

ITW Working Paper Series

ISSN: 1662-9019

ITW Working Paper Mobilität
01/2016

Luzern, 28. Juni 2016

Erklärungsmodelle für die gebäudestandortabhängige Mobilität Methodenbericht SIA 2039 Mobilität: Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort

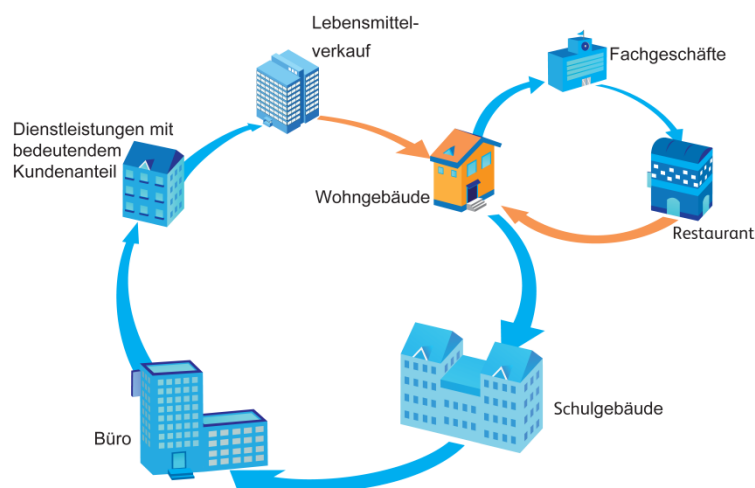
Autorenkontakt

Prof. Dr. Timo Ohnmacht
Hochschule Luzern - Wirtschaft
Institut für Tourismuswirtschaft ITW
Rösslimatte 48
6002 Luzern

Kontakt

Email: timo.ohnmacht@hslu.ch
Tel.-Nr.: +41 41 228 41 88
Fax: +41 41 228 41 44

Mobilität und Energie



Zitierungsvorschlag

Ohnmacht, T., Hirzel, D., Schneider, S & A. Frei (2016). Erklärungsmodelle für die gebäudestandortabhängige Mobilität – Methodenbericht SIA 2039 Mobilität: Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort, ITW Working Paper Series Mobilität 001/2016, Hochschule Luzern – Wirtschaft, Luzern.

Projektbearbeitung:

- Prof. Dr. Timo Ohnmacht (Hochschule Luzern - Wirtschaft)
- Daniel Hirzel (Planungsbüro Jud)
- Stefan Schneider (Planungsbüro Jud)
- Dr. Dipl. Ing. ETH Andreas Frei (Kapitel 7, methodische Beratung)

Inhaltsübersicht

1. Ausgangslage & Zielsetzung	1
I. Datengrundlage	2
2. Vorbemerkungen	3
3. Nutzungen, Modelle und Wegezuordnung	5
4. Faktoren für Wegedistanzen je Verkehrsmittel	9
5. Erklärende Variablen	12
6. Eckwerte	16
II. Modellierung	26
7. Herleitung des Schätzmodells	27
8. Anspruch an die Modelle	29
9. Modelle	31
III. Schlussbetrachtung	58
Literaturverzeichnis	60
A. Anhang	62

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage & Zielsetzung	1
I. Datengrundlage	2
2. Vorbemerkungen	3
2.1. Nicht erneuerbare Primärenergie	3
2.2. Modellierungsgrundlage: Stichtagsmobilität im Inland (Alltagsmobilität)	3
2.3. Eigenschaften des Gebäudestandorts	4
3. Nutzungen, Modelle und Wegezuordnung	5
3.1. Bewohner: Wohngebäude (1)	6
3.2. Beschäftigte: Arbeitsstätte (2)	7
3.3. Kunden: Lebensmittelverkauf (3)	7
3.4. Kunden: Fachgeschäfte (4)	7
3.5. Kunden: Restaurants (5)	7
3.6. Kunden: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (6)	7
3.7. Schüler: Schulgebäude (7)	8
3.8. Zuordnung von Modellen zu Nutzungen	8
4. Faktoren für Wegedistanzen je Verkehrsmittel	9
5. Erklärende Variablen	12
6. Eckwerte	16
6.1. Eckwerte für die schweizerische Wohnbevölkerung	16
6.2. Eckwerte für die Nutzenden der Gebäude	20
6.3. Eckwerte verglichen mit anderen Quellen	22
6.4. Methodische Hinweise für weitere Grundlagen aus dem MZMV 2010 für SIA MB 2039	24
6.4.1. Eckwerte für Schüler	24
6.4.2. Aufteilung der Jahresdistanzen auf die Gebäudenutzungen	24
6.4.3. Exkurs Personenfläche	24
II. Modellierung	26
7. Herleitung des Schätzmodells	27
8. Anspruch an die Modelle	29
8.1. Vorbemerkungen	29
8.2. Festlegung der Signifikanzen der einflussnehmenden Variablen	30

9. Modelle	31
9.1. Ermittlung der Faktoren anhand der Modelle	31
9.2. Modelle 2015	32
9.2.1. Wohngebäude (PE/THGE, 2015)	33
9.2.2. Arbeitsstätte (PE/THGE, 2015)	35
9.2.3. Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2015)	37
9.2.4. Fachgeschäfte (PE/THGE, 2015)	39
9.2.5. Restaurants (PE/THGE, 2015)	41
9.2.6. Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2015)	43
9.3. Modelle 2050	45
9.3.1. Wohngebäude (PE/THGE, 2050)	46
9.3.2. Arbeitsstätte (PE/THGE, 2050)	48
9.3.3. Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2050)	50
9.3.4. Fachgeschäfte (PE/THGE, 2050)	52
9.3.5. Restaurants (PE/THGE, 2050)	54
9.3.6. Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2050)	56
III. Schlussbetrachtung	58
Literaturverzeichnis	60
A. Anhang	62

Abbildungsverzeichnis

3.1. Beispielhafte Zuordnung von Wegen zur Gebäudenutzung: Das Ziel des Weges bestimmt die Anlastung des Energieverbrauchs	6
--	---

Tabellenverzeichnis

3.1. Kombinatorik von Modellen und Nutzungen für Gesamtwerte	8
4.1. Zuordnung Verkehrsmittel	9
4.2. PEF und THGEK als Grundlage der Modellierung	11
5.1. Erklärende Variablen der Modellierung	13
5.2. Anteilswerte für kategoriale Einflussvariablen	14
5.3. Mittelwerte für metrische Einflussvariablen	14
6.1. Eckwerte MZMV 2010: Primärenergie (Istzustand)	17
6.2. Eckwerte MZMV 2010: Treibhausgasemissionen (Istzustand)	17
6.3. Eckwerte MZMV 2010: Durchschnittliche Anzahl Wege	18
6.4. Eckwerte MZMV 2010: Durchschnittliche Wegedistanzen	18
6.5. Eckwerte MZMV 2010: Mobile Personen	19
6.6. Eckwerte MZMV 2010: Primärenergie und Treibhausgasemissionen (Durchschnittswert pro Person und Tag, pro Modell)	20
6.7. Grundgesamtheit (GG) und Interpretation der Eckwerte für die Modellierung	21
6.8. Eckwerte 2015/2050 für Primärenergie Gesamt: Durchschnittswert pro Person und Tag, pro Modell	22
6.9. Eckwerte: MZMV 2010 gesamt	23
6.10. Eckwerte: SIA MB 2039 vs. andere Quellen	23
6.11. Kunden pro Betriebstag	25
9.1. Faktoren (Min/Max) und Verhältnis	32
9.2. Modellkoeffizienten: Wohngebäude (PE, 2015)	33
9.3. Modellkoeffizienten: Wohngebäude (THGE, 2015)	33
9.4. Vorhersage und Beobachtung: Wohngebäude (PE/THGE, 2015)	34
9.5. Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (PE, 2015)	35
9.6. Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (THGE, 2015)	35
9.7. Vorhersage und Beobachtung: Arbeitsstätte (PE/THGE, 2015)	36
9.8. Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (PE, 2015)	37
9.9. Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (THGE, 2015)	37
9.10. Vorhersage und Beobachtung: Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2015)	38
9.11. Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (PE, 2015)	39
9.12. Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (THGE, 2015)	39
9.13. Vorhersage und Beobachtung: Fachgeschäfte (PE/THGE, 2015)	40
9.14. Modellkoeffizienten: Restaurants (PE, 2015)	41
9.15. Modellkoeffizienten: Restaurants (THGE, 2015)	41
9.16. Vorhersage und Beobachtung: Restaurants (PE/THGE, 2015)	42
9.17. Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE, 2015)	43
9.18. Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (THGE, 2015)	43

9.19. Vorhersage und Beobachtung: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2015)	44
9.20. Modellkoeffizienten: Wohngebäude (PE, 2050)	46
9.21. Modellkoeffizienten: Wohngebäude (THGE, 2050)	46
9.22. Vorhersage und Beobachtung: Wohngebäude (PE/THGE, 2050)	47
9.23. Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (PE, 2050)	48
9.24. Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (THGE, 2050)	48
9.25. Vorhersage und Beobachtung: Arbeitsstätte (PE/THGE, 2050)	49
9.26. Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (PE, 2050)	50
9.27. Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (THGE, 2050)	50
9.28. Vorhersage und Beobachtung: Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2050)	51
9.29. Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (PE, 2050)	52
9.30. Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (THGE, 2050)	52
9.31. Vorhersage und Beobachtung: Fachgeschäfte (PE/THGE, 2050)	53
9.32. Modellkoeffizienten: Restaurants (PE, 2050)	54
9.33. Modellkoeffizienten: Restaurants (THGE, 2050)	54
9.34. Vorhersage und Beobachtung: Restaurants (PE/THGE, 2050)	55
9.35. Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE, 2050)	56
9.36. Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (THGE, 2050)	56
9.37. Vorhersage und Beobachtung: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2050)	57

1. Ausgangslage & Zielsetzung

Der vorliegende Methodenbericht dokumentiert die Modellierungsarbeiten für *SIA MB 2039 Mobilität - Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort* (SIA, 2016). Die Modellierung dient der Erstellung von *Simulationstools*, die

- die nicht-erneuerbare Primärenergie (*PE*) (in Megajoule MJ oder Kilowattstunden kWh¹),
- die Treibhausgasemissionen (*THGE*) (kg CO₂-Äquivalente),
- jeweils für den Ist- und den Prognosezustand (2015/2050),
- nach Gebäudenutzungstypen differenziert und
- basierend auf der Stichtagsmobilität des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (MZMV 2010)

berechnen können. Anhand dieser *Simulationstools* wurden in Folge die Änderungsfaktoren für SIA (2016) abgeleitet.

Die Modellierung und die Ermittlung von Änderungsfaktoren erfolgt in Abhängigkeit von

- räumlich-strukturellen Eigenschaften des Gebäudestandorts,
- verfügbaren Mobilitätswerkzeugen der Gebäudenutzenden sowie
- sozioökonomischen Merkmalen der Gebäudenutzenden.

Dass räumlich-strukturelle Einflussfaktoren der gebauten Umwelt die Mobilität von Personen *gebäudestandortabhängig* beeinflussen können (auch wenn Personeneigenschaften multivariat kontrolliert werden), ist aus der verkehrswissenschaftlichen Forschung hinreichend bekannt und wird in diesem Methodenbericht nicht weiter aufbereitet (vgl. Handy *et al.*, 2005; Ewing *et al.*, 2001).

Der Bericht fusst auf drei grundlegenden Teilen: Der erste Teil *Datengrundlage* handelt von der Datenaufbereitung und den verwendeten Merkmalen (Einflussvariablen) der Modellierung. Der zweite Teil *Modellierung* stellt die 24 Modelle vor, die die Grundlage für die Ermittlung von Änderungsfaktoren für SIA (2016) stellen. Im abschliessenden Teil *Schlussbetrachtung* werden Erkenntnisse und Grenzen des Ansatzes aus dem Modellierungsteil für SIA (2016) zusammengefasst.

¹Die Modellierung erfolgte in MJ, weshalb die Werte hier in MJ ausgewiesen werden. Die Umrechnung von MJ in kWh erfolgt einfach durch die Division von 3.6. Bei Werten, die im Merkblatt SIA MB 2039 vorkommen, werden jedoch in diesem Bericht zusätzlich die kWh - Angaben ausgewiesen. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass die Modellierung auf Tageswerten beruht und diese als solche so ausgewiesen werden. Im Merkblatt SIA MB 2039 werden Jahreswerte vorgestellt, deren Betriebstage von 365 unterschiedlich sein können.

Teil I.

Datengrundlage

2. Vorbemerkungen

2.1. Nicht erneuerbare Primärenergie

Bei den Energieträgern ist zwischen nicht erneuerbaren Energieträgern wie Heizöl, Erdgas, Diesel und Elektrizität aus Atomkraftwerken oder fossilen Kraftwerken sowie erneuerbaren Energieträgern wie Holz, Sonnenenergie, Windkraft und Geothermie zu unterscheiden.

Wenn in diesem Bericht im Rahmen von Faktoren und Ergebnissen von Primärenergie die Rede ist, ist immer die nicht erneuerbare Primärenergie gemeint, da diese die Grundlage für die Modellierungsarbeiten darstellt.

2.2. Modellierungsgrundlage: Stichtagsmobilität im Inland (Alltagsmobilität)

Beim MZMV 2010 geben die befragten Personen telefonisch Auskunft über die Mobilität am Vortag. Im Rahmen dieses so genannten Stichtagskonzepts werden für einen Tag die zurückgelegten Etappen im In- und Ausland erfasst. Die Grundlage für die vorliegenden Berechnungen stellt die Stichtagsmobilität im Inland aus dem MZMV 2010 dar ([BfS/ARE, 2012](#)). Nur bei der Methodik der Stichtagsmobilität liegen Wege (zusammengefasst aus Etappen) geokodiert vor, die für die vorliegenden Analysen notwendig sind.

Die Stichtagsmobilität des MZMV 2010 im Inland wird im Rahmen dieser Arbeit als *Alltagsmobilität* verstanden. Die Unterschiede zur [MZMV2010-Tabelle zur Jahresmobilität T10.1.1.](#) nach [BfS/ARE \(2012, S. 100\)](#) ergeben sich aufgrund unterschiedlicher methodischer Ansätze (vgl. auch Glossar [BfS/ARE, 2012, S. 112](#)). *Konkret:* Der MZMV 2010 gibt für die Stichtagsmobilität aus, dass eine Person der Wohnbevölkerung pro Tag und im Inland 36,7 km zurücklegt ([BfS/ARE, 2012, S. 7](#)). Das sind dann im Jahr 13 396 km pro Person (Stichtagsmobilität, Inland und basierend auf Hauptverkehrsmitteln und Wege). Dieser Eckwert findet sich auch in [SIA](#) (siehe [2016](#), Tabelle 53) wieder und stellt die Grundlage für die SIA MB 2039-Modellierung dar.

Die Alltagsmobilität nach [BfS/ARE \(2012, S. 100\)](#) im Inland beträgt 11 809 km (entspricht 32,4 km pro Tag). Der Unterschied zwischen Stichtags- und Alltagsmobilität beträgt somit 4.3 km. Dieser Unterschied ergibt sich aus der Annahme, dass auch Reisen mit Übernachtung am Stichtag vorliegen, die bereits in [BfS/ARE](#) (siehe [2012, S. 100](#)) in den Reisen mit Übernachtungen enthalten sind. Vor methodischem Hintergrund ist anzumerken, dass das Stichtagskonzept keine repräsentative Grundlage für die nicht-alltägliche Mobilität darstellt, weshalb diese in diesem Zusammenhang als Alltagsmobilität verstanden wird (wobei am Stichtag vereinzelt Rückwege von Reisen erfasst werden können).

2.3. Eigenschaften des Gebäudestandorts

Die Eigenschaften des Gebäudestandorts stammen aus dem GIS-Datensatz *Raumstrukturelle Merkmale* des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE, 2012). Die Standorte für Carsharing-Fahrzeuge wurden von Mobility-Carsharing bereitgestellt. Der Index für die Naherholungsintensität wurde von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL bereitgestellt (BAFU, 2010)¹.

Die Kombination dieser Zusatzvariablen mit dem MZMV 2010 ermöglichen es, eine Vielzahl an Informationen zur räumlichen Struktur dahingehend zu untersuchen, ob diese einen Zusammenhang mit dem Mobilitätsverhalten der schweizerischen Wohnbevölkerung aufweisen.

Die empirisch nachweisbaren Zusammenhänge werden dazu genutzt, um die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen bezogen auf unterschiedliche Gebäudenutzungen anhand von multivariaten Modellen vorherzusagen (Schätzmodelle). Die dahinter stehende Annahme ist, dass die festgestellten Zusammenhänge als kausal interpretiert werden können oder zumindest das Gebäudeumfeld so charakterisieren, dass durch dieses ein gewisses Mobilitätsverhalten begünstigt wird.

Nachfolgend werden die Grundlagen der Modellierung vorgestellt.

¹http://www.wsl.ch/fe/wisoz/dienstleistungen/naherholung/index_DE

3. Nutzungen, Modelle und Wegezuordnung

Für SIA MB 2039 wurden zuerst Nutzungen bestimmt, für die die Primärenergie und Treibhausgasemissionen (standortabhängige Mobilität) berechnet werden sollen. Es wurden sieben Nutzungen (Gebäude mit unbekannter Benutzermobilität) festgelegt:

1. Wohngebäude
2. Büro
3. Lebensmittelverkauf
4. Fachgeschäft
5. Restaurant
6. Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil
7. Schulgebäude

Für die Nutzungen wurden dann sechs Arten von Modelle erstellt, um die Primärenergie und Treibhausgasemissionen anhand von Eigenschaften des Gebäudestandorts zu schätzen.

1. Bewohner von Wohngebäuden
2. Beschäftigte von Arbeitsstätten
3. Kunden von Lebensmittelverkauf
4. Kunden von Fachgeschäften
5. Kunden von Restaurants
6. Kunden von Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil

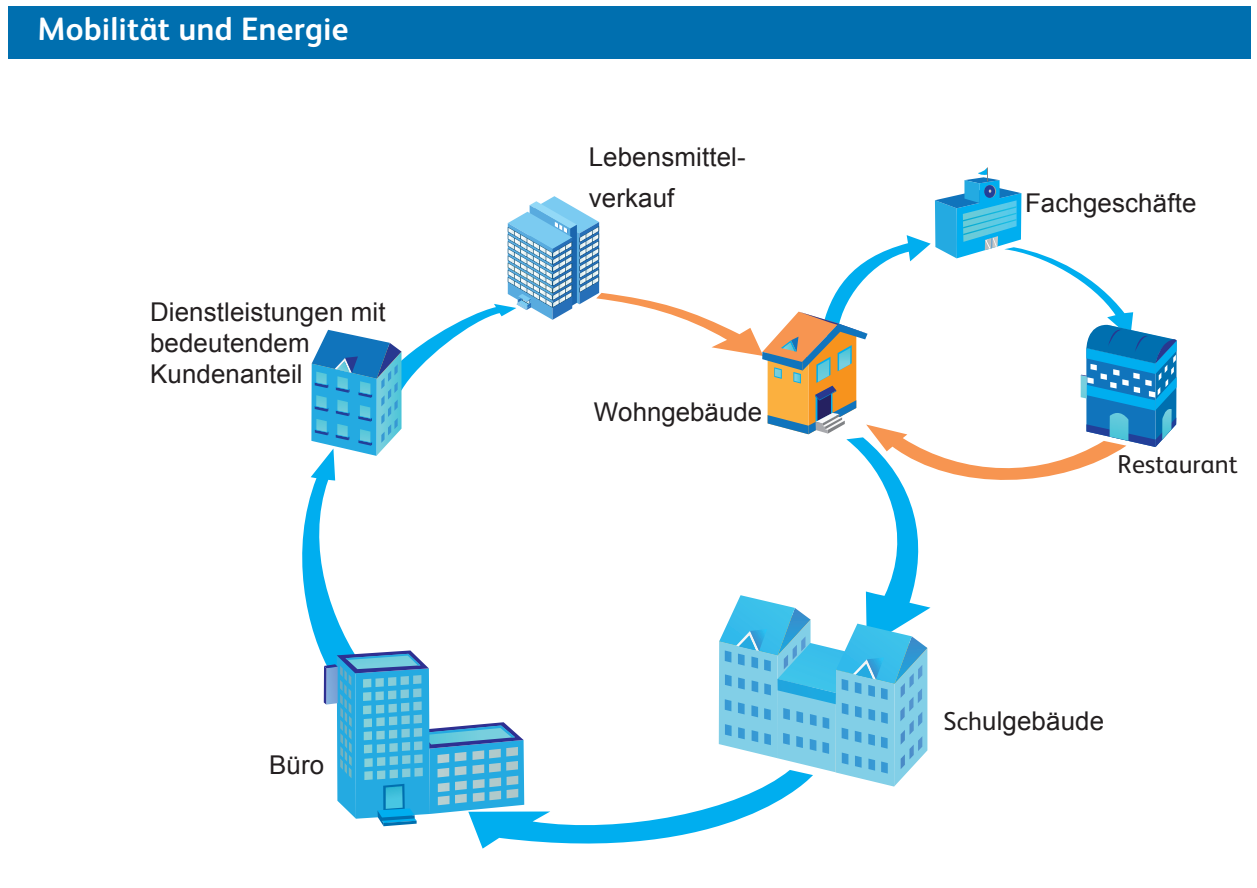
Bei Schulen wurden lediglich die schweizweiten Mittelwerte verwendet, die nicht weiter anhand von Eigenschaften des Gebäudestandorts variiert wurden:

1. Schüler von Schulgebäuden

Ein erster Arbeitsschritt bestand in der Klärung der Frage, welche Inlandwege (Wege mit Start und Ziel im Inland) der Alltagsmobilität und damit welche Distanzen aus dem Wegedatensatz des MZMV 2010 den Modellen zugerechnet werden können. Abbildung 3.1 illustriert die Grundsatzüberlegung bezüglich der Zuordnung von Wegen zu Gebäuden. Einem Gebäude werden diejenigen Wege zugeordnet, die ihr Ziel beim entsprechenden Gebäude haben: Den Wohngebäuden werden

in der Regel Rückwege zugeordnet (oranger Pfeil), den weiteren Gebäuden werden in der Regel Hinwege zugeordnet (blauer Pfeil).

Abbildung 3.1.: Beispielhafte Zuordnung von Wegen zur Gebäudenutzung: Das Ziel des Weges bestimmt die Anlastung des Energieverbrauchs



Nachfolgend wird die Zuordnung im Detail vorgestellt.

3.1. Bewohner: Wohngebäude (1)

Die Distanzen aus dem Wegedatensatz (Inland) des MZMV 2010 wurden in folgenden drei Fällen dem Wohngebäude (Bewohner) zugeordnet¹:

1. Dem Wohnen werden alle Nachhausewege zugeordnet.
2. Dem Wohnen werden alle Rundwege zugeordnet (Weg von zu Hause nach Hause).
3. Im Falle von Freizeitwegen werden auch die Wege zum Besuch dem Wohnen zugerechnet.

Im Falle drei erfolgt die Zuordnung dem Wohnen auf Grund einer Reziprozitätsannahme. Die Wege, die eine Person zu Freunden, Verwandten und Bekannten für Besuchszwecke zurücklegt, werden auch zu der befragten Person auftreten (Annahme). Deshalb werden die Distanzen dem Wohnen der Zielperson zugerechnet.

¹Frage MZMV 2010: Was haben Sie am Etappenziel unternommen? <11> Rückkehr nach Hause bzw. auswärtige Unterkunft (Hinweis: Die Frage bezieht sich auf die Etappen, da die Wege erst später erstellt werden.)

3.2. Beschäftigte: Arbeitsstätte (2)

Im Falle der Arbeitsstätten (Beschäftigte) wurden folgende vier Kriterien angewendet²:

1. Wege zum Arbeitsort als Hinwege (Wegzweck: Arbeit)
2. Rückwege zum Arbeitsort nach einer zwischenzeitlichen anderen Aktivität (z.B. Mittagessen, Einkauf, Freizeit)
3. Rückwege zum Arbeitsort nach einer Geschäfts- oder Dienstreise
4. Hinwege zu Zielen von Geschäfts- und Dienstreisen

3.3. Kunden: Lebensmittelverkauf (3)

Den Lebensmittelverkauf (Kunden) wurden Wege mit dem Zweck Einkauf zugeordnet, bei denen die Befragten zusätzlich angaben, dass diese Wege dem Erwerb von *Lebensmitteln* dienen³.

3.4. Kunden: Fachgeschäfte (4)

Den Fachgeschäften (Kunden) wurden Wege mit dem Zweck Einkauf zugeordnet, bei denen die Befragten zusätzlich angaben, dass diese Wege dem Erwerb von *Konsum- und Investitionsgütern* dienen⁴.

3.5. Kunden: Restaurants (5)

Den Restaurants (Kunden) wurde basierend auf dem Zweck Freizeit die Inlandwege mit der Freizeitaktivität *Gastronomiebesuch (Restaurant, Bar, Café, etc.)* zugeordnet⁵.

3.6. Kunden: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (6)

Bei Gebäuden mit Dienstleistungen (Kunden) mit bedeutendem Kundenanteil wurde der Wegzweck *Besorgungen und Inanspruchnahme von Dienstleistungen* angewendet⁶.

²Frage MZMV 2010: Was haben Sie am Etappenziel unternommen? <02> Arbeiten (zur Arbeit) ODER <06> Geschäftliche Tätigkeit ODER <07> Dienstreise

³Frage MZMV 2010: Was haben Sie am Etappenziel unternommen? <04> Einkäufe (z.B. Lebensmittel) UND Was für Einkäufe haben Sie an diesem Ort erledigt? <1> Lebensmittel

⁴Frage MZMV 2010: Was haben Sie am Etappenziel unternommen? <04> Einkäufe (z.B. Lebensmittel) UND Was für Einkäufe haben Sie an diesem Ort erledigt? <2> Konsumgüter ODER <3> Investitionsgüter

⁵Frage MZMV 2010: Was haben Sie am Etappenziel unternommen? <08> Freizeit UND Welche Freizeitaktivität haben Sie an diesem Ort unternommen? <02> Gastronomiebesuch (Restaurant, Bar, Café, etc.)

⁶Frage MZMV 2010: Was haben Sie am Etappenziel unternommen? <05> Besorgungen, Inanspruchnahme von Dienstleistungen (Post, medizinische Behandlung etc.)

3.7. Schüler: Schulgebäude (7)

Bei den Schulgebäuden (Schüler) erfolgte eine Selektion der Wege mit dem Zweck Ausbildung differenziert nach dem Alter (6-12 jährige Primarschüler und 13-15 jährige Sekundarschüler). So entstanden zwei Kategorien für eine jeweils getrennte Ermittlung von Kennwerten⁷.

3.8. Zuordnung von Modellen zu Nutzungen

Die Wege werden auf Personen aggregiert. Die Modellierungsgrundlage basiert so auf Personen, die die Nutzungen in ihrer Alltagsmobilität gemäss Daten aufgesucht haben. Die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen von Beschäftigten sind unabhängig vom Beruf oder von der Branche. Somit wurde nur ein Modell für Beschäftigte erstellt. Dieses Modell wird für die Nutzungen Büro, Lebensmittelverkauf, Fachgeschäft, Restaurant, Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil und Schulen angewendet. Für Nutzungen mit Kunden (siehe Kapitel 3.3 bis 3.7) werden dann Kunden und Beschäftigtenwerte zusammengezählt. So ergibt sich der Gesamtwert für die Nutzung. *Vice versa* gilt: Den Nutzungen Lebensmittelverkauf, Fachgeschäft, Restaurant und Dienstleistungen werden neben den Kunden auch Beschäftigte zugeordnet. Tabelle 3.1 zeigt die Kombinatorik von Modellen und Nutzungen um Gesamtwerte bestehend aus Beschäftigten und Kunden zu berechnen.

Tabelle 3.1.: Kombinatorik von Modellen und Nutzungen für Gesamtwerte

	Nutzungen						
	Wohngebäude	Büro	Lebensmittelverkauf	Fachgeschäft	Restaurant	Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil	Schule
Modelle							
Bewohner: Wohngebäude	x						
Beschäftigte: Arbeitsstätte		x	x	x	x	x	x
Kunden: Lebensmittelverkauf			x				
Kunden: Fachgeschäfte				x			
Kunden: Restaurants							
Kunden: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil					x	x	
Schüler: Schulgebäude							MW

MW : Mittelwerte ; x = Standort-Modelle

Im Merkblatt SIA 2040 sind Gebäude mit der Nutzung Büro und Gebäude mit der Nutzung Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil zur Gebäudekategorie Verwaltung zusammengefasst.

⁷Frage MZMV 2010: Was haben Sie am Etappenziel unternommen? <03> Besuch Schule/Ausbildung/Weiterbildung UND Wie ist ihr Alter? Selektion 6-12 jährige ODER 13-15 jährige

4. Faktoren für Wegedistanzen je Verkehrsmittel

Wie für die offizielle Statistik des Bundes werden für SIA MB 2039 die gerouteten Distanzen zur Berechnung von Verkehrskennzahlen verwendet. Es sind die Wege im Inland, die als Datengrundlage dienen und dann auf die Personenebene aufaggregiert werden. Die Modellierung erfolgt auf der Personenebene und nicht auf der Wegebene.

Zur Ermittlung der Primärenergie bzw. der Treibhausgasemissionen werden die verkehrsmittelabhängigen Primärenergiefaktoren (PEF) bzw. Treibhausgasemissionskoeffizienten (THGEK) aus [Itten et al. \(2015\)](#)¹ und [mobitool \(2015\)](#) mit den Wegekilometern des entsprechenden Verkehrsmittels multipliziert und dann auf die Personenebene des MZMV aufaggregiert (vgl. Tabelle 6.6).

Dafür wurden zuerst die Verkehrsmittel aus dem MZMV 2010 mit denjenigen aus [Itten et al. \(2015\)](#) und [mobitool \(2015\)](#) abgeglichen (siehe Tabelle 4.1). Denjenigen Verkehrsmitteln aus dem MZMV 2010, denen kein Verkehrsmittel zugeordnet wurde, wurden anschliessend PEF und THGEK von Null zugeordnet. Somit kommt diesen Verkehrsmitteln in der Modellrechnung keine Bedeutung zu.

Tabelle 4.1.: Zuordnung Verkehrsmittel

MZMV 2010	Itten et al. (2015) und mobitool (2015)
zu Fuss	zu Fuss
Velo	Fahrrad
Mofa, Motorfahrrad	Scooter, Benzin
Kleinmotorrad	Scooter, Benzin
Motorrad	Scooter, Benzin
Auto	Personenwagen
Bahn	Durchschnitt Regional- und Fernverkehr
Postauto	Linienbus
Bus	Linienbus
Tram / Metro	Tram
Taxi	Personenwagen
Reisecar	Reisebus
Lastwagen	keines
Schiff	keines
Flugzeug/Luftfahrzeug	Passagierflugzeug
Zahnrad-, Standseilbahn, etc.	keines
Fahrzeugähnliche Geräte	keines
anderes	keines

¹Die Werte der PEF und THGEK stimmen mit denjenigen der KBOB überein (KBOB (2014), Ökobilanzdaten im Baubereich, 2009/1:2014). Mit Ausnahme von *Durchschnitt Regional- und Fernverkehr* ist den PEF und THGEK als Strommix der schweizerische Verbrauchermix hinterlegt. Bei *Durchschnitt Regional- und Fernverkehr* ist der SBB-Mix hinterlegt.

Basierend auf [Itten *et al.* \(2015\)](#) und [mobitool \(2015\)](#) wurden dann die Wegedistanzen je Verkehrsmittel mit den jeweiligen Faktoren multipliziert. So wurden aus den zurückgelegten Kilometern die verbrauchte erneuerbare Primärenergie respektive die Treibhausgasemissionen abgeleitet.

Für die Flotte 2015 konnten die Faktoren aus den Grundlagendokumenten [Itten *et al.* \(2015\)](#) und [mobitool \(2015\)](#) verwendet werden. Für die Flotte 2050 wurden die Faktoren der Verkehrsmittel Personenwagen (Auto und Taxi), Bahn (Durchschnitt Regional- und Fernverkehr sowie Linienbus (Postauto und Bus) reduziert. Die für die Flotte 2050 reduzierten PEF und THGEK ergeben sich aus dem sich abzeichnenden vermehrten Einsatz von heute bereits existierenden effizienteren Technologien und Bauweisen beim Betrieb der Fahrzeuge. Die Reduktion ergibt sich unter der Annahme, dass ein Personenwagen 2050 durchschnittlich drei Liter Benzinäquivalent auf 100 Kilometer verbraucht (Reduktion im Betrieb um 66%), ein Bus vermehrt mit Hybrid-, Wasserstoff- und Elektroantrieben fährt (Reduktion im Betrieb um 30%), die Bahn vermehrt Technologien wie Umrichtertechnik auf Basis moderner Halbleitertechnologie, umfassender Energiemanagementfunktionen und vermehrt aerodynamische Züge in Leichtbauweise sowie mit einer effizienten Wärmedämmung einsetzt (Reduktion im Betrieb um 15%). Eine ausführliche Einschätzung zur Reduktion ist im Anhang 1 zu finden.

Tabelle 4.2 beinhaltet die verwendeten Primärenergiefaktoren (PEF) und Treibhausgasemissionskoeffizienten (THGEK), die als Grundlage der Modellierung verwendet wurden.

Tabelle 4.2.: PEF und THGEK als Grundlage der Modellierung

Verkehrsmittel	Quelle PEF und THGEK	Einheit	Flotte 2015			Flotte 2050		
			PEF_{gesamt} MJ	PEF_{nren} MJ	THGEK kg CO ₂ -eq	PEF_{gesamt} MJ	PEF_{nren} MJ	THGEK kg CO ₂ -eq
zu Fuss	mobitool (November 2010, v1.1 (ecoinvent v2.2))	pkm	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Fahrrad	mobitool (November 2010, v1.1 (ecoinvent v2.2))	pkm	0.1609	0.1400	0.0094	0.1609	0.1400	0.0094
Scooter, Benzin	Itten et al. (2015)	pkm	1.5600	1.5400	0.1230	1.5600	1.5400	0.1230
Personenwagen	Itten et al. (2015)	pkm	3.3200	3.2300	0.1970	1.7500	1.6600	0.0830
Regionalzug (Durchschnitt)	mobitool (November 2010, v1.1 (ecoinvent v2.2))	pkm	0.7900	0.5071	0.0079	0.7000	0.4515	0.0077
Linienbus	Itten et al. (2015)	pkm	1.6600	1.6400	0.1040	1.2500	1.2250	0.0758
Tram / Metro	Itten et al. (2015)	pkm	1.2400	1.0800	0.0259	1.2400	1.0800	0.0259
Reisebus	Itten et al. (2015)	pkm	0.8570	0.8410	0.0521	0.8570	0.8410	0.0521
Flugzeug/Luftfahrzeug	Itten et al. (2015)	pkm	2.1800	2.1500	0.1430	2.1800	2.1500	0.1430

PEF_{nren} = Faktoren für die nicht-erneuerbare Primärenergie (*non renewable*)
 PEF_{gesamt} = Faktoren für die nicht-erneuerbare und erneuerbare Primärenergie

5. Erklärende Variablen

Tabelle 5.1 zeigt die Variablen, die in der Modellierung verwendet werden.

Auswahlkriterium hierfür war, dass diese

- schweizweit flächendeckend verfügbar sind,
- die Eigenschaften des Gebäudestandorts anhand von Merkmalen beschrieben werden können und
- in den Modellen einen signifikanten Erklärungsbeitrag leisten.

Bei den Modellen Wohngebäude und Beschäftigte Arbeitsstätten wurden auch sozioökonomische Merkmale als erklärende Variablen verwendet.

Die Arbeitshypothese lautet wie folgt:

Die Raumvariablen (auch sozio-ökonomische Merkmale) haben Einfluss auf das Verkehrsverhalten, das mit der Erreichung des Gebäudes in Zusammenhang steht. Die Raumvariablen können das Gebäudeumfeld so operationalisieren, dass das Verkehrsverhalten (im Mittel) gut vorhersagbar ist.

Tabelle 5.1.: Erklärende Variablen der Modellierung

Variable	Erklärung	Quelle
Eigenschaften des Gebäudestandorts		
Gemeindetyp Kernstadt über 100 000 Einwohner Kernstadt bis 100 000 Einwohner Agglomeration Land	Raumgliederung der Schweiz mit zusätzlicher Differenzierung der Kernstädte	BFS
ÖV-Güteklasse (A-E)	Güteklassen des öffentlichen Verkehrs (ÖV) am Gebäudestandort	ARE (WEB GIS)
Beschäftigendichte [n/Hektar]	Beschäftigendichte in Personen je Hektar (Durchschnitt aus Radius von 1 km um Gebäudestandort)	BFS (STATENT 2011)
Einwohnerdichte [n/Hektar]	Einwohnerdichte in Personen je Hektar (Durchschnitt aus Radius von 1 km um Gebäudestandort)	BFS (STATENT 2011)
Gebäudestandort: Arbeitszone (Ja/Nein)	Arbeitszonen umfassen Flächen für Dienstleistungs-, Gewerbe- und Industrie-betriebe.	ARE Bauzonenstatistik
Gebäudestandort: Mischzone (Ja/Nein)	Mischzonen umfassen kombinierte Wohn- und Arbeitszonen. In den entsprechenden Flächen werden Wohn-nutzungen und mässig störende Betriebe zugelassen.	ARE Bauzonenstatistik
Naherholungsintensität	Es handelt sich um einen Indexwert für die Naherholungsfunktion, der auf der Grundlage von Raumeigen-schaften abgeschätzt wird.	BAFU (2010); Kienast <i>et al.</i> (2012); Degen-hardt <i>et al.</i> (2012)
Distanz zum nächsten Detailhandel	Routingdistanz zum nächsten Detailhandel mit 20-40 Beschäftigten [LOG(km)]	BFS (STATENT 2011)
Distanz Mobility-Standort	Routingdistanz zum nächsten Standort von Mobility-Car Sharing [LOG(km)]	Mobility Car Sharing Schweiz
Mobilitätswerkzeuge		
Parkplatzverfügbarkeit am Arbeitsort	Arbeitgeber stellt Parkplatz zur Verfügung (Ja/Nein)	MZMV 2010
Anzahl verfügbarer Parkplätze Wohnen	Anzahl PW-Parkplätze, die dem Haushalt zur Verfügung stehen	MZMV 2010
Verfügbarkeit Personenwagen	Personenwagen ist häufig oder immer verfügbar (Ja/Nein)	MZMV 2010
Verfügbarkeit Veloabstellplatz Arbeit	Arbeitgeber stellt Veloabstellplatz zur Verfügung (Ja/Nein)	MZMV 2010
Verfügbarkeit ÖV-Dauerabonnement	ÖV Dauerabo ist vorhanden (General-, Jahres-, Monats-, Wochenabonnement, Gleis 7 oder Kombinationen davon) (Ja/Nein)	MZMV 2010
Sozioökonomische Merkmale		
Haushaltseinkommen tief mittel hoch	Haushaltseinkommen (Brutto) bis 4000 Fr. 4001-10000 Fr. >10000 Fr.	MZMV 2010

Tabelle 5.2 und 5.3 zeigen die Masse der zentralen Tendenz (Anteile und Mittelwerte) der Einflussvariablen, die in den Modellen zur Anwendung kommen.

Tabelle 5.2.: Anteilswerte für kategoriale Einflussvariablen

	Anteil	Anzahl Personen	Grundgesamtheit
Verfügbarkeit Personenwagen			
Ja	73.0%	45893	CH
Nein	27.0%	16975	CH
Verfügbarkeit ÖV-Dauerabonnement			
Ja	26.8%	16849	CH
Nein	73.1%	45957	CH
Haushaltseinkommen			
CHF bis 4 000 Franken (tief)	13.9%	8730	CH
CHF 4 000 bis 10 000 (mittel)	65.9%	41387	CH
Über CHF 10 000 (hoch)	20.2%	12686	CH
Naherholungsintensität (Terzile)			
tief	33.3%	20935	CH
mittel	33.3%	20935	CH
hoch	33.3%	20935	CH
ÖV-Güteklasse			
A	24.4%	15366	CH
B	26.9%	16935	CH
C	20.8%	13098	CH
D	15.8%	9943	CH
E	12.0%	7526	CH
Gemeindetyp			
Kernstadt über 100 000 Einwohner	19.3%	7744	CH
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	20.1%	12650	CH
Agglomeration	48.2%	30302	CH
Land	19.4%	12172	CH
Gebäudestandort: Arbeitszone			
Ja	25.8%	4579	CH Arbeit
Nein	74.2%	13144	CH Arbeit
Gebäudestandort: Mischzone			
Ja	21.9%	3315	CH Arbeit
Nein	78.1%	11788	CH Arbeit
Parkplatzverfügbarkeit am Arbeitsort			
Ja	63.8%	11314	CH Arbeit
Nein	36.2%	6409	CH Arbeit
Verfügbarkeit Veloabstellplatz Arbeit			
Ja	22.5%	3982	CH Arbeit
Nein	77.5%	13741	CH Arbeit

Tabelle 5.3.: Mittelwerte für metrische Einflussvariablen

	Mittelwert	Standardabweichung	n
Routing-Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0.84 km	2.30 km	62868
Anzahl verfügbarer Park- und Garageplätze am Wohnstandort	1.53	1.64	62868
Distanz zum nächsten Detailhandel	2.07 km	4.09 km	62868
Einwohnerdichte am Wohnort (n/ha)	28	30	62868
Beschäftigungsdichte am Ziel (n/ha)	33	58	62868

Grundgesamtheit: CH

Folgende Variablen wurden geprüft und

- entweder aufgrund fehlender signifikanter Effektstärken in den Modellen nicht aufgenommen oder

- bei signifikantem Einfluss trotzdem verworfen, da eine hochkorrelierende (und somit ähnliche) Variable aus Anwendungsgesichtspunkten eingesetzt wurde (Detailhandel 20-40 Beschäftigte):
 - Distanzen zu Restaurant, Tennis, Theater, Konzertsaal, Sportanlagen, Passstrassen, Cafes, Golf, Bar, Grosse Geschäfte, Bibliotheken, Arztpraxen, Museum, kleine Supermärkte.

Folgende Variablen haben sich in den Modellen als nicht signifikant erwiesen:

- Höhe der Parkplatzkosten beim Modell Beschäftigte von Arbeitsstätten
- ÖV-Güteklassen bei Kunden von Lebensmittelverkauf

Daten zu weiteren (vermutlich) relevanten Variablen, wie zum Beispiel der Parkplatzverfügbarkeit, lagen nicht vor. Der Einfluss der Parkplatzverfügbarkeit stellt unter anderem eine wichtige Variable für die Nutzungen von Einkaufsnutzungen, Restaurants und Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil dar. Diese Informationen zu den Parkplätzen liegen aber nicht aufbereitet für die ganze Schweiz vor.

6. Eckwerte

6.1. Eckwerte für die schweizerische Wohnbevölkerung

Nachdem

- die Inlandwegezuteilung der Alltagsmobilität des MZMV 2010 zu den Modellen,
- die Treibhausgasemissions- und Primärenergiefaktoren mit den Inlandwegen multipliziert und
- die Inlandwege auf die Personenebene aufaggregiert wurden,

erfolgte eine deskriptive Untersuchung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen differenziert nach den Modellen. So kann ermittelt werden, wie viel Treibhausgasemissionen und Primärenergie den Gebäuden in Kontext von [SIA \(2016\)](#) zuordenbar sind.

Tabelle [6.1](#) und [6.2](#) zeigen, dass rund 80 % der Treibhausgasemissionen und Primärenergie der Alltagsmobilität auf die untersuchten Gebäudenutzungen aufgeteilt werden können.

Die rund 20% die in [SIA \(2016\)](#) nicht zugeordnet werden, umfassen die Mobilität zu anderen Gebäuden (Sporthallen, Spitäler etc.) oder sind Wege, deren Ziel ins Freie führt (Park, See usw.)¹.

¹Rundwege, wie etwa von zu Hause nach Hause, werden dem Wohngebäude zugeordnet.

Tabelle 6.1.: Eckwerte MZMV 2010: Primärenergie (Istzustand)

	MJ (Person/Tag)	Mio. MJ (Bevölkerung/Jahr)	%
TOTAL	84.59	228'562	100.0
Wohngebäude	40.05	108'215	47.3
Arbeitsstätte	16.59	44'826	19.6
Lebensmittelverkauf	2.78	7'512	3.3
Fachgeschäfte	1.00	2'702	1.2
Restaurants	3.70	9'997	4.4
Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil	1.89	5'107	2.2
Schulgebäude (13-15 jährige)	0.13	351	0.2
Schulgebäude (6-12 jährige)	0.11	297	0.1
Nicht zugeordnet in SIA MB 2039	18.34	49'555	21.7
Grundgesamtheit: Schweizerische Wohnbevölkerung ab 6 Jahren (7 402 731)			

Tabelle 6.2.: Eckwerte MZMV 2010: Treibhausgasemissionen (Istzustand)

	kg CO ₂ (Person/Tag)	Mio. kg CO ₂ (Bevölkerung/Jahr)	%
TOTAL	4.9443	13'359	100.0
Wohngebäude	2.3521	6'355	47.6
Arbeitsstätte	0.9079	2'453	18.4
Lebensmittelverkauf	0.1657	448	3.4
Fachgeschäfte	0.0606	164	1.2
Restaurants	0.2165	585	4.4
Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil	0.1117	302	2.3
Schulgebäude (13-15 jährige)	0.0088	24	0.2
Schulgebäude (6-12 jährige)	0.0066	18	0.1
Nicht zugeordnet in SIA MB 2039	1.2261	3'011	22.5
Grundgesamtheit: Schweizerische Wohnbevölkerung ab 6 Jahren (7 402 731)			

Anhand der aufbereiteten Daten ist es auch möglich, die Anzahl Wege zu benennen, die im Rahmen von SIA (2016) den Gebäuden zugeordnet werden können. Aus Tabelle 6.3 geht hervor, dass 83 % der Wege den Gebäudenutzungen zugeordnet werden können.

Tabelle 6.3.: Eckwerte MZMV 2010: Durchschnittliche Anzahl Wege

	Wege (Person/Tag)	Mio. Wege (Bevölkerung/Jahr)	%
TOTAL	3.40	9'186	100.0
Wohngebäude	1.63	4'404	47.9
Arbeitsstätte	0.51	1'378	15.0
Lebensmittelverkauf	0.25	675	7.3
Fachgeschäfte	0.04	108	1.2
Restaurants	0.18	486	5.3
Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil	0.13	351	3.8
Schulgebäude (13-15 jährige)	0.06	148	1.6
Schulgebäude (6-12 jährige)	0.03	75	0.8
Nicht zugeordnet SIA MB 2039	0.57	1'559	17.0
Grundgesamtheit: Schweizerische Wohnbevölkerung ab 6 Jahren (7 402 731)			

Ebenso können die durchschnittlichen Wegedistanzen den Gebäuden zugeordnet werden. Aus Tabelle 6.4 geht hervor, dass 80 % der aufsummierten Wegedistanzen des MZMV 2010 den Gebäudenutzungen zugeordnet werden können.

Tabelle 6.4.: Eckwerte MZMV 2010: Durchschnittliche Wegedistanzen

	Wegedistanzen (km/Weg)	Anzahl Wege (MZMV 2010)	Summe der Wegedistanzen (MZMV 2010)	%
TOTAL	10.39	210048	2181261	100.0
Wohngebäude	11.10	100598	1116786	51.2
Arbeitsstätte	12.93	28548	369210	16.9
Lebensmittelverkauf	4.50	15942	71800	3.3
Fachgeschäfte	9.12	2471	22540	1.0
Restaurant	9.51	11346	107914	4.9
Dienstleistungen	5.96	8360	49819	2.3
Schulgebäude (13-15 jährige)	3.80	1787	6789	0.3
Schulgebäude (6-12 jährige)	1.76	3487	6140	0.3
Nicht zugeordnet SIA MB 2039	11.49	37509	430263	19.7
Grundgesamtheit: Wege der Schweizerischen Wohnbevölkerung ab 6 Jahren (7 402 731)				

Auch können die am Stichtag mobilen Personen je Modell abgeleitet werden (Tabelle 6.5). An einem durchschnittlichen Verkehrstag in der Schweiz sind 88% der Bevölkerung ausser-häussig unterwegs. Beispielsweise sind an einem durchschnittlichen Verkehrstag 24% der Bevölkerung unterwegs, um als Kunden die Nutzung Lebensmittelverkauf aufzusuchen. Daraus lässt sich die Anzahl mobiler Personen eines Modells pro Jahr herleiten.

Tabelle 6.5.: Eckwerte MZMV 2010: Mobile Personen

	Mobil (Stichtag)	Mio. Mobile Personen pro Jahr
TOTAL	88%	2'378
Bewohner Wohngebäude	87%	2'340
Beschäftigte Arbeitsstätten	28%	762
Kunden Lebensmittelverkauf	24%	648
Kunden Fachgeschäfte	4%	100
Kunden Restaurants	16%	427
Kunden Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil	12%	322
Schüler (13-15 jährige)	3%	92
Schüler (6-12 jährige)	2%	46
Grundgesamtheit: Schweizerische Wohnbevölkerung ab 6 Jahren (7 402 731)		

Bei den Kundenmodellen wird angenommen, dass die Anzahl mobiler Personen pro Jahr der Anzahl Kunden pro Jahr entspricht. Die Kundenzahlen werden benötigt, um die Personenflächen pro Kunde je Nutzung herleiten zu können. Die Personenflächen finden wiederum Anwendung in SIA MB 2039. Ein detaillierter Beschrieb der Herleitung der Personenflächen (Bewohner, Beschäftigte und Kunden) ist in Kapitel [6.4.3](#) zu finden.

6.2. Eckwerte für die Nutzenden der Gebäude

In Kapitel 6.1 wurden die Kennzahlen für Treibhausgasemissionen und Primärenergie auf die schweizerische Grundgesamtheit bezogen. Die Modellierungswerte für SIA MB 2039 beziehen sich aber konkret auf die Gebäudenutzenden.

Aus diesem Grund werden die Eckwerte aus dem MZMV 2010 in Tabelle 6.6 bezogen auf die Grundgesamtheit in der Modellierung vorgestellt. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Tabelle den Durchschnittswert pro Person und Tag (je Modell aufweisen)), wobei der hinterlegte Tag nicht bei allen Modellen derselbe ist. Bei den Bewohnern handelt es sich um einen beliebigen Kalendertag, bei den Beschäftigten um einen Arbeitstag und bei den Kunden/Schülern um einen Betriebstag. Bei den Bewohnern handelt es sich pro Tag eines Jahres, bei Beschäftigten pro Arbeitstag und bei Kunden/Schüler pro Betriebstag.

Tabelle 6.6.: Eckwerte MZMV 2010: Primärenergie und Treibhausgasemissionen (Durchschnittswert pro Person und Tag, pro Modell)

	2015			2050		
	kWh	MJ	kg CO ₂	kWh	MJ	kg CO ₂
TOTAL	23.50	84.59	4.94	12.90	46.45	2.23
Wohngebäude (Bewohner)	11.13	40.05	2.35	6.00	21.59	1.07
Arbeitsstätte (Beschäftigte)	14.49	52.15	2.87	8.19	29.49	1.28
Lebensmittelverkauf (Kunden)	3.09	11.12	0.66	1.63	5.87	0.29
Fachgeschäfte (Kunden)	7.21	25.94	1.56	3.78	13.60	0.68
Restaurants (Kunden)	6.50	23.39	1.36	3.44	12.37	0.62
Dienstleistungen (Kunden)	4.44	15.97	0.94	2.35	8.45	0.42
Schulgebäude (13-15 jährige Schüler)	1.65	5.95	0.37	1.06	3.81	0.27
Schulgebäude (6-12 jährige Schüler)	0.89	3.22	0.21	0.51	1.83	0.14
MJ / kWh = nicht erneuerbar						
Beobachtungen aus MZMV 2010, Tageswerte						
Grundgesamtheit: Gebäudenutzende (Bsp.: Beschäftigte in Arbeitsstätten)						

Die Werte in Tabelle 6.6 stellen die Mittelwerte für SIA (2016) dar, die im Merkblatt SIA 2039 anhand des Gebäudestandorts, der Mobilitätswerkzeuge und der sozioökonomischen Personenmerkmale variiert werden sollen. Die Modelle für die Schulgebäude werden nicht nach dem Standort variiert.

Tabelle 6.7 beinhaltet die genaue Interpretation der Mittelwerte (bezogen auf die Primärenergie).

Tabelle 6.7.: Grundgesamtheit (GG) und Interpretation der Eckwerte für die Modellierung

Wohngebäude (Bewohner)

GG: Schweizerische Wohnbevölkerung ab 6 Jahren.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch eine durchschnittliche Person der schweizerischen Wohnbevölkerung ab 6 Jahren 11.13 kWh Primärenergie verbraucht, die dem Wohngebäude zugeordnet werden.

Arbeitsstätte (Beschäftigte)

GG: Beschäftigte Personen der Schweizerischen Wohnbevölkerung, die am Stichtag Wege aufweisen, die der Nutzung Arbeitsstätte zugeordnet werden können.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen Beschäftigten der schweizerischen Wohnbevölkerung 14.49 kWh Primärenergie verbraucht, die den Gebäuden mit Arbeitsstätten angelastet wird.

Lebensmittelverkauf (Kunden)

GG: Mitglieder der Schweizerischen Wohnbevölkerung, die am Stichtag Wege aufweisen, die der Nutzung Lebensmittelverkauf zugeordnet werden können.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen Kunden eines Lebensmitteladens 3.09 kWh Primärenergie verbraucht, was den Gebäuden mit Lebensmittelverkauf angelastet wird.

Fachgeschäfte (Kunden)

GG: Bevölkerung der Schweiz, die am Stichtag Wege aufweist, die der Nutzung Fachgeschäfte zugeordnet werden können.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen Kunden eines Fachgeschäfts 7.21 kWh Primärenergie verbraucht, was den Gebäuden mit Fachgeschäften angelastet wird.

Restaurants (Kunden)

GG: Bevölkerung der Schweiz, die am Stichtag Wege aufweist, die der Nutzung Restaurants zugeordnet werden können.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen Kunden eines Restaurants 6.50 kWh Primärenergie verbraucht, was Gebäuden mit Restaurants angelastet wird.

Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (Kunden)

GG: Bevölkerung der Schweiz, die am Stichtag Wege aufweist, die der Nutzung Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil zugeordnet werden können.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen Kunden 4.44 kWh Primärenergie verbraucht, was den Gebäuden mit Dienstleistungen angelastet wird.

Schulgebäude (13-15 jährige Schüler)

GG: 13-15 jährige Bevölkerung der Schweiz, die am Stichtag Wege aufweisen, die der Nutzung Schule zugeordnet werden.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen 13-15 jährigen Schüler 1.65 kWh Primärenergie verbraucht, was Schulgebäuden angelastet wird.

Schulgebäude (6-12 jährige Schüler)

GG: 6-12 jährige Bevölkerung der Schweiz, die am Stichtag Wege aufweisen, die der Nutzung Schule zugeordnet werden können.

Interpretation: An einem durchschnittlichen Verkehrstag wird durch einen durchschnittlichen 6-12 jährigen Schüler 0.89 kWh Primärenergie verbraucht, was Schulgebäuden angelastet wird.

Die Werte in Tabelle 6.8 stellen die Mittelwerte der Primärenergie dar, die sich aus einer gesamten Betrachtung (erneuerbar + nicht-erneuerbar) heraus ergeben und im Merkblatt ebenfalls ausgewiesen werden.

Tabelle 6.8.: Eckwerte 2015/2050 für Primärenergie Gesamt: Durchschnittswert pro Person und Tag, pro Modell

Nutzungen	2015		2050	
	MJ / Tag	kwh / Tag	MJ / Tag	kwh / Tag
TOTAL	89.28	24.8	50.63	14.06
Wohngebäude (Bewohner)	42.23	11.73	23.62	6.56
Arbeitsstätte (Beschäftigte)	55.02	15.28	32.3	8.97
Lebensmittelverkauf (Kunden)	11.67	3.24	6.38	1.77
Fachgeschäfte (Kunden)	26.96	7.49	14.56	4.04
Restaurants (Kunden)	24.73	6.87	13.56	3.77
Dienstleistungen (Kunden)	16.74	4.65	9.17	2.55
Schulgebäude (13-15 jährige Schüler)	3.33	0.93	1.83	0.51
Schulgebäude (6-12 jährige Schüler)	6.58	1.83	3.81	1.06

MJ / kWh = nicht erneuerbar und erneuerbar (Gesamt)
Grundgesamtheit: Gebäudenutzende (Bsp.: Beschäftigte in Arbeitsstätten)

6.3. Eckwerte verglichen mit anderen Quellen

Zur Plausibilisierung der Flughöhe der Berechnungen können die Eckwerte mit anderen Quellen verglichen werden. Wobei es zu berücksichtigen gilt, dass unterschiedliche Ansätze auch unterschiedliche Methoden verfolgen respektive andere Faktoren und Jahresstände verwenden.

Die Tageswerte aus der Modellierung werden mit unterschiedlichen Betriebstagen für die Gebäudenutzungen auf das Jahr hochgerechnet (Tabelle 6.9 oder siehe SIA MB 2039 in Tabelle 2).

Koppelt man die gesamte Mobilität aus dem MZMV 2010 mit den Faktoren für die Treibhausgasemissionen und Primärenergie, werden pro Kopf und Jahr in der Mobilität in der Schweiz 2.7 Tonnen CO₂ emittiert oder 45'507 MJ Primärenergie verbraucht. Davon entfallen 30'875 MJ und 1.8 Tonnen CO₂ auf die Alltagsmobilität² (Inland). Die Differenz zum Gesamtwert entfällt auf Reisen (In- und Ausland, sowohl Tagesreisen als auch Reisen mit Übernachtung).

²Anhand der Faktoren aus Tabelle 5.3 und den Angaben aus der **MZMV2010-Tabelle zur Jahresmobilität T10.1.1.** zu Reisen mit Übernachtung und Tagesreisen wurden die Eckwerte ebenfalls für die Reisen im In- und Ausland berechnet.

Tabelle 6.9.: Eckwerte: MZMV 2010 gesamt

MZMV 2010	MJ	kWh	Watt	kg CO ₂
Alltagsmobilität (Inland)				
Tag	84.6	23.5	-	4.9
Jahr	30875	8576	979	1803
Reisen (In+Ausland)				
Jahr	14632	4064	464	920
TOTAL (Jahr)	45507	12641	1443	2723
Jahreswerte beinhalten Betriebstage				
Watt = Dauerleistung (Jahr)				

Der Anteil des Verkehrs an den Treibhausgasemissionen wird schweizweit durch das Bundesamt für Umwelt BAFU mit 31% bemessen (Tabelle 6.10). Für diese Berechnungen gilt das Territorialprinzip, weswegen der Vergleich sich nur auf die Alltagsmobilität (Inland) bezieht. Referenz für die 6.5 Tonnen (Jahr 2013) pro Kopf und Jahr der schweizerischen Wohnbevölkerung ist hier somit lediglich der Inlandverkehr. Die vorliegende Berechnung liegt bei 28%.

Tabelle 6.10.: Eckwerte: SIA MB 2039 vs. andere Quellen

	CO ₂	%	Quelle
Person in CH (Inland)	6.5t	100%	BAFU (2016)
(Alltags)-Mobilität	2.0t	31%	BAFU (2016)
(Alltags)-Mobilität	1.8t	28%	SIA MB 2039
	Watt	%	Quelle
Person in CH	6500	100%	BBL (2010)
Reisen + (Alltags)-Mobilität	1700	26%	BBL (2010, S. 11)
Reisen + (Alltags)-Mobilität	1443	22%	SIA MB 2039

Die 2000-Watt Gesellschaft quantifiziert den durchschnittlichen Verbrauch der aktuellen Gesellschaft in der Schweiz mit 6500 Watt Dauerleistung (Tabelle 6.10). Dieser Wert stützt sich auf BBL (2010, S. 8) erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger. Auf die Mobilität entfällt 1700 Watt nach BBL (2010, S. 11). Die hier getätigten Berechnungen liegen bei 1443 Watt. Ein Grund für den Unterschied dürfte sein, dass für SIA MB 2039 lediglich nicht-erneuerbare Energieträger in die Berechnungen einfließen.

Vor dem Hintergrund von methodischen Unterschieden und unterschiedlichen Faktoren kann festgehalten werden, dass die Werte auf vergleichbarer Flughöhe, tendenziell aber unter den verglichenen Zahlen liegen. Allerdings wurde diese Berechnungen im Rahmen von SIA MB 2039 erstmals auf der Grundlage neuer Kennzahlen nach Itten *et al.* (2015) und des aktuellen Mikrozensus zum Verkehr berechnet, weswegen Abweichungen zu anderen Werten zu erwarten sind.

6.4. Methodische Hinweise für weitere Grundlagen aus dem MZMV 2010 für SIA MB 2039

6.4.1. Eckwerte für Schüler

In **SIA (2016, Tabelle 61, S. 46)** wurde für Schüler die Standard-Mobilität (Alltagsmobilität) wie folgt berechnet. Da es sich hier um eine Gruppe handelt, für die ein schweizweiter Mittelwert (für alle Personen grösser 6 Jahren) nicht in Frage kommt³, erfolgte für die Berechnung des Durchschnitts eine Datensatzselektion, wo nur die jeweiligen Schüler der entsprechenden Altersklasse berücksichtigt wurden.

In **SIA (2016, Tabelle 40, S. 33)** wurde der durchschnittliche jährliche Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie und daraus resultierende Treibhausgasemissionen für die Mobilität pro Schüler aufgrund einer Zusatzauswertung zum MZMV 2010 ermittelt. Das heisst es handelt sich jeweils um den Mittelwert aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010, der nur für 6-12 jährige und 13-15 jährige Schüler zutrifft. Die Eckwerte ergeben sich aus den Werten für die jeweilige Kategorie in Tabelle 6.6 multipliziert mit 180 Betriebstagen.

6.4.2. Aufteilung der Jahresdistanzen auf die Gebäudenutzungen

Aufgrund der Zuordnungsprinzipien dargestellt in Kapitel 3 und gestützt auf eine Zusatzauswertung zum MZMV 2010, können die durchschnittlichen Jahresdistanzen in Kilometer pro Person gemäss **SIA (2016, Tabelle 53, S. 43)** den verschiedenen Gebäudenutzungen zugeordnet werden.

Die Ermittlung dieser Werte erfolgt für die Alltagsmobilität in der Art, dass die Aggregation der Wegedistanzen differenziert nach Zwecken und Gebäudetypen erfolgt. Danach erfolge die Berechnung des Anteilswerts. Vereinfacht gesagt, die Wege des MZMV 2010 erhalten eine Zusatzinformation zu welchem Gebäudetyp sie gehören. Danach werden die Wege je Person und Gebäudetyp aufsummiert, woraufhin sich die Anteile berechnen lassen.

Für die nicht-alltägliche Mobilität werden die Anteilswerte der Alltagsmobilität je Gebäudenutzung im Sinne einer Annahme übertragen:

- Privatausflüge ohne Übernachtung und Privatreisen mit Übernachtung: Anteile der Alltagsmobilitätswerte für Freizeit
- Geschäftsreisen ohne und mit Übernachtung: Anteile der Alltagsmobilitätswerte für Geschäftliche Tätigkeit, Dienstfahrten

6.4.3. Exkurs Personenfläche

Die Personenflächen werden benötigt, um die Kennwerte pro Person für Primärenergie und Treibhausgasemissionen der gebäudeinduzierten Mobilität auf Kennwerte pro Quadratmeter umzurechnen. So lassen sich die Kennwerte der gebäudeinduzierten Mobilität mit den Kennwerten der Erstellung und des Betriebs eines Gebäudes vergleichen und verrechnen.

³In **SIA (2016, Tabelle 58, S. 45)** ist beispielsweise die gesamte Bevölkerung die Grundgesamtheit, da jede Person potenziell ein Kunde sein kann.

In einem ersten Schritt wurde die gesamte Energiebezugsfläche (EBF) jeder im Merkblatt verwendeten Gebäudekategorie benötigt. Die Grundlage dazu bildet das Gebäudeparkmodell (GEPAMOD) (Jakob *et al.*, 2016). Im Anhang 2 ist ersichtlich wie die Kategorien des GEPAMOD den Gebäudekategorien in SIA 2039 zugeordnet wurden. Ebenfalls ersichtlich ist, welche NOGA-Codes in den einzelnen GEPAMOD-Kategorien enthalten sind.

In einem zweiten Schritt galt es die Anzahl Personen für jede Gebäudekategorie auf der gleichen Basis wie die Kennwerte zu Primärenergie und Treibhausgasemissionen herzuleiten:

- Bewohner pro Tag eines Jahres
- Beschäftigte pro Arbeitstag
- Kunden pro Betriebstag
- Schüler pro Betriebstag

Für Bewohner und Beschäftigte konnten die Zahlen dem GEPAMOD entnommen werden (siehe Anhang), wobei für Beschäftigte die Anzahl Vollzeitäquivalente verwendet wurde. Die Schülerzahlen sind dem Dokument "Lernende nach Bildungsstufe und Bildungstyp, Entwicklung" entnommen, wobei der Wert dem Durchschnitt der Schuljahre 2009/2010 und 2010/2011 entspricht (BFS, 2015). Die Anzahl Kunden wurde mit Hilfe der in Kapitel 6.1 beschriebenen Berechnung für jede Nutzung mit bedeutendem Kundenanteil (Lebensmittelverkauf, Fachgeschäft, Restaurant, Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil, Schule) hergeleitet. Da die in Tabelle 6.5 ersichtlichen Kundenzahlen (mobile Personen) dem Jahreswert entsprechen, mussten diese Werte noch durch die Anzahl Betriebstage der entsprechenden Gebäudekategorie geteilt werden. Tabelle 6.11 zeigt die Kunden pro Betriebstag.

Tabelle 6.11.: Kunden pro Betriebstag

Gebäudekategorie	Kunden pro Jahr	Betriebstage pro Jahr	Kunden pro Betriebstag
Lebensmittelverkauf	648'000'000	320	2'030'000
Fachgeschäften	100'000'000	320	312'000
Restaurants	427'000'000	365	1'170'000
Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil	322'000'000	320	1'000'000

Im dritten und letzten Schritt wurden aus den zuvor hergeleiteten Werten die Personenflächen berechnet.

Teil II.

Modellierung

7. Herleitung des Schätzmodells

Da das Schätzmodell für die gebäudestandortabhängige Alltagsmobilität ein log-lineares Modell darstellt¹, wird von den Koeffizienten des Modells der Wert der abhängigen logarithmierten Variable vorhergesagt. Da aber auch die ursprünglichen Werte (Primärenergie oder Treibhausgasemissionen) als Simulationenwerte von Interesse sind², muss die Vorhersage wieder in diese transformiert werden (Exponentieren). Die Regressionsanalyse gibt grundsätzlich Werte für Koeffizienten zurück, die verwendet werden können, um den erwarteten Wert der abhängigen Variablen, auf die beobachteten Werte der unabhängigen Variablen auszudrücken. Formal,

$$\mathbb{E}[\log(Y)|X_1, X_2, \dots, X_n] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$$

Da im Falle eines log-linearen Modells $\mathbb{E}[f(X)]$ nicht gleich $f(\mathbb{E}[X])$ ist, wobei X eine Zufallsvariable und f eine Funktion dieser Zufallsvariablen ist, kann nicht einfach die exponentielle Funktion des vorhergesagten Werts von $\log(Y)$ genommen werden. Für die oben beschriebene log-linearen Modell ist die Transformation bekannt, da $\log(Y_i)|X_1, X_2, \dots, X_n = X_i' \beta + \varepsilon_i$ umgeschrieben werden kann in:

$$\begin{aligned} Y_i &= \exp(X_i' \beta + \varepsilon_i) \\ Y_i &= \exp(X_i' \beta) \exp(\varepsilon_i) \end{aligned}$$

Unter der Annahme der Unabhängigkeit der Fehler und der Kovariaten, kann man dies umformen in:

$$\mathbb{E}[Y_i|X_i] = \exp(X_i' \beta) \mathbb{E}[\exp(\varepsilon_i)]$$

Um $\mathbb{E}[Y_i|X_i]$ zu schätzen, werden Schätzungen für $\exp(X_i' \beta)$ und $\mathbb{E}[\exp(\varepsilon_i)]$ benötigt. Ein konsistenter Schätzer von $\mathbb{E}[\exp(\varepsilon_i)]$ ist der Durchschnitt der exponierten Fehler $\overline{\exp(\hat{\varepsilon})}$. Ein theoretisch vertretbarer Schätzer für $\mathbb{E}[Y_i|X_i]$ ist daher:

$$\hat{Y}_i = \exp(X_i' \hat{\beta}) \overline{\exp(\hat{\varepsilon})}$$

Da der MZMV 2010 Beobachtungen aufweist, welche keine Verkehrswege mit emissions- oder primärenergieverursachenden Verkehrsmitteln angegeben haben (am Stichtag nicht mobil oder nur zu Fuss unterwegs), muss für alle Personen die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, ob emissions- oder primärenergieverursachende Mobilität an einem durchschnittlichen Tag stattfinden

¹Die abhängige Variable wird logarithmiert, um die Voraussetzungen einer linearen Regression zu erfüllen (vor allem die Normalverteilung der Fehlerterme).

²Durch den Logarithmus entfallen die Werte mit 0, die ebenfalls zur interessierten Analysepopulation gehören.

det. Diese Information wird dann mit der Vorhersage der Zielvariable verrechnet, um den durchschnittlichen Wert für die Gesamtbevölkerung berechnen zu können. In diesem Falle bedeutet dies formal:

$$PE_{\text{Vorhersage}} = \frac{e^{X_i \hat{\beta}_{WM}}}{1 + e^{X_i \hat{\beta}_{WM}}} * \exp \left(X_i \hat{\beta}_{PEM} \right) \overline{\exp(\hat{\epsilon}_{PEM})},$$

wobei WM das Modell der Auftretenswahrscheinlichkeit bezeichnet und PEM das Primärenergie- respektive das Emissionsmodell bezeichnet (Wertebereichmodell).

Im Allgemeinen bedeutet dies, dass eine lineare und eine logistische Regression miteinander verknüpft werden, um erwartungstreue Schätzer für die beiden Zielvariablen (Primärenergie und Treibhausgasemissionen) für die schweizerische Wohnbevölkerung zu modellieren (und nicht nur für die Mobilen am Stichtag). Die Modelle können dann mit der Hilfe von Simulationen diverse Änderungsfaktoren erzeugen, die in Abhängigkeit der Raumstruktur und z.T. auch der Personeneigenschaften die schweizerischen Mittelwerte variieren können (siehe SIA MB 2039).

8. Anspruch an die Modelle

8.1. Vorbemerkungen

Die hier vorgestellten Modellresultate (siehe Tabellen 9.2 bis 9.37) enthalten jeweils die Koeffizienten sowie die Signifikanzen der Einflussfaktoren (siehe Tabelle 5.1). Die Koeffizienten werden dann in den Simulationsmodellen verwendet, um Änderungsfaktoren abzuleiten.

Insgesamt wurden diverse Varianten von Modellen geschätzt, die jeweils unterschiedliche Aggregationen von Einflussvariablen beinhaltet haben. Nach den Kriterien

- der möglichst praxisnahen Umsetzbarkeit der Einflussvariablen,
- der Auswahl von signifikanten Einflussfaktoren und
- der besten Varianzaufklärung

wurden schlussendlich 24 Modelle für SIA MB 2039 ausgewählt (6 Modelltypen X zwei Jahrgänge (2015/2050) X zwei Faktoren (PE/THGE) = 24 Modelle):

1. Wohngebäude (Bewohner)
2. Arbeitsstätte (Beschäftigte)
3. Lebensmittelverkauf (Kunden)
4. Fachgeschäfte (Kunden)
5. Restaurants (Kunden)
6. Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (Kunden)

Ziel und Aufgabenstellung der Modellierung ist, (lediglich) mittels raumstrukturellen Variablen Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen in der Mobilität bestmöglich vorherzusagen. Personeneigenschaften werden nicht berücksichtigt respektive multivariat kontrolliert, da der Fokus laut Aufgabenstellung und bei der praktischen Anwendung auf raumstrukturellen Variablen liegt. Ausnahmen stellen das Modell Wohngebäude (Bewohner) und Arbeitsstätte (Beschäftigte) dar, das bekannte oder abschätzbare Personenmerkmale berücksichtigt. Somit können bei den Modellen Personeneigenschaften als konfundierende Einflüsse (Drittgrößen) auftreten.

Der Fokus liegt zudem auf einer guten Vorhersage der Werte. Deshalb wird die Vorhersage des Modells mit den beobachteten Werten aus dem MZMV 2010 gegenübergestellt. Aus diesem Grund werden auch grosszügige Signifikanzwerte der Koeffizienten akzeptiert, solange die Vorhersage (differenziert nach Raumstruktur) die Unterschiede gut herausarbeitet.

Zudem werden die Varianz für die Vorhersage und die Werte aus dem MZMV 2010 einander gegenübergestellt. Dabei wird die grosse Varianz im Datensatz des MZMV 2010 deutlich. Der Ansatz nach SIA (2016) verfolgt eine Orientierung an Mittelwerten, differenziert nach der Raumstruktur. Die Modellergebnisse weisen eine viel geringere Varianz auf. Dies ist im Sinne der Mittelwertorientierung des Ansatzes.

Für Schulgebäude werden keine Modelle erstellt, sondern schweizweit zwei Mittelwerte – differenziert nach Alter der Schüler – verwendet. Anhand der ab Kapitel 9.2 (S.32) dargestellten Resultate der Modellrechnungen, können die einzelnen Variablen anhand der Signifikanzen beurteilt werden. Sie zeigen jedoch nicht die Faktoren auf, die später im Merkblatt verwendet werden. Diese Faktoren werden in einem weiteren Arbeitsschritt anhand der Excel-Berechnungstools abgeleitet (vgl. methodische Hinweise in Kapitel 9.1). Anhand der Faktoren lassen sich auch die Effektstärken einzelner Einflussbereiche beurteilen (siehe SIA MB 2039).

8.2. Festlegung der Signifikanzen der einflussnehmenden Variablen

Das Signifikanzniveau bezeichnet die Wahrscheinlichkeit des Fehlers 1. Art, nämlich die Nullhypothese (H_0) zu verwerfen, obwohl H_0 wahr ist; also zu sagen, die Variable hat einen Einfluss, obwohl kein Einfluss besteht. Die Grenzwerte für den Fehler 1. Art sind in dieser Anwendung wie folgt festgelegt:

- p (*Propability*) < 0.05 : Mit einer 95%-Sicherheit ist der Effekt nicht zufällig. Die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt 5%. Diese Effekte werden mit drei Sternen gekennzeichnet (***).
- p (*Propability*) < 0.10 : Mit einer 90%-Sicherheit ist der Effekt nicht zufällig. Die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt 10%. Diese Effekte werden mit zwei Sternen gekennzeichnet (**).
- p (*Propability*) < 0.15 : Mit einer 85%-Sicherheit ist der Effekt nicht zufällig. Die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt 15%. Diese Effekte werden mit einem Stern gekennzeichnet (*).
- p (*Propability*) ≥ 0.15 : Diese Effekte werden nicht als signifikant angesehen und mit keinem Stern gekennzeichnet.

In der Regel werden Einflussbereiche mit $p < 0.05$ ausgewählt. Ein p -Wert < 0.10 wird für die Simulationstools akzeptiert, solange die Wirkrichtung mit gängigen Erkenntnissen der Verkehrswissenschaften übereinstimmen und somit nicht kontraintuitiv ist. Im Falle eines p -Werts von < 0.15 wird im Hinblick auf die Praktikabilität des Merkblatts entschieden, ob ein einflussnehmende Variable im Merkblatt variiert wird. Hier gilt auch, dass die Wirkrichtung mit gängigen Erkenntnissen übereinstimmen muss. Aufgrund der Konsistenz der Einflussmerkmale in allen Modellen, wo dieselbe Variable in unterschiedlichen Modellen die Signifikanzschwellen erreichen oder nicht, werden teilweise nicht signifikante Effekte ($p \geq 0.15$) im Modell mitgeführt, aber dann nicht variiert (und somit beim Mittelwert belassen).

9. Modelle

Nachfolgend sind die Ergebnisse der 24 Modelle dokumentiert, die zur Ableitung der Änderungsfaktoren für SIA MB 2039 verwendet wurden. Im Rahmen der Modellierung wurden unterschiedliche Varianten geprüft, die hier vorgestellten Modellstrukturen stellen die Schlussmodelle dar. Kriterien für die Auswahl war ein Abwägen zwischen praktischer Anwendbarkeit und bester Vorhersagekraft der Modelle.

Die signifikanten Einflüsse weisen jeweils die intuitiven und aus der verkehrswissenschaftlichen Forschung bekannten Vorzeichen vor (Wirkrichtung).

Variantenstudien der Modelle befassten sich mit unterschiedlichen Aggregationsstufen der einflussnehmenden Variablen. Beispielsweise im Falle der öV-Güteklassen war es der Fall, dass A, B und C, D sehr ähnlich mit Referenz auf E reagieren, also keine Transitivität (Wenn a grösser b und b grösser c, dann muss a grösser c gelten) vorliegt. Darum werden sie in manchen Fällen zusammengefasst.

9.1. Ermittlung der Faktoren anhand der Modelle

SIA (2016) verwendet das Produkt von Änderungsfaktoren aus einzelnen Einflussbereichen, um den schweizerischen Mittelwert abzuändern. Die Anwendung in SIA (2016) ist eine mögliche Umsetzung, um die Mittelwerte zu variieren (beispielsweise ohne ein Excelsimulationstool). Die Faktoren wurden anhand der Modelle ermittelt, indem

1. bei den Einflussvariablen nur Mittelwerte eingestellt wurden. Der Modellwert entspricht dann dem schweizweiten Mittelwert.
2. Dann wurde für jede Ausprägung der Einflussvariablen der Simulationswert mit dem Mittelwert ins Verhältnis gesetzt, während die nicht betrachteten Einflussvariablen bei ihrem Mittelwert belassen wurden.
3. Die so entstandenen Änderungsfaktoren wurden für alle Einflussfaktoren ermittelt und stellen die Faktoren für SIA (2016) dar.

Beispiel: Wenn im Modell Wohngebäude für alle Einflussvariablen der Mittelwert eingestellt wird. So ergibt sich ein MJ Wert von 40.175. Wird nun die Verfügbarkeit eines Personenwages vom Mittelwert auf 1 (=Ja) gestellt. So ergibt sich ein Wert von 53.39 MJ. Das Verhältnis von 53.39 MJ zu 40.175 MJ beträgt nun 1.33. Dies ist der Faktor, der in SIA (2016, S. 18) für den Einfluss 'Personenwagen ständig oder zeitweise verfügbar' anzuwenden ist¹.

¹Nachdem alle Faktoren der Einflussbereichsausprägungen für die Abweichungen vom Mittelwert ermittelt wurden, verhält es sich arithmetisch so, dass wenn man das Produkt der Faktoren einer beliebigen Kombination berechnet, das gleiche Ergebnis herauskommt, als wenn die Werte im Simulationstool eingestellt werden (abgesehen von Abweichungen, die aus Rundungen herrühren).

Tabelle 9.1 gibt einen Überblick über die maximalen und minimalen Faktoren je Gebäudetyp, die sich aus den einflussnehmenden Variablen ermitteln lassen. Werden diese mit dem Mittelwert multipliziert, ergibt sich ein Verhältnis (*Ratio*) zwischen dem grössten Wert und kleinsten Wert (energieaufwändigster vs. energieeffizientester Standort). Beispielsweise ist der Modellwert für Wohngebäude im Falle PE (2015) für den energieaufwändigsten Standort 28-mal grösser als beim energieeffizientesten Standort.

Tabelle 9.1.: Faktoren (Min/Max) und Verhältnis

	2015						2050					
	PE			THGE			PE			THGE		
	Min	Max	Ratio	Min	Max	Ratio	Min	Max	Ratio	Min	Max	Ratio
Wohngebäude	0.13	3.68	28	0.08	4.83	64	0.12	3.68	31	0.16	3.45	21
Arbeitsstätte	0.18	2.79	16	0.12	3.40	29	0.18	2.86	16	0.20	2.53	12
Lebensmittelverkauf	0.04	1.95	51	0.04	2.05	49	0.02	2.17	104	0.05	1.78	33
Fachgeschäfte	0.03	2.33	84	0.02	2.72	175	0.02	2.67	136	0.03	2.28	65
Restaurants	0.07	2.41	35	0.10	3.26	34	0.05	3.39	69	0.10	3.09	31
Dienstleistungen	0.29	2.43	8	0.33	2.52	8	0.18	2.59	15	0.40	2.16	5

9.2. Modelle 2015

Die Kennwerte für eine Gebäudenutzung setzen sich aus verschiedenen Modellen zusammen (z.B. für die Nutzung “Lebensmittelverkauf” aus “Beschäftigte Arbeitsstätten” und “Kunden Lebensmittelverkauf”).

In den nachfolgenden Modellen werden unter anderem zwei Koeffizienten ausgewiesen, auf deren Basis die Simulationstools gründen:

- b1: Koeffizient der Auftretenswahrscheinlichkeits der Mobilität: Ein positives Vorzeichen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person zu diesem Zweck in der Alltagsmobilität aktiv ist (und *vice versa*).
- b2: Koeffizient des Primärenergie- respektive das Emissionsmodells (Wertebereichmodell): Ein positives Vorzeichen erhöht die Primärenergie resp. die Emission für eine Person, die zu diesem Zweck in der Alltagsmobilität mobil ist (und *vice versa*).

9.2.1. Wohngebäude (PE/THGE, 2015)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.2.: Modellkoeffizienten: Wohngebäude (PE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		-0.50	***	1.98	***
1 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein			0.19	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein			0.32	***
Land	1=Ja, 0=Nein			0.40	***
2 Parkplätze am Wohnstandort	Anzahl Parkplätze	0.06	***	0.04	***
3 Verfügbarkeit Personenwagen	1=Ja, 0=Nein	0.81	***	0.80	***
4 Distanz zum nächsten Detailhandel	0.1-10km	0.07	***	0.07	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km			0.05	***
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	1=Ja, 0=Nein			-0.07	***
7 Referenz: Naherholungsintensität (tief)					
Naherholungsintensität (mittel)	1=Ja, 0=Nein	-0.01	**	-0.07	***
Naherholungsintensität (hoch)	1=Ja, 0=Nein	-0.05	**	-0.10	***
8 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse CD	1=Ja, 0=Nein			-0.03	**
ÖV-Güteklasse AB	1=Ja, 0=Nein			-0.05	**
9 Referenz: Haushaltseinkommen CHF bis 4'000 Franken (tief)					
CHF 4'000 bis 10'000 (mittel)	1=Ja, 0=Nein	0.54	***	0.13	***
Über CHF 10'000 (hoch)	1=Ja, 0=Nein	0.89	***	0.25	***
Beobachtungen		62720		42927	
R ²				0.09	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.3.: Modellkoeffizienten: Wohngebäude (THGE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		-0.50	***	-1.01	***
1 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein			0.29	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein			0.39	***
Land	1=Ja, 0=Nein			0.45	***
2 Parkplätze am Wohnstandort	Anzahl Parkplätze	0.06	***	0.05	***
3 Verfügbarkeit Personenwagen	1=Ja, 0=Nein	0.81	***	0.94	***
4 Distanz zum nächsten Detailhandel	0.1-10km	0.07	***	0.07	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km			0.07	***
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	1=Ja, 0=Nein			-0.49	***
7 Referenz: Naherholungsintensität (tief)					
Naherholungsintensität (mittel)	1=Ja, 0=Nein	-0.01	**	-0.07	***
Naherholungsintensität (hoch)	1=Ja, 0=Nein	-0.05	**	-0.10	***
8 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse DC	1=Ja, 0=Nein			-0.03	**
ÖV-Güteklasse AB	1=Ja, 0=Nein			-0.06	**
9 Referenz: Haushaltseinkommen CHF bis 4'000 Franken (tief)					
CHF 4'000 bis 10'000 (mittel)	1=Ja, 0=Nein	0.54	***	0.11	***
Über CHF 10'000 (hoch)	1=Ja, 0=Nein	0.89	***	0.21	***
Beobachtungen		62720		42927	
R ²				0.12	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.4.: Vorhersage und Beobachtung: Wohngebäude (PE/THGE, 2015)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	40.05	8846.50	40.18	588.94	2.36	32.64	2.63	2.75
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	24.50	5760.41	21.59	149.08	1.35	21.17	1.12	0.48
2 Kernstadt (bis 100'000)	35.55	8120.78	33.62	304.79	2.06	30.08	2.05	1.37
3 Agglomeration	42.39	9330.73	46.04	488.98	2.50	34.58	2.81	2.26
4 Land	48.82	10100.70	59.33	741.43	2.90	36.72	3.74	3.71

9.2.2. Arbeitsstätte (PE/THGE, 2015)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.5.: Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (PE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.91	***	2.09	***
1 Arbeitszone	1=Ja, 0=Nein	0.96	***	0.25	***
2 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein	-0.08		0.43	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein	0.52	***	0.69	***
Land	1=Ja, 0=Nein	0.18	***	0.91	***
3 Verfügbarkeit von Parkplätzen am Arbeitsort	Anzahl Parkplätze	0.88	***	0.68	***
4 Verfügbarkeit Veloabstellplatz Arbeit	Ja=1, Nein = 0	-0.07	***	-0.15	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.00		-0.01	
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	Ja=1, Nein = 0	0.91	***	-0.58	***
7 Referenz: ÖV-Güteklasse B-E					
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.24	*	-0.01	*
Beobachtungen		17723		15741	
R ²				0.11	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.6.: Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (THGE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.91	***	-0.88	***
1 Arbeitszone	1=Ja, 0=Nein	0.96	***	0.19	***
2 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein	0.00		0.48	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein	0.52	***	0.75	***
Land	1=Ja, 0=Nein	0.18	***	0.96	***
3 Verfügbarkeit von Parkplätzen am Arbeitsort	Anzahl Parkplätze	0.88	***	0.86	***
4 Verfügbarkeit Veloabstellplatz Arbeit	Ja=1, Nein = 0	-0.07		-0.16	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.00		0.02	
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	Ja=1, Nein = 0	0.96	***	-0.99	***
7 Referenz: ÖV-Güteklasse B-E					
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	0.24	***	-0.07	***
Beobachtungen		17723		15723	
R ²				0.17	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.7.: Vorhersage und Beobachtung: Arbeitsstätte (PE/THGE, 2015)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	52.14	16508.11	52.14	882.57	2.88	37.33	3.32	5.07
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	25.59	6840.41	21.10	119.18	1.37	25.28	1.04	0.54
2 Kernstadt (bis 100'000)	47.04	13260.92	41.76	370.29	2.55	30.70	2.44	2.16
3 Agglomeration	54.39	15309.38	60.10	644.17	3.01	37.82	3.64	4.13
4 Land	69.17	28079.60	77.95	940.64	3.80	48.08	4.91	6.18

9.2.3. Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2015)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.8.: Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (PE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.74	***	2.44	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./Ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00	***	0.00	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.06	***	-0.13	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.03	***	0.04	***
5 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.01		-0.41	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	0.19	***	-0.31	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	0.00		-0.35	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.14	***	-0.38	***
Beobachtungen		8875		15103	
R ²				0.03	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.9.: Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (THGE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.74	***	-0.36	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./Ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.01	***	0.00	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.06	*	-0.16	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.03	**	0.05	***
5 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.01		-0.42	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	0.19	***	-0.31	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	0.00		-0.33	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.14	***	-0.44	***
Beobachtungen		15103		8875	
R ²				0.04	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.10.: Vorhersage und Beobachtung: Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2015)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	11.12	1061.00	11.12	18.44	0.66	3.92	0.66	0.09
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	4.96	343.28	6.62	11.69	0.26	1.19	0.33	0.05
2 Kernstadt (bis 100'000)	8.09	890.80	10.48	9.67	0.48	3.28	0.62	0.05
3 Agglomeration	12.70	1285.18	11.57	15.18	0.76	4.77	0.70	0.07
4 Land	16.15	1218.54	14.12	16.94	0.97	4.51	0.88	0.08

9.2.4. Fachgeschäfte (PE/THGE, 2015)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.11.: Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (PE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.73	***	2.89	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	-0.01		0.00	*
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.13	***	0.10	***
Beobachtungen		2343		1749	
R ²				0.04	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.12.: Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (THGE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.73	***	0.07	
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00		-0.01	***
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.13		0.10	***
Beobachtungen		2343		1749	
R ²				0.07	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.13.: Vorhersage und Beobachtung: Fachgeschäfte (PE/THGE, 2015)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	25.95	3273.14	25.95	122.21	1.56	12.25	1.69	0.65
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	12.51	2121.55	16.07	94.55	0.72	7.90	0.89	0.49
2 Kernstadt (bis 100'000)	23.17	4164.30	27.41	74.78	1.38	15.53	1.74	0.40
3 Agglomeration	27.18	2793.49	27.27	109.57	1.59	10.49	1.73	0.58
4 Land	36.29	4227.86	32.76	109.10	2.19	15.81	2.13	0.57

9.2.5. Restaurants (PE/THGE, 2015)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.14.: Modellkoeffizienten: Restaurants (PE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.02	***	3.20	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00		0.00	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.09	*	-0.18	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.09	***	0.06	***
5 Referenz: ÖV-Guteklasse, Basis: E					
ÖV-Guteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.17	***	-0.34	***
ÖV-Guteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.28	***	-0.56	***
ÖV-Guteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.53	***	-0.53	***
ÖV-Guteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.56	***	-0.43	***
Beobachtungen		9965		5839	
R ²				0.06	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.15.: Modellkoeffizienten: Restaurants (THGE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.02	***	0.34	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	0.00	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00		-0.01	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.09	*	-0.20	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.09	***	0.07	***
5 Referenz: ÖV-Guteklasse, Basis: E					
ÖV-Guteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.17	**	-0.35	***
ÖV-Guteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.28	***	-0.56	***
ÖV-Guteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.53	***	-0.54	***
ÖV-Guteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.56	***	-0.53	***
Beobachtungen		9965		5839	
R ²				0.06	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.16.: Vorhersage und Beobachtung: Restaurants (PE/THGE, 2015)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	23.39	3725.30	23.39	210.07	1.36	13.61	1.44	0.96
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	12.20	2173.25	14.87	96.64	0.66	7.82	0.79	0.42
2 Kernstadt (bis 100'000)	20.85	3409.33	23.19	165.77	1.21	12.62	1.39	0.75
3 Agglomeration	25.06	3821.63	24.56	198.92	1.47	14.16	1.48	0.90
4 Land	31.77	5025.06	31.93	258.36	1.85	17.70	1.98	1.16

9.2.6. Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2015)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.17.: Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.20	***	2.55	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	0.00	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00	***	0.00	
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.01	***	0.07	***
4 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.34	***	-0.34	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.27	***	-0.44	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.31	***	-0.26	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.57	***	-0.37	***
Beobachtungen		7475		5017	
R ²				0.02	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.18.: Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (THGE, 2015)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.20	***	-0.28	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	*
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00	***	-0.001	
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.01		0.08	***
4 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.34	***	-0.35	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.27	***	-0.43	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.31	***	-0.27	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.57	***	-0.42	***
Beobachtungen		7475		5017	
R ²				0.02	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.19.: Vorhersage und Beobachtung: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2015)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	15.97	1729.78	15.97	22.61	0.94	6.35	0.94	0.12
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	7.31	601.23	13.05	14.91	0.40	2.17	0.68	0.06
2 Kernstadt (bis 100'000)	11.47	942.49	15.60	16.05	0.67	3.45	0.93	0.08
3 Agglomeration	17.59	2093.87	16.19	18.19	1.05	7.79	0.98	0.10
4 Land	23.52	2404.30	18.92	32.62	1.39	8.55	1.19	0.16

9.3. Modelle 2050

9.3.1. Wohngebäude (PE/THGE, 2050)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.20.: Modellkoeffizienten: Wohngebäude (PE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		-0.49	***	1.14	***
1 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein			0.12	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein			0.33	***
Land	1=Ja, 0=Nein			0.45	***
2 Parkplätze am Wohnstandort	Anzahl Parkplätze	0.06	***	0.04	***
3 Verfügbarkeit Personenwagen	1=Ja, 0=Nein	0.80	***	0.97	***
4 Distanz zum nächsten Detailhandel	0.1-10km	0.07	***	0.06	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km			0.03	***
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	1=Ja, 0=Nein	0.31	***	-0.10	***
7 Referenz: Naherholungsintensität (tief)					
Naherholungsintensität (mittel)	1=Ja, 0=Nein	0.00	**	-0.06	***
Naherholungsintensität (hoch)	1=Ja, 0=Nein	-0.05	**	-0.10	***
8 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse DC	1=Ja, 0=Nein			-0.04	**
ÖV-Güteklasse AB	1=Ja, 0=Nein			-0.15	**
9 Referenz: Haushaltseinkommen CHF bis 4'000 Franken (tief)					
CHF 4'000 bis 10'000 (mittel)	1=Ja, 0=Nein	0.54	***	0.22	***
Über CHF 10'000 (hoch)	1=Ja, 0=Nein	0.89	***	0.39	***
Beobachtungen		62720		42927	
R ²				0.11	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.21.: Modellkoeffizienten: Wohngebäude (THGE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		-0.49	***	-1.46	***
1 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein			0.19	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein			0.29	***
Land	1=Ja, 0=Nein			0.35	***
2 Parkplätze am Wohnstandort	Anzahl Parkplätze	0.06	***	0.04	***
3 Verfügbarkeit Personenwagen	1=Ja, 0=Nein	0.80	***	0.68	***
4 Distanz zum nächsten Detailhandel	0.1-10km	0.07	***	0.07	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km			0.06	***
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	1=Ja, 0=Nein	0.31	***	-0.06	***
7 Referenz: Naherholungsintensität (tief)					
Naherholungsintensität (mittel)	1=Ja, 0=Nein	-0.01	**	-0.07	***
Naherholungsintensität (hoch)	1=Ja, 0=Nein	-0.05	**	-0.10	***
8 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse DC	1=Ja, 0=Nein			-0.03	**
ÖV-Güteklasse AB	1=Ja, 0=Nein			-0.03	**
9 Referenz: Haushaltseinkommen CHF bis 4'000 Franken (tief)					
CHF 4'000 bis 10'000 (mittel)	1=Ja, 0=Nein	0.54	***	0.13	***
Über CHF 10'000 (hoch)	1=Ja, 0=Nein	0.89	***	0.24	***
Beobachtungen		62720		42927	
R ²				0.08	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.22.: Vorhersage und Beobachtung: Wohngebäude (PE/THGE, 2050)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	21.59	2560.95	21.68	243.79	1.07	6.47	1.12	0.35
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	13.73	1626.46	11.97	57.76	0.65	4.01	0.59	0.10
2 Kernstadt (bis 100'000)	19.25	2359.56	18.05	108.39	0.94	6.12	0.90	0.19
3 Agglomeration	22.79	2684.94	26.91	202.06	1.14	6.92	1.19	0.29
4 Land	26.03	2990.07	35.79	323.49	1.30	7.11	1.52	0.43

9.3.2. Arbeitsstätte (PE/THGE, 2050)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.23.: Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (PE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.91	***	1.42	***
1 Arbeitszone	1=Ja, 0=Nein	0.96	***	0.26	***
2 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein	-0.08		0.39	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein	0.52	***	0.72	***
Land	1=Ja, 0=Nein	0.18	***	0.95	***
3 Verfügbarkeit von Parkplätzen am Arbeitsort	Anzahl Parkplätze	0.88	***	0.72	***
4 Verfügbarkeit Veloabstellplatz Arbeit	Ja=1, Nein = 0	-0.07		-0.12	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.00		-0.01	
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	Ja=1, Nein = 0	0.28	***	-0.55	***
7 Referenz: ÖV-Güteklasse B-E					
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.24	*	-0.02	*
Beobachtungen		17723		15723	
R ²				0.12	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.24.: Modellkoeffizienten: Arbeitsstätte (THGE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.91	***	-1.35	***
1 Arbeitszone	1=Ja, 0=Nein	0.96	***	0.20	***
2 Referenz: Kernstadt über 100 000 Einwohner					
Kernstadt bis 100 000 Einwohner	1=Ja, 0=Nein	-0.08		0.38	***
Agglomeration	1=Ja, 0=Nein	0.52	***	0.61	***
Land	1=Ja, 0=Nein	0.18	***	0.80	***
3 Verfügbarkeit von Parkplätzen am Arbeitsort	Anzahl Parkplätze	0.88	***	0.61	***
4 Verfügbarkeit Veloabstellplatz Arbeit	Ja=1, Nein = 0	-0.07		-0.12	***
5 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.00		0.01	
6 Verfügbarkeit ÖV-Dauerabo	Ja=1, Nein = 0	0.28	***	-0.59	***
7 Referenz: ÖV-Güteklasse B-E					
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	0.24	***	-0.02	*
Beobachtungen		17723		15723	
R ²				0.12	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.25.: Vorhersage und Beobachtung: Arbeitsstätte (PE/THGE, 2050)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	29.49	9305.37	29.49	328.80	1.28	6.90	1.28	0.49
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	14.52	1878.26	11.88	41.52	0.66	4.52	0.56	0.08
2 Kernstadt (bis 100'000)	26.66	7295.40	22.85	119.60	1.14	5.49	1.05	0.22
3 Agglomeration	30.66	8102.48	35.27	239.63	1.34	7.18	1.47	0.37
4 Land	39.24	18739.81	46.32	357.03	1.66	8.73	1.86	0.51

9.3.3. Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2050)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.26.: Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (PE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.74	***	1.81	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./Ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00		0.00	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.06	*	-0.09	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.03	***	0.04	***
5 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.01		-0.38	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	0.19	***	-0.29	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	0.00		-0.37	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.14	**	-0.55	***
Beobachtungen		8875		15103	
R ²				0.04	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.27.: Modellkoeffizienten: Lebensmittelverkauf (THGE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		0.74	***	-1.15	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./Ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00	***	0.00	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.06	*	-0.12	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.03	***	0.04	***
5 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.01		-0.41	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	0.19	***	-0.31	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	0.00		-0.35	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.14	**	-0.37	***
Beobachtungen		17723		15723	
R ²				0.05	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.28.: Vorhersage und Beobachtung: Lebensmittelverkauf (PE/THGE, 2050)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	5.87	290.97	5.87	7.02	0.29	0.73	0.29	0.01
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	2.84	105.64	3.35	4.16	0.13	0.22	0.18	0.01
2 Kernstadt (bis 100'000)	4.20	242.29	5.51	3.97	0.21	0.59	0.28	0.01
3 Agglomeration	6.68	351.30	6.29	5.88	0.33	0.90	0.30	0.01
4 Land	8.47	330.70	7.93	6.19	0.42	0.82	0.36	0.01

9.3.4. Fachgeschäfte (PE/THGE, 2050)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.29.: Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (PE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.73	***	2.25	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	-0.001	*	-0.01	*
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.13	***	0.12	***
Beobachtungen		2343		1749	
R ²				0.05	

b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)
 Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05
 Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)
 Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)

Tabelle 9.30.: Modellkoeffizienten: Fachgeschäfte (THGE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.73	***	-0.73	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	-0.01		-0.01	***
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.13	***	0.09	***
Beobachtungen		2343		1749	
R ²				0.04	

b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)
 Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05
 Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)
 Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)

Tabelle 9.31.: Vorhersage und Beobachtung: Fachgeschäfte (PE/THGE, 2050)

Kategorie	PE (kWh)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	13.60	877.40	13.61	43.09	0.68	2.24	0.69	0.08
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	6.80	582.52	8.47	31.49	0.34	1.48	0.42	0.06
2 Kernstadt (bis 100'000)	11.94	1100.27	14.65	27.83	0.61	2.78	0.72	0.05
3 Agglomeration	14.33	757.86	14.69	38.58	0.72	1.96	0.71	0.07
4 Land	18.84	1117.82	18.02	42.18	0.94	2.83	0.85	0.07

9.3.5. Restaurants (PE/THGE, 2050)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.32.: Modellkoeffizienten: Restaurants (PE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.02	***	2.52	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00		0.00	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.09	*	-0.13	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.09	***	0.06	***
5 Referenz: ÖV-Guteklasse, Basis: E					
ÖV-Guteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.17	***	-0.32	***
ÖV-Guteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.28	***	-0.50	***
ÖV-Guteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.53	***	-0.57	***
ÖV-Guteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.56	***	-0.53	***
Beobachtungen		9965		5839	
R ²				0.06	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.33.: Modellkoeffizienten: Restaurants (THGE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.02	***	-0.40	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00		0.00	
3 Mischzone	1=Ja, 0=Nein	0.09	*	-0.17	***
4 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.09	***	0.07	***
5 Referenz: ÖV-Guteklasse, Basis: E					
ÖV-Guteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.17	**	-0.34	***
ÖV-Guteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.28	***	-0.59	***
ÖV-Guteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.53	***	-0.54	***
ÖV-Guteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.56	***	-0.46	***
Beobachtungen		9965		5839	
R ²				0.06	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.34.: Vorhersage und Beobachtung: Restaurants (PE/THGE, 2050)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	12.73	1102.14	12.73	67.39	0.62	2.73	0.62	0.15
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	6.92	639.59	8.24	32.58	0.32	1.47	0.39	0.07
2 Kernstadt (bis 100'000)	11.37	1002.47	12.66	54.03	0.56	2.60	0.61	0.12
3 Agglomeration	13.53	1083.08	13.58	63.81	0.67	2.80	0.65	0.14
4 Land	17.33	1631.93	17.79	81.20	0.85	3.70	0.84	0.18

9.3.6. Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2050)

Modellkoeffizienten und Vergleich zwischen empirischen und modellierten Durchschnittswerten

Tabelle 9.35.: Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.20	***	1.84	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	-0.01	***
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00	***	0.00	
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.01		0.08	***
4 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.34	***	-0.23	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.27	***	-0.31	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.31	***	-0.15	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.57	***	-0.39	***
Beobachtungen		7475		5017	
R ²				0.02	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.36.: Modellkoeffizienten: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (THGE, 2050)

Einflussvariablen	Wertebereich	Auftreten		Werte	
		b1	Sig	b2	Sig
Konstante		1.20	***	-1.05	***
1 Einwohnerdichte	0-240 Pers./ha	-0.01	***	0.00	*
2 Beschäftigungsdichte	0-400 Pers./ha	0.00	***	0.00	
3 Distanz zum nächsten Mobility-Standort	0-40km	0.01		0.06	***
4 Referenz: ÖV-Güteklasse, Basis: E					
ÖV-Güteklasse D	1=Ja, 0=Nein	-0.34	***	-0.34	***
ÖV-Güteklasse C	1=Ja, 0=Nein	-0.27	***	-0.42	***
ÖV-Güteklasse B	1=Ja, 0=Nein	-0.31	***	-0.26	***
ÖV-Güteklasse A	1=Ja, 0=Nein	-0.57	***	-0.34	***
Beobachtungen		7475		5017	
R ²				0.01	
b1 / b2 = unstandardisierte Regressionskoeffizienten (Beta)					
Sig = Signifikanzen: *p<0.15; ** p<0.1; ***p<0.05					
Auftreten = Auftretenswahrscheinlichkeit (Logit)					
Werte = Wertebereichmodell (Log-Lineare Regression)					

Tabelle 9.37.: Vorhersage und Beobachtung: Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil (PE/THGE, 2050)

Kategorie	PE (MJ)				TGHE (kg CO ₂ -Äquiv.)			
	Beobachtung		Vorhersage		Beobachtung		Vorhersage	
	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz	Mittelwert	Varianz
Alle Daten	8.45	484.37	8.45	8.40	0.42	1.15	0.42	0.01
Gemeindetyp								
1 Kernstadt (100'000+)	3.99	172.65	6.42	5.72	0.20	0.39	0.35	0.01
2 Kernstadt (bis 100'000)	6.00	261.35	8.26	5.68	0.30	0.62	0.41	0.01
3 Agglomeration	9.30	565.68	8.82	6.80	0.46	1.42	0.42	0.01
4 Land	12.48	727.99	10.63	9.98	0.60	1.53	0.48	0.02

Teil III.

Schlussbetrachtung

Schlussbetrachtung

Beim aufgebauten Modell handelt es sich um ein Prognosemodell. Ausgehend von den schweizerischen Mittelwerten gemäss Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 soll aufgrund der verwendeten Variablen die zu erwartende Abweichung des spezifischen Primärenergiebedarfs vom schweizerischen Mittelwert am betreffenden Standort vorausgesagt werden können. Um die Parameter des Prognosemodells möglichst genau bestimmen zu können, wird mit einem multivariaten Modell der Einfluss der relevanten (und verfügbaren) Variablen auf den Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen ermittelt. Hierbei werden sowohl Eigenschaften des Gebäudestandorts, Mobilitätswerkzeugen wie auch sozioökonomische Merkmale als Variablen benötigt.

Die hier aufgebauten Modelle basieren im Wesentlichen auf Raumvariablen. Zusätzlich werden beispielsweise für Wohngebäude das Haushaltseinkommen und die GA- bzw. Autoverfügbarkeit von Bewohnern verwendet. Dies entspricht der Aufgabenstellung für SIA MB 2039: Das Merkblatt soll auf einem Modell basieren, das geeignet ist, für einen Standort den erwarteten Primärenergiebedarf für die Alltagsmobilität je zukünftigem Nutzer abzuschätzen. Weitere Merkmale der Nutzer des Gebäudes (Alter, Geschlecht, Haushaltsgrösse etc.), die den effektiven Primärenergiebedarf für die Alltagsmobilität ebenfalls wesentlich mitbestimmen, sind zum Zeitpunkt der Planung in der Regel nicht bekannt und werden deshalb für das Merkblatt nicht verwendet.

Für eine noch bessere Schätzung des Einflusses der standortbezogenen Variablen könnte noch der Ansatz verfolgt werden, bei der Berechnung zusätzlich ausreichend relevante (erklärende) sozioökonomischen Merkmale zu berücksichtigen, um systematische Verzerrungen der berechneten Parameter zu reduzieren. Um die geeignete Auswahl dieser Variablen ermitteln zu können, wäre beispielsweise eine schrittweise Ergänzung weiterer Erklärungsvariablen geeignet, verbunden mit einer Prüfung, ob sich dadurch die Signifikanz der Ergebnisse verbessert. Dies gilt im wesentlichen für die Modelle für Arbeitsstätte, Lebensmittelverkauf, Fachgeschäfte, Restaurants und Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil. Bei den Wohngebäuden sind die beiden relevanten Personeneigenschaften Einkommen und Autoverfügbarkeit beinhaltet, weswegen die Schätzer für die gebaute Umwelt erwartungstreu sein sollten. Durch den Einbezug von Personeneigenschaften in den anderen Modellen könnte für den beobachtbaren Zustand eine vermutlich genauere Abschätzung der Parameter erreicht werden. Da diese Merkmale aber beim Einsatz der Modelle nicht bekannt sind, wird darauf verzichtet. Zudem wäre ein solches Vorgehen mit erheblichem Mehraufwand verbunden.

Die hier erstellten Modelle verfolgen in ihrer heutigen Fassung und in der Übungsanlage für SIA MB 2039 einen pragmatischen, anwendungsorientierten Weg. Die Veränderung des Primärenergiebedarfs für gebäudebezogene Mobilität soll primär aufgrund der verfügbaren Raumvariablen abgeschätzt werden können. Damit ergeben sich die Anforderungen an die Quantifizierungsmodelle. Wesentlich für die Beurteilung der Modellgüte ist die Grösse der Abweichungen der Modellwerte von den im Ist-Zustand beobachteten Werten. Um beurteilen zu können, wie zuverlässig im jeweiligen Modell die Prognosen des Primärenergiebedarfs sein

werden, ist – neben dem Vergleich der Durchschnittswerte gemäss Mikrozensus Verkehr und Mobilität 2010 – mit den resultierenden Modellwerten die Varianz bei den Modellwerten zu berücksichtigen.

Generell zeigen die Modelle eine gute Vorhersagekraft der Mittelwerte im Aggregat und differenziert nach Gemeindetyp. Gemessen an der Gegenüberstellung zwischen Empirie und Modell kann von einer zufriedenstellenden Vorhersagekraft des Modells gesprochen werden. Wie aus der Verkehrsforschung bekannt, sind die personenseitigen Einflussvariablen (Alter, Einkommen, Geschlecht, Lebensstil) von grösserer Bedeutung bezogen auf die Varianzaufklärung als diejenigen der gebauten Umwelt. Modelle, die nur Raumvariablen beinhalten, haben – wie in diesem Anwendungsfall – eine geringe Varianzaufklärung, obschon die Effekte als signifikant bezeichnet werden können. Zudem wird die grosse Varianz im Datensatz des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 deutlich. Auch Modelle die Personeneigenschaften, gebaute Umwelt und Lebensstile beinhalten, kommen selten über 25% Varianzaufklärung hinaus. Die Modellergebnisse aus den vorliegenden Modellen weisen eine viel geringere Varianz auf. Dies ist im Sinne der Mittelwertorientierung des Ansatzes und auch generelles Ergebnis einer Modellierung, wodurch die Vielfalt (stark) vereinheitlicht wird.

Bezogen auf die Raumvariablen wäre es für spätere Umsetzungen sehr von Vorteil, die erklärenden Einflüsse um die Variable Parkierungsangebot an den Nutzungen zu erweitern.

Literaturverzeichnis

- ARE (2012) Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 - Zuordnung von Raumerkmalen, *Technischer Bericht*, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- BAFU (2010) *Auswertungsprotokoll Parameter 31b - Potenzielle Naherholungsgebiete um Siedlungen*, Bundesamt für Umwelt, Netzwerk Umweltbeachtung, Bern.
- BAFU (2016) Treibhausgasemissionen: Profil der Schweiz (Zugriff: 19.02.2016), Bundesamt für Umwelt, <http://www.bafu.admin.ch/klima/13805/15238/15240/index.html>.
- BBL (2010) *Leichter Leben: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energiezukunft - am Beispiel der 2000-Watt-Gesellschaft*, Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Bern.
- BfS (2015) Lernende nach Bildungsstufe und Bildungstyp, Entwicklung, Juni 2015, *Technischer Bericht*, Bundesamt für Statistik, Bern.
- BfS/ARE (2012) *Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*, Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung, Bern und Neuenburg.
- Degenhardt, B., F. Kienast und M. Buchecker (2012) Einflussfaktoren des Naherholungsverhaltens im periurbanen Raum, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, **161** (3) 75–80.
- Ewing, R., R. Cervero, D. Nelson und J. Niles (2001) Travel and the built environment: A synthesis, *Transportation Research Record*, **1780**, 87–114.
- Handy, S. L., X. Cao und P. L. Mokhtarian (2005) Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California, *Transportation Research Part D*, **10** (6) 427–444.
- Itten, R., R. Frischknecht und F. Wyss (2015) Primärenergiefaktoren von Transportsystemen, *Arbeitsbericht*, **Version 2.2+**, treeze Ltd.
- Jakob, M., G. Catenazzi, R. Forster, T. Egli, T. Kaiser, R. Looser, M. Melliger, C. Nägeli, U. Reiter, M. Soini und B. Sunarjo (2016) *Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA Effizienzpfad - Schlussbericht*, Bundesamt für Energie, Bern.
- Kienast, F., B. Degenhardt, B. Weilenmann, Y. Wäger und M. Buchecker (2012) Gis-assisted mapping of landscape suitability for nearby recreation, *Landscape and Urban Planning*, **105** (4) 385–399.
- mobitool (2015) *Umweltdaten & Emissionsfaktoren von mobitool, Version November 2010 v1.1 (ecoinvent v2.2)*, Nachhaltige Mobilität für Unternehmen, ein Gemeinschaftsprojekt von SBB, Swisscom, BKW, Öbu, unterstützt durch EnergieSchweiz.
- SIA (2016) *Mobilität - Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort (SIA MB 2039)*, schweizerischer ingenieur- und architektenverein SIA, Zürich.

A. Anhang

A1: Flotte 2050

Von Matthias Tuchschnid (I-ET-EM-MTR)

Datum Bern 65, 29. Januar 2015

Einschätzung des Energiereduktionspotenzials im Eisenbahnverkehr bis im Jahr 2050.

1. Einleitung

In den SIA Merkblätter 2039 (Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort) und 2040 (SIA-Effizienzpfad Energie) sind die Umweltkennwerte von verschiedenen Verkehrsmitteln abgebildet. Erfasst sind die Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) und Treibhausgasemissionskoeffizienten sowohl für die heutige Verkehrsmittel, wie auch als Prognose für das Jahr 2050.

Bisher wurden die Kennwerte für die Flotte 2050 nur für den motorisierten Individualverkehr (MIV) verändert, der Energiebedarf für den öffentliche Verkehr (öV) wurde auch in Zukunft als konstant angenommen. Bei der nun anstehenden Überarbeitung sollen auch die Kennwerte des öV für das Jahr 2050 angepasst werden.

Die hier vorgenommene Prognose versucht die heute bereits absehbaren Energieeffizienzpotentiale aufzuzeigen. Energieverbrauchsvermehrnde Faktoren wie die Erhöhung der durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit werden dabei explizit nicht berücksichtigt. Mit aller Deutlichkeit soll allerdings auch gesagt werden, dass eine Prognose 35 Jahre in die Zukunft oft dem Blick in die Glaskugel gleicht: Gross sind die Unsicherheiten und Annahmen, komplex das Zusammenspiel zwischen Angebotsgestaltung, technischem Rollmaterial und betrieblicher Praxis in der Bahnproduktion.

Ein zentraler Pfeiler für die SBB in der 2011 verabschiedeten Energiestrategie ist die Energiereduktion um 20% bis 2025, mit anderen Worten: Der spezifische Energiebedarf pro Personenkilometer soll trotz der bereits geplanten Ausbauten und dem höheren Komfort für die Fahrgäste (Stichwort durchgängige Klimatisierung der Züge im Sommer) gesenkt werden.

In dieser Einschätzung werden als Basis die in mobitool publizierten Werte in Tabelle 1 verwendet, diese entsprechen den in ecoinvent 2.2 hinterlegten Werten. Der Einfachheit halber beziehen sich die ausgewiesenen Reduktionen ausschliesslich auf den durchschnittlichen, fett gedruckten Wert, die weiteren Werte sind bloss zur zusätzlichen Information aufgeführt¹. Im Jahr 2010 verkehrten die Züge der SBB mit 75% Wasserkraft, 25% der Energie stammten aus Kernkraftwerken.

Tabelle 1: Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial von ausgewählten Verkehrsmitteln, Quelle: mobitool.ch

Verkehrsmittel	Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ-equ. / pkm]	Treibhauspotenzial [CO ₂ -equ. / pkm]
Bahn Schweiz ²	0.51	7.8
Regionalverkehr, inkl. S-Bahn	0.81	10.8
Fernverkehr	0.41	7.1
Pkw, Durchschnitt	3.28	194.4

¹ Die höheren Werte des Regionalverkehrs kommen hauptsächlich dadurch zu Stande, dass im Vergleich zum Fernverkehr die mittleren Haltestellenabstände wesentlich kürzer sind und die Züge dementsprechend häufiger abbremsen und beschleunigen müssen.

² Entspricht dem Datensatz „Schiene, Bahn Schweiz, Strommix SBB, Durchschnitt Regional- und Fernverkehr“ im nationalen Personenverkehr (5km – 200 km).

2. Schätzung des Reduktionspotential bis 2050

Die nachfolgende Schätzung des Reduktionspotential basiert auf einer unveränderten Auslastung der Züge („Load-Factor“) von 21.8%³ im Regionalverkehr und 30.9 % im Fernverkehr.

Anzumerken bleibt aber, dass die Auslastung durch sehr viele Elemente beeinflusst wird, viele davon haben eine politische Komponente, wie beispielsweise die Bestellungen der Kantone im Regionalverkehr. Aus Energiesicht kritisch anzusehen ist die Tendenz zur Erhöhung der Geschwindigkeiten (resp. Senkung der Fahrzeiten) und die Erhöhung des Angebots generell: Das Gleisnetz der SBB ist schon heute stark ausgelastet und jede weitere Erhöhung führt tendenziell zu mehr Störungen.

2.1. Wechsel des Bahnstroms auf 100 % erneuerbare Energie

Gemäss der 2011 von der Konzernleitung und dem Verwaltungsrat der SBB verabschiedeten Energiestrategie wird die SBB spätestens ab 2025 ausschliesslich mit erneuerbarer Energie ihre Züge betreiben. Dazu werden die heute im Besitz der SBB bestehenden Anteile der AKEB⁴ verkauft, dafür werden zusätzlich langfristige Lieferverträge mit Produzenten von erneuerbarer Energie geschlossen. Eine andere Möglichkeit ist die Übernahme von Energieproduktionswerken, wie beispielsweise im Dezember 2014 die Aktienübernahme von der CWK am Wasserkraftwerk Wassen⁵.

Gemäss der mobitool-Daten ist die Transportleistung von einem Personenkilometer mit dem Primärenergieverbrauch von 0.51 MJ-equ. verbunden. Davon stammen 0.37 MJ-equ. aus dem Betrieb (entweder direkt oder indirekt). Ein Wechsel auf erneuerbare Energie bringt also eine Einsparung von rund 60-70%. Da die Werte von Kernenergie bezüglich Treibhauspotenzial ähnlich hoch wie diejenigen von erneuerbaren Energien (primär Wasserkraft und Windkraft) sind, resultiert aus dem Wechsel des Energieträgers keine Reduktion der CO₂-Emissionen.

	Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ-equ. / pkm]	Treibhauspotenzial [CO ₂ -equ. / pkm]
Effekt durch Wechsel auf 100% erneuerbare Energie	60-70%	+/- 0%

2.2. Technische Modernisierung der Eisenbahnfahrzeuge

Bis ins Jahr 2050 werden voraussichtlich alle heutigen Eisenbahnfahrzeuge ersetzt sein, üblicherweise rechnet man mit einer Lebensdauer von 35-40 Jahren. Damit wird der Energieverbrauch durch Fahrzeuge bestimmt, welche heute noch nicht bekannt sind. Allerdings stehen die wichtigsten Eigenschaften aus Energiesicht schon heute fest:

- Leichtbauweise und aerodynamisch optimierte Wagenübergänge & Bodenpartien
- Umrichtertechnik auf Basis moderner Halbleitertechnologie
- Umfassende Energiemanagementfunktionen, u.a. mit Schlummerbetrieb in der Abstellung und CO₂-gesteuerter Aussenluftzufuhr
- Effiziente Wärmedämmung des Wagenkastens und Fenster mit low-e-Beschichtung

Die heutigen Fahrzeuge sind aus Energiesicht noch nicht im gleichen Masse energetisch optimiert, wobei aber schon heute die moderneren Fahrzeuge wesentlich energieeffizienter als die älteren Fahrzeuge sind. Beispielsweise weist der Domino einen Energiebedarf von rund 38 Wh pro Sitzplatzkilometer auf, ein FLIRT erreicht bei einem ähnlichen Einsatz einen Verbrauch von 21 Wh pro

³ Quelle: Zahlen und Fakten der SBB 2013

⁴ AKEB steht für „Aktiengesellschaft für Kernenergiebeteiligungen“

⁵ Siehe auch <http://www.nzz.ch/wirtschaft/newsticker/ckw-sbb-uebernimmt-40-anteil-an-wasserkraftwerk-wassen-1.18447005>

Sitzplatzkilometer. Dies ist fast eine Halbierung aufgrund des modernen Rollmaterials! Insgesamt erscheint deshalb eine Verbesserung der Energieeffizienz im Betrieb um 10-15% gegenüber 2010 als realistisch.

Da nur 72% des bisherigen Wertes des Indikators „Primärenergie, nicht erneuerbar“ aus dem Betrieb stammen, beträgt das prognostizierte Einsparpotential bezogen auf den Gesamtwert 7-11%. Bezüglich Treibhauspotenzial ist der Effekt durch die technische Modernisierung noch kleiner, da bloss 15% der CO₂-equiv. aus dem Betrieb stammen. In Summe beträgt deshalb die konsolidierte Wirkung der technischen Modernisierung des Rollmaterials nur noch 2-3% auf den heutigen Gesamtausstoss.

	Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ-equ. / pkm]	Treibhauspotenzial [CO ₂ -equ. / pkm]
Technische Modernisierung der Eisenbahnfahrzeuge	7-11%	2-3%

2.3. Bahnbetriebliche Massnahmen

Die detaillierten Auswertungen von Zugfahrten zeigen, dass sich der Energieverbrauch auf identischen Strecken mit identischem Rollmaterial um bis zu 50% unterscheidet. Ausschlaggebend sind neben der Witterung⁶ vor allem die jeweilige betriebliche Situation und das Fahrverhalten der Lokführer:

- Die Betriebsdisposition der Infrastruktur lenkt die Züge mittels Planen der Fahrtrassen und dem Stellen der Signale. Kann mittels geeigneter Algorithmen die Anzahl Konflikte reduziert werden, so wird der Betrieb wesentlich flüssiger. Dies führt einerseits zu einer höheren Pünktlichkeit der Züge, andererseits kann durch die „grüne Welle“ Energie eingespart werden. Das Projekt „Adaptive Lenkung“ befindet sich aktuell in der Einführung und führt zu prognostizierten Einsparungen von rund 70-80 GWh, resp. rund 4-5 % der für den Bahnbetrieb notwendigen Energie. Weitere Ansatzpunkte bestehen in der zeitlichen Flexibilisierung von 1-2 Minuten an Bahnhöfen ohne Zeitvergleich.
- Die Lokführer steuern ihren Zug entsprechend den Vorgaben der Bahnbetriebsdisposition. Aus Sicht der Energieeffizienz sind dabei die wesentlichen Einflussfaktoren das vorausschauende Fahren und die konsequente Nutzung der elektrischen Bremse: Damit kann das Fahrzeug die Bremsenergie wieder zurück in das Netz speisen. Seit 2010 werden die Lokführer standardmässig in energiesparender Fahrweise geschult, seit dem vergangenen Jahr ist die Energieeffizienz auch Bestandteil der Fortbildungen. Die Messungen auf der seehas-Linie zeigen, dass durch eine geeignete Schulung der Lokführer die Energieeffizienz um 3-4% steigt. Längerfristig ist ebenfalls ein teilautomatisierter Betrieb denkbar, einige Bahnen im Ausland praktizieren dies bereits seit längerem. Die Verwendung von ATO („Automatic Train Operation“) führt bei Priorisierung der Energieeffizienz und Nutzung der entsprechenden Algorithmen zu möglichen Einsparungen.

Durch die Einführung von ADL, der Flexibilisierung von Halten an Bahnhöfen ohne Zeitvergleich, der Schulung von Lokführern und dem teilautomatisierten Betrieb der Züge erscheinen Einsparungen von 10-20% der für den Betrieb notwendigen Energie als realistisch. Bezogen auf den gesamten Indikators „Primärenergie, nicht erneuerbar“ (Betrieb, Fahrweg und Fahrzeuge) aus beträgt das prognostizierte Einsparpotential von Massnahmen im Bahnbetrieb 7-14%, für CO₂-equiv. entsprechend 2-3%.

⁶ Die Aussentemperatur ist massgeblich für die Heizung und Klimatisierung der Züge, trockene Schienen erhöhen den Anteil der Rekuperation, so dass beim Bremsen mehr Energie ins Netz zurück gespiesen wird. Wind führt zu einem veränderten Luftwiderstand und beeinflusst zusätzlich den Wärmeübergang zwischen Wagenkasten und Aussenluft („Windchill-Factor“)

	Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ-equ. / pkm]	Treibhauspotenzial [CO₂-equ. / pkm]
Massnahmen im Bahnbetrieb	7-14%	2-3%

3. Zusammenfassung

Bis ins Jahr 2050 ist eine Einsparung in den Bereichen Energieproduktion, technische Massnahmen und Bahnbetrieb möglich, bewusst wurde auf eine Veränderung der Auslastung, resp. der Angebotsgestaltung verzichtet („Load-Factor“). Die einzelnen Einsparungen sind multiplikativ, d.h. sie hängen voneinander ab: Wenn die Technik der Fahrzeuge effizienter wird, so sparen entsprechend auch die bahnbetrieblichen Massnahmen weniger ein.

Tabelle 2: prognostizierte Einsparungen der verschiedenen Massnahmen

	Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ-equ. / pkm]	Treibhauspotenzial [CO₂-equ. / pkm]
Effekt durch Wechsel auf 100% erneuerbare Energie	60-70%	+/- 0%
Technische Modernisierung der Fahrzeuge	7-11%	2-3%
Massnahmen im Bahnbetrieb	7-14%	2-3%
Summe	65-77%	4-6%

Zu beachten ist, dass die obig prognostizierten Einsparungen nur für den Indikator „Primärenergie, nicht erneuerbar“ gelten, selbstverständlich wird der totale Primärenergiebedarf (Summe von erneuerbar und nicht erneuerbar) nicht im gleichen Masse reduziert. Werden nur die technische Modernisierung der Fahrzeuge und die Massnahmen im Bahnbetrieb betrachtet, so resultiert eine Verbesserung der Effizienz um 13-23%.

Damit ergeben sich für 2050 die in Tabelle 3 prognostizierten Verbrauchswerte pro Personenkilometer:

Tabelle 3: prognostizierter Energieverbrauch in 2050 für den Eisenbahnverkehr pro Personenkilometer

Verkehrsmittel	Primärenergie, nicht erneuerbar [MJ-equ. / pkm]	Treibhauspotenzial [CO₂-equ. / pkm]
Bahn Schweiz heute	0.51	7.8
Bahn Schweiz im Jahr 2050 alle Massnahmen	0.12 - 0.18 (Reduktion: 65%-77%)	7.4 – 7.6 (Reduktion: 4%-6%)
Bahn Schweiz im Jahr 2050 nur Modernisierung Fahrzeuge und Massnahmen Bahnbetrieb	0.39 - 0.44 (Reduktion: 13%-23%)	7.4 – 7.6 (Reduktion: 4%-6%)

Einschätzung des Reduktionspotenzials (PE und THGE) im strassengebunden öV für die Flotte 2050

**Planungsbüro Jud in Zusammenarbeit mit
Ch. Bach, Empa**

1 Reduktionspotential von verschiedenen Antriebstypen

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Reduktionspotentiale beziehen sich auf einen Diesel-Solobus mit einem Treibstoffverbrauch von 36 Liter pro 100 Kilometer. Dabei wird ausschliesslich der Betrieb betrachtet. Für die Produktion der Fahrzeuge und die Bereitstellung der Infrastruktur wird davon ausgegangen, dass beim Primärenergiebedarf und bei den Treibhausgasemissionen keine Änderungen stattfinden.

1.1 Optimierung Dieselantrieb

- 20-30% tieferer Verbrauch (Brennverfahren, Klimatisierung, Leichtbau, Rollwiderstand, Waste heat recovery, ...).
- Synthetische erneuerbare flüssige Treibstoffe werden Diesel voraussichtlich teilweise ersetzen. Denkbar ist ein Anteil biogener oder synthetischer Treibstoffbestandteile von 10 – 20% (mit um 50% geringerer Treibhausgasbelastung) im handelsüblichen Dieseltreibstoff bis 2050. Es ist denkbar, dass der Anteil erneuerbarer Treibstoffbestandteile im Segment der ÖV-Busse höher ausfällt.

1.2 Diesel-Hybridantrieb

- 30 - 40% tieferer Verbrauch (Rekuperation, Lastpunktverschiebung, el. Niedriglastfahrten)

1.3 Einsatz von Gas(-hybrid)bussen (im Zusammenhang mit Biogas zur CO2-Reduktion)

- Gasbusse erreichen ähnliche Wirkungsgrade wie Dieselbusse
- Eine Hybridisierung ist ebenfalls möglich
- Gasbusse können - anders als Dieselbusse - vergleichsweise einfach mit Biogas oder synth. Methan betrieben werden (d.h. fast CO2-freier Betrieb)
- Da Biogas und synth. Methan über viele Monate physikalisch im Gasnetz gespeichert werden können, ist ein ganzjähriger CO2-freier Betrieb möglich

1.4 Einsatz von H2-Bussen (im Zusammenhang mit synth. H2 zur CO2-Reduktion)

- 20% tieferer Energieverbrauch
- Im Sommer liegt künftig genügend temporär überschüssige, erneuerbare Elektrizität vor, um H2-Busse CO2-frei zu betreiben. Im Winter muss fossiler Strom oder die Erdgas-Dampfreformierung genutzt werden, was die CO2-Vorteile teilweise kompensiert.

1.5 Einsatz von elektrischen Bussen (in Zusammenhang mit erneuerbarem Strom)

- 30-40% tieferer Energieverbrauch
- Im Sommer liegt künftig genügend temporär überschüssige, erneuerbare Elektrizität vor, um E-Busse CO2-frei zu betreiben. Im Winter muss fossiler Strom genutzt werden, was die CO2-Vorteile teilweise kompensiert.

2 Einschätzung der erforderlichen Infrastruktur

1.1, 1.2 und 1.3 sind mit der heutigen Energieverteilungsinfrastruktur an vielen Orten möglich, wobei 1.3 relativ teure Gasbetankungsanlagen erfordert.

1.4 und 1.5 erfordern den Aus- oder Aufbau einer Energieverteilungsinfrastruktur (was sehr teuer ist)

3 Einschätzung Kosten

1.1 und 1.2 weisen die niedrigsten Kosten auf, wenn keine spürbare CO₂-Abgabe kommt. 1.3 ist eine vergleichsweise kostengünstige Lösung, wenn erneuerbare Energie genutzt werden soll.

1.4 und 1.5 bleiben sowohl von den Fahrzeugen wie auch hinsichtlich Betankungsinfrastruktur wohl deutlich teurer als 1.1, 1.2 und 1.3.

4 Einschätzung Reduktionspotenzial

Ganz summarisch scheint in Anbetracht einer Mischung all dieser Antriebe bis 2050 eine Reduzierung des totalen Primär-Energieverbrauchs pro Fahrzeugkilometer um 20 - 30% plausibel. Mit der Annahme eines anteilmässigen Einsatzes von erneuerbaren Energieträgern von 30-50% können die CO₂-Emissionen und der nicht erneuerbare Primär-Energieverbrauch pro Fahrzeugkilometer um total 45 - 65% gesenkt werden. Die für die genannten Reduktionen nötigen Techniken sind heute bereits vorhanden und im Einsatz. Reduktionen pro Personenkilometer können auch auf anderem Weg, wie beispielsweise über einen steigenden Auslastungsgrad der Fahrzeuge, erreicht werden.

A2: Kategorien GEPAMOD und Gebäudekategorien in SIA 2039 nach [Jakob *et al.* \(2016\)](#)

	Subsektor	Subsubsektor	NOGA 2008	SIA 2039	EBF		
					1000m2	Einwohner Beschäftigte # # VZA	
1.1	EFH	Wohnen (EFH)		Wohnen	172'132	2'521'287	
2.1	MFH	MFH Erstwohnungen		Wohnen	276'603	5'350'500	
2.2	MFH	Zweitwohnungen		Wohnen	37'585		
3.1	Grosshandel	Lebensmittel	463	-	1'690	28'617	
3.2	Grosshandel	Nicht-Lebensmittel	45,461-462,464-467,469	-	20'883	244'991	
4.1	Detailhandel	Food, grosser Laden oder Ein-kaufszentrum		LV	4'134	65'852	
4.2	Detailhandel	Food, Fachgeschäft klein	471,472,473	LV	2'381	32'263	
4.3	Detailhandel	Non-Food, grosser Laden oder Einkaufszentrum		FG	6'905	85'862	
4.4	Detailhandel	Non-Food, Fachgeschäft klein	474-477	FG	6'012	55'547	
4.5	ausser Geb.	Detailhandel	478,479	-		7'234	
5.1	Verkehr	Poststellen	53 (teilweise)	DmbK	783	35'115	
5.2	Verkehr	Postvertelzentren	53 (teilweise)	-	62	2'316	
5.3	Verkehr	Restlicher Verkehr	49-52	-	4'708	157'485	
6.1	IKT	Informations- und Kommunikationstechnik	58-63	Büro	6'090	129'873	
7.1	Beherbergung	Hotels	551	-	6'030	63'912	
7.2	Beherbergung	Ferienunterkünfte	552,553,559	-	175	3'516	
8.1	Gastronomie	Restaurants und Bars	561,563	Rest.	7'906	120'419	
8.2	Gastronomie	Caterer	562	-	2'062	14'881	
9.1	Finanzwesen	Finanzwesen	64-66	Büro	9'758	231'332	
10.1	öffentl. Verwaltung	öffentl. Verwaltung	84	Büro	9'488	150'386	
11.1	Erziehungswesen	Volksschulen	851,852,853101	Schule	15'114	84'486	
11.2	Erziehungswesen	Gymnasien	853102,853103,853200	-	5'628	32'035	
11.3	Erziehungswesen	Hochschulen	854	-	3'879	49'909	
11.4	Erziehungswesen	Sonstiger Unterricht	855,856	-	3'013	30'254	
12.1	Gesundheitswesen	Krankenhäuser und Pflegeheime	861	-	4'385	136'381	
12.2	Gesundheitswesen	Arztpraxen	862	DmbK	3'049	54'537	
12.3	Gesundheitswesen	Sonstiges Gesundheitswesen	75,869	-	2'547	51'936	
12.4	Gesundheitswesen	Sozialwesen	88	-	3'877	55'120	
13.2	Gesundheitswesen	Pflegeheime	871	-	5'561	72'936	
13.1	Heime und Soziales	Altersheime und stationäre psychosoziale Betreuung	872,873,879	-	2'195	43'960	
14.1	Unternehmensdienstleistungen	Unternehmensdienstleistungen	68-74,77-82	Büro	20'611	534'366	
15.1	andere Dienstleistungen	Bibliotheken, Museen, botanische und zoologische Gärten	91	-	315	7'163	
15.2	andere Dienstleistungen	restliche andere Dienstleistungen	90,92,94,95	-	4'823	88'111	
15.3	andere Dienstleistungen	persönliche andere Dienstleistungen	93,96	DmbK	5'685	66'815	
16.1	Landwirtschaft	Landwirtschaft	01-03	-	6'072	101'695	
17.1	Industrie	Nahrungsmittel	10-12	-	6'616	73'584	
18.1	Industrie	Textil und Leder	13-15	-	1'381	13'124	
19.1	Industrie	Papier und Druck	17,18	-	2'861	33'566	
20.1	Industrie	Chemie und Pharma	20,21	-	6'614	67'587	
21.1	Industrie	Zement und Beton	233,235	-	234	1'806	
22.1	Industrie	Metalle und Mineralien	231,232,234,236,237,239,24	-	3'342	30'264	
23.1	Industrie	Geräte und Maschinen	25-30,33	-	27'634	329'016	
24.1	Industrie	Andere Industriezweige	05-09,16,22,31,32,38	-	11'830	109'329	
25.1	Industrie	Bau	41-43	-	11'156	307'505	
26.1	Industrie	Energie	19,35-37,39	-	3'081	30'823	
					736'892	7'871'787	3'835'909

Abkürzungen

EFH	Einfamilienhaus
MFH	Mehrfamilienhaus
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
LV	Lebensmittelverkauf
FG	Fachgeschäft
DmbK	Dienstleistungen mit bedeutendem Kundenanteil
Rest.	Restaurant

Die Daten zu EBF, Einwohnern und Beschäftigten gelten für das Jahr 2010