

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering (B. Eng.)

an der

Hochschule Konstanz

Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Fakultät Bauingenieurwesen

Studiengang Umwelttechnik und Ressourcenmanagement

Niklas Scholliers

Sommersemester 2016

Thema: CO₂-Bilanz der Fakultät Bauingenieurwesen –
Eine Untersuchung anhand des Greenhouse Gas Protocols an der
Hochschule Konstanz im akademischen Jahr 2014/2015

Betreut von: Prof. Dr. Maike Sippel

Ausgabedatum: 20.04.2016

Abgabedatum: 19.07.2016

Kurzfassung

Vorliegende Arbeit bilanziert die Treibhausgasemissionen (CO₂e) der Fakultät Bauingenieurwesen an der Hochschule Konstanz im akademischen Jahr 2014/2015. Als grundlegende Methodik wird das *Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard* verwendet. Bilanziert werden Emissionen, die bei der Erzeugung von Wärme und Strom gebildet werden und Emissionen des Fuhrparks. Mit Hilfe einer Umfrage werden die Emissionen, welche durch Pendelverkehr und Papierverbrauch sowie Mensa-Mahlzeiten von Fakultätsangehörigen entstehen, berechnet. Es werden die größten Emittenten identifiziert und mögliche Einsparmaßnahmen aus der Bilanz und aus dem Vergleich mit anderen Hochschulen abgeleitet.

Im akademischen Jahr 2014/2015 sind an der Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule Konstanz insgesamt 264,8 t CO₂e Emissionen entstanden. 120,6 t CO₂e wurden durch Pendelverkehr von Studenten, Mitarbeitern und Professoren verursacht. Die Erzeugung von 238,1 MWh Wärme verursachte 51,4 t CO₂e. Für die Bereitstellung von 80,5 MWh Strom wurden 11,8 t CO₂e emittiert. Mit 76,1 t CO₂e entstand der zweitgrößte Teil der jährlichen CO₂e-Emissionen durch die Herstellung der Mensa-Mahlzeiten für Fakultätsangehörige. Der Fuhrpark der Fakultät, bestehend aus einem VW Bus, emittierte 3,5 t CO₂e. Der mit 1,4 t CO₂e geringste Teil der Emissionen wurde durch den Papierverbrauch erzeugt.

Es wird empfohlen, in den einzelnen Bereichen Einsparmaßnahmen vorzunehmen, um die jährlichen Treibhausgasemissionen zu verringern. Die Motivation hierfür kann durch eine Umweltstrategie an der Hochschule, eine mögliche Kosteneinsparung und durch die Förderung einer positiven Außendarstellung der Hochschule erhöht werden. Mit der Erstellung der CO₂-Bilanz wurden die Klimaauswirkungen der Fakultät Bauingenieurwesen quantifiziert. Die vorliegenden Ergebnisse können als Basis zur Untersuchung von weiteren Reduktionspotentialen verwendet werden.

Abstract

In this bachelor thesis greenhouse gas emissions (CO₂e) of the faculty of civil engineering at the University of Applied Sciences Konstanz will be accounted for the academic year of 2014/2015. The basic method used is the standard of the *Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Accounted emissions are from the production of heat and the generation of electricity as well as emissions from the carpool. A survey is used to determine emissions from faculty members. These include commuting emissions, emissions from the consumption of paper and emissions for the production of meals at the canteen. The biggest emission sources will be identified and possible reduction potentials will be derived from the balance and from the comparison with other universities.

Emissions at the faculty of civil engineering accumulate to 246.8 metric tons of CO₂-equivalents in the academic year of 2014/2015. 120.6 tons CO₂e come from the commuting of students, employees, and professors. The production of 238.1 MWh of heat results in 51.4 tons CO₂e. The generation of 80.5 MWh of electricity produces 11.8 tons CO₂e. The second biggest part of the yearly CO₂e-emissions emerge in the production of meals for faculty members with 76.1 CO₂e. The carpool makes up to 3.5 t CO₂e of greenhouse gas emissions and the smallest part is being produced by the consumption of paper with 1.4 t CO₂e.

It is suggested to undertake actions for reducing the greenhouse gas emissions in the single activities balanced. The motivation for reducing the carbon footprint of the faculty can be increased through an environmental strategy at the university, through cost savings and through an improvement of the public image of the university. The accounting of greenhouse gases quantifies the global warming potential of the faculty of civil engineering. The findings can be used as a basis for further research of reduction potentials.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Abkürzungsverzeichnis | IV |
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | VII |
| Normenverzeichnis | IX |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Grundlagen und Forschungsstand | 3 |
| 2.1 Ökologischer Fußabdruck | 3 |
| 2.2 CO ₂ -Fußabdruck | 6 |
| 2.2.1 Treibhausgaspotential | 7 |
| 2.2.2 Standards | 9 |
| 2.2.3 CO ₂ -Bilanz eines Produkts | 11 |
| 2.2.4 CO ₂ -Bilanz eines Unternehmens | 14 |
| 2.2.5 CO ₂ -Bilanzen von Hochschulen | 17 |
| 3. Methoden | 20 |
| 3.1 Systemgrenzen | 20 |
| 3.1.1 Organisationsbedingte Abgrenzung | 20 |
| 3.1.2 Betriebsbedingte Abgrenzung | 22 |
| 3.1.3 Scope 1 | 23 |
| 3.1.4 Scope 2 | 24 |
| 3.1.5 Scope 3 | 25 |
| 3.2 Berechnungsmethode der Emissionen | 26 |
| 3.3 Datenbanken für Emissionsfaktoren | 27 |
| 3.3.1 ProBas-Datenbank | 28 |
| 3.3.2 GEMIS-Datenbank | 28 |
| 3.4 Allokation von BHKW-Emissionen | 29 |
| 3.5 Methodik der Umfrage | 30 |
| 3.5.1 Begriffsklärung | 30 |
| 3.5.2 Auswahlverfahren der Stichprobe | 31 |
| 3.5.3 Datenerhebung | 32 |
| 3.5.4 Datenaufbereitung | 33 |
| 3.5.5 Datenanalyse | 33 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4. | Aktivitätsdaten | 38 |
| 4.1 | Gebäude/Räume | 38 |
| 4.2 | Fakultätsangehörige | 39 |
| 4.3 | Gebäudeenergie | 39 |
| 4.3.1 | Bezogene Gebäudeenergie | 40 |
| 4.3.2 | Energieerzeugung mit BHKW und Kesseln | 44 |
| 4.3.3 | Wärme-Mix und Strom-Mix | 45 |
| 4.3.4 | Energieverbrauch der Gebäude C, G und U | 46 |
| 4.3.5 | Energieverbrauch Fakultät BI | 47 |
| 4.4 | Fuhrpark | 49 |
| 4.5 | Pendelverkehr | 50 |
| 4.6 | Papier | 53 |
| 4.7 | Mensa-Mahlzeiten | 56 |
| 5. | Emissionsfaktoren | 59 |
| 5.1 | Gebäudeenergie | 59 |
| 5.1.1 | Erdgas | 59 |
| 5.1.2 | Kessel – Wärme | 60 |
| 5.1.3 | BHKW - Wärme und Strom | 60 |
| 5.1.4 | Bezogener Strom | 62 |
| 5.2 | Mobilität | 63 |
| 5.2.1 | Auto und Motorrad | 63 |
| 5.2.2 | Bus und Zug | 64 |
| 5.2.3 | Fähre | 65 |
| 5.3 | Papier | 66 |
| 5.4 | Mahlzeiten | 66 |
| 6. | Grenzen und Unsicherheiten | 68 |
| 7. | Emissionen | 72 |
| 7.1 | Erdgas | 72 |
| 7.2 | Wärme | 72 |
| 7.3 | Strom | 74 |
| 7.4 | Fuhrpark | 75 |
| 7.5 | Pendelverkehr | 76 |
| 7.6 | Papier | 80 |
| 7.7 | Mensa-Mahlzeiten | 83 |
| 7.8 | CO ₂ -Bilanz | 87 |

| | | |
|-----------|---|-------------|
| 8. | Diskussion und mögliche Einsparmaßnahmen | 90 |
| 8.1 | Pendelverkehr | 90 |
| 8.2 | Mensa-Mahlzeiten | 96 |
| 8.3 | Wärme- und Strom-Emissionen | 98 |
| 8.4 | Emissionen aus Erdgas- und Strom-Bereitstellung | 100 |
| 8.5 | Fuhrpark | 100 |
| 8.6 | Papier | 100 |
| 8.7 | Vergleich mit anderen Hochschulen | 102 |
| 9. | Fazit | 105 |
| | Literaturverzeichnis | 108 |
| | Eidesstattliche Erklärung | XI |
| | Anhang | XIII |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------|---|
| BHKW | Blockheizkraftwerk |
| BSI | British Standards Institution |
| CCF | Corporate Carbon Footprint |
| CH ₄ | Methan |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |
| CO ₂ e | CO ₂ -Äquivalente |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| Fakultät BI | Fakultät Bauingenieurwesen |
| FKW/PFCs | Perfluorierte Kohlenwasserstoffe |
| GEMIS | Globales Emissions-Modell integrierter Systeme |
| GHG Protocol | Greenhouse Gas Protocol |
| GWP | Global Warming Potential |
| H-FKW/HFCs | Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe |
| HTWG | Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung Konstanz |
| IINAS | Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| ISO | International Organization for Standardization |
| kWh | Kilowattstunde |
| MWh | Megawattstunde |
| N ₂ O | Distickstoffmonoxid |
| PCF | Product Carbon Footprint |
| ProBas | Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente |
| RF | Radiative forcing |
| SF ₆ | Schwefelhexafluorid |
| TJ | Terrajoule |
| WBCSD | World Business Council on Sustainable Development |
| WRI | World Resources Institute |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Relative Fläche nach Flächenkategorie in Hektar und <i>global hectar</i> | 5 |
| Abb. 2: Ökologischer Fußabdruck der Menschheit, 1961-2007 | 5 |
| Abb. 3: Vergleich Ökologischer Fußabdruck und Biokapazität Deutschland | 6 |
| Abb. 4: Lebenszyklus eines Autos (<i>cradle-to-grave</i>) | 11 |
| Abb. 5: Abgrenzung zwischen PCF und CCF | 16 |
| Abb. 6: Gebäude innerhalb der organisatorischen Systemgrenzen | 22 |
| Abb. 7: Gebäudeenergiebezug der Fakultät BI | 24 |
| Abb. 8: Scope 1 bis 3 der Fakultät BI mit bilanzierten Aktivitäten | 26 |
| Abb. 9: Grundgesamtheiten der Umfrage (grau hinterlegt) | 31 |
| Abb. 10: Histogramm der studentischen Emissionswerte für Pendelverkehr | 37 |
| Abb. 11: Schematischer Gebäudeenergiebezug der Fakultät BI | 40 |
| Abb. 12: Schema - Bezogene Gebäudeenergie der HTWG | 41 |
| Abb. 13: Schema - Wärme- und Stromerzeugung mit Kessel und BHKW | 44 |
| Abb. 14: Schema - Wärmebedarf der Fakultät BI | 47 |
| Abb. 15: Schema - Strombedarf der Fakultät BI | 48 |
| Abb. 16: Im Durchschnitt zurückgelegte Strecke im Jahr (pro Student) [km] | 50 |
| Abb. 17: Im Durchschnitt zurückgelegte Strecke im Jahr (pro Mitarbeiter) [km] | 51 |
| Abb. 18: Im Durchschnitt zurückgelegte Strecke im Jahr (pro Professor) [km] | 52 |
| Abb. 19: Druckmöglichkeiten der beiden Druckfunktionen | 53 |
| Abb. 20: Durchschnittliche Anzahl der bedruckten Blatt Papier im Jahr (pro Student) | 54 |
| Abb. 21: Durchschnittliche Anzahl der bedruckten Blatt Papier im Jahr (pro Mitarbeiter) | 55 |
| Abb. 22: Durchschnittliche Anzahl der bedruckten Blatt Papier im Jahr (pro Professor) | 56 |
| Abb. 23: Durchschnittliche Anzahl der Mahlzeiten im Jahr (pro Student) | 57 |
| Abb. 24: Durchschnittliche Anzahl der Mahlzeiten im Jahr (pro Mitarbeiter) | 58 |
| Abb. 25: Durchschnittliche Anzahl der Mahlzeiten im Jahr (pro Professor) | 58 |
| Abb. 26: Durchschnittliche Emissionen pro Student (Pendelverkehr) | 77 |
| Abb. 27: Gesamt-Emissionen Pendelverkehr (Student) | 77 |
| Abb. 28: Durchschnittliche Emissionen pro Mitarbeiter (Pendelverkehr) | 78 |
| Abb. 29: Gesamt-Emissionen Pendelverkehr (Mitarbeiter) | 78 |
| Abb. 30: Durchschnittliche Emissionen pro Professor (Pendelverkehr) | 79 |
| Abb. 31: Gesamt-Emissionen Pendelverkehr (Professor) | 79 |
| Abb. 32: Pendelverkehr-Emissionen Gesamt [CO ₂ e] | 80 |

| | |
|---|-----|
| Abb. 33: Durchschnittliche Emissionen pro Student (Papier) | 81 |
| Abb. 34: Gesamt-Emissionen Papier (Student) | 81 |
| Abb. 35: Durchschnittliche Emissionen pro Mitarbeiter (Papier) | 82 |
| Abb. 36: Gesamt-Emissionen Papier (Mitarbeiter) | 82 |
| Abb. 37: Durchschnittliche Emissionen pro Professor (Papier) | 82 |
| Abb. 38: Gesamt-Emissionen Papier (Professor) | 82 |
| Abb. 39: Papier-Emissionen Gesamt [CO ₂ e] | 83 |
| Abb. 40: Durchschnittliche Emissionen pro Student (Mensa-Mahlzeiten) | 84 |
| Abb. 41: Gesamt-Emissionen Mensa-Mahlzeiten (Student) | 84 |
| Abb. 42: Durchschnittliche Emissionen pro Mitarbeiter (Mensa-Mahlzeiten) | 85 |
| Abb. 43: Gesamt-Emissionen Mensa-Mahlzeiten (Mitarbeiter) | 85 |
| Abb. 44: Durchschnittliche Emissionen pro Professor (Mensa-Mahlzeiten) | 85 |
| Abb. 45: Gesamt-Emissionen Mensa-Mahlzeiten (Professor) | 85 |
| Abb. 46: Mensa-Emissionen Gesamt [kg] | 86 |
| Abb. 47: Emissionen der Fakultät BI (HTWG) nach Scope 1 bis 3 [t CO ₂ e] | 88 |
| Abb. 48: Emissionen der Fakultät BI (HTWG) nach Aktivität [t CO ₂ e] | 88 |
| Abb. 49: Durchschnittliche Emissionen pro Student nach Geschlecht (Pendelverkehr) | 91 |
| Abb. 50: Anzahl der befragten Studenten m/w | 91 |
| Abb. 51: Zusammenhang zwischen Emissionen und Fahrstrecke | 92 |
| Abb. 52: Anteil der Verkehrsmittel an jährlich zurückgelegter Strecke | 93 |
| Abb. 53: Anteil emittierender Verkehrsmittel an jährlich zurückgelegter Strecke | 94 |
| Abb. 54: Anteil eines Verkehrsmittels an jährlichen Pendelverkehr-Emissionen | 94 |
| Abb. 55: Anzahl der jährlichen Mahlzeiten nach Geschlecht (Student) | 97 |
| Abb. 56: Gründe für den möglichen Verzicht von Mischkost für vegetarische Mahlzeiten | 98 |
| Abb. 57: Anteil der Druckfunktion an bedruckten Blatt Papier (Student) | 101 |
| Abb. 58: Anteil der Druckfunktion an bedruckten Blatt Papier (Mitarbeiter) | 101 |
| Abb. 59: Anteil der Druckfunktion an bedruckten Blatt Papier (Professor) | 101 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Tabelle 1: Treibhausgaspotential und Emissionsanteile der Kyoto-Gase in der EU | 8 |
| Tabelle 2: CO ₂ -Bilanzen nicht-deutschsprachiger Hochschulen | 17 |
| Tabelle 3: CO ₂ -Bilanzen deutschsprachiger Hochschulen | 18 |
| Tabelle 4: Stichproben und Grundgesamtheiten | 33 |
| Tabelle 5: Genutzte Fläche der Fakultät BI | 39 |
| Tabelle 6: Anzahl Fakultätsangehörige | 39 |
| Tabelle 7: Bezogenes Erdgasvolumen (Stadtwerke Konstanz) | 41 |
| Tabelle 8: Bezogene Energiemenge (Erdgas) | 43 |
| Tabelle 9: Strombezug Campus (Stadtwerke) | 43 |
| Tabelle 10: Strombezug Gebäude U (laut Abrechnung) | 43 |
| Tabelle 11: Strombezug Gebäude U (Hochrechnung) | 44 |
| Tabelle 12: Wärmeerzeugung (BHKW und Kessel) | 44 |
| Tabelle 13: Stromerzeugung (BHKW) | 45 |
| Tabelle 14: Verhältnis Wärme-Mix | 45 |
| Tabelle 15: Verhältnis Strom-Mix | 46 |
| Tabelle 16: Wärmeverbrauch Gebäude C+B, G und U | 46 |
| Tabelle 17: Stromverbrauch Gebäude C, G und U | 47 |
| Tabelle 18: Wärmeverbrauch der Fakultät BI Gebäude C+G | 48 |
| Tabelle 19: Wärmeverbrauch der Fakultät BI Gebäude U | 48 |
| Tabelle 20: Stromverbrauch der Fakultät BI pro Gebäude | 49 |
| Tabelle 21: Stromverbrauch BI Gebäude U | 49 |
| Tabelle 22: Treibstoffverbrauch VW Bus | 49 |
| Tabelle 23: Erzeugte Energiemengen BHKW | 61 |
| Tabelle 24: Emissionsfaktoren Gebäudeenergie | 63 |
| Tabelle 25: Emissionsfaktoren Treibstoff | 64 |
| Tabelle 26: Emissionsfaktoren Bus und Zug | 65 |
| Tabelle 27: Emissionen des Erdgases | 72 |
| Tabelle 28: Emissionen für Wärme in den Gebäuden C + G (Anteil Fakultät BI) | 73 |
| Tabelle 29: Emissionen für Wärme im Gebäude U (Anteil Fakultät BI) | 73 |
| Tabelle 30: Emissionen für Strom in den Gebäuden C + G (Anteil Fakultät BI) | 74 |
| Tabelle 31: Emissionen für Strom im Gebäude U (Anteil Fakultät BI) | 75 |
| Tabelle 32: Emissionen Fuhrpark | 75 |
| Tabelle 33: Spezifischer Wärmeverbrauch HTWG/ETH | 99 |
| Tabelle 34: Vergleich mit anderen Hochschulen | 102 |

| | |
|---|---------|
| Tabelle 35: Pendelverkehr-Emissionen pro Kopf | 103 |
| Tabelle 36: Genutzte Fläche der Fakultät BI (Rechnung) | XIII |
| Tabelle 37: Anzahl Studierende, Professoren, Mitarbeiter (Rechnung) | XIV |
| Tabelle 38: Abrechnungsbrennwerte der Jahre 2014 und 2015 | XV |
| Tabelle 39: Hochrechnung Stromverbrauch Gebäude U | XVI |
| Tabelle 40: Wärmeverbrauch Gebäude U (Rechnung) | XVII |
| Tabelle 41: Wärmeverbrauch der Fakultät BI Gebäude C+G (Rechnung) | XVIII |
| Tabelle 42: Stromverbrauch der Fakultät BI Gebäude C+G (Rechnung) | XIX |
| Tabelle 43: Emissionsfaktor Kessel - Wärme | XX |
| Tabelle 44: Allokation der BHKW-Emissionen (Rechnung) | XXI |
| Tabelle 45: Emissionsfaktor Fähre (Rechnung) | XXII |
| Tabelle 46: Emissionsfaktor Papier | XXIII |
| Tabelle 47: Emissionsfaktor Mahlzeiten | XXIII |
| Tabelle 48: Punktschätzung Pendelverkehr (Studenten) | XXXVI |
| Tabelle 49: Punktschätzung Pendelverkehr (Mitarbeiter) | XXXVI |
| Tabelle 50: Punktschätzung Pendelverkehr (Professoren) | XXXVI |
| Tabelle 51: Punktschätzung Papierverbrauch (Studenten) | XXXVII |
| Tabelle 52: Punktschätzung Papierverbrauch (Mitarbeiter) | XXXVII |
| Tabelle 53: Punktschätzung Papierverbrauch (Professoren) | XXXVII |
| Tabelle 54: Punktschätzung Mensa-Mahlzeiten (Studenten) | XXXVIII |
| Tabelle 55: Punktschätzung Mensa-Mahlzeiten (Mitarbeiter) | XXXVIII |
| Tabelle 56: Punktschätzung Mensa-Mahlzeiten (Professoren) | XXXVIII |

Normenverzeichnis

DIN V 18599, 2010: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Beiblatt 1: Bedarfs-/Verbrauchsabgleich.

ISO/TS 14067, 2013: Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten. Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung und Kommunikation.

DIN EN ISO 14064-1, 2012: Treibhausgase – Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene.

PAS 2050, 2011: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.

1. Einleitung

Im Dezember 2015 einigten sich in Paris 196 Staaten auf das Ziel die durchschnittliche globale Erwärmung auf weniger als 2 °C zu beschränken (UNFCCC 2015, S.21). Angestrebt wird bis 2050 ein Gleichgewicht zwischen anthropogenen Treibhausgasemissionen und Treibhausgasenken herzustellen. Es sollen weltweit ab diesem Zeitpunkt nur noch so viele Treibhausgase emittiert werden wie durch natürliche Prozesse aufgenommen werden können, so dass die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre konstant bleibt (Ebd.).

Im Bereich der Klimapolitik spielt in Deutschland die Reduktion der Treibhausgasemissionen eine große Rolle. Bereits mit dem Kyoto Protokoll 1997 verpflichtete sich Deutschland dazu, seine jährlichen klimaschädlichen Emissionen zwischen 2008 und 2012 um 21% gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zu verringern (EEA 2005, S.70; BMUB 2014, o.S.). Mit dem Energiekonzept 2010 wurden Folgeziele vorgeschlagen (BMUB 2014, o.S.). Diese sehen vor, die jährlichen Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2020 auf 60% des Bezugsjahres 1990 zu beschränken und bis zum Jahr 2050 nur noch 5-20% der Emissionen des Jahres 1990 zu emittieren. Die Emissionsziele wurden im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung festgesetzt (CDU et al. 2013, S.36f.). Hier ist auch ein beinahe klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 als Ziel definiert, welcher durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz zu erreichen sei (Ebd., S.38). Beim Umsetzen der Ziele soll der Klimaschutzplan 2050 helfen, der 2016 im Bundeskabinett verabschiedet werden soll.

Nach den derzeitigen Berechnungen der Treibhausgasemissionen in Deutschland besteht die Gefahr, das Ziel für das Jahr 2020 zu verfehlen. Betrachtet man die veröffentlichten Zahlen des Umweltbundesamtes für 2014 (UBA 2016b, o.S.), so würde das Emissionseinsparungsziel von 40% um 5,3 Prozentpunkte verfehlt werden. Nach einer aktuellen Studie im Auftrag von McKinsey (Vahlenkamp et al. 2016, S.26) stieg der Ausstoß an Treibhausgasen im 1. und 2. Halbjahr 2015 an, wodurch das Ziel noch deutlicher verfehlt würde.

Ausgehend von den genannten Klimazielen stellt sich die Frage, welchen Beitrag die Hochschule Konstanz und insbesondere die Fakultät Bauingenieurwesen zum Erreichen der CO₂ – Ziele leisten kann. Dazu ist es notwendig zu wissen, wo klimawirksame Emissionen an der Fakultät entstehen. Erst eine Bilanzierung hilft, die größten Emittenten zu identifizieren und Maßnahmen aufzuzeigen, die einen Beitrag zum Emissionsziel 2020 leisten können.

Das Hauptziel der Arbeit ist die Bilanzierung der jährlichen Treibhausgasemissionen an der Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule Konstanz für das akademische Jahr 2014/2015. Die einzelnen Bestandteile der Bilanz sollen in einem weiteren Schritt untersucht und mögliche Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aufgezeigt werden. In einem Nebenaspekt werden vergleichbare Teile der Bilanz mit Emissionen anderer Hochschulen verglichen.

Für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen wird der internationale Standard des *Greenhouse Gas Protocols* zur Bilanzierung eines *Corporate Carbon Footprint* verwendet.

Nach dieser Methodik werden Aktivitätsdaten ermittelt, die mit Emissionsfaktoren multipliziert werden. Daraus ergeben sich Emissionen der einzelnen Aktivitäten der Fakultät, welche weitergehend untersucht werden können.

Für die Fakultät Bauingenieurwesen werden die Daten der Aktivitäten Gebäudeenergie (Wärme und Strom), Fuhrpark sowie Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten der Fakultätsangehörigen ermittelt.

Die von der Hochschule zu Verfügung gestellten Verbrauchswerte für Gebäudeenergie und Fuhrpark werden ausgewertet und der Fakultät anteilig zugeordnet. Für Aktivitätsdaten des Pendelverkehrs, des Papierverbrauchs und der Mensa-Mahlzeiten wird eine Umfrage durchgeführt. Befragt werden Studenten, Mitarbeiter und Professoren, um ein möglichst umfassendes Bild der Aktivitätsdaten von Fakultätsangehörigen zu erlangen.

Emissionsfaktoren werden zum Teil aus Umweltdatenbanken entnommen und zum Teil selbst berechnet. Für die Allokation der Erdgas-Emissionen eines BHKW auf die Outputströme Wärme und Strom wird die *Efficiency Method* der *Greenhouse Gas Protocol Initiative* angewendet.

Die Emissionen der einzelnen Aktivitäten werden aus den Aktivitätsdaten und den jeweiligen Emissionsfaktoren berechnet. Für die mit der Umfrage erfassten Aktivitätsdaten werden durchschnittliche Emissionswerte eines Studenten, Mitarbeiters und Professors ermittelt und mit einer Punktschätzung auf die Gesamtemissionen der Fakultätsangehörigen geschlossen.

Die Arbeit ist so aufgebaut, dass zuerst Grundlagen der CO₂-Bilanzierung und der Forschungsstand zur Bilanzierung von CO₂-Emissionen an Hochschulen beschrieben werden. Im darauffolgenden Kapitel werden Methoden zur Abgrenzung und Bilanzierung nach dem *Greenhouse Gas Protocol* erläutert und angewendet. Ebenso werden hier die Methoden zur Allokation von BHKW Emissionen und der Umfrage erklärt. Zur Berechnung der Emissionen werden in einem Kapitel Aktivitätsdaten ermittelt und in einem weiteren die passenden Emissionsfaktoren ausgewählt. Anschließend werden die Emissionen pro Aktivität berechnet und eine Gesamtbilanz erstellt. Aus der Analyse der Gesamtbilanz werden Einsparmaßnahmen abgeleitet und Emissionswerte bezüglich Gebäudeenergie, Pendelverkehr und Papierverbrauch mit anderen Hochschulen verglichen.

2. Grundlagen und Forschungsstand

Dieses Kapitel definiert den Begriff der CO₂-Bilanz [2.2], welcher in der Methodik des ökologischen Fußabdrucks [2.1] gründet. Dazu wird das Treibhausgaspotential als naturwissenschaftliche Grundlage erläutert [2.2.1], bevor mit internationalen Standards [2.2.2] die Begriffe des *Product Carbon Footprint* [2.2.3] und des *Corporate Carbon Footprint* [2.2.4] näher beschrieben werden. Kapitel 2.2.5 gibt einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand von CO₂-Bilanzen an Hochschulen, anhand dessen Vermutungen über die Emissionen aufgestellt werden, die im Zuge der Arbeit untersucht werden.

2.1 Ökologischer Fußabdruck

Die Methode des Ökologischen Fußabdrucks (*Ecological Footprint*) wurde in den frühen 1990 Jahren von Mathis Wackernagel und William Rees entwickelt (Wackernagel 1991a, 1991b; Rees 1992; Wackernagel und Rees 1996, S.5). Im 1996 erschienenen Buch *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* wird der *Ecological Footprint* folgendermaßen definiert:

„*The Ecological Footprint is a measure of the ‚load‘ imposed by a given population on nature. It represents the land area necessary to sustain current levels of resource consumption and waste discharge by that population*“ (Wackernagel und Rees 1996, S.5).

Der Ökologische Fußabdruck ist somit ein Maß für den Naturverbrauch des Konsums eines oder mehrerer Menschen in einer Flächeneinheit.

Hintergrund der Methodik des Ökologischen Fußabdrucks ist die Frage: „Wie viel der produktiven Kapazitäten des Planeten wird verbraucht, um menschliches Leben zu unterstützen?“ (Wackernagel und Beyers 2010, S.15) Umgekehrt lässt sich die Frage stellen, ob die Bereitstellung erneuerbarer Ressourcen durch das System Erde ausreicht, um den Konsum der Menschheit zu decken oder ob mehr Ressourcen verbraucht als nachgebildet werden.

Die Berechnung und Systematik des Ökologischen Fußabdrucks wurden im Laufe der Zeit verbessert, ohne jedoch das Grundkonzept zu verändern. Die aktuellste Methodik findet sich im 2010 vom *Global Footprint Network* veröffentlichten *Ecological Footprint Atlas*. Sie beruht darauf, dass eine Fläche, die in Anspruch genommen wird, um die vom Menschen oder einer Population genutzten Güter und Dienstleistungen zu produzieren (Ökologischer Fußabdruck), mit der tatsächlich verfügbaren Fläche des Systems Erde verglichen wird (Ewing et al. 2010, S.8).

Die Fläche, die von Menschen in Anspruch genommen wird, ist davon abhängig, was und wie viel konsumiert wird. Der Naturverbrauch eines jeden Produkts und jeder Dienstleistung kann in Biokapazität gemessen werden (Wackernagel und Beyers 2010, S.21), deren Einheit ein Flächenmaß ist (Wackernagel und Rees 1997, S.23). Als Beispiel (Wackernagel und Beyers 2010, S.22) dient der Käse, dessen Naturverbrauch

hauptsächlich von der Weide abhängt, die eine Kuh benötigt, um Milch herzustellen sowie der Energie, die benötigt wird, um aus Milch Käse zu produzieren.

Der Ökologische Fußabdruck eines Menschen ist die Fläche, die benötigt wird, um alle Produkte und Dienstleistungen, die ein Mensch im Jahr konsumiert, herzustellen und um deren Abfallstoffe aufzunehmen.

Als verfügbare Fläche des Systems Erde, um die vom Menschen benötigte Fläche zu kompensieren, wird ausschließlich die biologisch produktive Fläche berücksichtigt (Wackernagel und Beyers 2010, S.20). Die biologisch produktive Fläche beschreibt Land- und Wasserflächen, die einen signifikanten Beitrag zur Produktion von Biomasse leisten (Ewing et al. 2010, S.12). Dazu gehören Ackerland, Weideland, Fischgründe und Wald (Ebd., S.13). Außerdem zählt dazu die Fläche, die durch Infrastruktur in Anspruch genommen wird (Ebd.). Dies mag seltsam erscheinen, da Infrastrukturflächen nicht biologisch produktiv sind. Die Methodik geht jedoch davon aus, dass Infrastruktur Flächen in Anspruch nimmt, welche in früheren Zeiten fruchtbares Ackerland waren (Ebd.). Ein Kritikpunkt hierbei ist, dass man daraus den Rückschluss ziehen könnte, dass Flächen, die nach dem Rückbau von Infrastruktur zur Verfügung stehen, biologisch genauso produktiv sind wie davor.

Die Maßeinheit des Ökologischen Fußabdrucks ist der *global hectare* (Ebd., S.14). Zur besseren Unterscheidung zum Flächenmaß Hektar wird hier der englische Begriff verwendet. Ein *global hectare* repräsentiert den weltweit durchschnittlichen Wert der biologischen Produktivität pro Fläche, gemessen in Hektar (Ebd., S.8). Der Sinn hinter der Umrechnung von biologisch produktiver Fläche in *global hectare* besteht darin, die biologische Produktivität einer bestimmten Fläche in eine universelle Einheit umzurechnen. Erst eine gemeinsame Einheit von in Anspruch genommener Fläche und zur Verfügung stehender Fläche macht einen Vergleich von Ökologischem Fußabdruck und Biokapazität möglich (Wackernagel und Rees 1997, S.90).

Für die Umrechnung werden biologisch produktive Flächen mit Äquivalenzfaktoren multipliziert, welche die unterschiedliche Produktivität der Flächenkategorien (Ackerland, Weideland etc.) sowie zeitliche und staatliche Unterschiede widerspiegeln (Ewing et al. 2010, S.14).

Abb. 1 verdeutlicht den Unterschied der beiden Einheiten. 2007 betrug die gesamte biologisch produktive Fläche auf der Welt in etwa 11,9 Milliarden Hektar (Ebd., S.18). Diese Fläche entspricht durch Definition der gesamten zur Verfügung stehenden Fläche in *global hectare* (Ebd., S.13). Durch die unterschiedliche Produktivität der Flächenkategorien unterscheidet sich jedoch der relative Anteil einer Flächenkategorie in Hektar vom relativen Anteil der Biokapazität (in *global hectare*). Zum Beispiel entspricht die zur Verfügung stehende Fläche von Ackerland im Jahr 2007 13,45% der biologisch produktiven Fläche. Durch die hohe Fruchtbarkeit von Ackerland entspricht dies einem Anteil von 30,25% der Produktivität (Ebd.). Andere Flächenkategorien besitzen kleinere Äquivalenzfaktoren, wodurch die relative produktive Fläche in *global hectare* zur relativen Fläche in Hektar verringert wird.

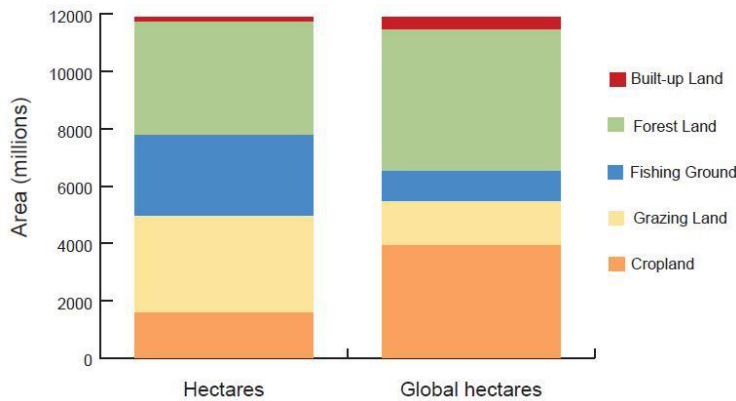


Abb. 1: Relative Fläche nach Flächenkategorie in Hektar und *global hectare*

Quelle: Ewing et al. 2010, S.13

Mit der Einheit des *global hectare* können die Flächen, die eine Population benötigt, um ihre Güter und Dienstleistungen zu produzieren, mit den zur Verfügung stehenden Flächen verglichen werden. Vergleicht man den Konsum der gesamten Menschheit mit der weltweit zur Verfügung stehenden Biokapazität, kann berechnet werden, wie viele Erden die Menschheit mit dem derzeitigen Konsumverhalten benötigt.

In Abb. 2 ist deutlich zu erkennen, dass die Menschheit momentan mehr Biokapazität verbraucht, als die Erde regenerativ zur Verfügung stellen kann. Für das Konsumverhalten von 2007 hätte die Menschheit die biologische Produktivität von ca. 1,5 Erden benötigt, um den Lebensstandard auf Dauer aufrecht zu erhalten. Noch 1961 reichte etwas mehr als die halbe biologische Produktivität der Erde aus, um den Konsum der Menschheit zu befriedigen. Im Jahr 2016 benötigt die Menschheit bereits 1,6 Erden (Global Footprint Network 2016, o.S.), so dass der *Earth Overshoot Day*, der Tag im Kalender, an dem die Menschheit alle Ressourcen aufgebraucht hat, für welche die Erde ein Jahr benötigt, um sie zu regenerieren (Ebd.), auf den 8. August im Jahr 2016 fällt.

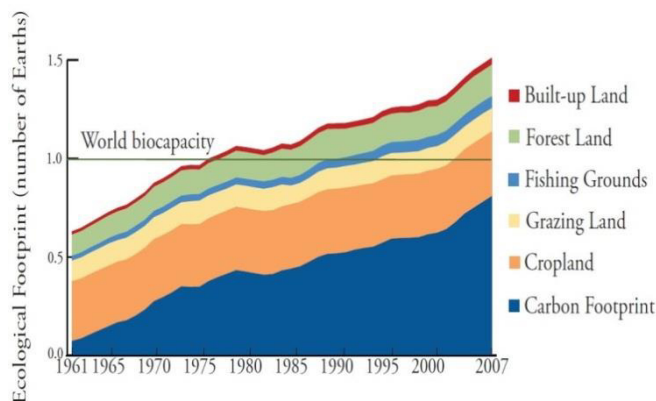


Abb. 2: Ökologischer Fußabdruck der Menschheit, 1961-2007

Quelle: Ewing et al. 2010, S.18

Ersichtlich ist in der Grafik der große Anteil des *Carbon Footprints*, welcher alleine mehr als die Hälfte der benötigten Fläche der Menschheit darstellt. In der Methodik des Ökologischen Fußabdrucks steht der *Carbon Footprint* für eine (durchschnittliche) Waldfläche, die benötigt würde, um die durch den Menschen verursachten CO₂-

Emissionen aufzunehmen, nachdem ein Teil der Emissionen vom Ozean aufgenommen wurde (Ewing et al. 2010, S.11).

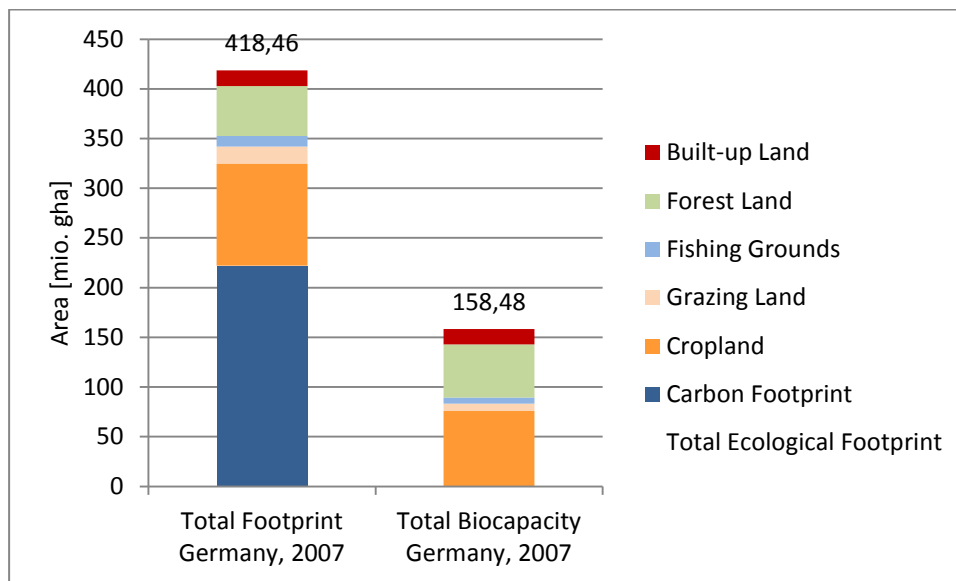


Abb. 3: Vergleich Ökologischer Fußabdruck und Biokapazität Deutschland

Eigene Darstellung, Daten aus: Ewing et al. 2010, S.60ff.

Der Vergleich des Ökologischen Fußabdrucks Deutschlands mit der in Deutschland verfügbaren Biokapazität in Abb. 3 verdeutlicht die Problematik des Naturverbrauchs durch den aktuellen Konsum in Deutschland. Alleine die Fläche, die nötig wäre, um die CO₂-Emissionen zu kompensieren, übertrifft die gesamte in Deutschland zur Verfügung stehende biologisch produktive Fläche.

Aufgrund der enormen Bedeutung der CO₂-Emissionen beschränkt sich die vorliegende Arbeit auf eine Untersuchung des CO₂-Fußabdrucks, welcher in nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben wird.

2.2 CO₂-Fußabdruck

Die Ursprünge des CO₂-Fußabdrucks (engl.: *Carbon Footprint*) gründen im Ökologischen Fußabdruck. Nach dem Global Footprint Network ist der CO₂-Fußabdruck demnach eine Fläche, die benötigt wird, um CO₂-Emissionen, welche nicht durch Ozeane aufgenommen werden können, durch Photosynthese aufzunehmen (Global Footprint Network 2005, S.10).

Nach Definition des Gabler Wirtschaftslexikons ist der CO₂-Fußabdruck „ein eindimensionaler Ansatz der Ökobilanzierung, der die Klimawirkungen menschlicher Aktivitäten betrachtet“ (Günther 2016, o.S.). Als Aktivitäten können Produkte, Dienstleistungen, Länder, Regionen, Regierungen, Organisationen, Unternehmen, Individuen etc. bilanziert werden (Günther 2016, o.S.; Wiedmann und Minx 2007, S.2). Als Maß für die Klimawirkungen werden Treibhausgasemissionen bilanziert, die als Indikator für Umweltbeanspruchung angesehen werden (Günther 2016, o.S.).

Mittlerweile hat sich in den meisten Fällen der Begriff CO₂-Fußabdruck als Synonym für eine Bilanz von Treibhausgas-Emissionen durchgesetzt (Wiedmann und Minx 2007,

S.3), weswegen oftmals auch von einer CO₂-Bilanz gesprochen wird (Teufel 2011, S.69; UBA und ifeu 2007, o.S.; Kannegiesser 2015, S.2). Das *Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)*, ein Standard zur Bilanzierung von Treibhausgasemissionen, verwendet den Begriff *emissions footprint* (WRI und WBCSD 2006, S.32f.), wodurch eine Unterscheidung zum CO₂-Fußabdruck, wie er vom *Global Footprint Network* verwendet wird, klarer wird. Der Begriff Klimabilanz, wie er zum Beispiel in einem Leitfaden für Unternehmen auftaucht (Kannegiesser 2015, S.2), bezieht sich auf die Unterscheidung zu einer Ökobilanz. In einer Klimabilanz wird ausschließlich der vermutlich von Treibhausgasen verursachte Klimawandel berücksichtigt und weitere Umweltauswirkungen, wie sie in einer Ökobilanz Anwendung finden, außeracht gelassen (Kaltschmitt und Schebek 2015, S.234). Das Vorgehen beim Erstellen einer Klimabilanz unterscheidet sich nicht von einer CO₂-Bilanz. Für das weitere Vorgehen wird der Begriff CO₂-Bilanz verwendet.

Dabei stellt sich die Frage, welche Treibhausgasemissionen bilanziert werden sollen. Möglich ist, dass ausschließlich CO₂-Emissionen bilanziert werden oder auch klimawirksame Emissionen anderer Gase (Wiedmann und Minx 2007, S.2). Falls weitere Gase bilanziert werden sollen, kann überlegt werden, ob ausschließlich Gase bilanziert werden, die in ihren Molekülen Kohlenstoff-Atome beinhalten oder auch Treibhausgase, die kein Kohlenstoff-Atom beinhalten (Ebd.), aber trotzdem als Treibhausgase gelten. Weiter gilt zu klären, ob ausschließlich Treibhausgase oder auch Gase bilanziert werden sollen, die durch atmosphärische Prozesse in Treibhausgase umgewandelt werden können (Ebd.). In der Praxis existieren einige unterschiedliche Herangehensweisen, eine CO₂-Bilanz aufzustellen. Um diese vergleichbarer zu machen, wurden diverse Standards entwickelt, die teilweise miteinander konkurrieren (Soode et al. 2013, S.1280). Die wichtigsten Standards werden in Kapitel 2.2.2 vorgestellt.

2.2.1 Treibhausgaspotential

Wie beschrieben, kann eine CO₂-Bilanz als eindimensionale Ökobilanz mit einer einzigen Wirkungskategorie, dem anthropogenen Treibhauseffekt (auch: Klimawandel), gesehen werden (Kaltschmitt und Schebek 2015, S.215). Eine Wirkungskategorie steht stellvertretend für ein bestimmtes Umweltproblem (Ebd., S.224f.). Auf die Betrachtung weiterer Wirkungskategorien wie zum Beispiel die Versauerung aquatischer und terrestrischer Ökosysteme, wird in einer CO₂-Bilanz verzichtet (Ebd., S.215).

Um das Potential einer Aktivität oder eines Produkts auf eine Wirkungskategorie zu quantifizieren, bedarf es eines Charakterisierungsmodells. Das Modell, welches in einer CO₂-Bilanz am häufigsten angewendet wird, ist das vom *International Panel of Climate Change (IPCC)* entwickelte Konzept des *radiative forcing* (RF) (Bréon et al. 2013, S.664). *Radiative forcing* oder die Erhöhung des Infrarotstrahlungsantriebs beschreibt die Änderung in der Energiebilanz des Systems Erde durch eine Aktivität und wird durch den Indikator Strahlungsflussdichte ausgedrückt (Kaltschmitt und Schebek 2015, S.159), welcher die Wirkung von Treibhausgasen repräsentativ abbildet (Ebd., S.158). Die Einheit der Strahlungsflussdichte wird im Normalfall in Watt pro Quadratmeter an-

gegeben (Bréon et al. 2013, S.664). Der Wirkungsindikator Strahlungsflussdichte steht als Mid-Point-Indikator stellvertretend für eventuelle Effekte des Klimas, die durch die erhöhte Wärmeabsorption bedingt sein können. Im Gegensatz hierzu stellt ein End-Point-Indikator ein direktes Maß für einen Wirkungsendpunkt dar, also einen direkten oder indirekten Effekt des Klimas (Kaltschmitt und Schebek 2015, S.226). Als Beispiele für Wirkungsendpunkte in einer CO₂-Bilanz seien hier das Steigen des Meeresspiegels, das Abschmelzen der Gletscher und Polkappen sowie die Versauerung der Meere genannt.

Durch das Charakterisierungsmodell wird vorgegeben, wie die bilanzierten Treibhausgasemissionen mit Charakterisierungsfaktoren auf eine gemeinsame Einheit umgerechnet werden (Ebd., S.227). Das Radiative-Forcing-Konzept gibt für jedes Treibhausgas ein Treibhausgaspotential (GWP: *Global Warming Potential*) an, mit dem Treibhausgasemissionen in die Einheit CO₂-Äquivalente (CO₂eq oder CO₂e) umgerechnet werden.

Das Treibhausgaspotential ist ein relativer Vergleichswert, der angibt, um wie viel mehr ein anderes Treibhausgas die Infrarotstrahlung im Strahlungsfenster des sichtbaren Lichtes absorbiert als Kohlenstoffdioxid (KIT 2012, Abs. 1) und damit, um wie viel mehr dieses Gas zur Erhöhung des Infrarotstrahlungsantriebs beiträgt.

Da sich das Treibhausgaspotential über verschiedene betrachtete Zeiträume hinweg ändern kann, werden im Charakterisierungsmodell des IPCC Faktoren für die Zeiträume 20, 50 und 100 Jahre angegeben (Bréon et al. 2013, S.731). In der Praxis wird meist das GWP₁₀₀, also das Treibhausgaspotential eines Gases für einen betrachteten Zeitraum von 100 Jahren verwendet. In folgender Tabelle sind die Treibhausgaspotentiale der im Kyoto-Protokoll reglementierten Treibhausgase (UNFCCC 2008, S.50) aufgelistet.

Tabelle 1: Treibhausgaspotential und Emissionsanteile der Kyoto-Gase in der EU

| Treibhausgas | Chemische Formel | GWP ₁₀₀ | EU-28 Emissionen (2013) [mio. t] | Anteil |
|--|------------------|--------------------|----------------------------------|--------|
| Kohlenstoff-Dioxid | CO ₂ | 1 | 3.650 | 81,29% |
| Methan | CH ₄ | 28 | 468 | 10,42% |
| Distickstoffmonoxid | N ₂ O | 265 | 258 | 5,75% |
| Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe | H-FKW/HFCs | < 1 - 12.400 | 104 | 2,32% |
| Perfluorierte Kohlenwasserstoffe | FKW/PFCs | < 1 - 11.100 | 4 | 0,09% |
| Schwefelhexafluorid | SF ₆ | 23.500 | 6 | 0,13% |
| Summe | | | 4.490 | |

Eigene Darstellung, Daten aus Bréon et al. 2013, S.731 und EEA 2015, S.66

Das wichtigste Treibhausgas ist Kohlenstoffdioxid, das aufgrund seiner Relevanz im Charakterisierungsmodell den Vergleichswert 1 hat. CO₂-Emissionen machten im Jahr 2013 in den EU-28 Staaten 81% der Treibhausgasemissionen aus. Sie stammen hauptsächlich aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme und aus dem Transportwesen (EEA 2015, S.67). Zusätzlich werden Methan und Distickstoffmonoxid, auch bekannt als Lachgas, zu den Kyoto-Gasen gezählt.

Methan besitzt ein GWP von 28. 1 kg Methan trägt also nach dem RF-Konzept 28mal mehr zum Treibhauseffekt bei als 1 kg Kohlenstoffdioxid. Es macht etwa 10% der Treibhausgasemissionen in Europa aus. Die größten Emittenten von Methan sind Rinder sowie der anaerobe Abbau von Abfall (EEA 2015, S.69). Lachgas trägt zu 6% zu den Treibhausgasemissionen bei und besitzt ein GWP von 265. Die meisten Emissionen werden von kultivierten Böden und damit durch die Landwirtschaft emittiert (Ebd., S.70).

Teilhaletogene Fluorkohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid werden zwar getrennt bilanziert, oft aber als die Gruppe der Fluorierten Gase betrachtet. Die treibenden Emittenten teilhalogener Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs) sind Kühlanlagen und Air-Conditioning (Ebd., S.72). HFCs tragen zu etwa 2% der EU-Emissionen bei. Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFCs) besitzen einen Anteil von gerade einmal 0,09% und entstehen in der Halbleiterfertigung sowie Aluminiumherstellung (Schwarz und Leisewitz 2000, S.211). Schwefelhexafluorid (SF₆) trägt zu 0,13% der EU-Emissionen bei. Die meisten Emissionen entstehen in der Verwendung von SF₆ als Isoliergas in Schallschuttscheiben (Ebd.). Trotz ihres hohen GWPs tragen Fluorierte Gase aufgrund ihres geringen Aufkommens nur wenig zum Treibhauseffekt bei.

2.2.2 Standards

Im Wesentlichen wird in der Praxis zwischen produktbezogenen CO₂-Bilanzen und unternehmensbezogenen CO₂-Bilanzen unterschieden. Um die Auswirkungen auf den Klimawandel von verschiedenen Produkten und Unternehmen untereinander vergleichen zu können, sind von internationalen Institutionen Standards entwickelt worden.

Standards für CO₂-Bilanzen von Produkten

PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services:

Die nach eigenen Angaben (BSI 2016, o.S.) ersten methodischen Grundlagen für die Bilanzierung eines CO₂-Fußabdrucks für Produkte veröffentlichte 2008 die *British Standard Institution* (BSI) mit der *PAS 2050*. Die Spezifikation wurde in Kooperation mit dem britischen Umweltministerium und dem Unternehmen *Carbon Trust* entwickelt. 2011 wurde eine Revision veröffentlicht, die vor allem zur Harmonisierung der Methoden anderer Standards beitragen sollte. Die *PAS 2050* wird hauptsächlich im britischen Raum angewendet und kann daher nicht als internationaler Standard bezeichnet werden (Hottenroth et al. 2014, S.16).

The Greenhouse Gas Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard: 2011 wurde von der *GHG Protocol Initiative* das *GHG Protocol* für Produkte nach umfangreicher weltweiter Praxiserprobung (Ebd.) veröffentlicht. Unter der Leitung des *World Resources Institute* (WRI) und des *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) arbeiten in der *GHG Protocol Initiative* Unternehmen, Nichtregierungsorganisationen und Regierungen in einer Arbeitsgemeinschaft zusammen. Die

Handhabung des praxisnahen Standards ist durch den bereits weit verbreiteten Corporate Standard (s.u.) sehr vertraut und wird daher international angewendet (Hottenroth et al. 2014, S.16).

ISO 14067: Treibhausgase - Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung und Kommunikation:

Der Standard TS 14067 wurde 2013 von der *International Organization for Standardization* (ISO) veröffentlicht. Der Normenentwurf des Standards wurde vor allem von Entwicklungsländern abgelehnt, die negative Auswirkungen auf den Handel befürchteten (Finkbeiner und Schwager 2016, S.59). Er wurde deshalb als Technische Spezifikation veröffentlicht (Hottenroth et al. 2014, S.17). Anwender sollen Erfahrungen mit dieser Vornorm sammeln und der ISO berichten (ISO/TS 14067:2013, S.2).

Alle drei beschriebenen Standards für Produkte beruhen auf dem Vorgehen einer Ökobilanz nach den Standards ISO 14040 und ISO 14044 (WRI und WBCSD 2011, S.21; ISO/TS 14067:2013, S.8; PAS 2050:2011, V). Außer ihnen haben sich weitere Standards entwickelt, die oft auf einzelne Industriezweige zugeschnitten sind, um CO₂-Fußabdrücke von Produkten besser vergleichen zu können (Kaltschmitt und Schebek 2015, S.234).

Standards für CO₂-Bilanzen von Unternehmen:

The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard:

Der von der *GHG Protocol Initiative* entwickelte Standard für die Bilanzierung von Unternehmen (in Folge *GHG Protocol* genannt) wurde in der ersten Version 2001 veröffentlicht. Seither sind viele Berechnungstools und weitere Leitfäden für spezielle Industriezweige entstanden, die auf der Website <http://www.ghgprotocol.org> kostenlos zur Verfügung stehen. Die *revised edition* wurde in einem Multi-Stakeholder Dialog über zwei Jahre hinweg erarbeitet (WRI und WBCSD 2004, S.2) und 2004 veröffentlicht. Trotz einiger Neuerungen werden die meisten der mit der ersten Version ermittelten CO₂-Bilanzen nach Aussage von WRI und WBCSD (2004, S.2) nicht beeinflusst. Nach eigenen Angaben (GHG Protocol 2014, o.S.) verwendeten 2014 86% der 500 umsatzstärksten Unternehmen weltweit den Standard des *GHG Protocols* oder einen darauf beruhenden Standard.

ISO 14064: Treibhausgase - Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene:

Viele Schlüsselkonzepte und Anforderungen der Norm ISO 14064-1 wurden vom dem *GHG Protocol* übernommen (DIN EN ISO 14064-1, S.10). Die Norm ist ein Teil der ISO 14064-Reihe, die sich außer der Quantifizierung von Treibhausgasen und der Berichterstattung von Treibhausgasbilanzen in Teil 1 (Ebd., S.5) mit der Anwendung von Klimaschutzprojekten und Projekten zur Reduktion von Treibhausgasemissionen in Teil 2 (Ebd., S.5) sowie der Validierung und Verifikation von Treibhausgasbilanzen und Klimaschutzprojekten in Teil 3 (Ebd., S.6) beschäftigt.

Trotz aller Bemühungen, durch Standards einheitliche CO₂-Bilanzen zu erstellen, bleibt der Vergleich von Bilanzen selbst bei der Verwendung eines einheitlichen Standards aufgrund vielseitiger Entscheidungsmöglichkeiten innerhalb der Standards schwierig.

2.2.3 CO₂-Bilanz eines Produkts

Nach ISO 14067 ist die CO₂-Bilanz eines Produkts (PCF: *Product Carbon Footprint*) die „Summe der emittierten Treibhausgasemengen und der entzogenen Treibhausgasemengen in einem Produktsystem, angegeben als CO₂-Äquivalent und beruhend auf einer Ökobilanz, unter Nutzung der einzigen Wirkungskategorie Klimawandel“ (ISO/TS 14067:2013, S.13). Im *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard* der *GHG Protocol Initiative* sowie im Standard PAS 2050 ist die Definition ähnlich zu finden (WRI und WBCSD 2011, S.21; PAS 2050:2011, S.1). Der PCF entspricht also einer Treibhausgasbilanz, die anhand des Lebenswegs eines Produkts erstellt wird. Als Produkt werden hierbei auch Dienstleistungen angesehen.

Dadurch, dass die drei beschriebenen Standards allesamt auf der Methodik einer Ökobilanz basieren (ISO 14040 und ISO 14044), ist das methodische Vorgehen zur Erstellung eines PCF ähnlich. Der Unterschied ist hauptsächlich im Detail der Berechnungen zu finden (Hottenroth et al. 2014, S.17). Da zur Beschreibung der allgemeinen Methodik eines PCF tiefere Details keine Rolle spielen, wird auf sie nicht weiter eingegangen.

Anhand des Beispiels einer Auto-Herstellung wird das allgemeine Prinzip eines PCF erklärt.

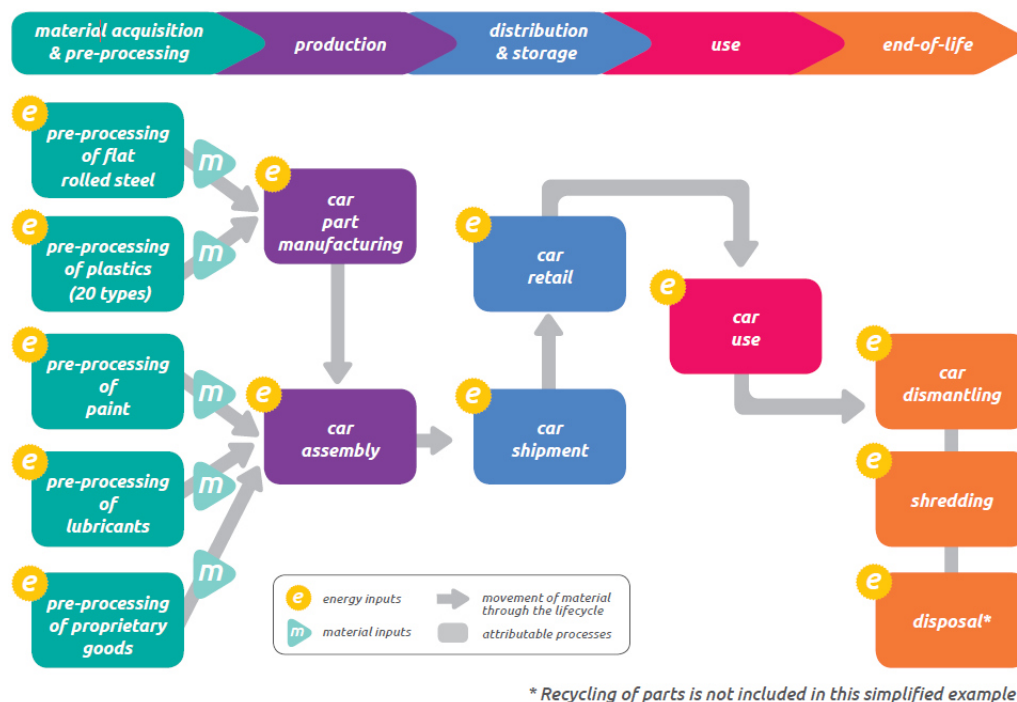


Abb. 4: Lebenszyklus eines Autos (cradle-to-grave)

Quelle: WRI und WBCSD 2011, S.36

Das Ziel, die Emissionen eines Produkts zu bilanzieren, liegt darin, die Treibhausgasemissionen und damit den potentiellen Beitrag einer Nutzeinheit zum Klimawandel zu bilanzieren (ISO/TS 14067:2013, S.35). Die Motivation hierfür kann zum Beispiel die Verbesserung eines Produktimages sein oder die Optimierung von Produktionsprozessen.

Die funktionelle Einheit beschreibt den quantifizierten Nutzen einer Einheit, für welche die potentiellen Klimaauswirkungen ermittelt werden sollen. Die Verwendung eines quantifizierten Nutzens im Vergleich zu einem Produkt hat den Vorteil, dass THG-Bilanzen leichter miteinander verglichen werden können (Ebd., S.20). Dies wird anhand eines Beispiels (Hottenroth et al. 2014, S.33) deutlich:

Um die THG-Emissionen von einer 0,7 l Mineralwasser-Glasflasche und einer 1,0 l Mineralwasser-Plastikflasche vergleichen zu können, macht es aufgrund der unterschiedlichen Volumina keinen Sinn, eine einzige Glasflasche mit einer einzigen Plastikflasche zu vergleichen. Daher nimmt man zum Beispiel die funktionelle Einheit „1000 l Mineralwasser am Point of Sale“. Durch die Verwendung einer funktionellen (Nutz-)Einheit können somit CO₂-Bilanzen miteinander verglichen werden.

Im vorliegenden Fall kann die funktionelle Einheit zum Beispiel als „200.000 km mit einem Auto zurückgelegte Strecke“ definiert werden.

Auf der Auswahl der funktionellen Einheit beruht der Untersuchungsrahmen. Dieser gibt an, welche Abschnitte des Lebenswegs eines Produkts bilanziert werden und definiert somit die Grenzen des zu untersuchenden Systems (ISO/TS 14067:2013, S.35f.).



In Abb. 4 stellen die oberen Pfeile die Abschnitte des Lebenswegs eines Produkts dar. Dieser umfasst die Entnahme der Rohstoffe aus der Natur und ihrer Aufbereitung, die Herstellung des Produkts, die Distributionsphase sowie die Nutzungs- und Endphase.

In einem PCF sollte, sofern möglich, der gesamte Lebenszyklus eines Produkts bilanziert werden. Es handelt sich dann um ein *cradle-to-grave* Modell (WRI und WBCSD 2011, S.36), da jeder Lebensabschnitt des Produkts bilanziert wird. Oft ist es nicht möglich, die genaue Nutzung eines Produkts vorherzusagen. Daher kann in begründeten Fällen das *cradle-to-gate* Modell angewandt werden (Ebd., S.37). Der *cradle-to-gate* Ansatz bilanziert nicht den gesamten Lebensweg eines Produkts, sondern ausschließlich den Lebensweg bis zum „Werkstor“ (Ebd.). Das heißt, die Abschnitte Distribution, Nutzung und Endphase entfallen.

Aus dem Untersuchungsrahmen wird im nächsten Schritt ein Produktsystem entwickelt, welches den Lebenszyklus eines Produkts modelliert (ISO/TS 14067:2013, S.23). Im Produktsystem sollen alle Aktivitäten enthalten sein, die nötig sind, um ein Produkt herzustellen. Um diese Aktivitäten zu identifizieren, werden die Lebenswegabschnitte eines Produkts in Prozessmodule (Hottenroth et al. 2014, S.47) aufgeteilt.

In der Grafik sind Prozessmodule als farbige Felder zu erkennen. Für die Lebenszyklusphase *Rohstoffgewinnung und Vorverarbeitung* sind dies zum Beispiel Aktivitäten, um

Vorprodukte des Autos herzustellen. In der Lebenszyklusphase *Herstellung* sind als Aktivität die Herstellung der Autoteile sowie die Herstellung des Autos an sich aufgelistet.

Jedes Prozessmodul ist durch Energie- und Materialströme, genannt Input und Output, mit anderen Prozessmodulen verbunden, wodurch eine Prozesskette entsteht. Für jedes Prozessmodul werden die eingehenden und ausgehenden Inputs und Outputs als Aktivitätsdaten bilanziert (ISO/TS 14067:2013, S.20). In der Grafik sind In- und Outputs an den Zeichen ,  sowie den grauen Pfeilen zu erkennen.

Das Vorgehen eines PCF sieht vor, mit den ermittelten Aktivitätsdaten die Emissionen aller Prozessmodule zu berechnen, um sie anschließend auf die funktionelle Einheit zu beziehen. Dazu wird jedem Input und Output eine Masse an THG-Emissionen zugeordnet. Die zugeordnete Masse an Emissionen pro Input- oder Output-Einheit wird Emissionsfaktor genannt (Ebd., S.22).

Emissionsfaktoren können für jedes Treibhausgas einzeln oder multipliziert mit dem jeweiligen Treibhausgasfaktor in der Einheit CO₂-Äquivalente angegeben werden (WRI und WBCSD 2011, S.52). Sie können für ein Prozessmodul oder für eine Kombination aus Prozessmodulen bestehen (Ebd.). Emissionsfaktoren können auf eine Masse, ein Volumen, eine Energieeinheit (Hottenroth et al. 2014, S.52f.) oder sonstige Maßeinheit, mit der eine Aktivität gemessen wurde, bezogen sein.

Emissionsfaktoren haben den großen Vorteil, dass für eine schnellere Berechnung eines CO₂-Fußabdrucks auf bereits bestehende Daten zurückgegriffen werden kann, welche zum Beispiel in Datenbanken vorzufinden sind [3.3]. Jedoch muss darauf geachtet werden, dass Emissionsfaktoren auf die richtige Einheit bezogen sind.

Als Beispiel für die Anwendung eines Emissionsfaktors dient die Verbrennung von Benzin in der Nutzungsphase des Autos:

Durch die bloße Verbrennung von einem Liter Benzin werden durch chemische Reaktionen 2,33 kg CO₂e emittiert (LfU 2009, S.40). Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Benzin lautet also 2,33 kg CO₂e/l. Er bezieht sich auf das Prozessmodul *Car Use* in der Nutzungsphase. In diesem Emissionsfaktor sind bereits alle Treibhausgase, die bei der Verbrennung emittiert werden, in die Einheit CO₂-Äquivalente umgerechnet.

Für die Herstellung von Benzin können dem Prozessmodul *Car Use* weitere Emissionen zugerechnet werden. Für die Bereitstellung von Benzin an der Tankstelle werden unter anderem durch Erdöl-Gewinnung, Raffinerie und Transport 0,55 kg CO₂e/l emittiert. Zusammenaddiert ergibt sich für die Verbrennung und die Bereitstellung von Benzin somit ein Emissionsfaktor von 2,88 kg CO₂e/l.

Der Emissionsfaktor kann nun mit Aktivitätsdaten multipliziert werden, um die Emissionen für eine Aktivität zu berechnen. Nimmt man zum Beispiel den Treibstoffverbrauch von 8 l Benzin für 100 km an, ergeben sich die Emissionen für die Verbrennung von Benzin zu

$$\frac{8l}{100km} * \frac{2,88 \text{ kg CO}_2e}{l} = 0,23 \frac{\text{kg CO}_2e}{km}.$$

Durch die Verbrennung von Benzin, sowie für dessen Bereitstellung an der Tankstelle werden pro Kilometer 230 g CO₂e emittiert.

Für die weitere Berechnung eines PCF werden nun die mit Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren berechneten Emissionen mit passenden Faktoren auf die funktionelle Einheit umgerechnet und addiert. Im Beispiel des Autos werden dazu die durch die Bereitstellung und Verbrennung von Benzin emittierten Emissionen pro Kilometer mit der zurückgelegten Strecke von 200.000 km (funktionelle Einheit) multipliziert.

$$0,23 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{km}} * 200.00 \frac{\text{km}}{\text{fE}} = 46.000 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{fE}}$$

In der Nutzungsphase werden also 46 t CO₂e an Treibhausgasen durch die Bereitstellung und Verbrennung von Benzin emittiert. Die Emissionen aller weiteren Aktivitäten des Produktsystems werden mit derselben Methodik bilanziert.

Für jeden Lebensabschnitt lassen sich die emittierten Emissionen berechnen und anschließend ins Verhältnis setzen. Somit lässt sich aufdecken, in welcher Phase des Lebenswegs eines Produktes die meisten Emissionen emittiert werden. Daraus lassen sich Verbesserungspotentiale aufdecken, deren Umsetzung ein Produkt umweltverträglicher werden lässt. Zusätzlich können natürlich verschiedene Produkte miteinander verglichen werden, wobei sehr darauf geachtet werden muss, dass dieselben Ansätze gewählt wurden (*cradle-to-grave* oder *cradle-to-gate*).

2.2.4 CO₂-Bilanz eines Unternehmens

Im Unterschied zur CO₂-Bilanz eines Produkts zielt die CO₂-Bilanz eines Unternehmens (CCF: *Corporate Carbon Footprint*) nicht darauf ab, die unterschiedlichen Phasen im Lebensweg eines Produkts zu betrachten, sondern die potentiellen Klimaauswirkungen einer Unternehmenstätigkeit anhand seiner Wertschöpfungskette zu bilanzieren (Hottenroth et al. 2014, S.13).

Anstatt die Systemgrenzen auf den Lebenszyklus eines Produkts festzulegen, wird darauf geachtet, welche Emissionen innerhalb der Systemgrenzen eines Unternehmens entstehen und welche außerhalb. Dazu wird die Unternehmenstätigkeit in einzelne Aktivitäten aufgeteilt, die aggregiert den Beitrag des Unternehmens zur potentiellen Klimaerwärmung darstellt. Oft wird der zeitliche Rahmen so gewählt, dass die Emissionen für ein Geschäftsjahr bilanziert werden.

Um einen CCF zu bilanzieren, werden die Grenzen der zu bilanzierenden Organisation bestimmt. Dazu muss zwischen den Ansätzen der Kontrolle und der Beteiligung ausgewählt werden (WRI und WBCSD 2004, S.17). Bei der Wahl des Kontrollansatzes werden Emissionen für alle Anlagen/Aktivitäten bilanziert, über die eine Organisation „Finanzkontrolle hat oder deren Betriebsabläufe sie überwacht“ (DIN EN ISO 14064-1, S.20; WRI und WBCSD 2004, S.17f.). Beim Ansatz der Beteiligung wird der Anteil der Treibhausgasemissionen von Anlagen/Aktivitäten bilanziert, an dem eine Organisation Anteile hält (DIN EN ISO 14064-1, S.20; WRI und WBCSD 2004, S.17f.). Des Weiteren müssen die betriebsbedingten Grenzen festgelegt werden. Hierzu gehört, diejenigen

Anlagen/Aktivitäten zu identifizieren, bei denen Treibhausgasemissionen innerhalb des gewählten Bilanzierungsansatzes entstehen (DIN EN ISO 14064-1, S.21; WRI und WBCSD 2004, S.25f.), sowie die Einteilung der Treibhausgasemissionen in direkte Emissionen (Scope 1), energiebedingte indirekte Emissionen (Scope 2) und andere indirekte Emissionen (Scope 3) (DIN EN ISO 14064-1, S.21; WRI und WBCSD 2004, S.25f.)

Als direkte Emissionen werden Treibhausgasemissionen definiert, die in Anlagen/Aktivitäten entstehen, die einem Unternehmen gehören bzw. von ihm kontrolliert werden und sich damit innerhalb der Organisationsgrenzen des Unternehmens befinden (DIN EN ISO 14064-1, S.12; WRI und WBCSD 2004, S.25). Ihre Bilanzierung ist nach DIN EN ISO 14064-1 und *GHG Protocol* obligatorisch.

Indirekte Emissionen fallen physikalisch gesehen außerhalb der Organisationsgrenzen eines Unternehmens an. Sie werden in energiebedingte und andere indirekte Emissionen unterteilt. Energiebedingte Emissionen sind Emissionen, die bei der Erzeugung von Energie entstanden sind, welche ein Unternehmen bezieht (DIN EN ISO 14064-1, S.13; WRI und WBCSD 2004, S.27f.). Andere indirekte Emissionen resultieren aus Aktivitäten, die durch ein Unternehmen bedingt sind, aber ebenfalls außerhalb der Organisationsgrenzen eines Unternehmens entstehen und nicht den energiebedingten indirekten Emissionen zugeordnet werden können (DIN EN ISO 14064-1, S.13; WRI und WBCSD 2004, S.29ff.). Die Bilanzierung energiebedingter indirekter Emissionen ist obligatorisch, die Bilanzierung weiterer indirekter Emissionen fakultativ.

In einem weiteren Schritt werden Aktivitätsdaten und die daraus entstehenden Emissionen ermittelt. Falls diese nicht gemessen werden können, sind geeignete Emissionsfaktoren auszuwählen oder zu entwickeln und mit den Aktivitätsdaten zu multiplizieren (DIN EN ISO 14064-1, S.24). Die Berechnung der Emissionen erfolgt in CO₂e und muss nach ISO 14064-1 (Ebd., S.28) in der Maßeinheit Tonne angegeben werden (Ebd., S.28).

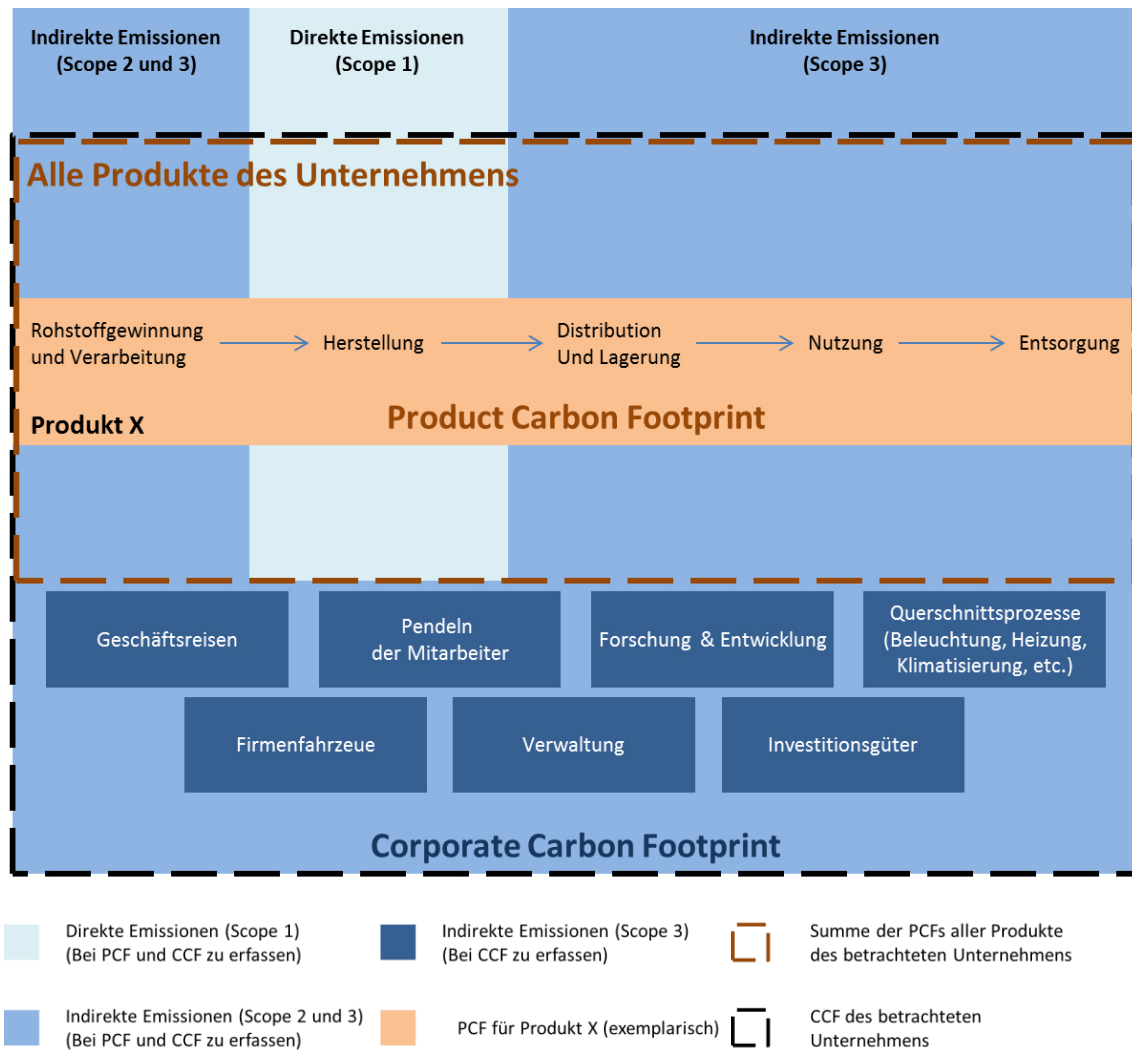


Abb. 5: Abgrenzung zwischen PCF und CCF

Quelle: Eigene Darstellung nach Hottenroth et al. 2014, S.14

Abb. 5 verdeutlicht den Unterschied zwischen PCF und CCF. Bei einem PCF geht es darum, die Emissionen der einzelnen Phasen im Lebensweg eines Produktes zu bilanzieren. Der CCF hingegen untersucht, welche Emissionen im Unternehmen (Scope 1) emittiert werden und welche außerhalb der Unternehmensgrenzen, aber durch die unternehmerische Tätigkeit bedingt, emittiert werden (Scope 2 und 3). Durch die Analyse eines PCF kann eine Produktoptimierung stattfinden, wohingegen bei einem CCF eine Optimierung der Wertschöpfungskette und damit von Prozessen stattfinden kann. Wird der CO₂-Fußabdruck als vergleichendes Instrument verwendet, können mit dem PCF verschiedene Produkte durch die funktionelle Einheit miteinander verglichen werden, wohingegen der CCF zum Branchen-Benchmarking angewendet werden kann. PCF können bezüglich Marketingzwecke vor allem dazu verwendet werden, eine Marken- bzw. Produktdifferenzierung zu erlangen und ein Produktimage zu verbessern (Hottenroth et al. 2014, S.13). CCF hingegen dienen dazu, das gesamte Unternehmensimage im Zuge von Corporate Social Responsibility Maßnahmen zu verbessern (Ebd.).

Der CCF besteht aus der Summe der PCF aller Produkte in einem Unternehmen, ergänzt durch weitere indirekte Emissionen, die in Abb. 5 dunkelblau markiert sind und normalerweise keinem einzelnen Produkt zugeordnet werden können.

In der weiteren Arbeit wird der CCF als Methode und das *GHG Protocol* als Standard verwendet. In ihm heißt es ausdrücklich, dass als Unternehmen auch Hochschulen gelten (WRI und WBCSD 2004, S.3) und daher eine CO₂-Bilanz mit diesem Standard erfolgen kann. Viele Emissionsfaktoren wurden durch PCF entwickelt, so dass die Methodik des PCF auch in einem CCF indirekt zur Anwendung kommt.

2.2.5 CO₂-Bilanzen von Hochschulen

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, werden Treibhausgasemissionen von Hochschulen weltweit bilanziert. CO₂-Bilanzen bieten Forschungsmöglichkeiten bei einer aktuellen Fragestellung und einen anschaulichen Bezug zum weltweiten Phänomen der Klimaerwärmung. Sie verdeutlichen zusätzlich den Bezug einer Hochschule zu einem praxisrelevanten Thema und können damit die Attraktivität einer Hochschule durch ein „Grünes Gewissen“ der Hochschule erhöhen.

Tabelle 2: CO₂-Bilanzen nicht-deutschsprachiger Hochschulen

| Universität | Land | Bilanz als Teil einer Nachhaltigkeitsstrategie | Standard |
|--|------------|--|---|
| University of Queensland | Australien | ja | <i>GHG Protocol</i> |
| American University in Cairo* | Ägypten | ja | <i>GHG Protocol</i> |
| University of Hong Kong | (China) | nein | <i>GHG Protocol</i> |
| Norwegian University of Science and Technology | Norwegen | nein | Environmental Extended Input Output (EEIO) modeling |
| Georgetown University | USA | ja | <i>GHG Protocol</i> |
| Lynn University* | USA | ja | <i>GHG Protocol</i> |
| Minnesota State University Mankato* | USA | nein | <i>GHG Protocol</i> |
| Brighton | UK | ja | <i>GHG Protocol</i> |
| De Montfort University | UK | ja | <i>GHG Protocol</i> |
| Nottingham | UK | ja | <i>GHG Protocol</i> |
| University of Cape Town | Südafrika | nein | <i>GHG Protocol</i> |

*Clean Air-Cool Planet Rechner verwendet. (Basiert auf dem *GHG Protocol*)

Eigene Darstellung, Daten aus: University of Queensland 2016; The American University in Cairo 2015; University of Hong Kong 2014; Larsen et al. 2013; Georgetown University 2015; Lynn University 2012; Minnesota State University 2013; University of Brighton 2012; Ozawa-Meida et al. 2013; University of Nottingham 2015; University of Cape Town 2014

Oft werden Emissionen an Hochschulen nicht nur einmal, sondern im Zuge eines Umwelt- oder Carbon-Managementplans beziehungsweise einer Nachhaltigkeitsstrategie regelmäßig erfasst. Somit können Erfolge von Reduzierungsansätzen gemessen werden und Emissionsziele aufgestellt und verfolgt werden.

Die Hochschulen in Tabelle 2 verwendeten bis auf die *Norwegian University of Science and Technology* zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen den Standard des *GHG*

Protocols. Einige Universitäten verwenden den CO₂-Rechner *Clean Air – Cool Planet*, dessen Aufbau auf dem *GHG Protocol* basiert.

Obwohl das Thema attraktive Forschungsansätze bietet, sind CO₂-Bilanzen an Hochschulen im deutschsprachigen Raum und ihre Veröffentlichung noch selten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden mit CO₂-Bilanzen anderer Hochschulen verglichen, um die Emissionswerte einordnen zu können [Tabelle 3]. Aufgrund der geographischen Nähe zur Hochschule Konstanz werden die Emissionen der Universität St. Gallen (HSG) und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH) mit den Emissionen der Hochschule Konstanz verglichen. Um einen Vergleich mit deutschen Hochschulen zu ermöglichen, werden Emissionswerte der Wirtschaftsfakultät der Technischen Universität München (TUM-SoM), sowie Emissionswerte der Leuphana Universität in Lüneburg herangezogen.

Tabelle 3: CO₂-Bilanzen deutschsprachiger Hochschulen

| Emissionen [t CO ₂ e] / Jahr | HSG (2008) | ETH (2013/2014) | Leuphana (2014) | TUM-SoM (2011/2012) |
|--|---------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| Wärme und Strom | *1512 | 6997 | **1305 | 38 |
| Fläche [m ²] | 50.116 | 663.940 | 52.731 | 4.232 |
| Wärme + Strom / Fläche [t CO ₂ e/m ²] | 0,030 | 0,011 | 0,025 | 0,009 |
| Anzahl Personen | 7254 | 29481 | 9183 | 2886 |
| Pendelverkehr | 1106 | 1714 | 1518 | 593 |
| Pendelverkehr-Emissionen pro Kopf | 0,152 | 0,058 | 0,165 | 0,205 |
| Papier | 84 | 290 | - | 9 |
| Papieremissionen pro Kopf | 0,012 | 0,010 | - | 0,003 |

* Für Wärme-Emissionen bei der Universität St. Gallen wurde ein Intervall angegeben. Der hier aufgeführte Wert stellt den Mittelwert dar.

** Scope 1 Emissionen der Leuphana Universität wurden nach *GHG Protocol* ohne Emissionseinsparungen berechnet.

Eigene Darstellung, Daten aus Universität St. Gallen 2012; ETH Zürich 2015; Leuphana Universität Lüneburg 2014; Belz und Binder 2013a, 2013b

Die Erfassung der Emissionsdaten an der Universität St. Gallen (HSG) fand bisher einmalig im akademischen Jahr 2010/2011 als Projekt der studentischen Initiative *oikos – Carbon Neutral Campus* statt (Universität St. Gallen 2012). Hierbei wurden die Emissionen des Jahres 2008 ermittelt. Im Bereich der Gebäudeenergie wurden Emissionen für Wärme und Strom ermittelt. Für Emissionen aus Scope 3 sind für den Vergleich mit der HTWG die Aktivitäten Pendelverkehr (ohne Dienstreisen) und Papier interessant. Insgesamt ergibt sich eine Anzahl von 7254 Studenten, Mitarbeitern und Professoren (Ebd., S.17). Die in der Berechnung der Emissionen berücksichtigte Fläche beträgt addiert 50.096 m² (Ebd., S.10).

Die Emissionsdaten der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH) werden im seit 2002 jährlich erscheinenden Nachhaltigkeitsbericht (damals noch Energie Report) veröffentlicht. Für den Vergleich der Hochschulen werden die im Bericht 2013/2014 (ETH Zürich 2015) angegebenen Gebäudeemissionen für Wärme und Strom herangezogen. Emissionsdaten für Pendelverkehr wurden 2008 erhoben, Emissionsdaten für Papier zum ersten Mal im Jahr 2014. Die Zahl der Personen an der ETH setzt

sich für 2014 zusammen aus 18.616 Studenten und 10.865 Angestellten (insgesamt: 29.481 Personen) (ETH Zürich 2015, S.54f.). Die beheizte Fläche beträgt 663.940 m² (Ebd., S.62).

Die Leuphana Universität Lüneburg erreichte 2014 das seit 2000 verfolgte Ziel einer klimaneutralen Universität (Leuphana Universität Lüneburg 2016, o.S.). Dies erreichte sie durch Emissionsminderung sowie die Kompensation von nicht zu vermeidenden Emissionen. Für das Jahr 2014 wurden Emissionen für Wärme und Strom sowie Pendelverkehr und Dienstreisen kompensiert. Die Anzahl der Personen setzt sich für das akademische Jahr 2012/2013 zusammen aus 8.002 Studenten und 1.181 Beschäftigten (insgesamt: 9.183 Personen) (Leuphana Universität Lüneburg 2014, S.9). Die Hauptnutzfläche beträgt 52.731 m² (Ebd., S.11).

An der Technischen Universität München wurde 2013 an der Wirtschaftsfakultät School of Management (TUM-SoM) für das akademische Jahr 2011/2012 eine CO₂-Bilanz erstellt. Die Emissionen wurden in studentischen Projekten in Zusammenarbeit mit dem Klimaschutzunternehmen *Climate Partner* bilanziert (Belz und Binder 2013b, S.13). Hierbei wurden die Emissionen für Scope 1 und 2 und Emissionen für Mobilität und Papier in Scope 3 bilanziert. Die Zahl der Fakultätsangehörigen betrug mit 2.697 Studenten und 189 Beschäftigten insgesamt 2.886 Personen (Belz und Binder 2013a, S.27). Die Fläche aller bilanzierten Gebäude betrug 4.232 m² (Belz und Binder 2013b, S.57).

Anhand Tabelle 3 lassen sich Vermutungen über die nachfolgende Bilanz der Fakultät Bauingenieurwesen als Teil der Hochschule Konstanz aufstellen, die um zwei weitere Vermutungen ergänzt werden.

1. Es wird angenommen, dass die Emissionen für Pendelverkehr und die Emissionen für Wärme und Strom einen großen Teil der jährlichen Gesamt-Emissionen ausmachen.
2. Bei allen Universitäten, bei denen Emissionen des Papierverbrauchs bilanziert wurden, sind diese im Vergleich zu Emissionen aus Wärme und Strom sowie für Pendelverkehr verschwindend gering. Es wird davon ausgegangen, dass dies auch der Fall ist für die Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule Konstanz.
3. Viele Studenten gelangen mit dem Fahrrad oder zu Fuß an die Hochschule und emittieren somit keine Treibhausgase auf dem Weg zur Hochschule. Es wird daher vermutet, dass die Emissionen pro Kopf für Pendelverkehr eher gering sind.
4. Die vierte Vermutung ist, dass Studenten des Studiengangs Umwelttechnik und Ressourcenmanagement im Vergleich zu Kommilitonen anderer Studiengänge weniger Treibhausgase emittieren, da sie ein größeres Bewusstsein für das Thema Nachhaltigkeit haben.
5. Die fünfte Vermutung ist, dass männliche Fakultätsangehörige mehr zu den jährlichen Emissionen der Fakultät beitragen, da sie Mischkost mit Fleisch oder Fisch vegetarischen Mahlzeiten vorziehen.

3. Methoden

In diesem Kapitel wird das Vorgehen zur Erstellung der CO₂-Bilanz vorgestellt. Es beruht auf der Methode des *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard – revised edition* [2.2.2], in Folge *GHG Protocol* genannt, welches den *Corporate Carbon Footprint* bilanziert. Obwohl weitere Treibhausgase bilanziert werden, wird der Begriff CO₂-Bilanz verwendet [2.2]. Dazu werden die Systemgrenzen sowohl in organisatorischer als auch betrieblicher Hinsicht definiert [3.1]. Anschließend wird die Berechnungsmethode der Emissionen erläutert [3.2] und die zur Berechnung verwendeten Datenbanken vorgestellt [3.3]. Des Weiteren wird die von der *GHG Protocol* Institution vorgeschlagene Methode zur Allokation von Emissionen eines Blockheizkraftwerks (BHKW) vorgestellt [3.4], bevor auf die Methodik der Umfrage eingegangen wird, welche zur Datenerhebung von Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten durchgeführt wurde [3.5].

Das Ziel der CO₂-Bilanz besteht darin, die Klimaauswirkungen eines Betriebsjahres der Fakultät Bauingenieurwesen (Fakultät BI), als Teil der Hochschule Konstanz (HTWG), zu bilanzieren. Die Bilanz soll Aufschluss darüber geben, wo die meisten Emissionen emittiert werden und mögliche Einsparpotentiale aufdecken.

3.1 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen der Bilanz werden durch den zeitlichen Rahmen, die organisatorische (WRI und WBCSD 2004, S.26) und die betriebliche Abgrenzung (Ebd., S.35) definiert.

Als Zeitraum für die CO₂-Bilanz wird das akademische Jahr 2014/2015 mit dem Wintersemester 2014/2015 und dem Sommersemester 2015 gewählt. Der Zeitraum akademisches Jahr wurde ausgewählt, da er die Aktivitäten an der Hochschule besser repräsentiert als ein Kalenderjahr. Ein Jahr wurde gewählt, da der Wärmeverbrauch eines Sommer- bzw. Wintersemesters nicht repräsentativ für ein gesamtes Jahr ist.

Das Wintersemester 2014/2015 begann am 01.09.2014 und endete am 28.02.2015. Das Sommersemester 2015 begann am 01.03.2015 und endete am 31.08.2015. Somit deckt das akademische Jahr den Zeitraum eines Jahres ab.

Die organisatorische Abgrenzung legt die Herangehensweise für die Erstellung der Bilanz fest. Sie wird angewendet, um in der betrieblichen Praxis die Aktivitäten auszuwählen, deren Emissionen bilanziert werden sollen (Ebd., S.16). Als Aktivität werden Quellen von Emissionen beschrieben. Dies kann zum Beispiel der Wärmeverbrauch oder der Papierverbrauch sein. In der betrieblichen Abgrenzung werden die Emissionen in direkte und indirekte Abgrenzungsbereiche eingeteilt (Ebd., S.26).

3.1.1 Organisationsbedingte Abgrenzung

Nach dem *GHG Protocol* gibt es zwei verschiedene Herangehensweisen zur Erstellung einer CO₂-Bilanz. Anwender können sich entscheiden zwischen dem *equity share approach* und dem *control approach* (WRI und WBCSD 2004, S.17). Ein Unternehmen

soll die Herangehensweise auswählen, welche die Unternehmensaktivitäten besser repräsentiert.

Unter dem *equity share approach* versteht man, dass ein Unternehmen Emissionen für alle Aktivitäten in dem Umfang bilanziert, in dem es Beteiligungen daran hält (Ebd.). Diese Herangehensweise trifft auf Unternehmen zu, die Anteile an anderen Unternehmen halten. Somit wird sichergestellt, dass Emissionen in gleichem Umfang bilanziert werden, wie finanzielle Beteiligungen bestehen. Für die Fakultät BI als Teil der HTWG bestehen keine Beteiligungen bei anderen Unternehmen. Deshalb ist der *equity share approach* nicht anwendbar.

Unter dem *control approach* versteht man, dass ein Unternehmen Emissionen für alle Aktivitäten bilanziert, über die es Kontrolle besitzt (Ebd.). Der Begriff Kontrolle kann als *finanzielle* Kontrolle und als *operative* Kontrolle definiert werden.

Ein Unternehmen besitzt finanzielle Kontrolle über eine Aktivität, wenn es das unternehmerische Risiko dafür trägt (Ebd.). Die HTWG ist eine staatliche Hochschule. Damit trägt das unternehmerische Risiko, sofern man davon sprechen möchte, das Land Baden-Württemberg. Daher ist die Herangehensweise der finanziellen Kontrolle nicht passend.

Unter operativer Kontrolle versteht man, dass ein Unternehmen Emissionen für diejenigen Aktivitäten bilanziert, für die es die Berechtigung besitzt, Strategien umzusetzen (Ebd., S.18). Operative Kontrolle bedeutet dabei nicht, dass ein Unternehmen die Handlungsvollmacht für das Umsetzen der Strategien besitzen muss. Im Falle der Fakultät BI bedeutet dies, dass sie Strategien entwickeln kann, Aktivitäten anders zu gestalten, für manche Umsetzung jedoch die Zustimmung anderer Fakultäten bzw. der HTWG-Leitung benötigt. Diese Herangehensweise passt von allen verfügbaren am besten zur Emissionsbilanzierung der Fakultät BI.

Nach dem *control approach* werden im Rahmen der organisatorischen Grenzen Emissionen von Aktivitäten bilanziert, die mit den genutzten Räumen und Angehörigen der Fakultät in Zusammenhang stehen.

Die genutzten Räume sind entsprechend Abb. 6 in den Gebäuden C, G und U zu finden. Im Gebäude M befindet sich außerdem eine Abstellkammer für Vermessungsgeräte, die aufgrund des sehr geringen Wärme- und Stromverbrauchs nicht weiter berücksichtigt wird.

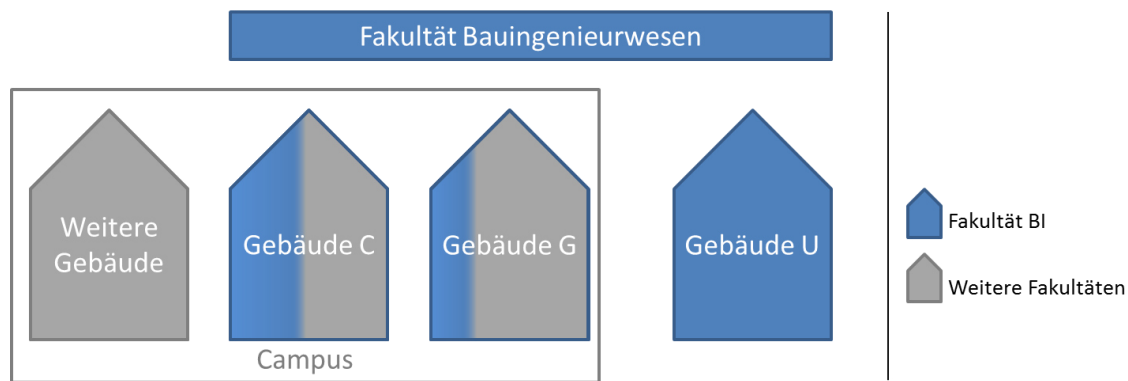


Abb. 6: Gebäude innerhalb der organisatorischen Systemgrenzen

Eigene Darstellung

In Gebäude C befinden sich das Sekretariat und die Verwaltung der Fakultät. Von der Fakultät werden hier Vorlesungsräume, Büros und Computerräume genutzt. Im Gebäude G befinden sich Büros und Labore, wobei prozentual ein kleinerer Teil als im C-Gebäude von der Fakultät genutzt wird [4.1]. Sowohl Gebäude C als auch G befinden sich auf dem Campus und sind an das Wärme- sowie Stromnetz der Hochschule angeschlossen. Das Gebäude U, welches sich nicht auf dem Campus befindet, wird nur im Erdgeschoss und ausschließlich von der Fakultät BI genutzt.

Fakultätsangehörige sind Studierende der Bachelorstudiengänge Bauingenieurwesen (BIB), Wirtschaftsingenieurwesen-Bau (WIB), Umwelttechnik und Ressourcenmanagement (URB) sowie des Masterstudiengangs Bauingenieurwesen (MBI). Zusätzlich werden zu Fakultätsangehörigen Mitarbeiter/innen und Professoren/innen gezählt.¹ Der Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (MWI) gehört streng genommen zu einem Teil ebenfalls zur Fakultät, da er von der Fakultät mitbetreut wird. Eine genaue Zuordnung dieser Studierenden zur Fakultät ist jedoch nicht möglich, so dass dieser Studiengang nicht weiter berücksichtigt wird [6].

3.1.2 Betriebsbedingte Abgrenzung

In der betriebsbedingten Abgrenzung wird festgelegt, welche Aktivitäten bilanziert werden sollen. Die Emissionen werden nach dem *GHG Protocol* in drei verschiedene Abgrenzungsbereiche untergliedert, die Scope 1, Scope 2 und Scope 3 genannt werden (WRI und WBCSD 2004, S.24).

Geht man nach dem *GHG Protocol* vor, so sollen alle sechs Treibhausgase bilanziert werden, die im Kyoto-Protokoll berücksichtigt sind (Ebd., S.3). Dazu gehören neben Kohlenstoffdioxid (CO₂), welches als Referenzwert dient, Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFCs), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFCs) und Schwefelhexafluorid (SF₆). Aufgrund des in Kapitel 2.2.1 beschriebenen geringfügigen Vorkommens von HFCs, PFCs und SF₆ werden diese Gase in der vorliegenden Bilanz nicht berücksichtigt [6].

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

Scope 1 werden Emissionen zugeordnet, die physikalisch direkt bei einer Unternehmensaktivität entstehen (WRI und WBCSD 2004, S.25). Dies sind zum Beispiel Emissionen, die durch die Verbrennung von Brennstoff zur Erzeugung von Wärme und Strom oder in unternehmenseigenen Fahrzeugen entstehen (Ebd.). Dazu gehören auch Emissionen, die durch Leckagen aus Kälteanlagen entweichen oder durch chemische Prozesse in der Produktion entstehen.

Scope 2 und 3 beschreiben indirekte Emissionen, welche physikalisch außerhalb der Unternehmensgrenzen entstehen, aber durch eine Unternehmensaktivität bedingt sind (Ebd.).

Unter Scope 2 werden alle Emissionen bilanziert, die durch die Erzeugung von bezogener Energie entstehen (Ebd.). Dies ist in den meisten Fällen Elektrizität, kann aber auch Wärme, Kälte oder anderes sein. Die Emissionen entstehen dabei im Normalfall physikalisch an der Stelle, an welcher der Strom etc. generiert wird. Beispielsweise werden durch die Verstromung von Kohle Emissionen frei, die zwar physikalisch im Kraftwerk entstehen, bilanziell aber einer Kilowattstunde Kohlestrom zugeordnet werden können.

Im Gegenteil zu den obligatorisch zu erfassenden Abgrenzungsbereichen Scope 1 und 2 ist die Bilanzierung von Scope 3-Emissionen fakultativ (Ebd.). In diesem Abgrenzungsbereich werden alle weiteren Emissionen bilanziert, die nicht unter Scope 1 und Scope 2 fallen. Dies sind zum Beispiel Emissionen, die durch den Pendelverkehr von Bediensteten entstehen und Emissionen, die in so genannten Vorketten von eingekauften Produkten und Materialien entstanden sind. Hierunter versteht man Emissionen, die in einer früheren Lebenszyklusphase eines Produkts entstanden sind [2.2.3].

3.1.3 Scope 1

Unter Scope 1 fallen Emissionen aus der unternehmenseigenen Erzeugung von Elektrizität, Wärme oder Dampf, flüchtige Emissionen aus Kälteanlagen sowie Emissionen, die bei der Verbrennung von Treibstoff im Fuhrpark entstehen (Ebd., S.27).

Die Fakultät BI produziert weder eigenen Strom, noch Wärme oder Dampf, sondern bezieht die Energie entweder von der HTWG oder von den Stadtwerken Konstanz. Dementsprechend fallen für die Erzeugung der genannten Energien keine direkten Emissionen für die Fakultät an.

An der Fakultät BI sind Kälteanlagen für Computerräume in Betrieb. Nach Angaben von Herrn Götz (Gebäudemanagement – HTWG) werden Kältemittel regelmäßig nachgefüllt, deren Nachfüllmenge jedoch nicht dokumentiert und somit auch nicht quantifiziert wird. Eine größere undichte Stelle war in den letzten Jahren nach Angaben von Herrn Götz nicht vorhanden. Nachfolgend werden Emissionen aus Kälteanlagen daher nicht weiter betrachtet.

Nach Angaben von Frau Stein (HTWG) besteht der Fuhrpark der Fakultät BI aus einem VW Bus, dessen Emissionen aus der Verbrennung von Treibstoff unter Scope 1 bilanziert werden.

Unter Scope 1 werden auch Emissionen bilanziert, die durch physikalische oder chemische Verarbeitung von Materialien entstehen (WRI und WBCSD 2004, S.27). Zwar wird im Baustofflabor unter anderem mit Zement experimentiert, doch sind die Mengen so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Hierfür stehen ebenfalls keine Daten zur Verfügung.

3.1.4 Scope 2

Unter Scope 2 werden diejenigen Emissionen bilanziert, die durch die Erzeugung von bezogener Energie entstehen. Für viele Unternehmen bietet Scope 2 die größte Gelegenheit Emissionen einzusparen (Ebd.). Die Fakultät BI bezieht für ihre Räumlichkeiten Wärme und Strom.

Die von der Fakultät BI mitgenutzten Gebäude C und G werden von der HTWG mit Wärme und Strom versorgt. Die gesamte Wärme wird auf dem Campus selbst erzeugt. Strom wird für den Campus teilweise selbst erzeugt und zusätzlich von den Stadtwerken Konstanz bezogen.

Das Gebäude U ist nicht an das Hochschulnetz angebunden und bezieht daher Wärme und Strom von externer Quelle. Wärme wird hier vom Vermieter des Gebäudes bereitgestellt, Strom von den Stadtwerken Konstanz bezogen. In Scope 2 gehören demnach gemäß Abb. 7 Emissionen für die Erzeugung von Wärme und Strom für die genutzten Gebäude auf dem Campus sowie für das Gebäude U, welches sich außerhalb des Campusgeländes befindet.

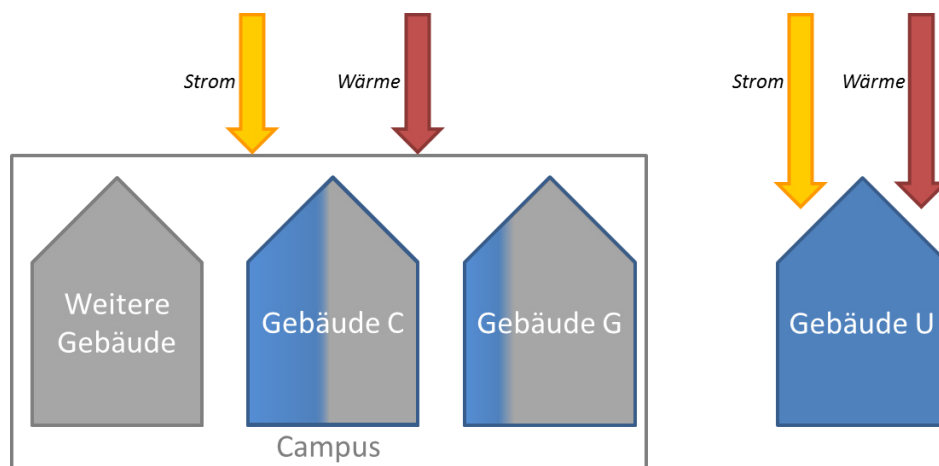


Abb. 7: Gebäudeenergiebezug der Fakultät BI

Eigene Darstellung

Durch Umspannprozesse und die Übertragung von Strom geht ein Teil des Stroms verloren. Ebenso werden Emissionen beim Aufbau und Betrieb der Elektrizitätsanlagen emittiert. Zum Beispiel entstehen Emissionen bei der Herstellung von Leitungen, Strommasten und Umspannwerken, oder es werden zum Betrieb klimaschädliche Schutzgase eingesetzt. Diese Emissionen werden im Folgenden als Emissionen aus Übertragungs- und Umspannverlusten bezeichnet. Unter Scope 2 werden keine Emissionen bilanziert, die durch Übertragungs- und Umspannverluste entstehen. Dies ist mit dem control approach zu erklären: Bevor bezogene Energie in das System eines Unter-

nehmens eintritt, hat das Unternehmen keine Kontrolle über die Aktivität (WRI und WBCSD 2004, S.27). Diese Herangehensweise verhindert die doppelte Zählung von Emissionen in Scope 2 von verschiedenen Unternehmen, da der Netzbetreiber bereits Emissionen für Übertragungs- und Verteilungsverluste in Scope 2 bilanziert (Ebd.). Ein Unternehmen kann diese Emissionen in Scope 3 bilanzieren (Ebd., S.28).

3.1.5 Scope 3

Unter Scope 3 werden Emissionen aller weiteren Aktivitäten bilanziert, die nicht unter Scope 1 oder Scope 2 fallen. Dabei ist es ausreichend, sich auf Aktivitäten zu beschränken, die für ein Unternehmen relevant sind und/oder für die verlässliche Informationen bestehen (Ebd., S.29). Dies betrifft vor allem Aktivitäten, deren Emissionen im Vergleich zu den Emissionen in Scope 1 und Scope 2 besonders groß sind und/oder wenn bei ihnen ein großes Einsparungspotential vermutet wird (Ebd., S.30). So lange die Vorgehensweise transparent ist, können Emissionen unter Scope 3 auch geschätzt werden (Ebd., S.31).

Für die Fakultät BI werden unter Scope 3 Emissionen für Übertragungs- und Umspannverluste von Strom, Vorkettenemissionen von Brennstoffen für die Wärmeerzeugung und Vorkettenemissionen des im Fuhrpark verwendeten Treibstoffs bilanziert. Ebenso werden Emissionen für Pendelverkehr, Mensa-Mahlzeiten und Papierverbrauch von Fakultätsangehörigen bilanziert.

Es wird vermutet, dass Emissionen des Pendelverkehrs ein erheblicher Bestandteil einer CO₂-Bilanz sind. Sie werden für jeden Studiengang, für Mitarbeiter und Professoren separat bilanziert.

In der Bilanz werden mit dem *control approach* ausschließlich Emissionen von Mahlzeiten bilanziert, die in der Mensa konsumiert werden. Grund dafür ist, dass der Einfluss der Fakultät BI und der HTWG auf die Mensa als deutlich größer vermutet wird als auf umliegende Restaurants, Imbissbuden oder Bäcker. Zum einen wird die Mensa, welche nicht von der Hochschule, sondern vom Studierendenwerk Seezeit betrieben wird, zum Teil durch den Studierendenbeitrag finanziert (Seezeit Studierendenwerk Bodensee 2016, o.S.). Zum anderen essen kaum Personen in der Mensa, die nicht der Hochschule zugehörig sind. Um sich den Einfluss bewusst zu machen, muss man sich überlegen, was passiert, wenn alle Hochschulangehörigen der Mensa fern bleiben würden. Anders als umliegende Restaurants könnte die Mensa nicht weiter fortbestehen.

Emissionen durch den Verbrauch von Papier entstehen scheinen nach Tabelle 3 in Kapitel 2.2.5 einen verschwindend geringen Teil der Emissionen auszumachen. Sie werden trotzdem bilanziert, da sie gut mit anderen Hochschulen verglichen werden können.

Emissionen für Dienstreisen, Exkursionen und studentische Auslandsaufenthalte, wie sie zum Beispiel an der Universität St. Gallen bilanziert wurden (Universität St. Gallen 2012, S.2), werden aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht bilanziert, obwohl sie vermutlich relevant wären. Weitere Aktivitäten, deren Bilanzierung relevant sein könn-

te, sind Emissionen für die Verwertung von Abfall und die Aufbereitung von Abwasser. Sie werden in dieser Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet.

Da Unternehmen selbst entscheiden können, welche Aktivitäten unter Scope 3 bilanziert werden, sind Gesamtemissionen aus Scope 3 nur zum Teil für Vergleiche geeignet (WRI und WBCSD 2004, S.29). Der Vergleich von Emissionen einzelner Aktivitäten erscheint als die bessere Wahl.

Abb. 8 bietet einen zusammenfassenden Überblick über die Aktivitäten, deren CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen bilanziert werden.

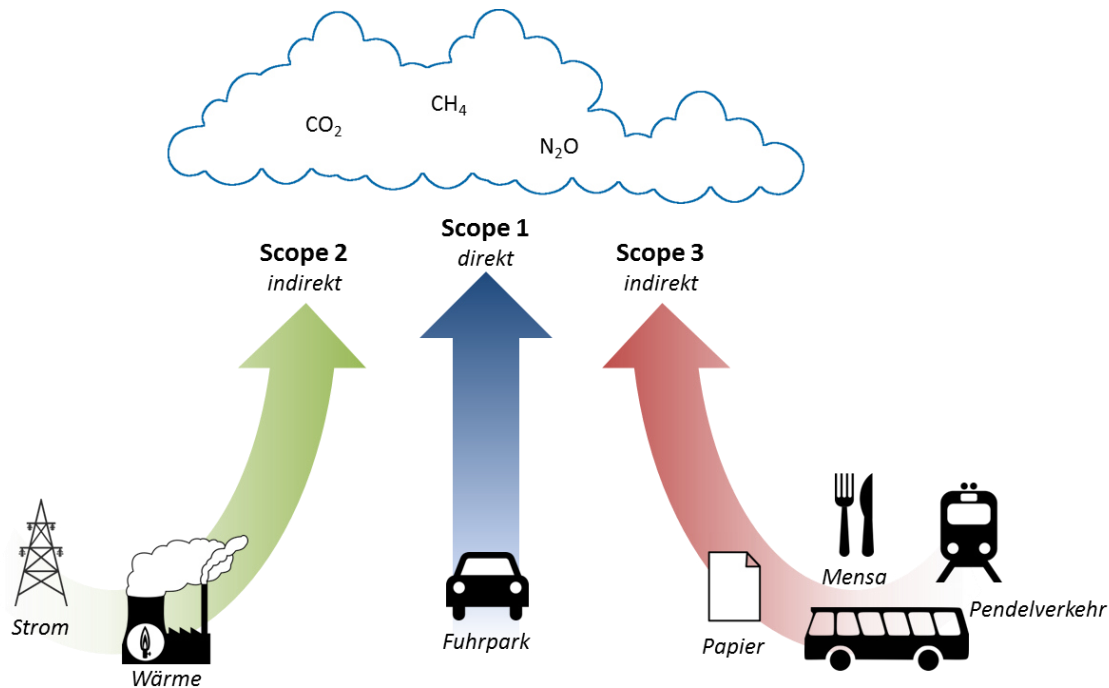


Abb. 8: Scope 1 bis 3 der Fakultät BI mit bilanzierten Aktivitäten

Eigene Darstellung, in Anlehnung an WRI und WBCSD 2004, S.26

3.2 Berechnungsmethode der Emissionen

Das *GHG Protocol* schlägt vor, Emissionen der zu bilanzierenden Aktivitäten direkt zu messen. Da dies in den meisten Fällen unmöglich ist, können Emissionen über Verbräuche berechnet oder im Ausnahmefall geschätzt werden (Ebd., S.42). Da es nicht möglich ist, die Emissionen der im vorherigen Kapitel identifizierten Aktivitäten zu messen, beruht die Quantifizierung der Emissionen auf folgender Berechnungsmethode, welche im Zusammenhang mit dem *GHG Protocol* am meisten (Ebd.) angewendet wird:

Der Verbrauch (VB) einer Aktivität wird mit dem entsprechenden Emissionsfaktor (EF) multipliziert und damit die Masse der CO₂e-Emissionen (m_{CO_2e}) einer Aktivität berechnet. Die Emissionen der Aktivität werden anschließend addiert, um je eine Summe für Scope 1 bis 3 sowie ein Ergebnis für die potentiellen Klimaauswirkungen der gesamten Fakultät BI zu erhalten.

$$\sum_{i=1}^n VB_i * EF_i = m_{CO_2e}$$

Bei den zu ermittelnden Verbräuchen ist darauf zu achten, dass der zeitliche Rahmen mit den Systemgrenzen übereinstimmt und die Verbräuche die jeweiligen Aktivitäten repräsentieren. Ebenso muss darauf Wert gelegt werden, dass die Einheit der Verbräuche zu den Einheiten der ausgewählten Emissionsfaktoren passt und umgekehrt.

Der Ermittlung der passenden Emissionsfaktoren sollte besondere Beachtung geschenkt werden, da diese die zu berechnende Masse der Emissionen stark beeinflussen. Es gibt verschiedene Wege, Emissionsfaktoren für einen Verbrauch zu ermitteln. Für manche Produkte werden Emissionsfaktoren vom Hersteller oder Erzeuger eines Produktes angegeben. Eine große Anzahl an Emissionsfaktoren ist in Datenbanken zu finden, die im nachfolgenden Kapitel näher beschrieben werden. Eine weitere Möglichkeit bietet die eigenständige Berechnung eines Emissionsfaktors.

Falls keine der genannten Möglichkeiten zu einem gewünschten Emissionsfaktor führt, hilft es manchmal, den erfassten Verbrauch in eine andere Einheit umzurechnen, falls für die Umrechnungseinheit bereits ein Emissionsfaktor besteht.

Das *GHG Protocol* gibt vor, dass spezifische Emissionsfaktoren allgemeinen Emissionsfaktoren, wie sie zum Beispiel in Datenbanken zu finden sind, vorgezogen werden sollen (Ebd.). Beispielsweise sollte der Emissionsfaktor für das spezifisch verwendete Papier (falls bekannt) einem allgemeinen Emissionsfaktor aus einer Datenbank vorgezogen werden.

Bei der Anwendung von Emissionsfaktoren muss darauf geachtet werden, welche Vorsetzungen und Aktivitäten in einem Emissionsfaktor enthalten sind, um Emissionen den richtigen Scopes zuordnen zu können. Emissionen für die Bereitstellung von Brennstoff werden zum Beispiel in Scope 3 bilanziert, wohingegen Emissionen die bei der Verbrennung von Brennstoff zur Wärmeerzeugung entstehen in Scope 2 bilanziert werden. Beide Emissionsfaktoren können auf eine Wärmeeinheit bezogen sein.

Des Weiteren muss die funktionelle Einheit eines Emissionsfaktors mit der Einheit des zugehörigen Verbrauchs übereinstimmen. Dies ist besonders bei unterschiedlichen Energieeinheiten eine häufige Fehlerquelle.

Auch muss überprüft werden, ob der Emissionsfaktor ausschließlich CO₂-Emissionen bilanziert, ob weitere und welche Treibhausgasemissionen enthalten sind und ob die Emissionen in CO₂-Äquivalenten angegeben werden.

Die in der CO₂-Bilanz der Fakultät BI angewendeten Emissionsfaktoren sind in Kapitel 5 detailliert beschrieben.

3.3 Datenbanken für Emissionsfaktoren

Wie im vorherigen Kapitel erwähnt, ist eine große Anzahl von Emissionsfaktoren in Datenbanken eingetragen. Zur Bilanzierung von CO₂-Emissionen ist es heutzutage Praxis, nicht jeden Emissionsfaktor selbst zu bestimmen, sondern auf allgemeine Daten in Umwelt- bzw. Sachbilanzdatenbanken zurück zu greifen. In digitalen Bibliotheken sind hier vereinheitlichte Lebenszyklusdaten eingetragen, die den Aufwand der Suche nach

passenden Emissionsfaktoren für zu untersuchende Prozesse oder Produkte erheblich verringern.

Obwohl die meisten dieser Datenbanken kostenpflichtig sind, gibt es gute kostenfreie Alternativen, von denen hier zwei zur Anwendung kommen. In der ProBas-Datenbank werden „der interessierten Öffentlichkeit“ (UBA und IINAS 2016, o.S.) Umweltdaten in einer Web-Applikation zugänglich gemacht. Die GEMIS-Datenbank, deren Daten zum Großteil ebenfalls in der ProBas-Datenbank zu finden sind, ist für den fortgeschrittenen Nutzer, da hier ganze Systeme aus einzelnen Produkten und Prozessen modelliert werden können.

3.3.1 ProBas-Datenbank

Die ProBas-Datenbank (Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente) wird vom Umweltbundesamt (UBA) in Verbindung mit dem Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS) zur Verfügung gestellt (Ebd.). ProBas stellt keine eigenen Daten zur Verfügung, sondern kombiniert mehrere externe Datenquellen zu einer großen Datenbank (Fritsche 2005, S.225). Sie ist dabei eine der am längsten kontinuierlich bestehenden Datenbanken im deutschsprachigen Raum (Juric 2009, S.225).

Der Vorteil der ProBas-Datenbank im Vergleich zu vielen anderen Datenbanken ist die Nutzerfreundlichkeit, da die Daten in einem Webportal ohne zusätzliche Software gesucht werden können. Die Datenbank beinhaltet über 8.000 Produkte und Prozesse (UBA und IINAS 2016, o.S.). Für die vorliegende Arbeit ist dabei interessant, welche CO₂-Äquivalente für die Herstellung bzw. Erzeugung eines Produkts emittiert werden.

Die Datenbank wurde 2015 aktualisiert und dabei die Daten der GEMIS-Datenbank mit der aktuellen Version 4.9 eingetragen (UBA und IINAS 2015, o.S.). Weitere Institutionen, auf deren Daten die ProBas-Datenbank zugreift, sind zum Beispiel das BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) sowie das IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung). Emissionsfaktoren aus der ProBas-Datenbank werden in dieser Arbeit verwendet, sofern keine spezifischen Emissionsfaktoren vorhanden sind.

3.3.2 GEMIS-Datenbank

Die GEMIS-Datenbank (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme) wird vom IINAS zur Verfügung gestellt und ist auch ohne den Zugriff über die ProBas-Datenbank frei zugänglich. Seit der ersten Version der Datenbank, welche bereits 1989 entstand, wurde die Datenbank kontinuierlich weiterentwickelt, ausgebaut und verbessert. Sie wird mittlerweile in über 30 Ländern bei Lebenszyklusanalysen verwendet (IINAS 2016a, o.S.).

Die GEMIS-Datenbank wird hier aus zwei Gründen gesondert aufgeführt. Neben der enormen Bedeutung für die ProBas-Datenbank, werden manche Datensätze in der GEMIS-Datenbank genauer dargestellt als in der ProBas-Datenbank.

Neben der Datenbank steht GEMIS auch für ein Bilanzierungsmodell für Energie und Stoffströme (IINAS 2016b, o.S.). Mit diesem ist es möglich, Produkte und Prozesse miteinander zu verbinden, um damit eigene Produktsysteme zu modellieren. Damit lassen sich zum Beispiel kumulierte Energieaufwände, Emissionen, sowie Materialaufwände und teilweise Kosten des Systems berechnen (Ebd.).

Daten der GEMIS-Datenbank finden in dieser Arbeit nur in Ausnahmefällen Anwendung, falls in der ProBas-Datenbank keine passenden Emissionsfaktoren gefunden werden können. Das Bilanzierungsmodell findet keine Anwendung.

3.4 Allokation von BHKW-Emissionen

Ein Teil der Wärme und des Stroms der Campus-Gebäude wird an der HTWG mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugt. Um die Emissionen der Fakultät BI für Wärme und Strom zu bilanzieren, müssen Emissionen, die bei der Verbrennung des Brennstoffs im BHKW entstehen, den simultan erzeugten Energieströmen Wärme und Strom zugeordnet werden. Dabei spricht man von einer Allokation der Emissionen. Dazu werden von der *GHG Protocol Initiative* mehrere Methoden zur Verfügung gestellt, mit denen Emissionsfaktoren für die beiden Energieströme Wärme und Strom aus den Emissionen des Brennstoffs berechnet werden.

In dieser Arbeit wird die *Efficiency Method* (WRI und WBCSD 2006, S.4) angewendet, die anhand der spezifischen technischen Kennwerte eines BHKW Emissionsfaktoren entwickelt. Die *GHG Protocol Initiative* benennt sie als eine der drei häufigsten verwendeten Methoden (Ebd.). Sie wird empfohlen, falls keine andere vertragliche Vereinbarung über die Zuweisung der Emissionen besteht, um eine möglichst einheitliche Methode bei verschiedenen Unternehmen sicher zu stellen (Ebd., S.6).

Nach der *Efficiency Method* werden die Emissionen des Brennstoffs anhand der Effizienz von Vergleichsprozessen aufgeteilt (Ebd., S.5). Die Effizienz wird als Verhältnis von erzeugter Wärme oder Strom pro Energie-Input als thermischer Wirkungsgrad η_{th} und elektrischer Wirkungsgrad η_{el} angegeben.

Zur Allokation der Emissionen sind nach der *Efficiency Method* folgende Schritte (Ebd., S.6f.) durchzuführen:

1. Bestimmung der gesamten Emissionen für die Verbrennung des Brennstoffs (Energie-Input)
2. Bestimmung der Output-Energiemengen Wärme und Strom
3. Schätzen der Wirkungsgrade für die Erzeugung von Wärme und Strom aus Vergleichsprozessen
4. Allokation der gesamten direkten Emissionen auf die Output-Energiemengen Wärme und Strom. Dafür werden folgende Formeln verwendet:

$$E_H = \frac{H/\eta_{th}}{H/\eta_{th} + P/\eta_{el}} * E_T \qquad E_P = E_T - E_H$$

E_H = Emissionen zugeordnet zu Wärmeproduktion
 H = Wärme-Output (Energie)
 P = Strom-Output (Energie)
 η_{th} = Thermischer Wirkungsgrad

| | |
|-------------|--|
| η_{el} | = Elektrischer Wirkungsgrad |
| E_T | = Gesamte Emissionen des BHKW |
| E_P | = Emissionen zugeordnet zu Stromproduktion |

5. Berechnung der Emissionsfaktoren für Wärme und Strom

$$\text{W\u00e4rme: } EF_H = \frac{E_H}{H}$$

$$\text{Strom: } EF_P = \frac{E_P}{P}$$

EF_H = Emissionsfaktor W\u00e4rme

EF_P = Emissionsfaktor Strom

Die Ermittlung der Emissionsfaktoren f\u00fcr W\u00e4rme und Strom des BHKW erfolgt in Kapitel 5.1.3.

3.5 Methodik der Umfrage

Um Emissionen der Aktivit\u00e4ten Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten zu bilanzieren, wurde eine Umfrage bei Studenten, Mitarbeitern und Professoren durchgef\u00fchrt. F\u00fcr ein besseres Verst\u00e4ndnis werden zuerst die Begriffe Stichprobe und Grundgesamtheit erl\u00e4utert [3.5.1]. Anschließend wird das Auswahlverfahren der Stichprobe [3.5.2] und die Methode der Datenerhebung erl\u00e4utert [3.5.3]. Danach wird die Datenaufbereitung erkl\u00e4rt [3.5.4]. Zum Schluss wird im Kapitel der Datenanalyse erkl\u00e4rt, mit welchen statistischen Mitteln von Daten aus der Umfrage auf die jeweiligen Emissionen einer Aktivit\u00e4t geschlossen wird [3.5.5].

3.5.1 Begriffskl\u00e4rung

In der Statistik werden zwei Mengen von Beobachtungseinheiten (Elementen) unterschieden (Schuster und Liesen 2014, S.33). Die Grundgesamtheit beschreibt die Menge aller prinzipiell interessierenden Beobachtungseinheiten (Ebd.). Werden alle Elemente dieser Menge in einer Umfrage befragt, spricht man von einer Vollerhebung (Schumann 2006, S.82). Eine Vollerhebung ist nur in den seltensten F\u00e4llen m\u00f6glich, so dass normalerweise versucht wird, mittels einer Teilerhebung auf die Grundgesamtheit zu schließen. Eine Teilerhebung wird Stichprobe genannt, wenn bei der Auswahl der befragten Personen der Zufall eine wesentliche Rolle spielt (Schira 2009, S.425).

Bei einer Stichprobe handelt es sich um eine reine Zufallsauswahl, wenn „jedes Element der Grundgesamtheit grunds\u00e4tzlich die gleiche Chance [hat], in die Zufallsstichprobe zu gelangen" (Ebd.). Basiert eine Stichprobe nicht auf einer Zufallsauswahl wird sie Willk\u00fcrliche Auswahl (Schnell et al. 2011, S.294) oder auch *convenience sample* genannt (Ebd., S.291). Nur mit einer Zufallsauswahl kann von einer Stichprobe durch statistische Verfahren auf eine Grundgesamtheit geschlossen werden.

Zur besseren Analyse der Umfrageergebnisse und zur Hochrechnung von der Stichprobe auf die jeweilige Grundgesamtheit wurden die Gruppen der Studenten, Mitarbeiter und Professoren in weitere Untergruppen unterteilt. Die Gruppe der Studenten wurde in

die einzelnen Studiengänge unterteilt, die Gruppen der Mitarbeiter und Professoren jeweils in Geschlechtergruppen. Jede Untergruppe stellt eine Grundgesamtheit, grafisch dargestellt in Abb. 9, dar. Durch die Unterteilung in Untergruppen werden neben einer besseren Analysemöglichkeit auch genauere Emissionswerte für Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten erwartet.

Die Unterteilung in Studiengänge wurde gewählt, da die Anzahl der Studenten eines Studiengangs bekannt war. Die Anzahl der männlichen und weiblichen Studenten konnte aus Datenschutzgründen nicht ermittelt werden, so dass eine Hochrechnung über das Geschlecht nicht möglich war. Mitarbeitern und Professoren war die Anzahl der männlichen und weiblichen Kollegen bekannt, so dass damit eine Hochrechnung durchgeführt werden konnte.

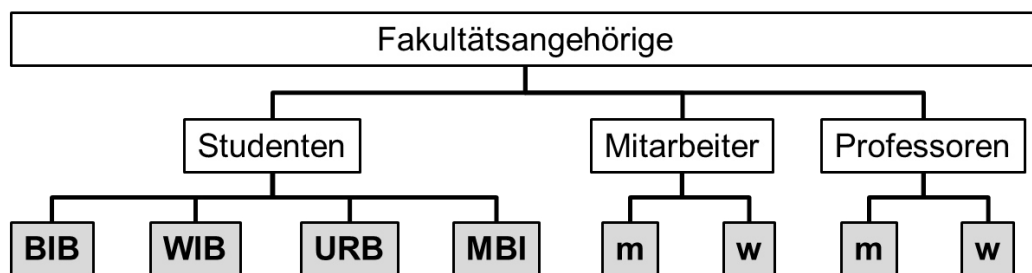


Abb. 9: Grundgesamtheiten der Umfrage (grau hinterlegt)

Eigene Darstellung

3.5.2 Auswahlverfahren der Stichprobe

Schnell erklärt (2011, S.370), dass vor der Auswahl der Stichprobe für die definierte Grundgesamtheit eine vollständige Liste der Elemente der Grundgesamtheit zur Verfügung stehen muss. Eine solche Liste konnte aus organisatorischen- und Datenschutzgründen für die Grundgesamtheit der Studenten nicht erstellt werden, so dass bei der Auswahl nicht von einer Zufallsstichprobe gesprochen werden kann.

Zwar hätte eine solche Liste über Professoren und Mitarbeiter erstellt werden können, doch wurde aufgrund der geringen Anzahl der Elemente in den Grundgesamtheiten der Mitarbeiter und Professoren darauf verzichtet. Wäre eine Zufallsauswahl der Professoren und Mitarbeiter erstellt worden, hätte nicht sichergestellt werden können, dass die ausgewählten Elemente auch an der Umfrage teilnehmen. Daher wurde auf eine Zufallsauswahl auch für diese Grundgesamtheiten verzichtet, um von möglichst vielen Befragten eine Beantwortung der Umfrage zu erhalten.

Um trotzdem eine statistische Auswertung der Emissionen von Studenten, Professoren und Mitarbeitern bezüglich Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten durchführen zu können, wurde eine hypothetische Zufallsstichprobe angenommen und die Auswahl der Befragten mit dem größtmöglichen Zufall vorgenommen. Dazu wurde eine *Web-Survey* konstruiert, deren URL an jedes Element der Grundgesamtheit per E-Mail gesandt wurde. Jeder Student der Fakultät BI bekam am selben Tag dieselbe E-Mail mit demselben Inhalt. Selbiges gilt für die Grundgesamtheiten der Professoren und die der Mitarbeiter.

Die Annahme der reinen Zufallsauswahl hat den Vorteil, dass sie durch ein Urnenmodell vollständig beschrieben werden kann (Schira 2009, S.425). Eine Urne enthält dabei genauso viele Kugeln N , wie sich Personen in der Grundgesamtheit befinden. Jede einzelne dieser Kugeln ist dabei genau einer Person zugeordnet. Die Urne wird durchmischt und nacheinander Kugeln daraus gezogen. Die Menge der gezogenen Kugeln n entspricht dabei den befragten Personen in der Stichprobe. Nachdem eine Kugel gezogen und notiert wurde, gibt es zwei Möglichkeiten fortzufahren. Entweder wird die Kugel zurück in die Urne gelegt. Dann spricht vom Modell *mit Zurücklegen* (Ebd.), oder man legt sie auf die Seite. Dies entspricht dem Modell *ohne Zurücklegen* (Ebd.). Der Unterschied beim Modell ohne Zurücklegen ist, dass nachdem eine Kugel zur Seite gelegt worden ist, sich die Chance der anderen Kugeln, in die Stichprobe mitaufgenommen zu werden, verändert.

In der vorliegenden Arbeit wird das Modell Ziehen ohne Zurücklegen verwendet, da Befragte nur einmal an der Umfrage teilnehmen konnten. Verglichen mit dem Urnenmodell bedeutet dies, dass die Kugel, die für den Befragten steht, nach dem Ziehen nicht mehr in die Urne zurückgelegt wurde.

3.5.3 Datenerhebung

Wie beschrieben wurde eine WebSurvey und damit eine internetgestützte Befragung durchgeführt. Als Vorteile dieser Art der Befragung können nach Schnell (2011, S.369) genannt werden:

- Eine große Zeitersparnis, da kein Interviewer benötigt wird.
- Die Umfrage ist bei vielen Personen gleichzeitig durchführbar, wodurch deutlich mehr Personen in einer kürzeren Zeit befragt werden können als bei einer persönlichen Befragung.
- Die erhobenen Daten sind bereits digitalisiert und müssen nicht mehr aufwändig aufbereitet werden. (Die Datenaufbereitung fällt dadurch jedoch nicht vollständig weg.)
- Die Kosten für die Umfrage sind sehr gering.

Eine Web-Survey ist ein Online-Fragebogen, der auf einem Webserver ausgefüllt wird (Ebd., S.374). Als Tool wurde für die Umfrage die Website <http://www.umfrageonline.com> verwendet, die für Studenten in einer nahezu kompletten Vollversion gratis zur Verfügung steht. Mittels des Tools wurde die Möglichkeit, dass eine Person mehrmals an der Befragung teilnehmen kann, dadurch ausgeschlossen, dass jede IP-Adresse nur einmal an der Befragung teilnehmen konnte.

Beim Design der Umfrage wurde darauf geachtet, die Empfehlungen der *Total Design Method* (Ebd., S.375) anzuwenden. Die Methode beruht darauf, eine Umfrage so zu gestalten, dass Befragte einen hohen Nutzen sehen, an der Befragung teilzunehmen. Dazu sind die subjektiven Kosten entsprechend zu verringern (Ebd.). Es wurde darauf geachtet, einheitliche Farben zu verwenden und Instruktionen nicht als Block am Anfang der Umfrage, sondern an der passenden Position erscheinen zu lassen. Des Weiteren wur-

den umfangreiche Pretests bei Kommilitonen durchgeführt, um das Design weiter zu verbessern. Außerdem wurde sichergestellt, dass die Umfrage auf verschiedenen Betriebssystemen in verschiedenen Browsern, sowie auf verschiedenen Smartphone-Betriebssystemen funktionierte, um die Möglichkeiten zur Beantwortung der Umfrage zu erhöhen. Der Begrüßungsbildschirm wurde so gestaltet, dass er die nötigen Informationen über die durchführende Person und den erhofften Nutzen der Umfrage enthält und die Befragten zur Teilnahme motiviert (Ebd.). Der Fragebogen befindet sich im Anhang [Seite XXVff.].

3.5.4 Datenaufbereitung

Die erhobenen Daten der Umfrage wurden für eine Analyse aufbereitet. Da die Daten aufgrund der Umfragemethode einer WebSurvey digital vorlagen, konnten sie problemlos in eine Excel-Datei übertragen werden. In der Aufbereitung wurden Fragebögen, die nicht vollständig ausgefüllt wurden oder deren ausgefüllte Werte als eindeutig falsch interpretiert wurden, entfernt. Es kam dabei vor, dass Personen den ersten Teil der Umfrage ausfüllten und dann die Umfrage abbrachen. Daher kann die Stichprobengröße zwischen den Aktivitäten innerhalb einer Umfragegruppe variieren. Tabelle 4 enthält eine Übersicht über die Anzahl der befragten Personen pro Grundgesamtheit und die Anzahl der auswertbaren Fragebögen pro Aktivität, welche der jeweiligen Stichprobe n entspricht. Zusätzlich ist die Anzahl der Elemente N in der jeweiligen Grundgesamtheit aufgeführt.

Tabelle 4: Stichproben und Grundgesamtheiten

| | Student | | | | Mitarbeiter | | Professor | |
|--------------------------|---------|-----|-----|-----|-------------|---|-----------|---|
| | URB | BIB | WIB | MBI | m | w | m | w |
| befragte Personen | 60 | 35 | 19 | 25 | 9 | 6 | 10 | 6 |
| Ausgewertete Fragebögen | | | | | | | | |
| Pendelverkehr (n) | 58 | 34 | 17 | 24 | 4 | 5 | 9 | 3 |
| Papierverbrauch (n) | 57 | 34 | 17 | 23 | 3 | 5 | 9 | 3 |
| Mensa-Mahlzeiten (n) | 57 | 34 | 17 | 23 | 3 | 5 | 9 | 3 |
| Grundgesamtheit (N) | 102 | 215 | 102 | 80 | 5 | 8 | 17 | 3 |

Eigene Darstellung

Aus den auswertbaren Fragebögen wurden die jeweiligen Verbräuche für Pendelverkehr [4.5], Papier [4.6] und Mensa-Mahlzeiten [4.7] ermittelt und mit den passenden Emissionsfaktoren [5] und die jeweiligen Emissionen [7] berechnet. Die ermittelten Daten wurden anschließend statistisch analysiert.

3.5.5 Datenanalyse

Mit der Umfrage konnten Emissionsdaten für jede befragte Person ausgewertet werden. Einzelne Emissionswerte in einer Tabelle sind jedoch wenig aussagekräftig, so dass diese Daten anhand der beschreibenden und schließenden Statistik ausgewertet werden. Im Folgenden wird die Methode der Datenanalyse beschrieben, welche geeignet ist, von der Beschreibung der Stichproben auf die Grundgesamtheiten zu schließen.

Beschreibende Statistik

Mit Maßzahlen (auch: Kennzahlen) lassen sich Informationen über Stichproben in charakteristischen Werten auszudrücken. Sie werden eingesetzt um Datensätze zu charakterisieren und mehrere Datensätze miteinander zu vergleichen. Eine Maßzahl alleine birgt die Gefahr der Fehlinterpretation, so dass in der Regel erst die Kombination mehrerer Maßzahlen Aussagen über eine Stichprobe zulässt (Eckey et al. 2002, S.41).

Maßzahlen können geeignet sein „die Lage der Verteilung der beobachteten Werte (Merkmalsausprägungen) im Merkmalsraum [...] zu kennzeichnen.“ (Schuster und Liesen 2014, S.34) Man spricht dann von Lagemaßen, von denen Folgende in der Auswertung Anwendung finden:

Arithmetisches Mittel: Das arithmetische Mittel \bar{x} (auch: Mittelwert) ist das am häufigsten verwendete Lokalisationsmaß um eine Verteilung zu beschreiben (Schira 2009, S.43). Es wird berechnet, in dem die Summe der betrachteten Werte eines Merkmals der Elemente 1 bis n durch ihre Anzahl dividiert wird.

$$\bar{x} := \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$$

Median: Der Median x_{Med} (auch: Zentralwert) gibt Auskunft über die Lage einer Verteilung (Ebd., S.45). Um den Median zu berechnen, müssen die zu untersuchenden Werte ihrer Größe nach sortiert werden. Der Median ist der mittlere Wert dieser Sortierung. Falls n gerade ist, wird der Median durch

$$x_{Med} = \frac{x_{n/2} + x_{n/2+1}}{2}$$

definiert. Ist n ungerade wird der Median oft mit

$$x_{Med} = \frac{1}{2} (x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1})$$

berechnet (Ebd.). Der Median stellt außerdem das 50%-Quantil dar. Dies bedeutet, dass 50% der Beobachtungswerte kleiner oder gleichgroß wie der Median und gleichzeitig 50% der Beobachtungswerte größer oder gleichgroß wie der Median sind (Ebd., S.59). Der Median kann Aufschluss darüber geben, ob eine Verteilung symmetrisch ist. Weicht sein Wert stark vom Mittelwert ab, ist davon auszugehen, dass die Verteilung um den Mittelwert nicht symmetrisch ist.

Erst mit dem Einsatz von Streuungsmaßen lassen sich Lagemaße sinnvoll interpretieren. Mit ihnen ist es möglich, eine Vorstellung über die Streuung der beobachteten Werte in einer Stichprobe zu erlangen (Lange und Bender 2007, e5). Von ihnen kommen folgende zur Anwendung:

Spannweite: Die Spannweite ist die Differenz zwischen maximalem und minimalem Wert der Verteilung (Schira 2009, S.51).

$$\text{Spannweite} := x_{max} - x_{min}$$

Sie gibt Auskunft darüber, wie weit maximaler und minimaler Wert einer untersuchten Stichprobe auseinander liegen, gibt jedoch keine Auskunft darüber, wie die Werte innerhalb dieser Grenzen verteilt sind.

Varianz: Die Varianz ist das Streuungsmaß, welches am häufigsten verwendet wird. Sie ist die mittlere quadratische Abweichung des Mittelwerts (Ebd., S.53):

$$s_x^2 := \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2$$

Standardabweichung: Die Standardabweichung wird berechnet, indem aus der Varianz die positive Quadratwurzel gezogen wird (Ebd., S.54):

$$s_x := + \sqrt{s_x^2}$$

Setzt man die Formel der Varianz ein, so erhält man die Formel

$$s_x := + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}.$$

Ein geringer Wert von Standardabweichung und Varianz sind ein Indiz für eine symmetrische Verteilung. Dies ist eine Voraussetzung, wenn mit folgenden Mitteln auf die Grundgesamtheit geschlossen werden soll.

Schließende Statistik

Um von einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu schließen, verwendet man Methoden der schließenden Statistik. Verschiedene Methoden haben unterschiedliche Vorteile. Im Folgenden wird die Punktschätzung beschrieben, die eine Grundlage der Intervallschätzung darstellt.

Punktschätzung: Die Punktschätzung ist die einfachste Methode, um auf die Grundgesamtheit zu schließen. Aus der Beschreibung der Stichprobe ist der Mittelwert \bar{x} der Stichprobe bekannt. Dieser sagt noch nichts über den Mittelwert μ der Grundgesamtheit aus, der gesucht wird, um eine Hochrechnung durchzuführen. Mittels der Stichprobe lässt sich ein Wert für μ schätzen. Der geschätzte Wert wird mit einem Dach (^) gekennzeichnet und heißt $\hat{\mu}$. Die Schätzformel lautet nach Schira (2009, S.426):

$$\hat{\mu} = \bar{x}.$$

Der geschätzte Mittelwert der Grundgesamtheit entspricht somit dem berechneten Mittelwert der Stichprobe. Da für die Schätzung ein einzelner Wert und kein Intervall angegeben wird, nennt man sie Punktschätzung. Bei einer Punktschätzung wird nicht angegeben mit welcher Wahrscheinlichkeit die Schätzung richtig ist (Ebd.).

Durch die beschreibende Statistik sind die Varianz s^2 und damit die Standardabweichung s der Stichprobe bekannt. Mit ihnen lassen sich Schätzwerte für die unbekannte Varianz σ^2 der Grundgesamtheit und damit der unbekanntenen Standardabweichung σ der

Grundgesamtheit angeben. Man würde vermuten, dass ein guter Schätzwert für die Varianz $\hat{\sigma}^2$ der Grundgesamtheit der Varianz s^2 für die Stichprobe entspricht:

$$\hat{\sigma}^2 = s^2$$

Dies ist jedoch nicht der Fall, da die Varianz σ^2 der Grundgesamtheit damit systematisch unterschätzt würde (Ebd., S.430). Eine bessere Schätzung ergibt die Formel

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{n}{n-1} s^2$$

für Stichproben, die mittels Ziehen mit Zurücklegen gewonnen werden (Ebd., S.431). Der Verzerrfaktor $(n-1)/n$ „rührt daher, dass für die Berechnung von s^2 die Abweichungen von dem aus derselben Stichprobe berechneten *Mittelwert* verwendet wird“ (Ebd.).

Wird die Stichprobe ohne Zurücklegen gewonnen, kommt zusätzlich der Verzerrfaktor $(N-1)/N$ hinzu. Dieser rührt daher, dass „nachdem ein Element einer endlichen Grundgesamtheit in die Stichprobe gezogen wurde, [...] die übrigen grundsätzlich eine veränderte Chance [haben], anschließend gezogen zu werden“ (Ebd., S.432). Mit dem Verzerrfaktor ergibt sich die Schätzformel

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{N-1}{N} \frac{n}{n-1} s^2$$

für Stichproben, die mit Zurücklegen gewonnen werden.

Zwar ist der Verzerrfaktor $(N-1)/N$ vernachlässigbar, wenn die Stichprobe mehr als 5% der Elemente der Grundgesamtheit umfasst, doch besteht kein Grund, sie nicht anzuwenden, wenn die Menge der Elemente der Grundgesamtheit bekannt ist. (Ebd., S.433f.) Aufgrund des ausgewählten Modells des Ziehens ohne Zurücklegen wird mit dieser Formel gerechnet.

Ein Nachteil der Punktschätzung ist, dass sie keine Auskunft darüber liefert, mit welcher Wahrscheinlichkeit sie richtig ist und somit welches Vertrauen in sie gelegt werden kann. Abhilfe schafft hier eine Intervallschätzung. Dabei wird ein Bereich für den gesuchten Mittelwert μ angegeben. Für diesen Bereich wird eine Wahrscheinlichkeit angegeben, für die man die Schätzung (in diesem Fall ein Intervall) für richtig hält. Mittels der Stichprobenverteilung wird dabei auf die Verteilung der Grundgesamtheit geschlossen. (Ebd., S.447)

Die Voraussetzung für die Intervallschätzung nach dem statistischen *Schluss von der Stichprobe auf die unbekannte Grundgesamtheit* ist eine annähernde Normalverteilung der Stichprobe (Ebd., S.453). Wie sich in der Auswertung der Datensätze der Umfrage zeigte, war die Abweichung jeglicher Stichprobenverteilung von einer Normalverteilung jedoch so groß, dass sie nicht vernachlässigt werden konnte. Am Beispiel der Emissionen für Pendelverkehr der Studenten wird dies im Folgenden anhand eines Histogramms gezeigt.

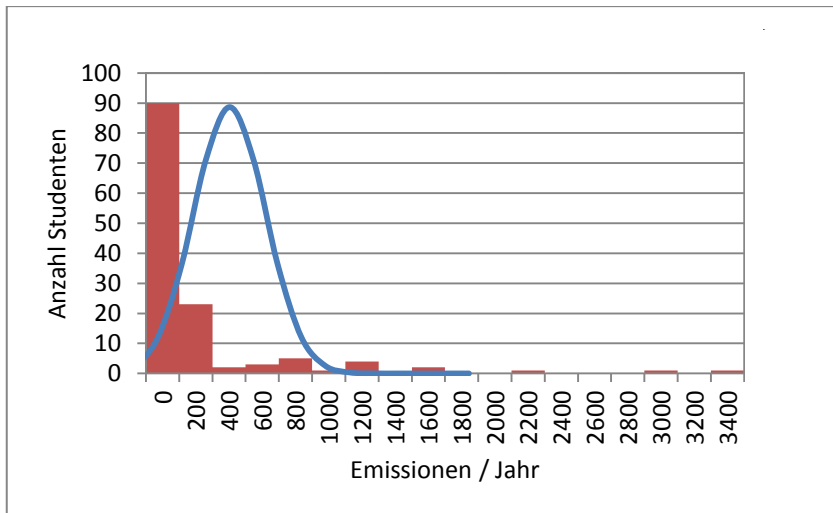


Abb. 10: Histogramm der studentischen Emissionswerte für Pendelverkehr

Quelle: Eigene Darstellung

In Abb. 10 ist die Anzahl aller befragten Studenten auf der y-Achse ersichtlich, deren Emissionswert (in kg CO₂e) im jeweiligen Intervall auf der x-Achse liegt. Zum Vergleich ist als Liniendiagramm die Standardnormalverteilung eingezeichnet. Wie im Histogramm ersichtlich, stimmen die beiden Verteilungen nicht überein. Ein Grund ist die große Anzahl an Null-Werten im ersten Intervall. Diese führen zu einer großen Streuung der Werte, wie im Anhang in der Auswertung der Stichproben [S.XXXVI] an den Streuungsmaßen erkennbar. Die durch die vielen Null-Werte bedingte große Standardabweichung führt zu einem sehr großen Konfidenzintervall, welches keine Aussagekraft besitzt. Selbst eine Transformation der Werte durch Logarithmierung oder Quadrierung der Ergebnisse, wie sie Leyer und Wesche (2007, S.38) vorschlagen, um Verteilungen einer Normalverteilung anzunähern, führt durch die vielen Null-Werte zu keiner Normalverteilung.

Der Schluss auf die Grundgesamtheit wird daher via Punktschätzung vollzogen wie sie oben beschrieben ist. Dazu werden die durchschnittlichen Emissionen eines Elementes der Stichprobe innerhalb einer Gruppe ermittelt. Anschließend wird damit der Mittelwert $\hat{\mu}$ der Grundgesamtheit geschätzt und mit der Anzahl N der Elemente innerhalb einer Gruppe multipliziert. Die Hochrechnung ergibt sich durch die Formel

$$m_{CO_2e} = \hat{\mu} * N.$$

Eine weitere Möglichkeit, anstatt mit dem Mittelwert mit dem Median via Punktschätzung auf die Grundgesamtheit zu schließen, scheidet aus, da der Median für die meisten Stichproben 0 ist. Bei einer Hochrechnung auf die Gesamtemissionen der Grundgesamtheit würde dies 0 kg CO₂e ergeben. Dieser Wert wird als nicht repräsentativ angesehen, da bei den mit der Umfrage errechneten Aktivitäten Emissionen > 0 entstehen und der Wert 0 kg CO₂e diese deutlich unterschätzen würde.

Zur Vollständigkeit wird die Intervallschätzung im Anhang ab Seite XLI beschrieben, sie findet jedoch in der vorliegenden Arbeit keine Anwendung.

4. Aktivitätsdaten

In diesem Kapitel werden die Aktivitätsdaten, beziehungsweise Verbräuche der zu bilanzierenden Aktivitäten ermittelt. Zuerst werden Gebäudeflächen [4.1] und Angehörige [4.2] der Fakultät BI ermittelt, die für weitere Berechnungen relevant sind. Dann werden die Gebäudeenergieverbräuche der Fakultät BI erläutert [4.3]. Anschließend wird der Treibstoffverbrauch des Fuhrparks ermittelt [4.4]. Zum Schluss werden die in einer Umfrage erfassten Distanzen des Pendelverkehrs [4.5], Papierverbräuche [4.6] und Anzahlen von Mensa-Mahlzeiten [4.7] ermittelt.

4.1 Gebäude/Räume

Um den Wärmeverbrauch sowie den Stromverbrauch der Fakultät BI zu berechnen, wird die von der Fakultät BI genutzte Fläche im jeweiligen Gebäude benötigt. Informationen hierzu wurden von Frau Hirschmann und Frau Böhm (Sekretariat Fakultät BI) in einem persönlichen Gespräch am 25.04.2016 zur Verfügung gestellt.

Ein Raum wird dann als von der Fakultät BI genutzt angesehen, wenn ein Großteil der darin abgehaltenen Veranstaltungen von der Fakultät BI organisiert ist. Dies ist zum Beispiel ein Büro von Professoren und Mitarbeitern oder ein Labor. Flächen von Fluren, Toiletten und Treppenhäusern werden dann als Fläche der Fakultät BI angesehen, wenn davon auszugehen ist, dass sie hauptsächlich von Fakultätsangehörigen genutzt werden. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn sich nur Räume der Fakultät auf einem Flur befinden.

Ist davon auszugehen, dass Flure, Toiletten und Treppenhäuser zu einem erheblichen Teil auch von Angehörigen anderer Fakultäten genutzt werden, wird ihre Fläche vereinfacht nur zur Hälfte berücksichtigt. Die Größen der Flächen sind in Plänen der Gebäude ersichtlich, welche von Herrn Schuhmacher (Gebäudemanagement - HTWG) am 25.04.2016 per E-Mail zur Verfügung gestellt wurden. Die Berechnung der Netto-Raumfläche erfolgte nach DIN 277. Eine stockwerksgenaue Aufteilung der Flächen befindet sich im Anhang unter Tabelle 36, S.XIII.

Im Gebäude C wird fast das gesamte Erdgeschoss von der Fakultät BI genutzt. Das erste Obergeschoss teilt sich die Fakultät mit dem Studienkolleg.

Im Gebäude G wird ausschließlich ein Flügel im Erdgeschoss sowie einige Kellerräume von der Fakultät BI genutzt. Hier befinden sich einige Büros von Professoren und Mitarbeitern sowie das Wasserbau- und Baustofflabor.

Das gesamte Erdgeschoss des U-Gebäudes ist von der Fakultät BI angemietet. Die anderen Stockwerke gehören weder zur Fakultät BI, noch zur HTWG. Somit wird der gesamte angemietete Teil von der Fakultät BI genutzt.

Tabelle 5: Genutzte Fläche der Fakultät BI

| Gebäude | Gesamtfläche | Fakultät BI (Fläche) | Fakultät BI (Anteil) |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| B | 624,4 m ² | 0 m ² | 0 % |
| C | 5608,8 m ² | 1641,1 m ² | 29,26 % |
| G | 9300,1 m ² | 846,3 m ² | 9,10 % |
| U | 534,6 m ² | 534,6 m ² | 100,00 % |
| Gesamt | | 3022,0 m ² | |
| C+B | 6233,2 m ² | 1641,1 m ² | 26,33 % |

Eigene Darstellung. (siehe Anhang: Tabelle 36, S.XIII)

4.2 Fakultätsangehörige

Die Anzahl der Studenten an der Fakultät BI wurden in einem persönlichen Gespräch am 25.04.2016 von Frau Hirschmann und Frau Böhm (Sekretariat BI) mitgeteilt. Es wurden dabei Daten für das Wintersemester 2015/2016 sowie für das Sommersemester 2016 mitgeteilt, da die Umfrage im Sommersemester 2016 stattfand. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der befragten Personen auch schon im Wintersemester 2015/2016 anwesend war, so dass die befragten Personen für das akademische Jahr 2015/2016 repräsentative Antworten geben konnten. Würde man Zahlen aus dem akademischen Jahr 2014/2015 verwenden, so würden die Antworten der befragten Personen damit nicht übereinstimmen. Die Anzahl der Professoren und Mitarbeiter an der Fakultät BI wurden auf der Homepage der Fakultät recherchiert und durch das Sekretariat verifiziert.

Aus Wintersemester 2015/2016 und Sommersemester 2016 wurde ein Mittelwert gebildet. Die für den Mittelwert verwendeten Angaben können im Anhang [Tabelle 37, S.XIV] nachgesehen werden.

Tabelle 6: Anzahl Fakultätsangehörige

| | Studenten | | | | | Professoren | Mitarbeiter |
|----------------|-----------|-----|-----|-----|--------|-------------|-------------|
| | BIB | WIB | URB | MBI | Gesamt | | |
| Immatrikuliert | 243 | 112 | 114 | 80 | 549 | 17 | 5 |
| Praxissemester | 28 | 10 | 12 | 0 | 50 | 3 | 8 |
| Anwesend | 215 | 102 | 102 | 80 | 499 | 20 | 13 |
| | | | | | | | |
| männlich | | | | | | | |
| weiblich | | | | | | | |
| Gesamt | | | | | | | |

Eigene Darstellung. (siehe Anhang: Tabelle 37, S.XIV)

Den größten Teil der Studenten stellt der Studiengang BIB mit 215 Personen. Den zweitgrößten Anteil haben die beiden anderen Bachelorstudiengänge WIB und URB mit jeweils 102 Personen vor dem Masterstudiengang MBI mit 80 Personen. Von insgesamt 20 Professoren sind 17 männlich, drei weiblich. Von insgesamt 13 Mitarbeitern sind fünf männlich, acht weiblich.

4.3 Gebäudeenergie

Unter Gebäudeenergie wird Energie verstanden, die im Zusammenhang mit Wärme und Strom steht. Die Versorgung der Gebäude C, G und U wird anhand von Abb. 11 nach Informationen von Herrn Götz (Gebäudemanagement HTWG) erläutert.

Die Gebäude auf dem Campus werden mit eigenerzeugter Wärme versorgt. Dazu bezieht die HTWG von den Stadtwerken Konstanz Erdgas, welches durch einen Verbrennungsprozess in zwei Kesseln und einem BHKW in Wärme umgewandelt wird. Neben Wärme wird im BHKW zusätzlich Strom erzeugt. Ein Teil des Stroms wird in den Campus-Gebäuden selbst verbraucht, ein anderer Teil wird verkauft. Zusätzlich bezieht die HTWG von den Stadtwerken Konstanz Ökostrom für die Gebäude auf dem Campus. Der von der hochschuleigenen Solaranlage erzeugte Strom wird komplett verkauft und somit in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Das Gebäude U befindet sich nicht auf dem Campus und wird daher auch nicht von der HTWG mit Wärme und Strom versorgt. Dieses Gebäude ist über das Land Baden-Württemberg angemietet. Die Wärme wird hier vom Vermieter des Gebäudes bezogen und wird nach Angaben von Herrn Thiers (Landesamt für Vermögen und Bau – Konstanz) ebenfalls in einem BHKW erzeugt. Der Strom wird ebenfalls von den Stadtwerken Konstanz bezogen und beinhaltet denselben Strommix wie der von den Campus-Gebäuden bezogene Strom der Stadtwerke Konstanz.

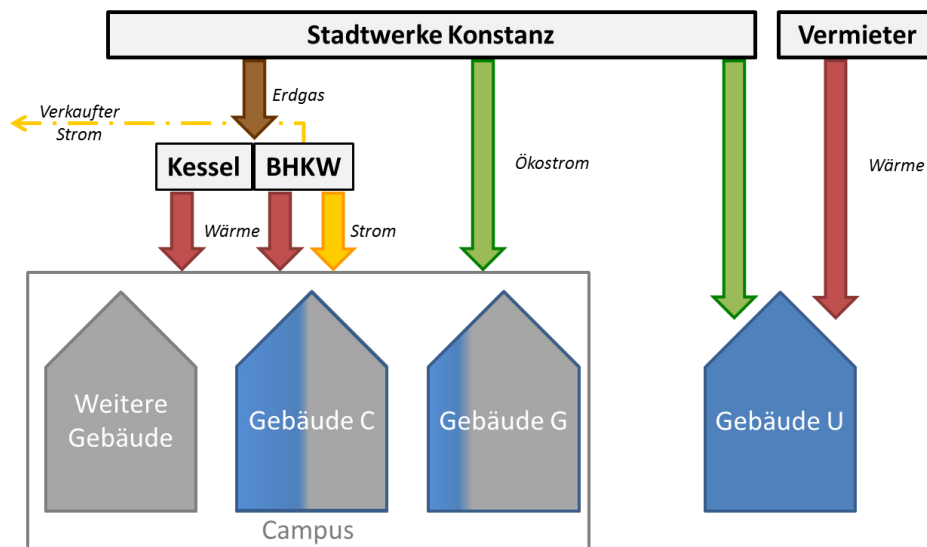


Abb. 11: Schematischer Gebäudeenergiebezug der Fakultät BI

Eigene Darstellung

In den nachfolgenden Kapiteln wird der Wärme- und Stromverbrauch der Fakultät BI in den Gebäuden C, G und U berechnet. Dazu werden zuerst die bezogenen Energiemengen für Erdgas und Strom für den Campus sowie Wärme und Strom für das U-Gebäude aufgeführt. Anschließend werden die im Kessel und BHKW erzeugten Energieströme Wärme und Strom ermittelt. Danach werden die jeweiligen Anteile der von Kessel und BHKW erzeugten Wärme und die Anteile der selbsterzeugten und eingekauften Strommenge berechnet. Im Anschluss werden die Energieverbräuche pro Gebäude berechnet, um nachfolgend anhand der von der Fakultät BI genutzten Fläche im jeweiligen Gebäude auf den Gebäudeenergieverbrauch der Fakultät BI zu schließen.

4.3.1 Bezogene Gebäudeenergie

In diesem Kapitel wird die Energiemenge berechnet, welche in Form von Erdgas und Ökostrom für die Campus-Gebäude bezogen wird, sowie die Energiemenge, welche in

Form von Wärme und Ökostrom für das U-Gebäude bezogen wird. Für das bezogene Erdgas wird zuerst das Bezugsvolumens und anhand der im Erdgas enthaltenen Energiemenge die damit bezogene Energiemenge berechnet.

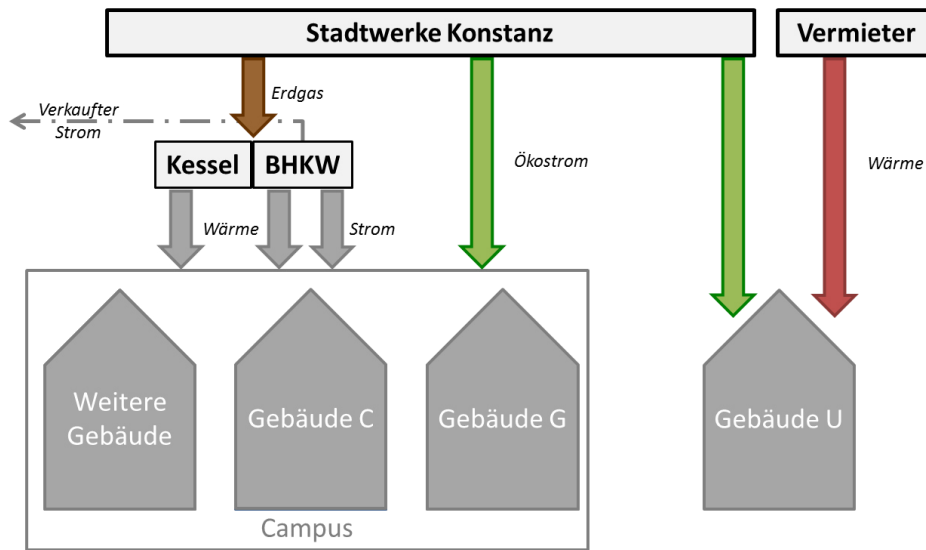


Abb. 12: Schema - Bezogene Gebäudeenergie der HTWG

Eigene Darstellung

Bezugsvolumen Erdgas

Das von der Hochschule bezogene Erdgas wird in einem BHKW sowie in zwei Gaskesseln verbrannt. Es existiert ein Verbrauchszähler für das BHKW sowie ein gemeinsamer für die beiden Kessel. Für die Ermittlung der Emissionen des Gasbezugs ist es unerheblich, ob das Erdgas in zwei verschiedenen Kesseln verbrannt wird oder in einem. Daher werden im nachfolgenden die beiden Kessel als ein Kessel angesehen. Es ist jedoch erheblich, ob das Gas im Kessel oder im BHKW verbrannt wird, da beide Verbrennungsprozesse unterschiedlich effizient sind und somit pro erzeugter Wärmeinheit unterschiedlich viele Emissionen emittiert werden.

Die Verbrauchsmengen von Kessel und BHKW wurden von Herrn Götz (Gebäudemanagement HTWG) zur Verfügung gestellt [Tabelle 7].

Für den Zeitraum Wintersemester 2014 und Sommersemester 2015 waren keine monats- oder semester genauen Daten vorhanden, sondern ausschließlich Jahresbezugswerte der Jahre 2014 und 2015. Die Bezugswerte des gewählten Zeitraums für die CO₂-Bilanz (akademisches Jahr 2014/2015) konnten daher nur annähernd ermittelt werden. Dazu wurde ein Durchschnittsbezug aus den Werten der Jahre 2014 und 2015 ermittelt.

Tabelle 7: Bezogenes Erdgasvolumen (Stadtwerke Konstanz)

| Jahr | Kessel | BHKW |
|---------------|------------------------|--------------------------|
| 2014 | 138.912 m ³ | 288.987 m ³ |
| 2015 | 160.838 m ³ | 359.602 m ³ |
| Ø (2014-2015) | 149.875 m ³ | 324.294,5 m ³ |

Eigene Darstellung

Bezogene Energiemenge - Erdgas

Die Zähler geben den Erdgasverbrauch in Kubikmeter an. Eine Emissionsberechnung von Erdgas anhand des Volumens kann erfolgen, ist jedoch aufgrund der variablen Zusammensetzung von Erdgas ungenau. Im Folgenden wird die Energie des spezifisch bezogenen Erdgases berechnet, um die Emissionen exakter berechnen zu können. Dazu sind folgende Schritte notwendig:

1. *Ermittlung der spezifischen Zustandszahl des bezogenen Erdgases*
2. *Berechnung des Normvolumens des bezogenen Erdgases*
3. *Ermittlung des durchschnittlichen Energiegehalts pro Volumeneinheit über den betrachteten Zeitraum*
4. *Berechnung der bezogenen Energiemenge*

Der Energiegehalt von einer Volumeneinheit Erdgas hängt von dessen Druck, Temperatur sowie Zusammensetzung des Gases ab. Um das Volumen des bezogenen Gases in einer vergleichbaren Größe anzugeben und die beiden Faktoren Druck und Temperatur zu eliminieren, rechnet man den am Zähler ermittelten Verbrauch in die Einheit *Normkubikmeter* um. Dazu benötigt man die einheitslose Zustandszahl z , welche von den Stadtwerken Konstanz angegeben wird. Für die Altstadt Konstanz (PLZ 78462) wird sie mit 0,9271 (Stadtwerke Konstanz 2016, o.S.) angegeben.

Multipliziert man den Verbrauch in Kubikmeter mit der Zustandszahl, erhält man den Bezug des Erdgases in der Einheit Normkubikmeter.

| |
|--|
| $\text{Bezug (Zähler)}[m^3] \times \text{Zustandszahl } z = \text{Bezug (Norm)}[Nm^3]$ |
|--|

Um den Energiegehalt des bezogenen Erdgasvolumens zu berechnen, wird der Energiegehalt pro Volumeneinheit benötigt. Dieser hängt von der Zusammensetzung des Gases ab, welche im Gasnetz nicht immer dieselbe ist. Daher wird der Energiegehalt des Gases für einen Normkubikmeter auf jeder Abrechnung vom Energieversorger angegeben.

Der Energiegehalt pro Normkubikmeter kann als *Heizwert* (H_i) oder *Brennwert* (H_s) angegeben werden. Der Heizwert gibt den Energiegehalt des Gases an, bei dem das bei der Verbrennung entstehende Wasser am Ende der Reaktion im gasförmigen Zustand besteht. Liegt das entstehende Wasser am Ende der Reaktion im flüssigen Zustand vor, lässt sich durch die Kondensation des Wassers mehr Energie in Wärme umwandeln. Hier spricht man vom Brennwert. Die Stadtwerke Konstanz geben den Energiegehalt des Erdgases als Brennwert an. Von den Stadtwerken wird monatlich ein Durchschnittswert angegeben, welcher online (Ebd.) abgefragt werden kann. Die monatlichen Durchschnittswerte der Jahre 2014 und 2015 stellte auf Anfrage Herr Christian Haake von den Stadtwerken Konstanz zur Verfügung. Das arithmetische Mittel der monatlichen Durchschnittswerte beträgt für die Jahre 2014 und 2015 11,281 kWh/Nm³ [Anhang, Tabelle 38, S.XV].

Zusammengefasst wird die Energiemenge des bezogenen Erdgases berechnet, indem der Bezug in Normkubikmeter mit dem Energiegehalt pro Normkubikmeter multipliziert wird. Dies kann in folgender Formel ausgedrückt werden:

$$\text{Bezug (Norm)}[\text{Nm}^3] \times \text{Energiegehalt (H}_s) \left[\frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} \right] = \text{Bezogene Energiemenge (H}_s) [\text{kWh}]$$

Die Energiemenge wird in Terrajoule umgerechnet, da sich der später darauf angewendete Emissionsfaktor auf diese Energieeinheit bezieht. Die bezogene Energiemenge des Erdgases beträgt für das mit Durchschnittswerten berechnete akademische Jahr 2015/2015 für das BHKW 12,21 TJ, für den Kessel 5,64 TJ.

Tabelle 8: Bezogene Energiemenge (Erdgas)

| Jahr | BHKW | Kessel |
|---------------|---------------|---------------|
| Ø (2014-2015) | 3.391.546 kWh | 1.567.427 kWh |
| | 12,210 TJ | 5,643 TJ |

Eigene Darstellung

Bezogene Energiemenge - Strom

Für die Gebäude auf dem Campusgelände sowie für das U-Gebäude wird von den Stadtwerken Konstanz Ökostrom bezogen. Die Bezugswerte für den Campus wurden wie die Verbrauchswerte des Erdgases ebenfalls von Herrn Götz zur Verfügung gestellt. Um die Energiemengen für Wärme und Strom vergleichbar zu machen, wurde wie in Tabelle 9 ersichtlich der Mittelwert aus den beiden Jahren 2014 und 2015 gebildet.

Tabelle 9: Strombezug Campus (Stadtwerke)

| Jahr | Bezug |
|---------------|---------------|
| 2014 | 989.917 kWh |
| 2015 | 765.220 kWh |
| Ø (2014-2015) | 877.568,5 kWh |

Eigene Darstellung

Die Strombezugswerte für das U-Gebäude wurden vom *Landesamt für Vermögen und Bau Konstanz* zur Verfügung gestellt und sind in Tabelle 10 ersichtlich.

Tabelle 10: Strombezug Gebäude U (laut Abrechnung)

| Von | Bis | Bezug |
|------------|------------|------------|
| 13.01.2014 | 31.12.2014 | 13.023 kWh |
| 01.01.2015 | 31.12.2015 | 16.334 kWh |

Eigene Darstellung

Das Erdgeschoss des U-Gebäudes ist seit dem 13.01.2014 von der HTWG angemietet. Abrechnungen für den Stromverbrauch existieren für den Zeitraum vom 13.01.2014 – 31.12.2014 sowie für das Jahr 2015. Der Abrechnungszeitraum im Jahr 2014 umfasst daher kein gesamtes Jahr. Es kann also kein Mittelwert mit den Werten aus den Abrechnungszeiträumen gebildet werden, um den Stromverbrauch des U-Gebäudes mit den anderen Gebäudeenergieverbräuchen vergleichbar zu machen. Daher wird wie folgt vorgegangen, um einen durchschnittlichen Vergleichswert zu erhalten:

Der abgerechnete Zeitraum im Jahr 2014 wird auf ein volles Kalenderjahr hochgerechnet. Um eine Annäherung an das akademische Jahr 2014/2015 zu erreichen, wird anschließend der Verbrauch der beiden Jahre 2014 und 2015 gemittelt. Die Rechnung kann im Anhang [Tabelle 39, S. XVI] nachvollzogen werden.

Tabelle 11: Strombezug Gebäude U (Hochrechnung)

| Jahr | U |
|---------------|--------------|
| 2014 | **13.504 kWh |
| 2015 | 16.334 kWh |
| Ø (2014-2015) | 14.919 kWh |

** Wert für 2014 hochgerechnet, siehe "Stromverbrauch U"

Eigene Darstellung

Bezogene Energiemenge - Wärme

Für das U-Gebäude wird Wärme vom Vermieter des Gebäudes bezogen, welche ebenfalls von einem BHKW erzeugt wird. Bis zum heutigen Datum bestehen keine Abrechnungen des Wärmeverbrauchs. Der Wärmeverbrauch der Fakultät BI im U-Gebäude wurde aus den Daten der anderen Gebäude hochgerechnet. Weiteres in Kapitel 4.3.4 und 4.3.5.

4.3.2 Energieerzeugung mit BHKW und Kesseln

Das BHKW und der Kessel versorgen den Campus mit Wärme, das BHKW den Campus zusätzlich mit Strom. Um den jeweiligen Energieströmen den passenden Emissionsfaktor zuzuordnen zu können, werden diese getrennt betrachtet.

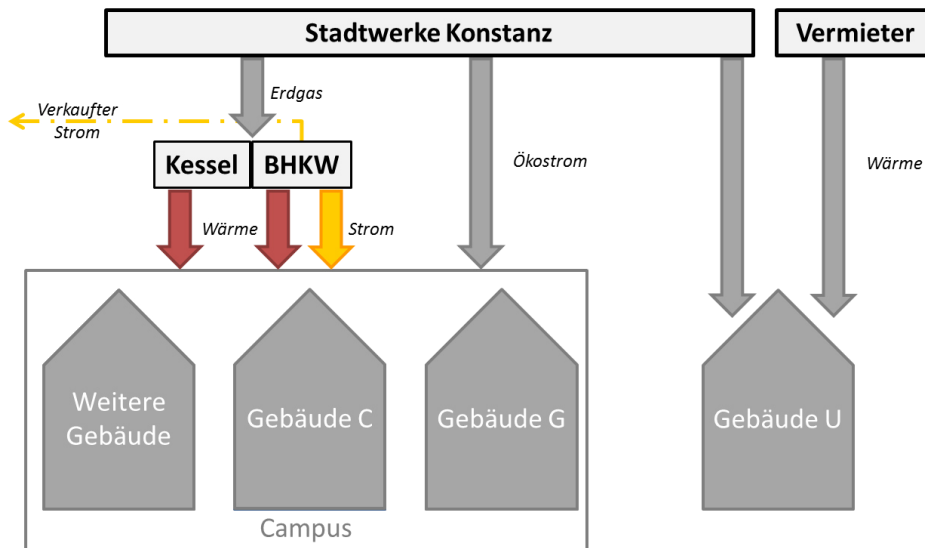


Abb. 13: Schema - Wärme- und Stromerzeugung mit Kessel und BHKW

Eigene Darstellung

Die Werte der selbst erzeugten Wärme durch Kessel und BHKW wurde von Herrn Götz zur Verfügung gestellt. Der größte Teil der von der HTWG benötigten Wärme wird vom BHKW erzeugt [Tabelle 12].

Tabelle 12: Wärmeerzeugung (BHKW und Kessel)

| Jahr | Gesamt | BHKW | Kessel |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| 2014 | 2.967 MWh | 1.614 MWh | 1.353 MWh |
| 2015 | 3.533 MWh | 2.044 MWh | 1.489 MWh |
| Ø (2014-2015) | 3.250 MWh | 1.829 MWh | 1.421 MWh |

Eigene Darstellung

Der größte Teil des erzeugten Stroms wird selbst genutzt. Nur etwa ein Fünftel des erzeugten Stroms wird in das Netz eingespeist und verkauft. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn der Strombedarf zum Zeitpunkt der Stromerzeugung nicht so groß ist wie die erzeugte Strommenge. Sowohl bei der Erzeugung der Wärme als auch bei der Erzeugung des Stroms wurde der Mittelwert für das akademische Jahr 2014/2015 aus den Werten der Jahre 2014 und 2015 ermittelt.

Tabelle 13: Stromerzeugung (BHKW)

| Jahr | Erzeugung | Eigennutzung | Einspeisung |
|---------------|-----------|--------------|-------------|
| 2014 | 1.017 MWh | 800 MWh | 217 MWh |
| 2015 | 1.249 MWh | 903 MWh | 347 MWh |
| Ø (2014-2015) | 1.133 MWh | 851 MWh | 282 MWh |

Eigene Darstellung

4.3.3 Wärme-Mix und Strom-Mix

Wie beschrieben, wird ein Teil der Wärme, mit welcher der Campus versorgt wird, vom Kessel und ein Teil vom BHKW erzeugt. In den mit Wärme versorgten Gebäuden gibt es jedoch keine getrennten Zähler die beiden Erzeugungsarten von Wärme. Um die Emissionen des Wärmeverbrauchs der Gebäude zu berechnen, ist die Unterteilung jedoch zwingend notwendig. Daher werden nachfolgend die Anteile der Wärmeerzeugung von Kessel und BHKW berechnet.

Von den 3.250 MWh Wärme, die im Kessel und BHKW erzeugt werden [Tabelle 12], werden 1.829 MWh vom BHKW und 1.421 MWh vom Kessel erzeugt. Dies entspricht einem Anteil von ~56% der Wärmeerzeugung durch das BHKW und einem Anteil von ~44% der Wärmeerzeugung durch den Kessel.

Tabelle 14: Verhältnis Wärme-Mix

| | |
|------------------------------|-----------|
| Wärmeverbrauch Campus Gesamt | 3.250 MWh |
| Erzeugt mit BHKW | 1.829 MWh |
| Anteil | 56,28 % |
| Erzeugt mit Kessel | 1.421 MWh |
| Anteil | 43,72 % |

Eigene Darstellung

Der am Campus verbrauchte Strom wird teilweise vom BHKW erzeugt und teilweise von den Stadtwerken bezogen. Es bestehen wie bei den Zählern des Wärmeverbrauchs keine unterschiedlichen Zähler für den Strom des BHKW und für den Strom der Stadtwerke. Um die Emissionen exakt berechnen zu können, ist es daher wichtig, den Anteil des selbst erzeugten sowie den Anteil des von den Stadtwerken bezogenen Stromes zu wissen.

Von 1.729 MWh Strom, die vom Campus im beschriebenen Zeitraum verbraucht werden, erzeugt das BHKW ~49%. Die übrigen ~51% werden von den Stadtwerken bezogen.

Tabelle 15: Verhältnis Strom-Mix

| | |
|------------------------------|-----------|
| Stromverbrauch Campus Gesamt | 1.729 MWh |
| Erzeugt mit BHKW | 851 MWh |
| Anteil | 49,24 % |
| Bezogen von Stadtwerken | 878 MWh |
| Anteil | 50,76 % |

Eigene Darstellung

4.3.4 Energieverbrauch der Gebäude C, G und U

Nachfolgend wird der Wärme- und Stromverbrauch der einzelnen Gebäude ermittelt, um mit dem Anteil der von der Fakultät BI genutzten Räume im jeweiligen Gebäude auf den Wärme- und Stromverbrauch der Fakultät BI zu schließen.

Wärmeverbrauch

Die Wärme-Verbrauchswerte der Gebäude C und G wurden von Herrn Götz zur Verfügung gestellt. Dabei wurde bekannt, dass für Gebäude C kein eigener Wärmezähler vorhanden ist, sondern nur ein gemeinsamer Wärmezähler für Gebäude B und C.

Tabelle 16: Wärmeverbrauch Gebäude C+B, G und U

| Jahr | C+B | G | *U |
|---------------|-----------|---------|--------|
| 2014 | 410 MWh | 772 MWh | |
| 2015 | 481 MWh | 910 MWh | |
| Ø (2014-2015) | 445,5 MWh | 841 MWh | 44 MWh |

* Verbrauch berechnet, siehe "Wärme Verbrauch U"

Eigene Darstellung

Für den Wärmeverbrauch von Gebäude U stehen, wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben, bisher keine Daten zur Verfügung. Daher wurde der Wärmeverbrauch von Gebäude U anhand der Wärmeverbräuche der Gebäude C+B und G geschätzt. Dazu wurde für die Gebäude C+B sowie G der spezifische Wärmeverbrauch pro Fläche berechnet. Anschließend wird anhand der Flächen der Gebäude C+B und G ein nach Gebäudeflächengröße gewichteter spezifischer Mittelwert berechnet. Dieser wurde mit der Fläche des U-Gebäudes multipliziert, um einen Wärmeverbrauch des U-Gebäudes zu erhalten [Anhang, Tabelle 40, S.XVII]. Da das U-Gebäude im Jahr 2013 neu gebaut wurde, sind hier Ungenauigkeiten zu erwarten, die in Kapitel 6 erläutert werden. Die für die Rechnung benötigten Flächen der Gebäude wurden in Kapitel 4.1 erläutert.

Stromverbrauch

Die Strom-Verbrauchswerte der Campus-Gebäude wurden ebenfalls von Herrn Götz bereitgestellt. Im Vergleich zum Wärmeverbrauch besteht hier ein eigener Zähler für das C-Gebäude. Die Strom-Verbrauchswerte des U-Gebäudes wurden in Kapitel 4.3.1 ermittelt und sind in Tabelle 17 der Vollständigkeit wegen nochmals mit aufgeführt.

Tabelle 17: Stromverbrauch Gebäude C, G und U

| Jahr | C | G | U |
|---------------|-------------|-------------|--------------|
| 2014 | 156.391 kWh | 224.035 kWh | **13.504 kWh |
| 2015 | 153.403 kWh | 220.524 kWh | 16.334 kWh |
| Ø (2014-2015) | 154.897 kWh | 222.280 kWh | 14.919 kWh |

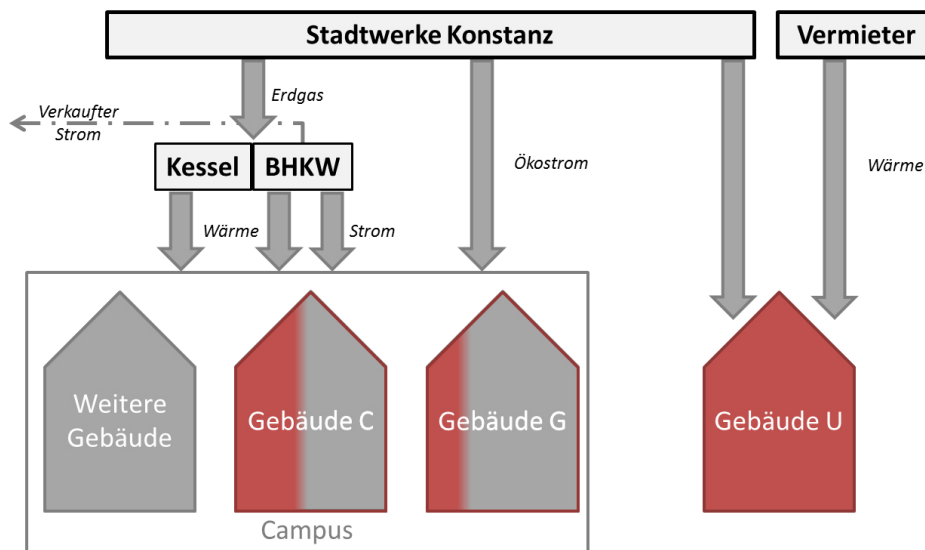
** Wert für 2014 hochgerechnet, siehe "Stromverbrauch U"
Eigene Darstellung

4.3.5 Energieverbrauch Fakultät BI

Im folgenden Schritt wird von den Verbrauchswerten der Gebäude auf die Verbräuche der Fakultät BI im jeweiligen Gebäude anhand der genutzten Flächen im jeweiligen Gebäude geschlossen. Da die Fakultät BI den gesamten Teil der angemieteten Fläche im U-Gebäude nutzt, wird zur Berechnung der Energieverbräuche in diesem Gebäude separat vorgegangen.

Wärmeverbrauch Fakultät BI

Der Wärmeverbrauch der Fakultät BI in Gebäude C und G ergibt sich aus dem Anteil der von der Fakultät BI genutzten Fläche im jeweiligen Gebäude, welche in Kap. 4.1 erläutert wurde [Anhang Tabelle 41, S.XVIII].

**Abb. 14: Schema - Wärmebedarf der Fakultät BI**

Eigene Darstellung

Aus vorherigen Berechnungen ist bereits bekannt, welcher Anteil der verbrauchten Wärme mit dem BHKW und welcher Anteil mit dem Kessel erzeugt wird. Mit diesen Anteilswerten lässt sich der Verbrauch der Fakultät BI im jeweiligen Gebäude auf die Erzeugungsarten „Kessel“ und „BHKW“ aufteilen.

Tabelle 18: Wärmeverbrauch der Fakultät BI Gebäude C+G

| | C | G |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Verbrauch BI | 117,29 MWh | 76,53 MWh |
| BHKW-Anteil an Wärmeerzeugung | 56,28% | 56,28% |
| Verbrauch BI erzeugt mit BHKW | 66,01 MWh 0,238 TJ | 43,07 MWh 0,155 TJ |
| Kessel-Anteil an Wärmeerzeugung | 43,72% | 43,72% |
| Verbrauch BI erzeugt mit Kessel | 51,28 MWh 0,185 TJ | 33,46 MWh 0,120 TJ |

Eigene Darstellung

Der Wärmeverbrauch der Fakultät BI im Gebäude U entspricht dem Wärmeverbrauch des U-Gebäudes, da hier alle Flächen der Fakultät BI zugeordnet werden. Eine Aufteilung in verschiedene Erzeugungsanteile ist hier nicht möglich und auch nicht notwendig, da die Wärme vom Vermieter bezogen wird und daher nur ein Emissionsfaktor darauf angewendet wird.

Tabelle 19: Wärmeverbrauch der Fakultät BI Gebäude U

| Verbrauch BI | U |
|-------------------------------|-----------|
| Verbrauch BI erzeugt mit BHKW | 44,28 MWh |
| | 0,159 TJ |

Eigene Darstellung

Insgesamt wurden von der Fakultät BI im akademischen Jahr 2014/2015 238,1 MWh Wärme verbraucht.

Stromverbrauch Fakultät BI

Die Berechnung des Stromverbrauchs der Fakultät BI für die beiden Gebäude C und G erfolgt ebenso wie bei der Berechnung des Wärmeverbrauchs mittels verwendeter Fläche der Fakultät BI im jeweiligen Gebäude. [Anhang, Tabelle 42, S.XIX].

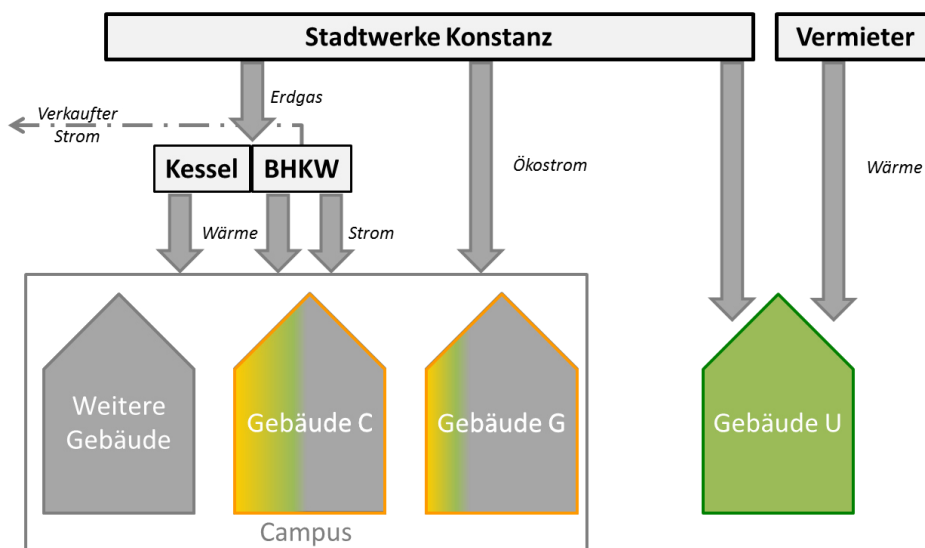


Abb. 15: Schema - Strombedarf der Fakultät BI

Eigene Darstellung

Ebenso kann mit den Anteilswerten des Stroms, der mit dem BHKW erzeugt wurde sowie des Stroms, der von den Stadtwerken bezogen wurde, angegeben werden, wieviel

Strom der Verbrauchswerte der Fakultät BI vom BHKW erzeugt wurde und wieviel von den Stadtwerken bezogen wurde.

Tabelle 20: Stromverbrauch der Fakultät BI pro Gebäude

| | C | G |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Verbrauch BI | 45.321 kWh | 20.227 kWh |
| BHKW-Anteil an Stromverbrauch | 49,24 % | 49,24 % |
| Verbrauch BI erzeugt mit BHKW | 22.316 kWh 0,080 TJ | 9.960 kWh 0,036 TJ |
| Stadtwerke-Anteil an Stromverbrauch | 50,76 % | 50,76 % |
| Verbrauch BI bezogen von Stadtwerken | 23.005 kWh 0,083 TJ | 10.267 kWh 0,037 TJ |

Eigene Darstellung

Der Stromverbrauch der Fakultät BI im Gebäude U entspricht dem Stromverbrauch des U-Gebäudes, da hier alle Flächen der Fakultät BI zugeordnet werden. Eine Aufteilung des Verbrauchs in verschiedene Erzeugungsanteile beziehungsweise Bezugsanteile ist hier nicht notwendig, da der gesamte Strom für das U-Gebäude von den Stadtwerken bezogen wird.

Tabelle 21: Stromverbrauch BI Gebäude U

| Verbrauch BI | U |
|--------------------------------------|------------|
| Verbrauch BI bezogen von Stadtwerken | 14.919 kWh |
| | 0,054 TJ |

Eigene Darstellung

Insgesamt wurden von der Fakultät BI im akademischen Jahr 2014/2015 80,5 MWh Strom verbraucht.

4.4 Fuhrpark

Der Fuhrpark der Fakultät Bauingenieurwesen besteht aus einem VW Bus. Um den Treibstoffverbrauch des Buses für das akademische Jahr 2014/2015 zu berechnen, wurde die im gewählten Zeitraum zurückgelegte Strecke mit dem durchschnittlichen Treibstoffverbrauch multipliziert. Daten hierfür wurden von Frau Stein (HTWG) am 03.05.2016 per Mail zur Verfügung gestellt.

Tabelle 22: Treibstoffverbrauch VW Bus

| | VW Bus |
|--------------------------|--------------|
| Treibstoff | Benzin |
| Verbrauch | 11,5 l/100km |
| Fahrleistung | |
| Wintersemester 2014/2015 | 6.063 km |
| Sommersemester 2015 | 4.490 km |
| Gesamt | 10.553 km |
| Treibstoffverbrauch | |
| Wintersemester 2014/2015 | 697,25 l |
| Sommersemester 2015 | 516,35 l |
| Gesamt | 1.213,60 l |

Eigene Darstellung

Im gesamten akademischen Jahr 2014/2015 verbrauchte der VW-Bus 1.214 l Benzin bei 10.553 km Fahrstrecke.

4.5 Pendelverkehr

Um die Emissionen des Pendelverkehrs zu berechnen, wurden die durchschnittlichen jährlichen Distanzen von Studenten, Mitarbeitern und Professoren pro Verkehrsmittel ermittelt. Mit entsprechenden Emissionsfaktoren, welche in Kapitel 5.2 näher beschrieben werden, wurden dann in Kapitel 7.5 die Emissionen der Studierenden (nach Studiengängen), Mitarbeiter und Professoren berechnet.

In der Umfrage konnten die befragten Personen angeben, welche Verkehrsmittel sie hauptsächlich verwenden, um an die Hochschule zu gelangen und welche Strecke sie dabei auf einem einfachen Weg zurücklegen. Zusätzlich wurde abgefragt, wie oft sie in der Woche den Weg zur Hochschule zurücklegen und wie viele Wochen sie sich im Sommersemester und im Wintersemester an der Hochschule befinden. Aus den genannten Daten wurde die Fahrstrecke pro Verkehrsmittel und Semester abgeleitet. Aus den Werten für Sommersemester und Wintersemester ergab sich die Gesamtdistanz im Jahr pro Verkehrsmittel.

Distanz pro Verkehrsmittel und Semester:

$$\frac{\text{Distanz}}{\text{Semester}} = \text{Distanz}_{\text{einfache Strecke}} * 2 * \frac{\text{Anzahl Fahrten}}{\text{Woche}} * \frac{\text{Wochen}}{\text{Semester}}$$

Studenten

Für die Hochrechnung auf die Grundgesamtheiten der Studiengänge wurde der Mittelwert eines Studenten pro Studiengang und Verkehrsmittels berechnet. Anschließend wurde mit den jeweiligen Emissionsfaktoren und der Anzahl der Studenten im jeweiligen Studiengang auf die Emissionen der Studenten geschlossen, welche durch Pendelverkehr entstehen.

In Abb. 16 sind die zurückgelegten jährlichen Distanzen der Studiengänge pro Jahr zu erkennen.

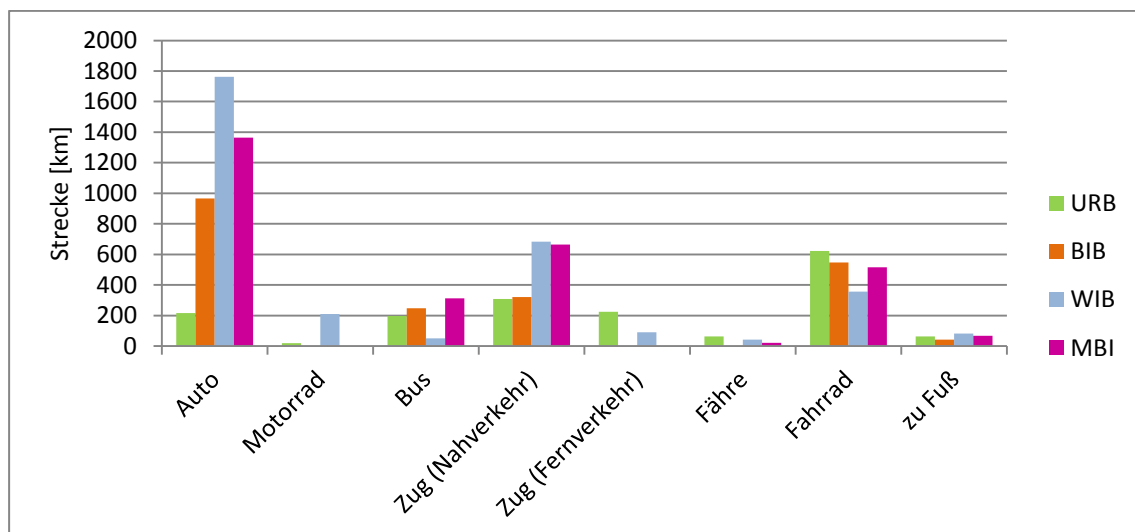


Abb. 16: Im Durchschnitt zurückgelegte Strecke im Jahr (pro Student) [km]

Eigene Darstellung

Im Vergleich der Studiengänge lässt sich erkennen, dass URB-Studenten im Vergleich zu anderen Studiengängen an der Fakultät im Semester deutlich weniger Kilometer mit dem Auto zurücklegen, um an die Hochschule zu gelangen. Spitzenreiter ist hier der Studiengang WIB gefolgt vom Studiengang MBI.

Mit dem Motorrad sind ausschließlich Personen des Studiengangs URB und WIB unterwegs. Im Vergleich zum Auto ist die zurückgelegte Strecke jedoch sehr gering.

Studierende des Masterstudienganges MBI legen pro Jahr die größte Strecke mit dem Bus zurück. Studenten des Studienganges WIB scheinen kaum mit dem Bus zu fahren.

Den höchsten Anteil am Verkehrsmittel Zug hat Studiengang WIB. Der Studiengang BIB legt mit dem Zug in etwa nur die Hälfte der anderen Studiengänge zurück. Die zurückgelegte Strecke mit der Fähre ist in allen Studiengängen in etwa gleich gering. In der emissionslosen Kategorie des Fahrrads ist der Umweltstudiengang führend.

Zu Fuß legen Studierende aller Studiengänge in etwa die gleiche Strecke pro Jahr zurück, der Studiengang WIB führt jedoch in dieser Kategorie. Dies passt zur Führungsrolle in der Kategorie „Zug“, da der Bahnhof in Konstanz recht weit von der Hochschule entfernt liegt und Busse vom Bahnhof zur Hochschule nur unregelmäßig fahren. Somit sind Studenten, die mit dem Zug kommen gezwungen mehr Kilometer zu Fuß zurück zu legen.

Interessant ist, dass der Median der Emissionswerte bei allen Studiengängen 0 ist [Anhang, Tabelle 48, S.XXXVI]. Somit gelangt mehr als die Hälfte der befragten Studenten mit dem Fahrrad oder zu Fuß an die Hochschule.

Mitarbeiter

Für die Hochrechnung der befragten Mitarbeiter auf die Grundgesamtheit der Mitarbeiter wurden Mittelwerte für männliche sowie weibliche Mitarbeiter errechnet. Anschließend wurde mit der Anzahl der männlichen und weiblichen Mitarbeiter auf eine gewichtete Grundgesamtheit der Mitarbeiter geschlossen.

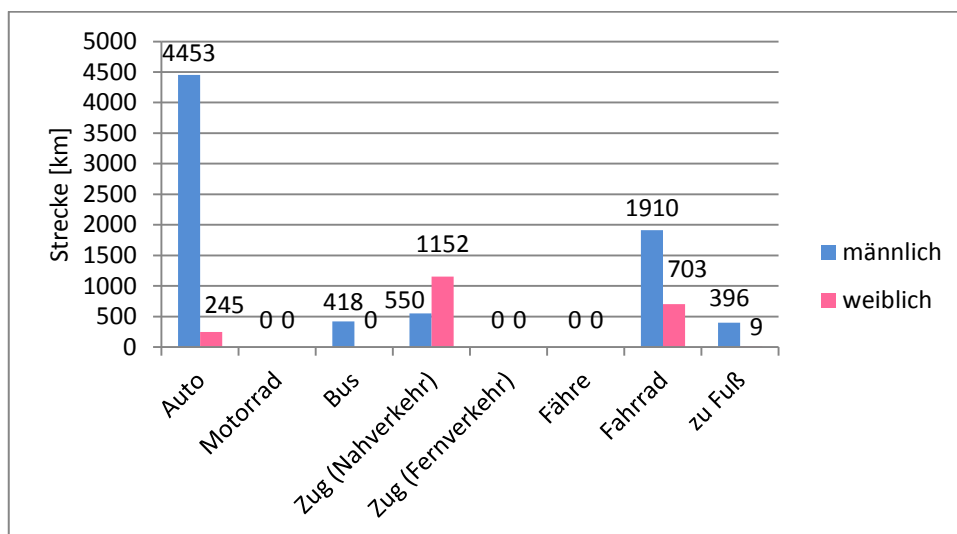


Abb. 17: Im Durchschnitt zurückgelegte Strecke im Jahr (pro Mitarbeiter) [km]
Eigene Darstellung

Mehr als 4400 km legen männliche Mitarbeiter pro Jahr im Durchschnitt mit dem Auto zurück. Weibliche Mitarbeiter legen hier nur weniger als 10% dieser Strecke zurück. Mit dem Fahrrad und zu Fuß erreichen weibliche Mitarbeiter 37% bzw. 2% der von männlichen Mitarbeitern zurück gelegten Strecke. Allerdings legen weibliche Mitarbeiter deutlich mehr Kilometer mit dem Zug zurück. Sowohl mit dem Motorrad als auch mit der Fähre fährt keiner der Mitarbeiter. Insgesamt legen männliche Mitarbeiter im Durchschnitt eine größere Strecke zurück als weibliche Mitarbeiter.

Professoren

Für die Hochrechnung der befragten Professoren auf die Grundgesamtheit der Professoren wurden Mittelwerte für männliche sowie weibliche Professoren errechnet, um anschließend mit der Anzahl der männlichen und weiblichen Professoren auf eine gewichtete Grundgesamtheit der Professoren zu schließen. Die zurückgelegte durchschnittliche Distanz der männlichen und weiblichen Professoren pro Verkehrsmittel ist in Abb. 18 dargestellt.

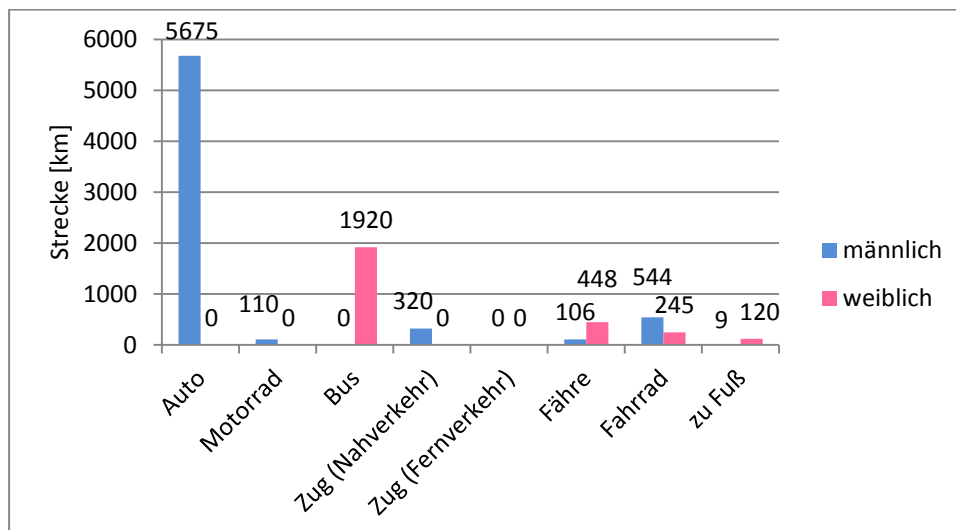


Abb. 18: Im Durchschnitt zurückgelegte Strecke im Jahr (pro Professor) [km]

Eigene Darstellung

Wie schon männliche Mitarbeiter legen auch männliche Professoren die weiteste durchschnittliche Strecke im Jahr mit dem Auto zurück. Weibliche Professoren legen an der Fakultät BI keine Strecke mit dem Auto zurück, um an die Hochschule zu gelangen. Dies ist sowohl für die Stichprobe als auch für die Grundgesamtheit der Fall, da sich drei von drei Professorinnen an der Umfrage beteiligten. Die Kategorie „Motorrad“ fällt bei der Umfrage kaum ins Gewicht, da nur von männlichen Mitarbeitern ein geringer Teil der Strecke mit diesem Verkehrsmittel zurückgelegt wird. Mit dem Bus fahren ausschließlich weibliche Professoren. Sie legen den größten Teil der durchschnittlichen Pendelverkehrskilometer mit diesem Verkehrsmittel zurück. Die Kategorie „Zug“ ist ausschließlich bei männlichen Professoren mit einer geringen Strecke vertreten. Weibliche Professoren legen mit der Fähre mehr Kilometer zurück als ihre männlichen Kollegen. Diese fahren jedoch im Schnitt eine doppelt so große Strecke mit dem Fahrrad pro Jahr. Zu Fuß wird nur eine kleine Strecke von männlichen und weiblichen Professoren

zurückgelegt. Hier passt die größere zurückgelegte Strecke von Professorinnen mit der deutlich größeren zurückgelegten Strecke an Bus-Kilometern zusammen.

Im Vergleich der drei Gruppierungen ist vor allem der hohe Anteil der mit dem Auto zurückgelegten Distanz von männlichen Mitarbeitern und männlichen Professoren ersichtlich. Die mit dem Fahrrad zurückgelegte Strecke ist im Durchschnitt bei männlichen und weiblichen Mitarbeitern besonders hoch. Durchschnittlich legen weibliche Professoren die meisten Kilometer mit dem Bus zurück, wo hingegen weibliche Mitarbeiter den Zug bevorzugen.

4.6 Papier

Um die Emissionen des Papierverbrauchs zu berechnen, wurden der durchschnittliche Papierverbrauch von Studenten, Mitarbeitern und Professoren ermittelt. Mit entsprechenden Emissionsfaktoren, welche in Kapitel 5.3 näher beschrieben werden, wurden in Kapitel 7 die Emissionen der jeweiligen Studiengänge, Mitarbeiter und Professoren ermittelt.

Der Papierverbrauch pro befragter Person und Jahr wurde wie folgt berechnet: Die Befragten gaben an, wie viel Seiten sie pro Jahr kopierten und/oder ausdruckten und als Prozentwert, wie oft sie dabei die Funktion „doppelseitig drucken“ sowie die Funktion „2 Seiten auf 1 Seite drucken“ verwendeten. Wurden beide Funktionen angegeben, ist in der Auswertung angenommen worden, dass beide Funktionen gleichzeitig genutzt werden. Wichtig ist der Unterschied zwischen den Begriffen „Seite“ und „Blatt“. Als Seite wird eine DIN-A4-Seite in einem Word oder PDF-Dokument angesehen. Diese Seiten können nun durch die beiden Funktionen auf vier verschiedene Weisen auf ein Blatt Papier gedruckt werden. Als Verbrauchswerte wurde die Anzahl der bedruckten Blatt Papier berechnet.

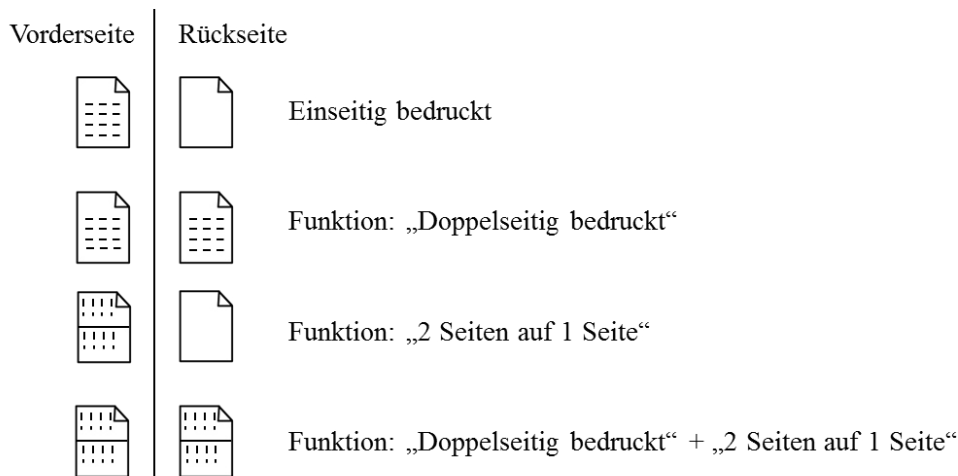


Abb. 19: Druckmöglichkeiten der beiden Druckfunktionen

Eigene Darstellung

In den meisten Fällen stimmten die Prozentsätze der beiden Funktionen nicht überein. Dann wurde der „gemeinsame Prozentsatz“ als Druck mit beiden Funktionen angesehen

und der Teil des größeren Prozentsatzes, der den kleineren Prozentsatz übersteigt, als Druck mit einer Funktion angesehen.

Beispiel: Eine befragte Person gibt an, dass sie 100 Seiten im Jahr ausdruckt. Dabei verwendet sie für 30% der Seiten die Funktion „Doppelseitig bedruckt“ und für 20% der Seiten die Funktion „2 Seiten auf 1 Seite“:

Für die Auswertung wurde davon ausgegangen, dass für 20% der Seiten beide Funktionen angewendet werden und für $30\% - 20\% = 10\%$ der Seiten ausschließlich die Funktion „Doppelseitig“. Übrig bleiben 70% der Seiten, die einseitig ausgedruckt werden und 0% der Seiten, die ausschließlich mit der Funktion „2 Seiten auf 1 Seite“ ausgedruckt werden.

Die Person druckt also $20\% \times 100$ Seiten = 20 Seiten mit beiden Funktionen aus. Da beide Funktionen genutzt werden, werden die 20 Seiten auf $20 / 4 = 5$ Blatt Papier ausgedruckt. $10\% \times 100$ Seiten = 10 Seiten werden mit der Funktion „Doppelseitig“ ausgedruckt. Diese werden auf $10 / 2 = 5$ Blatt ausgedruckt. Es verbleiben $70\% \times 100$ Seiten = 70 Seiten, die einseitig auf 70 Blatt Papier ausgedruckt werden.

Studenten

Für die Hochrechnung auf die Grundgesamtheiten der Studiengänge wurde der Mittelwert des Papierverbrauchs eines Studenten jedes Studienganges berechnet, um dann mit den jeweiligen Emissionsfaktoren und der Anzahl der Studenten im jeweiligen Studiengang auf die Emissionen zu schließen, welche durch Papierverbrauch entstehen.

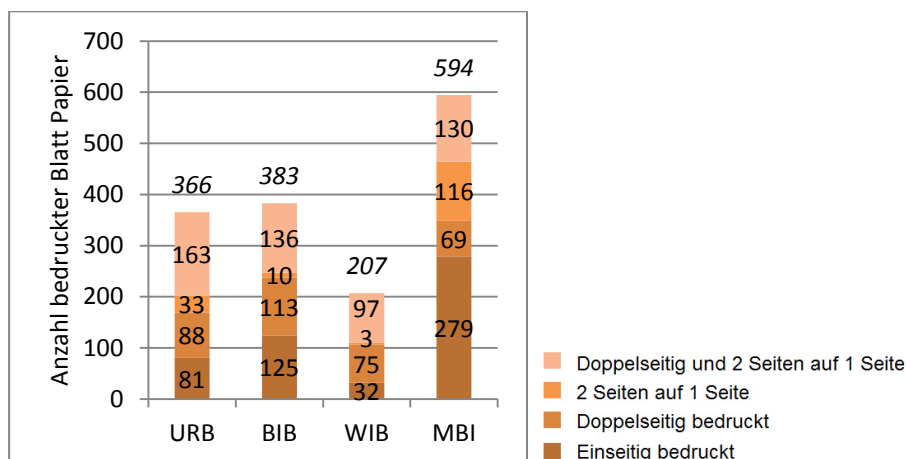


Abb. 20: Durchschnittliche Anzahl der bedruckten Blatt Papier im Jahr (pro Student)

Eigene Darstellung

Abb. 20 stellt die durchschnittliche Anzahl der bedruckten Blatt Papier pro Student und einzelndem Studiengang dar. Der Masterstudiengang MBI sticht hier hervor, da Studenten dieses Studienganges im Durchschnitt einen deutlich höheren Papierverbrauch haben als die Studenten der Bachelorstudiengänge. Im Vergleich zum Studiengang WIB, der durchschnittlich die geringste Menge Papier verbraucht, ist der Papierverbrauch fast dreimal so hoch. Auch der Anteil der einseitig bedruckten Blätter ist im Masterstudien-gang mit knapp 50% Anteil deutlich größer als bei den Bachelorstudiengängen. Eine Vermutung ist, dass im Masterstudium umfangreichere Skripte zu drucken sind und/oder mehr Studienarbeiten erstellt werden müssen. Studenten des Umweltstudien-gangs URB verwenden besonders oft beide Funktionen gemeinsam. Der Studiengang WIB druckt im Durchschnitt die wenigsten Seiten aus.

Mitarbeiter

Für die Hochrechnung der befragten Mitarbeiter auf die Grundgesamtheit der Mitarbeiter wurden Mittelwerte für den Papierverbrauch männlicher und weiblicher Mitarbeiter errechnet, um anschließend mit der Anzahl der männlichen und weiblichen Mitarbeiter auf eine gewichtete Grundgesamtheit der Mitarbeiter zu schließen.

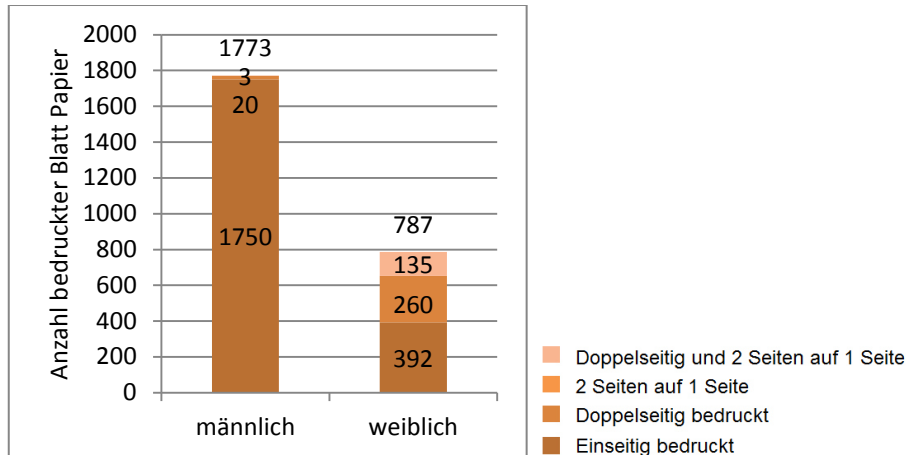


Abb. 21: Durchschnittliche Anzahl der bedruckten Blatt Papier im Jahr (pro Mitarbeiter)

Eigene Darstellung

Einen auffallenden Unterschied gibt es beim durchschnittlichen Papierverbrauch der männlichen und weiblichen Mitarbeiter in Abb. 21 zu verzeichnen. Erstaunlicherweise werden von männlichen Mitarbeitern Seiten fast ausschließlich einseitig ausgedruckt, wo hingegen bei weiblichen Mitarbeitern nur etwa 50% einseitig ausgedruckt werden. Auch die durchschnittliche Menge der bedruckten Blatt Papier ist bei den männlichen Mitarbeitern mit 1773 Blatt mehr als doppelt so hoch wie bei den weiblichen Mitarbeitern. Im Vergleich zum Papierverbrauch eines durchschnittlichen Studenten liegt der Papierverbrauch sowohl bei weiblichen Mitarbeitern als auch bei männlichen Mitarbeitern höher.

Professoren

Für die Hochrechnung der befragten Professoren auf die Grundgesamtheit der Professoren wurden Mittelwerte für den Papierverbrauch männlicher sowie weiblicher Professoren errechnet, um anschließend mit der Anzahl der männlichen und weiblichen Professoren auf eine gewichtete Grundgesamtheit der Professoren zu schließen.

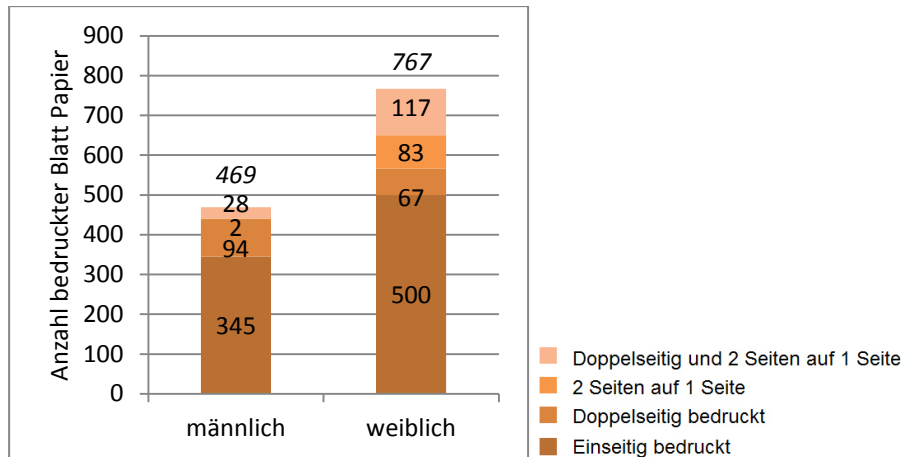


Abb. 22: Durchschnittliche Anzahl der bedruckten Blatt Papier im Jahr (pro Professor)

Eigene Darstellung

Wie beim durchschnittlichen Papierverbrauch der Mitarbeiter beobachtet, lässt sich auch bei Professoren ein Unterschied im Papierverbrauch zwischen den Geschlechtern feststellen [Abb. 22]. Zwar werden im Vergleich zu den männlichen Mitarbeitern mehr Seiten mit einer der beiden Doppeldruck-Funktionen ausgedruckt, doch liegt der Anteil der einseitig ausgedruckten Blätter bei männlichen Professoren trotzdem bei knapp 75%. Bei den weiblichen Professoren liegt der Anteil der einseitig bedruckten Blätter bei etwa 65%. Im Durchschnitt haben weibliche Professoren mit 767 Blatt pro Jahr einen höheren Papierverbrauch als ihre männlichen Kollegen (469 Blatt).

Vergleicht man den durchschnittlichen Papierverbrauch von Studenten, Mitarbeitern und Professoren, fällt auf, dass Studenten deutlich häufiger die Funktion „Doppelseitiger Druck“ oder „2 Seiten auf 1 Seite“ verwenden. Die Tatsache, dass Studenten für die Ausdrücke selbst zahlen müssen und die Bezahlung bei Mitarbeitern und Professoren über eine Kostenstelle läuft, lässt vermuten, dass der Anreiz für Studenten größer ist, eine der beiden Funktionen zu nutzen. Bei Mitarbeitern und Professoren könnte die Motivation, eine der Funktionen zu verwenden, darin bestehen, den Papierverbrauch aus Umweltgründen zu reduzieren oder die Kosten der Hochschule gering zu halten.

4.7 Mensa-Mahlzeiten

Um die Emissionen der Mensa-Mahlzeiten zu berechnen, wurden die durchschnittliche Anzahl der jährlichen Mensa-Mahlzeiten von Studenten, Mitarbeitern und Professoren ermittelt. Mit entsprechenden Emissionsfaktoren, welche in Kapitel 5.4 näher beschrieben werden, wurden in Kapitel 7.7 die Emissionen der jeweiligen Studierenden pro Studiengang, Mitarbeiter und Professoren berechnet.

Für die Auswertung der Umfrage hinsichtlich der Anzahl der Mahlzeiten pro Befragten in einem Jahr wurde folgendermaßen vorgegangen:

Die Befragten gaben an, wie oft sie pro Woche durchschnittlich in der Mensa essen und wie oft sie davon vegetarische Mahlzeiten bestellen. Subtrahiert man die Anzahl der vegetarischen Mahlzeiten von der Anzahl der Mahlzeiten pro Woche, erhält man die Anzahl der Mischkost-Mahlzeiten pro Woche. Die Anzahl dieser und die der vegetarischen

Mahlzeiten wurde mit der Anzahl der Wochen, welche die Befragten sich pro Jahr an der Hochschule befinden, multipliziert, um die Anzahl der Mahlzeiten pro Befragten und Jahr zu erhalten.

Studenten

Für die Hochrechnung auf die Grundgesamtheiten der Studiengänge wurde der Mittelwert der jährlichen Mensa-Mahlzeiten eines Studenten jeden Studienganges berechnet, um dann mit den jeweiligen Emissionsfaktoren und der Anzahl der Studenten im jeweiligen Studiengang auf die Emissionen der Studenten zu schließen, welche durch Mensa-Mahlzeiten entstehen.

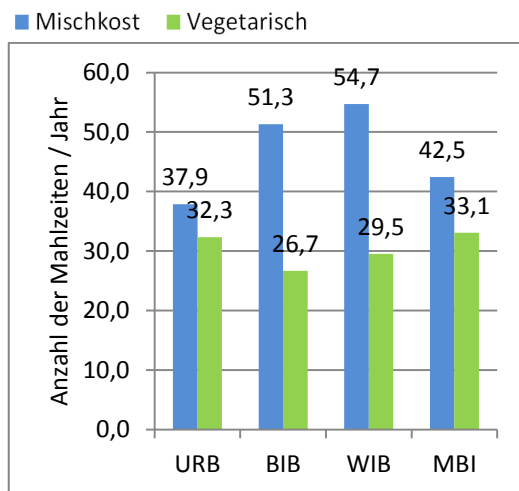


Abb. 23: Durchschnittliche Anzahl der Mahlzeiten im Jahr (pro Student)

Eigene Darstellung

Wie in Abb. 23 ersichtlich, liegt die durchschnittliche Anzahl der Mischkost-Mahlzeiten pro Jahr in jedem Studiengang höher als die durchschnittliche Anzahl der vegetarischen Mahlzeiten pro Jahr. Dabei ist der Unterschied im Studiengang URB zwischen der Anzahl der verschiedenen Mahlzeiten am geringsten. In den Studiengängen BIB und WIB unterscheiden sich die Anzahlen von Mischkost-Mahlzeiten und vegetarischen Mahlzeiten am deutlichsten. Durchschnittlich gesehen gehen WIB Studenten jährlich am häufigsten in der Mensa essen. Sie essen im Jahr etwa 14 Mahlzeiten mehr in der Mensa als URB Studenten.

Mitarbeiter

Für die Hochrechnung der befragten Mitarbeiter auf die Grundgesamtheit der Mitarbeiter wurden Mittelwerte der Anzahl der Mensa-Mahlzeiten männlicher und weiblicher Mitarbeiter errechnet, um anschließend mit der Anzahl der männlichen und weiblichen Mitarbeiter auf eine gewichtete Grundgesamtheit der Mitarbeiter zu schließen.

Abb. 24 zeigt einen deutlichen Unterschied in der durchschnittlich konsumierten Anzahl der Mahlzeiten im Jahr zwischen männlichen und weiblichen Mitarbeitern. Männliche Mitarbeiter essen in der Mensa im Durchschnitt 60 Mahlzeiten im Jahr Mischkost und nur knapp 15 Mahlzeiten vegetarisch. Bei weiblichen Mitarbeitern hingegen ist das Verhältnis fast umgekehrt. Diese essen in der Mensa im Schnitt nur etwa sieben Mahl-

zeiten pro Jahr Mischkost wohingegen sie 57 Mahlzeiten vegetarisch essen. Im Durchschnitt essen in der Mensa männliche Mitarbeiter etwa zehn bis elf Mahlzeiten mehr als ihre weiblichen Kollegen.

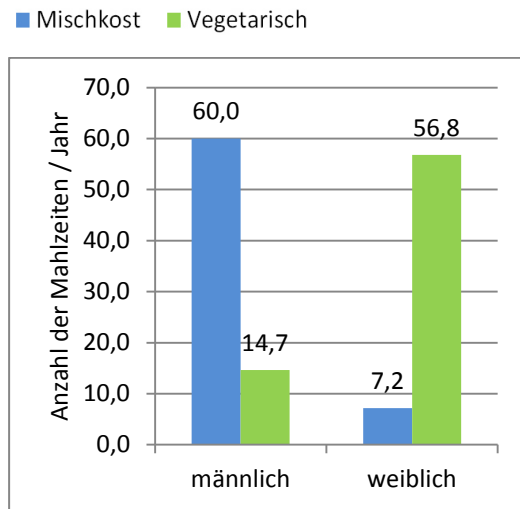


Abb. 24: Durchschnittliche Anzahl der Mahlzeiten im Jahr (pro Mitarbeiter)
Eigene Darstellung

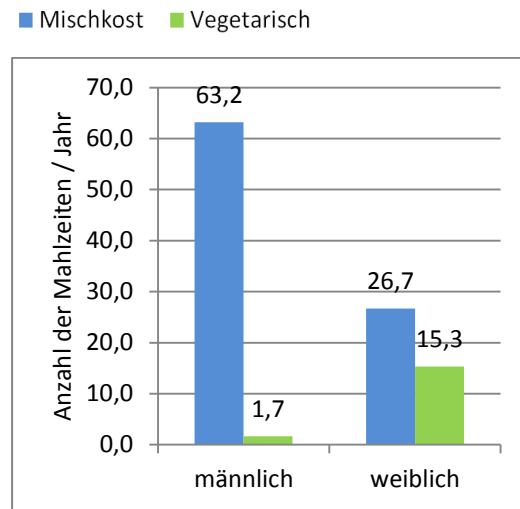


Abb. 25: Durchschnittliche Anzahl der Mahlzeiten im Jahr (pro Professor)
Eigene Darstellung

Professoren

Für die Hochrechnung der befragten Professoren auf die Grundgesamtheit der Professoren wurde die durchschnittliche Anzahl der jährlichen Mensa-Mahlzeiten für männliche und weibliche Professoren ermittelt, um anschließend mit der Anzahl der männlichen und weiblichen Professoren auf eine gewichtete Grundgesamtheit der Professoren zu schließen.

Bei der durchschnittlichen Anzahl der Mahlzeiten in der Gruppe der Professoren ergibt sich bei den männlichen Professoren ein ähnliches Bild wie bei den männlichen Mitarbeitern. Das Verhältnis von Mischkost zu vegetarischen Mahlzeiten ist hier sogar noch ausgeprägter. Bei den weiblichen Professoren überwiegt ebenfalls die Zahl der Mischkost-Mahlzeiten. Der Anteil der vegetarischen Mahlzeiten im Jahr ist jedoch deutlich höher als bei männlichen Professoren. Männliche Professoren essen im Jahr durchschnittlich 13 Mahlzeiten mehr in der Mensa als weibliche Professoren.

Im Vergleich der Studenten, Mitarbeiter und Professoren essen Studenten am häufigsten in der Mensa. Für sie ist es eine kostengünstige Alternative zu anderen Essgelegenheiten in der Umgebung der Hochschule. Bei den Gruppen der Mitarbeiter und der Professoren lässt sich ein deutlicher Unterschied in den Essgewohnheiten von Männern und Frauen erkennen. Da für die Gruppe der Studenten die Unterscheidung nach Geschlechtern nicht für die Hochrechnung der Emissionen genutzt werden kann, wird auf die Werte von männlichen und weiblichen Studenten in diesem Kapitel nicht weiter eingegangen. Untersuchungen hierzu befinden sich in Kapitel 8.2.

5. Emissionsfaktoren

In diesem Kapitel werden Emissionsfaktoren erläutert, anhand derer die Emissionen der jeweiligen Aktivitäten berechnet werden. Zuerst werden Emissionsfaktoren für Gebäudeenergie ermittelt [5.1]. Im spezifischen sind dies Emissionsfaktoren für Erdgas, Wärme und Strom. Anschließend werden sämtliche Emissionsfaktoren ermittelt, die mit Mobilität in Verbindung stehen [5.2]. Auf ihnen basieren Emissionsberechnungen für den Fuhrpark und für Pendelverkehr. Alle verwendeten Emissionsfaktoren bilanzieren die Gase CO₂, CH₄ und N₂O. Abweichungen hiervon gibt es bei Emissionsfaktoren für Papierverbrauch [5.3] und Mahlzeiten [5.4].

5.1 Gebäudeenergie

In diesem Kapitel werden die Emissionsfaktoren für Gebäudeenergie beschrieben. Zuerst wird der Emissionsfaktor für Erdgas erläutert, bevor ein Emissionsfaktor für Wärme aus dem Kessel berechnet wird. Emissionsfaktoren für Wärme und Strom aus dem BHKW werden mit der in Kapitel 3.4 vorgestellten *Efficiency Method* berechnet. Anschließend wird der Emissionsfaktor für Strom ermittelt.

5.1.1 Erdgas

Die Emissionsfaktoren für selbst erzeugte Wärme und selbst erzeugten Strom basieren auf den Emissionen des Brennstoffs Erdgas.

Emissionsfaktoren für die Verbrennung von Erdgas sind in der *ProBas* Datenbank jeweils einem bestimmten Prozess zur Wärmeerzeugung zugeordnet. Das Problem hierbei ist, dass bei jedem Emissionsfaktor zur Wärmeerzeugung aus Erdgas weitere Vorkettenemissionen betrachtet werden. Für das Vorgehen nach dem *GHG Protocol* werden diese Emissionen jedoch unter einem anderen Scope bilanziert, als die Emissionen, die direkt bei der Verbrennung entstehen. Ein Emissionsfaktor, der ausschließlich die bei der Verbrennung von Erdgas entstehenden Emissionen bilanziert, besteht nicht.

In der GEMIS-Datenbank hingegen findet sich ein Emissionsfaktor, der ausschließlich die Verbrennung von Erdgas bilanziert. Der Emissionsfaktor besitzt unter dem Namen *Erdgas-DE-HH/KV-2010* einen Wert von 50.415,6 kg CO₂e/TJ und ist auf den Brennwert bezogen, so dass er direkt auf die bezogene Energiemenge angewendet werden kann.

Einen Emissionsfaktor für Vorkettenemissionen findet man in der ProBas-Datenbank unter dem Prozessnamen *PipelineGas-DE-2010-mix-lokal*. Aus diesem Prozess geht das *Erdgas-DE-HH/KV-2010* hervor, welches für den direkten Emissionsfaktor in der GEMIS-Datenbank ausgewählt wurde. Der Emissionsfaktor für Vorkettenemissionen beträgt 10.464 kg CO₂e/TJ, ist allerdings auf den Heizwert bezogen. Da die Stadtwerke Konstanz den Energiegehalt des Erdgases als Brennwert angeben, kann er nicht direkt angewendet werden.

Um Vorkettenemissionen mit diesem Emissionsfaktor berechnen zu können, muss er entweder auf den Brennwert bezogen oder der Brennwert des Erdgases in den Heizwert

umgerechnet werden. Da es unerheblich ist, welche Variante gewählt wird, wurde die erste Variante ausgewählt.

Einen Umrechnungsfaktor, der weithin Anwendung findet, wird in der DIN V 18599 bereitgestellt (DIN V 18599 Beiblatt 1, S.14). Die DIN V 18599 findet in der Energieeinsparverordnung (EnEV) im Bereich der energetischen Bilanzierung von Gebäuden Anwendung. Das Verhältnis von Brennwert zu Heizwert wird darin mit einem Wert von 1,11 angegeben.

$$\frac{\text{Brennwert}}{\text{Heizwert}} = 1,11 \rightarrow \frac{\text{Heizwert}}{\text{Brennwert}} = 0,901$$

Der Umrechnungsfaktor gilt nach DIN V 18599 für Erdgas mit einem hohen Methananteil (H-Gas) ($H_s = 11,5 \text{ kWh/m}^3$) und für Erdgas mit niedrigerem Methananteil (L-Gas) ($H_s = 9,8 \text{ kWh/m}^3$). Deswegen wird davon ausgegangen, dass er auch auf das bezogene Erdgas angewendet werden kann, da dessen Brennwert ($H_s = 11,281 \text{ kWh/m}^3$) zwischen den angegebenen Werten für H-Gas und L-Gas liegt.

Mit dem genannten Umrechnungsfaktor ergibt sich ein Emissionsfaktor für Vorkettenemissionen von $9.427 \text{ kg CO}_2\text{e/TJ}$ (H_s).

5.1.2 Kessel – Wärme

Der Emissionsfaktor für Wärme, die im Kessel erzeugt wird, beruht auf den Emissionen des hierfür verbrannten Erdgases sowie dem Wärmeoutput. Der Emissionsfaktor $EF_{\text{Wärme (Kessel)}}$ wird berechnet, indem Emissionen, die im Kessel entstehen $E_{\text{Erdgas (Kessel)}}$, durch den Wärmeoutput Q_{Kessel} des Kessels dividiert werden.

$$EF_{\text{Wärme (Kessel)}} = \frac{E_{\text{Erdgas (Kessel)}}}{Q_{\text{Kessel}}}$$

Die Emissionen des Erdgases, welche durch Verbrennung im Kessel und in der Vorkette entstanden sind, werden in Kapitel 7.1 berechnet. Der Wärmeoutput des Kessels wird in Kapitel 4.3.2 erläutert.

Aus den Emissionen, die bei der Verbrennung entstehen, und den Emissionen aus der Vorkette ergeben sich zwei Emissionsfaktoren. Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Erdgas im Kessel beträgt $55.610,7 \text{ kg CO}_2\text{e/TJ}$, der Emissionsfaktor für die Vorkette beträgt $10.398,4 \text{ CO}_2\text{e/TJ}$. Die Rechnung kann im Anhang unter Tabelle 43, S.XX nachvollzogen werden.

5.1.3 BHKW - Wärme und Strom

Der Emissionsfaktor für Wärme und Strom, die im BHKW erzeugt werden, beruht auf den Emissionen des Erdgases, welches hierfür verbrannt wird. Die Zuweisung der Erdgas-Emissionen auf Wärme und Strom wird anhand der in Kapitel 3.4 beschriebenen *Efficiency Method* durchgeführt. Diese wird einmal für Emissionen angewendet, die beim Verbrennungsprozess entstehen und einmal für Emissionen, die in der Vorkette von Erdgas entstehen.

Als erster Schritt sind die Emissionen für die Verbrennung von Erdgas im BHKW zu berechnen [7.1]. Bei der Verbrennung von 324.294,5 m³ Erdgas entstehen 615.553 kg CO_{2e} direkt bei der Verbrennung und 115.100 kg CO_{2e} in der Vorkette.

Als zweiter Schritt sollen die Output-Mengen Wärme und Strom des BHKW bestimmt werden. Diese sind in Kapitel 4.3.2 zu finden. Der Vollständigkeit wegen sind sie hier noch einmal aufgeführt.

Tabelle 23: Erzeugte Energiemengen BHKW

| Jahr | Wärme (H) | Strom (P) |
|---------------|---------------|---------------|
| Ø (2014-2015) | 1.829.000 kWh | 1.133.052 kWh |

Eigene Darstellung

Im dritten Schritt sollen Wirkungsgrade für die Erzeugung von Wärme und Strom ermittelt werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass Wärme aus demselben Treibstoff effizienter erzeugt werden kann als Strom (WRI und WBCSD 2006, S.7). Als Wirkungsgrade verwendet man die für den jeweiligen Treibstoff (hier Erdgas) üblichen Wirkungsgrade bei der Erzeugung von Wärme und Strom in separaten Kraftwerken/Kesseln.

Verwendet man die BHKW-eigenen Wirkungsgrade, bräuchte man die Rechnung unter Schritt 4 nicht, da die Emissionen immer zur Hälfte auf die erzeugte Wärme und zur anderen Hälfte auf den erzeugten Strom aufgeteilt würden. Dies kann in einem Exkurs im Anhang auf S. XXIV nachvollzogen werden.

Für die Erzeugung von Wärme aus Erdgas soll daher hier ein Brennwertkessel dienen, die effizienteste Lösung, um Wärme aus Erdgas herzustellen. Als Referenzobjekt dient ein aktuelles Modell des Unternehmens Viessmann, welches einen Wirkungsgrad (H_s) von bis zu 98% erreicht (Viessmann 2016, o.S.).

Für den Wirkungsgrad von Strom soll das derzeit effizienteste Gas-und-Dampf-Kraftwerk als Referenzobjekt dienen. Im Hafen von Düsseldorf wurde im Block „Fortuna“ Anfang 2016 ein Netto-Wirkungsgrad von 61,5% erreicht (Hoeren 2016, o.S.). Netto-Wirkungsgrad bedeutet, dass die zum Betrieb benötigte Leistung von der erzeugten Leistung bereits abgezogen wurde. Der Wirkungsgrad ist dabei auf den Heizwert (H_i) bezogen, muss also noch auf den Brennwert (H_s) umgerechnet werden. Hier wird der Umrechnungsfaktor nach DIN V 18599 (DIN V 18599 Beiblatt 1, S.14) von 0,901 (Heizwert/Brennwert) aus Kapitel 5.1.1 verwendet.

| | |
|-------------------------|--|
| Wirkungsgrad für Wärme: | $\eta_{th} = 0,98 (H_s)$ |
| Wirkungsgrad für Strom: | $\eta_{el} = 0,615 (H_i) \cong 0,55 (H_s)$ |

Im vierten und fünften Schritt werden die Emissionen des Erdgases den Output-Energiemengen Wärme und Strom zugeordnet und die Emissionsfaktoren berechnet [Anhang Tabelle 44, S.XXI].

Für Wärme, welche im BHKW erzeugt wird, ergibt sich ein Emissionsfaktor von 44.436,49 kg CO_{2e}/TJ durch die Verbrennung von Erdgas sowie ein Emissionsfaktor von 10.398,44 kg CO_{2e}/TJ für Emissionen in der Vorkette.

Für Strom, der im BHKW erzeugt wird, ergibt sich ein Emissionsfaktor von 79.177,74 kg CO₂e/TJ durch die Verbrennung von Erdgas sowie ein Emissionsfaktor von 14.805,15 kg CO₂e/TJ für Emissionen in der Vorkette.

5.1.4 Bezogener Strom

Für bezogenen Strom wurde ein Emissionsfaktor für die Erzeugung des Stroms und ein Emissionsfaktor für Übertragungs- und Umspannverluste gesucht.

Der von den Stadtwerken Konstanz bezogene Strom wird von der EnergieDienst AG mit Sitz in Laufenburg (CH) produziert. Die Abrechnung des Stromverbrauchs läuft dabei über das Landesamt für Vermögen und Bau. Dieses ist auch für die Aushandlung der Stromtarife zuständig, so dass die Hochschule und die Fakultät BI auf die Zusammensetzung des Strommixes keinen Einfluss haben. Der Strommix, den das Landesamt ausgehandelt hat, besteht zu 100% aus Ökostrom. Die genaue Zusammensetzung des Strommixes ist ausschließlich dem Landesamt für Vermögen und Bau in Stuttgart bekannt und konnte aus Datenschutzgründen nicht ermittelt werden. Die genaue Zusammensetzung des Strommixes ist jedoch für die weitere Berechnung unerheblich, da auf telefonische Anfrage von der EnergieDienst AG versichert wurde, dass der bezogene Strom zu 100% emissionsfrei sei. Der Emissionsfaktor für den bezogenen Strom beträgt daher 0 kg CO₂e/kWh.

Im Prinzip entstehen auch bei der Erzeugung von Ökostrom Emissionen. Zum Beispiel werden bei der Verbrennung von Bio-Erdgas dieselben Emissionen emittiert wie bei Erdgas. Der Unterschied besteht darin, dass Bio-Erdgas aus Pflanzen hergestellt wurde, gewöhnliches Erdgas jedoch aus fossilen Ressourcen. Zum Wachsen entnehmen Pflanzen Ressourcen aus der Natur, welche beim Verbrennen wieder in die Natur zurückgegeben werden. Bilanziell entstehen also keine Emissionen. Die Verbrennung von gewöhnlichem Erdgas lässt Emissionen entstehen, die zuvor (hier wird ein Zeitraum < 1000 Jahre betrachtet) nicht in der Atmosphäre vorhanden waren.

Für Übertragungs- und Umspannverluste bestand in der ProBas-Datenbank kein Emissionsfaktor. Stattdessen konnten Emissionsfaktoren für die Erzeugung von Strom (Deutscher Strommix) sowie für die Erzeugung inklusive Übertragungs- und Umspannverluste gefunden werden. Um einen Emissionsfaktor für die Übertragungs- und Umspannverluste zu erlangen, wurde daher der Emissionsfaktor für die Herstellung *El-KW-Park-DE-2010* (163.264 kg CO₂e/TJ) vom Emissionsfaktor für Herstellung inklusive Übertragungs- und Umspannverluste *Netz-el-DE-lokal-HH/KV-2010* (168.401 kg CO₂e/TJ) subtrahiert. Somit ergibt sich ein Emissionsfaktor Übertragungs- und Umspannverluste von 5.137 kg CO₂e/TJ.

In Tabelle 24 sind die Emissionsfaktoren für Gebäudeenergie zusammengefasst.

Tabelle 24: Emissionsfaktoren Gebäudeenergie

| | | Emissionsfaktor (Erzeugung) | Emissionsfaktor (Vorkette, Übertragungs- und Umspannverluste) |
|------------|-----------|---|---|
| Erdgas | Heizwert | 201,14 g CO ₂ e/kWh 55.871,70 kg CO ₂ e/TJ | 37,67 g CO ₂ e/kWh 10.464,00 kg CO ₂ e/TJ |
| Erdgas | Brennwert | 181,50 g CO ₂ e/kWh 50.415,60 kg CO ₂ e/TJ | 33,94 g CO ₂ e/kWh 9.427,03 kg CO ₂ e/TJ |
| Kessel | Wärme | 200,20 g CO ₂ e/kWh 55.610,68 kg CO ₂ e/TJ | 37,43 g CO ₂ e/kWh 10.398,44 kg CO ₂ e/TJ |
| BHKW | Wärme | 159,97 g CO ₂ e/kWh 44.436,49 kg CO ₂ e/TJ | 29,91 g CO ₂ e/kWh 8.309,01 kg CO ₂ e/TJ |
| BHKW | Strom | 285,04 g CO ₂ e/kWh 79.177,74 kg CO ₂ e/TJ | 53,30 g CO ₂ e/kWh 14.805,15 kg CO ₂ e/TJ |
| Stadtwerke | Strom | 0 g CO ₂ e/kWh 0 kg CO ₂ e/TJ | 18,49 g CO ₂ e/kWh 5.137,00 kg CO ₂ e/TJ |

Eigene Darstellung

5.2 Mobilität

In diesem Kapitel werden Emissionsfaktoren ermittelt, die für die Emissionsbilanzierung der Aktivitäten Fuhrpark und Pendelverkehr von Wichtigkeit sind. Zuerst werden treibstoffspezifische Emissionsfaktoren für Auto und Motorrad ermittelt. Anschließend werden die Emissionsfaktoren für Bus- und Zugverkehr beschrieben bevor der Emissionsfaktor für die Fähre berechnet wird.

Emissionsfaktoren für Mobilität werden zum einen bei der Emissionsbilanzierung des Fuhrparks, zum anderen bei der Bilanzierung der Pendelverkehr-Emissionen angewendet. Sie wurden teilweise vom Umweltbundesamt veröffentlicht (UBA 2016a, o.S.), entstammen teilweise der ProBas-Datenbank und wurden für die Fähre selbst berechnet.

5.2.1 Auto und Motorrad

Die Emissionsfaktoren für Auto und Motorrad sind abhängig vom verwendeten Treibstoff. Auch hier werden je Treibstoffart ein Emissionsfaktor für die Entstehung von Emissionen beim Verbrennungsprozess und ein Emissionsfaktor für die Vorkette ermittelt. Für Elektrofahrzeuge werden ein Emissionsfaktor für die Erzeugung von Strom und ein Emissionsfaktor für Übertragungs- und Umspannverluste ermittelt.

Emissionsfaktoren für den Verbrennungsprozesse wurden dem *Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe* vom Bayerischen Landesamt für Umwelt entnommen (LfU 2009, S.40). Der direkte Emissionsfaktor für Strom wurde der ProBas-Datenbank entnommen und ist dort unter dem Namen *El-KW-Park-DE-2010* in der

Einheit 163.264 kg CO₂e/TJ zu finden und wurde daher in die Einheit kg CO₂e/kWh umgerechnet.

Tabelle 25: Emissionsfaktoren Treibstoff

| Treibstoff | Verbrennungsprozess | Vorkette, Übertragungs- und Umspannverluste | Gesamt |
|------------|---------------------|---|--------------|
| Erdgas | 2,88 kg/kg | 0,699 kg/kg | 3,579 kg/kg |
| Autogas | 1,6 kg/l | 0,205 kg/l | 1,805 kg/l |
| Diesel | 2,63 kg/l | 0,526 kg/l | 3,156 kg/l |
| Benzin | 2,33 kg/l | 0,545 kg/l | 2,875 kg/l |
| Strom | *0,588 kg/kWh | 0,018 kg/kWh | 0,606 kg/kWh |

* Bei Strom wird der Emissionsfaktor für die Stromerzeugung angegeben

Eigene Darstellung in Anlehnung an LfU 2009, S.40

Die Emissionsfaktoren für die Vorkette der verschiedenen Treibstoffe konnten der Pro-Bas-Datenbank entnommen werden. Der Emissionsfaktor für Erdgas (*TankstelleErdgas-CNG-DE-2010*) beinhaltet dabei die Vorkette der Bereitstellung frei Tankstelle inklusive der Kompression auf 200 Bar. Der Emissionsfaktor für Autogas (*Umschlag-DEFlüssiggas (Lkw)-2010*) beinhaltet die Vorkette inklusive des Antransports mit Lkw. Der Emissionsfaktor für Diesel (*TankstelleDiesel-DE-2010 (inkl. Bio)*) beinhaltet die Vorkette für die Bereitstellung frei Tankstelle inklusive NMVOC-Betankungs- und Tankverluste. Der Emissionsfaktor für Benzin (*TankstelleBenzin-DE-2010 (inkl. Bio)*) beinhaltet die Vorkette für die Bereitstellung von Benzin frei Tankstelle exklusive Betankungsverluste. Der Emissionsfaktor für Übertragungs- und Umspannverluste von Strom entspricht dem in Kapitel 5.1.4 beschriebenen Emissionsfaktor. Die Emissionsfaktoren wurden von der Einheit kg CO₂e/TJ in kg CO₂e/kWh umgerechnet.

Für nachfolgende Berechnungen wurden Gesamt-Emissionsfaktoren verwendet, die sowohl die Emissionen der Verbrennungsprozesse als auch die Emissionen der Vorketten, der Übertragungs- und Umspannverluste enthalten.

5.2.2 Bus und Zug

Das Umweltbundesamt stellt für verschiedene Verkehrsmittel Emissionsfaktoren zur Verfügung, die auf die Einheit Personenkilometer bezogen sind. Die Werte geben an, wie viel Emissionen für einen Kilometer pro Person emittiert werden und sind daher deutschlandweite Durchschnittswerte. In Tabelle 26 wurden die Emissionsfaktoren für die Verkehrsmittel Bus, Zug (Nahverkehr) und Zug (Fernverkehr) übernommen. Bei diesen Verkehrsmitteln würde es keinen Sinn machen, Emissionen über die reinen Verbräuche der Verkehrsmittel zu berechnen, da die Anzahl der Personen im Verkehrsmittel variiert und die emittierten Emissionen des Verkehrsmittels durch die Anzahl der Personen geteilt werden muss.

Tabelle 26: Emissionsfaktoren Bus und Zug

| Verkehrsmittel | Emissionsfaktor |
|-------------------|-----------------|
| Linienbus | 76 g/Pkm |
| Zug (Nahverkehr) | 67 g/Pkm |
| Zug (Fernverkehr) | 41 g/Pkm |

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an UBA 2016a, o.S.

Das Bezugsjahr der Daten ist 2014. In den Emissionsfaktoren sind Emissionen aus Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel und Kerosin berücksichtigt. Es können hier keine separaten Emissionsfaktoren für den Verbrennungsprozess und die Vorkette angegeben werden.

5.2.3 Fähre

Der Emissionsfaktor für die Fähre musste aufgrund mangelnder Daten selbst berechnet werden. Die zugrunde liegende Rechnung kann im Anhang [Tabelle 45, S.XXII] nachvollzogen werden.

Zuerst wurde das durchschnittliche Gewicht berechnet, das eine Fähre pro Fahrt transportiert. Hierzu wurden Daten der Stadtwerke Konstanz aus dem Jahresbericht 2014 verwendet. Dieser gibt Auskunft über die Anzahl der Fahrgäste im Jahr 2014 (4,25 Mio.) (Stadtwerke Konstanz 2015, S.4) und die Zahl der beförderten PKW (1,46 Mio.) (Ebd.). Für das Gewicht einer Person wurde der Mittelwert aus dem Deutschen Durchschnitt für Männer (85,2 kg) (Robert Koch Institut 2016a, o.S.) und Frauen (70,7 kg) (Robert Koch Institut 2016b, o.S.) gebildet (77,95 kg). Als durchschnittliches Gewicht eines PKW wurden 1.500 kg angenommen (ICCT 2016, o.S.). Damit konnte das jährlich transportierte Gewicht der Fähren sowie der Gewichtsanteil der Fahrgäste (13%) und der PKW (87%) berechnet werden.

Aus einem Bericht der Motoren- und Turbinen-Union Friedrichshafen (MTU) geht hervor, dass sechs Fähren auf der Strecke zwischen Konstanz und Meersburg im Jahr rund 61.000 Fahrten unternehmen (MTU 2014, S.1). Daraus lässt sich die durchschnittliche Anzahl der Fahrgäste pro Fährefahrt berechnen, welche bei knapp 70 Personen pro Fahrt liegt.

Für die weitere Berechnung des Emissionsfaktors wurden Daten der Fähre „Lodi“ verwendet. Diese besitzt zwei Motoren mit einem durchschnittlichen Verbrauch von je 115 l/h (Ebd., S.2). Alle sechs Fähren auf der Verbindungsstrecke zwischen Konstanz und Meersburg verwenden als Treibstoff Diesel (Ebd., S.3). Die Dauer einer Überfahrt beträgt 14 min für eine Fahrt (Ebd.). Damit lässt sich der Dieserverbrauch pro Fahrt berechnen. Vereinfacht wurde davon ausgegangen, dass die Fähre, während sie im Hafen liegt, keinen Treibstoff verbraucht. Anschließend wurde mit GoogleEarth die Strecke zwischen Konstanzer und Meersburger Anlegestelle gemessen (Luftlinie 4,2 km) und der Treibstoffverbrauch pro Kilometer berechnet. Davon wurde mit dem Gewichtsanteil der Fahrgäste der Treibstoffverbrauch für die Fahrgäste berechnet. Das Ergebnis wurde durch die Anzahl der Fahrgäste pro Fahrt geteilt, um einen Verbrauch pro Person und Kilometer zu erhalten (0,024l/Pkm).

Der Verbrauch pro Person und Kilometer wurde anschließend mit den Emissionsfaktoren für Diesel multipliziert, um einen Emissionsfaktor pro Personenkilometer zu erhalten. Die Emissionsfaktoren für Diesel sind aus Kapitel 5.2.1 bekannt. Für den Verbrennungsprozess ergibt sich ein Emissionsfaktor von 63 g / Pkm und für die Vorkette ein Emissionsfaktor von 13 g / Pkm, zusammen also 76 g / Pkm. Dieser Wert entspricht dem Emissionsfaktor des Busses.

5.3 Papier

In Kapitel 4.6 wurde der Papierverbrauch von Studenten, Mitarbeitern und Professoren in der Einheit „Blatt Papier pro Jahr“ berechnet. Um die Emissionen des Papierverbrauchs zu berechnen, wurde somit ein Emissionsfaktor gesucht, der auf die Anzahl der verbrauchten Blatt Papier angewendet werden kann.

Da weder in der ProBas-Datenbank, noch in der GEMIS-Datenbank Faktoren für Papierseiten bestehen, wurde der Emissionsfaktor aus einem Online CO₂-Rechner ausgelesen. Ausgewählt wurde der KlimAktiv CO₂-Rechner, der von führenden Klimaschutzagenturen (KlimAktiv 2016, o.S.) entwickelt wurde.

Der Emissionsfaktor für Papier ist im Rechner nicht direkt ersichtlich, da ausschließlich Emissionen mit der Anzahl der gedruckten Seiten berechnet werden können. Gibt man jedoch eine sehr große Anzahl gedruckter Seiten an (in diesem Fall 100.000.000), so kann man durch Division der Emissionen durch die Anzahl der Seiten den verwendeten CO₂-Faktor berechnen. Die Rechnung kann im Anhang unter Tabelle 46, S.XXIII nachvollzogen werden. Als Papierart wurde hier Büropapier mit einem Gewicht von 80 g/m² und einer Größe von einer DIN A4-Seite ausgewählt. Die gewählten Emissionsfaktoren sind KlimAktiv-Berechnungen, welche auf Berechnungen des IFEU aus dem Jahre 2012 aufbauen. Für Papier ergibt sich ein Emissionsfaktor von 6,636 g CO₂e/Blatt DIN A4. Welche Emissionen genau enthalten sind, ist leider nicht bekannt.

5.4 Mahlzeiten

In der Umfrage wird zwischen vegetarischem Essen und Mischkost unterschieden. Es wurden daher zwei Emissionsfaktoren gesucht. Auch hier wurden die Emissionsfaktoren aus dem KlimAktiv CO₂-Rechner gewählt (Ebd.) und wie beim Berechnen des Emissionsfaktors für Papier vorgegangen. Die Emissionsfaktoren sind KlimAktiv-Berechnungen aus dem Jahr 2012, welche auf Berechnungen des IFEU aus dem Jahre 2011 aufbauen. Dort wurden die Mahlzeiten für den Karlsruher Stadtgeburtstag 2013 bilanziert. Auch hier wird der Emissionsfaktor nicht direkt genannt, sondern nach Eingabe der Anzahl der Mahlzeiten die berechneten Emissionen angezeigt. Damit lässt sich wie beim Emissionsfaktor für Papier der Faktor für eine Mahlzeit berechnen [Tabelle 47, S. XXIII].

Aus den wählbaren Mahlzeiten wurde die Kategorie *Mischkost konventionell* für Mischkost ausgewählt. Aufgrund der Angabe des Mensa-Betreibers Seezeit, dass ihre Produkte vorzugsweise im Bodenseeraum eingekauft werden (Seezeit Studierenden-

werk Bodensee 2016, o.S.), kann für vegetarische Mahlzeiten der Emissionsfaktor *vegetarisch, regional und saisonal* ausgewählt werden.

Für die Kategorie *Mischkost konventionell* ergibt sich aus genannten Berechnungen ein Emissionsfaktor von 2,107 kg CO₂e/Mahlzeit. Für die Kategorie *vegetarisch, regional und saisonal* ergibt sich ein Emissionsfaktor von 1,481 kg CO₂e/Mahlzeit. Auch hier ist wie beim Emissionsfaktor für Papier nicht bekannt, welche Emissionen enthalten sind.

6. Grenzen und Unsicherheiten

Eine CO₂-Bilanz kann niemals perfekt sein. Das ist auch gar nicht erforderlich, da der Erkenntniszuwachs mit zunehmender Genauigkeit immer kleiner wird. Der Aufwand hierfür wird jedoch immer größer. In diesem Kapitel werden Grenzen und Unsicherheiten der CO₂-Bilanz erläutert.

CO₂-Bilanz: Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, betrachtet eine CO₂-Bilanz ausschließlich potentielle Klimaauswirkungen und lässt andere Umweltauswirkungen außen vor. Man sollte daher nicht zu viel in eine CO₂-Bilanz hineininterpretieren. Eine Verringerung der CO₂-Emissionen kann zum Beispiel dazu führen, dass andere Umweltauswirkungen, wie zum Beispiel die Versauerung terrestrischer und aquatischer Ökosysteme, zunehmen. Möchte man einen umfassenderen Überblick über Umweltauswirkungen einer Aktivität erlangen, bietet sich die Methodik der Ökobilanz an, da hier weitere Umweltauswirkungen betrachtet werden. Auch der Ökologische Fußabdruck kann als Methode Vorteile bieten, da er mehrere Umweltauswirkungen in eine Einheit umrechnet, wodurch Produkte und Aktivitäten gut mit einander verglichen werden können. Nichtsdestotrotz ist eine CO₂-Bilanz aufgrund ihrer Anschaulichkeit ein sehr gutes Instrument um Klimaauswirkungen von Produkten oder Unternehmen zu vergleichen und Verbesserungspotentiale aufzuzeigen.

Zeitintervall: Einige Unsicherheiten ergaben sich durch die Wahl des akademischen Jahres 2014/2015. Die ermittelten Verbräuche für Erdgas, Wärme und Strom konnten nur jahresweise zur Verfügung gestellt werden. Hierdurch kommt es bei der Mittelung der beiden Jahresverbräuche zu einer Ungenauigkeit. Vom akademischen Jahr 2014/2015 befinden sich vier Monate im Kalenderjahr 2014 und acht Monate im Kalenderjahr 2015. Da sich jedoch keine gravierenden Unterschiede in den Verbräuchen der beiden Jahre zeigten, wurde für eine einfachere Berechnung der Mittelwert aus den beiden Jahren gebildet. Des Weiteren konnte eine Umfrage nicht in der Vergangenheit durchgeführt werden, so dass hier die Befragung im Sommersemester 2016 und der gewählte Zeitraum nicht übereinstimmen.

Organisatorische Abgrenzung: In der CO₂-Bilanz der Fakultät BI wurden ausschließlich Aktivitäten von Flächen und Fakultätsangehörigen bilanziert, die in direktem Zusammenhang mit der Fakultät BI stehen. Würde jede Fakultät ihre CO₂-Emissionen nach derselben Abgrenzung bilanzieren, ergäbe die Summe aller Fakultäten nicht die CO₂-Emissionen der gesamten Hochschule. Dies liegt daran, dass Emissionen, die nicht direkt einer Fakultät zugeordnet werden können, nicht bilanziert würden. Dazu gehören zum Beispiel Aktivitäten von Gebäudeflächen und Personen der Verwaltung, Hochschulveranstaltungen, Emissionen von Gästen der Hochschule. Eine Lösung im Hinblick auf eine Gesamtbilanzierung der Hochschule wäre, diese Emissionen gesondert aufzuführen oder angelehnt an Gemeinkosten in der BWL auf die jeweiligen Fakultäten zu übertragen.

Betriebliche Abgrenzung: In der vorliegenden Bilanz werden aufgrund der angewendeten Emissionsfaktoren ausschließlich Emissionen der Gase CO₂, CH₄ und N₂O bilan-

ziert. Aufgrund des geringfügigen Vorkommens der anderen Kyoto-Gase in den betrachteten Aktivitäten wird die hierdurch entstehende Ungenauigkeit jedoch als sehr gering eingeschätzt. Dies liegt auch daran, dass, obwohl vom *GHG Protocol* gefordert, bisher keine Emissionen für flüchtige Kältemittel angegeben werden können [3.1.3]. Weitere Aktivitäten der Fakultät BI könnten unter Scope 3 bilanziert werden. Insbesondere bei Geschäftsreisen und Exkursionen werden weitere Emissionen vermutet.

Gebäude: Die Flächen Fakultät BI [4.1] werden nicht ausschließlich von Angehörigen der Fakultät BI genutzt, sondern in geringem Maße auch von anderen Angehörigen der Hochschule. Jedoch besuchen ebenso Studenten der Fakultät BI Vorlesungen und Übungen in Gebäuden und Räumen, welche zu anderen Fakultäten gehören. Daher wird vereinfacht davon ausgegangen, dass die Nutzung von Gebäuden und Räumen der Fakultät Bauingenieurwesen durch andere Fakultäten und die Nutzung von Gebäuden und Räumen anderer Fakultäten durch die Fakultät Bauingenieurwesen sich in etwa ausgleichen.

Studenten: Die Zahl der Studenten [4.2] ergab sich aus den gemittelten Werten des Wintersemesters 2015 / 2016 und des Sommersemesters 2016. Hier wurde absichtlich von dem gewählten Zeitraum des akademischen Jahres 2014/2015 abgewichen, da die Umfrage erst im Sommersemester 2016 durchgeführt wurde.

Die Anzahl der im Semester anwesenden Studenten repräsentiert nicht die durchschnittliche Anzahl der in Vorlesungen anwesenden Studenten. Bekanntlich entspricht die Zahl der anwesenden Studenten in den seltensten Fällen der Zahl der immatrikulierten Studierenden. Da jedoch die meisten Vorlesungen nicht anwesenheitspflichtig sind, werden über die tatsächlich anwesenden Studierenden keine Daten erhoben.

Die Zahlen der Studierenden im Praxissemester kommen durch die Zahlen der Studierenden im 5. Semester zustande. Das 5. Semester ist in allen Studiengängen der Fakultät BI das Praxissemester. Jedoch könnte es sein, dass manche Studierende in das 5. Semester eingestuft werden, trotzdem aber an der Hochschule anwesend sind. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn Studierende im 5. Semester Prüfungen nachholen und ein Semester später das Praxissemester absolvieren.

Studenten im Auslandssemester werden einberechnet, als befänden sie sich nicht im Auslandssemester. Da für jeden Studenten der Fakultät BI, der an einer Partnerhochschule im Ausland studiert, in der Regel ein Student von der Partnerhochschule an der HTWG studiert, wären die Zahlen ausgeglichen. Nicht berücksichtigt werden dabei sogenannte Freemover, die ihren Studienaufenthalt selbst planen.

Aus datenschutzrechtlichen Gründen kann keine Information über Studierende im Krankheits- oder Urlaubssemester gemacht werden.

Nicht betrachtet wird in der Bilanz der Studiengang MWI, der nur teilweise von der Fakultät BI organisiert wird. Es ist nicht möglich einzelne Studenten des Studienganges der Fakultät BI zuzuordnen. Die Emissionen dieser Studenten könnten wie die allge-

mein anfallenden Emissionen der Verwaltung ebenfalls als „Gemeinkosten“ den Fakultäten zugeordnet werden, die den Studiengang organisieren.

Erzeugung Wärme: In seltenen Fällen kann es vorkommen, dass in den Kesseln Öl verbrannt wird. Dies ist zum einen für Testzwecke der Fall. Zum anderen kann es in besonders kalten Wintern vorkommen, dass von den Stadtwerken Konstanz verlangt wird, mit Öl zu heizen, um die Gasversorgung im gesamten Stadtgebiet aufrecht zu erhalten. Dies ist vertraglich geregelt. Da der Ölverbrauch im Vergleich zum Gasverbrauch verschwindend gering ist und keine exakten Werte der Jahre 2014 und 2015 vorliegen, wird auf eine Emissionsberechnung des verbrauchten Öls verzichtet.

Wärmeverbrauch: Ein Teil der erzeugten Wärme geht auf dem Weg von Kessel und BHKW zum jeweiligen Gebäude verloren. Dieser Verlust wird nicht bilanziert. Er könnte bei einer Emissionsbilanzierung der gesamten Hochschule entweder als einzelne Aktivität oder als „Gemeinkosten“ den jeweiligen Gebäuden zugeordnet werden.

Der Wärmeverbrauch des U-Gebäudes wurde aufgrund mangelnder Daten anhand der Wärmeverbräuche der Gebäude C und G geschätzt. Tatsächlich sollte der Wärmeverbrauch dieses Gebäudes deutlich besser ausfallen, da es 2013 erbaut wurde und eine bessere Dämmung besitzt als die anderen beiden Gebäude. Die Emissionen werden hier somit vermutlich überschätzt.

Möchte man die Emissionswerte für Heizenergie mit anderen Jahren vergleichen, macht es Sinn, Rechnungen mit klimabereinigten Werten durchzuführen. Hierdurch können größere Verbräuche oder geringere Verbräuche durch Einsparmaßnahmen trotz Klimaschwankungen erkenntlich gemacht werden. In dieser Arbeit wird keine Klimabereinigung durchgeführt, weil Emissionen für ein spezifisches Jahr berechnet werden, welches nicht mit anderen Jahren verglichen wird.

Durchführung der Umfrage: Die E-Mails mit dem Link der Umfrage wurden an jeden Studenten zur selben Uhrzeit versendet. Es kann jedoch nicht sichergestellt werden, dass beispielsweise durch einen überfüllten E-Mail Speicher alle E-Mails (zeitgleich) ankamen. Des Weiteren wählten sich die Stichproben gewissermaßen selbst aus, da nur Personen an der Umfrage teilnahmen, die sich gewissermaßen dafür interessierten. Dies führte vermutlich dazu, dass deutlich mehr Studenten des Studienganges URB teilnahmen als von anderen Studiengängen. Durch die gewichtete Hochrechnung der Emissionen nach Studiengang wurde versucht, diese Ungenauigkeit auszugleichen.

Hochrechnung der Emissionen: Berechnete Emissionen für Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten können nur eine Annäherung darstellen, da mittels einer Hochrechnung von Stichprobenwerten auf die jeweilige Grundgesamtheit geschlossen wird. Für eine genaue Emissionsbilanzierung müsste eine Vollerhebung durchgeführt werden. Ob diese jedoch weitere Erkenntnisse bei angemessenem Aufwand bringt, ist fraglich.

Pendelverkehr: Die abgefragten Strecken pro Verkehrsmittel stellen nur eine Näherung dar. Die genaue Strecke pro Verkehrsmittel und Person zu ermitteln, stellt eine fast un-

mögliche Aufgabe dar, da jede Person genau dokumentieren müsste, welche Strecke sie mit welchem Verkehrsmittel zurückgelegt hat, um an die Hochschule zu gelangen. Zusätzlich müsste ein Weg gefunden werden, Strecken nur teilweise zu bilanzieren, wenn der Weg zur Hochschule nicht der einzige Grund der zurückgelegten Strecke ist. Daher werden die Strecken der einzelnen Verkehrsmittel durch die Umfrage so genau wie möglich bei vertretbarem Aufwand ermittelt.

Papier: Der Papierverbrauch der Fakultät BI beschreibt ausschließlich die Menge an Papier, die direkt an Druckern der Hochschule verbraucht wird. Die Menge an Papier, die von Studenten zu Hause oder in einem Copy-Shop verbraucht wird, ist in dieser Arbeit nicht erfasst. Des Weiteren wird der Papierverbrauch durch die Umfragewerte geschätzt. Direkte Verbrauchsdaten der Drucker stehen der Hochschule nicht zur Verfügung, da diese von einem externen Unternehmen betrieben werden. Die Emissionen von Papier werden anhand der Umfrageergebnisse geschätzt und wurden nicht gemessen. In der Umfrage könnte es außerdem zu Verwechslungen der Begriffe „Seite“- und „Blatt“-Papier gekommen sein, da diese Begriffe teilweise synonym verwendet werden.

Mahlzeiten: In der Bilanz werden ausschließlich Emissionen von Mahlzeiten bilanziert, die in der Mensa konsumiert wurden [3.1.5] [4.7]. Weitere Emissionen entstehen beim Konsum von Mahlzeiten außerhalb der Hochschule oder durch mitgebrachte Mahlzeiten. Aus oben genannten Gründen hat die Fakultät BI auf diese Mahlzeiten deutlich weniger Einfluss, so dass sie hier nicht bilanziert werden.

Emissionsfaktoren: Alle verwendeten Emissionsfaktoren basieren auf getroffenen Annahmen, die in der jeweiligen Quelle vertiefend nachgelesen werden können. Durch die Unterteilung in Emissionen, die bei einem Verbrennungsprozess oder der Erzeugung von Strom entstehen und in Emissionen, die in der Vorkette oder bei Übertragungs- und Umspannverlusten entstehen, können Unsicherheiten besser zugeordnet werden. Die Werte der Emissionen, die im Verbrennungsprozess entstehen, werden als sehr genau angesehen, da ihnen chemische Formeln zu Grunde liegen. Bei Emissionen in der Vorkette kann es jedoch zu deutlich größeren Unsicherheiten kommen, je nachdem welche Emissionen berücksichtigt werden. Was genau in den Vorketten angenommen und berücksichtigt wurde kann in den jeweiligen Quellen nachvollzogen werden.

Bei den Emissionsfaktoren für Papier und Mahlzeiten scheint es die größten Unsicherheiten zu geben. So gibt es auch bei Büro-Papier deutliche Unterschiede, was die Emissionen betrifft. Für weitere Berechnungen wäre es hier vorteilhaft, die genauen Emissionen des verwendeten Papiers zu ermitteln. Es ist bekannt, dass verschiedene Papiersorten an der HTWG verwendet werden, was es zu berücksichtigen gilt.

Die Emissionsfaktoren für Mahlzeiten wurden aufgrund mangelnder Alternativen ausgewählt. Da diese für ein einmaliges Event ermittelt wurden, werden die Emissionen für Mahlzeiten als geschätzt angesehen und sollen ausschließlich dazu dienen, einen groben Anhaltspunkt für die Emissionen zu erhalten, welche durch den Konsum von Mahlzeiten entstehen. In weiteren Forschungen könnten spezifische Emissionswerte der Mahlzeiten ermittelt werden.

7. Emissionen

In diesem Kapitel werden die Emissionen für die einzelnen Aktivitäten ermittelt. Zuerst werden Emissionen des bezogenen Erdgases für BHKW und Kessel getrennt ermittelt [7.1]. Sie werden benötigt, um die Emissionsfaktoren für Wärme [5.1.2] und Strom [5.1.3] zu berechnen. Anschließend werden die Emissionen des Gebäudeenergieverbrauchs der Fakultät BI in den jeweiligen Gebäuden berechnet [7.2, 7.3]. Danach werden die Emissionen des Fuhrparks bilanziert [7.4]. Für die Emissionen des Pendelverkehrs [7.5], des Papierverbrauchs [7.6] und der Mensa-Mahlzeiten [7.7] wird zuerst ein durchschnittlicher Emissionswert der Stichproben ermittelt, bevor anhand einer Punktschätzung [3.5.5] auf die jeweilige Grundgesamtheit geschlossen wird.

7.1 Erdgas

Die Masse der Emissionen, die bei der Verbrennung des Erdgases entstehen, wird benötigt, um die Emissionsfaktoren für Wärme und Strom zu berechnen. Mit dem Emissionsfaktor für den Verbrennungsprozess und den Emissionsfaktor für die Vorkette erhält man für den Erdgasverbrauch in Kessel und BHKW jeweils zwei verschiedene Emissionswerte.

Tabelle 27: Emissionen des Erdgases

| Energie | | | BHKW | Kessel |
|-----------------|---------------------------------|-------|---|---|
| A | Bezogene Energiemenge (H_s) | | 12,210 TJ | 5,643 TJ |
| Emissionsfaktor | | | | |
| B | Verbrennungsprozess (H_s) | | 50.415,6 kg CO ₂ e/TJ | 50.415,6 kg CO ₂ e/TJ |
| C | Vorkette (H_s) | | 9.427,0 kg CO ₂ e/TJ | 9.427,0 kg CO ₂ e/TJ |
| Emissionen | | | | |
| D | Verbrennungsprozess | B x A | 615.552,6 kg CO ₂ e 615,553 t CO ₂ e | 284.482,0 kg CO ₂ e 284,482 t CO ₂ e |
| E | Vorkette | C x A | 115.099,9 kg CO ₂ e 115,100 t CO ₂ e | 53.194,2 kg CO ₂ e 53,194 t CO ₂ e |

Eigene Darstellung

Im BHKW entstehen bei der Verbrennung von 12,210 TJ Erdgas 616 t CO₂e bei der Verbrennung und 115 t CO₂e in der Vorkette. Im Kessel entstehen bei der Verbrennung von 5,643 TJ Erdgas 284 t CO₂e bei der Verbrennung und 53 t CO₂e in der Vorkette [Tabelle 27].

7.2 Wärme

Die Emissionen der Wärme beruhen auf den Emissionen des Erdgases. Auch können Emissionen unterschieden werden, die beim Verbrennungsprozess entstehen und Emissionen, die in der Vorkette entstehen. Auf dem Weg von Kessel/BHKW kann Wärme verloren gehen, was jedoch in der Rechnung nicht betrachtet wird [6]. Bei den Berechnungen der Wärmeemissionen der Campusgebäude und des U-Gebäudes wird ausschließlich der Anteil der Fakultät BI im jeweiligen Gebäude berücksichtigt.

Gebäude C + G

In Kapitel 4.3.5 wurde der Wärmeverbrauch der Fakultät BI in den Gebäuden C und G berechnet sowie der erzeugte Anteil des BHKW und des Kessels ermittelt. Die Wärmemengen werden nun mit den jeweiligen Emissionsfaktoren für Wärme [5.1.2, 5.1.3] multipliziert.

Tabelle 28: Emissionen für Wärme in den Gebäuden C + G (Anteil Fakultät BI)

| Wärmeverbrauch der Fakultät BI | | | Gebäude C | Gebäude G |
|--------------------------------|----------------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------|
| A | Erzeugt mit BHKW | | 0,238 TJ | 0,155 TJ |
| B | Erzeugt mit Kessel | | 0,185 TJ | 0,120 TJ |
| Emissionsfaktoren | | | | |
| C | BHKW Verbrennungsprozess | | 44.436,5 kg CO ₂ e/TJ | 44.436,5 kg CO ₂ e/TJ |
| D | BHKW Vorkette | | 8.309,0 kg CO ₂ e/TJ | 8.309,0 kg CO ₂ e/TJ |
| E | Kessel Verbrennungsprozess | | 55.610,7 kg CO ₂ e/TJ | 55.610,7 kg CO ₂ e/TJ |
| F | Kessel Vorkette | | 10.398,4 kg CO ₂ e/TJ | 10.398,4 kg CO ₂ e/TJ |
| Emissionen | | | | |
| G | BHKW Verbrennungsprozess | C x A | 10.559,3 kg CO ₂ e | 6.889,8 kg CO ₂ e |
| H | BHKW Vorkette | D x A | 1.974,4 kg CO ₂ e | 1.288,3 kg CO ₂ e |
| I | Kessel Verbrennungsprozess | E x B | 10.266,8 kg CO ₂ e | 6.698,9 kg CO ₂ e |
| J | Kessel Vorkette | F x B | 1.919,7 kg CO ₂ e | 1.252,6 kg CO ₂ e |
| K | Gesamt | G+H+I+J | 24.720,2 kg CO ₂ e | 16.129,7 kg CO ₂ e |

Eigene Darstellung

Für den Wärmeverbrauch der Fakultät BI im Gebäude C werden 24,7 t CO₂e emittiert, die in Emissionen des Kessels und des BHKW, sowie in den Verbrennungsprozess und Vorkettenemissionen eingeteilt werden können. Für den Wärmeverbrauch der Fakultät in Gebäude G werden 16,1 t CO₂e emittiert [Tabelle 28].

Gebäude U

In Kapitel 4.3.4 wurde der Wärmeverbrauch für das Erdgeschoss des U-Gebäudes anhand der Verbrauchswerte der Gebäude C und G berechnet. Da alle Flächen im Erdgeschoss von der Fakultät BI genutzt werden, entspricht dieser Wärmeverbrauch von 0,159 TJ auch der Fakultät BI im Gebäude U. Da die Wärme im Gebäude U von einem BHKW zur Verfügung gestellt wird, aber keine weiteren Informationen über das BHKW vorliegen, werden für die Berechnung der Wärmeemissionen im Gebäude U die Emissionsfaktoren des hochschuleigenen BHKW für Wärme genutzt [5.1.3].

Tabelle 29: Emissionen für Wärme im Gebäude U (Anteil Fakultät BI)

| Wärmeverbrauch der Fakultät BI | | | Gebäude U |
|--------------------------------|--------------------------|-------|----------------------------------|
| A | Erzeugt mit BHKW | | 0,159 TJ |
| Emissionsfaktoren | | | |
| B | BHKW Verbrennungsprozess | | 55.610,7 kg CO ₂ e/TJ |
| C | BHKW Vorkette | | 10.398,4 kg CO ₂ e/TJ |
| Emissionen | | | |
| D | BHKW Verbrennungsprozess | B x A | 8.864,2 kg CO ₂ e |
| E | BHKW Vorkette | C x A | 1.657,5 kg CO ₂ e |
| F | Gesamt | D + E | 10.521,7 kg CO ₂ e |

Eigene Darstellung

Aus der Multiplikation des berechneten Wärmeverbrauchs im U-Gebäude mit den Emissionsfaktoren für Wärme, welche im BHKW erzeugt wird, ergeben sich 8.864 kg CO_{2e} Emissionen, welche im Verbrennungsprozess entstehen und 1.658 kg CO_{2e}, die in der Vorkette entstehen [Tabelle 29].

7.3 Strom

Emissionen für Strom können unterteilt werden in BHKW-Emissionen und Ökostrom-Emissionen. Emissionen, die bei der Erzeugung von Strom im BHKW entstehen, können weiter unterteilt werden in Emissionen, die bei der Verbrennung entstehen und Emissionen, die in der Vorkette entstehen. Bei der Erzeugung von Ökostrom entstehen bilanziell keine Emissionen. Es entstehen aber Emissionen aus Übertragungs- und Umspannverlusten.

Wie bei der Emissionsbilanzierung von Wärme wird ausschließlich der Anteil der Fakultät BI bei den Berechnungen der Stromemissionen im jeweiligen Gebäude berücksichtigt.

Gebäude C + G

In Kapitel 4.3.5 wurde der Stromverbrauch der Fakultät BI in den Gebäuden C und G berechnet sowie der erzeugte Anteil des BHKW und der bezogene Anteil der Stadtwerke. Beide Strommengen werden nun mit den entsprechenden Emissionsfaktoren für Strom multipliziert [5.1.3, 5.1.4].

Tabelle 30: Emissionen für Strom in den Gebäuden C + G (Anteil Fakultät BI)

| Stromverbrauch der Fakultät BI | | | Gebäude C | Gebäude G |
|--------------------------------|--|---------|----------------------------------|----------------------------------|
| A | Erzeugt mit BHKW | | 0,080 TJ | 0,036 TJ |
| B | Bezogen von Stadtwerken | | 0,083 TJ | 0,037 TJ |
| Emissionsfaktoren | | | | |
| C | BHKW Verbrennungsprozess | | 79.177,7 kg CO _{2e} /TJ | 79.177,7 kg CO _{2e} /TJ |
| D | BHKW Vorkette | | 14.805,2 kg CO _{2e} /TJ | 14.805,2 kg CO _{2e} /TJ |
| E | Stadtwerke Erzeugung | | 0,0 kg CO _{2e} /TJ | 0,0 kg CO _{2e} /TJ |
| F | Stadtwerke Übertragungs- und Umspannverluste | | 5.137,0 kg CO _{2e} /TJ | 5.137,0 kg CO _{2e} /TJ |
| Emissionen | | | | |
| G | BHKW Verbrennungsprozess | C x A | 6.361,0 kg CO _{2e} | 2.839,0 kg CO _{2e} |
| H | BHKW Vorkette | D x A | 1.189,4 kg CO _{2e} | 530,9 kg CO _{2e} |
| I | Stadtwerke Erzeugung | E x B | 0,0 kg CO _{2e} | 0,0 kg CO _{2e} |
| J | Stadtwerke Übertragungs- und Umspannverluste | F x B | 425,4 kg CO _{2e} | 189,9 kg CO _{2e} |
| K | Gesamt | G+H+I+J | 7.975,9 kg CO _{2e} | 3.559,7 kg CO _{2e} |

Eigene Darstellung

Für den Stromverbrauch der Fakultät BI im Gebäude C werden 8,0 t CO_{2e} emittiert, die in Emissionen des BHKW und der Stadtwerke unterteilt werden sowie in den Verbrennungsprozess und Vorkettenemissionen eingeteilt werden können. Für den Stromverbrauch der Fakultät BI in Gebäude G werden 3,6 t CO_{2e} emittiert [Tabelle 30].

Gebäude U

In Kapitel 4.3.5 wurde der Stromverbrauch der Fakultät BI im U-Gebäude berechnet. Da der gesamte Strom im U-Gebäude von den Stadtwerken bezogen wird, werden hier auch ausschließlich die Emissionsfaktoren des bezogenen Stroms angewendet. Der bezogene Strommix ist nach Angaben des *Landesamts für Vermögen und Bau Konstanz* derselbe, der auch von der HTWG bezogen wird, also zu 100% Ökostrom. Mit den Emissionsfaktoren für bezogenen Strom [5.1.4], ergeben sich 0 kg CO₂e Emissionen, die bei der Erzeugung entstehen, sowie 275,9 kg CO₂e Emissionen durch Übertragungs- und Umspannverluste [Tabelle 31].

Tabelle 31: Emissionen für Strom im Gebäude U (Anteil Fakultät BI)

| Stromverbrauch der Fakultät BI | | | Gebäude U |
|--------------------------------|-------------------------|-------|---------------------------------|
| A | Bezogen von Stadtwerken | | 0,054 TJ |
| Emissionsfaktoren | | | |
| B | Stadtwerke direkt | | 0,0 kg CO ₂ e/TJ |
| C | Stadtwerke indirekt | | 5.137,0 kg CO ₂ e/TJ |
| Emissionen | | | |
| D | Stadtwerke direkt | B x A | 0,0 kg CO ₂ e |
| E | Stadtwerke indirekt | C x A | 275,9 kg CO ₂ e |
| F | Gesamt | D+E | 275,9 kg CO ₂ e |

Eigene Darstellung

7.4 Fuhrpark

Um die Emissionen des Busses zu berechnen, wird der Treibstoffverbrauch im akademischen Jahr 2014/2015 [4.4] mit den entsprechenden Emissionsfaktoren für Benzin [5.2.1] multipliziert.

Tabelle 32: Emissionen Fuhrpark

| Treibstoffverbrauch | | | VW Bus |
|---------------------|----------------------------|-------|-----------------------------|
| A | Wintersemester 2014/2015 | | 697,25 l |
| B | Sommersemester 2015 | | 516,35 l |
| C | Gesamt | | 1213,60 l |
| Emissionsfaktoren | | | |
| D | Benzin Verbrennungsprozess | | 2,33 kg CO ₂ e/l |
| E | Benzin Vorkette | | 0,55 kg CO ₂ e/l |
| Emissionen | | | |
| F | Benzin Verbrennungsprozess | D x C | 2827,7 kg CO ₂ e |
| G | Benzin Vorkette | E x C | 661,5 kg CO ₂ e |
| H | Gesamt | F + G | 3489,2 kg CO ₂ e |

Eigene Darstellung

Der VW Bus emittierte im akademischen Jahr 2014/2015 2,8 t CO₂e durch Verbrennung von Benzin sowie 0,7 t CO₂e, die in der Vorkette von Benzin entstanden [Tabelle 32].

7.5 Pendelverkehr

Die Emissionen des Pendelverkehrs, des Papierverbrauchs und der Mensa-Mahlzeiten werden für Studenten, Mitarbeiter und Professoren getrennt betrachtet.

Um sie zu berechnen werden aus den Angaben in der Umfrage die Emissionen für jedes Stichprobenelement, also für jede befragte Person, berechnet. Anschließend wird der Mittelwert für jede Stichprobe, also für die verschiedenen Studiengänge, für männliche und weibliche Mitarbeiter und für männliche und weibliche Professoren gebildet. Von den berechneten Mittelwerten wird anschließend mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit die Emissionen der jeweiligen Grundgesamtheit geschätzt. Diese werden addiert, um Emissionen für die Gruppen der Studenten, Mitarbeiter und Professoren zu erhalten, welche summiert die Emissionen der Aktivitäten Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten darstellen.

Die Pendelverkehr-Emissionen eines befragten Fakultätsangehörigen ergeben sich aus den jährlich zurückgelegten Strecken der verwendeten Verkehrsmittel. Bei den mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegten Strecken entstehen keine Emissionen. Die Emissionen für Bus, Zug und Fähre ergeben sich aus der zurückgelegten Strecke multipliziert mit den jeweiligen Emissionsfaktoren. Die Emissionen für Auto (E_{Auto}) und Motorrad/Roller ergeben sich aus den zurückgelegten jährlichen Strecken (S_{Auto}), dem Treibstoffverbrauch ($VB_{\text{Treibstoff}}$), dem Emissionsfaktor des jeweiligen Treibstoffs ($EF_{\text{Treibstoff}}$) und der durchschnittlichen Anzahl der Mitfahrer. Die Berechnung wird in folgender Formel am Beispiel der Auto-Emissionen dargestellt.

$$E_{\text{Auto}}[\text{kg } CO_2e] = S_{\text{Auto}}[\text{km}] * \emptyset VB_{\text{Treibstoff}} \left[\frac{\text{l}}{100\text{km}} \right] * EF_{\text{Treibstoff}} \left[\frac{\text{kg } CO_2e}{\text{l}} \right] * \frac{1}{\emptyset \text{ Anz. Mitfahrer}}$$

In diesem Kapitel sind ausschließlich die Mittelwerte der Stichproben und die Hochrechnung auf die Grundgesamtheit angegeben. Die angewendete Punktschätzung [3.5.5] befindet sich im Anhang ab Seite XXXVI.

Studenten

In Abb. 26 sind die durchschnittlichen Emissionswerte pro Student aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die Emissionen pro Studiengang in Abb. 27 errechnet.

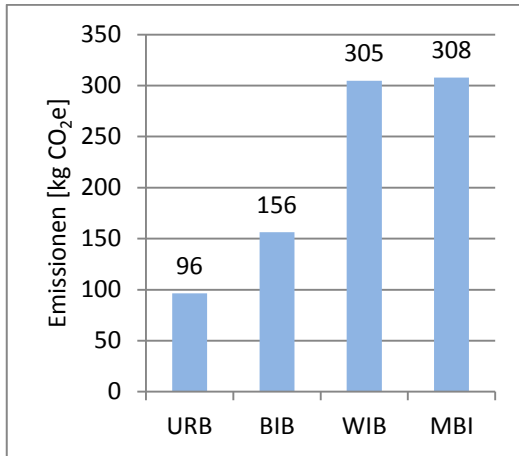


Abb. 26: Durchschnittliche Emissionen pro Student (Pendelverkehr)

Eigene Darstellung

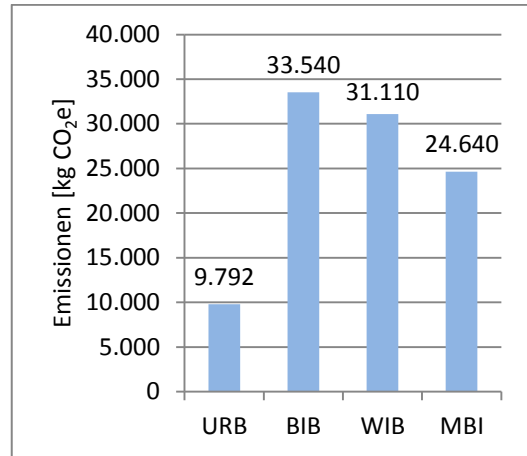


Abb. 27: Gesamt-Emissionen Pendelverkehr (Student)

Eigene Darstellung

Die durchschnittlichen Emissionswerte der Studenten unterscheiden sich deutlich zwischen den Studiengängen. Gut zu erkennen ist, dass der Umweltstudiengang URB mit Abstand die geringsten durchschnittlichen Emissionen aufweist. Studenten des Studiengangs BIB emittieren im Durchschnitt die Hälfte mehr, die Studiengänge WIB und MBI sogar etwa dreimal so viel.

Durch die Anzahl der Studenten im jeweiligen Studiengang werden die geringen Emissionen der URB Studenten im Vergleich zu den anderen Studiengängen noch ausgeprägter. Trotz geringer durchschnittlicher Emissionen wird durch die große Anzahl der Studenten der Studiengang BIB zum größten Emittenten von Emissionen bezüglich des Pendelverkehrs.

Mitarbeiter

In Abb. 28 sind die durchschnittlichen Emissionswerte der männlichen und weiblichen Mitarbeiter aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die gesamten Emissionen von männlichen und weiblichen Mitarbeitern in Abb. 29 errechnet.

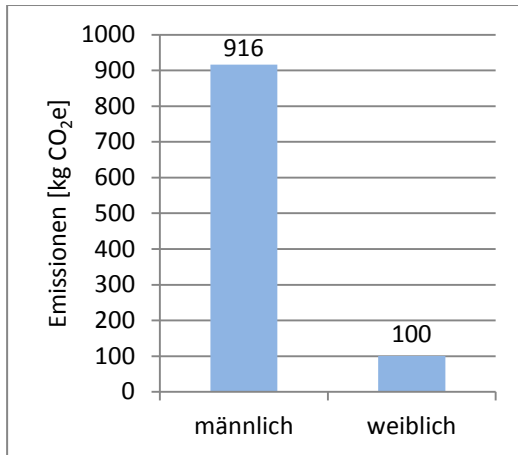


Abb. 28: Durchschnittliche Emissionen pro Mitarbeiter (Pendelverkehr)

Eigene Darstellung

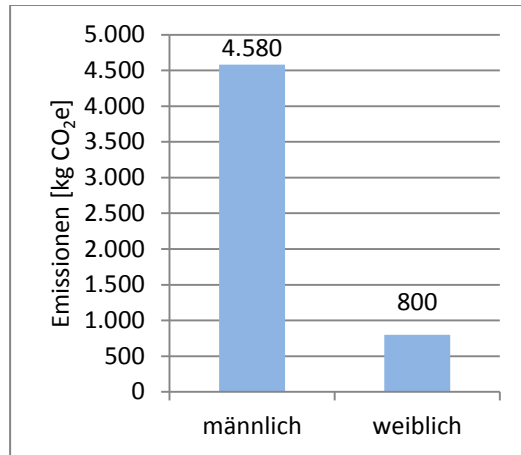


Abb. 29: Gesamt-Emissionen Pendelverkehr (Mitarbeiter)

Eigene Darstellung

Die durchschnittlichen Emissionen der Mitarbeiter weisen große Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Mitarbeitern auf. Männliche Mitarbeiter emittieren im Schnitt mehr als neun Mal so viele Emissionen wie ihre weiblichen Kolleginnen.

Auch durch die größere Anzahl der Mitarbeiterinnen wird dieser Unterschied bei den Gesamtemissionen nicht egalisiert. Der Gesamtwert der Mitarbeiterinnen liegt unter den durchschnittlichen Emissionen eines einzelnen männlichen Mitarbeiters. Im Vergleich zu den durchschnittlichen Emissionen der Studenten liegt der Wert männlicher Mitarbeiter deutlich darüber. Weibliche Mitarbeiter hingegen emittieren im Schnitt nur geringfügig mehr Emissionen als Studenten des Studiengangs URB.

Professoren

In Abb. 30 sind die durchschnittlichen Emissionswerte der männlichen und weiblichen Professoren aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die gesamten Emissionen von männlichen und weiblichen Professoren in Abb. 31 errechnet.

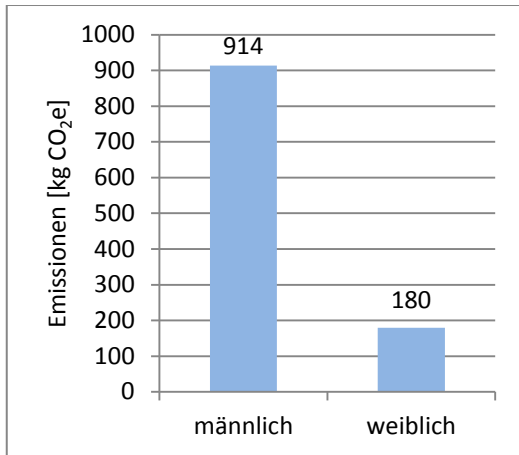


Abb. 30: Durchschnittliche Emissionen pro Professor (Pendelverkehr)

Eigene Darstellung

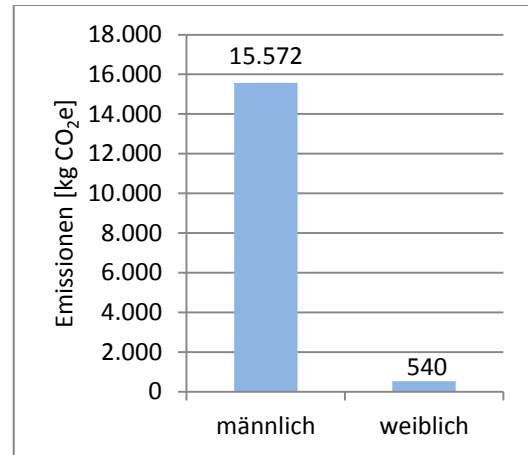


Abb. 31: Gesamt-Emissionen Pendelverkehr (Professor)

Eigene Darstellung

Der Wert der Emissionen männlicher Professoren liegt mit 914 kg CO₂e nur geringfügig unter dem männlicher Mitarbeiter (916 kg CO₂e). Der Wert weiblicher Professoren (180 kg CO₂e) liegt etwas über dem Wert weiblicher Mitarbeiter (100 kg CO₂e), ist aber im Verhältnis zum Wert männlicher Professoren dennoch gering.

Die im Verhältnis große Anzahl männlicher Professoren führt zu einem großen Wert der gesamten Emissionen männlicher Professoren. Da nur drei Professorinnen an der Fakultät BI tätig sind, liegen deren Gesamtemissionen unter den durchschnittlichen Emissionen eines männlichen Professors.

Die gesamten hochgerechneten Emissionen der Fakultät BI, die durch Pendelverkehr von Studenten, Mitarbeitern und Professoren entstehen, sind folgendermaßen aufgeteilt [Abb. 32]:

Die Masse der Emissionen, welche durch Studenten emittiert werden, liegt bei fast 100 t CO₂e. Sie machen 82% der Emissionen durch Pendelverkehr aus. Mitarbeiter machen mit etwas über fünf Tonnen CO₂e etwa 5% der Emissionen aus. Der Anteil der Emissionen von Professoren liegt mit etwas über 16 Tonnen CO₂e bei etwa 13% der Emissionen.

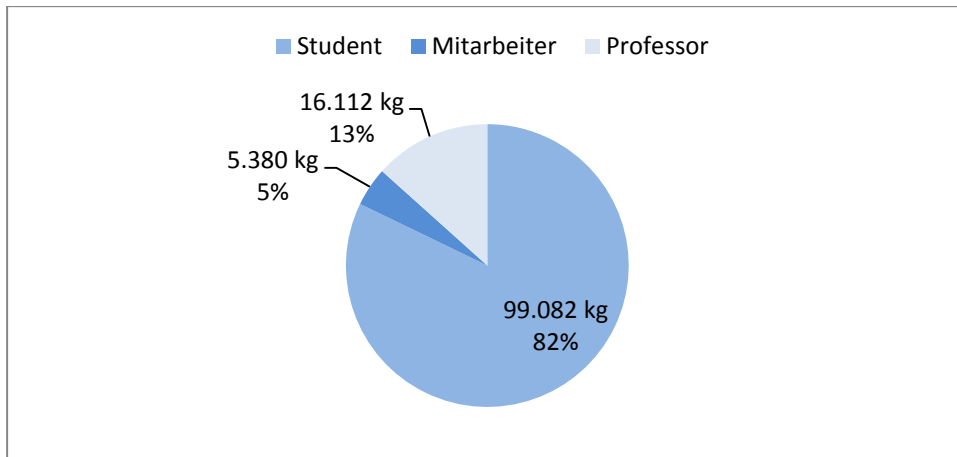


Abb. 32: Pendelverkehr-Emissionen Gesamt [CO₂e]

Eigene Darstellung

7.6 Papier

Das Vorgehen zur Berechnung der Papierverbrauchs-Emissionen unterscheidet sich nicht vom Vorgehen zur Berechnung der Pendelverkehr-Emissionen [7.5]. In diesem Kapitel sind ausschließlich die Mittelwerte der Stichproben und die Hochrechnung auf die Grundgesamtheit angegeben. Die angewandte Punktschätzung [3.5.5] befindet sich im Anhang ab Seite XXXVII.

Die Papierverbrauchs-Emissionen eines befragten Fakultätsangehörigen ergeben sich aus seinem jährlichen Papierverbrauch. Berücksichtigt wird nur der Papierverbrauch an der Hochschule. Papier, das außerhalb der Hochschule ausgedruckt und kopiert wird, ist nicht berücksichtigt. Die Anzahl der bedruckten Blatt Papier wird dazu mit dem Emissionsfaktor für Papier multipliziert.

Studenten

In Abb. 33 sind die durchschnittlichen Emissionswerte pro Student aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die Emissionen pro Studiengang in Abb. 34 errechnet.

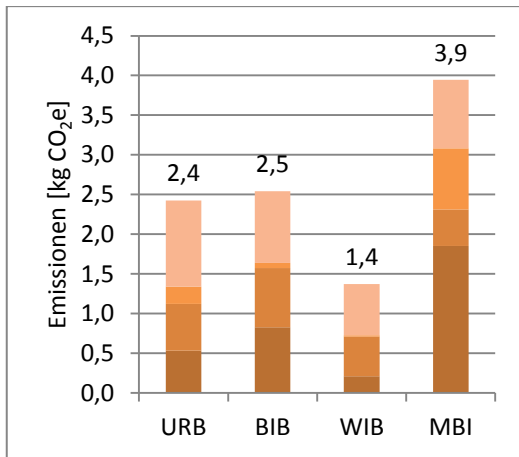


Abb. 33: Durchschnittliche Emissionen pro Student (Papier)

Eigene Darstellung

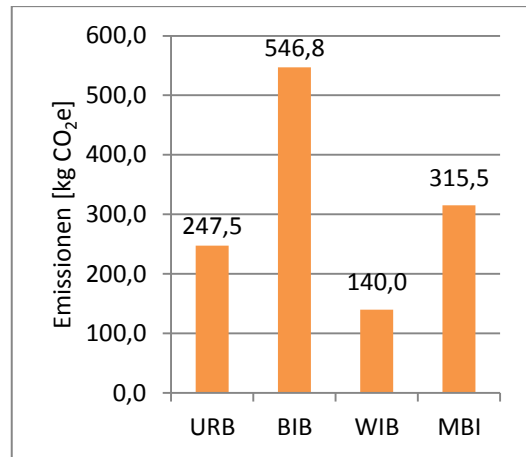


Abb. 34: Gesamt-Emissionen Papier (Student)

Eigene Darstellung

Da die durchschnittlichen Emissionen ausschließlich vom Emissionsfaktor und dem Verbrauch abhängen, sind die durchschnittlichen Emissionen pro Student kohärent zu den durchschnittlichen Papierverbräuchen.

Durch Multiplikation mit der Anzahl der Studenten pro Studiengang ergeben sich die Gesamt-Emissionen der einzelnen Studiengänge. Hier ist der Studiengang BIB aufgrund der großen Anzahl von Studenten mit 564 kg CO₂e mit Abstand größter Emittent. Der Studiengang WIB, der durchschnittlich die geringsten Emissionen aufweist, ist hochgerechnet mit 140 kg CO₂e auch der Studiengang mit den geringsten Gesamt-Emissionen. Durch die geringe Anzahl der Studenten werden die durchschnittlichen Emissionen des Studiengangs MBI relativiert. Dieser liegt mit 315 kg CO₂e Gesamt-Emissionen unmittelbar vor dem Studiengang URB mit 248 kg CO₂e.

Mitarbeiter

In Abb. 35 sind die durchschnittlichen Emissionswerte der männlichen und weiblichen Mitarbeiter aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die gesamten Emissionen von männlichen und weiblichen Mitarbeitern in Abb. 36 errechnet.

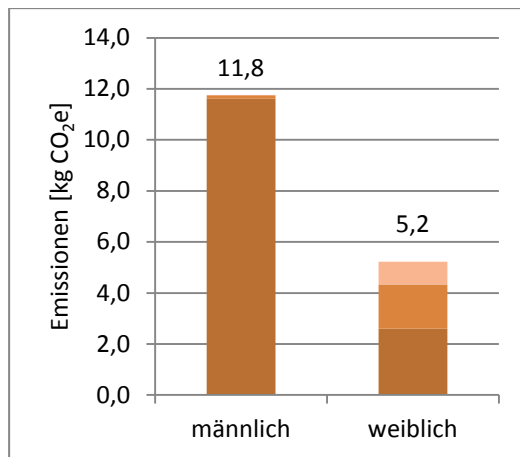


Abb. 35: Durchschnittliche Emissionen pro Mitarbeiter (Papier)

Eigene Darstellung

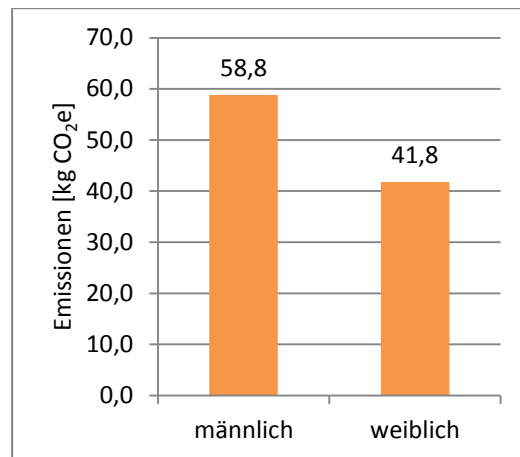


Abb. 36: Gesamt-Emissionen Papier (Mitarbeiter)

Eigene Darstellung

Die durchschnittlichen Emissionen von Mitarbeitern sind ebenfalls kohärent zu den durchschnittlichen Papierverbräuchen. Männliche Mitarbeiter emittieren im Durchschnitt 11,8 kg CO₂e pro Jahr, weibliche hingegen nur 5,2 kg CO₂e pro Jahr. Die höhere Anzahl von weiblichen Mitarbeitern relativiert jedoch die Emissionen in den Grundgesamtheiten. Hochgerechnet sind männliche Mitarbeiter für 58,8 kg CO₂e der Papieremissionen verantwortlich, weibliche Mitarbeiter für 41,8 kg CO₂e. Ein männlicher Mitarbeiter emittiert im Durchschnitt etwa so viel wie vier Studenten zusammen.

Professoren

In Abb. 37 sind die durchschnittlichen Emissionswerte der männlichen und weiblichen Professoren aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die gesamten Emissionen von männlichen und weiblichen Professoren in Abb. 38 errechnet.

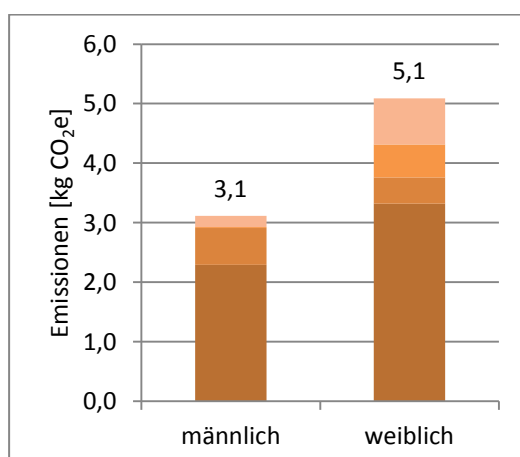


Abb. 37: Durchschnittliche Emissionen pro Professor (Papier)

Eigene Darstellung

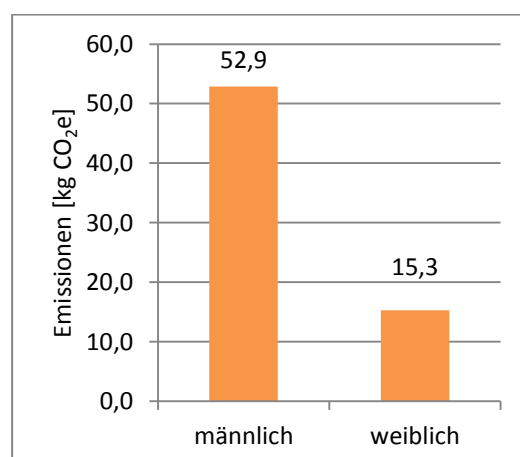


Abb. 38: Gesamt-Emissionen Papier (Professor)

Eigene Darstellung

Männliche Professoren emittieren im jährlichen Durchschnitt 3,1 kg CO₂e, weibliche Professoren trotz eines geringeren prozentualen Anteils an einzeln bedruckten Blättern

5,1 kg CO₂e. Die Anzahl männlicher Professoren führt zu hochgerechneten Emissionen von 52,9 kg CO₂e. Die drei weiblichen Professoren emittieren zusammen 15,3 kg CO₂e im Jahr. Die Gruppe der männlichen Professoren emittiert in etwa so viel wie die Gruppe der männlichen Mitarbeiter, obwohl diese deutlich weniger Personen sind. Die durchschnittlichen Emissionen weiblicher Professoren und weiblicher Mitarbeitern ist in etwa gleich. Hochgerechnet emittieren weibliche Professoren aufgrund der geringeren Personenanzahl jedoch deutlich weniger.

Insgesamt teilen sich die Emissionen des Papierverbrauchs folgendermaßen auf: Die Gruppe der Studenten macht mit 88% und damit 1.249 kg CO₂e den Großteil der Emissionen aus. Dahinter folgt die Gruppe der Mitarbeiter mit 7% oder 101 kg CO₂e, gefolgt von der Gruppe der Professoren, welche, obwohl größer als die Gruppe der Mitarbeiter, mit 5% und damit 68 kg CO₂e die kleinste Menge an Emissionen emittiert. Insgesamt ist der Anteil der Emissionen, welche durch den Papierverbrauch entstehen, im Verhältnis zu den Emissionen anderer Aktivitäten sehr gering.

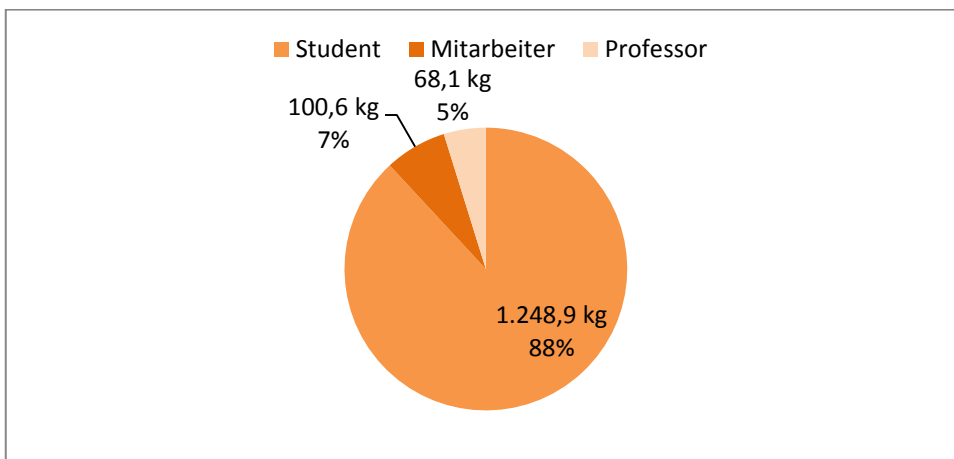


Abb. 39: Papier-Emissionen Gesamt [CO₂e]

Eigene Darstellung

7.7 Mensa-Mahlzeiten

Das Vorgehen zur Berechnung der Emissionen von Mensa-Mahlzeiten unterscheidet sich nicht vom Vorgehen zur Berechnung der Pendelverkehr-Emissionen [7.5]. Auch in diesem Kapitel sind ausschließlich die Mittelwerte der Stichproben und die Hochrechnung auf die Grundgesamtheit angegeben. Die angewendete Punktschätzung [3.5.5] befindet sich im Anhang ab Seite XXXVIII.

Die Emissionen der Mensa-Mahlzeiten eines befragten Fakultätsangehörigen ergeben sich aus den Zahlen für jährlich konsumierte Mischkost-Mahlzeiten und jährlich konsumierte vegetarische Mahlzeiten. Die Anzahl der Mahlzeiten wird dazu mit dem jeweiligen Emissionsfaktor für Mischkost und vegetarische Mahlzeit multipliziert.

Studenten

In Abb. 40 sind die durchschnittlichen Emissionswerte pro Student abgebildet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die Emissionen pro Studiengang in Abb. 41 errechnet.

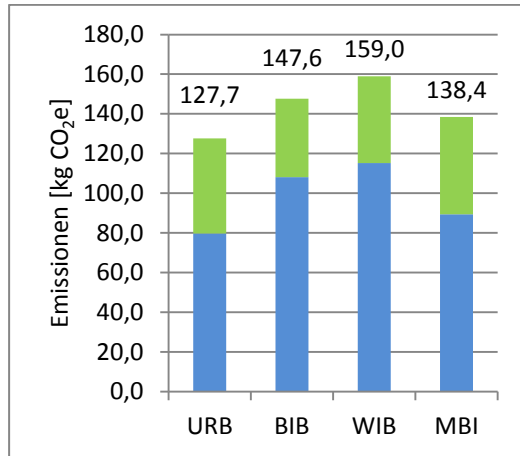


Abb. 40: Durchschnittliche Emissionen pro Student (Mensa-Mahlzeiten)

Eigene Darstellung

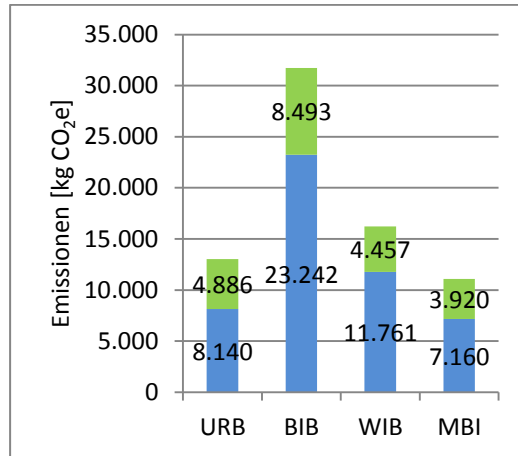


Abb. 41: Gesamt-Emissionen Mensa-Mahlzeiten (Student)

Eigene Darstellung

Bei den durchschnittlichen Emissionen der verschiedenen Studiengänge gibt es keine großen Differenzen. Der Studiengang mit den geringsten durchschnittlichen Emissionen ist der Studiengang URB mit 127,7 kg CO₂e, der Studiengang mit den durchschnittlich meisten Emissionen bezüglich den Mahlzeiten in der Mensa ist der Studiengang WIB mit 159,0 kg CO₂e. Durch die hohe Anzahl an BIB-Studenten sind die Gesamt-Emissionen für diesen Studiengang deutlich höher als die der anderen Studiengänge. Die hochgerechneten Gesamt-Emissionen der Studiengänge URB, WIB und MBI unterscheiden sich nur geringfügig, wohingegen der Studiengang BIB etwa das Doppelte eines anderen Studienganges emittiert.

Insgesamt ergeben sich bei Studenten 72.059 kg CO₂e-Emissionen durch Mahlzeiten, wovon 50.303 kg CO₂e-Emissionen auf Mischkost und 21.756 kg CO₂e-Emissionen auf vegetarische Mahlzeiten fallen.

Mitarbeiter

In Abb. 42 sind die durchschnittlichen Emissionswerte der männlichen und weiblichen Mitarbeiter aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die gesamten Emissionen von männlichen und weiblichen Mitarbeitern in Abb. 43 errechnet.

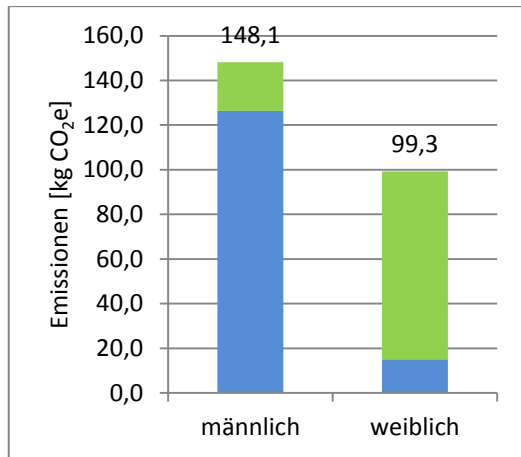


Abb. 42: Durchschnittliche Emissionen pro Mitarbeiter (Mensa-Mahlzeiten)

Eigene Darstellung

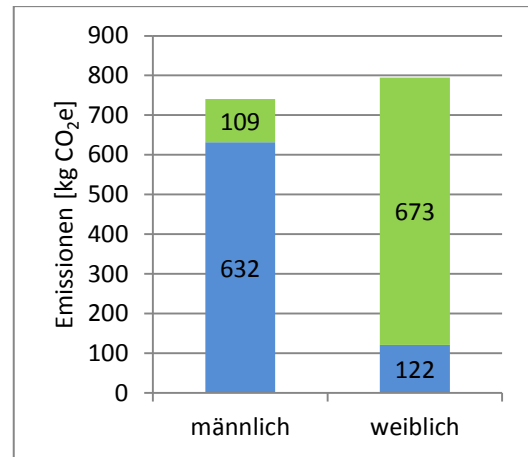


Abb. 43: Gesamt-Emissionen Mensa-Mahlzeiten (Mitarbeiter)

Eigene Darstellung

Bei den Mensa-Emissionen der Mitarbeiter zeigt sich ein deutlicher Unterschied in der Zusammenstellung zwischen männlichen und weiblichen Mitarbeitern. Bei männlichen Mitarbeitern sind Mischkost-Emissionen für einen Großteil der Emissionen verantwortlich, wohingegen bei weiblichen Mitarbeitern die Emissionen für vegetarische Mahlzeiten überwiegen. In den hochgerechneten Emissionen sind männliche und weibliche Mitarbeiter fast gleichauf, obwohl mehr weibliche Mitarbeiter an der Fakultät tätig sind. Die Ursache sind der größere Anteil konsumierter vegetarischer Mahlzeiten im Vergleich zu ihren männlichen Kollegen. Der relative Anteil der hochgerechneten Zahlen für Mischkost-Mahlzeiten und vegetarische Mahlzeiten ist bei männlichen und weiblichen Mitarbeitern in etwa in einem entgegengesetzten Verhältnis.

Professoren

In Abb. 44 sind die durchschnittlichen Emissionswerte der männlichen und weiblichen Professoren aufgelistet. Durch Multiplikation mit der Anzahl der Elemente N in der Grundgesamtheit werden die gesamten Emissionen von männlichen und weiblichen Professoren in Abb. 45 errechnet.

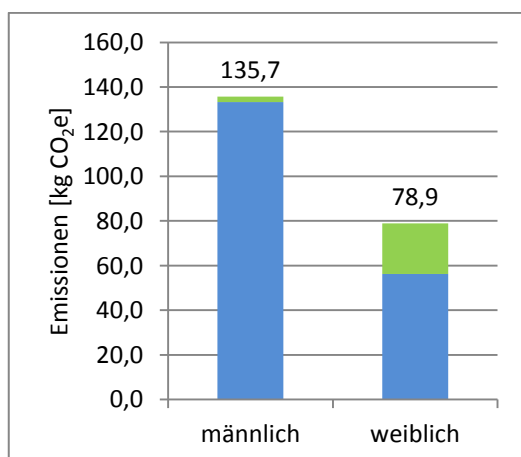


Abb. 44: Durchschnittliche Emissionen pro Professor (Mensa-Mahlzeiten)

Eigene Darstellung

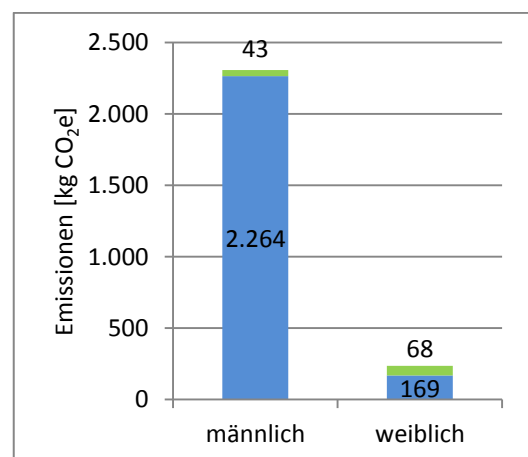


Abb. 45: Gesamt-Emissionen Mensa-Mahlzeiten (Professor)

Eigene Darstellung

Männliche Professoren emittieren im Schnitt kaum Emissionen für vegetarische Mahlzeiten, wohingegen die durchschnittlichen Emissionen weiblicher Professoren zu etwa einem Drittel von vegetarischen Mahlzeiten stammen. Die Gesamt-Emissionen der weiblichen Professoren sind im Vergleich zu den Gesamt-Emissionen der männlichen Professoren fast zu vernachlässigen. Im Vergleich zu Mitarbeitern und Studenten emittieren Professoren die wenigsten Emissionen durch Mensa-Mahlzeiten, Studenten sind hier führend.

Die gesamten Emissionen für Mensa-Mahlzeiten der Fakultät teilen sich folgendermaßen auf: Die Gruppe der Studenten macht 95% der Emissionen aus. Dies entspricht etwa 72 t CO₂e. Die Gruppe der Mitarbeiter haben einen Anteil von 2% der Emissionen (1,5 t CO₂e) und die Gruppe der Professoren emittiert einen Anteil von 3% (2,5 t CO₂e).

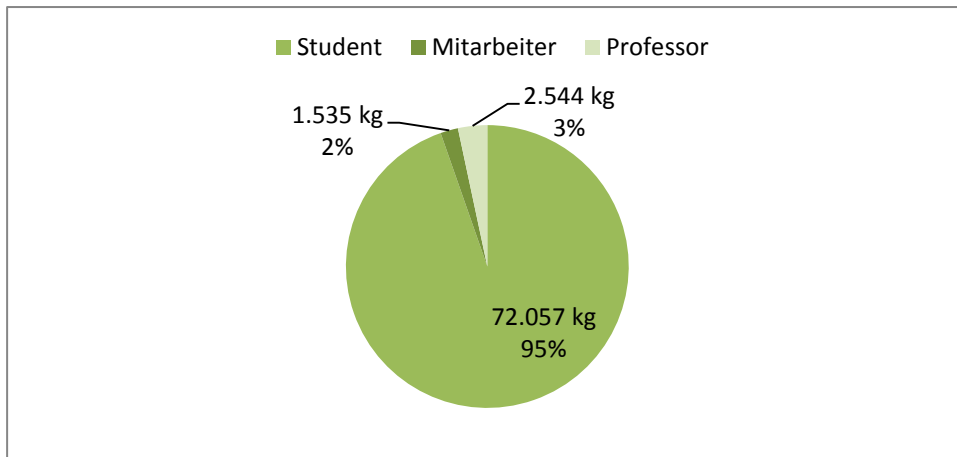


Abb. 46: Mensa-Emissionen Gesamt [kg]

Eigene Darstellung

7.8 CO₂-Bilanz

| Scope 1 | | | |
|----------------------|--|--------------------|---------------------------|
| Fuhrpark | | 2.828 | kg CO ₂ e |
| Klimageräte | | nicht dokumentiert | |
| Summe Scope 1 | | 2.828 | kg CO₂e |

| Scope 2 | | | |
|----------------------|------------|---------------|---------------------------|
| Wärme | BHKW | 26.313 | kg CO ₂ e |
| | Kessel | 16.966 | kg CO ₂ e |
| | Gesamt | 43.279 | kg CO ₂ e |
| Strom | BHKW | 9.200 | kg CO ₂ e |
| | Stadtwerke | 0 | kg CO ₂ e |
| | Gesamt | 9.200 | kg CO ₂ e |
| Summe Scope 2 | | 52.479 | kg CO₂e |

| Scope 3 | | | |
|----------------------|---|----------------|---------------------------|
| Fuhrpark | (Vorkette) | 662 | kg CO ₂ e |
| Wärme (Vorkette) | BHKW (Vorkette) | 4.920 | kg CO ₂ e |
| | Kessel (Vorkette) | 3.173 | kg CO ₂ e |
| | Gesamt | 8.093 | kg CO ₂ e |
| Strom (Vorkette) | BHKW (Vorkette) | 1.720 | kg CO ₂ e |
| | Stadtwerke (Übertragungs- und Umspannverluste) | 891 | kg CO ₂ e |
| | Gesamt | 2.611 | kg CO ₂ e |
| Pendelverkehr | Studenten | 99.082 | kg CO ₂ e |
| | Mitarbeiter | 5.380 | kg CO ₂ e |
| | Professoren | 16.112 | kg CO ₂ e |
| | Gesamt | 120.574 | kg CO ₂ e |
| Papier | Studenten | 1.249 | kg CO ₂ e |
| | Mitarbeiter | 101 | kg CO ₂ e |
| | Professoren | 68 | kg CO ₂ e |
| | Gesamt | 1.418 | kg CO ₂ e |
| Mensa-Mahlzeiten | Studenten | 72.059 | kg CO ₂ e |
| | Mitarbeiter | 1.536 | kg CO ₂ e |
| | Professoren | 2.544 | kg CO ₂ e |
| | Gesamt | 76.139 | kg CO ₂ e |
| Summe Scope 3 | | 209.497 | kg CO₂e |

| Gesamt | | | |
|--------------|--|----------------|---------------------------|
| Summe | | 264.804 | kg CO₂e |

Eigene Darstellung

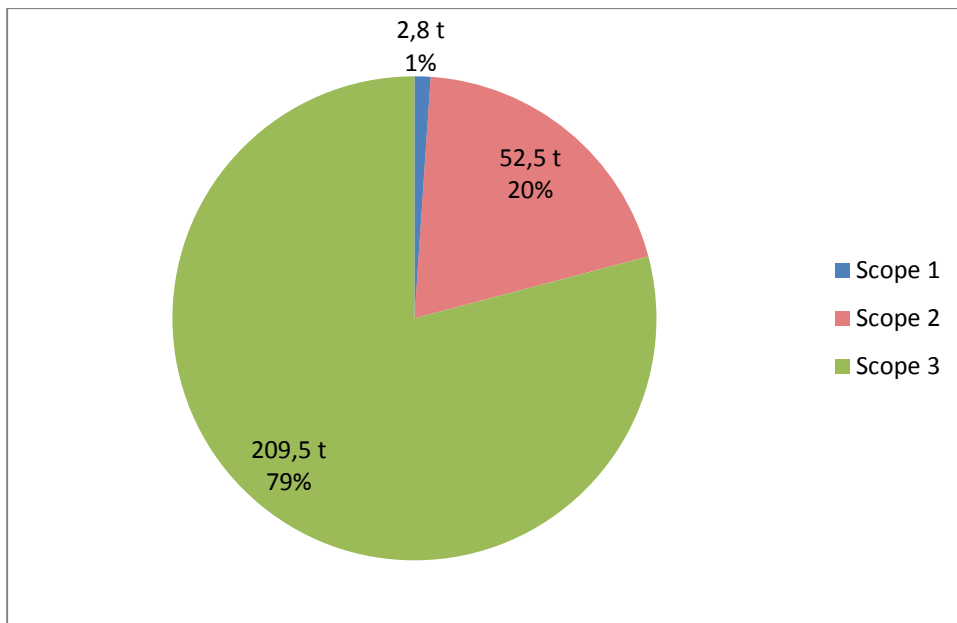


Abb. 47: Emissionen der Fakultät BI (HTWG) nach Scope 1 bis 3 [t CO₂e]

Eigene Darstellung

Die Aufteilung der Emissionen nach Scope 1 bis 3 in Abb. 47 macht deutlich, dass die meisten Emissionen im fakultativ zu ermittelnden Scope 3 anfallen. Scope 1 macht 1% der Emissionen durch den Fuhrpark aus. In Scope 2 fallen hauptsächlich durch den Bezug von Wärme 20% der Emissionen an. Insgesamt emittierte die Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule Konstanz im akademischen Jahr 2014/2015 264,8 t CO₂e an Emissionen.

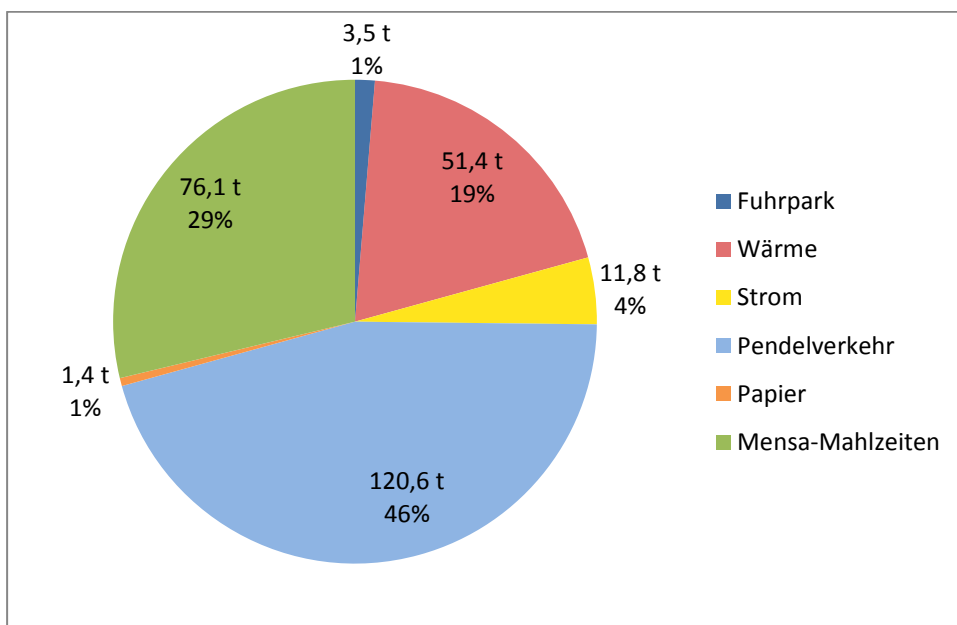


Abb. 48: Emissionen der Fakultät BI (HTWG) nach Aktivität [t CO₂e]

Eigene Darstellung

Abb. 48 zeigt die Emissionen nach bilanzierter Aktivität. Es wird hierbei nicht unterschieden, ob Emissionen in der Vorkette anfallen oder direkt in einer Aktivität. Evident sind die drei großen Treiber von Emissionen (Pendelverkehr, Mensa-Mahlzeiten

und Wärme). Die meisten Emissionen entstehen beim Pendelverkehr mit 46% der Emissionen (120,6 t CO₂e). Mensa-Mahlzeiten machen 29% der Emissionen (76,1 t CO₂e) aus. Es ist damit die Aktivität mit den zweitmeisten Emissionen. Der dritte große Treiber von Emissionen ist die von der Hochschule bezogene Wärme mit 19% (51,4 t CO₂e). Es folgen die Emissionen von Strom mit 4% (11,8 t CO₂e), deren größter Teil durch das BHKW entsteht. Die Emissionen des Fuhrparks (3,5 t CO₂e) sowie Papieremissionen machen jeweils 1% der Emissionen aus. Papier ist somit die geringste bilanzierte Emissionsquelle mit 1,4 t CO₂e.

8. Diskussion und mögliche Einsparmaßnahmen

Im vorherigen Kapitel wurden die größten Emittenten von Treibhausgasen an der Fakultät Bauingenieurwesen ermittelt. Ziel der Fakultät sollte es sein, möglichst viele Emissionen einzusparen und die nicht vermeidbaren Emissionen in Form von Kompensationsmaßnahmen auszugleichen. In diesem Kapitel werden die einzelnen Aktivitäten nach der Größe ihrer Emissionen analysiert und mögliche Einsparmaßnahmen daraus abgeleitet. Die Einsparmaßnahmen haben hier ausschließlich empfehlenden Charakter. Die Umsetzung dieser bedarf weiterer Forschungen. Die Anwendung von Kompensationsmaßnahmen wird in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

8.1 Pendelverkehr

82% der Pendelverkehr-Emissionen werden von Studenten emittiert [7.5]. Es wird daher vermutet, dass bei Studenten die größten Einsparmöglichkeiten in Bezug auf Pendelverkehr-Emissionen zu erwarten sind. Die folgende Analyse beschränkt sich daher ausschließlich auf Pendelverkehr-Emissionen von Studenten.

Die durchschnittlichen von Studenten verursachten Emissionen variieren deutlich zwischen den Studiengängen [7.5]. Nachfolgend werden mögliche Ursachen der Differenzen herausgearbeitet.

Der Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Mitarbeitern und Professoren lässt vermuten, dass das Geschlecht der befragten Studenten die durchschnittlichen Emissionen eines Studiengangs beeinflusst. Es könnte sein, dass weibliche Studenten ebenfalls weniger Emissionen als ihre männlichen Kollegen produzieren und die Anzahl der weiblichen Studenten im Studiengang die durchschnittlichen Emissionen eines Studiengangs beeinflusst.

Abb. 49 zeigt, dass weibliche Studenten im Durchschnitt in jedem Studiengang weniger CO_{2e} Emissionen verursachen als ihre männlichen Mitstudenten. Deutlich weniger Emissionen als ihre männlichen Kollegen verursachen weibliche Studenten der Studiengänge BIB und WIB. Weibliche Studenten der Studiengänge URB und MBI produzieren ebenfalls weniger Emissionen als ihre Kommilitonen. Der Unterschied ist hier weniger stark.

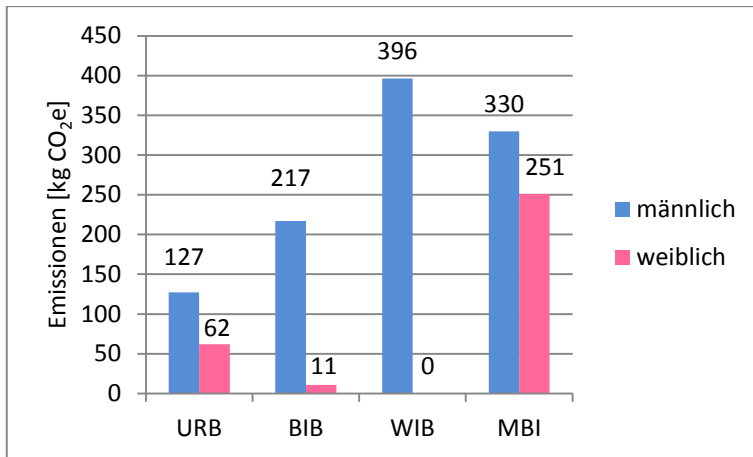


Abb. 49: Durchschnittliche Emissionen pro Student nach Geschlecht (Pendelverkehr)

Eigene Darstellung

Es stellt sich nun die Frage, wie sehr das Geschlecht und welche weiteren Faktoren die durchschnittlichen Emissionen eines Studienganges beeinflussen. In Grafik Abb. 50 lässt sich die Anzahl der befragten weiblichen und männlichen Studenten eines Studienganges nachvollziehen. Einzig beim Studiengang URB ist das Verhältnis zwischen männlich und weiblich nahezu ausgeglichen. Dieser ist auch der Studiengang mit den geringsten durchschnittlichen Emissionen. Es scheint daher einen Zusammenhang zwischen der Anzahl befragter weiblicher Studenten eines Studienganges und dessen durchschnittlichen Emissionen zu geben.

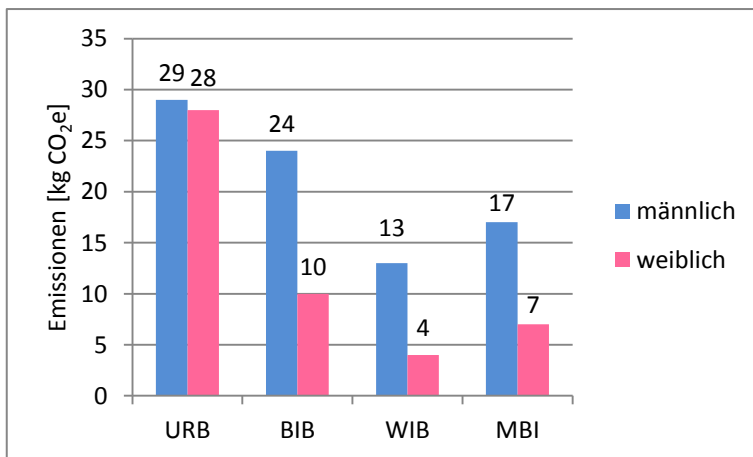


Abb. 50: Anzahl der befragten Studenten m/w

Eigene Darstellung

Die verhältnismäßig höhere Anzahl von befragten URB-Studentinnen beruht wahrscheinlich auf der Ursache, dass im URB-Studiengang mehr weibliche Studenten eingeschrieben sind als in den anderen Bachelorstudiengängen. Für die Umfrage sind keine Daten bezüglich der Geschlechteranteile im jeweiligen Studiengang verfügbar, so dass nicht nachgewiesen werden kann, inwiefern die Geschlechteranteile der Stichproben die Geschlechteranteile in den Grundgesamtheiten repräsentieren.

Weitere Untersuchungen zeigen, dass die Anzahl der befragten weiblichen Studenten in einem Studiengang zwar bedeutend, aber nicht der einzige Faktor für den durchschnitt-

lichen Emissionswert eines Studiengangs ist. Dies wird anhand der Studiengänge BIB und MBI deutlich. In beiden Studiengängen wurden im Verhältnis zu den männlichen Kommilitonen gleichviele Studentinnen befragt. Ihr Anteil beträgt jeweils 29% der Befragten. Der Studiengang MBI emittiert jedoch im Schnitt deutlich mehr Emissionen [Abb. 27]. Die Anzahl befragter weiblicher Studenten kann also nicht der einzige Faktor geringer Emissionen sein.

Betrachtet man Abb. 49, scheinen die durchschnittlichen Emissionen der jeweiligen männlichen Studenten einen größeren Einfluss auf die Pendelverkehr-Emissionen eines Studiengangs zu haben als das Verhältnis von männlichen zu weiblichen Befragten. Sortiert man die Studiengänge nach den geringsten durchschnittlichen Emissionswerten für männliche Studenten, ergibt sich dieselbe Reihenfolge wie die der durchschnittlichen Emissionswerte des gesamten Studiengangs. Der durchschnittliche Wert der befragten Personen scheint das Ergebnis somit mehr zu beeinflussen als die Anzahl der befragten weiblichen Studenten.

Da die durchschnittlichen Emissionen eines Studiengangs nur bedingt von der Anzahl der weiblichen Studenten abhängen, wird im Folgenden untersucht, welche weiteren Faktoren eine Rolle spielen. Es wird dabei die Vermutung aufgestellt, dass Pendelverkehr-Emissionen von der zurückgelegten Strecke im Semester abhängig sind und dass die Verkehrsmittelwahl eine Rolle spielt.

Abhängigkeit der Emissionen von der zurückgelegten Strecke: Abb. 51 zeigt die durchschnittlich zurückgelegte Strecke pro Student und Jahr in Kilometern als Balkendiagramm sowie die durchschnittlichen Pendelverkehr-Emissionen als Liniendiagramm. Ein Zusammenhang zwischen jährlich zurückgelegter Strecke und jährlichen Emissionen erscheint anhand der Grafik wahrscheinlich. Beim Studiengang MBI scheinen die Emissionen nicht so sehr von der zurückgelegten Strecke abhängig zu sein wie die der anderen Studiengänge. Hier sind die Emissionen höher als beim Studiengang WIB, obwohl die zurückgelegte Strecke kürzer ist.

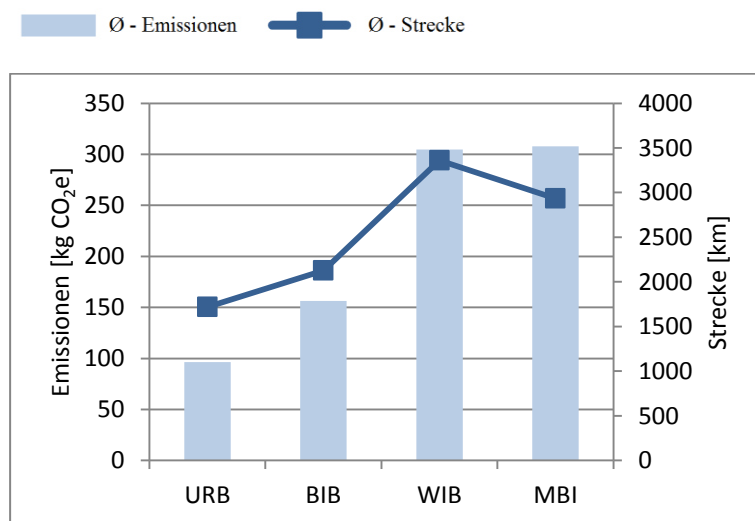


Abb. 51: Zusammenhang zwischen Emissionen und Fahrstrecke
Eigene Darstellung

Eine geringere zurückgelegte Strecke könnte an einem kürzeren Anfahrtsweg oder an einer weniger oft zurückgelegten Strecke liegen. Die Datenlage der Umfrage lässt eine weitere Analyse nicht zu. Die Studiengänge ähneln sich jedoch sehr im Aufbau, so dass davon ausgegangen werden kann, dass sich die durchschnittliche Anwesenheit an der HTWG zwischen den Studiengängen nicht stark unterscheidet. Dementsprechend wird die geringere zurückgelegte Strecke mit der Distanz von Wohnung zu HTWG zusammenhängen.

Abhängigkeit der Emissionen von der Verkehrsmittelwahl: In Abb. 52 ist der Anteil eines Verkehrsmittels an der durchschnittlich zurückgelegten Strecke eines Studenten ersichtlich. Die Verteilung lässt darauf schließen, dass die durchschnittlichen Emissionen eines Studiengangs ebenfalls von der Verkehrsmittelwahl abhängen. Der Studiengang URB legt den größten Teil seiner zurückgelegten Strecke mit dem Fahrrad oder zu Fuß und damit emissionslos zurück. Ein weiterer großer Teil wird mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt und nur etwas über 10% mit dem Auto oder Motorrad. Andere Studiengänge legen prozentual eine kürzere Strecke emissionslos oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurück. Sie legen prozentual gesehen eine größere Strecke mit dem Auto zurück und emittieren entsprechend mehr Emissionen. Eine Unregelmäßigkeit stellt der Studiengang MBI dar, der prozentual eine größere Strecke emissionslos zurücklegt als der Studiengang WIB, aber dennoch mehr Treibhausgase emittiert [Abb. 51].

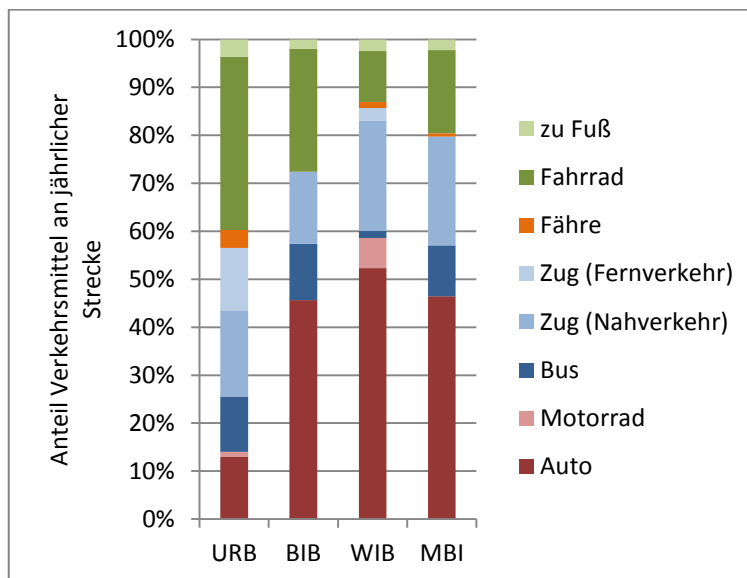


Abb. 52: Anteil der Verkehrsmittel an jährlich zurückgelegter Strecke

Eigene Darstellung

Unregelmäßigkeit des Studiengang MBI: Nachfolgend wird die Unregelmäßigkeit des Studiengangs MBI näher untersucht. Studenten dieses Studiengangs legen sowohl durchschnittlich eine kürzere Strecke als der Studiengang WIB zurück als auch prozentual eine größere Strecke emissionslos zurück. Trotzdem produzieren sie insgesamt mehr Emissionen.

Um die Unregelmäßigkeit zu erklären, werden die Anteile der emittierenden Verkehrsmittel (außer Fahrrad und zu Fuß) an der jährlich zurückgelegten Strecke mit den Anteilen der Verkehrsmittel an den jährlich produzierten Emissionen verglichen. Abb. 53 zeigt die Anteile der emittierenden Verkehrsmittel an der durchschnittlich jährlich zurückgelegten Strecke. Abb. 54 zeigt die Anteile der emittierenden Verkehrsmittel bezüglich der durchschnittlich durch Pendelverkehr verursachten Emissionen.

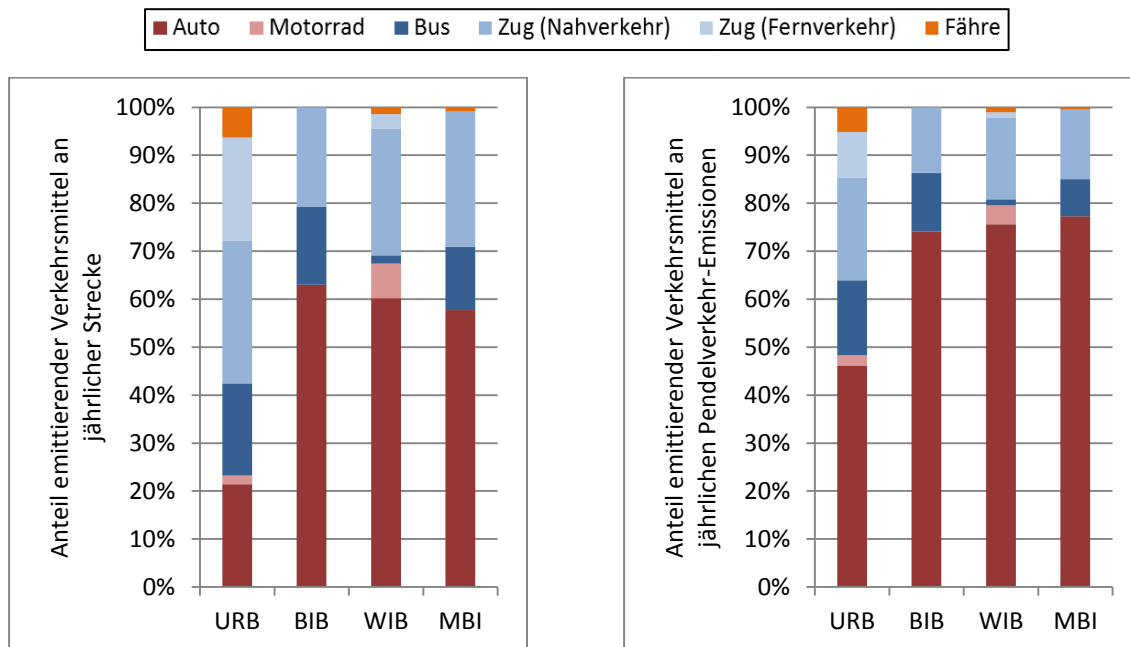


Abb. 53: Anteil emittierender Verkehrsmittel an jährlich zurückgelegter Strecke
Eigene Darstellung

Abb. 54: Anteil eines Verkehrsmittels an jährlichen Pendelverkehr-Emissionen
Eigene Darstellung

Ein Vergleich der beiden Grafiken [Abb. 53, Abb. 54] zeigt, dass der Anteil des Verkehrsmittels Auto an den durchschnittlich durch Pendelverkehr verursachten Emissionen größer ist als der Anteil an der jährlich zurückgelegten Strecke. Bei anderen Verkehrsmitteln sind die Anteile bei Emissionen und Strecke entweder gleich groß oder im Diagramm der Emissionen geringer. Eine Strecke, die mit einem Auto zurückgelegt wird, ist somit emissionsintensiver, als eine Strecke, die mit einem anderen Verkehrsmittel zurückgelegt wird.

Bei näherem Betrachten fällt auf, dass das Verhältnis von Emissionen, die mit dem Auto produziert wurden, und der Strecke, die mit dem Auto zurückgelegt wurde, nicht in jedem Studiengang deckungsgleich ist. Zum Beispiel macht die mit dem Auto zurückgelegte Strecke im Studiengang URB etwas über 20% aus, die Emissionen des Autos etwa 45%. Im Studiengang BIB macht die mit dem Auto zurückgelegte Strecke etwas über 60% aus, die Emissionen des Autos jedoch nur etwas über 70%. Die Differenzen sind durch eine unterschiedliche Personenanzahl im Auto, den spezifischen Treibstoffverbrauch der verwendeten Fahrzeuge und die verwendete Treibstoffart zu erklären [7.5].

Es ist anzunehmen, dass diese drei Faktoren die Unregelmäßigkeit des Studiengangs MBI erklären. Die Gründe für die durchschnittlich höheren Emissionen trotz kürzerer

zurückgelegter Strecke und prozentual größerem Anteil an emissionslos zurückgelegter Strecke scheint in einer geringeren Auslastung der Fahrzeuge, höherem Treibstoffverbrauch oder emissionsintensiverem Treibstoff begründet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die durchschnittlichen Emissionen eines Studenten bezüglich des Pendelverkehrs von mehreren Faktoren abhängen. Erstens spielt es eine Rolle, wie viele weibliche Studenten in einem Studiengang immatrikuliert sind, da diese durchschnittlich weniger Emissionen emittieren als männliche Studenten. Zweitens führt eine weitere zurückgelegte Strecke im Semester vermutlich zu mehr Emissionen. Drittens spielt die Verkehrsmittelwahl eine Rolle. Viertens hängen die Emissionen zusätzlich davon ab, wie viele Personen sich im Auto befinden, wie groß der Treibstoffverbrauch ist und welcher Treibstoff verwendet wird, wobei die genauen Auswirkungen der letzten drei Faktoren auf die Pendelverkehr-Emissionen weiter erforscht werden muss.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich Einsparpotentiale ableiten, die folgend vorgestellt werden:

1. Mehr weibliche Studenten in den Studiengängen

Die Datenlage lässt keine genauen Zahlen bezüglich des Anteils der weiblichen Studenten im Studiengang zu. Nimmt man jedoch die Geschlechteranteile der Umfrage als repräsentativ an, ist der Anteil von Frauen in allen Studiengängen bis auf den Umweltstudiengang deutlich geringer als der der Männer. Eine Maßnahme, um die Emissionen zu reduzieren, könnte also darin bestehen, mehr Frauen für die Studiengänge zu gewinnen.

2. Mehr Wohnraum in der Nähe der Hochschule

Als emissionseinsparende Maßnahme kann sich die Fakultät beziehungsweise die Hochschule dafür einsetzen, genügend Wohnraum in der Nähe der Hochschule für Studenten bereitzustellen. Dadurch werden die Emissionen aufgrund der weniger weit zurückgelegten Strecke verringert.

3. Anreize zur Verwendung emissionsärmerer Verkehrsmittel

In Kapitel 4.5 wird erläutert, dass mehr als die Hälfte der Studenten zu Fuß oder mit dem Fahrrad an die Hochschule gelangt. Ebenso zeigt Abb. 52, dass ein beträchtlicher Teil der zurückgelegten Strecke mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt wird. Er-sichtlich ist jedoch auch, dass die mit dem Auto zurückgelegten Strecken mit Ausnahme des Umweltstudiengangs URB größer sind als die mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegten Strecken.

Als dritte Maßnahme kann daher versucht werden, die Emissionen, die durch Kraftfahrzeuge entstehen, zu reduzieren. Dazu müssten Anreize geschaffen werden, damit Studenten auf das Auto verzichten und auf öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad umsteigen. Ein Anreiz ergibt sich bereits aus der zweiten Maßnahme. Wenn mehr Wohnraum in der Umgebung der Hochschule zur Verfügung steht, lohnt sich nicht die Strecke zur Hochschule mit dem Auto zurückzulegen. Dadurch werden Studenten ver-

mutlich eher das Fahrrad oder öffentliche Verkehrsmittel nutzen. Ein weiterer Anreiz könnte darin bestehen, das Angebot des Semestertickets für Studenten zum Beispiel durch einen geringeren Preis interessanter zu gestalten. Dazu wurde in der Umfrage erfragt, aus welchen Gründen Studenten auf das Semesterticket verzichten.

Die Studenten konnten angeben, ob sie das StudiTicket verwenden, und wenn nicht, aus welchem Grund sie es nicht verwenden. Die Befragten konnten dabei auswählen, ob das StudiTicket zu teuer sei, die Verbindung zur Hochschule zu lange dauere, sie lieber „schwarz fahren“ oder ob sie allgemein wenig mit öffentlichen Verkehrsmitteln fahren und sich die Anschaffung des Tickets daher nicht lohne. Weitere Antwortmöglichkeiten konnten in einem Textfeld benannt werden. Eine Mehrfachauswahl war möglich. Die folgende Auswertung beschränkt sich auf die Auswahl von Studenten, die mit dem Auto zur Hochschule kommen.

Von den insgesamt 19 Autofahrern aller Studiengänge verwenden acht Personen das StudiTicket. Somit bleiben elf Studenten übrig, die das Auto verwenden und kein StudiTicket besitzen. Von diesen elf Studenten gaben neun Personen an, dass sie nur wenig mit öffentlichen Verkehrsmitteln fahren und sich ein StudiTicket daher nicht lohnt. Drei Personen gaben zusätzlich an, dass die Verbindung zur HTWG zu lange dauere und sie deshalb kein StudiTicket besitzen. Eine Person gab ausschließlich an, dass die Verbindung zu lange dauere, eine weitere Person gab ausschließlich sonstige Gründe an. Keiner der Autofahrer, die kein StudiTicket besitzen, gab an, dass das Ticket zu teuer sei. In weiteren Umfragen könnte untersucht werden, welche weiteren Gründe eine Ursache für den Nichtkauf des StudiTickets sind. Der Umfrage zufolge scheint der Grund nicht am Preis des Tickets und auch nur bedingt an der Verbindung der öffentlichen Verkehrsmittel zur Hochschule zu liegen.

8.2 Mensa-Mahlzeiten

Mensa-Mahlzeiten machen 29% der gesamten Emissionen aus. Davon machen Mahlzeiten von Studenten 95% der Emissionen aus. Nachfolgende Analyse und Einsparmaßnahmen beschränken sich daher auf die Analyse von Emissionen, welche durch Mahlzeiten von Studenten entstehen.

Betrachtet man die durchschnittlich konsumierten Mahlzeiten von männlichen und weiblichen Studenten pro Jahr, lässt sich feststellen, dass männliche Studenten mit etwa 80 Mahlzeiten pro Jahr (entspricht bei 30 Wochen Anwesenheit im Semester etwa 2,7 Mahlzeiten pro Woche) häufiger die Mensa aufsuchen als weibliche Studenten mit 64 Mahlzeiten pro Jahr (etwa 2,1 Mahlzeiten pro Woche). Sowohl männliche als auch weibliche Studenten konsumieren dabei häufiger Mischkost als vegetarische Mahlzeiten.

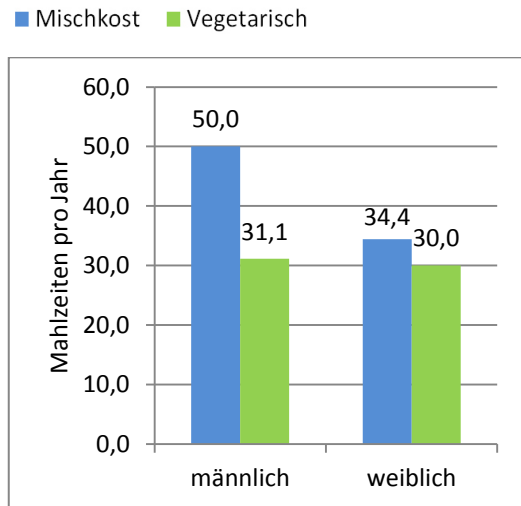


Abb. 55: Anzahl der jährlichen Mahlzeiten nach Geschlecht (Student)

Eigene Darstellung

Emissionen könnten hier theoretisch reduziert werden, indem weniger Mahlzeiten ausgegeben werden. Dies würde jedoch nur einer Verschiebung der Emissionen nach außerhalb der Systemgrenzen der Fakultät zur Folge haben.

Vielmehr sollte darauf geachtet werden, die entstehenden Emissionen zu minimieren als sie zu verschieben. Nimmt man die Anzahl der Mahlzeiten in der Mensa als gegeben hin, können Emissionen nur verringert werden, indem kleinere Portionen angeboten werden oder Nahrungsmittel verwendet werden, deren Herstellung weniger Emissionen produziert. Eine Verkleinerung der Portionen scheidet aus, da die Erfahrung gemacht wurde, dass die Portionen eher nicht ausreichend sind, als dass sie zu groß sind. Somit bleibt die Verwendung emissionsärmerer Nahrungsmittel, um Emissionen zu reduzieren.

Nach Angaben des Umweltbundesamtes (BMUB 2015, o.S.) bietet der Verzicht auf Fleisch und Milchprodukte eine gute Möglichkeit Emissionen einzusparen. Da die Debatte um den Verzicht auf Fleisch und Fisch kein Bestandteil dieser Arbeit ist, wird lediglich auf die Emissionswerte zur Erzeugung der Nahrungsmittel verwiesen. Dem Verfasser ist bewusst, dass es weitaus mehr Gründe für den Verzicht oder den Nicht-Verzicht auf Fleisch gibt und die Umweltauswirkungen von Fleisch und Gemüse je nach Erzeugung sehr unterschiedlich sein können.

Es wird hier daher als gegeben angenommen, dass Mischkost mehr Emissionen bei der Herstellung produziert als vegetarisches Essen, was durch die entsprechenden Emissionsfaktoren [5.4] dargestellt wird. Einsparpotentiale ergeben sich somit alleine daraus, Mischkostmahlzeiten in der Anzahl zu reduzieren, um die vegetarischen Mahlzeiten dadurch steigen. Somit müssen Wege gefunden werden, den Verzehr von vegetarischen Mahlzeiten durch Anreize attraktiver zu gestalten.

Dazu wurde in der Umfrage die Frage gestellt, unter welchen Umständen Personen, die in der Mensa essen, vermehrt die Auswahl eines vegetarischen Menüs treffen würden. Die befragten Personen konnten dabei zwischen den Antworten wählen, dass die Porti-

onen größer sein müssten, das vegetarische Essen besser schmecken sollte, das Stammessen (welches die kostengünstigste angebotene Mahlzeit ist) häufiger vegetarisch sein sollte oder dieses ansprechender aussehen sollte. Eine Mehrfachnennung war hierbei möglich, wobei ebenso ein freies Feld für weitere Anmerkungen zur Verfügung stand.

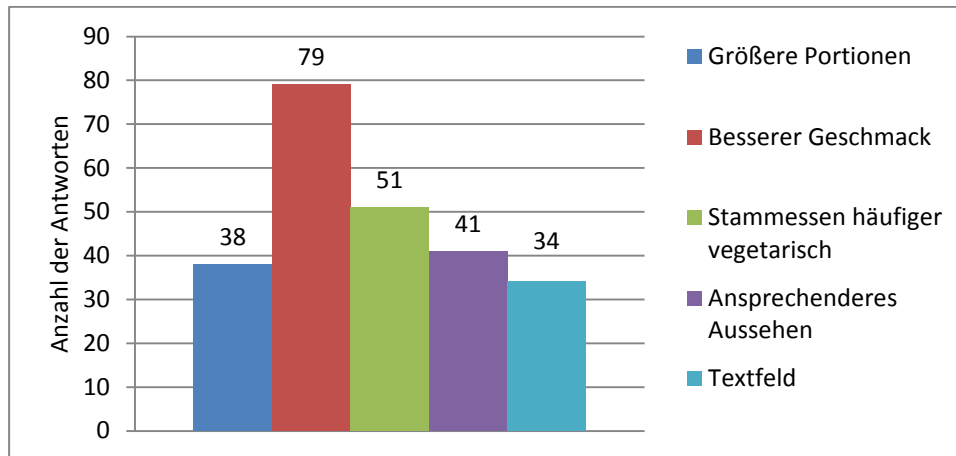


Abb. 56: Gründe für den möglichen Verzicht von Mischkost für vegetarische Mahlzeiten

Eigene Darstellung

Abb. 56 macht deutlich, dass durch einen besseren Geschmack der vegetarischen Mahlzeiten mehr Studenten vegetarische Mahlzeiten auswählen würden. Die weiteren Kategorien werden ähnlich oft genannt, so dass eine allgemeine Verbesserung der vegetarischen Mahlzeiten wünschenswert erscheint. Im freien Textfeld wurde außerdem mehrmals genannt, dass die Auswahl größer sein müsste und das Preis/Leistungsverhältnis oft nicht stimmt. Weitere weniger oft genannte Antworten können im Anhang [S.XXXIX] nach gelesen werden.

Würden im Extremfall nur noch vegetarische Mahlzeiten von Studenten konsumiert, ließen sich die Emissionen um 15 t CO₂e pro Jahr reduzieren.

Neben der Möglichkeit Anreize für vegetarische Mahlzeiten zu schaffen, können auch die Emissionen der Mischkost-Mahlzeiten durch den Bezug saisonaler, regionaler und Bio-Kost reduziert werden. Eine weitere Möglichkeit der Emissionsreduzierung und gleichzeitigem Fördern von nachhaltigem Bewusstsein ist die Ausweisung der Emissionen pro Mahlzeit, wie es zum Beispiel die Burger-Kette *Max* in Schweden praktiziert (Max 2016, o.S.).

8.3 Wärme- und Strom-Emissionen

20% der Gesamt-Emissionen, bzw. 52,5 t CO₂e werden in Scope 2 emittiert, die durch die Verbrennung von Erdgas im Kessel und BHKW entstehen. Emissionseinsparungen können hier durch die drei Nachhaltigkeitsstrategien Effizienz, Suffizienz und Konsistenz erfolgen.

Im Bereich der Effizienz kann eine effizientere Nutzung von Wärme durch eine energetische Sanierung der Gebäude ermöglicht werden. Ein Vergleich des spezifischen Wärmeverbrauchs pro Quadratmeter der Gebäude C und G mit der ETH Zürich [Tabelle 33] zeigt, dass hier Einsparpotential vorhanden ist.

Tabelle 33: Spezifischer Wärmeverbrauch HTWG/ETH

| | Gebäude C | Gebäude G | ETH |
|---|-----------|-----------|------|
| Spezifischer Wärmeverbrauch [kWh/m ²] | 71,47 | 90,43 | 68,6 |

Eigene Darstellung, Daten aus ETH Zürich 2015, S.66

Nach Angaben von Herrn Götz besteht bei energetischen Sanierungsmaßnahmen das Problem, dass der Fakultät beziehungsweise der Hochschule Anreize fehlen, diese umzusetzen. Dies liegt daran, dass die Kosten für Gebäudeenergie von einer anderen Kostenstelle bezahlt werden als die Kosten für energetische Sanierungsmaßnahmen. Dem Land Baden-Württemberg entgehen hierdurch wichtige Einsparungen zum Erreichen des klimaneutralen Gebäudebestands 2050 (BMWi und BMU 2010, S.27). Die Fakultät Bauingenieurwesen könnte sich mit Hilfe der Hochschule dafür einsetzen, dass Anreize geschaffen werden, Gebäude der Hochschule energetisch zu sanieren.

Eine effizientere Nutzung von Strom kann zum Beispiel durch den Einsatz von LED-Lampen, Bewegungsmeldern und energiesparenden Elektrogeräten ermöglicht werden. Das Potential hiervon könnte in einer folgenden Forschungsarbeit erfasst werden.

Eine effizientere Nutzung von Erdgas scheint kaum möglich, da die Verwendung einer Kraft-Wärme-Kopplung die effizienteste Möglichkeit darstellt, Erdgas im Hinblick auf Ressourceneffizienz und Schadstoffemissionen zu verwenden (Sperlich 2006, S.1).

Im Bereich der Suffizienz kann umweltfreundliches Nutzerverhalten zu Emissionseinsparungen führen. Die Möglichkeiten sind hierbei vielzählig und reichen von Stoßlüften über das Ausmachen der Lichter bei Verlassen des Raumes bis hin zum Ausschalten von elektronischen Geräten, sobald sie nicht mehr verwendet werden, anstatt sie in den Standby-Modus zu setzen. Wie groß die Einsparmöglichkeiten hier tatsächlich sind, könnte in einer weiteren Forschungsarbeit dargestellt werden.

Der Bereich der Konsistenz erscheint für die Einsparung im vorliegenden Fall besonders attraktiv. Durch den Bezug von Bio-Erdgas könnten mit dem geringsten Aufwand die größten Emissionseinsparungen erzielt werden. Bio-Erdgas wird durch eine Aufbereitung von Biogas erzeugt. Dabei wird das Methan, dessen Anteil im Biogas bei etwa 60% liegt, von anderen Gasbestandteilen separiert, wodurch es problemlos in das Gasnetz eingespeist werden kann.

Durch den Bezug von Bio-Erdgas werden die Emissionen, welche durch die Verbrennung im Kessel und BHKW entstehen, auf null gesenkt. Durch den Bezug von Bio-Erdgas entstehen jedoch Mehrkosten, da dieses teurer als herkömmliches Erdgas ist. Es müsste für den Bezug von Bio-Erdgas keine neue Infrastruktur erbaut werden, da die Verwendung von Bio-Erdgas ähnlich wie bei der Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien bilanziell abläuft.

Insgesamt ist eine Verbindung der drei Nachhaltigkeitsstrategien sinnvoll. Durch Effizienz- und Suffizienzmaßnahmen kann der Wärme- und Stromverbrauch gesenkt werden, wodurch Kosten eingespart werden. Die eingesparten Kosten können in den Bezug von Bio-Erdgas reinvestiert werden, wodurch ein Teil der durch den Bezug von Bio-Erdgas entstehenden Mehrkosten gedeckt werden kann.

Die Fakultät könnte sich also mit genannten Argumenten über die Hochschule beim Land Baden-Württemberg dafür einsetzen, dass Bio-Erdgas bezogen wird. Hierdurch könnten sämtliche Scope 2 Emissionen, also 52,5 t CO₂e eingespart werden.

8.4 Emissionen aus Erdgas- und Strom-Bereitstellung

Durch den Bezug von Bio-Erdgas lassen sich Emissionen bilanziell vermeiden, die bei der Verbrennung im Kessel und BHKW entstehen. Nicht vermeiden lassen sich hierdurch Emissionen, die durch die Bereitstellung von Erdgas und die Bereitstellung von Strom entstehen. Da die Emissionen proportional zum Wärme- und Stromverbrauch sind, können durch eine Wärme- und Stromeinsparung, wie sie in Kap. 8.3 beschrieben sind, auch die Emissionen für die Bereitstellung von Erdgas und Strom verringert werden.

8.5 Fuhrpark

Bei den Einsparmöglichkeiten des VW-Busses wird davon ausgegangen, dass eine Reduzierung der Fahrstrecke nicht möglich ist. Eine Emissionseinsparung ist somit nur bedingt möglich. Es gäbe die Möglichkeit, den Bus durch einen erdgasbetriebenen Bus, beziehungsweise durch einen Bus mit Elektroantrieb zu ersetzen. Um jedoch das volle Einsparungspotential ausschöpfen zu können, müsste darauf geachtet werden, dass der Bus beim Austausch jeweils Bio-Erdgas tankt oder mit Ökostrom betrieben wird. Da jedoch der Fuhrpark nur zu 1% zu den Gesamt-Emissionen beiträgt, sollte darauf geachtet werden, wie groß der wirtschaftliche Aufwand für die Emissionseinsparung wäre.

8.6 Papier

Papieremissionen machen an der Fakultät BI den geringsten Teil der bilanzierten Emissionen aus. Dennoch lassen sich auch hier Einsparpotentiale aufzeigen, bei denen jedoch darauf geachtet werden muss, dass die Drucker und Kopierer nur teilweise von der Hochschule gewartet werden. Die meisten Ausdrücke erfolgen an Geräten, die von einem externen Unternehmen mit Papier gefüllt und betrieben werden. Die Einflussnahme der Fakultät hält sich daher in Grenzen. Die Möglichkeit, Papier mit einem geringeren CO₂-Verbrauch zu verwenden, wird daher nur als ergänzende Möglichkeit in Betracht gezogen, die weiterer Untersuchungen bedarf. Möglichkeiten zur Emissionseinsparung zielen deshalb auf das Nutzerverhalten ab.

Der relative Anteil der einseitig bedruckten Blatt Papier ist bei Studenten jeglichen Studienganges unter 50%, teils sogar weit darunter.

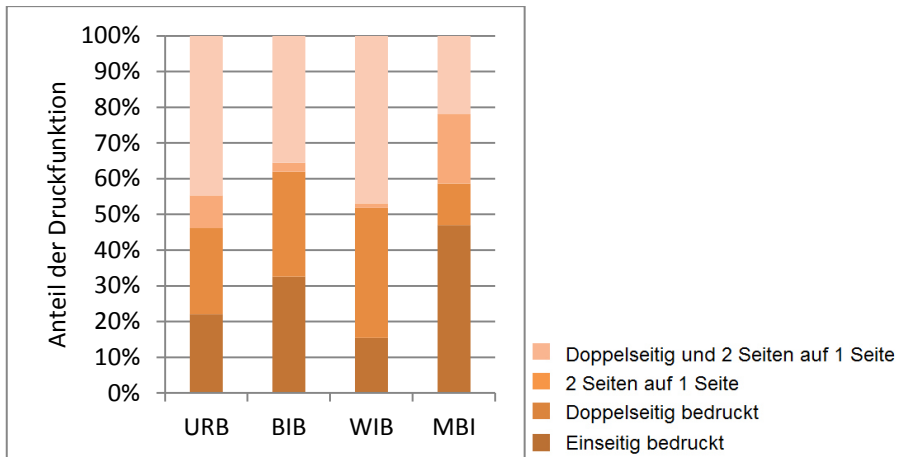


Abb. 57: Anteil der Druckfunktion an bedruckten Blatt Papier (Student)

Eigene Darstellung

Im Vergleich dazu werden bei Mitarbeitern und Professoren deutlich mehr Blatt Papier ausschließlich einseitig bedruckt. Hierbei unterscheiden sich zusätzlich weibliche Mitarbeiter und weibliche Professoren von ihren männlichen Kollegen. Männliche Mitarbeiter drucken nahezu 100% einseitig bedruckt aus, weibliche hingegen nur 50%. Bei Professoren und Professorinnen ist der Unterschied weniger ausgeprägt. Hier drucken männliche Professoren etwas über 70% der gedruckten Blatt Papier einseitig aus, weibliche Professoren etwa 65%.

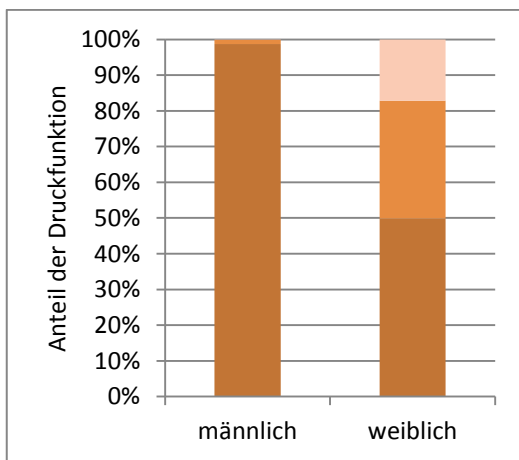


Abb. 58: Anteil der Druckfunktion an bedruckten Blatt Papier (Mitarbeiter)

Eigene Darstellung

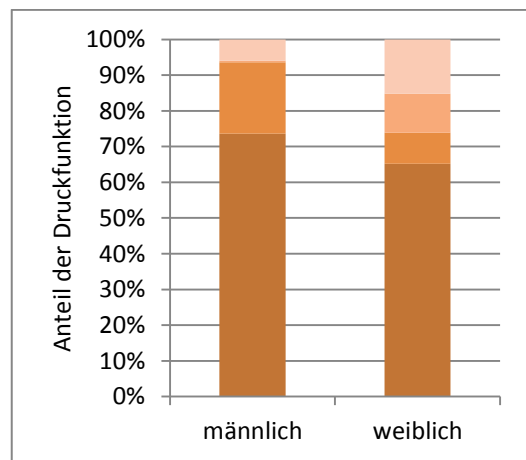


Abb. 59: Anteil der Druckfunktion an bedruckten Blatt Papier (Professor)

Eigene Darstellung

Einsparmöglichkeiten könnten darin bestehen, die Motivation zum doppelseitigen Drucken und zum Drucken mit der Funktion „2 Seiten auf 1 Seite“ zu erhöhen. Bei Studenten ist die Motivation vermutlich monetären Ursprungs, da 1 Blatt Papier, welches doppelseitig ausgedruckt wurde, mit 7 Cent kostengünstiger ist als 2 Blatt Papier, die jeweils einseitig ausgedruckt, zusammen 10 Cent kosten.

Eine Möglichkeit der Emissionsreduktion bei Mitarbeitern und Professoren bestände darin, an das „Grüne Gewissen“ zu appellieren. Hierbei sollte jedoch der benötigte Aufwand in einem guten Verhältnis zum Nutzen stehen. Im Vergleich zu anderen Aktivitäten ist hier das mögliche Einsparungspotential sehr gering. Ein mögliches kostengünsti-

ges Instrument wären Aufkleber an den Druckern, die zum doppelseitigen Drucken animieren. Eine weitere Möglichkeit wäre die Voreinstellung beim Drucker, automatisch doppelseitig zu drucken, wie es zum Beispiel am Regierungspräsidium Freiburg praktiziert wird. Damit wäre einseitiges Drucken mit einem Aufwand verbunden, der dazu führen könnte, dass Emissionen eingespart werden.

8.7 Vergleich mit anderen Hochschulen

Nachfolgend werden die Emissionen der Hochschule Konstanz mit den Emissionen anderer Hochschulen verglichen.

Nicht alle Emissionsergebnisse sind zum Vergleich geeignet, da Hochschulen unter Scope 3 zum Beispiel selbst bestimmen können, welche Aktivitäten bilanziert werden. Es macht daher wenig Sinn die Gesamtemissionen einer Hochschule gegenüberzustellen. Auch ist es schwierig, Scope 1-Emissionen miteinander und Scope 2-Emissionen miteinander zu vergleichen, da zum Beispiel Emissionen für Gebäudeenergie sowohl in Scope 1, als auch in Scope 2 zu finden sind. Auch ist es schwierig, ausschließlich Strom oder Wärme miteinander zu vergleichen, da wie an der Hochschule Konstanz ein BHKW für die Wärme- und Strombereitstellung vorhanden sein kann und nicht klar ist, wie die Emissionen zugeordnet werden. Im Vergleich der Hochschulen wird daher der spezifische Gebäudeenergieverbrauch aus Wärme und Strom pro Quadratmeter berechnet. Weitere vergleichbare Emissionsergebnisse stellen Emissionen des Pendelverkehrs sowie Emissionen des Papierverbrauchs pro Kopf dar. Auf eine Unterteilung von Studenten, Mitarbeitern und Professoren wird verzichtet, da zum einen die Definition dieser Personengruppen unterschiedlich ausfällt, zum anderen Emissionen für Pendelverkehr und Papier nicht weiter untergliedert sind.

Tabelle 34: Vergleich mit anderen Hochschulen

| Emissionen [t CO ₂ e] / Jahr | HSG (2008) | ETH (2013/2014) | Leuphana (2014) | TUM-SoM (2011/2012) | HTWG-BI (2014/2015) |
|--|---------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Wärme und Strom | 1512 | 6997 | 1305 | 38 | 52,5 |
| Fläche [m ²] | 50.116 | 663.940 | 52.731 | 4.232 | 3.022 |
| Wärme+Strom / Fläche [t CO ₂ e/m ²] | 0,030 | 0,011 | 0,025 | 0,009 | 0,017 |
| Anzahl Personen | 7254 | 29481 | 9183 | 2886 | 532 |
| Pendelverkehr | 1106 | 1714 | 1518 | 593 | 120,6 |
| Pendelverkehr-Emissionen pro Kopf | 0,152 | 0,058 | 0,165 | 0,205 | 0,227 |
| Papier | 84 | 290 | - | 9 | 1,4 |
| Papieremissionen pro Kopf | 0,012 | 0,010 | - | 0,003 | 0,003 |

* Für Wärme-Emissionen bei der Universität St. Gallen wurde ein Intervall angegeben. Der hier aufgeführte Wert stellt den Mittelwert dar.

** Scope 1 Emissionen der Leuphana Universität wurden nach *GHG Protocol* ohne Emissionseinsparungen berechnet.

Eigene Darstellung, Daten aus Universität St. Gallen 2012; ETH Zürich 2015; Leuphana Universität Lüneburg 2014; Belz und Binder 2013a, 2013b

Beim Vergleich der Emissionen für Gebäudeenergie muss berücksichtigt werden, dass die Flächenberechnung bei den Vergleichshochschulen nicht bekannt ist. Es könnte sein, dass hier ein anderes Maß als die Netto-Raumfläche angewendet wurde.

Im Vergleich der Emissionen für Gebäudeenergie liegt die Fakultät BI der HTWG im Mittelfeld. Die TUM-SoM, sowie die ETH haben einen geringeren Gebäudeenergieverbrauch pro Quadratmeter als die HTWG, die Universität St. Gallen sowie die Leuphana Universität einen höheren. In Kapitel 8.3 wird der spezifische Wärmeverbrauch der ETH mit dem der Fakultät BI verglichen. Der im Vergleich niedrigere Wärmeverbrauchswert der ETH lässt hier eine Ursache für den geringeren Emissionswert der Gebäudeenergie pro Quadratmeter vermuten. Da die Wärmeerzeugung an beiden Hochschulen mit Erdgas erfolgt, scheinen die geringeren spezifischen Emissionswerte in der Gebäudeeffizienz begründet. Dies unterstreicht die Tatsache, dass der bezogene Strom der HTWG im Gegensatz zur ETH emissionsfrei ist.

Auch die TUM-SoM bezieht zur Wärmeerzeugung hauptsächlich Erdgas oder Fernwärme. Der bezogene Strom ist hier ebenfalls Ökostrom, wodurch sich die Ergebnisse mit der HTWG vergleichen lassen.

Die vergleichsweise hohen spezifischen Gebäudeemissionswerte der HSG sind vermutlich auf die zusätzliche Verwendung von Öl zur Wärmeerzeugung zurückzuführen, dessen Emissionsfaktor höher liegt als der von Erdgas.

Die hohen Gebäudeemissionen der Leuphana Universität könnten aufgrund der geographischen Lage im Norden Deutschlands zu Stande kommen, da hier eventuell mehr Heizenergie benötigt wird. Insgesamt wird an der Leuphana Universität mehr Strom durch Erneuerbare Energien produziert als diese benötigt und somit die durch Erzeugung von Wärme emittierten Emissionen überkompensiert.

Im Vergleich der Pendelverkehr-Emissionen pro Kopf schneidet die Hochschule Konstanz am schlechtesten ab. Die hohen spezifischen Pendelemissionen können dabei nicht alleine auf die mit 0,805 t CO_{2e} recht hohen Pendelemissionen von Professoren [Tabelle 35] zurückgeführt werden. Vergleicht man ausschließlich die pro Kopf Emissionen von Studenten, befindet sich die Fakultät BI nur an vierter Stelle vor der TUM-SoM, obwohl mehr als die Hälfte der Studenten mit dem Fahrrad oder zu Fuß zur Hochschule gelangen. Besonders niedrig ist der Wert bei der ETH Zürich mit 0,058 t CO_{2e} pro Kopf, deren Pendelemissionen nicht weiter definiert sind. Eine Vermutung ist, dass Studenten an einer Fachhochschule im Vergleich zu einer Universität mehr Anwesenheitsstunden haben und daher mehr Wege zur Hochschule zurücklegen. Dies könnte in weiteren Forschungen untersucht werden. Da die beiden Hochschulen mit den geringsten Pendelverkehr-Emissionen pro Kopf die beiden Schweizer Hochschulen sind, besteht außerdem die Vermutung, dass Öffentliche Verkehrsmittel in der Schweiz besser akzeptiert sind und die Verkehrsanbindung mit öffentlichen Verkehrsmitteln besser ist.

Tabelle 35: Pendelverkehr-Emissionen pro Kopf

| | Studenten | Mitarbeiter | Professoren |
|---------------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Anzahl Personen | 499 | 13 | 20 |
| Pendelverkehr | 99,1 | 5,4 | 16,1 |
| Pendelemissionen pro Kopf | 0,199 | 0,415 | 0,805 |

Eigene Darstellung

Angehörige der Fakultät BI emittieren mit der Wirtschaftsfakultät der TUM die wenigsten Emissionen durch Papierverbrauch. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass der Papierverbrauch über eine Umfrage erfragt wurde, weshalb die Datensicherheit als gering einzustufen ist. Nichtsdestotrotz liegt das Ergebnis deutlich unter den Papieremissionen pro Kopf der Uni St. Gallen sowie der ETH Zürich.

9. Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde eine CO₂-Bilanz der Fakultät Bauingenieurwesen an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung Konstanz für das akademische Jahr 2014/2015 erstellt. Dazu wurde die Methodik *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard* verwendet, bekannt als das *GHG Protocol*.

Für die Bilanzierung wurden Aktivitäten der Fakultät betrachtet, deren Emissionen als maßgeblich für die Gesamtbilanz erschienen. Es wurden die Emissionen, die bei der Produktion von Wärme und Strom gebildet werden sowie die Emissionen des fakultäts-eigenen VW-Busses bilanziert. Zusätzlich wurden Emissionen, die durch Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten von Fakultätsangehörigen entstehen, bilanziert. Anhand der Methodik zur Bilanzierung der Kyoto-Gase wurden Emissionen in direkte Emissionen, indirekte Energie-Emissionen sowie weitere indirekte Emissionen, bekannt als Scope 1, Scope 2 und Scope 3 eingeteilt.

Zur Berechnung der Emissionen wurden Verbrauchswerte der Aktivitäten ermittelt, die multipliziert mit Emissionsfaktoren die Emissionen der einzelnen Aktivitäten ergaben. Zur Ermittlung der Aktivitätsdaten mussten Herausforderungen überwunden werden. Da die Fakultät BI Räume in mehreren Gebäuden nutzt, die von weiteren Fakultäten genutzt werden, war die Zuordnung des Wärme- und Stromverbrauchs der Gebäude zur Fakultät BI schwierig. Zur Zuordnung wurde die von der Fakultät BI genutzte Fläche ermittelt, anhand derer der Anteil des Wärme- und Strombedarfs der Fakultät BI im jeweiligen Gebäude geschätzt wurde. Da für die Aktivitäten Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten keine Verbrauchsdaten vorlagen, wurden diese mit einer Stichproben-Umfrage ermittelt.

Die Emissionsfaktoren wurden zum Teil den Umweltdatenbanken ProBas und GEMIS entnommen und zum Teil selbst berechnet. Eine Herausforderung stellte hier die Allokation der Erdgas-Emissionen auf die Output-Ströme Wärme und Strom eines BHKW dar. Diese konnte mit der *Efficiency Method* der *GHG Protocol Institution* berechnet werden.

Die Berechnung der Emissionen war mit den ermittelten Verbräuchen und den passenden Emissionsfaktoren unkompliziert. Lediglich die Hochrechnung der Stichproben-Umfragewerte auf alle Fakultätsangehörige erwies sich als schwierig. Da die berechneten Emissionswerte nicht normalverteilt waren, konnte keine Intervallschätzung der Emissionen für Pendelverkehr, Papierverbrauch und Mensa-Mahlzeiten angewendet werden, so dass eine Punktschätzung verwendet wurde. Dazu wurden durchschnittliche Emissionswerte für jeden Studiengang der Fakultät, für Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sowie Professoren und Professorinnen berechnet und anhand der Personenanzahl in der jeweiligen Stichprobe auf die entsprechende Grundgesamt geschlossen.

Im akademischen Jahr 2014/2015 sind an der Fakultät Bauingenieurwesen der Hochschule Konstanz insgesamt 264,8 t CO₂e Emissionen entstanden. Wie zu erwarten war,

wurde ein großer Teil durch Pendelverkehr sowie die Bereitstellung von Wärme und Strom verursacht. Studierende, Mitarbeiter und Professoren emittierten 120,6 t CO₂e durch Fahrten von und zur Hochschule. Die Erzeugung von 238,1 MWh Wärme verursachte 51,4 t CO₂e. Für die Bereitstellung von 80,5 MWh Strom wurden 11,8 t CO₂e emittiert. Mit 76,1 t CO₂e entstand ein weiterer großer Teil der jährlichen CO₂e-Emissionen durch die Herstellung der Mensa-Mahlzeiten für Fakultätsangehörige. Wie erwartet macht der Papierverbrauch mit 1,4 t CO₂e den geringsten Teil der Bilanz aus. Nur geringfügig mehr wurde mit 3,5 t CO₂e durch den fakultätseigenen VW-Bus emittiert.

Mehr als die Hälfte der Studierenden gelangt mit dem Fahrrad oder zu Fuß zur Hochschule. Trotzdem lagen die Pendelverkehr-Emissionswerte pro Kopf im Vergleich mit anderen Hochschulen höher. Dies kann vermutlich durch einen hohen Anteil der mit dem Auto zurückgelegten Strecke an der jährlich zurückgelegten Pendelstrecke erklärt werden.

Studierende des Umweltstudiengangs URB emittieren durchschnittlich die wenigsten Pendelverkehr-Emissionen. Sie legen im Vergleich mit Studierenden anderer Studiengänge den jeweils größten Anteil der jährlich zurückgelegten Strecke mit dem Fahrrad, zu Fuß und mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurück. URB-Studenten verursachen durch Mensa-Mahlzeiten im Vergleich mit anderen Studiengängen ebenfalls die geringsten Emissionen. Dies liegt zum einen daran, dass Studierende dieses Studiengangs die wenigsten Mahlzeiten in der Mensa konsumieren. Zum anderen liegt es daran, dass der Anteil der konsumierten vegetarischen Mahlzeiten bei diesem Studiengang am höchsten ist.

Insgesamt liegt der Anteil der vegetarischen Mahlzeiten bei weiblichen Studenten, Mitarbeitern und Professoren jeweils über dem ihrer männlichen Kollegen. Somit werden von weiblichen Fakultätsangehörigen im Durchschnitt weniger Emissionen durch den Verzehr von Mahlzeiten produziert als von männlichen Fakultätsangehörigen.

Im Vergleich mit anderen Hochschulen liegt die Fakultät BI bezüglich Emissionen aus der Bereitstellung von Wärme und Strom im Mittelfeld. Trotz desselben angewandten Standards des *GHG Protocols* ist es jedoch schwierig, die Emissionen unterschiedlicher Hochschulen zu vergleichen, da innerhalb des Standards unterschiedliche Annahmen getroffen werden können.

Um weitere Einsparpotentiale der Hochschule aufzudecken, könnten weitere Aktivitäten der Fakultät BI unter Scope 3 bilanziert werden. Besonders bei Geschäftsreisen und Exkursionen werden weitere Emissionen vermutet. Des Weiteren könnte die Genauigkeit der ermittelten Emissionswerte durch weitere Untersuchungen erhöht werden. Als Beispiel dienen Mensa-Mahlzeiten, deren genaue Zusammenstellung ermittelt und auf dieser Grundlage die jeweiligen Emissionen berechnet werden könnten. Ebenfalls könnten durch eine Dokumentation der Nachfüllung von Kältemittel in Klimaanlage eine weitere Aktivität in Scope 1 bilanziert werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Emissionsbilanzierung anderer Fakultäten der Hochschule Konstanz. Ein Vergleich der Fakultäten könnte dazu beitragen, die jeweiligen Emissionen beispielsweise gekoppelt an einen Wettbewerb zu reduzieren. Dabei muss jedoch sichergestellt werden, dass sämtliche Aktivitäten nach demselben Vorgehen bilanziert werden. Aus den einzelnen CO₂-Bilanzen der Fakultäten ließe sich eine CO₂-Bilanz der gesamten Hochschule erstellen, welche in tiefergehenden Analysen mit anderen Hochschulen verglichen werden könnte, um weiteres Einsparpotential aufzudecken.

Eine jährliche Erstellung der CO₂-Bilanz ließe sich innerhalb einer Umwelt-Management-Strategie umsetzen. Eine jährliche Bilanz kann dazu dienen, einzelne Jahre miteinander zu vergleichen und somit eine Selbstkontrolle durchzuführen. Ebenso kann der Erfolg etwaiger Einsparmaßnahmen messbar, überprüfbar und transparent gemacht werden. Eine Dokumentation dieser Einsparmaßnahmen kann zu einer positiven Außenwirkung der HTWG beitragen.

Die aufgezeigten Möglichkeiten der Emissionseinsparung leisten einen Beitrag zum Erreichen der Emissionsziele der Bundesrepublik Deutschland. Die Hochschule Konstanz kann bei der Umsetzung der Maßnahmen ein Vorbild für weitere Hochschulen sein, ihre jährlichen Treibhausgasemissionen zu verringern. Durch die hohe Zahl von über 400 Hochschulen in Deutschland besteht damit ein nicht zu unterschätzendes Potenzial, um das weltweite Ziel zu erreichen, den Klimawandel auf 2 °C Temperaturanstieg zu begrenzen.

Literaturverzeichnis

Belz, Martin; Binder, Julia Katharina (2013a): The Carbon Footprint of TUM School of Management. Scope 3, Studienjahr 2011/2012. Freising, München.

Belz, Martin; Binder, Julia Katharina (2013b): The TUM School of Management's Carbon Footprint: Scope one and two. Report in Consumer Oriented Project Work WS 12/13. Freising, München.

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2014): Die deutsche Klimaschutzpolitik. Online verfügbar unter www.bmub.bund.de/P3033/, zuletzt geprüft am 01.04.2016.

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2015): Konsum und Ernährung. Online verfügbar unter <http://www.bmub.bund.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen/produkte-und-umwelt/produktbereiche/lebensmittel/>, zuletzt geprüft am 07.07.2016.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie); BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin.

Bréon, François-Marie; Collins, William; Fuglestvedt, Jan; Huang, Jianping; Koch, Dorothy; Lamarque, Jean-François; Lee, David; Mendoza, Blanca; Nakajima, Teruyuki; Robock, Alan; Stephens, Graeme; Takemura, Toshihiko; Zhang, Hua (2013): Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: T. F. Stocker; D. Qin; G.-K. Plattner; M. Tignor; S.K. Allen; J. Boschung; A. Nauels; Y. Xia; V. Bex; P.M. Midgley (Hg.): *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, S. 659–740.

BSI (British Standards Institution) (2016): PAS 2050. Online verfügbar unter <http://shop.bsigroup.com/en/Browse-By-Subject/Environmental-Management-and-Sustainability/PAS-2050/>, zuletzt geprüft am 21.06.2016.

CDU; CSU; SPD (2013): Deutschlands Zukunft gestalten. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 18. Legislaturperiode. Online verfügbar unter <https://www.cdu.de/sites/default/files/media/dokumente/koalitionsvertrag.pdf>, zuletzt geprüft am 03.04.2016.

Eckey, Hans-Friedrich; Kosfeld, Reinhold; Dreger, Christian (2002): Statistik. Grundlagen - Methoden - Beispiele. Wiesbaden.

EEA (European Environment Agency) (2005): The European environment. State and outlook 2005. Copenhagen.

EEA (European Environment Agency) (2015): Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2013 and inventory report 2015. Submission to the UNFCCC Secretariat. Copenhagen.

ETH Zürich (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) (2015): Sustainability Report 2013–2014. Zürich.

Ewing, Brad; Moore, David; Goldfinger, Steven; Oursler, Anna; Reed, Anders; Wackernagel, Mathis (2010): Ecological Footprint Atlas 2010. Oakland.

Finkbeiner, Matthias; Schwager, Bernhard (2016): Umweltmanagement für kleine und mittlere Unternehmen. Die Normenreihe ISO 14000 und ihre Umsetzung. Berlin.

Fritsche, Uwe (2005): Process-oriented Basic Data for Environmental Management Instruments. www.probas.umweltbundesamt.de. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 10 (3), S. 225. DOI: 10.1065/lca2005.03.004.

Georgetown University (2015): Georgetown University's Greenhouse Gas Emissions. Annual Inventory. Online verfügbar unter <http://sustainability.georgetown.edu/initiatives/carbonfootprint>, zuletzt geprüft am 24.06.2016.

GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol) (2014): Standards. Online verfügbar unter <http://www.ghgprotocol.org/standards>, zuletzt geprüft am 21.06.2016.

Global Footprint Network (2005): National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method, Oakland.

Global Footprint Network (2016): World Footprint. Do we fit on the planet? Online verfügbar unter http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/world_footprint/, zuletzt geprüft am 09.07.2016.

Günther, Edeltraud (2016): CO₂-Fußabdruck. Hg. v. Springer Gabler Verlag. (Gabler Wirtschaftslexikon). Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/222017/35/Archiv/222017/co2-fussabdruck-v8.html>, zuletzt geprüft am 15.06.2016.

Hoeren, Hans-Peter (2016): Düsseldorf: Kraftwerk bricht zahlreiche Weltrekorde. Online verfügbar unter <https://www.zfk.de/energieeffizienz/kwk-fernwaerme/artikel/duesseldorf-kraftwerk-bricht-zahlreiche-weltrekorde.html>, zuletzt geprüft am 10.05.2016.

Hottenroth, Heidi; Schmidt, Mario; Joa, Bettina (2014): Carbon Footprints für Produkte. Handbuch für die betriebliche Praxis kleiner und mittlerer Unternehmen. Münster.

ICCT (International Council on Clean Transportation) (2016): Durchschnittliches Gewicht neu zugelassener Personenkraftwagen ausgewählter Hersteller in Europa im Jahr 2014 (in Kilogramm). Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/238004/umfrage/gewicht-von-pkw-nach-autoherstellern/>, zuletzt geprüft am 09.06.2016.

IINAS (Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien) (2016a): GEMIS - Globales Emissions-Modell integrierter Systeme. Online verfügbar unter <http://www.iinas.org/gemis-de.html>, zuletzt geprüft am 04.06.2016.

IINAS (Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien) (2016b): Informationen zu GEMIS. Online verfügbar unter <http://www.iinas.org/gemis-info-de.html>, zuletzt geprüft am 04.06.2016.

Juric, Kristian (2009): pb2es - Konvertierung von Sachbilanzdaten einer öffentlichen Online-Datenbank in ein übliches Datenaustauschformat. LCA Datenformate und Datenaustausch. In: Silke Feifel (Hg.): *Ökobilanzierung 2009 - Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit. Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009, Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7. Oktober 2009*. Karlsruhe, S. 225–230.

Kaltschmitt, Martin; Schebek, Liselotte (2015): Umweltbewertung für Ingenieure. Methoden und Verfahren. Berlin.

Kannegiesser, Matthias (2015): Klimabilanz im Unternehmen. Wie Sie eine Klimabilanz für alle Bereiche Ihres Unternehmens ermitteln und kontinuierlich weiterführen. Herne, Westf.

KIT (Karlsruher Institut für Technologie) (2012): GWP und ODP Werte. Online verfügbar unter <https://www.ttk.kit.edu/1193.php>, zuletzt geprüft am 16.06.2016.

KlimAktiv (KlimAktiv gemeinnützige Gesellschaft zur Förderung des Klimaschutzes mbH) (2016): CO2 Rechner PRO. Der CO2-Fußabdruck für Unternehmen. Online verfügbar unter https://klimaktiv.co2-pro.de/de_DE/page/footprint, zuletzt geprüft am 03.06.2016.

Lange, S.; Bender, R. (2007): Measures of variability. In: *Deutsche medizinische Wochenschrift* 132 (S01), e5-6. DOI: 10.1055/s-2007-959026.

Larsen, Hogne N.; Pettersen, Johan; Solli, Christian; Hertwich, Edgar G. (2013): Investigating the Carbon Footprint of a University - The case of NTNU. In: *Journal of Cleaner Production* (48), S. 39–47. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.10.007.

Leuphana Universität Lüneburg (2014): Schritte in die Zukunft. Nachhaltigkeitsbericht 2013. Lüneburg.

Leuphana Universität Lüneburg (2016): Klimaneutrale Universität. Online verfügbar unter <https://www.leuphana.de/themen/nachhaltigkeit/klimaneutrale-universitaet.html>, zuletzt geprüft am 29.06.2016.

Leyer, Ilona; Wesche, Karsten (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie. Eine Einführung. Heidelberg.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2009): Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe. Augsburg. Online verfügbar unter http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000022?SID=294280069&ACTIONxSESSxSHOWPIC%28BILDxKEY:lfu_klima_00022,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF%29, zuletzt geprüft am 20.04.2016.

Lynn University (2012): The Lynn University Carbon Footprint and Analysis. Baseline Report. Online verfügbar unter https://my.lynn.edu/ICS/icsfs/Carbon_Footprint_Report_12_17_12.pdf?target=e3d140fa-a913-45f3-889c-5c26995d24c8, zuletzt geprüft am 24.06.2016.

Max (2016): Dear America, this is Max. Online verfügbar unter <http://maxburgers.com/DearAmerica>, zuletzt geprüft am 10.07.2016.

Minnesota State University (2013): Carbon Footprint Report. Online verfügbar unter https://www.mnsu.edu/greencampus/carbonfootprint/MSU_Mankato_Carbon_Footprint_Final012014.pdf, zuletzt geprüft am 24.06.2016.

MTU (MTU Friedrichshafen GmbH) (2014): Bodenseefähre „Lodi“ fährt mit weiterentwickeltem „Ironmen“-Motor. Online verfügbar unter https://www.mtu-online.com/fileadmin/fm-dam/mtu-global/technical-info/case-studies/3082752_MTU_Marine_CaseStudy_BodenseefahreLodi_2014.pdf, zuletzt geprüft am 02.06.2016.

Ozawa-Meida, Leticia; Brockway, Paul; Letten, Karl; Davies, Jason; Fleming, Paul (2013): Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint. De Montfort University case study. In: *Journal of Cleaner Production* (56), S. 185–198. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.09.028.

Rees, William E. (1992): Ecological footprints and appropriated carrying capacity. What urban economics leaves out. In: *Environment and Urbanization* 4 (2), S. 121–130. DOI: 10.1177/095624789200400212.

Robert Koch Institut (2016a): Mittelwerte von Körpergröße, -gewicht und BMI bei Frauen in Deutschland nach Altersgruppe im Jahr 2011. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/260916/umfrage/mittelwerte-von-groesse-gewicht-und-bmi-bei-frauen-nach-alter/>, zuletzt geprüft am 09.06.2016.

Robert Koch Institut (2016b): Mittelwerte von Körpergröße, -gewicht und BMI bei Männern in Deutschland nach Altersgruppe im Jahr 2011. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/260920/umfrage/mittelwerte-von-groesse-gewicht-und-bmi-bei-maennern-nach-alter/>, zuletzt geprüft am 10.06.2016.

Schira, Josef (2009): Statistische Methoden der VWL und BWL. Theorie und Praxis. München, Boston.

Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser, Elke (2011): Methoden der empirischen Sozialforschung. München.

Schumann, Siegfried (2006): Repräsentative Umfrage. Praxisorientierte Einführung in empirische Methoden und statistische Analyseverfahren. München.

Schuster, Thomas; Liesen, Arndt (2014): Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. Ein Lehr- und Übungsbuch für das Bachelor-Studium. Berlin, Heidelberg.

Schwarz, Winfried; Leisewitz, André (2000): Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und SF₆ in Deutschland. In: *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* 12 (4), S. 209–213. DOI: 10.1007/BF03038205.

Seezeit Studierendenwerk Bodensee (2016): FAQ. Online verfügbar unter <https://www.seezeit.com/essen/faq/>, zuletzt geprüft am 05.06.2016.

Soode, Eveli; Weber-Blaschke, Gabriele; Richter, Klaus (2013): Comparison of product carbon footprint standards with a case study on poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (7), S. 1280–1290. DOI: 10.1007/s11367-013-0575-3.

Sperlich, Volker (2006): Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) - Was ist das eigentlich ? Konsequenzen aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik für die Versorgung mit Strom und Wärme. Duisburg-Essen.

Stadtwerke Konstanz (2015): Zahlen und Fakten 2014. Stand Juli 2015. Online verfügbar unter https://www.stadtwerke-konstanz.de/fileadmin/pdf/Unternehmen/20150720_Zahlen_und_Fakten_2014_web.pdf, zuletzt geprüft am 02.06.2016.

Stadtwerke Konstanz (2016): Netzbeschreibung. Online verfügbar unter http://www.netze-konstanz.de/featureGips/Gips?SessionMandant=sw_konstanz&Anwendung=EnWGKnotenAnzeigen&PrimaryId=67327&Mandantkuerzel=sw_konstanz&Navigation=J, zuletzt geprüft am 11.06.2016.

Teufel, Jennifer (2011): Kriterien der Nachhaltigkeit in den einzelnen Wertschöpfungsstufen - CO₂-Bilanz als Indiz für Nachhaltigkeit? In: Eberhard Haunhorst; Christoph Willers (Hg.): *Nachhaltiges Management. Sustainability, Supply Chain, Stakeholder*. Norderstedt, S. 69–78.

The American University in Cairo (2015): AUC's Carbon Footprint. Online verfügbar unter https://documents.aucegypt.edu/docs/about_sustainability/Carbon%20Footprint%202015%20Master%20Draft%20v.%206%20FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 24.06.2016.

UBA (Umweltbundesamt) (2016a): Emissionsdaten. Vergleich der Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten>, zuletzt geprüft am 20.04.2016.

UBA (Umweltbundesamt) (2016b): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Emissionsentwicklung 1990 bis 2014. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>, zuletzt geprüft am 04.04.2016.

UBA (Umweltbundesamt); ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg) (2007): Die CO₂ Bilanz des Bürgers. Recherche für ein internetbasiertes Tool zur Erstellung persönlicher CO₂ Bilanzen. Heidelberg.

UBA (Umweltbundesamt); IINAS (Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien) (2015): ProBas ReLaunch. Online verfügbar unter <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/news.php?id=3>, zuletzt geprüft am 04.06.2016.

UBA (Umweltbundesamt); IINAS (Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien) (2016): ProBas. Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme. Online verfügbar unter <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>, zuletzt geprüft am 04.06.2016.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2008): Kyoto Protocol. Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount. New York.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2015): Adoption of the Paris Agreement. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>, zuletzt geprüft am 01.04.2016.

Universität St. Gallen (2012): Der CO₂-Fussabdruck der HSG. Ergebnisse der ersten Messung der durch den Universitätsbetrieb entstehenden Treibhausgasemissionen. Online verfügbar unter https://www.unisg.ch/~media/internet/content/dateien/unisg/hsgservices/hsgmediacorner/aktuell/2012/november/121010_oikos-co2-fussabdruck.pdf?fl=en, zuletzt geprüft am 27.06.2016.

University of Brighton (2012): Carbon Management Plan. Cutting our carbon by 50% in five years. Online verfügbar unter http://about.brighton.ac.uk/sustainability/files/8213/6068/0417/Uni_of_Brighton_Carbon_Managemnt_Plan_2012.pdf, zuletzt geprüft am 24.06.2016.

University of Cape Town (2014): Carbon Footprint Report 2013. Online verfügbar unter http://www.uct.ac.za/usr/proserv/UCT_Carbon_Footprint_Report_2013.pdf, zuletzt geprüft am 24.06.2016.

University of Hong Kong (2014): HKU Sustainability Report 2011. Carbon. Online verfügbar unter <http://www.sustainability.hku.hk/report/2010-2011/sustainability-indicators/carbon>, zuletzt geprüft am 27.06.2016.

University of Nottingham (2015): Carbon Management Plan. Annual Report 2014/15. Online verfügbar unter <https://www.nottingham.ac.uk/estates/documents/annualreports/2014-2015-carbon-management-report.pdf>, zuletzt geprüft am 24.06.2016.

University of Queensland (2016): Carbon Strategy. Online verfügbar unter <http://www.uq.edu.au/sustainability/carbon-strategy>, zuletzt geprüft am 27.06.2016.

Vahlenkamp, Thomas; Peters, Michael; Präßler, Thomas; Ritzenhofen, Ingmar; Weber, Marco (2016): Energiewende-Index Deutschland 2020 – Kraftakt Atomausstieg. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 66 (3), S. 26–30.

Viessmann (2016): Effiziente Gasheizung dank Brennwerttechnik. Online verfügbar unter <http://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/gas-heizkessel/gas-brennwertkessel.html>, zuletzt geprüft am 10.05.2016.

Wackernagel, Mathis (1991a): Measuring a Community's Appropriated Carrying Capacity as an Indicator for Sustainability. Report for the UBC Task Force on Healthy and Sustainable Communities. Vancouver.

Wackernagel, Mathis (1991b): Using Appropriated Carrying Capacity as an indicator. Measuring the Sustainability of a Community. Report for the UBC Task Force on Healthy and Sustainable Communities. Vancouver.

Wackernagel, Mathis; Beyers, Bert (2010): Der Ecological Footprint. Die Welt neu vermessen. Hamburg.

Wackernagel, Mathis; Rees, William E. (1996): Our ecological footprint. Reducing human impact on the earth. Gabriola Island, Philadelphia.

Wackernagel, Mathis; Rees, William E. (1997): Unser ökologischer Fussabdruck. Wie der Mensch Einfluss auf die Umwelt nimmt. Basel, Boston, Berlin.

Wiedmann, Thomas; Minx, Jan (2007): A Definition of 'Carbon Footprint'. In: Carolyn C. Pertsova (Hg.): *Ecological economics research trends*. New York, S. 1–11.

WRI (World Resources Institute); WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2004): The greenhouse gas protocol. A corporate accounting and reporting standard. Genf, Washington.

WRI (World Resources Institute); WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2006): Allocation of GHG Emissions from a Combined Heat and Power (CHP) Plant. Online verfügbar unter http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/CHP_guidance_v1.0.pdf, zuletzt geprüft am 07.05.2016.

WRI (World Resources Institute); WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (2011): The greenhouse gas protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Genf, Washington.



Fakultät Bauingenieurwesen

Anlage zur Bachelor-Thesis von

Niklas Scholliers
.....

EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorstehende Bachelor-Thesis selbständig angefertigt und die benutzten Hilfsmittel sowie die befragten Personen und Institutionen vollständig angegeben habe.

Konstanz, 19.07.2016
.....

(Ort, Datum)

.....

(Unterschrift)

Anhang

Tabelle 36: Genutzte Fläche der Fakultät BI (Rechnung)

Flächenberechnung nach DIN 277 (Netto-Raumfläche)

| Gebäude B | Fläche [m ²] | Anteil Fakultät BI [m ²] |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|
| Gesamt | 624,4 | 0 |
| UG | 131,4 | 0 |
| EG | 131,4 | 0 |
| 1. OG | 131,4 | 0 |
| 2. OG | 124,2 | 0 |
| DG | 106 | 0 |

| Gebäude C | Fläche [m ²] | Anteil Fakultät BI [m ²] |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|
| Gesamt | 5608,75 | 1660,45 |
| UG | 1029,2 | 0 |
| EG | 1112,95 | 1059,9 |
| 1. OG | 1204,6 | 600,55 |
| 2. OG | 1185,9 | 0 |
| DG | 1076,1 | 0 |

| Gebäude G | Fläche [m ²] | Anteil Fakultät BI [m ²] |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|
| Gesamt | 9300,05 | 846,3 |
| UG | 1720,2 | 551,78 |
| EG | 3247,28 | 294,52 |
| 1. OG | 2204,31 | 0 |
| 2. OG | 1869,66 | 0 |
| 3. OG | 258,6 | 0 |
| 4. OG | 225,44 | 0 |

| Gebäude U | Fläche [m ²] | Anteil Fakultät BI [m ²] |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|
| Gesamt | 534,6 | 534,6 |
| EG | 534,6 | 534,6 |

Eigene Darstellung

Pläne zur Verfügung gestellt von Herrn Bernhard Schuhmacher (Gebäudemanagement - HTWG) am 25.04.2016 per E-Mail.

Tabelle 37: Anzahl Studierende, Professoren, Mitarbeiter (Rechnung)

| | Studierende | | | | | | Professoren | Mitarbeiter |
|-----------------------------|----------------|-----|-----|-----|--------|-----|-------------|-------------|
| | BIB | WIB | URB | MBI | Gesamt | | | |
| Wintersemester 2015/2016 | Immatrikuliert | 239 | 113 | 117 | 81 | 550 | 17 | 5 |
| | Praxissemester | 33 | 15 | 20 | | 68 | 3 | 8 |
| | Anwesend | 206 | 98 | 97 | 81 | 482 | 20 | 13 |
| Sommersemester 2016 | Immatrikuliert | 247 | 111 | 111 | 79 | 548 | 17 | 5 |
| | Praxissemester | 23 | 5 | 4 | | 32 | 3 | 8 |
| | Anwesend | 224 | 106 | 107 | 79 | 516 | 20 | 13 |
| gemittelte Werte | Immatrikuliert | 243 | 112 | 114 | 80 | 549 | 17 | 5 |
| | Praxissemester | 28 | 10 | 12 | 0 | 50 | 3 | 8 |
| | Anwesend | 215 | 102 | 102 | 80 | 499 | 20 | 13 |

Eigene Darstellung

Quelle:

Anzahl Studierende:

Anzahl Professoren:

Anzahl Mitarbeiter:

Freundliche Mitteilung von Frau Hirschmann und Frau Böhm (HTWG) am 25.04.2016.

<http://www.htwg-konstanz.de/Bauingenieurwesen.65.0.html> (25.04.2016).<http://www.htwg-konstanz.de/MitarbeiterInnen.4172.0.html> (25.04.2016).

Tabelle 38: Abrechnungsbrennwerte der Jahre 2014 und 2015

| Abrechnungsbrennwert | | | |
|----------------------|------|--------|---------------------|
| Januar | 2014 | 11,206 | kWh/Nm ³ |
| Februar | 2014 | 11,204 | kWh/Nm ³ |
| März | 2014 | 11,24 | kWh/Nm ³ |
| April | 2014 | 11,332 | kWh/Nm ³ |
| Mai | 2014 | 11,381 | kWh/Nm ³ |
| Juni | 2014 | 11,251 | kWh/Nm ³ |
| Juli | 2014 | 11,303 | kWh/Nm ³ |
| August | 2014 | 11,264 | kWh/Nm ³ |
| September | 2014 | 11,31 | kWh/Nm ³ |
| Oktober | 2014 | 11,297 | kWh/Nm ³ |
| November | 2014 | 11,269 | kWh/Nm ³ |
| Dezember | 2014 | 11,226 | kWh/Nm ³ |
| Januar | 2015 | 11,237 | kWh/Nm ³ |
| Februar | 2015 | 11,231 | kWh/Nm ³ |
| März | 2015 | 11,235 | kWh/Nm ³ |
| April | 2015 | 11,235 | kWh/Nm ³ |
| Mai | 2015 | 11,272 | kWh/Nm ³ |
| Juni | 2015 | 11,308 | kWh/Nm ³ |
| Juli | 2015 | 11,337 | kWh/Nm ³ |
| August | 2015 | 11,385 | kWh/Nm ³ |
| September | 2015 | 11,397 | kWh/Nm ³ |
| Oktober | 2015 | 11,312 | kWh/Nm ³ |
| November | 2015 | 11,258 | kWh/Nm ³ |
| Dezember | 2015 | 11,244 | kWh/Nm ³ |

| | |
|-------------|----------------------------|
| Mittelwert: | 11,281 kWh/Nm ³ |
|-------------|----------------------------|

Eigene Darstellung

Daten zu Verfügung gestellt von Herrn Christian Haake (Stadtwerke Konstanz) am 09.05.2016 per E-Mail

Tabelle 39: Hochrechnung Stromverbrauch Gebäude U

| | Abrechnung | Von 13.01.2014 01.01.2015 | Bis 31.12.2014 31.12.2015 | Gebäude U 13.023 kWh 16.334 kWh |
|---|--------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| A | | | | |
| B | | | | |
| C | Hochrechnung | gesamtes Jahr 2014 01.01.2014 | 31.12.2014 | 13.504 kWh (A/352) x 365 |
| D | Durchschnitt | Jahr 2014 + 2015 | | 14.919 kWh (B + C) / 2 |

Eigene Darstellung

Freundliche Mitteilung von Herrn Thomas Thiers (VB-BW Amt KN) am 29.04.2016 per E-Mail

Tabelle 40: Wärmeverbrauch Gebäude U (Rechnung)

| | Gebäude | Gebäude U |
|---|---|---------------------------|
| A | Gebäudefläche | |
| | Gesamtgebäudefläche | 534,6 m ² |
| B | Genutzte Fläche von BI | 534,6 m ² |
| C | Anteil an Gebäudefläche | 100,00% |
| | | B/A |
| D | Wärmeverbrauch Gebäude B+C | 445.500 kWh |
| E | Fläche Gebäude B+C | 6.233,2 m ² |
| F | Spezifischer Wärmeverbrauch Gebäude B+C | 71,47 kWh/m ² |
| | | D/E |
| G | Wärmeverbrauch Gebäude G | 841.000 kWh |
| H | Fläche Gebäude G | 9.300,1 m ² |
| I | Spezifischer Wärmeverbrauch Gebäude G | 90,43 kWh/m ² |
| | | G/H |
| J | Gewichteter Mittelwert | 82,82 kWh/m ² |
| K | Berechneter Verbrauch | 44.277 kWh |
| | | 0,159 TJ |
| | | (F x E + I x H) / (E + H) |
| | | J x B |

Eigene Darstellung

Tabelle 41: Wärmeverbrauch der Fakultät BI Gebäude C+G (Rechnung)

| | | Gebäude C | Gebäude G |
|-----------|----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| A | Erzeugte Wärme Campus Gesamt | 3.250,0 MWh | 3.250,0 MWh |
| B | Verbrauch Gebäude Gesamt | 445,50 MWh | 841,00 MWh |
| C | Anteil am Campusverbrauch | 13,71% | 25,88% |
| B/A | | | |
| D | Gebäudefläche Gesamt | *6.233,2 m ² | 9.300,1 m ² |
| E | Gebäudefläche von BI genutzt | 1.641,1 m ² | 846,3 m ² |
| F | Anteil am Gebäude | 26,33% | 9,10% |
| E/D | | | |
| G | Verbrauch BI | 117,29 MWh | 76,53 MWh |
| F x C x A | | | |
| H | BHKW-Anteil an Campusverbrauch | 56,28% | 56,28% |
| I | Verbrauch BI erzeugt mit BHKW | 66,01 MWh | 43,07 MWh |
| J | Kessel-Anteil an Campusverbrauch | 0,238 TJ | 0,155 TJ |
| K | Verbrauch BI erzeugt mit Kessel | 43,72% | 43,72% |
| J x G | | | |
| | | 51,28 MWh | 33,46 MWh |
| | | 0,185 TJ | 0,120 TJ |

* Es besteht nur ein Wärmezähler für Gebäude C+B zusammen. Deshalb entspricht die gesamte Gebäudefläche der Fläche der Gebäude C+B zusammen
Eigene Darstellung

Tabelle 42: Stromverbrauch der Fakultät BI Gebäude C+G (Rechnung)

| | | Gebäude C | Gebäude G |
|-----------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| A | Verbrauchter Strom Campus Gesamt | 1.728.876 kWh | 1.728.876 kWh |
| B | Verbrauch Gebäude Gesamt | 154.897 kWh | 222.280 kWh |
| C | Anteil am Campusverbrauch | 8,96% | 12,86% |
| B/A | | | |
| D | Gebäudefläche Gesamt* | 5.608,8 m ² | 9.300,1 m ² |
| E | Gebäudefläche von BI genutzt | 1.641,1 m ² | 846,3 m ² |
| F | Anteil am Gebäude | 29,26% | 9,10% |
| E/D | | | |
| G | Verbrauch BI | 45.321 kWh | 20.227 kWh |
| F x C x A | | | |
| H | Aufteilung Verbrauch (BHKW / Kessel) | 49,24% | 49,24% |
| I | | 22.316 kWh 0,080 TJ | 9.960 kWh 0,036 TJ |
| J | Eigene Darstellung | 50,76% | 50,76% |
| K | | 23.005 kWh 0,083 TJ | 10.267 kWh 0,037 TJ |
| J x G | | | |

Tabelle 43: Emissionsfaktor Kessel - Wärme

| | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------------|-----|---|
| A | Output | Wärme | | 1.421,00 MWh |
| B | Emissionen | Verbrennungsprozess Vorkette | | 284.482,0 kg CO ₂ e 53.194,2 kg CO ₂ e |
| C | Emissionsfaktor | Verbrennungsprozess Vorkette | B/A | 200,20 kg CO ₂ e/MWh 0,200 kg CO ₂ e/kWh 55.610,7 kg CO ₂ e/TJ |
| D | | | C/A | 37,43 kg CO ₂ e/MWh 0,037 kg CO ₂ e/kWh 10.398,4 kg CO ₂ e/TJ |

Eigene Darstellung

Tabelle 44: Allokation der BHKW-Emissionen (Rechnung)

| | Input | Zugeführte Energie (Brennwert bezogen) | $W_{ZU} (H_s)$ | |
|---|-----------------|---|----------------|---------------------|
| A | | | | Verbrennungsprozess |
| B | Output | Wärme | H | |
| C | | Strom | P | |
| D | Wirkungsgrad | thermisch | η_{th} | |
| E | | elektrisch | η_{el} | |
| F | Emissionen | Gesamt | E_T | |
| G | | Wärme Gesamt | E_H | |
| H | | Strom Gesamt | E_P | |
| | | | | Vorkette |
| | | | | |
| I | Emissionsfaktor | Wärme | EF_H | |
| J | | Strom | EF_P | |

| | Verbrennungsprozess | Vorkette |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | 3.391.546 kWh | 3.391.546 kWh |
| | 1.829.000 kWh | 1.829.000 kWh |
| | 1.133.052 kWh | 1.133.052 kWh |
| | 0,98 - | 0,98 - |
| | 0,55 - | 0,55 - |
| | 615,553 t CO ₂ e | 115,100 t CO ₂ e |
| | 292,588 t CO ₂ e | 54,710 t CO ₂ e |
| | 322,965 t CO ₂ e | 60,390 t CO ₂ e |
| | 159,97 g CO ₂ e/kWh | 29,91 g CO ₂ e/kWh |
| | 44.436,49 kg CO ₂ e/TJ | 8.309,01 kg CO ₂ e/TJ |
| | 285,04 g CO ₂ e/kWh | 53,300 g CO ₂ e/kWh |
| | 79.177,74 kg CO ₂ e/TJ | 14.805,15 kg CO ₂ e/TJ |

| | Rechnung |
|--|------------------------------------|
| | $(B/D) / \{(B/D)+(C/E)\} \times F$ |
| | F - G |
| | G/B |
| | I / 3,6 x 1000 |
| | H/C |
| | J / 3,6 x 1000 |

Eigene Darstellung

Tabelle 45: Emissionsfaktor Fähre (Rechnung)

| | | | |
|---|--|------------|---|
| A | Fahrgäste im Jahr 2014 | | 4.250.000 |
| B | Anzahl Fahrten im Jahr | | 61.000 |
| C | Anzahl Fahren | | 6 |
| D | Durchschnittl. Anzahl Fahrgäste pro Fähre und Jahr | A / C | 708.333 |
| E | Durchschnittl. Anzahl Fahrten pro Fähre und Jahr | B / C | 10.167 |
| F | Durchschnittl. Anzahl Fahrgäste pro Fahrt | D / E | 69,67 P/Fahrt |
| G | Anzahl Motoren / Fähre | | 2 |
| H | Durchschnittl. Verbrauch / Motor | | 115 l/h |
| I | Dauer Überfahrt | | 14 min |
| J | Streckenlänge | | 4,2 km |
| K | Art des Treibstoffs | | Diesel |
| L | Durchschnittl. Verbrauch Fähre | G x H | 230 l/h |
| M | Durchschnittl. Verbrauch pro Fahrt | L / 60 x I | 53,67 l/Fahrt |
| N | Durchschnittl. Verbrauch pro km | M / J | 12,78 l/km |
| O | Durchschnittl. Verbrauch pro Pkm | N / F | 0,183 l/km |
| P | Emissionsfaktor Diesel (Verbrennungsprozess) | | 2,63 kg CO ₂ e/l |
| Q | Emissionsfaktor Diesel (Vorkette) | | 0,526 kg CO ₂ e/l |
| R | Emissionsfaktor Fähre (Verbrennungsprozess) | P x O | 0,482 kg CO ₂ e/Pkm |
| S | Emissionsfaktor Fähre (Vorkette) | Q x O | 0,096 kg CO ₂ e/Pkm |
| T | Emissionsfaktor Fähre Gesamt | R + S | 0,579 kg CO ₂ e/Pkm 579 g CO ₂ e/Pkm |

Eigene Darstellung

Tabelle 46: Emissionsfaktor Papier

| | A | | B | | C | |
|---|-------------------|------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|--|
| | Anzahl der Seiten | Emissionen | Emissionen | Emissionsfaktor | B/A x 1000 x 1000 | |
| Büropapier, DIN A4, 80 g/m ² , Blatt Eigene Darstellung | 100.000.000 | - | 663,62 t CO ₂ e | 6,636 | g CO ₂ e/Seite | |

Tabelle 47: Emissionsfaktor Mahlzeiten

| | A | | B | | C | |
|---|-----------------------|------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|--|
| | Anzahl der Mahlzeiten | Emissionen | Emissionen | Emissionsfaktor | B/A x 1000 | |
| Mischkost konventionell vegetarisch, regional und saisonal Eigene Darstellung | 100.000.000 | - | 210.700 t CO ₂ e | 2,107 | kg CO ₂ e/Mahlzeit | |
| | 100.000.000 | - | 148.122 t CO ₂ e | 1,481 | kg CO ₂ e/Mahlzeit | |

Exkurs: Allokation der Erdgas-Emissionen mit Wirkungsgraden des eigenen BHKW

In diesem Exkurs wird gezeigt, dass die Emissionen des Erdgases zur Hälfte dem Energie-Output Wärme und zur Hälfte dem Energie-Output Strom zugeordnet würde, wenn mit den Wirkungsgraden des eigenen BHKW gerechnet wird:

| | |
|--------------------------------|--|
| E_H | = Emissionen zugeordnet zu Wärme-Output |
| E_T | = gesamte Emissionen des BHKW |
| E_P | = Emissionen zugeordnet zu Strom-Output |
| W_{zu} | = zugeführte Energie (um einer Verwechslung mit Emissionen vorzubeugen, wird hier das Formelzeichen W (Arbeit) anstatt E für Energie verwendet). |
| H | = Wärme-Output (Energie) |
| P | = Strom-Output (Energie) |
| $\eta_{th} = \frac{H}{W_{zu}}$ | = Wirkungsgrad für Wärme |
| $\eta_{el} = \frac{P}{W_{zu}}$ | = Wirkungsgrad für Strom |

Beweis:

$$\begin{aligned}
 E_H &= \frac{\frac{H}{\eta_{th}}}{\frac{H}{\eta_{th}} + \frac{P}{\eta_{el}}} * E_T = \frac{\frac{H}{H/W_{zu}}}{\frac{H}{H/W_{zu}} + \frac{P}{P/W_{zu}}} * E_T = \frac{\frac{H}{H} * W_{zu}}{\frac{H}{H} * W_{zu} + \frac{P}{P} * W_{zu}} * E_T = \frac{W_{zu}}{W_{zu} + W_{zu}} * E_T \\
 &= \frac{W_{zu}}{2W_{zu}} * E_T = \frac{1}{2} * E_T
 \end{aligned}$$

$$\rightarrow E_H = \frac{1}{2} * E_T$$

$$E_P = E_T - E_H = E_T - \frac{1}{2} E_T = \frac{1}{2} E_T$$

$$\rightarrow E_P = \frac{1}{2} * E_T$$

Es würden also die gesamten Emissionen E_T zur Hälfte auf dem Wärme-Output und zur anderen Hälfte auf dem Strom-Output zugeordnet.

Umfragebogen



CO2-Fußabdruck Fakultät Bauingenieurwesen

Seite 1

Guten Tag,

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit möchte ich die CO2-Emissionen der Fakultät Bauingenieurwesen bilanzieren.

Ich würde mich freuen, wenn Sie mich dabei unterstützen und die nachfolgenden Fragen beantworten. Sie sind in ca. 2-3 Minuten beantwortet und Sie können mit Ihren Antworten dazu beitragen, dass unsere Fakultät ihren CO2-Fußabdruck verringert.

Viele Grüße
Niklas Scholliers

* Fragen mit (*) müssen beantwortet werden

Es werden keine personenbezogene Daten erhoben. Alle erhobenen Daten werden anonym verwendet.

Seite 2

Ich bin *

- Student(in)
- Professor(in)
- Mitarbeiter(in)

Geschlecht *

- männlich
- weiblich
- keine Angabe

Alter

Seite 3

Studiengang *

- BIB
- WIB
- URB
- MBI
- MWI
- keine Angabe

Fortbewegungsmittel Sommersemester

Welche Fortbewegungsmittel verwenden Sie im Sommersemester um an die HTWG zu gelangen? Wählen Sie die am ehesten zutreffenden Fortbewegungsmittel aus. (Mehrfachnennung möglich) *

- Auto
- Motorrad/Roller
- Bus
- Zug (Nahverkehr)
- Zug (Fernverkehr)
- Fähre
- Katamaran
- Fahrrad
- zu Fuß

Wie viele Wochen fahren / gehen Sie im Sommersemester an die HTWG? *

Hilfe: Ein Semester hat 15 Wochen Vorlesungszeit, zusätzlich 2-3 Wochen Prüfungszeit.

Fortbewegungsmittel Sommersemester (2)

Tragen Sie unten bitte ein, wie oft Sie im Sommersemester welches Fortbewegungsmittel in der Woche nutzen und welche Distanz Sie dabei auf einem einfachen Weg zur HTWG zurücklegen.

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester das Auto um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Auto zurück? Bitte in [km] angeben. *

Treibstoff Auto

Spezifische Angaben (Auto)

Vergleichswerte: Kleinwagen 6,6l Benzin (4,2l Diesel), Mittelklasse 8,3l (6,1l Diesel), Oberklasse: 11,7l (8,2l Diesel)

Treibstoffverbrauch in l/100km (kg/100km, kWh/100km)

Durchschnittliche Anzahl der Personen im Auto (inkl. Ihnen selbst)

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester das Motorrad / den Roller um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Motorrad/Roller zurück? Bitte in [km] angeben. *

Treibstoff Motorrad/Roller

Spezifische Angaben (Motorrad/Roller)

Vergleichswerte: Motorrad ca. 3,3 l, Roller ca. 2,2l

Treibstoffverbrauch in l/100km (kg/100km, kWh/100km)

Durschnittliche Anzahl der Personen auf dem Motorrad/Roller (inkl. Ihnen selbst)

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester den Bus um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Bus zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester den Zug (Nahverkehr) um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Zug (Nahverkehr) zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester den Zug (Fernverkehr) um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Zug (Fernverkehr) zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester die Fähre um zur HTWG zu gelangen? *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester den Katamaran um zur HTWG zu gelangen? *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Sommersemester das Fahrrad um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Fahrrad zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche gehen Sie im Sommersemester zu Fuß um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG zu Fuß zurück? Bitte in [km] angeben. *

Seite 6

Verwenden Sie im Wintersemester dieselben Fortbewegungsmittel um an die HTWG zu gelangen?

- ja
- nein

Fortbewegungsmittel Wintersemester

Welche Fortbewegungsmittel verwenden Sie im Wintersemester um an die HTWG zu gelangen? Wählen Sie die am ehesten zutreffenden Fortbewegungsmittel aus. (Mehrfachnennung möglich) *

- Auto
- Motorrad/Roller
- Bus
- Zug (Nahverkehr)
- Zug (Fernverkehr)
- Fähre
- Katamaran
- Fahrrad
- zu Fuß

Wie viele Wochen fahren / gehen Sie im Wintersemester an die HTWG? *

Hilfe: Ein Semester hat 15 Wochen Vorlesungszeit, zusätzlich 2-3 Wochen Prüfungszeit.

Fortbewegungsmittel Wintersemester (2)

Tragen Sie unten bitte ein, wie oft sie im Wintersemester welches Fortbewegungsmittel in der Woche nutzen und welche Distanz Sie dabei auf einem einfachen Weg zur HTWG zurücklegen.

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester das Auto um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Auto zurück? Bitte in [km] angeben. *

Treibstoff Auto

Bitte wählen... ▼

Spezifische Angaben (Auto)

Vergleichswerte: Kleinwagen 6,6l Benzin (4,2l Diesel), Mittelklasse 8,3l (6,1l Diesel), Oberklasse: 11,7l (8,2l Diesel)

Treibstoffverbrauch in l/100km (kg/100km, kWh/100km)

Durchschnittliche Anzahl der Personen im Auto (inkl. Ihnen selbst)

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester das Motorrad / den Roller um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Motorrad/Roller zurück? Bitte in [km] angeben. *

Treibstoff Motorrad/Roller

Bitte wählen... ▼

Spezifische Angaben (Motorrad/Roller)

Vergleichswerte: Motorrad ca. 3,3 l, Roller ca. 2,2l

Treibstoffverbrauch in l/100km (kg/100km, kWh/100km)

Durchschnittliche Anzahl der Personen auf dem Motorrad/Roller (inkl. Ihnen selbst)

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester den Bus um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Bus zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester den Zug (Nahverkehr) um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Zug (Nahverkehr) zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester den Zug (Fernverkehr) um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Zug (Fernverkehr) zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester die Fähre um zur HTWG zu gelangen? *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester den Katamaran um zur HTWG zu gelangen? *

Wie oft in der Woche verwenden Sie im Wintersemester das Fahrrad um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG mit dem Fahrrad zurück? Bitte in [km] angeben. *

Wie oft in der Woche gehen Sie im Wintersemester zu Fuß um zur HTWG zu gelangen? *

Welche Distanz legen Sie auf einer einfachen Strecke zwischen Wohnort und HTWG zu Fuß zurück? Bitte in [km] angeben. *

Studi-Ticket

Verwenden Sie das Studi-Ticket? *

- Nein
- Ja, im Sommer- und Wintersemester
- Ja, nur im Sommersemester
- Ja, nur im Wintersemester

Seite 10

Warum verwenden Sie kein Studi-Ticket? (Mehrfachauswahl möglich)

- Zu teuer
- Ich fahre lieber "schwarz"
- Ich fahre nur wenig mit öfftl. Verkehrsmitteln
- Die Verbindung zur HTWG mit ÖPNV dauert zu lange
- Sonstiges

Papierverbrauch

Wie viele Seiten kopieren/drucken Sie durchschnittlich im Semester an der HTWG aus? *

In wie viel Prozent der Fälle verwenden Sie die Funktion "Doppelseitiger Druck"? *

 %

In wie viel Prozent der Fälle verwenden Sie die Funktion "2 Seiten auf einer Seite"? *

 %

Ernährung

Wie oft pro Woche essen Sie durchschnittlich in der Mensa? *

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Wie oft davon essen Sie durchschnittlich vegetarisch? *

- 0
- 0,5
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Was müsste erfüllt sein, damit Sie häufiger vegetarisch in der Mensa essen? (Mehrfachnennung möglich)

- Die vegetarischen Portionen müssten größer sein.
- Das vegetarische Essen müsste besser schmecken.
- Das Stammessen müsste häufiger vegetarisch sein.
- Das vegetarische Essen sollte ansprechender aussehen.
- Sonstiges

Seite 13

Vielen Dank für die Teilnahme an meiner Umfrage!

» [Umleitung auf Schlussseite von Umfrage Online](#) (ändern)

Punktschätzung Emissionen Pendelverkehr

Tabelle 48: Punktschätzung Pendelverkehr (Studenten)

| Stichprobe | | URB | BIB | WIB | MBI |
|-------------------------------|------------------|--------|---------|---------|---------|
| Mittelwert | \bar{x} | 96 | 156 | 305 | 308 |
| Median | x_{Med} | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Min | x_{Min} | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Max | x_{Max} | 1.522 | 2.919 | 2.182 | 3.274 |
| Anzahl Elemente | n | 58 | 34 | 17 | 24 |
| Varianz | s^2_x | 80.511 | 277.189 | 344.375 | 528.167 |
| Standardabweichung | s_x | 284 | 526 | 587 | 727 |
| Grundgesamtheit | | | | | |
| Anzahl Elemente | N | 102 | 215 | 102 | 80 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 96 | 156 | 305 | 308 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 81.120 | 284.261 | 362.311 | 544.241 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 285 | 533 | 602 | 738 |
| Hochrechnung | | | | | |
| Gesamt | | 9.835 | 33.607 | 31.093 | 24.618 |

Tabelle 49: Punktschätzung Pendelverkehr (Mitarbeiter)

| Stichprobe | | männlich | weiblich |
|-------------------------------|------------------|-----------|----------|
| Mittelwert | \bar{x} | 916 | 100 |
| Median | x_{Med} | 284 | 0 |
| Min | x_{Min} | 0 | 0 |
| Max | x_{Max} | 3.096 | 386 |
| Anzahl Elemente | n | 4 | 5 |
| Varianz | s^2_x | 1.638.032 | 22.402 |
| Standardabweichung | s_x | 1280 | 150 |
| Grundgesamtheit | | | |
| Anzahl Elemente | N | 5 | 8 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 916 | 100 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 1.747.234 | 24.502 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 1.322 | 157 |
| Hochrechnung | | | |
| Gesamt | | 4.580 | 803 |

Tabelle 50: Punktschätzung Pendelverkehr (Professoren)

| Stichprobe | | männlich | weiblich |
|-------------------------------|------------------|-----------|----------|
| Mittelwert | \bar{x} | 914 | 180 |
| Median | x_{Med} | 222 | 0 |
| Min | x_{Min} | 0 | 0 |
| Max | x_{Max} | 4.895 | 540 |
| Anzahl Elemente | n | 9 | 3 |
| Varianz | s^2_x | 2.519.691 | 64.777 |
| Standardabweichung | s_x | 1587 | 255 |
| Grundgesamtheit | | | |
| Anzahl Elemente | N | 17 | 3 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 914 | 180 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 2.667.908 | 64.777 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 1.633 | 255 |
| Hochrechnung | | | |
| Gesamt | | 15.537 | 540 |

Punktschätzung Emissionen Papierverbrauch

Tabelle 51: Punktschätzung Papierverbrauch (Studenten)

| Stichprobe | | URB | BIB | WIB | MBI |
|-------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Mittelwert | \bar{x} | 2,4 | 2,5 | 1,4 | 3,9 |
| Median | x_{Med} | 1,5 | 1,8 | 0,9 | 2,0 |
| Min | x_{Min} | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Max | x_{Max} | 17,4 | 11,9 | 7,5 | 14,6 |
| Anzahl Elemente | n | 57 | 34 | 17 | 23 |
| Varianz | s_x^2 | 9,20 | 7,08 | 3,12 | 18,54 |
| Standardabweichung | s_x | 3,03 | 2,66 | 1,77 | 4,31 |
| Grundgesamtheit | | | | | |
| Anzahl Elemente | N | 102 | 215 | 102 | 80 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 2,4 | 2,5 | 1,4 | 3,9 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 9,28 | 7,26 | 3,28 | 19,14 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 3,05 | 2,69 | 1,81 | 4,37 |
| Hochrechnung | | | | | |
| Gesamt | | 247,5 | 546,8 | 140,0 | 315,5 |

Tabelle 52: Punktschätzung Papierverbrauch (Mitarbeiter)

| Stichprobe | | männlich | weiblich |
|-------------------------------|------------------|----------|----------|
| Mittelwert | \bar{x} | 11,8 | 5,2 |
| Median | x_{Med} | 13,3 | 3,3 |
| Min | x_{Min} | 2,7 | 2,4 |
| Max | x_{Max} | 19,4 | 9,0 |
| Anzahl Elemente | n | 3 | 5 |
| Varianz | s_x^2 | 47,66 | 8,22 |
| Standardabweichung | s_x | 6,90 | 2,87 |
| Grundgesamtheit | | | |
| Anzahl Elemente | N | 5 | 8 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 11,8 | 5,2 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 57,19 | 8,99 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 7,56 | 3,00 |
| Hochrechnung | | | |
| Gesamt | | 58,8 | 41,8 |

Tabelle 53: Punktschätzung Papierverbrauch (Professoren)

| Stichprobe | | männlich | weiblich |
|-------------------------------|------------------|----------|----------|
| Mittelwert | \bar{x} | 3,1 | 5,1 |
| Median | x_{Med} | 1,5 | 4,3 |
| Min | x_{Min} | 0,0 | 4,0 |
| Max | x_{Max} | 13,9 | 7,0 |
| Anzahl Elemente | n | 9 | 3 |
| Varianz | s_x^2 | 17,23 | 1,79 |
| Standardabweichung | s_x | 4,15 | 1,34 |
| Grundgesamtheit | | | |
| Anzahl Elemente | N | 17 | 3 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 3,1 | 5,1 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 18,24 | 1,79 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 4,27 | 1,34 |
| Hochrechnung | | | |
| Gesamt | | 52,9 | 15,3 |

Punktschätzung Emissionen Mensa-Mahlzeiten

Tabelle 54: Punktschätzung Mensa-Mahlzeiten (Studenten)

| Stichprobe | | URB | BIB | WIB | MBI |
|-------------------------------|------------------|-----------|-----------|----------|----------|
| Mittelwert | \bar{x} | 127,7 | 147,6 | 159,0 | 138,4 |
| Median | x_{Med} | 88,9 | 151,6 | 152,1 | 143,3 |
| Min | x_{Min} | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Max | x_{Max} | 379,3 | 379,3 | 286,6 | 311,7 |
| Anzahl Elemente | n | 57 | 34 | 17 | 23 |
| Varianz | s_x^2 | 11.342,67 | 10.646,76 | 6.455,90 | 9.263,63 |
| Standardabweichung | s_x | 106,50 | 103,18 | 80,35 | 96,25 |
| Grundgesamtheit | | | | | |
| Anzahl Elemente | N | 102 | 215 | 102 | 80 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 127,7 | 147,6 | 159,0 | 138,4 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 11.432,03 | 10.918,37 | 6.792,14 | 9.563,64 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 106,92 | 104,49 | 82,41 | 97,79 |
| Hochrechnung | | | | | |
| Gesamt | | 13.021,6 | 31.743,3 | 16.218,5 | 11.074,6 |

Tabelle 55: Punktschätzung Mensa-Mahlzeiten (Mitarbeiter)

| Stichprobe | | männlich | weiblich |
|-------------------------------|------------------|-----------|----------|
| Mittelwert | \bar{x} | 148,1 | 99,3 |
| Median | x_{Med} | 65,2 | 106,6 |
| Min | x_{Min} | 0 | 0 |
| Max | x_{Max} | 379,3 | 160,0 |
| Anzahl Elemente | n | 3 | 5 |
| Varianz | s_x^2 | 27.415,11 | 2.898,03 |
| Standardabweichung | s_x | 165,58 | 53,83 |
| Grundgesamtheit | | | |
| Anzahl Elemente | N | 5 | 8 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 148,1 | 99,3 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 32.898,13 | 3.169,72 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 181,38 | 56,30 |
| Hochrechnung | | | |
| Gesamt | | 740,7 | 794,4 |

Tabelle 56: Punktschätzung Mensa-Mahlzeiten (Professoren)

| Stichprobe | | männlich | weiblich |
|-------------------------------|------------------|-----------|----------|
| Mittelwert | \bar{x} | 135,7 | 78,9 |
| Median | x_{Med} | 75,9 | 68,1 |
| Min | x_{Min} | 0 | 0 |
| Max | x_{Max} | 421,4 | 168,6 |
| Anzahl Elemente | n | 9 | 3 |
| Varianz | s_x^2 | 23.058,20 | 4.793,33 |
| Standardabweichung | s_x | 151,85 | 69,23 |
| Grundgesamtheit | | | |
| Anzahl Elemente | N | 17 | 3 |
| Geschätzter Mittelwert | $\hat{\mu}$ | 135,7 | 78,9 |
| Geschätzte Varianz | $\hat{\sigma}^2$ | 24.414,56 | 4.793,33 |
| Geschätzte Standardabweichung | $\hat{\sigma}$ | 156,25 | 69,23 |
| Hochrechnung | | | |
| Gesamt | | 2.306,5 | 236,7 |

Textfeld „Verbesserung vegetarischer Mahlzeiten“

Student

- Preis/Leistung bei Fleischgerichten deutlich besser
- Kommt drauf an auf was ich lust habe
- Low Carb
- Preis-Leistungsverhältnis müsste stimmen. Fleisch ist momentan günstiger als Vegetarisch.
- bessere vegetarische Essen (Auswahl)
- etwas ausgefallene Gerichte
- Das vegetarische Essen sollte billiger sein
- weniger Öl
- Kosten, herzhaft
- gesünder sein
- Abwechslungsreicher und Süßspeisen sind für mich nicht wirklich als Mahlzeit zu betrachten. Süßspeisen sind und bleiben für mich Desserts
- Keine ausgefallenen Sachen
- Abwechslungsreiches Angebot
- besseres Essen
- Nichts
- Das vegetarische Essen müsste vegan und gesünder sein (weniger Fett, Salz, künstl. Zusatzstoffe)
- Ernäh mich Grundsätzlich nicht Vegetarisch
- Fast alle vegetarischen Gerichte sind mit Milch Produkten. Für Allergiker schließt das oft eine vegetarische Variante aus und zwingt zum Fleischkonsum.
- Mehr Auswahl von vegetarischen Gerichten
- Die Mensa sollte einen neuen Betreiber haben
- nicht immer nur etwas mit Nudeln
- Bio-Essen wäre schön.
- Der Preis müsste im Vergleich zu Fleischgerichten angemessener sein.
- mehr Tage an denen ich zur Fh muss ^^ esse doch schon an 4 von 4 Tagen hier
- Es bräuchte mehr Auswahl

- ich esse vegetarisch, aber meist zuhause
- Normales veggi Essen und nicht so seltsame kombis
- Gesünder, bzw. vielfältiger, Proteine, Kohlenhydrate, Gemüse...
- es müsste deutlich günstiger sein
- bessere Vielfalt/Auswahl
- für das was geboten ist, ist das vegetarische Essen oft zu teuer (z.B. Maultaschen)
- Mehr ECHTE vegetarische Essen (Aufläufe, Suppen, Eintöpfe, ...). Nicht nur ein Fleischessen ohne Fleisch servieren und das als vegetarisches Essen verkaufen (bestes Beispiel: zwei Semmelknödel und Soße - Das ist kein vegetarisches Essen. Das ist ein Fleischessen, bei dem einfach das Fleisch weggelassen wurde.)
- Schnitzel sind einfach besser
- Aufgrund der Wartezeiten während der Stoßzeiten esse ich nicht in der Mensa

Mitarbeiter

- Salatbuffet
- Die Pasta-Käse-Sauce müsste schmecken (nehme immer Tomatensauce, so entscheidet sich, ob vegetarisch oder mit Fleisch)
- Salatbar fehlt
- esse eh immer vegetarisch
- Salatbuffet
- Die Pasta-Käse-Sauce müsste schmecken (nehme immer Tomatensauce, so entscheidet sich, ob vegetarisch oder mit Fleisch)
- Salatbar fehlt
- esse eh immer vegetarisch

Professor

- Das Essen müsste besser sein
- es müsste eine komplett neue Mensa geben, damit ich darin essen würde.
- der Trubel ist mir zu groß
- Esse nur vegetarisch in der Mensa - das vegetarische Essen könnte aber tatsächlich besser schmecken und abwechslungsreicher sein

Textfeld

„Nutzung des StudiTickets“

Student

- Brauch ich nicht
- Fahrrad geht schneller
- Zu kurze Distanz
- Kann zu Fuß zur FH
- Kein Bedarf. Distanzen in Konstanz wunderbar mit Fahrrad erreichbar
- brauch ich net
- Fahrrad schneller
- wird nicht benötigt
- Alles mit dem Rad machbar
- Verbindung der ÖPNV schlecht, da zu wenig getaktet. Fahrrad geht wesentlich schneller (15-20 min schneller)
- Ich wohne so zentral, dass es sich in Konstanz nicht lohnt. Fahrrad ist schneller. Und für andere Fahrten ist der Radius zu klein.
- nicht benötigt
- Empfinde ich als unnötig
- kein Bedarf
- Ich habe es im ersten Semester verloren und dann wollte ich keines mehr, da ich es kaum genutzt habe

Intervallschätzung

Für die Intervallschätzung verwendet man den statistischen Schluss von der Stichprobe auf die unbekannte Grundgesamtheit, aus dem man das Konfidenzintervall KI für μ erhält (Schira 2009, S.453)

$$KI(\mu, 1 - \alpha) = [\bar{x} - z\sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + z\sigma_{\bar{x}}].$$

Dazu wird die Konfidenzwahrscheinlichkeit

$$1 - \alpha$$

benötigt, die angibt, „wie sehr man darauf vertraut, dass der feste aber unbekannte Wert μ im Konfidenzintervall liegt“ (Ebd.). Mit α wird die Irrtumswahrscheinlichkeit beschrieben. Sie „gibt an, wie oft man sich im Mittel irrt, wenn man Konfidenzintervalle aufstellt“ (Ebd.).

Meist ist die Konfidenzwahrscheinlichkeit, bzw. die Irrtumswahrscheinlichkeit vorgegeben. Je verlässlicher oder genauer eine Intervallschätzung sein soll, desto größer muss die Konfidenzwahrscheinlichkeit sein (Ebd., S.454). Bei Umfragen wird oft eine Konfidenzwahrscheinlichkeit von $1 - \alpha = 95\%$ verwendet. Es wird also ein 95%-Konfidenzintervall berechnet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt dabei $\alpha = 5\%$.

Der z-Wert entspricht dem $(1 - \alpha/2)$ -Quantil der Standardnormalverteilung. Der Faktor $(1 - \alpha/2)$ beruht auf der Symmetrie der Standardnormalverteilung. Er muss berechnet werden und der dafür passende z-Wert in einer Wertetabelle der Standardnormalverteilung nachgeschlagen werden.

Im Falle der Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ ergibt sich ein z-Wert von $z = 1,96$ (Ebd., S.608).

Für die Berechnung des Konfidenzintervall wird die Standardabweichung σ der Grundgesamtheit benötigt. Da sie unbekannt ist und nicht berechnet werden kann, muss sie geschätzt werden, was mithilfe der Punktschätzung möglich ist. Mithilfe der Formel

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

wird die Punktschätzung für die Normalverteilung standardisiert und man erhält die geschätzte Standardabweichung des Stichprobenmittelwertes $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ (Ebd., S.454).

Das mit der geschätzten Standardabweichung angepasste Konfidenzintervall lautet somit

$$KI(\mu, 1 - \alpha) = [\bar{x} - z\hat{\sigma}_{\bar{x}}, \bar{x} + z\hat{\sigma}_{\bar{x}}]$$

und mit den eingesetzten Werten

$$KI(\mu, 0,95) = [\bar{x} - 1,96 * \hat{\sigma}_{\bar{x}}, \bar{x} + 1,96 * \hat{\sigma}_{\bar{x}}]$$

Es wäre falsch, das berechnete 95%-Konfidenzintervall so zu interpretieren, dass sich der gesuchte Mittelwert μ zu 95% im Intervall befindet. Viel mehr sagt es aus, dass das

berechnete Konfidenzintervall aus einer Menge von Intervallen stammt, von denen 95% der Intervalle den gesuchten Mittelwert μ enthalten (Schnell et al. 2011, S.269). Würde man die Stichprobe also 100 Mal durchführen und jeweils das Konfidenzintervall berechnen, würden 95 der berechneten Intervalle den gesuchten Mittelwert μ abbilden.

Die beschriebene Methode sollte ausschließlich für Stichprobengrößen $n > 30$ verwendet werden. Für Stichprobengrößen $n \leq 30$ wird anstelle der Standardnormalverteilung eine t-Verteilung verwendet sofern die Werte der kleinen Stichprobe standardnormalverteilt sind (Schira 2009, S.460).

Das Konfidenzintervall lautet dann nach Schira (Ebd., S.461)

$$KI(\mu, 1 - \alpha) = [\bar{x} - t_{n-1} \hat{\sigma}_{\bar{x}}, \bar{x} + t_{n-1} \hat{\sigma}_{\bar{x}}].$$

Es wird dabei dasselbe $(1 - \alpha/2)$ -Quantil wie in der Standardnormalverteilung verwendet. Lediglich der Wert in der Tabelle der Student-t-Verteilung ist somit ein anderer. Dieser ist zusätzlich von Freiheitsgraden abhängig, welche hier nicht weiter beschrieben werden. Die Anzahl der Freiheitsgrade wird durch $n-1$ berechnet, was durch den Index t_{n-1} dargestellt wird.