

ÖKOBILANZ DES ELECTRONICS BASED SYSTEMS BUILDING AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT GRAZ

D. Maierhofer¹, E. Hoxha¹ und A. Passer¹

¹Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen, TU Graz, Graz, Österreich

E-Mail: alexander.passer@tugraz.at

KURZFASSUNG

Diese Studie beschreibt die Ergebnisse der Ökobilanz für alle wesentlichen Gewerke des Electronics Based Systems Building (EBS) an der TU Graz. Die Ergebnisse zeigen, dass aufgrund des hohen Betriebsenergiebedarfs in einem Forschungs- und Laborgebäude, dieser rund 82% der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahre beiträgt, was jedoch der Bilanzierung unter Annahme des derzeitigen österreichischen Strommixes geschuldet ist. Eine Szenarienanalyse zukünftiger Strommixe zeigt, dass der relative Anteil der Emissionen aus der Betriebsenergie signifikant sinken kann. Hingegen die ‚grauen‘ Emissionen im Gebäude werden mit rund 1 tCO₂-eq/m²_{NGF} errechnet und stellen nach Analyse der Szenarien einen wesentlichen Teil der Emissionen über den Lebenszyklus dar. Setzt man zusätzlich die Ergebnisse der grauen Emissionen des EBS Gebäudes in den Kontext der Gesamt-THG-Bilanz der TU Graz, indem man von einer jährlichen Neubaurate von 5.000 m²_{NGF}/a ausgeht, so sind die grauen Emissionen des Neubaus von Gebäuden für rund 18% der gesamten jährlichen THG-Emissionen der TU Graz verantwortlich. Aufgrund der angestrebten Dekarbonisierung in der Strombereitstellung werden die grauen THG-Emissionen von Gebäuden daher relativ wichtiger.

ABSTRACT

This study outlines the results of the life cycle assessment for all essential parts of the Electronics Based Systems Building (EBS) at Graz University of Technology. The results show that, due to the high operating energy demand in a research and laboratory building, the operating energy demand is responsible for about 82% of the greenhouse gas emissions over a period of 50 years. Nevertheless, a scenario analysis of future electricity mixes shows that the relative share of emissions from operating energy decreases significantly. In contrast, the grey emissions in the building are determined to be around 1 tCO₂-eq/m²_{NFA} and, according to the analysis of the scenarios, represent a substantial part of the emissions over the building's life cycle. If the results of the grey



Abbildung 1: Darstellung des EBS Gebäudes
(Quelle: AWG Architektur ZT GmbH)

emissions of the EBS building are additionally put into the context of the overall GHG accounting of the Graz University of Technology by assuming an annual new construction rate of 5.000 m²_{NFA}/a, the grey emissions of new building construction are responsible for about 18% of the total annual GHG emissions of the Graz University of Technology. Due to the decarbonisation of the electricity sector, the grey GHG emissions of buildings are becoming relatively more important.

EINLEITUNG

In Anbetracht der globalen Klimakrise und eines bevorstehenden disruptiven Zerfalls der auf fossilen Energieträgern aufbauenden Wirtschaftssysteme ist sich die TU Graz ihrer Rolle als vordenkende Zukunftswerkstätte der Gesellschaft bewusst und will mit ihrer vielfältigen technisch-wissenschaftlichen Expertise einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten. Als nachhaltige Universität ist die TU Graz Vorbild, Motor und Multiplikator für die Gestaltung zukunftsfähiger Lösungen zur nachhaltigen Entwicklung und bekennt sich zur Umsetzung der UN Agenda 2030-Ziele (Sustainable Development Goals – SDGs) (TU Graz, 2020).

Elementarer Bestandteil der Aktivitäten des Nachhaltigkeitsbeirats der TU Graz ist die regelmäßige Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (THG-Bilanz), die als Bezugsbasis und Kontrollinstrument für Maßnahmen

dient, um die TU Graz bis zum Jahr 2030 weitestgehend Klimaneutral auszurichten. Zur Erreichung der Ziele wurde bereits 2017 die Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen beauftragt, alle Standorte der TU Graz hinsichtlich des Energieverbrauchs für Strom, Heizung und Mobilität, des Treibstoff- und Materialeinsatzes sowie der Menschen in einer so genannten Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) zu bewerten. Diese THG-Bilanz der TU Graz wurde im THG-Bericht 2017 veröffentlicht (Maier et al., 2020).

Eine Bewertung der grauen THG-Emissionen aus der Gebäudeerrichtung war bis dato in der Methodik zur THG-Bilanzierung von Universitäten nicht vorgesehen (Getzinger et al., 2019). Angesichts der Tatsache, dass der Gebäudesektor für rund 40% der Treibhausgasemissionen (CCCA, 2020) verantwortlich ist und hinsichtlich Universitätsgebäuden in der Literatur kaum Studien existieren (Röck et al., 2020), um Aussagen zu deren Treibhausgasemissionen zu treffen, zeigte die TU Graz vertieftes Interesse an der Bilanzierung eines eigenen Referenzgebäudes.

Die Autoren wurde daher von der OE Gebäude und Technik mit der Forschungsaufgabe betraut, die Umweltwirkungen eines neu errichteten Universitätsgebäudes, d.h. der betrieblichen sowie auch der grauen Emissionen, zu bewerten. Dafür wurde als Referenzgebäude das Electronics Based Systems Building (EBS) gewählt (siehe Abbildung 1). Dieses Gebäude wurde aufgrund seiner 'state of the art'-Baumethode mit Stahlbeton und Wärmedämmverbundsystem sowie der installierten gebäudetechnischen Anlagen als repräsentatives Referenzgebäude erachtet und soll der Ableitung zukünftiger Optimierungsstrategien hinsichtlich der Reduktion der THG-Emissionen dienen.

ÖKOBILANZIERUNG

Um die Umweltauswirkungen des Referenzgebäudes EBS zu bewerten, wurde eine Ökobilanz (LCA) nach EN 15978 (CEN/TC 350, 2011) durchgeführt. Die Systemgrenze für den Gebäudeumfang umfasst die nach ÖNORM B1801 definierten Bereiche 'Bauwerk-Rohbau' und 'Bauwerk-Ausbau' sowie die gebäudetechnischen Anlagen (HVAC) und elektrischen Installationen. Die beiden letzteren sind lt. ÖNORM B1801 in 'Bauwerk-Technik' einzugliedern. Für diese Studie wird die Bezugseinheit m² verwendet. Dabei wird die Nettogeschossfläche (NGF) von rund 4.200 m² betrachtet. Die Systemgrenzen, die die verschiedenen Phasen im Lebenszyklus von Gebäuden unterscheiden, werden auf der Grundlage des Modularitätsprinzips nach EN 15978 definiert. Dies bedeutet, dass die Einheitsprozesse, die die Umweltleistung des Gebäudes während seines Lebenszyklus beeinflussen, dem Modul im Lebenszyklus zugeordnet werden, in dem sie auftreten. Die in dieser Studie durchgeführten LCA umfasst alle relevanten

ANGABEN ZUM LEBENSZYKLUS DES GEBÄUDE

ANGABEN ZUM LEBENSZYKLUS DES GEBÄUDE														ERGÄNZENDE ANGABEN		
HERSTELLUNGS-PHASE			BAU-PROZESS-PHASE		NUTZUNGSPHASE							ENTSORGUNGS-PHASE		POTENZIELLE VORTEILE & BELASTUNGEN		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Robstoffbeschaffung	Transport	Produktion	Transport	Errichtung/ Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau/Abriß	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwertung, Rückgewinnung, Recycling
✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓		✓	✓	✓	

Abbildung 2: Berücksichtigte Lebenszyklusmodule für das EBS Gebäude

Lebenszyklusmodule, welche in Abbildung 2 dargestellt sind.

Das funktionale Äquivalent, definiert anhand der Methode nach PEF4Buildings (VITO, KU Leuven, & TU Graz, 2018) ist ein Bürogebäude mit speziellen elektronischen Laboreinrichtungen, inklusive haustechnischen und elektrischen Installationen, das über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren untersucht wird und anhand der Quantitäten der letzten Ausschreibungsunterlagen in Bezug auf das gesamte Gebäude bewertet wurde (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Hauptaspekte des Funktionalen Äquivalents

FUNKTIONALES ÄQUIVALENT	
What?	Ein Bürogebäude mit speziellen elektronischen Laboreinrichtungen, inklusive haustechnischen und elektrischen Installationen, unter Ausschluss der Außenanlagen.
How much?	Ein Bürogebäude mit speziellen elektronischen Laboreinrichtungen mit einer Nettogeschossfläche von 4.204,20 m ² .
How well?	Ein Bürogebäude mit speziellen, auf Elektronik basierenden Laboreinrichtungen, das nach dem aktuellen Stand der Technik und unter Einhaltung der geltenden Vorschriften zur Energieeffizienz gebaut wurde.
How long?	50 Jahre Betrachtungszeitraum

SACHBILANZ

Die Ergebnisse der Sachbilanz stellen einen Überblick über die im Lebenszyklus des EBS benötigten Materialien, Transporte, Energie etc. dar. Zur besseren Vergleichbarkeit und zur Verwendung in weiteren Untersuchungen für die TU Graz werden die Werte pro Quadratmeter Nettogeschossfläche beschrieben.

Für das Modul A1-A3 kann eine Gesamtmaterialmenge von rund 2.620 kg/m²_{NGF} festgestellt werden. Im Modul A4 ergibt die Gesamttransportmenge 7,22 km/m²_{NGF}, während im Modul A5 die Menge des in Baumaschinen eingesetzten Dieselmotorkraftstoffs 1,07 l/m²_{NGF} und der Strom für die Baustelle 14,24 kWh/m²_{NGF} ergibt. Die Erneuerungen im Modul B4 ergeben 102 kg/m²_{NGF} ersetztes Material im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren.

Ein wesentlicher Teil der Sachbilanz ist die Betriebsenergie. Diese besteht lt. EN 15978 aus den Energien in den Untermodulen B6-1 (Gebäudebezogene Energienutzung lt. EN 15603), B6-2 (Gebäudebezogene Energienutzung, die nicht unter EN 15603 fällt) sowie B6-3 (Nicht auf das Gebäude bezogene Energienutzung). Die Betriebsenergie ergibt sich im Falle des EBS Gebäudes zu 289 kWh/m²_{NGFA} und setzt sich zusammen aus der Heizung via Wärmepumpe (22,45 kWh/m²_{NGFA}; B6-1), Heizung via Fernwärme (8,85 kWh/m²_{NGFA}; B6-1), Kühlung (122,16 kWh/m²_{NGFA}; B6-1), Belüftung (27,63 kWh/m²_{NGFA}; B6-1), Wasser (Heizung, Antrieb, Pumpen; 3,86 kWh/m²_{NGFA}; B6-1), sonstige Haustechnik (Befeuchtungszonen und Server, Vakuumpumpe; 2,47 kWh/m²_{NGFA}; B6-1), Beleuchtung und elektrische Geräte (48,63 kWh/m²_{NGFA}; B6-1), Aufzug und Notfalldienste (2,08 kWh/m²_{NGFA}; B6-2) sowie der Server-Farm (51,05 kWh/m²_{NGFA}; B6-3). Da es sich bei diesen Werten um Planungsangaben handelt, kann Energiebedarf des Gebäudes in der tatsächlichen Nutzung des Gebäudes variieren. Ebenso wären hier Allokationsfragen (z.B. Server-Farm) zu diskutieren und abzugrenzen. Um in Zukunft genaue Angaben für die Betriebsenergie zu erhalten, sollen Simulationswerkzeuge des Building

Information Modelling (BIM) zur Anwendung kommen, wie dies in zahlreichen Studien bereits durchgeführt wird (Obrecht et al., 2020).

Der Wasserverbrauch in der Betriebsphase im Modul B7 ergibt sich zu 0,24 m³/m²_{NGF}.

In Bezug auf das End-of-Life werden die Ergebnisse für den Transport in Modul C2 mit 1,98 km/m²_{NGF} und die Menge der Materialien, die sortiert, deponiert, verbrannt, wiederverwendet und recycelt werden, mit 2.620 kg/m²_{NGF}, 174 kg/m²_{NGF}, 40 kg/m²_{NGF}, 0 kg/m²_{NGF} bzw. 2.406 kg/m²_{NGF} errechnet. Zu erwähnen ist hier, dass die Prozesse des Wiederverwendens und des Recyclings im Modul D stattfinden und somit außerhalb der gewählten Systemgrenz für diese Studie liegen.

ERGEBNISSE

Für die Ergebnisanalyse werden die ökologischen "Hotspots" des Gebäudes auf Gebäudeebene bewertet. Die Ergebnisse der THG-Emissionen je Lebenszyklusmodul werden in Abbildung 3a dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass der betriebliche Energiebedarf in Modul B6 unter Anwendung eines durchschnittlichen

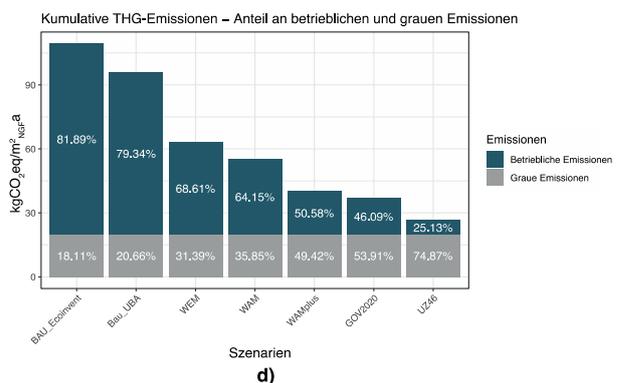
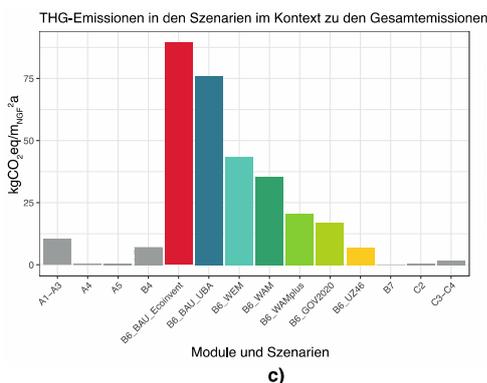
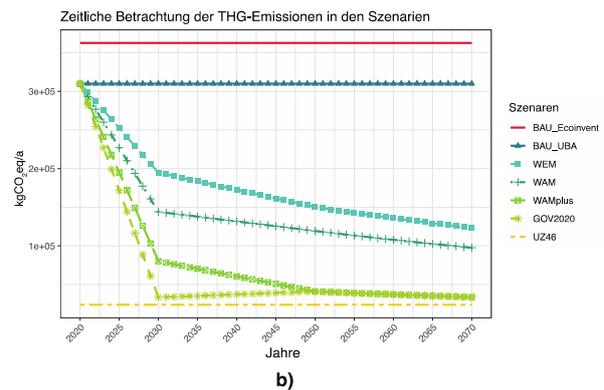
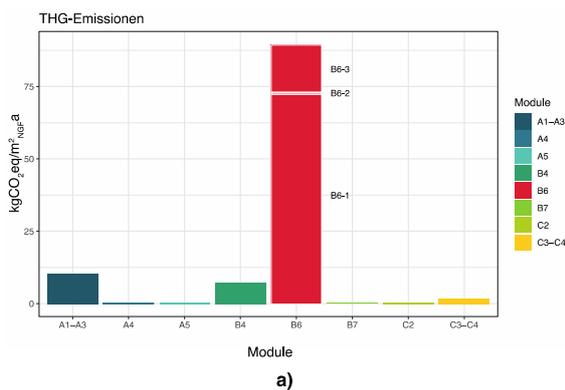


Abbildung 3:

- a) THG-Emissionen des EBS Gebäudes je Lebenszyklusmodul mit statischem Strommix in Modul B6 (inkl. Darstellung B6-1, B6-2 und B6-3)
- b) Unterschiedliche Szenarien für die zeitliche Entwicklung des Strommixes in Österreich
- c) Unterschiedliche Szenarien für Modul B6 im Kontext zu den Emissionen in den einzelnen Modulen
- d) Kumulative Emissionen über die RSP von 50 Jahren sowie der jeweilige relativer Anteil der betrieblichen und grauen Umweltwirkungen

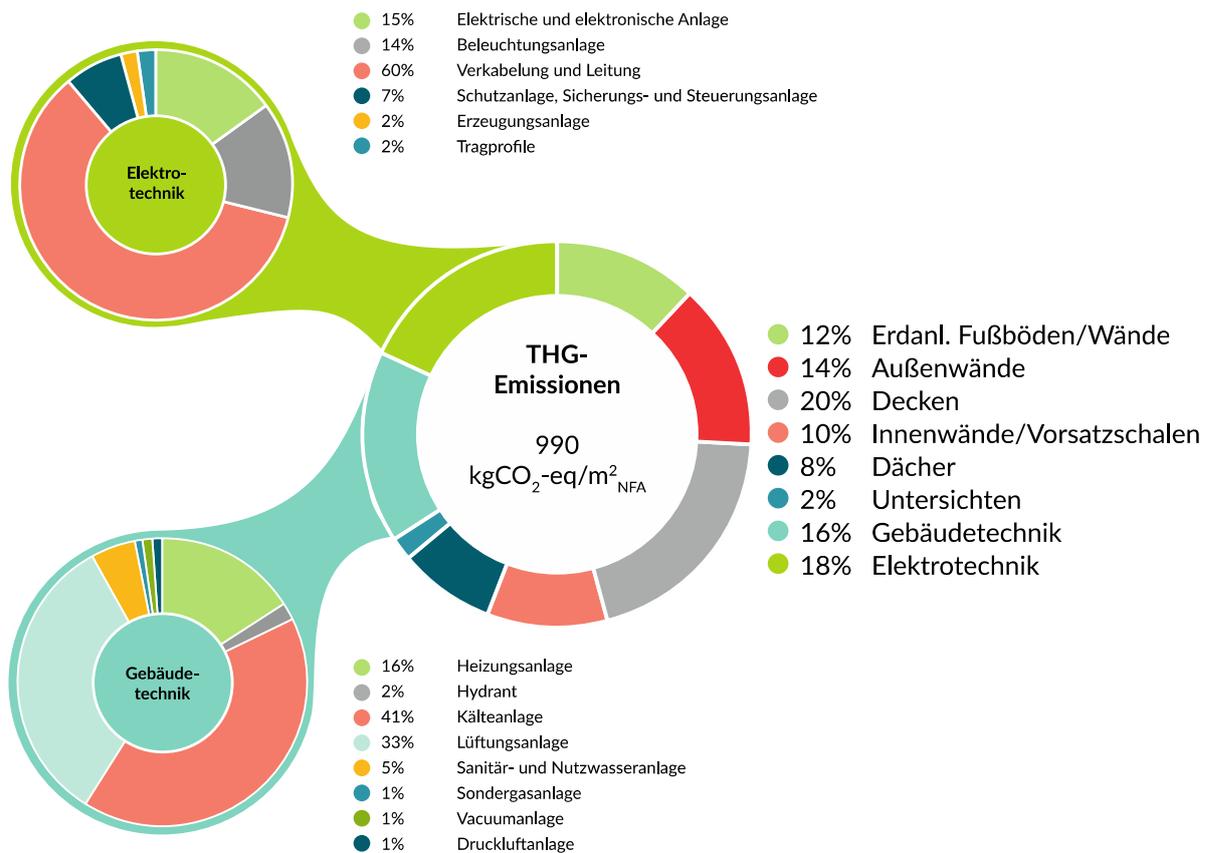


Abbildung 4: Verteilung der grauen THG-Emissionen im EBS Center, aufgeteilt in ‚Bauwerk-Rohbau‘ und ‚Bauwerk-Ausbau‘ (Großer Kreis) und ‚Bauwerk-Technik‘ (zwei kleine Kreise) (siehe auch (Maier et al., 2020))

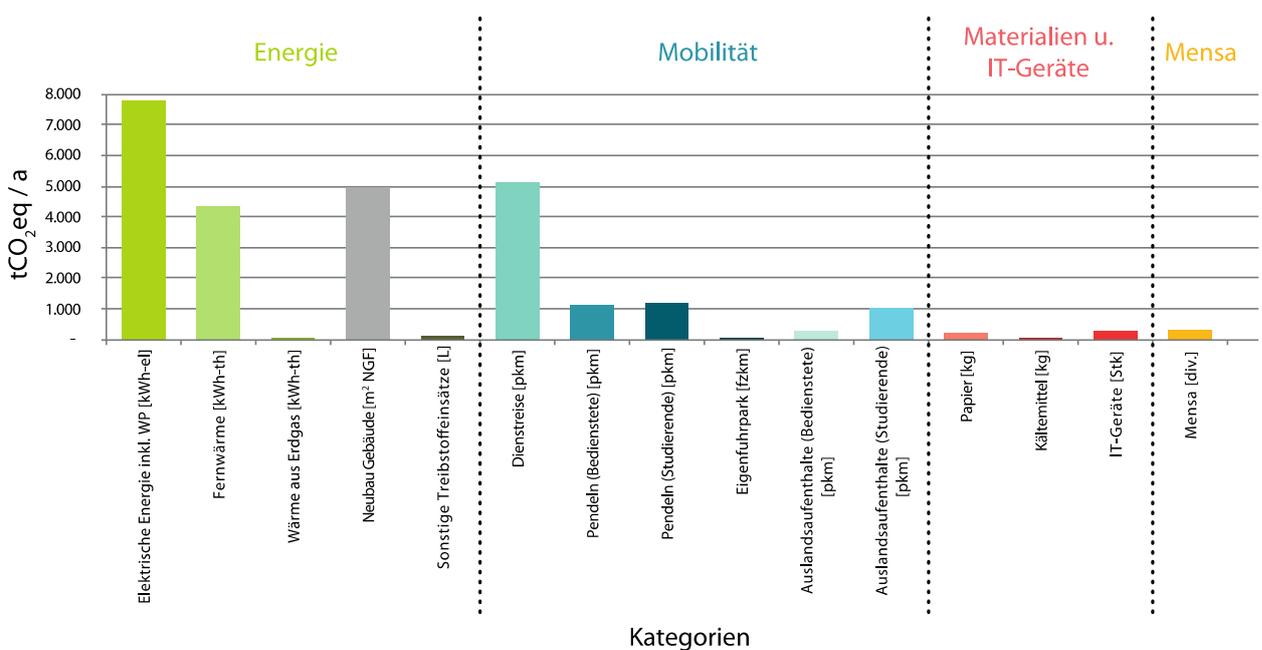


Abbildung 5: THG-Bilanz der TU Graz für das Jahr 2017 - inklusive Neubau Gebäude (graue Säule) (aufbauend auf (Maier et al., 2020))

österreichischen Energiemixes (IEA, 2017) mit etwa 82% den den größten Anteil an den Umweltauswirkungen aufweist, wobei hier zu beachten ist, dass ein statischer Energiemix über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren angesetzt ist. Betrachtet man den österreichischen Energiemix heute - wie für diese Studie herangezogen - so ist dieser nach wie vor abhängig von Importen aus Nachbarländern, die einen signifikanten Anteil an nicht erneuerbaren Energien enthalten.

In Anbetracht der derzeitigen Bemühungen auf europäischer und globaler Ebene hinsichtlich eines Übergangs zu erneuerbaren Energien, der zur Erreichung internationaler Klimaziele unabdingbar ist, ist diese Annahme sicherlich mit einem hohen Maß an Unsicherheit verbunden. Auch die Höhe des angegebenen Energieverbrauchs des Gebäudes wurde wie bereits erwähnt aufgrund der Angaben der Planung berücksichtigt und kann in der tatsächlichen Nutzung des Gebäudes durchaus stark abweichen.

Daher wurde im Zuge der Studie eine Untersuchung unterschiedlicher Szenarien für die Emissionsreduktion zukünftiger Energiemixe der in der Betriebsphase verwendeten elektrischen Energie durchgeführt. Die Szenarien basieren mehreren Publikationen zur Zukunft der österreichischen Energielandschaft (Baumann & Kalt, 2017; Die neue Volkspartei & Die Grünen - Die Grüne Alternative, 2020; Krutzler et al., 2015; Österreichisches Umweltzeichen, 2018; Umweltbundesamt, 2017). Die Ergebnisse dieser Szenarien sind in Abbildung 3b (zeitliche Entwicklung) und Abbildung 3c (Emissionen in den einzelnen Szenarien) ersichtlich. Entscheidend aus dieser Analyse ist die Erkenntnis, dass mit der zukünftigen Abnahme der Emissionen aus der Betriebsenergie durch den sukzessiven Ausbau erneuerbarer Energiequellen, der relativ betrachtete Anteil der grauen Emissionen an den Gesamtemissionen von rund 20% auf rund 75% steigen kann und somit sukzessive an Bedeutung gewinnt (siehe Abbildung 3d).

Betrachtet man aufbauend auf dieser Erkenntnis und deren zukünftiger Relevanz nun die grauen Umweltwirkungen des EBS-Gebäudes, so betragen diese in einer vereinfachten Betrachtung rund $1 \text{ tCO}_2\text{-eq/m}^2_{\text{NGF}}$ THG-Emissionen (siehe Abbildung 4). Den größten Beitrag dazu liefert in einer 'Top-Down' Sicht auf das Gebäude die nach ÖNORM B1801 (ASI, 2015) definierten Bereiche 'Bauwerk-Rohbau' und 'Bauwerk-Ausbau' (Gemeinsam hier nun als 'Bausubstanz (B)' bezeichnet) mit 66% Anteil an den grauen THG-Emissionen. Innerhalb der 'Bausubstanz' weisen die Decken mit etwa 20% den höchsten Beitrag zu den THG-Emissionen auf.

Nichtsdestotrotz zeigen auch Gebäudetechnikanlagen und Elektroinstallationen (lt. ÖNORM B1801 der Bereich 'Bauwerk-Technik'), die meist nicht in die

Bewertung der Ökobilanz von Gebäuden einbezogen werden (Passer et. al, 2012), einen signifikanten Anteil an den grauen Umweltwirkungen mit jeweils etwa 16% bzw. 18% Anteil (in Summe 34%) an den grauen THG-Emissionen (siehe Abbildung 6, kleine Kreise). Der rechte große Kreis der Grafik zeigt den relativen Anteil der THG-Emissionen für die Bereiche 'Bauwerk-Rohbau' und 'Bauwerk-Ausbau', die beiden kleineren Kreise links beschreiben die THG-Emissionen der Elemente in den Kategorien Gebäudetechnik und Elektrotechnik, welche beide zum Bereich 'Bauwerk-Technik' lt ÖNORM B1801 gezählt werden.

Setzt man die Ergebnisse der grauen THG-Emissionen des EBS Gebäudes in den Kontext der THG-Bilanz der TU Graz, und geht man von einer jährlichen Neubaurate von $5.000 \text{ m}^2_{\text{NGF/a}}$ aus, so ergeben die grauen Emissionen der Gebäude vereinfacht rund $5.000 \text{ tCO}_2\text{-eq/a}$ und sind somit für einen relativen Anteil von rund 18% an den gesamten jährlichen THG-Emissionen der TU Graz verantwortlich (siehe Abbildung 5). Aufgrund dieses Ergebnisses und der Tatsache, dass die TU Graz innerhalb der nächsten 10 Jahre weitere $60.100 \text{ m}^2_{\text{NGF}}$ an Gebäuden zu errichten plant, werden mit der derzeitigen Bauweise weitere $60.100 \text{ tCO}_2\text{-eq}$ THG emittiert. Daher ist es dringend notwendig entsprechende Maßnahmen zur Minderung dieser grauen Emissionen erarbeitet werden.

DISKUSSION

Im Hinblick auf die Verantwortung der Universitäten als führende Akteure in der Gesellschaft und ihr Ziel, einen Beitrag zur Bewältigung der Probleme der Menschheit im Bezug auf den Klimawandel zu leisten, müssen zweifellos Maßnahmen für die künftige Strategie der Gebäudelandschaft der Universitäten ergriffen werden. Die Autoren empfehlen daher, im Hinblick auf die zukünftige Transformation der Energielandschaft in Österreich, in einem ersten Schritt auch die grauen Emissionen von Gebäuden in die jährliche Berechnung der THG-Bilanz einzubeziehen, um diesen nicht vernachlässigbaren Anteil an Emissionen in den kontinuierlichen THG-Bilanz Ermittlungen der TU Graz aber auch der weiteren Universitäten in Österreich zu verfolgen (Allianz Nachhaltige Universitäten in Österreich - AG Nachhaltiges Bauen, 2020).

Um mögliche strategische Maßnahmen für zukünftige Bauaktivitäten an der TU Graz festzulegen, wird außerdem empfohlen, Optionen zur Minderung der grauen Treibhausgasemissionen am Beispiel des Referenzgebäudes EBS zu prüfen. Hinsichtlich der betrieblichen Auswirkungen des Gebäudes eröffnen sich folgende Optionen:

- Erhebung und Evaluierung des tatsächlichen Stromverbrauchs in der Nutzungsphase
- Bewertung des Potenzials von Photovoltaik auf dem EBS Gebäude oder auf dem Campus.

- Forcierung der Nutzung von UZ46 zertifiziertem Strom (Österreichisches Umweltzeichen, 2020)

Hinsichtlich der grauen Umweltwirkungen des Gebäudes wird empfohlen, folgenden Optionen zur Minderung der grauen Emissionen zu untersuchen:

- THG-Optimierung bzgl. der Bauproduktwahl (Betonrezepturen, Bewehrungsstahl etc.)
- THG-Optimierung bezüglich der statischen Struktur des Gebäudes,
- THG-Optimierung hinsichtlich der Wahl /bevorzugter Einsatz alternativer Bauprodukte
- Optimierungen und Einsparungen hinsichtlich der Installationsdichte (Elektro- und Gebäudetechnik)

In einem nächsten Schritt werden diese unterschiedlichen Untersuchungen zur Emissionsminderung am Referenzgebäude EBS bewertet, um das Rektorat der TU Graz sowie die Gebäude und Technik dahingehend zu beraten, strategische Maßnahmen im Hinblick auf zukünftige Bauvorhaben zu entwickeln. So kann ein wesentlicher Beitrag der TU Graz an der Erreichung von international gesetzten Nachhaltigkeits- und Klimaschutzziele geleistet werden.

Während der Erstellung dieser Studie hat auch die Österreichische Universitätenkonferenz ein uniko-Manifest für Nachhaltigkeit (Österreichische Universitätenkonferenz, 2020) veröffentlicht, in welchem ein aktiver Beitrag zur verantwortungsvollen Ressourcennutzung in den Bereichen Energie- und Ressourcenbedarf, Investitionen und Bauen, Beschaffung, Abfall und Mobilität gefordert wird. Für den Bereich "Bauen" wurde ergänzend von der Allianz Nachhaltige Universitäten in Österreich ein Positionspapier zur Errichtung von nachhaltigen Universitätsgebäuden erarbeitet (Allianz Nachhaltige Universitäten in Österreich - AG Nachhaltiges Bauen, 2020), zu welchem sich die TU Graz bekennt und damit diese Forderungen und Grundsätze bei allen künftigen Bauvorhaben verpflichtend umzusetzen plant. Die notwendigen Schritte zur Umsetzung sollen in enger Abstimmung des Rektorats und dem Nachhaltigkeitsbeirat der TU Graz erarbeitet werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Studie stellt die Methodik und die Ergebnisse für die Ökobilanz des EBS Gebäudes an der TU Graz dar. Die Ökobilanz wurde dabei nach der Norm EN 15978 durchgeführt. Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass die Betriebsenergie (Modul B6) mit dem derzeit in Österreich vorherrschenden Energiemix für den grössten Anteil der Auswirkungen verantwortlich ist, wenn dieser Energiemix für die gesamten 50 Jahre Betrachtungszeitraum angenommen wird. In einer Szenarienanalyse zukünftiger Energiemixe in

Österreich wurde jedoch gezeigt, dass sich der Anteil jener Umweltwirkungen, die sich aus der Betriebsenergie ergeben, sukzessive reduzieren kann und die grauen Umweltwirkungen im Gebäude an Signifikanz gewinnen.

Bei den grauen Emissionen des EBS Gebäudes sticht dabei die ‚Bausubstanz‘ als Hauptfaktor der Umweltauswirkungen hervor. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass auch die Auswirkungen der Elektro- und Gebäudetechnik nicht vernachlässigt werden können. Setzt man die Ergebnisse der grauen Emissionen des EBS Gebäudes in den Kontext der THG-Bilanz der TU Graz, indem man von einer durchschnittlichen jährlichen Neubaurate von 5.000 m²_{NGF}/a ausgeht, so tragen diese rund 18% zu den gesamten jährlichen THG-Emissionen der TU Graz bei. In Anbetracht dieses hohen Anteils wird empfohlen, auch die grauen Emissionen von Gebäuden in die jährliche Berechnung der THG-Bilanz der TU Graz und allgemein der Universitäten in Österreich einzubeziehen.

DANKSAGUNG

Die vorliegende Studie wurde von der OE Gebäude und Technik der TU Graz beauftragt und finanziell unterstützt. Ein besonderer Dank geht an Anatole Truong Nhu, der im Rahmen seines Gast-Forschungsaufenthalts die Gebäudebilanzierung wesentlich unterstützt hat.

LITERATUR

- Allianz Nachhaltige Universitäten in Österreich - AG Nachhaltiges Bauen. (2020). Positionspapier zur Errichtung von nachhaltigen Universitätsgebäuden. Zugriff am 15.07.2020, http://nachhaltigeuniversitaeten.at/wp-content/uploads/2020/03/2020-01-23_Positionspapier_Nachhaltiges_Bauen.pdf
- ASI. ÖNORM B 1801-1: Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objektterrichtung (2015). Austria.
- Baumann, M., & Kalt, G. (2017). Szenarien für Strom- und Fernwärme- aufbringung und Stromnachfrage im Hinblick auf Klimaziele 2030 und 2050, 68.
- CEN/TC 350. (2011). EN 15978 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.
- Climate Change Center Austria. (2020). <https://gd.ccca.ac.at>, Zugriff am 22.03.2020
- Die neue Volkspartei, & Die Grünen - Die Grüne Alternative. (2020). Aus Verantwortung für Österreich. Vienna.
- Getzinger, G., Schmitz, D., Mohnke, S., Steinwender, D., & Lindenthal, T. (2019). Treibhausgasbilanzierung von Universitäten in Österreich. GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society, 28/4, 389–391.

- IEA. (2017). IEA World Energy Statistics and Balances. <https://doi.org/10.1787/enestats-data-en>
- Krutzler, T., Kellner, M., Heller, C., Gallauner, T., Stranner, G., Wiesenberger, H., ... Schindler, I. (2015). Energiewirtschaftliche Szenarien im Hinblick auf die Klimaziele 2030 und 2050 - Synthesebericht 2015.
- Maier, S., Getzinger, G., Passer, A., Scherz, M., Hoxha, E., Truong Nhu, A. B. D., ... Kreiner, H. (2020). Greenhouse Gas Accounting of Graz University of Technology. In *EnInnov2020*: 16. Symposium Energieinnovation (pp. 41–42). Verlag der Technischen Universität Graz. <https://doi.org/10.3217/978-3-85125-734-2>
- Obrecht, T. P., Röck, M., Hoxha, E., & Passer, A. (2020). BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 5534, 12(14), 5534. <https://doi.org/10.3390/SU12145534> Österreichisches Umweltzeichen. Richtlinie UZ 46 - Grüner Strom (2018).
- Österreichische Universitätenkonferenz, (2020). https://www.uniko.ac.at/modules/download.php?key=22809_DE_O&f=1&jt=7906&cs=77DD, Zugriff am 23.03.2020
- Passer, A., Kreiner, H., & Maydl, P. (2012). Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(9), 1116–1130. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0435-6>
- Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., ... Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, 114107. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.114107>
- TU Graz. (2020). Entwicklungsplan der TU Graz 2021plus - Entwurf Stand 05. Juni 2020.
- Umweltbundesamt. (2017). Energie- und Treibhausgas-Szenarien im Hinblick auf 2030 und 2050 - Synthesebericht 2017. Wien. <https://doi.org/978-3-99004-445-2>
- VITO, KU Leuven, & TU Graz. (2018). PEF4Buildings - Study on the Application of the PEF Method and related guidance documents to a newly office building (ENV.B.1/ETU/2016/0052LV) - Deliverable D3: Report on PEF study of newly built office building. <https://doi.org/10.2779/23505>