzimmer	5	1
4.3 Bibliothek	5	5
4.4 Hörsaal	15	29
4.5 Schulfachraum (Spezialraum)	5	6
5.1 Lebensmittelverkauf		
5.2 Fachgeschäft		
6.1 Restaurant		
6.2 Selbstbedienungsrestaurant		
6.3 Küche zu Restaurant		
6.4 Küche zu Selbstbedienungsrest		
7.1 Vorstellungsraum		
7.2 Mehrzweckhalle		
7.3 Ausstellungshalle		
8.1 Bettzimmer		
8.2 Stationszimmer		
9.1 Produktion (grobe Arbeit)		
9.2 Produktion (feine Arbeit)		
9.3 Laborraum		
10.1 Lagerhalle		3
11.1 Turnhalle		5.5

## 2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

11.2	Fitnessraum		
11.3	Schwimmhalle		
12.1	Verkehrsfläche	20	15
12.2	Verkehrsfläche 24 h		
12.3	Treppenhaus	5	
12.4	Nebenraum	7	3
12.5	Küche, Teeküche		
12.6	WC, Bad, Dusche		
12.7	WC	2	1.8
12.8	Garderobe, Dusche		0.8
12.9	Parkhaus		
12.1	Wasch- und Trockenraum		
12.11	Kühlraum		
12.12	Serverraum	1	1.7

Abbildung 49: Flächenanteile in % der Gebäudekategorie „Hochschule“ pro Raumnutzung gemäss SIA 2024 [15].

Der Energiebedarf der fiktiven Hochschulen (Standard-, Ziel- und Bestandwerte gemäss SIA MB 2024 [15]) für Geräte, Beleuchtung, Lüftung, Raumkühlung, Raumheizung, Warmwasser wurde nach dem Flächenanteil in Abbildung 49 berechnet. Im Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie [2] wurden zur Ermittlung des Bottom-Up-Richtwerts Betrieb die Default-Werte für den Betrieb gemäss SIA 2040 eingesetzt (vgl. Abschnitt 1.1.1). Für die Beispielbauten wurde deshalb in einem ersten Schritt jeweils der in der Abbildung 50 grau markierte Standardwert verwendet, mit Ausnahme der Beleuchtung, wo, dem Abschnitt 2.3.1.6 der Norm SIA MB 2040 [1] entsprechend, der Zielwert zur Anwendung kam. Zudem wurden folgende zusätzliche Verbräuche eingerechnet: 1 kWh/m<sup>2</sup> Hilfsenergie für die Wärmeerzeugung und 1 kWh/m<sup>2</sup> für Aufzüge. Die Werte von GEPAMOD [3] sind aufgrund des höheren Anteils von Nutzungen mit höherem Energiebedarf etwas höher.

	Geräte			Beleuchtung			Lüftung			Raumkühlung			Raumheizung			Warmwasser			Total		
	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand
<b>Harmonisierung SIA-Standardwerte [14]</b>	13	6	21	19	6	19	5	2	7	17	15	13	16	10	72	2	2	2	71	42	134
<b>GEPAMOD [3]</b>	17	9	27	18	7	18	6	3	9	23	20	19	17	11	81	6	6	6	88	55	161

Abbildung 50: Energiebedarf auf Stufe Nutzenergie (Standard-, Ziel- und Bestandwerte gemäss SIA MB 2024 [15]) in kWh/m<sup>2</sup>a für Geräte, Beleuchtung, Lüftung, Raumkühlung, Raumheizung, Warmwasser und Total (rechte Spalte) für Raumnutzungsmix gemäss Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3].

Um aus den Bedarfszahlen auf Stufe Nutzenergie aus der Abbildung 50 die notwendige Endenergie zu ermitteln, wurden Konversionsfaktoren gemäss Abbildung 51 angewendet. Dabei wurde ange-

nommen, dass die Konversionsfaktoren für Geräte, Beleuchtung und Lüftung jeweils 1.0 sind. Der Konversionsfaktoren bzw. die JAZ für die Raumkühlung wurde der SIA 380 [24] entnommen: 5.0 (entspricht einer Kompaktkältemaschine). Zur Wärmeerzeugung wurde wie im Methodikpapier [2] eine Wärmepumpe gewählt. Angenommen wurde dabei eine JAZ von 3.0.

	Geräte			Beleuchtung			Lüftung			Raumkühlung			Raumheizung			Warmwasser			Total		
	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand
<b>Konversionsfaktor Endenergie/Bedarf</b>	1.0	-	-	-	1.0	-	1.0	-	-	5	-	-	3	-	-	3	-	-	-	-	-

Abbildung 51: Konversionsfaktoren zur Berechnung der Endenergie aus dem Energiebedarf (Stufe Nutzenergie) aus der Abbildung 50

Abbildung 52 fasst den allgemeinen Stromverbrauch und die notwendige Endenergie zur Wärmeerzeugung - resultierend aus der Multiplikation der Werte aus der Abbildung 50 und der Abbildung 51 - zusammen, einmal für den Hochschul-Raumnutzungsmix nach dem Dokument Harmonisierung SIA-Standardwerte [14] und für den Raumnutzungsmix gemäss GEPAMOD [3].

		Harmonisierung SIA-Standardwerte [14]	GEPAMOD [3]
<b>Strom allg. (Endenergie)</b>	Standardwert	28.8	36.5
<b>Wärmeerzeug. (Endenergie)</b>	Standardwert	11.0	13.4

Abbildung 52: Endenergieverbrauch in kWh/m<sup>2</sup>a, aufgeteilt in «Strom allgemein» und «Wärmeerzeugung», für ein fiktives Gebäude mit den Raumnutzungsmix gemäss Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3] mit Wärmeerzeugung sowie Kühlung durch eine Wärmepumpe.

Im Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie [2] wurde zur Ermittlung des Bottom-Up-Richtwerts Betrieb der Heizwärmebedarf 20% besser als der Grenzwert nach SIA 380/1:2016 angenommen. Auf den Dachflächen wurde eine PV-Anlage eingesetzt, die je nach Gebäudekategorie zwischen 9 und 30 % des Elektrizitätsbedarfs im Gebäude abdeckte. Für den Restbedarf an Strom wurde der CH-Verbrauchermix eingesetzt.

Aus diesem Grund wurden für die Gebäudekategorie die Standard- und Bestandwerte aus der Abbildung 52 für die Wärmeerzeugung um 20% verbessert. Zudem wurde davon ausgegangen, dass 20% des allgemeinen Strombedarfs durch Photovoltaik produziert und zur Deckung des Eigengebrauchs dienen. Die daraus resultierende Endenergie ist in der Abbildung 53 dargestellt.

		Harmonisierung SIA-Standardwerte [14]	GEPAMOD [3]
Strom allg. (Endenergie)	Standardwert (-20% PV-Strom)	23.0	29.2
Wärmeerzeug. (Endenergie)	Standardwert (Heizung 20% verbessert)	9.8	11.9

Abbildung 53: Endenergieverbrauch in kWh/m<sup>2</sup>a, aufgeteilt in «Strom allgemein» und «Wärmeerzeugung», für ein fiktives Gebäude mit den Raumnutzungsmix gemäss Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3] mit Wärmeerzeugung und Kühlung durch eine Wärmepumpe. Dabei wird von einer Verbesserung der Wärmeerzeugungswerte gegenüber dem Standardwert in Abbildung 52 um 20% sowie von einer PV-Stromproduktion von 20% des allgemeinen Strombedarfs ausgegangen.

Zur Ermittlung der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen wurden Faktoren und Koeffizienten aus der KBOB-Liste eingesetzt, jeweils für den CH-Verbrauchermix und dem Mix zertifizierbarer Stromprodukte CH gemäss KBOB-Liste [17]. Die Betriebswerte für sämtliche Varianten der Beispielgebäude sind in der Abbildung 54 zusammengefasst.

	Harmo. SIA-Standardw. (gemäss Flächenanteil & SIA MB 2024)	GEPAMOD (kalkuliert) (gemäss Flächenanteil & SIA MB 2024)	bei Strommix* CH-Verbr./ Zert.
<b>Pe<sub>tot</sub></b>			
kWh	103.2	129.0	100% / 0%
oil-eq	87.4	109.1	75% / 25%
<b>Pe<sub>ne</sub></b>			
kWh	88.4	110.5	100% / 0%
oil-eq	66.6	83.2	75% / 25%
<b>THGE</b>			
kg CO <sub>2</sub> -eq	4.6	5.7	100% / 0%
	3.5	4.4	75% / 25%

\* Strommix bezieht sich auf Restmenge des Strombedarfs abzüglich PV-Produktion. Es wurden KBOB-Primärenergiefaktoren und Treibhausgaskoeffizienten für CH-Verbrauchermix und Mix zertifizierter Stromprodukte CH eingesetzt.

Abbildung 54: Betriebswerte (Neubau) für Beispielhochschulanlagen mit dem Raumnutzungsmix gemäss Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3].

## 7.5.2 Vergleich Harmonisierung SIA-Standardwerte und GEPAMOD

Um einen energetischen Vergleich zwischen den Flächenmixannahmen aus dem Dokument «Harmonisierung SIA-Standardwerte» [14] und demjenigen aus dem GEPAMOD [3] zu ermöglichen, wurde aus den Bedarfszahlen auf Stufe Nutzenergie aus der Abbildung 50 die notwendige Endenergie für beide Varianten anhand von Konversionsfaktoren ermittelt (Abbildung 55). Dabei wurde angenommen, dass die Konversionsfaktoren für Geräte, Beleuchtung und Lüftung jeweils 1.0 sind. Die Konversionsfaktoren der Raumkühlung wurden der SIA 380 [24] entnommen. Für den Bestandwert wurden die Jahresarbeitszahlen einer kleinen Maschine übernommen und für den Zielwert solche einer Kompaktkältemaschine. Der Standardwert ist das Mittel der vorherigen zwei Werte.

Die Konversionsfaktoren bzw. Wirkungsgrade für Raumheizung und Warmwasser wurden unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Effizienz der Systeme und der Energieträgeranteile bestimmt. Die Effizienz der Heizungs- und Wassererwärmungsanlagen wurde aus dem Dokument Gugerli et al. [25] entnommen. Die Werte stammen aus den Figuren 16 «Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage bei Neubauten (Referenz- und Effizienz-Szenario)» bzw. 21 «Jahresnutzungsgrade der Wasserer-

wärmungsanlagen». Die Werte für die Bestand-, Standard- und Zielwerte entsprechen jeweils den Werten aus diesen Figuren für das Jahr 2005, 2050 Referenz und 2050 Effizienz (Abbildung 55).

	Heizungsanlage (Figur 16 aus [25])			Wassererwärmungsanlagen (Figur 21 aus [25])		
	Standardwert (2050 Ref.)	Ziel (2050 Eff.)	Bestand (2005)	Standardwert (2050 Ref.)	Ziel (2050 Eff.)	Bestand (2005)
<b>Solar</b>	0.9	0.92	0.85	0.8	0.71	0.79
<b>Elektrizität (WP)</b>	4.3	5.25	3.3	3.5	2.2	3.0
<b>Fernwärme</b>	0.95	0.95	0.93	0.83	0.74	0.81
<b>Elektrizität</b>	0.94	0.95	0.92	0.82	0.73	0.81
<b>Holz</b>	0.78	0.8	0.71	0.68	0.53	0.66
<b>Gas</b>	0.97	0.99	0.94	0.83	0.68	0.8
<b>Öl</b>	0.94	0.94	0.85	0.77	0.62	0.75

Abbildung 55: Konversionsfaktoren (Nutzungsgrade und JAZ) für die verschiedenen Heizsysteme und Warmwasserbereitung aus [23].

Die Anteile des Energieträgers für Heizwärme- und Warmwasserbedarf wurden den Abbildungen 58 und 59 von GEPAMOD [3] entnommen. Die Zahlen für die Bestand-, Standard- und Zielwerte entsprechen jeweils denjenigen für das Jahr 2010, 2050 Referenz und 2050 Effizienz (Abbildung 56).

	Standardwert (2050 Referenz)		Zielwert (2050 Effizienz)		Bestand (2010)	
	TWh		TWh		TWh	
<b>Solar</b>	0.25	1.0%	1.35	7.9%	2.2	17.1%
<b>Umweltwärme (WP)</b>	0.65	2.6%	4.60	27.1%	4.70	36.4%
<b>Fernwärme</b>	1.00	4.0%	0.55	3.2%	0.45	3.5%
<b>Elektrizität</b>	0.90	3.6%	2.00	11.8%	1.75	13.6%
<b>Holz</b>	1.05	4.2%	2.50	14.7%	1.80	14.0%
<b>Gas</b>	8.00	32.2%	2.29	13.4%	0.76	5.9%
<b>Öl</b>	13.00	52.3%	3.71	21.8%	1.24	9.6%

Abbildung 56: Heizwärme- und Warmwasserbedarf für das 2050 Referenzszenario, das 2050 Effizienzszenario und den Ist-Wert 2010 gemäss GEPAMOD [3] aufgeteilt in Energieträger zur Bereitstellung des Heizwärme- und Warmwasserbedarfs [3].

Aus den Werten aus der Abbildung 55 und der Abbildung 56 ergeben sich die durchschnittlichen Konversionsfaktoren zur Ermittlung der notwendigen Endenergie aus dem Energiebedarf (Ebene Nutzenergie) der Abbildung 50. Die bei der Anwendung der Konversionsfaktoren der Abbildung 57 resultierende Endenergie für den Nutzungsflächenmix aus der SIA-Harmonisierung [16] und dem GEPAMOD [3] ist in Abbildung 58 festgehalten.

	Geräte			Beleuchtung			Lüftung			Raumkühlung			Raumheizung			Warmwasser			Total		
	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand
<b>Konversionsfaktor Endenergie/Bedarf</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.6	5.0	2.2	1.8	2.5	0.9	1.4	1.8	0.7	-	-	-

Abbildung 57: Konversionsfaktoren zur Berechnung der Endenergie aus dem Energiebedarf (Stufe Nutzenergie) aus der Abbildung 50.

	Geräte			Beleuchtung			Lüftung			Raumkühlung			Raumheizung			Warmwasser			Total		
	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand	Standardwert	Ziel	Bestand
<b>Harmonisierung SIA-Standardwerte [14]</b>	12.6	6.2	21.1	18.7	6.1	18.7	4.8	2.5	7.1	4.7	3.0	5.8	9.5	4.3	86.3	4.6	3.6	9.2	51.1	23.1	132.5
<b>GEPAMOD [3]</b>	17.2	8.7	27.4	18.4	6.7	18.4	6.0	3.2	8.5	6.3	3.9	8.6	9.5	4.3	86.3	4.6	3.6	9.2	62.1	30.4	158.4

Abbildung 58: Energieverbrauch auf Stufe Endenergie (Standard-, Ziel- und Bestandwerte gemäss SIA 2024) in kWh/m<sup>2</sup>a für Geräte, Beleuchtung, Lüftung, Raumkühlung, Raumheizung, Warmwasser und Total (rechte Spalte) für Raumnutzungsmix gemäss Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3].

Abbildung 59 fasst den allgemeinen Stromverbrauch und die notwendige Endenergie zur Wärmeerzeugung aus der Abbildung 58 zusammen, einmal für den Hochschul-Raumnutzungsmix nach dem Dokument Harmonisierung SIA-Standardwerte [14] und für den Raumnutzungsmix gemäss GEPAMOD [3]. Der Hochschulnutzungsmix aus dem GEPAMOD ergibt durchwegs höhere Endenergiewerte als derjenige aus dem SIA-Dokument. Beim Strom liegen die Werte jeweils zwischen 18 und 28% höher, bei der Wärmeerzeugung zwischen 20 und 44%.

		Harmonisierung SIA-Standardwerte [14]	GEPAMOD [3]
<b>Strom allg. (Endenergie)</b>	<b>Standardwert</b>	40.7	47.9
	<b>Ziel</b>	17.7	22.6
	<b>Bestand</b>	52.7	62.9
<b>Wärmeerzeug. (Endenergie)</b>	<b>Standardwert</b>	10.4	14.2
	<b>Ziel</b>	5.4	7.8
	<b>Bestand</b>	79.8	95.5

Abbildung 59: Endenergieverbrauch (Standard-, Ziel- und Bestandwerte) in kWh/m<sup>2</sup>a, aufgeteilt in «Strom allgemein» und «Wärmeerzeugung», für ein fiktives Gebäude mit den Raumnutzungsmix gemäss Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3].

Im Methodikpapier zum SIA-Effizienzpfad Energie [2] wurden zur Ermittlung des Bottom-Up-Richtwerts Betrieb die default-Werte für den Betrieb gemäss SIA 2040 eingesetzt (vgl. Abschnitt 1.1.1). Der Heizwärmebedarf wurde 20% besser als der Grenzwert nach SIA 380/1:2016 angenommen. Aus die-



sem Grund wurden für die Hochschulnutzung die Standard- und Bestandwerte aus der Abbildung 59 für die Wärmeerzeugung um 20% verbessert (Zielwerte sind schwer zu verbessern). Zudem wurde davon ausgegangen, dass in den drei untersuchten Fällen (Standard, Ziel, Bestand) 20% des Stroms durch Photovoltaik gedeckt werden und zur Deckung des Eigengebrauchs dienen. Die resultierende Endenergie ist in der Abbildung 60 zusammengefasst.

		Harmonisierung SIA-Standardwerte [14]	GEPAMOD [3]
<b>Strom allg. (Endenergie)</b>	<b>Standardwert</b>	32.6	38.3
	<b>Ziel</b>	14.1	18.0
	<b>Bestand</b>	42.2	50.3
<b>Wärmeerzeug. (Endenergie)</b>	<b>Standardwert</b>	8.3	11.3
	<b>Ziel</b>	5.4	7.8
	<b>Bestand</b>	79.8	95.5

Abbildung 60: Endenergieverbrauch (Standard-, Ziel- und Bestandwerte) in kWh/m<sup>2</sup>a, aufgeteilt in «Strom allgemein» und «Wärmeerzeugung», für ein fiktives Gebäude mit den Raumnutzungsmix gemäss Harmonisierung SIA-Standardwerte [16] und GEPAMOD [3]. Dabei wird von einer Verbesserung der Wärmeerzeugungswerte (Standard- und Bestandwert) um 20% sowie jeweils von einer PV-Stromproduktion von 20% des allgemeinen Strombedarfs ausgegangen.

Zur Berechnung der Primärenergie und der THGE wurden folgende Faktoren und Koeffizienten aus der KBOB-Liste [17] verwendet:

		Bezug	PEF <sub>ne</sub>	PEF <sub>tot</sub>	THGEK (kg/kWh)
Strom	100% CH-Verbr.	kWh	3.14	2.69	0.14
	Strommix: 75 % CH-Verbrauchermix/ 25% zertifizierte Stromprodukte CH	kWh	2.66	2.03	0.11
Wärme	Standard.	kWh	1.36	0.99	0.20
	Ziel	kWh	1.34	0.67	0.09
	Bestand	kWh	1.67	1.53	0.33

Abbildung 61: Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissions-Koeffizienten für die Umrechnung der Endenergie auf PE<sub>ne</sub>, PE<sub>tot</sub> und THGE für Strom und Wärmeerzeugung.

Abbildung 62 zeigt die ermittelten Betriebswerte für einen Hochschulnutzungsmix gemäss SIA-Harmonisierung [14] und gemäss GEPAMOD [3], die gemessenen Verbräuche für den HSLU-Gesamtgebäudepark sowie des Einzelgebäudes «Suurstoffi» der HSLU-Rotkreuz (Neubau) im Vergleich zu den vorschlagenden Richtwerten.

2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

		Flächenmix Harmonisierung SIA [14], (gem. SIA MB 2024)	Flächenmix GEPAMOD [3] (gem. SIA MB 2024)	GEPAMOD 2010	GEPAMOD Referenz- szenario 2050	GEPAMOD Effizienz- szenario 2050	Gebäude Suerstoffi** HSLU Rot- kreuz	Richtwert Neubau (Vorschlag Studie)
PE <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	Standard.	114.0 98.3**	137.1 118.6**	205	158			<b>220</b>
	Ziel	50.5 43.7**	66.0 57.3**			111	89	
	Bestand	264.6 244.2**	314.4 290.2**	337/303*	173/190*	118/110*		
PE <sub>ne</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	Standard.	96.1 74.5**	115.2 89.7**	120	50			<b>100</b>
	Ziel	41.1 31.7**	53.2 41.2**			34	66	
	Bestand	234.6 206.7**	278.8 245.4**	299/189*	51/66*	30/38*		
THGE (kg/m <sup>2</sup> )	Standard.	6.2 5.2**	7.8 6.6**	10.8	8.7			<b>5.0</b>
	Ziel	2.41.9**	3.1 2.6**			5.8	2.8	
	Bestand	32.0 30.7**	37.9 363.3**	42/25.4*	12/11.4*	7/6.7*		

\* Gesamtbestand/Umbau

\*\* 25 % Mix zertifizierter Stromprodukte CH, 75% CH-Verbrauchermix

Abbildung 62: kalkulierte Betriebswerte (zwei Spalten links) für den Nutzungsmix gemäss SIA-Harmonisierung [14] sowie desjenigen des GEPAMOD [3] (Standard-, Ziel- und Bestandwert gemäss SIA 2024) im Vergleich zu den Betriebswerten in den verschiedenen Szenarien aus dem GEPAMOD, zur HSLU-Gebäude «Suerstoffi» und zu den vorschlagenden Richtwerten.

## 7.6 Mobilität – Plausibilisierungsbeispiele zum Bottom-Up-Ansatz

Zur Plausibilisierung des Mobilitätsrichtwerts wurden verschiedene Berechnungen zu zwei konkreten Hochschulanlagen de HSLU-Gebäudeparks durchgeführt. Es handelt sich um die HSLU T&A in Horw, als Beispiel für einen Agglomerationsstandort und die HSLU W, mit einer "idealen" Lage direkt am Bahnhof Luzern und ohne Autoabstellplätze.

Zur Ermittlung des Mobilitätswerts werden folgende standortabhängige Eingabewerte benötigt:

- Beschäftigendichte pro Hektar am Ausbildungsort (je höher, desto tiefer der Modellmittelwert)
- Einwohnerdichte pro Hektar am Ausbildungsort (je höher, desto tiefer der Modellmittelwert)
- ÖV-Güteklassen
- Verfügbarkeit von Parkplätzen für Personenwagen am Ausbildungsort (je weniger, desto tiefer der Modellmittelwert)

Bei beiden Hochschulanlage wurden Varianten des Mobilitätswerts berechnet. Einmal wurde er anhand der tatsächlichen Anzahl an Studenten und Mitarbeitenden an den Abteilungen respektive Standorten ermittelt, einmal wurden dafür die in dieser Studie vorgeschlagenen Standardpersonenflächen für Studierende und Mitarbeitende gemäss Abschnitt 4.1.6 eingesetzt..

### 7.6.1 Standort Hochschule Luzern – Technik & Architektur in Horw

Die standortabhängigen Eingabewerte lauteten wie folgt:

- 14 Beschäftigte pro ha
- 30 Einwohner pro ha
- ÖV-Güteklasse C
- 0.12 Parkplätze pro Studierende<sup>6</sup>

Mit den obigen Eingabewerten wurden standortspezifische Korrekturfaktoren zum durchschnittlichen CH-Mobilitätsaufwand für Hochschulen berechnet. Mit diesen Korrekturfaktoren, angewendet auf die Werte von Studierenden (siehe Anhang 2, Kapitel 8), liessen sich der jährliche Primärenergiebedarf sowie die Treibhausgasemissionen pro Studierende/Weiterzubildende an der HSLU T&A in Horw für die Flotte 2050 kalkulieren.

	- PE <sub>ne</sub> - kWh	- PE <sub>tot</sub> - kWh	THGE - kg
Studierende	789 <b>* 1.15=908</b>	1210 <b>* 1.15=1392</b>	104 <b>* 1.29=135</b>
Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende	510 <b>* 1.15=587</b>	782 <b>* 1.15=900</b>	67 <b>* 1.29=87</b>
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)	73 <b>* 1.15=84</b>	112 <b>* 1.15=129</b>	10 <b>* 1.29=13</b>
Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)	121 <b>* 1.15=139</b>	186 <b>* 1.15=214</b>	16 <b>* 1.29=21</b>
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)	243 <b>* 1.15=280</b>	372 <b>* 1.15=428</b>	32 <b>* 1.29=42</b>
Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)	376 <b>* 1.15=433</b>	577 <b>* 1.15=664</b>	50 <b>* 1.29=65</b>

Abbildung 63: Jährliche Mobilitätswerte pro Kopf (Studierende) an der HSLU – T&A in Horw für die Flotte 2050 mit folgenden Eingabewerten: 14 Beschäftigte pro ha / 30 Einwohner pro ha / ÖV-Güteklasse C / 0.12 Parkplätze pro Kopf.

<sup>6</sup> Insgesamt stehen auf dem Campus Horw 383 Parkplätze zur Verfügung. Die T&A hat 1873 Master- und Bachelor-Studierende, 508 Mitarbeitende und 748 Weiterzubildende (Stand 2017). Somit werden 0.12 Parkplätze pro Person abgeschätzt.

Für die Mitarbeitenden wurde das Modell *Arbeitsstätte, Büro* nach SIA MB 2039 angewendet. Zur Ermittlung der Änderungsfaktoren dienten wiederum Standortattribute der HSLU T&A in Horw:

- Arbeitszone: Nein (Zonen für öffentliche Nutzungen)
- 0.12 Parkplatz je Beschäftigten (siehe oben)
- 0.22 Veloabstellplatz je Beschäftigten 0.22 (CH-Mittelwert)
- 0.56 Dauerabo ÖV je Beschäftigten (CH-Mittelwert)
- Agglomeration: Ja

	PE <sub>ne</sub> kWh	PE <sub>tot</sub> kWh	THGE kg
Beschäftigte	8.97*231 *0.66= <b>1405</b>	8.19*231*0. 66= <b>1537</b>	1.28*231 *0.69= <b>229</b>

Abbildung 64: Berechnung des jährlichen Mobilitätswerte pro Beschäftigte an der HSLU – T&A in Horw für die Flotte 2050 mit folgenden Eingabewerten: Arbeitszone: Nein / 0.12 Parkplatz je Beschäftigten / 0.22 Veloabstellplatz je Beschäftigten / 0.56 Dauerabo ÖV je Beschäftigten / Agglomeration: Ja.

Der effektive Mobilitätsaufwand an der HSLU – T&A in Horw ergab sich aus der Multiplikation der Werte pro Kopf (Abbildung 63 und Abbildung 64) mit der Anzahl Studierende sowie Beschäftigten. Dabei wurde einmal mit der effektiven Personenfläche kalkuliert und einmal mit den in der Studie vorgeschlagenen Standardpersonenflächen gemäss Abschnitt 4.1.6 gerechnet.

	Effektive Personenflächen	Standard- personenflächen
Studierende	25.7 m <sup>2</sup> /P	20 m <sup>2</sup> /P
Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende	.	130 m <sup>2</sup> /P
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)		
Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)	83.0 m <sup>2</sup> /P	
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)		
Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)	288.6 m <sup>2</sup> /P	
Beschäftigte (VZA)	116.7 m <sup>2</sup> /P	80 m <sup>2</sup> /P

Abbildung 65: Zur Berechnung des Mobilitätsaufwands angenommene effektive und Standardpersonenflächen der HSLU – T&A

Die resultierenden Mobilitätswerte für die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen für die Fahrzeugflotte 2050 für beide Berechnungsvarianten sind in der Abbildung 66 dargestellt:

	HSLU - T&A Effektive Personenflächen			HSLU - T&A Standardpersonenflächen		
	PE <sub>ne</sub> kWh/m <sup>2</sup>	PE <sub>tot</sub> kWh/m <sup>2</sup>	THGE kg/m <sup>2</sup>	PE <sub>ne</sub> kWh/m <sup>2</sup>	PE <sub>tot</sub> kWh/m <sup>2</sup>	THGE kg/m <sup>2</sup>
Studierende	35.3	54.1	5.3	45.4	69.6	6.8
Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende	0.0	0.0	0.0	4.5	6.9	0.7
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)	0.0	0.0	0.0			

Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)	1.7	2.6	0.3			
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)	0.0	0.0	0.0			
Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)	1.5	2.3	0.2			
Angestellte (VZA)	11.7	10.7	1.7	17.1	15.6	2.6
<b>TOTAL</b>	<b>50.2</b>	<b>69.7</b>	<b>7.5</b>	<b>67.0</b>	<b>92.1</b>	<b>10.0</b>

Abbildung 66: Totaler jährlicher Mobilitätsaufwand pro EBF an der HSLU – T&A für die Berechnungsvarianten effektive und Standardpersonenflächen.

### 7.6.2 Standort Hochschule Luzern – Wirtschaft in Luzern

Das Berechnungsverfahren ist dasselbe wie beim Standort HSLU – T&A in Horw (vgl. Abschnitt 7.6.1).

Die standortabhängigen Eingabewerte lauteten wie folgt:

- 177 Beschäftigte pro ha
- 74 pro ha
- ÖV-Güteklasse: AB
- Parkplätze: keine (0)

Mit den obigen Eingabewerten wurden standortspezifische Korrekturfaktoren zum durchschnittlichen CH-Mobilitätsaufwand für Hochschulen berechnet. Mit diesen Korrekturfaktoren, angewendet auf die Werte von Studierenden (siehe Anhang2, Kapitel 8), liessen sich der jährliche Primärenergiebedarf sowie die Treibhausgasemissionen für den Mobilitätsaufwand pro Studierende/Weiterzubildende an der HSLU W in Luzern der Flotte 2050 kalkulieren (Abbildung 67).

	PE <sub>ne</sub> kWh	PE <sub>tot</sub> kWh	THGE kg
Studierende	789 <b>*0.67=529</b>	1210 <b>*0.67=811</b>	104 <b>*0.55=57.2</b>
Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende	510 <b>*0.67=342</b>	782 <b>*0.67=524</b>	67 <b>*0.55=36.9</b>
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)	73 <b>*0.67=49</b>	112 <b>*0.67=75</b>	10 <b>*0.55=5.5</b>
Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)	121 <b>*0.67=81</b>	186 <b>*0.67=125</b>	16 <b>*0.55=8.8</b>
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)	243 <b>*0.67=163</b>	372 <b>*0.67=249</b>	32 <b>*0.55=17.6</b>
Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)	376 <b>*0.67=252</b>	577 <b>*0.67=387</b>	50 <b>*0.55=17.6</b>

Abbildung 67: Jährlicher Mobilitätswerte pro Kopf (Studierende) an der HSLU – W in Luzern für die Flotte 2050 mit folgenden Eingabewerten: 177 Beschäftigte pro ha / 74 Einwohner pro ha / ÖV-Güteklasse: AB / Parkplätze: keine.

Für die Mitarbeitenden wurde das Modell *Arbeitsstätte, Büro* nach SIA MB 2039 angewendet. Zur Ermittlung der Änderungsfaktoren dienten wiederum Standortattribute der HSLU W in Luzern:

- Arbeitszone: Ja (Zonen für öffentliche Nutzungen)
- 0 Parkplatz je Beschäftigten

2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

- 0.22 Veloabstellplatz je Beschäftigten 0.22 (CH-Mittelwert)
- 0.56 Dauerabo ÖV je Beschäftigten 0.56 (CH-Mittelwert)
- Agglomeration: Nein

	PE <sub>tot</sub> kWh	PE <sub>ne</sub> kWh	THGE kg
Angestellte	8.97*231 *0.58= <b>1'202</b>	8.19*231* 0.58= <b>1'097</b>	1.28*231 *0.65= <b>192.2</b>

Abbildung 68: Jährlichen Mobilitätswerte pro Beschäftigte an der HSLU – W in Luzern für die Flotte 2050 mit folgenden Eingabewerten: Arbeitszone: Nein / 0 Parkplatz je Beschäftigten / 0.22 Veloabstellplatz je Beschäftigten / 0.56 Dauerabo ÖV je Beschäftigten / Agglomeration: Nein.

Der effektive Mobilitätsaufwand an der HSLU W in Luzern ergab sich aus der Multiplikation der Werte pro Kopf (Abbildung 67 und Abbildung 68) mit der Anzahl Studierende sowie Angestellte. Dabei wurde einmal mit der effektiven Personenfläche und einmal mit den in der Studie vorgeschlagenen Standardpersonenflächen gemäss Abschnitt 4.1.6 gerechnet (Abbildung 69).

	Effektive Personenflächen	Standard- personenflächen
Studierende	13.7 m <sup>2</sup> /P	20 m <sup>2</sup> /P
Weiterzubildende: berufsbe- gleitend Studierende	.	130 m <sup>2</sup> /P
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)		
Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)	17.0 m <sup>2</sup> /P	
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)		
Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)	27.1 m <sup>2</sup> /P	
Angestellte (VZA)	62.1 m <sup>2</sup> /P	80 m <sup>2</sup> /P

Abbildung 69: Zur Berechnung des Mobilitätsaufwands angenommene Anzahl an Studierenden und Angestellten an der HSLU – W im Verhältnis der EBF für die Varianten «real» und StPF»..

Die resultierenden Mobilitätswerte für die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen für die Fahrzeugflotte 2050 für beide Berechnungsvarianten sind in der Abbildung 70 dargestellt:

	HSLU – W Effektive Personenflächen			HSLU – W Standardpersonenflächen		
	PE <sub>ne</sub> kWh/m <sup>2</sup>	PE <sub>tot</sub> kWh/m <sup>2</sup>	THGE kg/m <sup>2</sup>	PE <sub>ne</sub> kWh/m <sup>2</sup>	PE <sub>tot</sub> kWh/m <sup>2</sup>	THGE kg/m <sup>2</sup>
Studierende	38.5	59.0	4.2	26.4	40.5	2.9
Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende	0.0	0.0	0.0	2.6	4.0	0.3
Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)	0.0	0.0	0.0			
Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)	4.8	7.4	0.5			
Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)	0.0	0.0	0.0			
Weiterzubildende:	9.3	14.2	1.0			

2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

MAS (45 ECTS)						
Angestellte (VZA)	19.3	17.6	3.1	15.0	13.7	2.4
<b>TOTAL</b>	<b>71.8</b>	<b>98.2</b>	<b>8.8</b>	<b>44.1</b>	<b>58.3</b>	<b>5.5</b>

Abbildung 70: Totaler jährlicher Mobilitätsaufwand pro EBF an der HSLU – W mit den Berechnungsvarianten effektive und Standardpersonenflächen.

## 8 Anhang 2: Berechnungsgrundlagen Mobilität für Nutzung „Hochschulen“

### 8.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die gängige Praxis zur Quantifizierung des Energiebedarfs der Mobilität von Studierenden und Weiterzubildenden einer Bildungsstätte, wie etwa Hochschule, Fachhochschule oder Seminarhotel, ist derzeit die behelfsmässige Verwendung einer Mischrechnung aus den Nutzungen „Büro“ und „Schule“ gemäss SIA MB 2039. Beispielsweise wurden für den Campus Horw der Hochschule Luzern, die ein Bildungsangebot für Studierende und Weiterzubildende anbietet, im Rahmen einer Vorstudie approximative Vergleichswerte anhand einer fiktiven Nutzung „Schule/Büro“ kreiert.

Hilfsrechnungen dieser Art können durch eine eigenständige, validere Berechnung ersetzt werden, indem in Anlehnung an die Methode nach SIA MB 2039 die Ausbildungswege von Studierenden und Weiterzubildenden der Mikrozonen Mobilität und Verkehr (MZMV) der Jahre 2010/2015 gemeinsam analysiert werden.

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Erstellung von Mittelwerten und Änderungsfaktoren für die Mobilität, um daran später Richt- und Zielwerte für die Quantifizierung einer Nutzung «Hochschule» abzuleiten. Die hier aufgeführten Rechenwerte sind in Anlehnung an SIA MB 2039 zu verstehen und ergänzen die bestehenden Gebäudenutzungen um die Nutzung «Hochschule».

Auf der nachfolgend vorgestellten Grundlage können für den Bereich Mobilität die Voraussetzungen beispielsweise für eine **Zertifizierung von Hochschularealen** geschaffen werden.



## 8.2 Grundlagen

Gemäss Leitfaden «Arealentwicklung für die 2000-Watt-Gesellschaft» ([27], S. 12) ist das Erfassen neuer Nutzungen in der Rechenhilfe basierend auf SIA MB 2039 grundsätzlich möglich. Die Erfordernisse sind die folgenden:

- a) die Herleitung von Mittelwerten und projektspezifischen Parametern (Änderungsfaktoren für Gebäudeumfeld und Raumstruktur) und
- b) die Ableitung von Richtwerten für den Teilbereich der gebäudestandortabhängigen Mobilität

Basierend auf den Verkehrsverhaltensdaten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) für die Erhebungsjahre 2010 und 2015 [4] sind die Voraussetzungen gegeben, neue Rechenwerte für die **Nutzung Hochschule** im Bereich **Mobilität** zu schaffen. Die beiden Datenstände (2010/2015) werden zusammengefasst, um eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen von Wegen von Studierenden und Weiterzubildenden zu Bildungsinstitutionen in der Schweiz für statistische Analysen bereitzustellen.

Im Anhang 2 werden das Vorgehen und die Ergebnisse für die Erfordernisse **a)** und **b)** dokumentiert. Für den Bereich der Mobilität werden anhand der Methodik nach SIA MB 2039 [5] Mittelwerte und Änderungsfaktor (Abschnitt 8.3) hergeleitet, sodass eine schweizweit harmonisierte Berechnungsgrundlage entsteht, die für diverse Bildungsinstitutionen (z.B. Hochschulnutzungen) angewandt werden kann.

Grundsätzlich bezieht sich die Erarbeitung der nachfolgenden Berechnungsgrundlage und Richtwerte auf das «Handbuch zum Zertifikat 2000-Watt-Areal» [28], die seinerseits auf dem SIA-Effizienzpfad Energie [1] basiert und die wichtigsten Massnahmen zur Reduktion der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen in den Bereichen Erstellung, Betrieb und Mobilität aufführt.

### **Anwendungsbereiche für die Gebäudekategorie «Hochschulen»**

«Hochschulen» umfassen alle Gebäude der Schweiz, die ein weites Spektrum an Aus- und Weiterbildung anbieten. Dazu zählen beispielsweise Universitäten, Fachhochschulen, Berufsschulen, Fachschulen, Abendschulen, Tagungsstätten sowie Seminar-/Konferenzzentren.

Ausgenommen ist die Gebäudekategorie «Schulen», die die Primar- und Sekundarstufe I beinhalten. Die Sekundarstufe II (z.B. gymnasiale Maturität) ist ebenfalls nicht in der Gebäudekategorie «Hochschule» beinhaltet.

## 8.3 Herleitung von Mittelwerten und Änderungsfaktoren

### 8.3.1 Schritt 1: Identifikation von Wegen zu Bildungsinstitutionen in den Datensätzen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010/2015 für Studierende und Weiterzubildende

Für die Identifikation von Wegen zu Hochschulnutzungen werden die folgende Personen- und Wege-kriterien festgelegt:

#### Studierende

- Personenstatus = „in Ausbildung (z.B. Student, Schüler)“
- Alter  $\geq 18$  Jahre und  $\leq 45$  Jahre
- Wegzweck = „Ausbildung/Schule“

#### Weiterzubildende

- Personenstatus  $\neq$  „in Ausbildung (z.B. Student, Schüler)“
- Wegzweck = „Ausbildung/Schule“

Diese Definition von einzubeziehenden Wegen führt dazu, dass Wege zu diversen Nutzungen wie beispielsweise

- Universitäten,
- Fachhochschulen (z.T. Berufsschulen, Fachschulen, Abendschulen)
- Tagungsstätten
- Seminar-/Konferenzzentren etc.

in die Auswertungen und Modellierung mit einfließen.

Nachfolgend werden einige Ziele exemplarisch aufgeführt, die anhand der Adressangaben im Mikrozensus Mobilität und Verkehr ermittelt werden können:

#### Studierende:

- Universität St. Gallen (HSG), Universität Luzern, Université de Neuchâtel etc.
- Fachhochschulen (z.B. *Ecole des métiers techniques de Porrentruy*, CEJEF - Division Technique (DIVTEC))
- Bibliotheken (Präsenzbibliothek der Kultur- u. Sozialwissenschaftlichen Luzern)
- Hotel-Fachschulen (Ecole-hôtelière-de-Lausanne-EHL)

#### Weiterzubildende:

- Kliniken mit Ausbildungsfunktion (Klinik Biel, Spitäler Schaffhausen)
- Weiterbildung in Vereinen (Feuerwehr Aarau)
- Hochschule für Technik und Architektur Freiburg
- Migros Klubschule

Gemäss der Datendurchsicht wird ein breites Spektrum an Aus- und Weiterbildungsinstitutionen in den Daten abgedeckt (siehe oben). Für die Berechnungen wurden alle beobachteten Wege zusammengefasst, weshalb es sich bei der Berechnungsgrundlage um einen schweizerischen Durchschnittswert für Bildungsinstitutionen im Allgemeinen handelt. Generell eignet sich diese Datengrundlage aufgrund der Vielzahl an beinhalteten Wegen zu Bildungsstätten in der Schweiz, seien es Abendschulen (Migros Klubschule) oder seien es Fachhochschulen oder Universitäten.

Nachfolgend wird die Datenaufbereitung beschrieben:

Zuerst werden die Ausbildungswege von **Studierenden** in den Wegedatensätzen des MZMV 2010/2015 identifiziert. Studierende haben den Personenstatus „in Ausbildung (z.B. Student, Schüler)“. Das Alter für Studierende wird zudem zwischen 18 und 45 Jahren begrenzt. Deren Ausbildungswege werden für die Jahre 2010 und 2015 des MZMV identifiziert und als Grundlage für die Analysen verwendet.

Anzahl Studierende mit Ausbildungswegen am Stichtag:
--

614 (nur Fälle mit vollständigen Raum-Informationen)

Zudem werden **Weiterzubildende** in den Wegedatensätzen des MZMV 2010/2015 identifiziert. Weiterzubildende haben am Stichtag der Mobilitätserhebung Wege im Inland mit dem Zweck „Ausbildung/Schule“ zurückgelegt und wurden **nicht** als Studierende bereits definiert (siehe oben).

**Anzahl Weiterzubildende mit Ausbildungswege am Stichtag:**

1021 (nur Fälle mit vollständigen Raum-Informationen)

### 8.3.2 Schritt 2: Multiplikation der Wegedistanzen mit Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionskoeffizienten je Verkehrsmittel

Für die Ermittlung der Primärenergiefaktoren PEF und Treibhausgasemissionskoeffizienten THGEK je benutztes Verkehrsmittel und zurückgelegten Kilometer werden die in der nachfolgenden Tabelle ersichtlichen Grundlagen verwendet.

Vorliegender Bericht „Hochschule“	Vergleich: SIA 2039
<b>Flotte 2016</b> KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016 mobitool (2016) (zu Fuss, Fahrrad, Regionalzug (Durchschnitt))	<b>Flotte 2015</b> KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2014 mobitool (2015) (zu Fuss, Fahrrad, Regionalzug (Durchschnitt))

Im Vergleich zu SIA 2039 wurden die Faktoren je Kilometer gemäss KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2016 aktualisiert (Ökobilanzdaten im Baubereich: Transport). Jedoch bestehen zwischen den Grundlagen aus 2009/1:2016 und 2009/1:2014 nach KBOB und 2015 und 2016 nach mobitool bezüglich den Faktoren je Verkehrsmittel und zurückgelegten Kilometer nur minimale Unterschiede. Für die Nutzung «Hochschule» werden allerdings die aktuellen Grundlagen zum Zeitpunkt der Modellierung verwendet, um die Anschlussfähigkeit im Falle einer Aktualisierung von SIA 2039 zu gewährleisten.

Basierend auf den identifizierten Wegen der Studierenden und Weiterzubildenden (vgl. Abschnitt 8.3.1S) werden die Wegedistanzen (in Kilometer) mit Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionskoeffizienten je Verkehrsmittel multipliziert (vgl. [29], S. 11).

Da die Modellierung und die schweizweiten Mittelwerte sich auf Personen beziehen, erfolgt eine Aufsummierung der Werte der Wege auf einzelne Personen (also der Wegedatensatz wird in einen Personendatensatz umgewandelt).

Auf der Basis des Personendatensatzes werden Personenmittelwerte für Studierende und Weiterzubildende bezüglich Treibhausgasemissionen und Primärenergie ermittelt (Flotte 2016 und 2050), die anfallen, wenn eine Bildungsstätte aufgesucht wird.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Mittelwerte für die Kennzahlen differenziert nach Studierenden und Weiterzubildenden. Es erfolgt ein Vergleich mit den Werten für die Arbeitsstätten.

PE <sub>nren</sub> (kWh/Tag)		PE <sub>tot</sub> (kWh/Tag)		THGE (kg/Tag)	
2016	2050	2016	2050	2016	2050
<b>9.46</b>	<b>6.05</b>	<b>13.91</b>	<b>9.13</b>	<b>1.64</b>	<b>0.83</b>
Vergleich: Arbeitsstätte, Büro (Modell-Mittelwerte, [29], S. 20)					
14.49	8.19	15.28	8.97	2.87	1.28

Tabelle 1: Studierende (Modell-Mittelwerte)

PE <sub>nren</sub> (kWh/Tag)		PE <sub>tot</sub> (kWh/Tag)		THGE (kg/Tag)	
2016	2050	2016	2050	2016	2050
<b>9.92</b>	<b>6.42</b>	<b>14.48</b>	<b>9.42</b>	<b>1.70</b>	<b>0.88</b>

Vergleich: Arbeitsstätte, Büro (Modell-Mittelwerte, [29], S. 20)					
14.49	8.19	15.28	8.97	2.87	1.28

Tabelle 2: Weiterzubildende (Modell-Mittelwerte)

Aus der Struktur der Mittelwerte ist folgendes zu erkennen.

1. Die Kennwerte von Studierenden und Weiterzubildenden liegen ungefähr auf vergleichbarer Höhe. Dies spricht dafür, die Modelle zusammenzulegen, um so die Anwendung zu vereinfachen (siehe Diskussion in Abschnitt 8.3.3).
2. Studierende und Weiterzubildende benötigen im schweizerischen Durchschnitt für das Aufsuchen von Ausbildungsstätten rund ein Drittel weniger Energie resp. Treibhausgase als Arbeitnehmende.

Nachfolgend werden einige Interpretationsbeispiele aufgezeigt, um den Bezug der Kennwerte vor dem Hintergrund der Mobilität zu Bildungsstätten zu verdeutlichen. Zusätzlich werden Empfehlungen für die Hochrechnung auf die Jahreswerte vorgeschlagen.

<b>Grundgesamtheit:</b>	Bevölkerung der Schweiz zwischen 18 und 45 Jahren mit dem Status „in Ausbildung (z.B. Student, Schüler)“, die am Stichtag Ausbildungswege aufweisen, die in dieser Anwendung der Nutzung „Hochschule“ zugewiesen werden.
<b>Interpretation Tageswerte:</b>	An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen Studierenden im Jahr 2016 9.46 kWh nicht-erneuerbare Primärenergie verbraucht, um die Nutzung «Hochschule» verkehrlich zu erreichen.
<b>Jahreswerte:</b>	<p>Innerhalb eines Kalenderjahres gibt es basierend auf dem akademischen Kalender der Schweizer Hochschulen die folgenden Präsenztage in der Schweiz für Studierende (Beispiel 2016):</p> <p>Universitäten und Fachhochschule:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frühjahrssemester: 22.02.2016–02.06.2016 (61 Tage)</li> <li>• Herbstsemester: 19.09.2016–23.12.2016 (69 Tage)</li> </ul> <p>Es wird daher empfohlen die Tageswerte mit dem Faktor 130 Tage auf das Jahr hochzurechnen (ohne Wochentage und bundesweite Feiertage). Dieser Hochrechnungsfaktor gründet auf den folgenden Annahmen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Studierende suchen während allen Vorlesungstagen eines Semesters die Hochschule auf</li> <li>b) ausserhalb des Semesters wird die Hochschule nicht aufgesucht (beinhaltet auch Bibliothek, Arbeitsräume)</li> <li>c) die Ungenauigkeiten aus a) und b) gleichen sich aus.</li> </ol>
<b>Interpretation Jahreswerte:</b>	In einem durchschnittlichen Jahr wird durch einen durchschnittlichen Studierenden <b>1230 kWh</b> nicht-erneuerbare Primärenergie verbraucht, um die Nutzung Hochschule verkehrlich zu erreichen (entspricht 9.46 kWh pro Tag multipliziert mit 130 Semestertage pro Jahr).

Tabelle 3: Studierende (Modell-Mittelwerte)

<b>Grundgesamtheit:</b>	Bevölkerung der Schweiz, die nicht den Status „in Ausbildung (z.B. Student, Schüler)“ aufweist, die aber am Stichtag dennoch Weiterbildungswege zurücklegen, die in dieser Anwendung der Nutzung «Hochschule» zugeordnet werden.
<b>Interpretation Tageswerte:</b>	An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen Weiterzubildenden im Jahre 2016 <b>9.92 kWh</b> nicht-erneuerbare Primärenergie verbraucht, um die Nutzung Hochschule zu erreichen.
<b>Jahreswerte:</b>	<p>Innerhalb eines Kalenderjahres gibt es die folgenden Präsenztage für die folgenden gängigen und weitverbreiteten Formate der Weiterbildungen an Hochschulen und Weiterbildungsinstitutionen:</p> <p>Berufsbegleitende Studierende haben in der Regel drei Präsenztage pro Studienwoche. Dies entspricht einem Hochrechnungsfaktor auf das Jahr <b>von 84 Tagen</b>.</p> <p>Des Weiteren werden die folgenden Hochrechnungsfaktoren auf das Jahr empfohlen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAS (<i>Certificate of Advanced Studies</i>) mit 10 ECTS: <b>12 Tage</b> Ein CAS von 10 ECTS umfasst 12 Tage à 8 Lektionen (insgesamt ca. 96 Präsenz-Lektionen).</li> <li>• Ein CAS (<i>Certificate of Advanced Studies</i>) mit 15 ECTS: <b>20 Tage</b></li> </ul>

	<p>Ein CAS mit 15 ECTS beinhaltet in der Regel knapp 20 Tage à 8 Lektionen (insgesamt ca. 160 Präsenz-Lektionen).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein DAS (<i>Diploma of Advanced Studies</i>) umfasst 30 ECTS: <b>40 Tage</b></li> <li>• Ein MAS (<i>Master of Advanced Studies</i>) umfasst 45 ECTS: <b>62 Tage</b></li> </ul> <p>Eine MAS umfasst 45 ECTS Präsenzzeit plus eine Master-Arbeit von 15 ECTS (betreut, aber kein klassischer Präsenzunterricht mehr) und somit 60 Tage. Da die Masterarbeit mit Betreuung vor Ort verbunden ist, werden zusätzlich 2 Tage hinzugezählt.</p> <p>Für weitere Weiterbildungsinstitutionen (Seminarzentren, z.B. Campus Sursee) wird folgendes als Hochrechnungsfaktoren empfohlen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Falls eine tägliche Anreise erfolgt: Verwendung der durchschnittlichen Anzahl der Ausbildungstage je Person oder Veranstaltung,</li> <li>b) Falls die <b>Weiterbildungsinstitution</b> Übernachtungsmöglichkeiten auf einem Campus resp. in einem Seminarhotel anbietet: durchschnittliche Anzahl <b>Anreisetage</b> je Person.</li> </ol>
<p><b>Interpretation Jahreswerte:</b></p>	<p>Beispiele für ein Kalenderjahr:</p> <p>In einem durchschnittlichen Jahr wird durch einen durchschnittlichen berufsbegleitenden Studierenden <b>833 kWh (9.92 kWh/Tag x 84 Tage)</b> nicht-erneuerbare Primärenergie verbraucht, um die Nutzung Hochschule verkehrlich zu erreichen.</p> <p>In einem durchschnittlichen Jahr wird durch einen durchschnittlichen CAS-Weiterzubildenden (15 ECTS) <b>198 kWh (9.92 kWh/Tag x 20 Tage)</b> nicht-erneuerbare Primärenergie verbraucht, um die Nutzung Hochschule verkehrlich zu erreichen.</p>

Tabelle 4: Weiterzubildenden (Modell-Mittelwerte)

### 8.3.3 Schritt 3: Variation der Mittelwerte anhand Gebäudeumfeld und Raumstruktur

In einem weiteren Schritt erfolgt eine Prüfung, wie die Mittelwerte anhand von Infrastrukturdaten und räumlicher Lage der Bildungsinstitution variiert werden können, um in Folge projektspezifische Parameter abzuleiten.

Folgende Einflussfaktoren in Anlehnung an SIA MB 2039 wurden in Bezug auf eine signifikante Beeinflussung der Anreisedistanzen zu den Bildungsstätten in den unterschiedlichsten Modellvarianten geprüft:

- Beschäftigtendichte pro Hektar am Ausbildungsort
- Einwohnerdichte pro Hektar am Ausbildungsort
- Räumliche Lage des Ausbildungsorts (Kernstadt, Agglomeration, Land etc.)
- Zone nach der Bauzonenstatistik Schweiz 2012 (Arbeit, Wohnen, Mischzone etc.)
- ÖV-Güteklasse (A bis D)
- Verfügbarkeit von Veloabstellplätze am Ausbildungsort
- Verfügbarkeit von Parkplätzen für Personenwagen am Ausbildungsort
- Kosten für Parkplätzen für Personenwagen am Ausbildungsort
- Dauerabonnementbesitz der Studierenden / Weiterzubildenden

Die Modellierungen zeigen (*Best-Fit-Modelle*), dass die folgenden Variablen sowohl bei den Studierenden als auch bei den Weiterzubildenden einen signifikanten Effekt vorweisen:

- Beschäftigtendichte pro Hektar am Ausbildungsort (je höher, desto tiefer der Modellmittelwert)
- Einwohnerdichte pro Hektar am Ausbildungsort (je höher, desto tiefer der Modellmittelwert)
- ÖV-Güteklassen
- Verfügbarkeit von Parkplätzen für Personenwagen am Ausbildungsort (je weniger, desto tiefer der Modellmittelwert)

Die acht Modelle und ihre Koeffizienten und Signifikanzen sind in einem Anhang (unveröffentlicht) festgehalten. Die Methodik der Modellerstellung ist in ([29], S.27ff.) dokumentiert.

### 8.3.4 Schritt 4: Ableitung von Korrekturfaktoren

Anhand der Modelle ist zu erkennen, dass sowohl für Studierende als auch für Weiterzubildenden die Tagesmittelwerte, die Art, Wirkrichtung, Signifikanz und Stärke der Einflussvariablen sich auf vergleichbarer Höhe befinden.

Vor dem Hintergrund einer vereinfachten Handhabbarkeit wird empfohlen, sowohl die Studierenden als auch die Weiterzubildenden in einem Modell zu berücksichtigen, sodass dieselben Änderungsfaktoren auf die unterschiedlichen Mittelwerte angewendet werden können. Der Vorteil liegt in der geringeren Komplexität und bei der einfacheren Anwendbarkeit.

Nachfolgend sind die Mittelwerte aufgezeigt, wenn Weiterzubildende und Studierende in einem Modell analysiert werden.

PE <sub>nren</sub> (kWh/Tag)		PE <sub>tot</sub> (kWh/Tag)		THGE (kg/Tag)	
2010/2015	2050	2010/2015	2050	2010/2015	2050
<b>9.13</b>	<b>6.07</b>	<b>14.27</b>	<b>9.31</b>	<b>1.47</b>	<b>0.80</b>
Vergleich: Arbeitsstätten (Modell-Mittelwerte, [29], S. 20)					
14.49	8.19	15.28	8.97	2.87	1.28

Tabelle 5: Weiterzubildende/Studierende (Modell-Mittelwerte)

Je nach Studierender oder Weiterzubildender (CAS, MAS, berufsbegleitend) werden mit einem Faktor Jahreswerte errechnet, die anhand des Einflusses des Gebäudestandorts variiert werden können (vgl. Tabelle 3 und 4).

#### a) Durchschnittswerte Studierende/Weiterzubildende

##### Berechnung

Die Werte für Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Nutzung Hochschule setzen sich zusammen aus der Mobilität der Studierenden und der Weiterzubildenden. Die personenbezogenen Werte für Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen aus der Mobilität der Beschäftigten (Dozenten, Doktoranden etc.) werden nach SIA 2039 mit der Kategorie Arbeitsstätte, Büro berechnet. Die Umrechnung auf die flächenbezogenen Werte ist in einem Foliensatz zu Projekt unveröffentlicht) dokumentiert. Im Folgenden wird die vorzunehmende Berechnung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen aus der Mobilität der Studierenden und Weiterzubildenden erläutert.

##### Durchschnittswert Studierende und Weiterzubildende

Durchschnittswerte für den Verbrauch nicht erneuerbarer und gesamter Primärenergie (PE<sub>nren</sub> und PE) und der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen pro Studierenden und Weiterzubildenden der Nutzung «Hochschule» für die Flotten 2016 und 2050 können Tabelle 6 entnommen werden. Diese gelten für eine durchschnittliche Flottenzusammensetzung im jeweiligen Bezugsjahr.

	Flotte 2016			Flotte 2050		
	PE <sub>nren</sub> kWh	PE kWh	THGE kg	PE <sub>nren</sub> kWh	PE kWh	THGE kg
<b>Studierende</b>	1187	1855	191	789	1210	104
<b>Weiterzubildende: berufsbegleitend Studierende</b>	767	1199	123	510	782	67
<b>Weiterzubildende: CAS (10 ECTS)</b>	110	171	18	73	112	10
<b>Weiterzubildende: CAS (15 ECTS)</b>	183	285	29	121	186	16
<b>Weiterzubildende: DAS (30 ECTS)</b>	365	571	59	243	372	32

<b>Weiterzubildende: MAS (45 ECTS)</b>	566	885	91	376	577	50
<b>Durchschnittswert über alle Kategorien</b>	530	828	85	352	540	47

Tabelle 6 Durchschnittlicher jährlicher Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, totaler Primärenergie und daraus resultierende Treibhausgasemissionen pro Studierende/Weiterzubildende für Hochschulnutzungen für die Flotte 2016 bzw. 2050

### Spezialfall «Weiterzubildende: Sonstige»

Im Falle von Seminarhotels können Weiterzubildende direkt übernachten, weswegen empfohlen wird, den durchschnittlichen Tageswert mit der Anzahl Anreisetage (anstatt den Präsenztagen) zu multiplizieren. Zudem gibt es Weiterzubildende, die nicht den allgemeinen Formaten, wie etwa CAS, DAS oder MAS, zuzuordnen sind. In diesem Falle ist für einen Personenwert, der sich auf ein Jahr bezieht, der durchschnittliche Tagesbedarf mit den jährlichen Präsenztagen zu multiplizieren.

	Flotte 2016			Flotte 2050		
	PE <sub>nren</sub> kWh	PE kWh	THGE kg	PE <sub>nren</sub> kWh	PE kWh	THGE kg
<b>Weiterzubildende: Sonstige</b> (Werte sind bei Seminarhotels mit Anzahl Anreise- oder bei Weiterzubildenden in nicht gängigen Formaten (CAS, MAS) mit Präsenztagen zu multiplizieren)	9.13*x	14.27*x	1.47*x	6.07*x	9.31*x	0.80*x

Tabelle 7 Durchschnittlicher Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, totaler Primärenergie und daraus resultierende Treibhausgasemissionen pro Weiterzubildenden je Anreisetage zur Hochschule für die Flotte 2016 bzw. 2050

Beispielsweise werden Weiterzubildende, die an zwei verschiedenen Wochenenden ein Seminarhotel aufsuchen, mit 18.26 kWh für PEnren als Jahreswert belegt. Dieser Wert wird je nach Lage der Bildungsstätte variiert (sh. nachfolgenden Abschnitt 8.3.4).

### b) Korrekturfaktoren für Einflüsse des Gebäudestandorts

Eine Zusatzauswertung zum Mikrozensus Mobilität & Verkehr 2010/2015 zeigt, dass folgende Faktoren einen relevanten Einfluss auf die Mobilitätsenergie der Studierenden & Weiterzubildenden haben:

- Beschäftigtendichte,
- Einwohnerdichte,
- ÖV-Güteklasse,
- Verfügbarkeit von Parkplätzen an Hochschulen

Anhand eines Excel-Simulationstools wurden die in den nachfolgenden Kapiteln präsentierten Änderungsfaktoren abgeleitet. Das Simulationstool ist dem Anhang (unveröffentlicht) zu entnehmen.

### Beschäftigtendichte am Gebäudestandort

Die Beschäftigtendichte am Gebäudestandort gibt die massgebende Anzahl Beschäftigte pro Hektare am Gebäudestandort an. Sie ist der Durchschnitt der Hektarfelder des Quadrats mit 1300 Metern Kantenlänge (total 169 Hektarfelder) und dem Gebäudestandort im Zentrum. Die Werte der Hektarfelder können über das Web-GIS ARE ermittelt werden. Bei geplanten Gebäuden sind die Werte aus dem Web-GIS ARE um die zu erwartende Zunahme der Beschäftigtendichte durch das Projekt zu korrigieren. Mit zunehmender Beschäftigtendichte verringern sich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen. Zwischen den einzelnen Dichtekategorien dürfen die Korrekturfaktoren linear interpoliert werden.

## 2000-Watt-Areale, Gebäudekategorie «Hochschule»

	Flotte 2016		Flotte 2050	
	PE <sub>nren</sub>	THGE	PE <sub>nren</sub>	THGE
0 Besch./ha	1.12	1.26	1.08	1.19
25 Besch./ha	1.08	1.16	1.05	1.12
50 Besch./ha	1.03	1.07	1.02	1.05
100 Besch./ha	0.95	0.91	0.97	0.93
150 Besch./ha	0.88	0.77	0.91	0.81
200 Besch./ha	0.81	0.65	0.86	0.71
250 Besch./ha	0.74	0.55	0.82	0.63
300 Besch./ha	0.69	0.47	0.77	0.55
350 Besch./ha	0.63	0.4	0.73	0.49
400 Besch./ha	0.58	0.34	0.69	0.43

Tabelle 8 Korrekturfaktoren gegenüber dem CH-Durchschnitt für das Merkmal Beschäftigtendichte für die Mobilität von Studierenden/Weiterzubildenden von Gebäuden mit der Nutzung «Hochschule»

### Einwohnerdichte am Gebäudestandort

Die Einwohner am Gebäudestandort gibt die massgebende Anzahl Einwohner pro Hektare am Gebäudestandort an. Sie ist der Durchschnitt der Hektarfelder des Quadrats mit 1300 Metern Kantenlänge (total 169 Hektarfelder) und dem Gebäudestandort im Zentrum. Die Werte der Hektarfelder können über das Web-GIS ARE ermittelt werden. Bei geplanten Gebäuden sind die Werte aus dem Web-GIS ARE um die zu erwartende Zunahme der Einwohnerdichte durch das Projekt zu korrigieren. Mit zunehmender Beschäftigtendichte verringern sich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen. Zwischen den einzelnen Dichtekategorien dürfen die Korrekturfaktoren linear interpoliert werden.

	Flotte 2016		Flotte 2050	
	PE <sub>nren</sub>	THGE	PE <sub>nren</sub>	THGE
0 EW/ha	1.28	1.20	1.25	1.17
20 EW/ha	1.14	1.11	1.23	1.09
40 EW/ha	1.02	1.01	1.02	1.01
60 EW/ha	0.91	0.93	0.91	0.94
80 EW/ha	0.80	0.85	0.82	0.87
100 EW/ha	0.71	0.77	0.73	0.80
120 EW/ha	0.63	0.70	0.65	0.74
140 EW/ha	0.55	0.64	0.58	0.68
160 EW/ha	0.48	0.58	0.51	0.62
180 EW/ha	0.42	0.52	0.45	0.56
200 EW/ha	0.37	0.46	0.40	0.51
220 EW/ha	0.32	0.41	0.35	0.46
240 EW/ha	0.27	0.37	0.30	0.41

Tabelle 9 Korrekturfaktoren gegenüber dem CH-Durchschnitt für das Merkmal Einwohnerdichte für die Mobilität pro Studierenden/Weiterzubildenden von Gebäuden mit der Nutzung Hochschule



### ÖV-Güteklasse am Gebäudestandort

Die «ÖV-Güteklasse am Gebäudestandort» leitet sich gemäss ARE ÖV-Güteklassen aus der Kombination von Haltestellenkategorien (Verkehrsmittel, Fahrplandichte) und der Erreichbarkeit der Haltestellen (Distanzen in m) ab. Sie kann über das Web-GIS ARE ermittelt werden. Mit abnehmender Erschliessungsgüte erhöhen sich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen.

	Flotte 2016		Flotte 2050	
	PE <sub>nren</sub>	THGE	PE <sub>nren</sub>	THGE
Klasse <b>A</b> und <b>B</b> = sehr gute bis gute Erschliessung	0.95	0.90	0.98	0.93
Klassen <b>C</b> bis <b>E</b> = übrige Erschliessungsgüteklassen	1.11	1.30	1.03	1.17

Tabelle 4 Korrekturfaktoren gegenüber dem CH-Durchschnitt für Standortmerkmal ÖV-Güteklasse für Hochschulnutzungen

### Anzahl verfügbarer Park- und Garagenplätze

Die Variable «Anzahl verfügbarer Park- und Garagenplätze» umschreibt die Anzahl der den Studierenden/Weiterzubildenden zur Verfügung stehenden PW-Parkplätze. Parkplätze auf öffentlichem Grund werden nicht mitgerechnet. Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen nehmen mit der Anzahl der verfügbaren Park- und Garagenplätze zu.

	Flotte 2016		Flotte 2050	
	PE <sub>nren</sub>	THGE	PE <sub>nren</sub>	THGE
Keine Parkplätze vorhanden	0.88	0.84	0.91	0.88
0,5 Parkplätze pro Studierenden/Weiterzubildenden vorhanden	1.02	1.02	1.01	1.02
1 Parkplatz pro Studierenden/Weiterzubildenden vorhanden	1.18	1.24	1.13	1.17

Tabelle 5 Korrekturfaktoren für die Verfügbarkeit von Parkplätzen an Hochschulnutzungen

### c) Flächenbezug und Vergleich mit Richtwerten

Die aus den Angaben unter Kapitel 0 und 0 berechneten Ergebnisse für den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen pro Studierenden/Weiterzubildenden und Jahr sind auf die vorhandene Energiebezugsfläche umzurechnen. Dazu sind die personenbezogenen Ergebnisse durch die Personenflächen zu dividieren. Dieses Vorgehen wird in den weiterführenden Arbeiten zu den Ziel- und Richtwerten dokumentiert (sh. Kapitel 4).

Die vorgestellten Grundlagen zu den Jahresmittelwerte und den Änderungsfaktoren können in Ergänzung zu SIA MB 2039 verwendet werden.

## 8.4 Drittnutzungsanteil

Oft werden gewisse Nutzungen auf dem Hochschulareal (z.B. Restaurant) zu einem relevanten Anteil von Dritten, Nicht-„Hochschul“-Angehörigen, genutzt.

Es wird empfohlen, dass wenn auf dem Areal ein Angebot herrscht, das extern zu hoher Nachfrage führt (z.B. >20%), dieses mit den bestehenden Nutzungen (z.B. Restaurant, Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil) nach SIA 2039 berechnet wird. Somit ist für den Drittnutzungsanteil dieser Nutzungen eine separate Berechnung durchzuführen.

## 8.5 Plausibilisierung der Daten

Basierend auf einer Befragung von Studierenden der Universität Lausanne beträgt die Luftlinie zwischen dem Wohnort und dem Universitätsstandort rund 16 Kilometer. Luftlinien werden in der Praxis mit dem Faktor 1.3 korrigiert, um eine Einschätzung für die tatsächliche Distanz zu bekommen. In diesem Fall handelt es sich um eine geschätzte Anreisedistanz von rund 21 Kilometer.

Im Rahmen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr liegen die Tagesdistanzen für die Anreise der Studierenden bei rund 25 Kilometern. Auch wenn die korrigierte Luftliniendistanz und das Wegekonzept des Mikrozensus Mobilität und Verkehr nicht eins zu eins vergleichbar sind, so liegen die beiden Kennwerte auf vergleichbarer Flughöhe.

Dieselbe Studie weist die folgenden Anteile an Verkehrsmitteln für die Anreise auf. Anreisewege, die zwei Verkehrsmittel aufweisen, wurden in den Daten der Universität unter Kombinationen zusammengefasst. Auch bei dieser Gegenüberstellung zeigt sich eine zufriedenstellende Vergleichbarkeit der Daten.

	Universität Lausanne	Wege für Nutzung «Hochschule»
Zu Fuss	2.4%	3.2%
Öffentlicher Verkehr	60.9%	58.2%
Velo	8.8%	7.2%
Personenwagen	16.1%	17.2%
Motorisierte Zweiräder	2.9%	1.8%
Andere/Kombinationen	8.9%	12.4%

## 8.6 Herleitung von Richtwerten für die Mobilität

Die Herleitung von Richt- und Zielwerten orientiert sich am Vorgehen, das beim SIA MB 2040 angewendet wurde. Bei den Zielwerten für die 2000-Watt-Gesellschaft können grundsätzlich zwei methodische Ansätze verfolgt werden.

1. Beim **Top-Down**-Ansatz kommen die im SIA MB 2040 vorgegebenen Reduktionsfaktoren zur Anwendung. Deren Multiplikation mit den heutigen Kennwerten der einzelnen Gebäudenutzungen ergeben – sofern vorhanden – 2000-Watt-kompatible Zielwerte für die Treibhausgasemissionen und die Primärenergie.
2. Beim **Bottom-up**-Ansatz wird das Prinzip „hart aber machbar“ angewendet. Dabei werden Fallbeispiele mit besonders günstigen Randbedingungen (kompaktes Gebäude, Standort mit guter Anbindung an den öffentlichen Verkehr, effiziente Wärmeerzeugung etc.) angenommen und daraus Richtwerte für die Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität hergeleitet.

Die Zielwerte ergeben sich aus der Summe der einzelnen Richtwerte. Aus der Gegenüberstellung der zwei Ansätze können für die untersuchte Gebäudenutzung im Idealfall realistische Zielwerte bestimmt werden.

Diese Arbeiten sind dem Kapitel 4 zu entnehmen.