



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

# MODELLIERUNG VON WASSER- UND ENERGIEVERBRÄUCHEN IN HAUSHALTEN

Von der Fakultät Maschinenbau der  
Technischen Universität Chemnitz  
genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur  
(Dr. Ing.)

vorgelegt

von Herrn Dipl.-Ing. Noah Daniel Pflugradt  
geboren am 20. Februar 1980 in Filderstadt

eingereicht am 6. April 2016

Gutachter:  
Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Platzer  
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Quaschning

Chemnitz, den 19. Juli 2016

Pflugradt, Noah

## **Modellierung von Wasser- und Energieverbräuchen in Haushalten**

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Mechanik und Thermodynamik, Chemnitz, 2016

353 Seiten

131 Abbildungen

31 Tabellen

62 Literaturzitate

### Referat

In dieser Arbeit wird ein Modell für die Simulation des Verbraucherverhaltens in Haushalten entwickelt. Das Ziel ist die Erstellung von Lastprofilen für den Strom- und Wasserverbrauch. Das Modell wird in einem Programm implementiert. Die Ergebnisse werden anschließend validiert und verschiedene Kenngrößen mit Literaturwerten verglichen. Abschließend wird eine Parameterstudie durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Faktoren wie z.B. das Arbeitszeitmodell oder die Feiertagsmodellierung auf Lastprofile zu quantifizieren. Das Modell basiert auf einem Bedürfnismodell aus der Psychologie und ermöglicht den Verzicht auf die Errechnung von Aktivitäts-Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

### Abstract

In this thesis a model for the simulation of the behaviour of people in residential households is introduced. The goal is to generate load profiles for residential electricity and water consumption. The model is implemented as a Windows program. The results are validated and various metrics are compared with literature values. A parameter study is performed to quantify the influence of various factors such as the working hours or the influence of holidays on the load profile. The model is based on a desire model from the field of psychology and makes it possible to avoid calculating any probability distributions.

### Schlagworte

Lastprofil, Lastprofilgenerator, Haushaltsenergieverbrauch, Verhaltensmodell, Wasserverbrauch, Zapfprofile, Niederspannungsnetze

## **Danksagung**

Bedanken möchte ich mich bei meiner Familie für die Geduld, die diese Arbeit erforderte. Zudem haben drei Personen entscheidende Anstöße gegeben: Prof. Dr. Platzer, Dr. Michael Tromplet von Vattenfall und Dr. Thomas Straub von der SMA AG. Ohne diese drei hätte die Arbeit nicht den gegenwärtigen Stand erreicht. Auch das Feedback von Prof. Dr. Quaschning und seinen Mitarbeitern war sehr hilfreich. Und nicht unerwähnt bleiben soll die großzügige Spende von Geräteprofilen von Dr. Binder vom ZSW und das hilfreiche Feedback vieler Benutzer.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	2
<b>2 Einordnung</b>	<b>5</b>
<b>3 Wissensstand</b>	<b>13</b>
3.1 Lastprofile . . . . .	13
3.1.1 VDEW-Standard-Lastprofile . . . . .	14
3.1.2 Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen (VDI 4655) . . . . .	16
3.1.3 BDEW-Standardlastprofile Gas . . . . .	17
3.1.4 IEA Annex 42 Lastkurven . . . . .	19
3.2 Lastprofilgeneratoren . . . . .	21
3.2.1 Methoden . . . . .	21
3.2.2 Auswahl der Beispiele . . . . .	22
3.2.3 Lastprofilgenerator nach Stokes . . . . .	23
3.2.4 Lastprofilgenerator nach IEA Annex 42 . . . . .	25
3.2.5 Lastprofilgenerator nach Jordan . . . . .	26
3.2.6 Lastprofilgenerator nach NREL . . . . .	28
3.2.7 Lastprofilgenerator nach Walker und Pokoski . . . . .	29
3.2.8 Lastprofilgenerator nach Capasso . . . . .	30
3.2.9 Lastprofilgenerator nach Widen et al. . . . .	32
3.2.10 Lastprofilgenerator nach Richardson . . . . .	34
3.2.11 Lastprofilgenerator nach Metz . . . . .	35
3.2.12 Lastprofilgenerator nach Fischer . . . . .	36

3.2.13	Zusammenfassung der Lastprofilgeneratoren . . . . .	37
3.3	Verhaltenssimulation . . . . .	37
3.3.1	Rational Choice Model . . . . .	38
3.3.2	Verhaltensmodell nach D. Dörner . . . . .	38
3.4	Hausinfrastrukturmodelle . . . . .	41
3.4.1	Heizung und Kühlung . . . . .	42
3.4.2	Modellierung in TRNSYS . . . . .	43
<b>4</b>	<b>Das Modell des bLPG</b>	<b>45</b>
4.1	Bedürfnismodell . . . . .	45
4.2	Modellierung eines einzelnen Haushalts . . . . .	48
4.2.1	Desires . . . . .	48
4.2.2	Person . . . . .	51
4.2.3	Load Types . . . . .	52
4.2.4	Devices . . . . .	54
4.2.5	Time Profile . . . . .	54
4.2.6	Time Limits . . . . .	55
4.2.7	Affordances . . . . .	57
4.2.8	Berechnungsbeispiel Aktivitätenauswahl . . . . .	60
4.2.9	Zusammenfassung der Modellierung eines Haushalts . . .	61
4.3	Verbesserung der Modellqualität . . . . .	62
4.3.1	Locations . . . . .	62
4.3.2	Holidays . . . . .	63
4.3.3	Geographic Locations . . . . .	64
4.3.4	Subaffordances . . . . .	65
4.3.5	Temperature Profiles und Date Based Profiles . . . . .	66
4.3.6	Vacations . . . . .	66
4.3.7	Autonome Geräte . . . . .	67
4.4	Houses und Settlements . . . . .	68
4.4.1	House Types . . . . .	69
4.5	Abstraktion der Geräte . . . . .	73
4.6	Abstraktion Haushaltsdefinition . . . . .	75
4.7	Elemente für Auswertungen . . . . .	79
4.8	Zusammenfassung des Modells des bLPG . . . . .	80

<b>5 Implementierung</b>	<b>81</b>
5.1 Allgemeines . . . . .	81
5.2 Historie . . . . .	82
5.3 Features . . . . .	84
5.4 Struktur . . . . .	85
5.5 User Interface . . . . .	86
5.6 Database . . . . .	88
5.7 CalcController . . . . .	92
5.8 Calculation . . . . .	94
5.8.1 Aktivitätswahl . . . . .	95
5.8.2 Protokollierung . . . . .	98
5.8.3 House Infrastructure . . . . .	100
5.9 ChartCreator . . . . .	104
5.10 SimulationEngine.Exe . . . . .	105
5.11 Verwendete Bibliotheken . . . . .	107
5.12 Zusammenfassung der Implementierung . . . . .	108
<b>6 Modellierung der vordefinierten Haushalte</b>	<b>109</b>
6.1 Datenbasis und Modellierung . . . . .	109
6.2 Vordefinierte Elemente . . . . .	112
6.3 Namensschema . . . . .	113
6.4 Erfahrungen bei der Erstellung der vordefinierten Haushalte . . . . .	113
6.5 Zusammenfassung . . . . .	117
<b>7 Validierung</b>	<b>119</b>
7.1 Einzelner Haushalt . . . . .	119
7.1.1 Aktivitäten - Rasterdiagramme . . . . .	120
7.1.2 Aktivitäten - Zeit pro Affordanz . . . . .	124
7.1.3 Summe des Stromverbrauchs . . . . .	128
7.1.4 Verlauf des Lastprofils . . . . .	133
7.1.5 Wasserverbrauch . . . . .	137
7.1.6 Integration von Photovoltaik . . . . .	138
7.1.7 Lichtbedarf . . . . .	142
7.1.8 Zusammenfassung CHR03 . . . . .	144
7.2 Vordefinierte Haushalte . . . . .	144

7.2.1	Stromverbrauch . . . . .	144
7.2.2	Verhaltensgesteuerter Anteil am Stromverbrauch . . . . .	145
7.2.3	Zeitverbrauch der Aktivitäten . . . . .	146
7.2.4	Eigenverbrauchsquote mit einer Photovoltaik-Anlage . .	148
7.2.5	Jahresdauerlinien . . . . .	148
7.3	Validierung einer Siedlung . . . . .	150
7.3.1	Gleichzeitigkeitsfaktor des Stromverbrauchs . . . . .	151
7.3.2	Vergleich einer Siedlung mit dem H0-Profil . . . . .	153
7.4	Fazit . . . . .	155
<b>8</b>	<b>Anwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse</b>	<b>157</b>
8.1	Integration von Photovoltaik und Batterien . . . . .	158
8.2	Parameterstudie . . . . .	163
8.2.1	Vergleichskriterien . . . . .	163
8.2.2	Einfluss von Brückentagen . . . . .	165
8.2.3	Einfluss von Urlaubsreisen . . . . .	168
8.2.4	Einfluss des Rentneranteils . . . . .	171
8.2.5	Einfluss von Schichtarbeitern . . . . .	174
8.2.6	Einfluss von Arbeitslosigkeit . . . . .	176
8.2.7	Einfluss der Energieintensitätseinstellung . . . . .	179
8.2.8	Einflussgröße Beleuchtung . . . . .	183
8.3	Zusammenfassung der Parameterstudie . . . . .	185
<b>9</b>	<b>Ausblick</b>	<b>187</b>
9.1	Verbesserungspotenziale der Implementierung . . . . .	187
9.2	Verbesserungspotenziale der Datenbasis . . . . .	190
9.3	Zusammenfassung des Ausblicks . . . . .	190
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>191</b>
<b>Anhänge</b>		<b>193</b>
<b>Anhang A Website</b>		<b>193</b>
<b>Anhang B LoadProfileGenerator Manual</b>		<b>195</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>345</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Einteilung des Energieverbrauchs im Haushalt nach Verbrauchsart. Der Fokus der Dissertation ist rot eingefärbt. . . . .	5
2.2	Darstellung des Energieverbrauchs in Haushalten, Fokus der Arbeit in roter Schrift nach [8] und eigenen Berechnungen . . . . .	6
2.3	Darstellung des Primärenergieverbrauchs in Haushalten, Fokus der Arbeit in roter Schrift, nach [8] und eigenen Berechnungen . . . . .	7
2.4	Darstellung des Primärenergieverbrauchs für ein Passivhaus, Fokus der Arbeit in roten Buchstaben, nach [8] und eigene Berechnungen . . . . .	8
2.5	Aufteilung des Stromverbrauchs nach [10], zusätzliche eigene Einteilung nach <i>Verhaltengesteuert</i> (von den Bewohnern) oder <i>Gerätegesteuert</i> . . . . .	9
2.6	Darstellung des Primärenergieverbrauchs für ein Passivhaus, Fokus der Arbeit in roter Schrift, nach [8] und eigene Berechnungen	9
3.1	Vergleich eines Tageslastgangs für einen Haushalt aus einem Standardlastprofil mit einem real gemessenen Tageslastgang aus [12]	14
3.2	Profil für Haushalte mit dem Code “G0” aus [13]	15
3.3	Dynamisierungskurve für das Kalenderjahr aus [13]	15
3.4	In VDI 4655 definierte Typtage aus [15]	17
3.5	An der TU München erstellte Temperatur-Regressionskurven für das BDEW-Standardlastprofil Gas aus [16]	18
3.6	Scatterplot des Tagesverbrauchs über die Tagestemperatur in kWh mit sichtbaren starken Schwankungen aus [16]	18
3.7	Verlauf der IEA-Lastprofile an Wochentagen aus [17]	19
3.8	Verlauf der IEA-Lastprofile an Wochenenden aus [17]	20

3.9	Prinzipiendarstellung für Bottom-Up- und Top-Down-Methoden [19]	22
3.10	Einordnung der vorgestellten Lastprofilgeneratoren	23
3.11	Blockdiagramm der Vorgehensweise von M. Stokes aus [19]	24
3.12	Ergebnisse von M. Stokes aus [20]	24
3.13	Beispiel für die vordefinierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen basierend auf einer Time-Of-Use-Kurve für Waschmaschinen in kanadischen Haushalten aus [21]	26
3.14	Wahrscheinlichkeitsverteilungen für verschiedene Zapfvorgänge aus [22]	27
3.15	Screenshot des Programms DHWCalc aus [22]	27
3.16	Screenshot des Hauptbildschirms des NREL-Tools aus [23]	28
3.17	Auszug aus den Ergebnissen und Vergleich mit einem gemessenen Profil von Walker und Pokoski aus [24]	30
3.18	Auszug aus den Ergebnissen von Capasso und Vergleich mit einem gemessenen Profil, jeweils gemittelt aus [25]	31
3.19	Ergebnisse der Berechnung das Anteils der flexibel steuerbaren Haushaltsgeräte nach Capasso aus [25]	31
3.20	Darstellung eines gemittelten Hausprofils aus den Ergebnissen von Widen aus [27]	33
3.21	Auszug aus den Ergebnissen von Widen und Vergleich mit einem gemessenen Profil nach der Weiterentwicklung aus [28]	33
3.22	Vergleich der Ergebnisse von Richardson aus [29]	35
3.23	Vergleich der Ergebnisse von Fischer aus [6]	36
3.24	Tankmodell von Dörner aus [38]	40
3.25	Screenshot von TRNSYS aus [44]	44
4.1	Schritte bei der Entwicklung des Modells	46
4.2	Zusammenwirken der Elemente für die Aktivitätenauswahl	48
4.3	Minimal notwendige Elemente für die Modellierung eines Entscheidungsprozesses	49
4.4	Darstellung von Decay Time und Threshold an einem Beispiel	49
4.5	Vergleich eines gemessenen (a) und eines synthetischen (b) Gerätelastprofils für einen Wasserkocher	56

4.6	Beispiel eines Gantt-Charts für das Personenprofil und die Geräteaktivierungen für ein Frühstück . . . . .	59
4.7	Beispiel eines Gantt-Charts für das Personenprofil und die Geräteaktivierungen für das Einschalten einer Waschmaschine .	59
4.8	Beispiel eines Gantt-Charts für das Personenprofil und die Geräteaktivierungen für das Verfolgen einer 2 h-Sendung im Fernsehen . . . . .	60
4.9	Datenstruktur nach der Integration der erwähnten Elemente . .	63
4.10	Beispiel für den Stromverbrauch eines Kühlschranks nach [47] .	68
4.11	Datenstruktur der Settlements und Houses . . . . .	69
4.12	Datenstruktur für das Element Housetype . . . . .	71
4.13	Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung der Photovoltaik-Anlage . . . . .	72
4.14	Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung der PV-Anlage mit Batteriespeicher . . . . .	72
4.15	Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung des Gasbedarfs einer modulierenden Gastherme . . . . .	73
4.16	Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung des Gasbedarfs einer taktenden Gastherme mit Pufferspeicher . .	73
4.17	Möglichkeiten für die Modellierung einer Geräteaktivierung nach Einführung der Abstraktionsebenen . . . . .	76
4.18	Datenstruktur für einen Household Trait . . . . .	77
4.19	Datenstruktur für einen Combined Household . . . . .	77
5.1	Screenshot von einer der ersten Versionen des bLPG . . . . .	83
5.2	Zusammenwirken der Module im bLPG . . . . .	86
5.3	Screenshot der Entwicklungsumgebung . . . . .	88
5.4	Übersicht über die Vererbungsstruktur und die Klassen des UI .	89
5.5	Übersicht über die Klassen des Database-Moduls . . . . .	91
5.6	Übersicht über die Klassen des CalcController-Moduls . . . .	94
5.7	Flussdiagramm zum Ablauf der Berechnung . . . . .	95
5.8	Übersicht über die Klassen des Berechnungsmoduls . . . . .	96
5.9	Flussdiagramm der zentralen Schleife im Berechnungsmodul .	97
5.10	Übersicht über die Klassen des ChartCreator-Moduls . . . .	106
5.11	Übersicht über die Klassen des SimulationEngine-Moduls . .	107

6.1	Alterstruktur der vordefinierten Haushalte . . . . .	113
6.2	Eigenschaften der vordefinierten Haushalte, eingeteilt nach verschiedenen Kriterien . . . . .	114
7.1	Rasterdiagramm der Aktivitäten der Mutter im Haushalt CHR03	121
7.2	Rasterdiagramm der Aktivitäten des Vaters im Haushalt CHR03	122
7.3	Rasterdiagramm der Aktivitäten des Kindes im Haushalt CHR03	123
7.4	Übersicht über den Zeitaufwand für die einzelnen Aktivitäten des Vaters im Haushalt CHR03 . . . . .	125
7.5	Übersicht über den Zeitaufwand für die einzelnen Aktivitäten der Mutter im Haushalt CHR03 . . . . .	126
7.6	Übersicht über den Zeitaufwand für die einzelnen Aktivitäten des Sohns im Haushalt CHR03 . . . . .	127
7.7	Übersicht über die Aktivitäten aller Bewohner und Vergleich mit Referenzzahlen aus [54] . . . . .	128
7.8	Stromverbrauch mit den Kategorien und Referenzwerten aus [10]	129
7.9	Verteilung des Stromverbrauchs auf die Affordanzen . . . . .	130
7.10	Verteilung des Stromverbrauchs auf die Bewohner . . . . .	131
7.11	Verteilung des Stromverbrauchs auf die Geräte . . . . .	132
7.12	Beispiel für das Lastprofil am Dienstag, den 27.01.2015 im Haushalt CHR03 . . . . .	133
7.13	Beispiel für das Lastprofil am Samstag, dem 4.4.2015 im Haushalt CHR03 . . . . .	134
7.14	Beispiel für das Lastprofil am Montag, den 21.12.2015 im Haushalt CHR03 . . . . .	134
7.15	Rasterdiagramm des Stromverbrauchs über ein Jahr . . . . .	135
7.16	Durchschnittlicher Verlauf des Verbrauchs über das Jahr getrennt nach Wochentagen und Jahreszeiten . . . . .	136
7.17	Jahresdauerlinie im Vergleich mit IZES-Messungen [58] . . . . .	137
7.18	Kaltwasserverbrauch für den Haushalt CHR03 und Referenzwerte . . . . .	138
7.19	Warmwasserverbrauch für den Haushalt CHR03 und Referenzwerte . . . . .	139
7.20	Rasterdiagramm des Kaltwasserverbrauchs für den Haushalt CHR03 . . . . .	139

7.21 Rasterdiagramm des Warmwasserverbrauchs für den Haushalt CHR03 . . . . .	140
7.22 Stromverbrauch und durch die PV-Anlage erzeugte Energie für den Haushalt CHR03 im Haus HT04 . . . . .	141
7.23 Eigenverbrauch, Netzlast und Netzeinspeisung für den Haushalt CHR03 im Haus HT04 . . . . .	142
7.24 Übersicht über die Stromlast durch Licht aus [20] . . . . .	143
7.25 Durchschnittliche Last durch Beleuchtung im CHR03 für die einzelnen Monate bei Einschalten des Lichts nach Sonnenuntergang	143
7.26 Durchschnittliche Last durch Beleuchtung im CHR03 für die einzelnen Monate bei Einschalten des Lichts bei unter 50 W/m <sup>2</sup> Globalstrahlung . . . . .	144
7.27 Übersicht über die Summe des Energieverbrauchs aller Haushalte in den Varianten Energiesparend und Energieintensiv mit Referenzwerten aus [10] . . . . .	145
7.28 Übersicht über die Summe des Energieverbrauchs aller Haushalte, aufgeteilt nach Kategorien. . . . .	146
7.29 Anteil des Stromverbrauchs der autonomen Geräte über alle Haushalte . . . . .	147
7.30 Zeitverbrauch für verschiedene Aktivitäten über alle Haushalte .	147
7.31 Durchschnittliche Schlafdauer aller Personen . . . . .	148
7.32 Eigenverbrauchsquoten für alle Haushalte aus [60] als Referenz .	149
7.33 Eigenverbrauchsquoten für alle vordefinierten Haushalte . . . .	149
7.34 Jahresdauerlinien für alle vordefinierten Haushalte und Vergleich mit Referenzkurven . . . . .	150
7.35 Alterstruktur der Beispieldorf . . . . .	151
7.36 Eigenschaften der Beispieldorf, eingeteilt nach verschiedenen Kriterien . . . . .	152
7.37 Gleichzeitigkeitskurve nach DIN18015 und Ergebnisse des bLPG im Vergleich . . . . .	153
7.38 Vergleich der Berechnungsergebnisse des bLPG für 100 Haushalte mit dem H0-VDEW-Profil . . . . .	154
7.39 Vergleich der Berechnungsergebnisse des bLPG für alle vordefi- nierten Haushalte mit dem H0-VDEW-Profil . . . . .	155

8.1	Auswirkungen der Integration von Photovoltaik und Batterien auf das durchschnittliche Stromverbrauchsprofil . . . . .	159
8.2	Aufteilung der Stromverbrauchs und Verwendung des erzeugten Stroms für die verschiedenen Haushalte . . . . .	160
8.3	Aufteilung der Stromverbrauchs für die verschiedenen Haushalte	161
8.4	Anzahl der genommenen Brückentage über alle 100 Haushalte .	166
8.5	Verteilung der Brückentage über das Jahr mit farblicher Kodierung für den Anteil der Haushalte, welche den Brückentag genommen haben. . . . .	167
8.6	Änderung des Energieverbrauchs durch die Brückentage . . . . .	167
8.7	Änderung der Eigenverbrauchsquote durch die Integration der Brückentage . . . . .	168
8.8	Verteilung des Urlaubs über das Jahr mit farblicher Kodierung für den Anteil der Haushalte, welche an dem jeweiligen Tag Urlaub genommen haben. . . . .	169
8.9	Übersicht des Energieverbrauchs aller Haushalte mit den jeweiligen Durchschnitten für die verschiedenen Urlaubsdauern .	170
8.10	Änderung des Verlaufs des durchschnittlichen Lastprofils durch die Erhöhung des Urlaubs . . . . .	170
8.11	Änderung der Eigenverbrauchsquote durch die Erhöhung des Urlaubs . . . . .	171
8.12	Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung und die Rentnersiedlung mit den jeweiligen Durchschnitten . . . . .	172
8.13	Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer für die Referenzsiedlung und die Rentnersiedlung . . . . .	173
8.14	Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten aller Haushalte der Rentner-Siedlung und der Referenz-Siedlung . . . . .	173
8.15	Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung und die Schichtarbeintersiedlung mit den jeweiligen Durchschnitten . . . . .	175
8.16	Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer getrennt nach Wochentagen für die Referenzsiedlung und die Schichtarbeintersiedlung	175

8.17	Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten der Referenzsiedlung und der Schichtarbeite	176
8.18	Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung und die Rentnersiedlung mit den jeweiligen Durchschnitten	177
8.19	Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer für die Referenzsiedlung und die Arbeitslosensiedlung	178
8.20	Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten aller Haushalte in der Arbeitslosensiedlung	178
8.21	Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung mit allen Energieintensitätseinstellungen	181
8.22	Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer für die Referenzsiedlung und die Arbeitslosensiedlung	182
8.23	Übersicht über die Eigenverbrauchsquotas aller Haushalte beim Energieintensitätsvergleich	182
8.24	Übersicht zum Energieverbrauch der Referenzsiedlung für die beiden Beleuchtungsvarianten	184
8.25	Durchschnittliches Lastprofil für den Winter für die Referenzsiedlung und die beiden Beleuchtungsvarianten	184
8.26	Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten der Siedlung für die zwei Beleuchtungsvarianten	185
A.1	Startseite von <a href="http://www.loadprofilegenerator.de">www.loadprofilegenerator.de</a>	193
A.2	Frequently Asked Questions (FAQ)-Seite von <a href="http://www.loadprofilegenerator.de">www.loadprofilegenerator.de</a>	194
A.3	Downloads des bLPG pro Monat aufgeteilt nach Version	194



# Tabellenverzeichnis

3.1	Berechnungsbeispiel für die Gradtagszahlmethode . . . . .	43
4.1	Beispiel für die Definition eines Desires . . . . .	51
4.2	Beispiel für eine Personendefinition . . . . .	53
4.3	Beispiel für eine Lasttyp-Definition . . . . .	54
4.4	Beispiel für eine Geräte-Definition . . . . .	54
4.5	Beispiel für zwei Gerätelastprofile . . . . .	55
4.6	Beispiele für verschiedene Time Limits . . . . .	56
4.7	Beispiele für eine Affordanz-Definition . . . . .	60
4.8	Berechnungsbeispiel für die Aktivitätenauswahl . . . . .	61
4.9	Beispiel für die Definition einer Location . . . . .	63
4.10	Beispiel für die Definition eines Feiertags . . . . .	64
4.11	Beispiel für die Definition einer Geographic Location . . . . .	65
4.12	Beispiel für die Definition einer Subaffordance . . . . .	66
4.13	Beispiel für die Definition eines Date Based Profiles . . . . .	67
4.14	Beispiel für die Definition einer Vacation mit zufällig ausgewählten Zeiträumen . . . . .	67
4.15	Beispiel für die Definition eines Autonomous Device . . . . .	68
5.1	Beschreibung der Funktion der einzelnen Elemente und Anzahl Zeilen Programmcode in der Version 4.5 . . . . .	87
5.2	Übersicht über die Ausgabedateien der Berechnung in Version 4.5, d = direkt bei der Berechnung erzeugt, p = im Postprocessing erzeugt . . . . .	101
6.1	Elemente für die vordefinierten Haushalte in Version 4.5 . . . . .	112
6.2	Namensschemata für die Elemente . . . . .	115

7.1	Ergebnisse des Haushalts CHR03 im Haustyp HT04 mit PV-Anlage	141
7.2	Errechnete Bevölkerungsverteilung als Grundlage für den Zufallsgenerator im Settlement Template . . . . .	151
8.1	Unterschiede zwischen zentraler und dezentraler Batterieinstal- lation . . . . .	162
8.2	Vergleich der Auswirkungen der Brückentage . . . . .	166
8.3	Vergleich der Auswirkungen der Brückentage . . . . .	169
8.4	Vergleich der Auswirkungen der Rentner-Siedlung . . . . .	172
8.5	Vergleich der Auswirkungen der Schichtarbeintersiedlung . . . . .	174
8.6	Vergleich der Auswirkungen der Demographieänderung . . . . .	177
8.7	Vergleich der Auswirkungen der Energieintensität . . . . .	181
8.8	Vergleich der Auswirkungen der Beleuchtung . . . . .	183
8.9	Übersichtstabelle über die Ergebnisse der Parameterstudie . . .	186

# Abkürzungen

**bLPG** Behaviourbased LoadProfileGenerator

**VDEW** Verband der Elektrizitätswirtschaft

**BDEW** Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft

**IEA** International Energy Agency

**UI** User Interface

**TDD** Test-Driven Development

**WPF** Windows Presentation Foundation

**MVC** Model-View-Controller



# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Energie ist einer der Eckpfeiler der Zivilisation. Energie ermöglicht Beleuchtung, Heizung, Warmwasser und vieles mehr. Energie ist Grundlage für die Erzeugung von Nahrungsmitteln, Transport, Rohstoff-Abbau und die Warenproduktion. In der Vergangenheit waren fossile Energieträger die Basis der Energieproduktion [1]. Da diese aber begrenzt sind und wirtschaftliche und politische Abhängigkeiten von Rohstoffländern verringert werden sollen, soll und wird ein Umstieg auf erneuerbare Energieträger für die Energieversorgung stattfinden. In den letzten Jahren stieg der Anteil der erneuerbaren Energien in Deutschland rapide an [2]. Das Erdbeben 2011 in Japan, welches die Nuklearkatastrophe in Fukushima verursachte, trug ebenfalls zum Aufstieg der erneuerbaren Energien in Deutschland bei.

Wind und Sonne, den beiden größten erneuerbaren Energieträgern, ist gemeinsam, dass die Erzeugung nicht steuerbar ist und sich nicht mit der Nachfrage deckt. Ein Ausgleich zwischen geringer und hoher Energieproduktion ist erforderlich, um die Nachfrage zu jedem Zeitpunkt decken zu können. Das kann geographisch oder zeitlich erfolgen. Beim geographischen Ausgleich wird in Zeiten hoher Erzeugung und niedrigem Verbrauch Energie an andere Regionen abgegeben. Im umgekehrten Fall wird Energie von anderen Regionen bezogen.

Ein zeitlicher Ausgleich erfolgt über Energiespeicher. Unterdimensionierte Speicher führen zu Unterdeckungen in der Energieversorgung. Überdimensionierte Speicher ergeben höhere Kosten und erhöhte Energieverluste. Um

die Energiespeicher korrekt zu dimensionieren, sind Zeitreihenbetrachtungen notwendig. Für eine Zeitreihenbetrachtung wird im Allgemeinen eine Anlagen-simulation verwendet.

Warum Lastprofile für die Dimensionierung wichtig sind, soll am stark vereinfachten Beispiel einer hypothetischen Photovoltaik-Anlage mit einem Verbraucher erläutert werden. Wenn der erzeugte Strom sofort vollständig verbraucht wird, so wird keine Batterie benötigt. Wenn hingegen der Verbrauch vollständig in der Nacht stattfindet, dann muss der gesamte tagsüber erzeugte Strom in einer Batterie gespeichert werden. Der Verlauf des Lastprofils ist folglich entscheidend für das Ergebnis.

Für die Zeitreihenberechnungen werden Lastprofile verwendet. Lastprofile enthalten für jeden Zeitschritt einen Zahlenwert, welcher die Last in der jeweiligen Zeitperiode beschreibt. Sie können in unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen vorliegen. Die Herkunft kann synthetisch sein oder auf Messungen beruhen. Es gibt für unterschiedliche Einsatzfälle unterschiedliche Lastprofile. Beispiele für einige Einsatzfälle sind:

- Simulationen
- Prognosen
- Finanzielle Abrechnung
- Energie-Einkaufsplanung / Energie-Erzeugungsplanung
- Auslegung / Dimensionierung

Beispiele für konkrete Lastprofile werden im Folgenden besprochen. Lastprofile sind zusammengefasst sowohl für die Wirtschaft als auch die Wissenschaft eine höchst wichtige Grundlage.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Das eingesetzte Lastprofil muss zum Ziel der Berechnung passen. Falls ein elektrisches Lastprofil eines einzigen Haushalts verwendet wird, um den durchschnittlichen Energieverbrauch einer Stadt zu modellieren, so wird das Ergebnis falsch sein. Im Bereich der Haushalte gab es bei der Forschung im Bereich der erneuerbaren Energien in den letzten Jahren sehr viel Bewegung. Zum Beispiel gibt es Untersuchungen zur Kopplung von Batterien mit Photovol-

taikanlagen, mit Brennstoffzellen, zur Nutzung von MikroKWK, zur Nutzung von überschüssigem Solar-Strom zur Warmwassererwärmung und vieles mehr, z.B. [3], [4], [5].

Diesen Untersuchungen ist gemeinsam, dass mit hoher zeitlicher Auflösung, unterhalb einer Stunde, simuliert werden muss, um korrekte Ergebnisse zu erhalten, und dass die Profile so realistisch wie möglich sein müssen. Daraus ergibt sich eine Reihe von Anforderungen, wie z.B.:

- Es sind zueinander passende Lastprofile für Strom- und Wasserverbrauch notwendig, d.h. die Profile müssen denselben Haushalt abbilden.
- Unterschiedliche Arbeitszeitmodelle wie z.B. Büroarbeit, Heimarbeit, Schichtarbeit usw. müssen modelliert werden.
- Feiertage, Brückentage, Schulferien und Urlaub müssen abgebildet werden.
- Die Stromverbräuche der einzelnen Geräte sollten soweit wie möglich auf realen Messungen basieren.
- Die Aktivitäten der Bewohner sollten plausibel sein.
- Es sind Randbedingungen abzubilden wie z.B. die Temperaturabhängigkeit von Aktivitäten.

Bestehende Ansätze zur Erzeugung von Lastprofilen wie z.B. [6] decken diese Anforderungen bisher nicht ausreichend ab. Insbesondere wird die Schichtarbeit vernachlässigt, welche immerhin mehr als 2 Mio. Menschen in Deutschland betrifft [7]. Dadurch ergeben sich bei Simulationen signifikante Abweichungen. Im Rahmen der Dissertation soll eine neue Methodik für die Erstellung von Lastprofilen entwickelt werden, welche wesentlich mehr Funktionalitäten integriert. Diese Methodik soll in dem Programm Behaviourbased LoadProfile-Generator (bLPG), einem verhaltensbasierten Lastprofilgenerator, umgesetzt werden. Damit soll das Verhalten der einzelnen Bewohner simuliert, aus diesem Geräteaktivierungen erstellt und darauf basierend Energie- und Wasserverbrauchsprofile errechnet werden.

Der Unterschied zu existierenden Ansätzen ist die Art der Modellierung. Statt stochastische Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Geräteaktivierungen oder Aktivitäten als Eingangsgröße zu verwenden, sollen die Bedürfnisse der Bewohner und die verfügbaren Aktivitäten als Grundlage verwendet werden,

weil der größte Teil des Energieverbrauchs in Haushalten vom Verhalten der Bewohner gesteuert wird.

# Kapitel 2

## Einordnung

Ausgangspunkt für die Modellierung des Energieverbrauchs in Haushalten ist die Systematisierung der Verbrauchsarten. Dazu ist in Abb. 2.1 eine Einteilung der Energieverbräuche dargestellt.

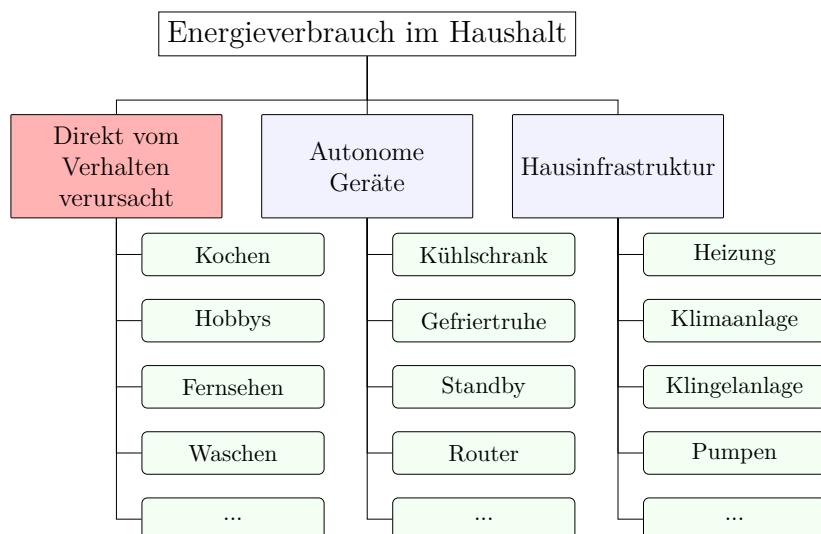


Abbildung 2.1: Einteilung des Energieverbrauchs im Haushalt nach Verbrauchsart. Der Fokus der Dissertation ist rot eingefärbt.

Der Energieverbrauch in Haushalten teilt sich auf die zwei Energiearten Elektrizität und Wärme auf. Die Wärme wird in den weitaus meisten Fällen aus Gas, Öl erzeugt oder als Fernwärme bereit gestellt. Es gibt aber auch Ansätze, die Wärme mittels Elektrizität zu generieren. Insbesondere verbreiten sich zunehmend Wärmepumpen. Ergänzend zur vorherigen Darstellung

zeigt Abb. 2.2 die durchschnittliche quantitative Aufteilung des gegenwärtigen Gesamtenergieverbrauchs nach [8].

Raumwärme macht in dieser Darstellung den größten Teil des Energieverbrauchs aus. Daher wurde dieser Anteil des Energieverbrauchs schon sehr früh simulationstechnisch untersucht. Zum Beispiel entstand TRNSYS [9], eine Software zur Gebäudesimulation, bereits um 1980. Inzwischen sind diese Simulationsprogramme sehr ausgereift und ermöglichen hochgenaue Prognosen des Raumwärmeverbrauchs. Schwieriger zu simulieren sind die Verbräuche, welche direkt vom Verhalten der Bewohner des Hauses abhängen. Es gibt zwar eine Reihe von Ansätzen dafür, die aber alle gewisse Nachteile aufweisen. Da 73 % des Gesamtenergieverbrauchs Raumwärme sind und der Anteil des Stromverbrauchs zunächst sehr klein erscheint, könnte man annehmen, das Problem der Simulation des Energieverbrauchs in Haushalten sei im Wesentlichen gelöst. Allerdings führt der direkte Vergleich von Elektrizität und Wärme in der Quelle sehr in die Irre. Zudem wird sich z.B. laut [2] der Energieverbrauchsmix entscheidend ändern und der Raumwärmebedarf deutlich sinken.

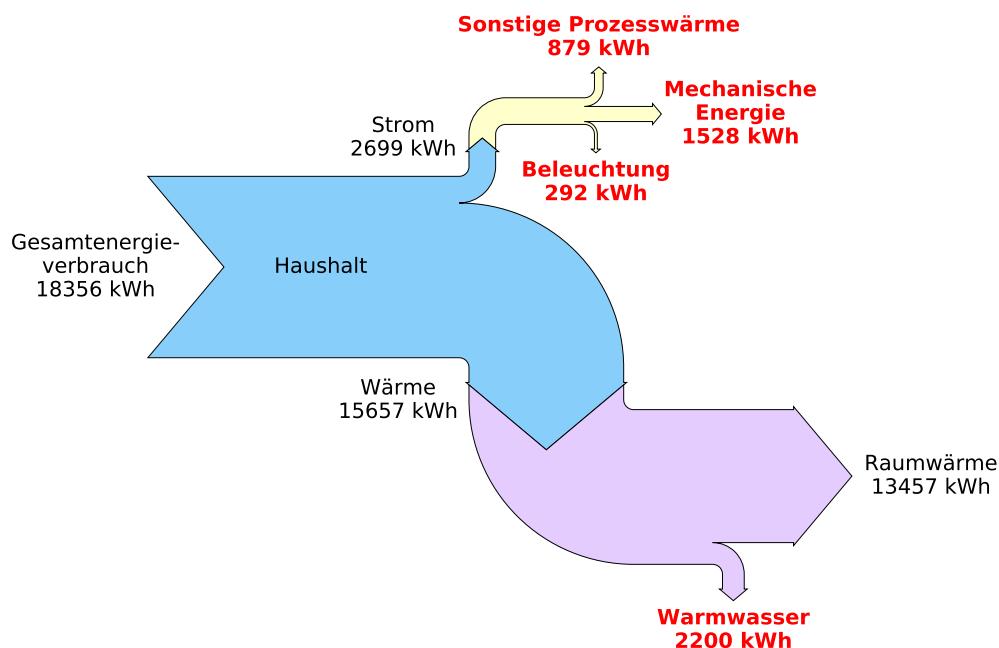


Abbildung 2.2: Darstellung des Energieverbrauchs in Haushalten, Fokus der Arbeit in roter Schrift nach [8] und eigenen Berechnungen

Sinnvoller für den Vergleich der Energiearten ist die Umrechnung auf den Primärenergieverbrauch. Nach DIN V 18599–1 ist der durchschnittliche Primärenergiefaktor für Elektrizität für den Strommix in Deutschland 2,8. Für Erdgas ist der Primärenergiefaktor 1,1. Abb. 2.3 zeigt dieselbe Darstellung mit umgerechneten Verbräuchen. Man sieht, dass der Anteil der Raumwärme auf 60 % absinkt.

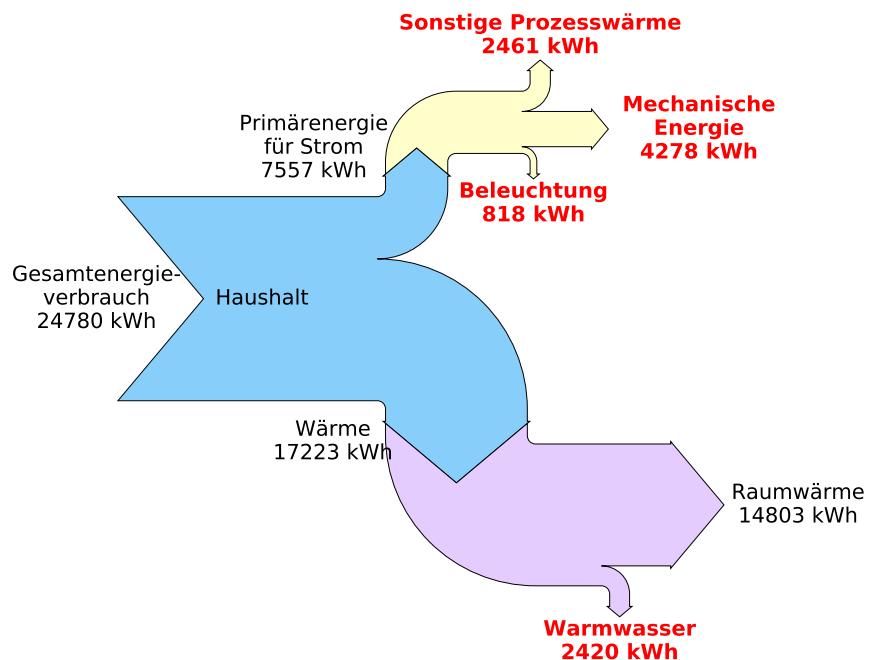


Abbildung 2.3: Darstellung des Primärenergieverbrauchs in Haushalten, Fokus der Arbeit in roter Schrift, nach [8] und eigenen Berechnungen

Ebenfalls wichtig ist die Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung. Laut [2] wird der Raumwärmeenergiebedarf fast vollständig verschwinden. Schon heute haben z.B. Passivhäuser einen Energieverbrauch von weniger als 15 kWh/Jahr/m<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Aufteilung der Energieverbräuche für ein 100 m<sup>2</sup> Passivhaus ist in Abb. 2.4 dargestellt. Der Anteil der Raumwärme und damit des von Programmen wie TRNSYS berechenbaren Energieverbrauchs für solche Passivhäuser beträgt dann nur noch 15 %.

Ergänzend dazu ist in Abb. 2.5 dargestellt, wie sich der Stromverbrauch auf die einzelnen Gerätetypen verteilt und ob der Verbrauch von den Bewohnern oder wie z.B. beim Kühlschrank durch das Gerät selbst gesteuert wird. Die Addition der verhaltengesteuerten Kategorien ergibt, dass über 75 %

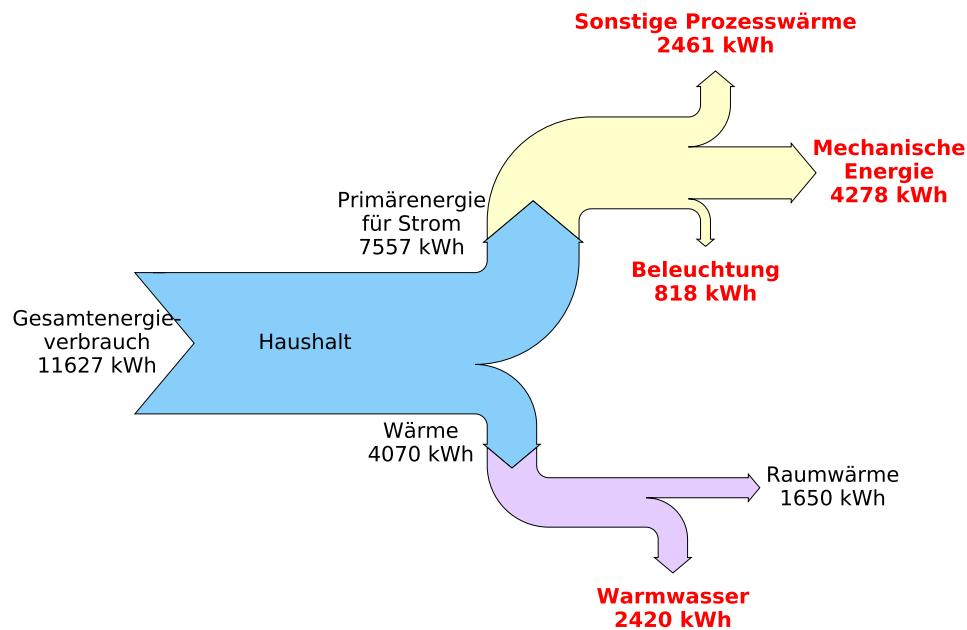


Abbildung 2.4: Darstellung des Primärenergieverbrauchs für ein Passivhaus, Fokus der Arbeit in roten Buchstaben, nach [8] und eigene Berechnungen

des (durchschnittlichen) Stromverbrauchs vom Verhalten der Bewohner abhängt. Je nach technischer Ausstattung und konkretem Verhalten der Bewohner im Haushalt können im Einzelfall auch die anderen Kategorien noch sehr große Standby-Verbräuche enthalten, welche aber in Zukunft deutlich abnehmen werden aufgrund der EU-Richtlinie, welche den Standby-Verbrauch für alle neuen Geräte auf max. 1 W beschränkt.

Auch der Warmwasserverbrauch ist fast vollständig durch das Verhalten der Bewohner gesteuert. Abb. 2.6 zeigt daher ergänzend die Aufteilung des Primärenergieverbrauchs in verhaltengesteuerten und gerätegesteuerten Verbrauch.

Folglich steht und fällt die Realitätsnähe der Stromlast- und Warmwasser- verbrauchsprofile mit der Qualität der Simulation des menschlichen Verhaltens, und diese Abhängigkeit wird in der Zukunft noch stärker werden. Sehr einfache, implizite Modelle des menschlichen Verhaltens wie z.B. "Abends zwischen 19:00 und 20:00 Uhr ist die Wahrscheinlichkeit für das Einschalten des Fernsehers 90 %" sind jedoch nur begrenzt geeignet, realistische Lastprofile zu erzeugen, da menschliches Verhalten im Allgemeinen deutlich komplexer ist.

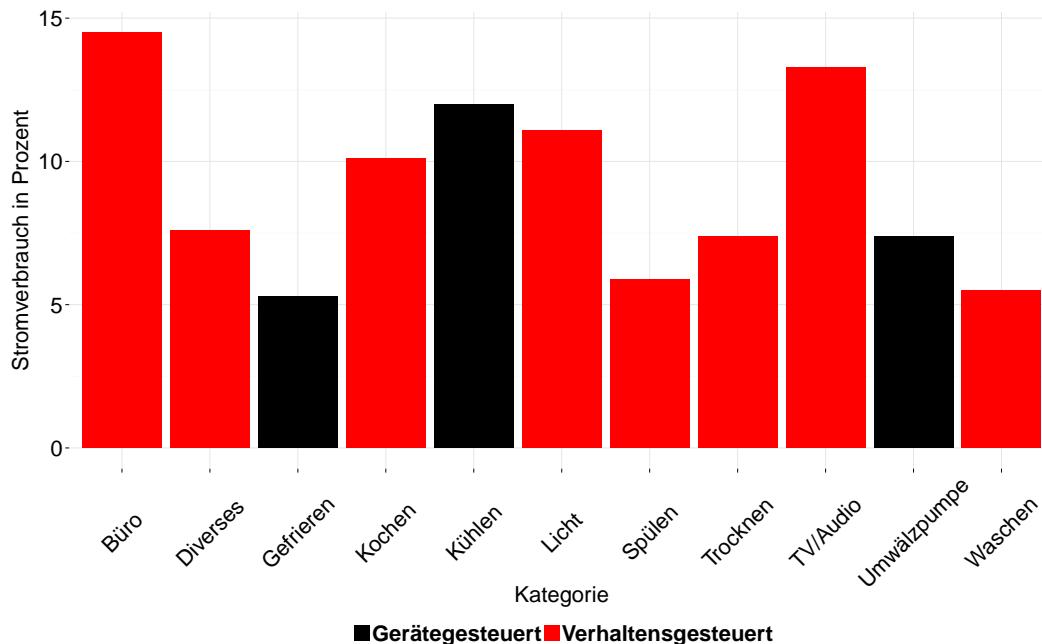


Abbildung 2.5: Aufteilung des Stromverbrauchs nach [10], zusätzliche eigene Einteilung nach *Verhaltensgesteuert* (von den Bewohnern) oder *Gerätegesteuert*

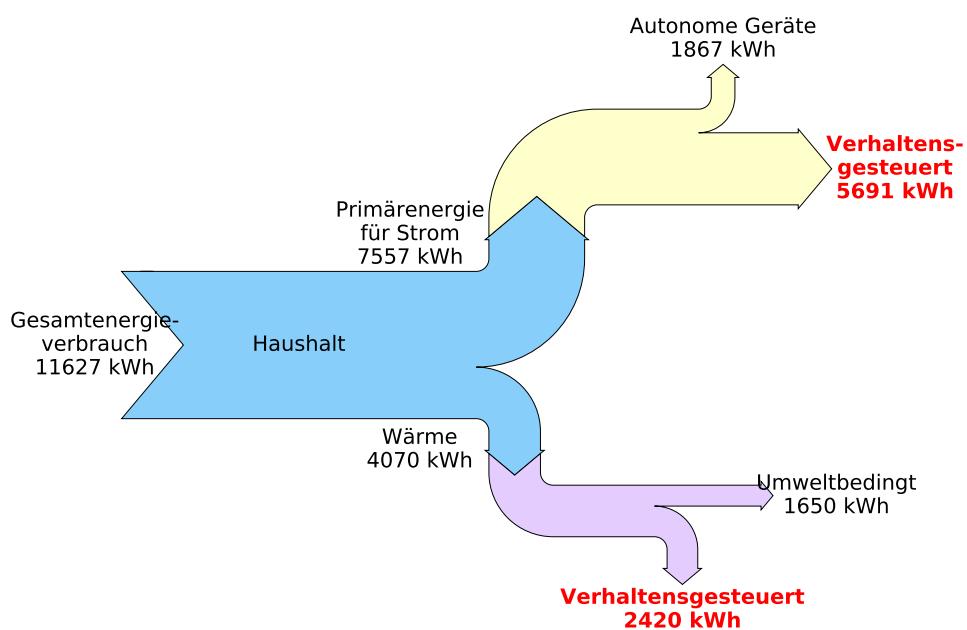


Abbildung 2.6: Darstellung des Primärenergieverbrauchs für ein Passivhaus, Fokus der Arbeit in roter Schrift, nach [8] und eigene Berechnungen

Die im nächsten Kapitel beschriebenen Ansätze anderer Lastprofilgeneratoren mit Markov-Ketten, Availability-Funktionen und Proclivity-Funktionen haben alle das Ziel, das Verhalten besser zu beschreiben. Da Menschen, von einzelnen Ausnahmen abgesehen [11], basierend auf Bedürfnissen, der Vorgeschichte und rationalen Entscheidungen agieren, sind wahrscheinlichkeitsbasierte Ansätze ohne Beachtung von vorhandener Kausalität grundsätzlich problematisch, wenn es um die Beschreibung eines einzelnen, konkreten Haushalts geht.

Die anhaltende Popularität des Wahrscheinlichkeitansatzes für die Generierung der Lastprofile eines konkreten Haushalts beruht dabei möglicherweise zumindest teilweise auf einem Modellierungsfehler, der an folgendem Beispiel dargestellt werden soll: Gegeben seien 100 Haushalte. Davon sind 80 Haushalte Büroarbeiter, welche zwischen 7:00 und 8:00 Uhr frühstücken. 20 Haushalte arbeiten in der Spätschicht und frühstücken zwischen 9:00 und 10:00 Uhr. Wenn man nun einen Haushalt zufällig auswählt und prüft, welche Aktivität die Bewohner um 7:30 ausführen, dann hat man eine 80 % Chance, auf frühstückende Bewohner zu stoßen. Die in vielen Lastprofilgeneratoren getroffene, aber grundlegend falsche Annahme ist, dass aus diesen Daten folgt, dass für Modellierung eines bestimmten Haushalts eine Wahrscheinlichkeit von 80 % für ein Frühstück zwischen 7:00 und 8:00 Uhr angenommen werden kann. Stattdessen ist die Wahrscheinlichkeit bei der Modellierung eines Büroarbeiter-Haushalts 100 % und bei der Modellierung eines Spätschichttarbeiter-Haushalts 0 %. Man muss also für jede Art von signifikant unterschiedlichem Verhaltensmuster eine getrennte Wahrscheinlichkeitsverteilung hinterlegen. Wenn man diesen Ansatz allerdings bis zum Ende verfolgt, endet man mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die so fein unterteilt sind, dass sie nur auf eine einzelne Person zu treffen, also z.B. für "Schichtarbeiter, die keinen Fernseher haben, viel mit dem Handy spielen, kein Frühstück essen und Dienstags in Fitnessstudio gehen". Anders ausgedrückt: Je mehr Haushalte genutzt werden, um die Wahrscheinlichkeitsverteilung zu generieren, desto weniger trifft sie auf den einzelnen Haushalt zu. Das schränkt den Wert der Methode für die Modellierung einzelner Haushalte doch stark ein.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Verbesserung der Modellierung des direkt vom menschlichen Verhalten verursachten Verbrauchs durch die Simulation eben dieses Verhaltens. Um allerdings einen einsetzbaren Lastprofilgenerator für die in der Einleitung beschriebenen Anwendungsfälle zu erhalten, müssen

alle Verbrauchsarten abgebildet werden. Als Grundlage für den in dieser Arbeit zu entwickelnden Lastprofilgenerator werden die folgenden Ansätze verwendet:

- Die Modellierung der autonomen Geräte ist relativ trivial und wird im Wesentlichen abgedeckt über ein Aneinanderhängen von gerätespezifischen Messdaten.
- Für die Haushaltsinfrastruktur, d.h. hauptsächlich die Raumwärme, liegen bereits sehr ausgereifte Modelle und ausgereifte Simulationsumgebungen vor. In den bLPG wird daher nur ein stark vereinfachtes Modell integriert, um für einfache Fälle Näherungsrechnungen durchführen zu können, ohne auf ein zusätzliches Programm zurückgreifen zu müssen.
- Für den Fokus der Arbeit, also die Modellierung des direkt vom menschlichen Verhalten verursachten Verbrauchs wird als Grundlage ein Modell aus der Psychologie verwendet, welches für den Anwendungszweck angepasst wird.

Aus Gründen des Umfangs erfolgte dabei eine Beschränkung auf aktuelle Lastprofile. Die Elektromobilität wurde bewußt ausgeklammert, da hierfür eine vollständige Modellierung aller zurückgelegten Wege der Bewohner und der Verkehrsmittel notwendig gewesen wären.

Zur Abgrenzung des bLPG wird im nächsten Kapitel zunächst ein Überblick über den Stand der Technik bei Lastprofilgeneratoren, bei der Hausinfrastruktursimulation und bei den Verhaltensmodellen gegeben.



# Kapitel 3

## Wissensstand

Um darzustellen, warum es einen Bedarf für den bLPG gibt und welche Einschränkungen die bisherigen Lösungen haben, sollen im Folgenden zunächst einige ausgewählte fertige Lastprofile vorgestellt werden. Aufgrund der begrenzten Flexibilität der vorliegenden vordefinierten Lastprofile wurden Lastprofilgeneratoren erfunden. Es gibt dabei schon viele verschiedene Ansätze, was die Relevanz des Themas deutlich zeigt. Nach den Lastprofilen wird dann eine Auswahl von verschiedenen Lastprofilgeneratoren vorgestellt, um die Unterschiede zwischen dem hier zu entwickelnden bLPG und den existierenden Lastprofilgeneratoren zu zeigen.

### 3.1 Lastprofile

Andere Namen für „Lastprofil“ sind „Lastkurve“, „Bedarfslastgang“ oder für Wasser „Zapfprofil“. Wie beschrieben, enthalten Lastprofile für den Energieverbrauch in jedem Zeitschritt einen Verbrauchswert. Im Haushaltsbereich gibt es Lastprofile für z.B. Strom, Warmwasser-, Kaltwasser- oder Gasverbrauch. Ein wichtiges Kriterium für das Lastprofil ist die Menge der betrachteten Verbraucher. Durch die Mittelung der Verbräuche ergeben sich völlig andere Lastprofile für größere Verbrauchergruppen als für einzelne Verbraucher. Ein Beispiel für zwei verschiedene Typen von Lastprofilen ist in Abb. 3.1 dargestellt.

Es gibt viele vordefinierte Lastprofile für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle. Im Folgenden sollen vier Beispiele vorgestellt werden, welche für vier verschiedene Anwendungsfälle gedacht sind. Es handelt sich dabei um:

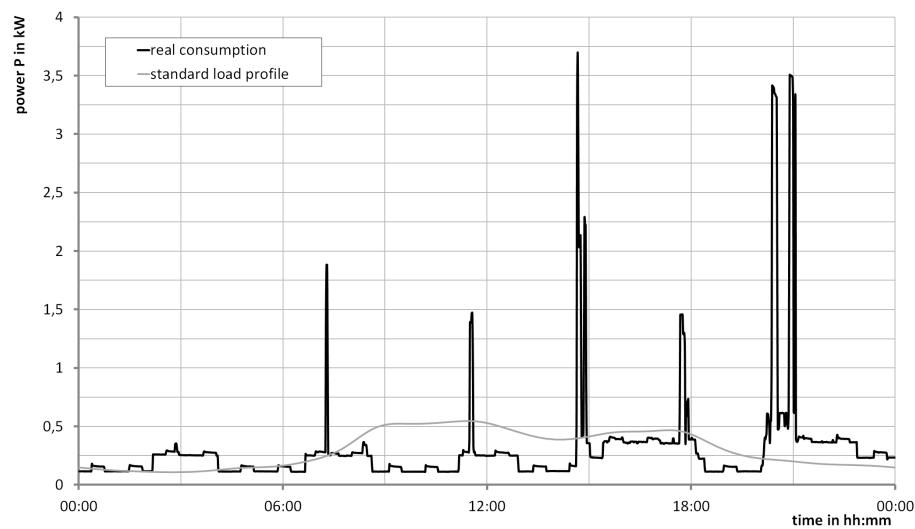


Abbildung 3.1: Vergleich eines Tageslastgangs für einen Haushalt aus einem Standardlastprofil mit einem real gemessenen Tageslastgang aus [12]

- VDEW-Standardlastprofile für Elektrizität für Energieversorger,
- VDI 4655 “Referenzlastprofile für Ein- und Mehrfamilienhäuser für den Einsatz von KWK-Anlagen”,
- European and Canadian non-HVAC Electric and DHW Load Profiles for use in Simulating the Performance of Residential Cogeneration Systems,
- BDEW Standardlastprofile Gas.

### 3.1.1 VDEW-Standard-Lastprofile

Die am weitesten verbreiteten Lastprofile sind die vom Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) herausgegebenen Standardlastprofile für Elektrizität [13]. Hierbei wurden die elektrischen Tarifkunden in sieben Tarifgruppen gegliedert. Dann wurde für eine repräsentative Anzahl jeder dieser Kundengruppen Messungen durchgeführt und dann ein mittleres Tagesprofil für Winter, Sommer und die Übergangszeit jeweils für einen Werktag, Samstag und Sonntag gebildet. Abb. 3.2 zeigt das Profil für Privathaushalte. Die zeitliche Auflösung für die Profile ist 15 min.

Für die Anwendung müssen die Profile “ausgerollt” werden. Dabei wird z.B. in Excel ein Kalender für das ganze Jahr erstellt und dann jedem Tag die entsprechende Tageskurve zugeordnet. Dabei gilt das Winterprofil vom 1.11. bis zum 20.3., das Sommerprofil vom 15.5. bis zum 14.9. und den Rest

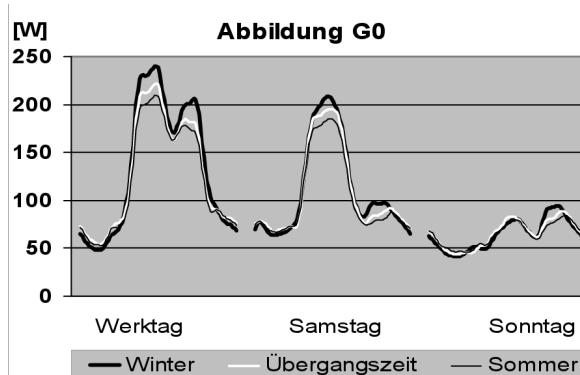


Abbildung 3.2: Profil für Haushalte mit dem Code “G0” aus [13]

der Zeit das Übergangsprofil. Zusätzlich wird noch eine Dynamisierung (vgl. Abb. 3.3) vorgenommen, um den schwankenden Verbrauch über das Jahr abzubilden. Dabei werden die einzelnen Tagesprofile mit einem bestimmten Wert multipliziert.

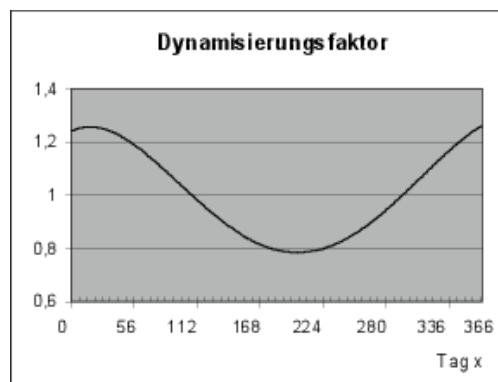


Abbildung 3.3: Dynamisierungskurve für das Kalenderjahr aus [13]

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**

Von vielen Energieversorgern genutzt zur Prognose der Stromlast der Klein-Kunden, d.h. bis zu einem Verbrauch von ca. 100.000 kWh/a

- **Vorteile**

- Implementierung ist sehr einfach.
- Weite Verbreitung.
- Für sehr große Kundenzahlen im Millionenbereich sind die Ergebnisse hinreichend gut.

- **Nachteile**

- Herkunft aus einer Messung in Westdeutschland von 1986/87.
- Allerdings ist in der Anwendung bei kleineren Haushaltszahlen, d.h. weniger als einige Tausend, problematisch.
- In Ostdeutschland liegen teilweise andere Nutzungsmuster vor, weil sich z.B. die typische Frühstückszeit unterscheidet [14].
- Während der letzten 25 Jahren haben sich die Aktivitäten insgesamt gewandelt durch die zunehmende Verbreitung von Elektronik in den Haushalten, andere Ladensöffnungszeiten und ähnliches.
- Zuordnung der Gewerbekunden zu den Profilen häufig nicht eindeutig.

### **3.1.2 Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen (VDI 4655)**

Der Anwendungsbereich für die Lastprofile aus der VDI 4655 [15] ist wie folgt definiert: "Diese Richtlinie findet Anwendung für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) für den Einsatz in Wohngebäuden mit einer Brennstoffleistung bis 70 kW (bezogen auf den Heizwert). Der Geltungsbereich erstreckt sich bei Einfamilienhäusern auf eine maximale Personenzahl von 12 Personen und bei Mehrfamilienhäusern auf bis zu 40 Wohneinheiten."

Die Richtlinie bietet mit Referenzlastprofilen Grundlagen und ein Instrumentarium für die Auslegung von Heizungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung in Wohngebäuden und ihrer Wirtschaftlichkeitsberechnung. Hieraus können Prüfbedingungen für die Ermittlung des Nutzungsgrades, Auslegungskriterien und Verfahren zum Testen abgeleitet werden. Ebenso kann diese Richtlinie für Simulationen und Auslegungsberechnungen herangezogen werden. Betriebszeiten und Betriebszyklen lassen sich zur Bestimmung von Lebensdauer und Wartungsintervallen nutzen."

Die Anwendung erfolgt, indem einzelne Typtage auf das Jahr verteilt werden. Die definierten Typtage sind in Abb. 3.4 dargestellt. Diese werden mit Korrekturfaktoren für die Region, die Jahreszeit sowie die Einwohnerzahl im Gebäude versehen und dann aneinandergehängt. Zusätzlich sind noch Urlaubstage definiert. Die Auflösung ist 1 min.

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**

Auslegung von KWK-Anlagen

Tabelle 1. Systematik der Typtagkategorien

Jahreszeit	Werktag W		Sonntag S	
	Heiter H	Bewölkt B	Heiter H	Bewölkt B
Übergang Ü	ÜWH	ÜWB	ÜSH	ÜSB
Sommer S	SWX		SSX	
Winter W	WWH	WWB	WSH	WSB

Abbildung 3.4: In VDI 4655 definierte Typtage aus [15]

- **Vorteile**

- Implementierung ist einfach.
- Standardisierte, rechtssichere Methodik für Auslegungen.

- **Nachteile**

- Keine stochastischen Schwankungen.
- Nur ein Profil, keine Berücksichtigung verschiedener Lebensstile.
- Begrenzte Maximalleistung.
- Erwerb der VDI-Norm notwendig.

### 3.1.3 BDEW-Standardlastprofile Gas

Der vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) herausgegebene Leitfaden “Abwicklung von Standardlastprofilen Gas” [16] beschreibt die Standardlastprofile für Gas . Diese Profile wurden an der TU München entwickelt. Generell existieren zwei Anwendungsbereiche für Gas im Gebäudebereich: Raumwärme und Prozesswärme wie z.B. für die Warmwasserbereitung oder das Kochen. Der Raumwärmeverbrauch ist hauptsächlich abhängig von der Außentemperatur, während der Prozesswärmeverbrauch hauptsächlich von der Aktivität der Bewohner abhängt. Je nach Verbraucher ergibt sich somit eine andere Temperaturabhängigkeit. In Abb. 3.5 sind Temperaturabhängigkeiten verschiedener Verbrauchertypen dargestellt. Hier sieht man deutlich die von der TU München für die Modellierung gewählte Sigmoid-Funktion.

Die Gasprofile werden zum einen für die Prognose und Beschaffung, zum anderen für die Abrechnung benutzt. Für die Prognose wird täglich mit dem Wetterbericht der Verbrauch der nächsten Tage berechnet. Für die Abrechnung wird basierend auf den Temperaturen der letzten Tage und den Verbräuchen der Kunden in der Vergangenheit berechnet, wie hoch der Verbrauch am jeweiligen Tag war. Das ist z.B. für unterjährige Tarifwechsel relevant.

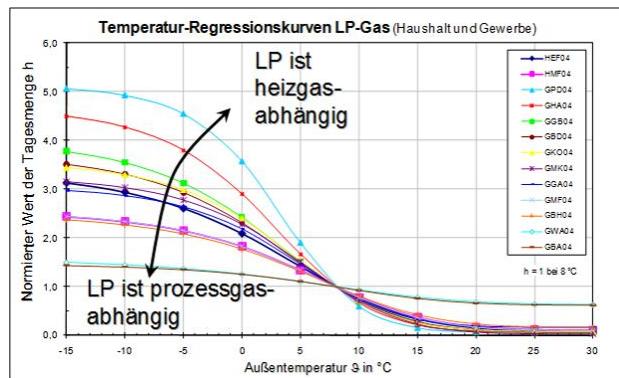


Abbildung 3.5: An der TU München erstellte Temperatur-Regressionskurven für das BDEW-Standardlastprofil Gas aus [16]

Ein Problem ist, dass in der Realität der Energieverbrauch auch bei der gleichen Tagesaußentemperatur noch von einer Reihe von anderen Faktoren abhängt, wie z.B. Sonnenscheindauer, Luftfeuchtigkeit, Temperaturen der letzten Tage, der Bausubstanz der beheizten Fläche u.v.m. Abb. 3.6 zeigt die diesbezüglichen Auswirkungen. So kann zum Beispiel bei 10 °C der Energieverbrauch der Stadt pro Tag bei 6 GWh oder auch bei 15 GWh liegen.

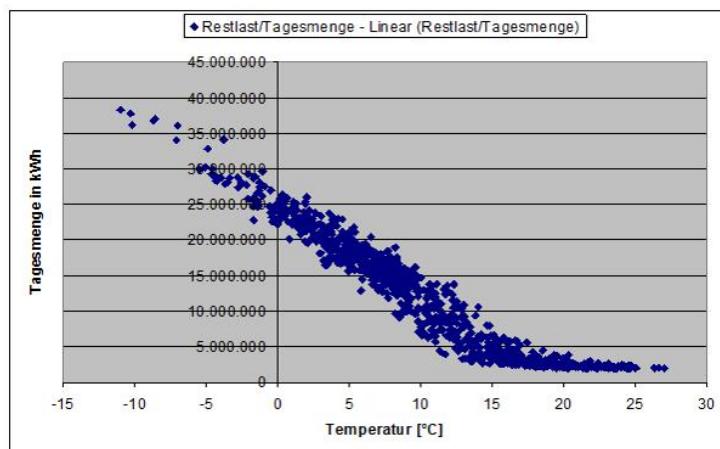


Abbildung 3.6: Scatterplot des Tagesverbrauchs über die Tagestemperatur in kWh mit sichtbaren starken Schwankungen aus [16]

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**

Einsatz bei Energieversorgern zur Prognose und unterjährigen Abrechnung.

- **Vorteile**

- Implementierung ist einfach.

- Standardisiert und rechtssicher.
- **Nachteile**
  - Sigmoid-Funktion deckt die Realität nur begrenzt ab.
  - Das Modell ist zu einfach für gute Ergebnisse. Weitere Einflussfaktoren wären notwendig.
  - Zuordnung der Kunden zu den Profilen ist nicht immer eindeutig.

### 3.1.4 IEA Annex 42 Lastkurven

Von der International Energy Agency (IEA) wurden 2007 im Annex 42 Lastkurven für die Simulation von MikroKWK-Anlagen erarbeitet [17]. Da sich das Verbrauchsverhalten von Kanadiern und Europäern stark unterscheidet, wurden zwei unterschiedliche Lastkurven publiziert. Für die europäischen Lastkurven wurden dabei von den Partnern verschiedene Lastkurven zur Verfügung gestellt. Diese wurden verglichen und schlussendlich wurden Lastkurven aus 69 britischen Sozialwohnungen ausgewählt, da die im Annex 42 durchgeföhrten Analysen ergaben, dass diese für das Datenmaterial im Annex repräsentativ waren. Dann wurden aus diesen Kurven durchschnittliche Verbrauchskurven getrennt nach Wochentag/Wochenende und Jahreszeit berechnet. Diese sind dargestellt in Abb. 3.7 und Abb. 3.8. Für die kanadischen Lastkurven wurde ein stochastischer Lastprofilgenerator eingesetzt, welcher im Kapitel Lastprofilgeneratoren noch genauer beschrieben wird. Die Lastprofile haben eine Auflösung von 5 min.



Abbildung 3.7: Verlauf der IEA-Lastprofile an Wochentagen aus [17]

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:



Abbildung 3.8: Verlauf der IEA-Lastprofile an Wochenenden aus [17]

- **Einsatzzweck**

Simulation von MikroKWK-Anlagen im Forschungsumfeld.

- **Vorteile**

- Einfach zu Jahresprofilen zusammensetzbar.
- Kostenlos zugänglich.
- Erhöht die Vergleichbarkeit von Forschung an MikroKWK-Anlagen

- **Nachteile**

- Die Annahme, dass britische Sozialwohnungen repräsentativ für ganz Europa sind, scheint gewagt.
- Nur 5 min Auflösung.
- Für andere Anwendungen begrenzt geeignet.

## 3.2 Lastprofilgeneratoren

Im letzten Abschnitt wurden einige standardisierte Lastprofile vorgestellt. Eine Alternative dazu ist die Verwendung von Messdaten, falls diese vorliegen. Beiden Methoden ist allerdings gemeinsam, dass vordefinierte Lastprofile per Definition nicht variierbar sind. Wenn z.B. für 100 unterschiedliche Haushalte 100 unterschiedliche Lastprofile benötigt werden, bleibt meist nur der Griff zu einem Lastprofilgenerator. Auch kann nur mit einem Lastprofilgenerator berechnet werden, wie sich ein Lastprofil bei einer Änderung der Ausgangsbedingungen verhält.

Da es verschiedene Methoden als Grundlage für Lastprofilgeneratoren gibt, können je nach Methode verschiedene Ausgangsbedingungen untersucht werden. Mit einem Lastprofilgenerator, der die einzelnen Geräte simuliert, kann z.B. die Auswirkung auf das durchschnittliche Haushaltsprofil untersucht werden, wenn alle Glühlampen durch Energiesparlampen ausgetauscht werden. Ein verhaltensbasierter Ansatz kann Prognosen abgeben, wie Änderungen des Benutzerverhalten den Energieverbrauch beeinflussen, also z.B. beim Wechsel von Büroarbeit zu Schichtarbeit. Mit einem stochastischen Ansatz mit Wettereinflussfaktoren können Prognosen erstellt werden, wie sich z.B. der Klimawandel auf den Energieverbrauch auswirkt.

Lastprofilgeneratoren werden also eingesetzt, wenn standardisierte Lastprofile nicht anwendbar und keine Messdaten verfügbar sind. Die Gründe für fehlende Messdaten können vielfältig sein, z.B.:

- Die benötigte Messwerterfassung ist zu teuer.
- Die Situation existiert (noch) nicht.
- Aus Datenschutzgründen sind die Daten nicht zugänglich.

### 3.2.1 Methoden

In [18] wird eine Einteilung von Lastprofilgeneratoren vorgenommen. Eine grundlegende Unterscheidung liefert die Einteilung in einen Bottom-Up- oder Top-Down-Ansatz: Bei einem Top-Down-Ansatz verwendet man ein gemessenes Summenprofil und versucht, mit verschiedenen Methoden Lastprofile für einzelne Kunden zu erstellen, also das Summenprofil zu disaggregieren. Mit einem

Bottom-Up-Ansatz hingegen beginnt man z.B. mit den einzelnen Geräten und versucht, mit verschiedenen Methoden die Ein- und Ausschaltvorgänge der Geräte in den einzelnen Haushalten so anzugeordnen, dass beim Aufaddieren der Profile ein reales Summenlastprofil zustande kommt (Abb. 3.9).

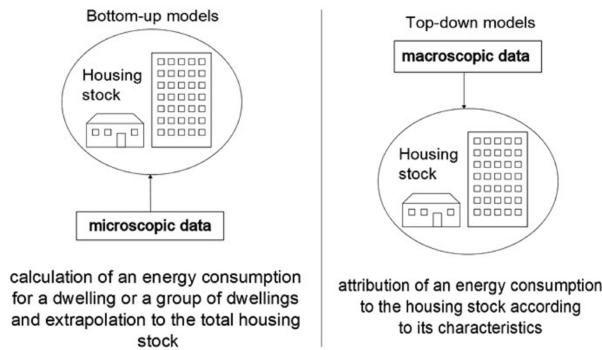


Abbildung 3.9: Prinzipiendarstellung für Bottom-Up- und Top-Down-Methoden [19]

Eine zweite Art der Einteilung ist die Methodik. Einige der Methoden sind:

- stochastisch, d.h. basierend auf Einschalthäufigkeiten von Geräten,
- Markovketten, d.h. abhängige Wahrscheinlichkeiten, wie z.B. 50 % Wahrscheinlichkeit für das Einschalten des Wäschetrockners, nachdem die Waschmaschine fertig ist,
- verhaltensbasiert, d.h., das Energieverbrauchsprofil wird aus dem Verhalten der Bewohner errechnet.

### 3.2.2 Auswahl der Beispiele

Es gibt viele Einsatzzwecke für Lastprofilgeneratoren und je nach Einsatzzweck des Lastprofils wird eine andere Methodik gewählt. Es gibt daher seit vielen Jahren jedes Jahr einige neue Lastprofilgeneratoren. Da die Autoren im Allgemeinen aber leider maximal eine Beschreibung des Algorithmus veröffentlichen und die Software nicht zugänglich machen, entstehen viele Doppelungen, da jeder das Rad von neuem erfindet. Der hier entwickelte bLPG wurde deshalb übrigens zur Vermeidung dieses Problems schon ab Version 1.0 kostenlos im Internet zur Verfügung gestellt.

Da es problemlos möglich gewesen wäre, die gesamte Arbeit nur mit der Beschreibung von anderen Lastprofilgeneratoren zu füllen, musste eine Auswahl getroffen werden, welche Lastprofilgeneratoren hier vorgestellt werden sollen, um einen kurzen Überblick über den Stand der Technik zu geben. Die gewählten Kriterien sind in Abb. 3.10 dargestellt. Somit sollte ein guter Querschnitt durch den Stand der Technik gewährleistet sein.

Kategorie	Beschreibung	Modelle
Typisch	Zwei typische Beispiele basierend auf Wahrscheinlichkeitverteilungen	Stokes, IEA
Wasserverbrauch	Zwei verschiedene Ansätze für die Erstellung von Zapfprofilen	Jordan, NREL
Verhaltensorientiert	Stationen auf dem Weg zum verhaltensbasierten Lastprofilgenerator	Walker und Pokoski, Capasso, Widen, Richardson
Aktuell	Beispiele für den aktuellen Stand der Forschung in Deutschland	Metz, Fischer

Abbildung 3.10: Einordnung der vorgestellten Lastprofilgeneratoren

### 3.2.3 Lastprofilgenerator nach Stokes

Melody Stokes hat 2005 an der De Montfort University in Leicester als PhD-Thesis [20] einen sehr interessanten Ansatz für einen Lastprofilgenerator entwickelt. Sie hat dazu den Top-Down- und den Bottom-Up-Ansatz im selben Modell kombiniert. Dabei ging sie zuerst von gemittelten Lastprofilen wie z.B. von einer Trafostation aus. Dazu nahm sie die Jahressumme des Einzelhaushalts, einige statistische Annahmen über die vorhandenen Geräte aus Umfragen und gemessene Geräteprofile. Die gemittelte Summenkurve aller Haushalt skalierte sie dann auf den einzelnen Haushalt und teilte sie anteilig auf die einzelnen Geräte auf, also z.B. am Tag 1.1. verbrauchte der Kühlschrank zwischen 18:00 und 19:00 0,005 kWh.

Daraus generierte sie dann Wahrscheinlichkeiten für das Einschalten der einzelnen Geräte. Die Wahrscheinlichkeiten wurden genutzt, um die einzelnen, gemessenen Geräteprofile zu verteilen. Somit entstanden realistische Profile für einzelne Haushalte in einer Auflösung von 1 min, welche dann aufsummiert wieder genau das Summenprofil ergeben. Diese Profile sind allerdings nur geeignet für existierende Kunden und können z.B. Verhaltensänderungen nicht abbilden. Abb. 3.11 stellt ein Blockdiagramm des Vorgehens von M. Stokes dar und in Abb. 3.12 ist ein Ausschnitt ihrer Resultate zu sehen.

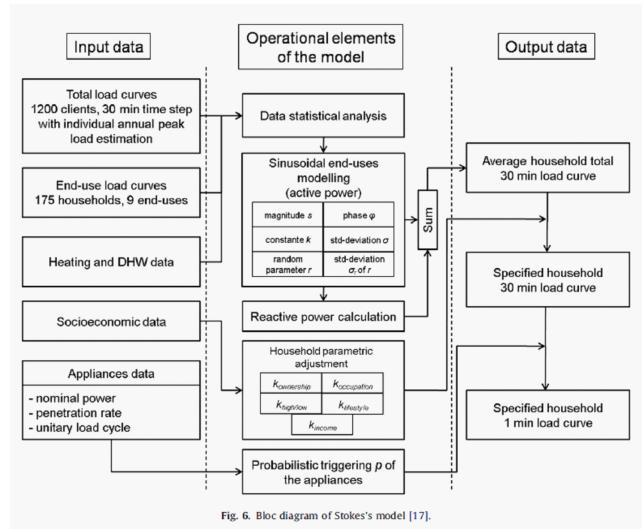


Abbildung 3.11: Blockdiagramm der Vorgehensweise von M. Stokes aus [19]

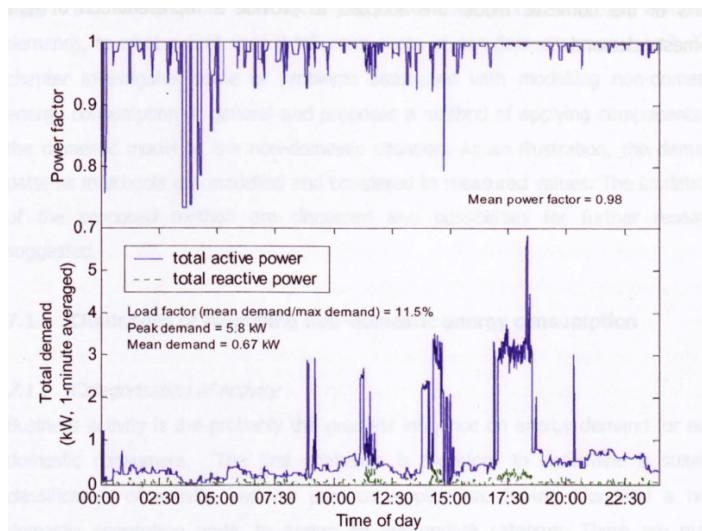


Abbildung 3.12: Ergebnisse von M. Stokes aus [20]

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**  
Forschung in Niederspannungsnetzen
- **Vorteile**
  - Die Aufsummierung der Einzelprofile ergibt genau das gemessene Summenprofil.
  - Hohe zeitliche Auflösung.
  - Gute Dokumentation und Validierung.
- **Nachteile**
  - Realismus der Geräteaktivierungen ist schwer zu beurteilen.
  - Keine Möglichkeit vorhanden, z.B. unterschiedliche Arbeitszeitmodelle zu untersuchen.
  - Nicht frei verfügbar.

### 3.2.4 Lastprofilgenerator nach IEA Annex 42

Hierbei handelt es sich um den bereits in Abschnitt 3.1.4 erwähnten Lastprofilgenerator. Dieser erstellt Haushaltslastprofile in 5 min Auflösung basierend auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das Einschalten von Geräten. Für die einzelnen Geräte sind Lastprofile hinterlegt. Dazu gibt es Anwesenheitswahrscheinlichkeiten für die Hausbewohner und einen Jahreszielverbrauch. Die Lastprofile sind basierend auf drei verschiedenen Szenarien ausgelegt (niedriger, mittlerer und hoher Verbrauch). Validiert wurde mit kanadischen Messdaten. Abb. 3.13 zeigt eine der vordefinierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**  
Forschung für KWK-Anlagen
- **Vorteile**
  - Profile sind genau auf den Einsatzzweck abgestimmt.
- **Nachteile**
  - Nur 5 min Auflösung.
  - Nur drei Szenarien.
  - Bei Änderungen sind Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu beschaffen.

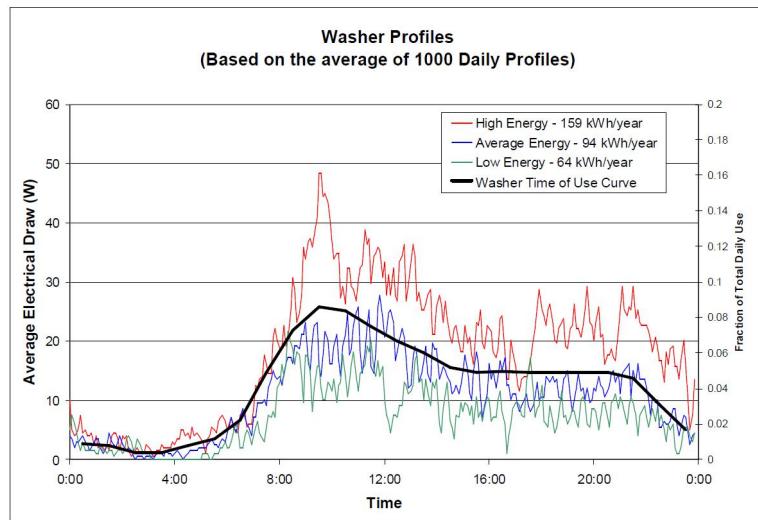


Abbildung 3.13: Beispiel für die vordefinierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen basierend auf einer Time-Of-Use-Kurve für Waschmaschinen in kanadischen Haushalten aus [21]

### 3.2.5 Lastprofilgenerator nach Jordan

DHWCalc wurde für den IEA-SHC-Task 26 [22] im Jahre 2004 entwickelt. Es handelt sich um ein frei verfügbares Windows-Programm, welches eine CSV-Datei mit Zapfprofilen erstellt.

Dafür wurden aus Untersuchungen Wahrscheinlichkeitsverteilungen für verschiedene Zapfvorgänge (Duschen, Baden, Händewaschen) ermittelt (Abb. 3.14). Diese Wahrscheinlichkeitsverteilungen wurden dann mit einer Jahresdynamisierungskurve ähnlich den Standardlastprofilen über das Jahr justiert. Dann wurden die Zapfereignisse zufällig verteilt und das Ganze auf den gewünschten Jahresverbrauch abgestimmt. Das Ergebnis sind CSV-Dateien in 1 min- oder 6 min-Auflösung. Zusätzlich sind noch sehr viele Parameter und die Wahrscheinlichkeitsverteilungen frei einstellbar. Ein Screenshot des Programms ist in Abb. 3.15 dargestellt. Die Einfachheit des Modells beschränkt die Vorhersagekraft. Außerdem werden nur Warmwasserprofile nachgebildet.

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**  
Forschung für Warmwasserbereitungsanlagen aller Art.
- **Vorteile**
  - Windows-Programm, frei verfügbar.

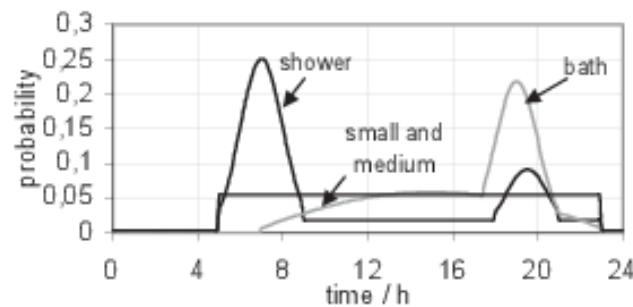


Abbildung 3.14: Wahrscheinlichkeitsverteilungen für verschiedene Zapfvorgänge aus [22]

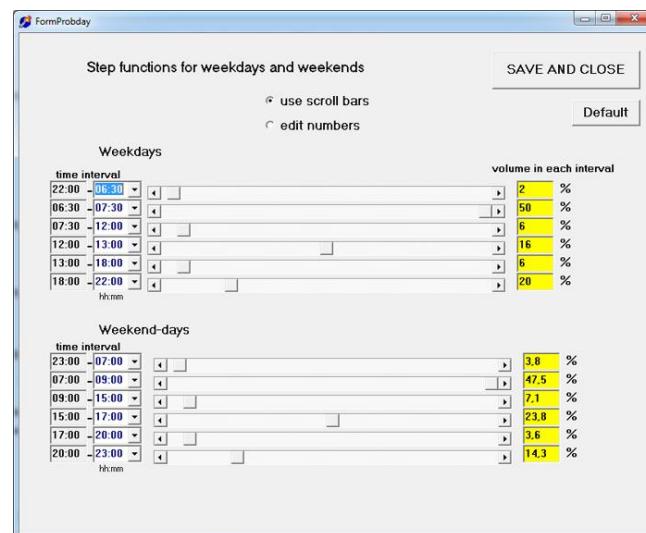


Abbildung 3.15: Screenshot des Programms DHWCalc aus [22]

- Frei konfigurierbar.
- Nachteile
  - Sehr einfaches Modell.
  - Nur Warmwasserverbrauchsprofile.
  - Kein Verhaltensmodell, sondern rein zufällige Verteilung.

### 3.2.6 Lastprofilgenerator nach NREL

Das in [23] beschriebene Werkzeug ist eine 65 MB-Exceldatei, welches Warmwasserverbrauchsprofile jeweils für ein ganzes Jahr erstellen kann. Dabei wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, dass die Startzeiten, Dauer und Flussraten der Zapfvorgänge, das Clustering sowie die Zuordnung zu den Zapfstellen möglichst realitätsnah waren. Auch wurden Urlaubsperioden und Jahreszeiten berücksichtigt. Die zeitliche Auflösung ist variabel. Der Ansatz basiert auf einer Definition der Wahrscheinlichkeitsverteilung der einzelnen Zapfergebnisse, und zeigt die üblichen damit verbundenen Probleme, wie z.B. ein gelegentliches nächtliches Geschirrspülen. Abb. 3.16 zeigt einen Screenshot des Hauptbildschirms.

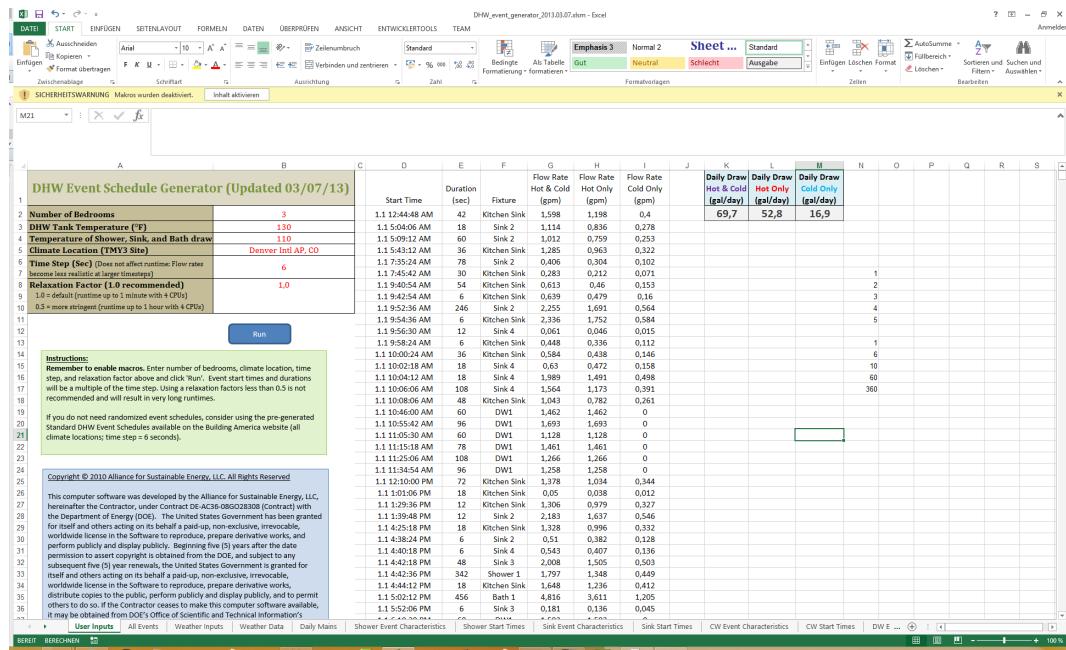


Abbildung 3.16: Screenshot des Hauptbildschirms des NREL-Tools aus [23]

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**

Forschung zu amerikanischen Warmwasserverbrauchsprofilen.

- **Vorteile**

- Frei verfügbare Exceldatei.
- Formeln in Excel überprüfbar.
- Gut dokumentiert.
- Validiert.

- **Nachteile**

- Nur Warmwasserverbrauchsprofile.
- Kein Verhaltensmodell, sondern rein zufällige Verteilung.

### 3.2.7 Lastprofilgenerator nach Walker und Pokoski

Das Modell von Walker und Pokoski [24] ist laut Quelle [19] der erste Lastprofilgenerator, welcher auf dem Gedanken der Simulation menschlicher Aktivitäten basierte. Da allerdings 1985 die Computer noch nicht sehr leistungsfähig waren, war auch der Lastprofilgenerator noch nicht sehr leistungsfähig. Die zeitliche Auflösung betrug nur 15 min. Um die einzelnen Aktivitäten zu beschreiben, wurde zunächst eine Verfügbarkeitswahrscheinlichkeitskurve definiert. Damit wurde für jeden Zeitschritt für jede Person im Haushalt bestimmt, ob diese anwesend und verfügbar für Aktivitäten ist. Zusätzlich gab es noch Geräte- und Aktivitäten-Wahrscheinlichkeiten, welche festlegen, ob eine bestimmte Aktivität zur Verfügung steht und wie hoch die Wahrscheinlichkeit der Ausführung ist. Aus Gründen der Einfachheit wurde nur eine einzige Verfügbarkeitswahrscheinlichkeitskurve hinterlegt. Die Probleme des Models sind die Herstellung und Kalibrierung der Wahrscheinlichkeitskurven und die realistische Abbildung einer größeren Bandbreite des menschlichen Verhaltens. Abb. 3.17 zeigt einen Ausschnitt von dem erzeugten und den Vergleich mit einem gemessenen Profil.

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**

Forschung

- **Vorteile**

- Erster Lastprofilgenerator mit dem Ansatz der Simulation menschlicher Aktivitäten.

- **Nachteile**

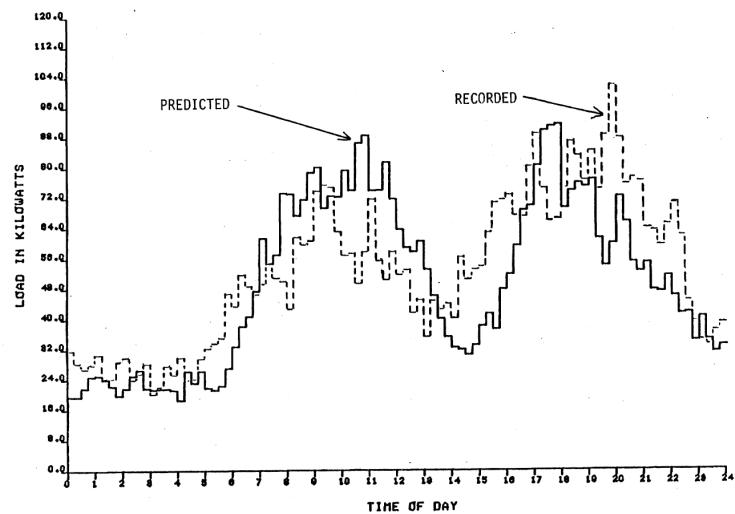


Abbildung 3.17: Auszug aus den Ergebnissen und Vergleich mit einem gemessenen Profil von Walker und Pokoski aus [24]

- Nur 15 min Auflösung.
- Kein Sourcecode o.ä. verfügbar.
- Setzt auf Wahrscheinlichkeitskurven für die einzelnen Geräte, welche erst berechnet werden müssen.
- Nur elektrische Verbrauchsprofile.

### 3.2.8 Lastprofilgenerator nach Capasso

Aufbauend auf der Arbeit von Walker und Pokoski [24] wurde das ARGOS-Modell von Capasso et al. für Italien entwickelt [25], [26]. ARGOS lieferte ebenfalls Profile mit einer zeitlichen Auflösung von 15 min. Ein großer Schritt vorwärts im Vergleich zu den Vorgängern war die Kategorisierung der Aktivitäten in Kochen, Hausarbeit, Entertainment und Hygiene und die über den Tag veränderlichen Grundwahrscheinlichkeiten der einzelnen Kategorien. Diese wurden überlagert mit einer Anwesenheits- und einer Ausführungswahrscheinlichkeit für jede Aktivität durch die Personen. Das Ziel der Entwicklung des Modells waren Untersuchungen zur Abschätzung des Demand-Side-Management-Potenzials. Hierzu wurde der Anteil der flexibel steuerbaren Haushaltsgeräte an den Spitzenlasten berechnet. Mit diesem Anteil konnte nun berechnet werden, wie viel Leistung durch Demand-Side-Management maximal verschoben werden kann und wie groß die Auswirkungen auf das Lastprofil sein werden. Abb. 3.18

zeigt einen Ausschnitt auf dem erzeugten Profil und den Vergleich mit einem gemessenen Profil, Abb. 3.19 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen.

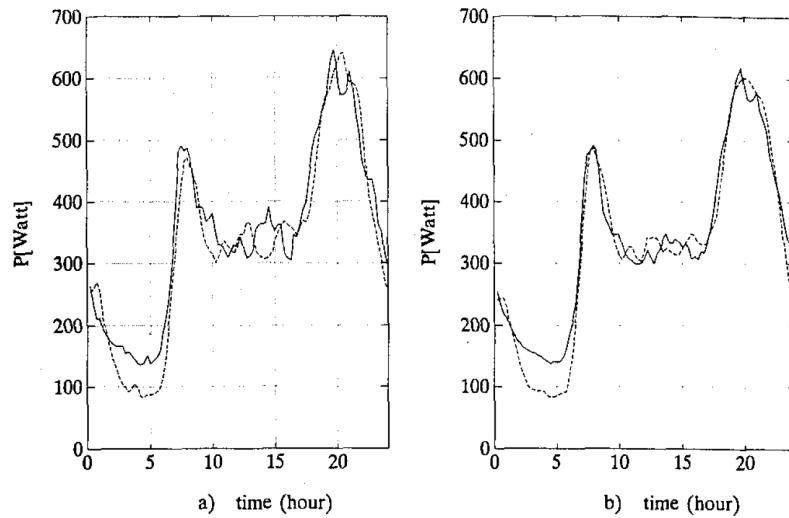


Abbildung 3.18: Auszug aus den Ergebnissen von Capasso und Vergleich mit einem gemessenen Profil, jeweils gemittelt aus [25]

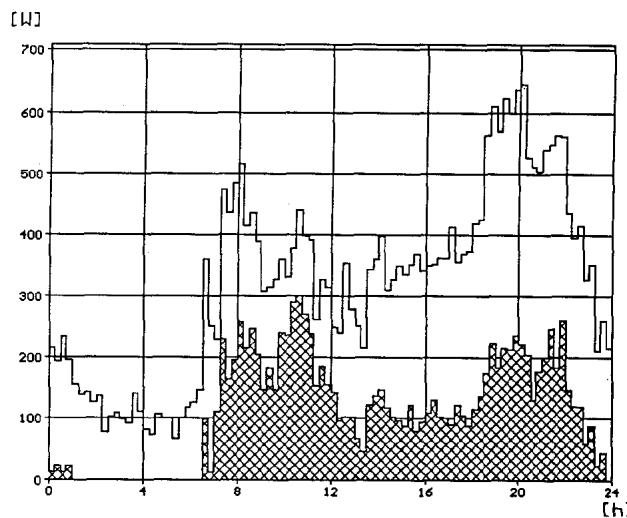


Abbildung 3.19: Ergebnisse der Berechnung des Anteils der flexibel steuerbaren Haushaltsgeräte nach Capasso aus [25]

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**  
Forschung zum Thema Demand Side Management in Italien
- **Vorteile**

- Kategorisierung der Aktivitäten führt zu besseren Profilen.
- Die Nutzung von Anwesenheitswahrscheinlichkeiten ist ein deutlicher Fortschritt.

- **Nachteile**

- Nur 15 min Auflösung.
- Kein Sourcecode oder Ergebnisse verfügbar.
- Setzt auf Wahrscheinlichkeitskurven für Geräte, welche erst berechnet werden müssen.
- Keine Abhängigkeiten wie z.B. dass der Trockner nur nach der Waschmaschine einzuschalten ist.
- Nur elektrische Verbrauchsprofile.
- Kein realistisches Verhalten der Bewohner.

### 3.2.9 Lastprofilgenerator nach Widen et al.

Von Widen et al. [27] wurde ein weiteres Modell vorgestellt, diesmal in Matlab und mit Daten für Schweden. Dieses Modell führt den Gedanken weiter, dass der Stromverbrauch direkt mit den Aktivitäten zusammenhängt. Daher wurden hier Wahrscheinlichkeitskurven für Aktivitäten und nicht für Geräteaktivierungen generiert. Als Datengrundlage wurde eine Time-Of-Use-Umfrage von 1996 verwendet. Aus diesen Daten wurden dann alle weiteren Wahrscheinlichkeiten errechnet. Dieses Modell war das erste, welches sowohl Stromverbrauchsprofile als auch Warmwasserverbrauchsdaten gleichzeitig erstellt. Ein Auszug der Ergebnisse ist in Abb. 3.20 dargestellt. Die Ergebnisse sind für diese konkrete Situation sehr gut. Aber die große Herausforderung des Modells ist, dass es sich nur auf Fälle anwenden lässt, in denen eine solche Time-Of-Use-Umfrage zur Verfügung steht. Die Flexibilität ist also wegen Datenmangels sehr gering.

Das Modell wurde dann noch weiterentwickelt [28]. Die zeitliche Auflösung wurde von 5 min auf 1 min verringert. Zusätzlich führten die Autoren Markov-Ketten für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen ein. Damit wurde der Zusammenhang zwischen Aktivitäten abgebildet. Zum Beispiel wird der Wäschetrockner nur benötigt, wenn vorher gewaschen wurde. Hierdurch kann das Verhalten besser abgebildet werden. Abb. 3.21 zeigt die Ergebnisse nach der Überarbeitung.

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

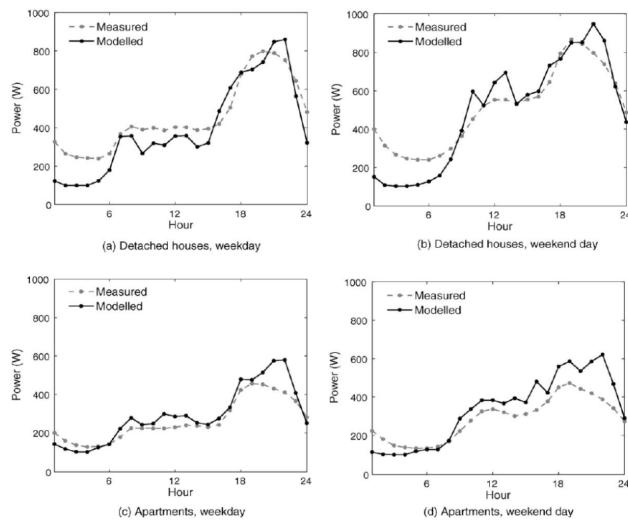


Abbildung 3.20: Darstellung eines gemittelten Hausprofils aus den Ergebnissen von Widen aus [27]

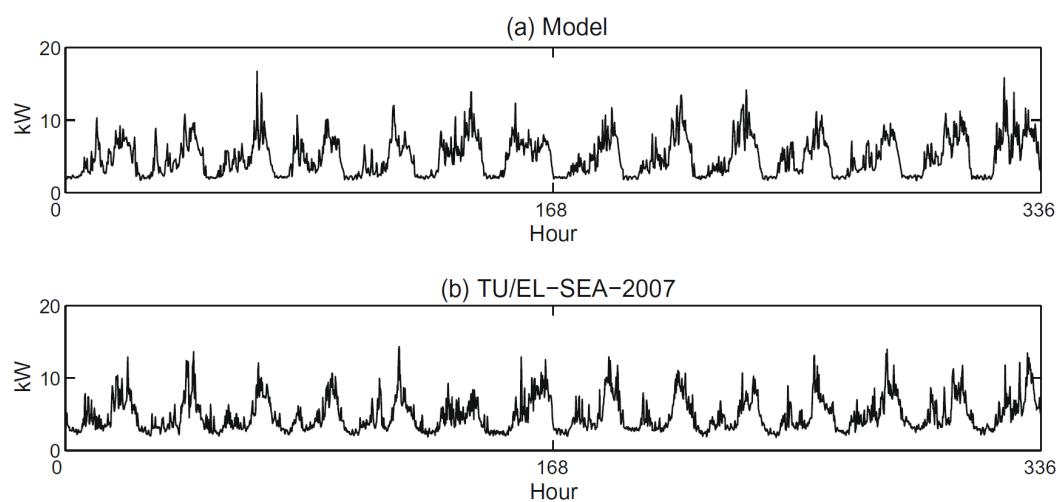


Abbildung 3.21: Auszug aus den Ergebnissen von Widen und Vergleich mit einem gemessenen Profil nach der Weiterentwicklung aus [28]

- **Einsatzzweck**

Forschung zu Niederspannungsnetzen in Schweden

- **Vorteile**

- Markov-Ketten für Verknüpfungen von Aktivitäten.
- Gute zeitliche Auflösung.
- Integration von Wasser- und Stromprofilen.

- **Nachteile**

- Kein Sourcecode oder Ergebnisse verfügbar.
- Setzt auf Wahrscheinlichkeitskurven, welche erst berechnet werden müssen.
- Datenbasis von 1996 ist kaum noch repräsentativ.
- Kein realistisches Verhalten der Bewohner.
- Erfordert Matlab.

### 3.2.10 Lastprofilgenerator nach Richardson

In [29] wird von Richardson ein weiteres hochaufgelöstes Modell für die Erstellung von Stromverbrauchsprofilen vorgestellt. Dieses Modell ist auf England zugeschnitten. Wichtige Unterschiede sind hier vor allem die weitere Erhöhung des Detailgrades der Anwesenheitsbedingung für den Energieverbrauch und die Abbildung des elektrischen Leistungsfaktors  $\cos \varphi$ . Allerdings bildet dieses Modell weder den Energieverbrauch für die Heizung noch den Warmwasserverbrauch ab. Es wurde validiert mit Messdaten von 22 Haushalten. Es ist als eines der wenigen Modelle online verfügbar und kann heruntergeladen und weiterverwendet werden. Abb. 3.22 zeigt die Ergebnisse der Validierung als Jahresschnittskurve.

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**

Forschung zum Thema Lastprofile in England.

- **Vorteile**

- Validiert mit 22 Haushalten.
- Gute zeitliche Auflösung.
- Bildet Blind- und Scheinleistung ab.

- **Nachteile**

- Rein elektrische Lastprofile.

- Setzt auf Wahrscheinlichkeitskurven, welche erst berechnet werden müssen.
- Kein realistisches Verhalten der Bewohner.

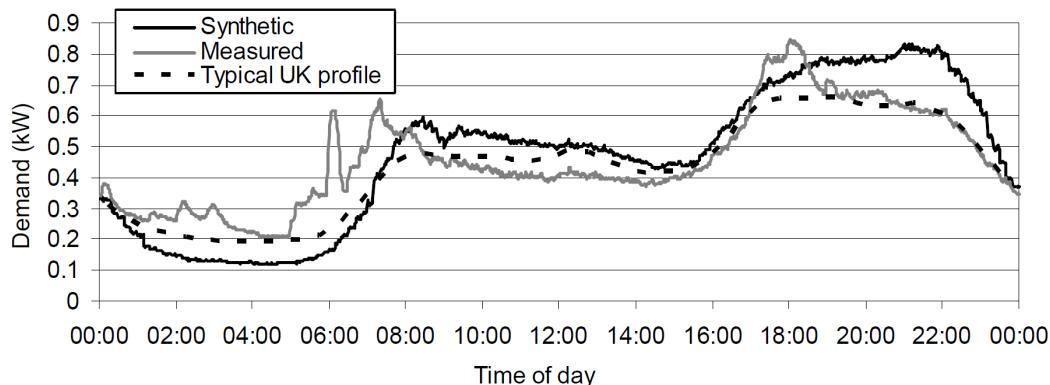


Abbildung 3.22: Vergleich der Ergebnisse von Richardson aus [29]

### 3.2.11 Lastprofilgenerator nach Metz

Metz stellt im Rahmen seiner Dissertation ein sehr gutes Modell für die Erzeugung von Lastprofilen vor [30]. Er benötigt sie für die Untersuchung der Netzflexibilität in Ortsnetzen und hat dazu das Konzept der “aktivitätsbasierten” Lastprofile entwickelt. Dazu hat er ca. 25 Haushaltsgeräte vermessen und die Time-of-Use-Daten des statistischen Bundesamts [31] verwendet, um Aktivitäten zu definieren. Den Aktivitäten wurden dann Geräteaktivierungen zugeordnet. Damit konnten dann Haushaltslastprofile generiert werden. Diese plausibilisierte er durch den Vergleich mit Summenlastkurven. Für die Geräteaktivierungen hat er eine Einteilung in prozessbestimmte Aktivierungen, nutzungsbestimmte Aktivierungen und Dauerbetrieb vorgenommen. Auch die Betriebszustände, Gerätetypen und Ausstattung wurden systematisiert. Die Haushaltsdefinitionen basieren auf statistischen Daten, u.a. aus [10]. Durch die sorgfältige Systematisierung ist es möglich, die Haushalte in unterschiedlichen, aber plausiblen Varianten automatisch zu erstellen. Als Programmierumgebung verwendet er Matlab. Die Schwächen des Modells sind die geringe Menge an gemessenen Profilen und die Schwierigkeiten bei der Modifikation der Profile, da dies neue Time-of-Use-Daten erfordern würde. Es ist zudem nicht beschrieben, wie die gemessenen Geräteprofile an Aktivitätsdauern angepasst werden.

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**

Forschung zum Thema Netzflexibilität in Deutschland.

- **Vorteile**

- Sehr systematisches Vorgehen.
- Gute Dokumentation.
- Basiert auf der deutschen Time-Of-Use-Studie von 2012

- **Nachteile**

- Rein elektrische Lastprofile.
- Geringe Menge an Geräteprofilen.
- Kein realistisches Verhalten der Bewohner.

### 3.2.12 Lastprofilgenerator nach Fischer

Eines der zurzeit besten Modelle stammt von Fischer [6] und wurde in [32] angewendet. Das Modell wurde am Fraunhofer ISE entwickelt und hat den Namen "SynPro". Die Besonderheiten des Modells sind, dass zum einen unterschiedliche Haushaltsgrößen explizit erwähnt sind und zum anderen sehr viel Aufwand in die Validierung gesteckt wurde. Dazu wurden die Rohdaten der letzten großen deutschen Time-Of-Use-Studie beschafft und damit Ausführungswahrscheinlichkeiten für jede Aktivität über den Tag verteilt berechnet. Zusätzlich wurden die Geräteverbräuche mit [10] abgeglichen. Für die Gerätekategorisierung wurden direkt genutzte Geräte, Finite-State-Geräte und ständig laufende Geräte definiert. Als Geräteprofile wurden Messdaten der TU Darmstadt verwendet [33]. Abb. 3.23 zeigt die Ergebnisse der Validierung als Jahresdurchschnittskurve.

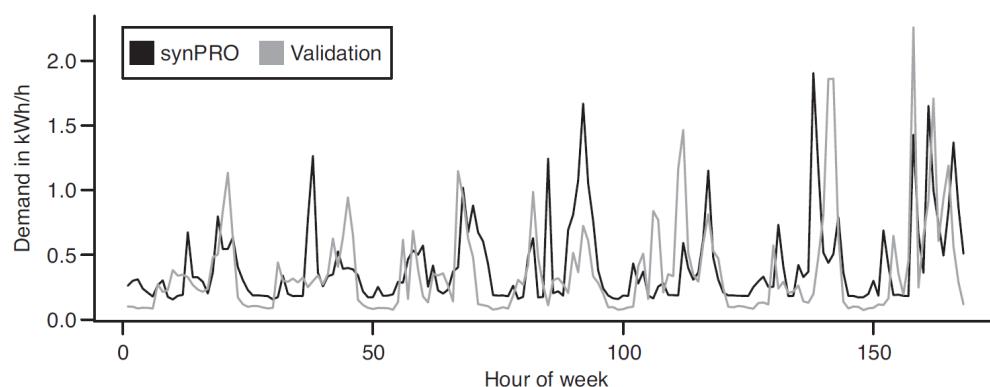


Abbildung 3.23: Vergleich der Ergebnisse von Fischer aus [6]

Die wichtigsten Punkte im Überblick sind:

- **Einsatzzweck**
  - Basis für andere Forschungsprojekte.
- **Vorteile**
  - Einsatz am Fraunhofer.
  - Kostenlose Lastprofile stehen für manche Einsatzzwecke zur Verfügung.
  - Basiert auf der deutschen Time-Of-Use-Studie von 2012
- **Nachteile**
  - Rein elektrische Lastprofile.
  - Sourcecode ist nicht verfügbar.
  - Keine Verhaltenssimulation der Bewohner.
  - Basierend auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen, d.h. für neue Verhaltensmuster müssen neue Wahrscheinlichkeitsverteilungen erstellt werden.

### **3.2.13 Zusammenfassung der Lastprofilgeneratoren**

Im Laufe der Jahre gab es viele verschiedene Ansätze, Lastprofile zu erstellen. Die Gemeinsamkeit aller beschriebenen Ansätze ist die stochastische Herangehensweise an die Auswahl der Aktivitäten. Wie in diesem Kapitel zu erkennen ist, wurde die Modellierung im Laufe der Jahre immer ausgereifter, aber es gibt bisher noch keinen Ansatz, der konsequent die Modellierung des menschlichen Entscheidungsverhaltens umsetzt. Das im Kapitel 4 beschriebene Modell ist grundsätzlich anders und stellt eine signifikante Verbesserung der bestehenden Ansätze dar, wie noch gezeigt wird.

## **3.3 Verhaltenssimulation**

Für die Abbildung menschlichen Verhaltens gibt es sehr viele verschiedene Modelle [34]. Zu beachten ist bei der Auswahl eines Modells, dass es nicht ausreicht, nur das energieverbrauchende Verhalten zu simulieren. Stattdessen muss das gesamte Verhalten abgebildet werden, denn beispielsweise entscheidet die Arbeitszeit über die Zeit des Abendessens. Die Verhaltenssimulation im bLPG basiert deshalb auf einem Bedürfnismodell, d.h., das Verhalten wird basierend auf einer mathematischen Abbildung von Bedürfnissen gesteuert. Dieses wurde in Anlehnung an das Bedürfnismodell von D. Dörner [35] erstellt, welches wiederum den Grundgedanken des Rational Choice Model weiterführt.

### 3.3.1 Rational Choice Model

Das älteste und simpelste Modell des menschlichen Verhaltens ist das Rational Choice Model. Es besagt, dass sich Menschen in jeder Situation für das Verhalten entscheiden, was ihnen den größten (monetären) Vorteil bietet.

Dieses Modell ist zugleich das Grundmodell der Ökonomen. Im Laufe der Jahre hat dieses Modell viel Kritik einstecken müssen, da es ein sehr einfaches Modell ist. Einige der Mängel des Modells sind z.B. die Vernachlässigung von Informationsasymmetrien, persönlichen Wertmaßstäben, Religion, Gewohnheiten, die fehlende Beachtung kognitiver Fehlleistungen sowie die völlige Vernachlässigung von Moral und Ethik.

Trotzdem bleibt das Rational Choice Model weiter populär, da es einfach zu verstehen ist und eine Reihe von Phänomenen hinreichend gut beschreibt. Genauer erläutert ist das Modell z.B. in [36].

Ein Beispiel aus [34] für die Anwendung des Modells ist die Entscheidung für ein Transportmittel für den Weg zur Arbeit, also Auto oder öffentliche Verkehrsmittel: Eine bestimmte Person entscheidet sich möglicherweise für das Auto, weil für sie damit die Zeit für das Zurücklegen des Weges kürzer ist und die Grenzkosten geringer sind. Eine andere Person wird möglicherweise die öffentlichen Verkehrsmittel bevorzugen, weil sie damit in bestimmten Situationen, wie z.B. bei Staugefahr, weniger Zeit benötigt oder (langfristig) Geld spart.

Die Bewertung der Alternativen teilt sich dabei in zwei Schritte: Erwartungen und Bewertung der Erwartungen. Daher wird das Modell in der Literatur auch teilweise Erwartungswert-Modell (Expectancy Value Model) genannt. Das Modell hat den sehr großen Vorteil, dass es relativ einfach zu quantifizieren ist und sich somit leicht in Computermodellen umsetzen lässt. Allerdings verwendet es nur eine Werteskala, nämlich die monetäre.

### 3.3.2 Verhaltensmodell nach D. Dörner

Das PSI-Model des Bambergers Psychologen D. Dörner [35], [37] war einer der ersten Versuche, eine Computersimulation eines lernfähigen Wesens zu erzeugen. Dabei war es natürlich nicht realistisch, mit einem Modell des menschlichen Gehirns anzufangen. Stattdessen setzte sich Dörner das Ziel, ein Modell eines kleinen Roboters auf einer Insel zu schaffen.

Das Besondere dabei war, dass keinerlei Vorwissen in den Roboter programmiert wurde. Der Roboter musste also selbst herausfinden, wie er überleben konnte. Die Umgebung in Form der Insel wurde dafür in eine Reihe von Orten aufgeteilt und an jedem Ort gab es bestimmte Handlungsoptionen wie z.B. "Wasser Trinken", "Öl schöpfen", "Baum ernten", "gehe nach Norden", "gehe nach Süden" uvm. Der Roboter musste nun basierend auf diesen Optionen ein internes Modell seiner Umgebung aufbauen und sinnvolle Handlungsoptionen wählen. Dabei wurden die natürlichen Ressourcen wie Wasser und Öl begrenzt gehalten, sodass der Roboter ständig die weitere Umgebung der Insel erforschen musste, um zu "überleben". Dazu musste der Roboter priorisieren zwischen Erforschungsaufgaben und Überlebensaufgaben wie z.B. Wasser beschaffen.

Als internes Modell des Roboters wurde ein neuronales Netz programmiert und dieses mit einem Bedürfnismodell gekoppelt. Dabei "fühlte" der Roboter sich gut bei Erfüllung der Bedürfnisse und schlecht bei Mängelscheinungen. Eine Erkenntnis aus diesem Forschungsprogramm war die große Bedeutung des Bedürfnismodells, da es sich als zwingend notwendig für die Priorisierung der Aktivitäten herausstellte. Ohne die Bedürfnisse und die Rückkopplung an das neuronale Netz war der Roboter zwar in der Lage, zu lernen und zu erforschen, überlebte aber immer nur eine sehr kurze Zeitspanne, denn er hatte keine Veranlassung, zu anderen Aktivitäten zu wechseln und blieb somit bis zum Hungertod im Erforschungsmodus.

Mit dem Bedürfnismodell hingegen war der Roboter in der Lage, zu trinken, wenn das Flüssigkeitsniveau bedrohlich sank, zu essen, wenn er hungrig wurde und zu erforschen, wenn nichts Dringenderes anlag. Dadurch bildete sich ein Verhalten heraus, welches sehr menschlich war. Der Roboter priorisierte seine Handlungen genau so, wie es ein bewusst denkender Mensch in derselben Situation tun würde. Die Bedürfnisse wurden dabei als "leckende Tanks" (Abb. 3.24) modelliert. Das bedeutet, dass sich das Wohlbefinden pro Zeiteinheit um einen bestimmten Betrag verminderte. Der Betrag war dabei umso größer, je voller der Speicher war. Je leerer die Speicher, desto unwohler fühlte sich der Roboter und desto höher wurden Aktivitäten priorisiert, welche das entsprechende Bedürfnis erfüllten.

Hinter dem Speichermodell steht die Überlegung, dass, je niedriger ein Bedürfnis wird, desto geringer ist der Einfluss eines zusätzlichen Zeitschritts

auf die Verhaltensmodifikation. Anders ausgedrückt, wenn man ohnehin schon fast verhungert ist und nach Essen sucht, dann wird man seine Essenssuche kaum ändern, nur weil sich etwas zusätzlicher mehr Hunger aufgebaut hat.

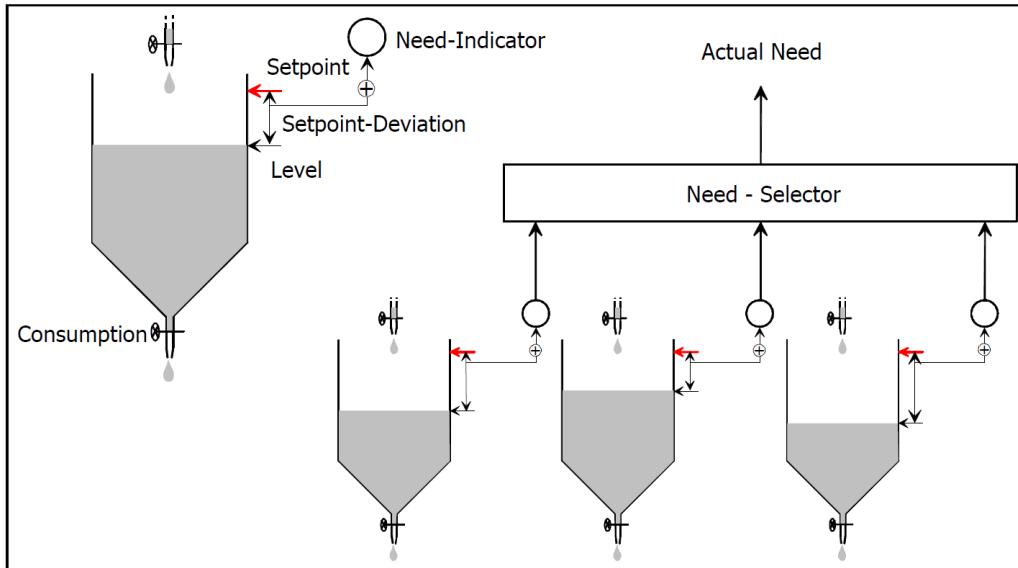


Abbildung 3.24: Tankmodell von Dörner aus [38]

Das hörte sich zunächst vielleicht etwas trivial an, es ist aber zu beachten, dass der Roboter komplett Handlungsketten und Planung lernen musste. Wenn der Roboter also Durst verspürte, musste er nicht nur die Verbindung zwischen Trinken und Durstbeseitigung herstellen, sondern auch Navigation lernen, um zum Wasser zu kommen. Dazu musste der Roboter eine interne Karte aufbauen, welche ihm mitteilte, dass er von der aktuellen Position z.B. durch drei Abschnitte nach Norden und einen Abschnitt nach West zur nächsten Pfütze kommen würde.

Für die Entwicklung des bLPG war primär das Bedürfnismodell relevant. Es wurde bewusst darauf verzichtet, Handlungsketten in den bLPG zu integrieren. Stattdessen wurden Aktionen als vollständig unabhängige Handlungen definiert. Damit stellte sich nicht das Problem, dass die Handlungen geplant werden müssen, und die Komplexität des Entscheidungsmodells sank soweit, dass statt eines neuronalen Netzes eine analytische Vorgehensweise mit simpler Berechnung der besten Handlungsoption möglich war. Nur so konnte eine hinreichend hohe Rechengeschwindigkeit erreicht werden, um ganze Jahre in wenigen Minuten zu simulieren.

### 3.4 Hausinfrastrukturmodelle

Für die Modellierung von Hausinfrastruktur wie z.B. Heizungen, Klimaanlagen oder auch Batteriesystemen gibt es seit vielen Jahren sehr ausgereifte und detaillierte Lösungen. Beispiele hierfür sind TRNSYS [9], Matlab Simulink [39] oder auch eQuest [40]. Der Nachteil dieser Lösungen ist allerdings ihre Komplexität.

Wenn z.B. eine detaillierte TRNSYS-Simulation durchgeführt werden soll, um die Verteilung des Heizbedarfs über das Jahr zu berechnen, dann sind folgende Schritte notwendig:

- Beschaffung der TRNSYS Lizenz mit vierstelligen Lizenzkosten.
- Einarbeitung in die Software mit einem Zeitaufwand von 1–2 Monaten.
- Beschaffung der relevanten Daten und Modellierung des Hauses mit jeder einzelnen Wand, realistischer Sonneneinstrahlung und einem detaillierten Heizungssystem inklusive der Rohrleitungen, was meist mehrere Wochen dauert.
- Validierung der Simulation, was ebenfalls mehrere Wochen benötigt.

Das damit erstellte Modell ist hochgenau, dafür sind aber mehrere Mannmonate bei der ersten Durchführung erforderlich. Es gibt jedoch eine Reihe von Anwendungsfällen, bei denen der Einsatz einer solchen komplexen Hausinfrastruktursimulation keinen Sinn macht, aber trotzdem einige (einfache) Berechnungen oder Abschätzungen zum Wärmeenergieverbrauch oder Kühlenergieverbrauch vorgenommen werden sollen.

Ein Beispiel hierfür ist eine Stromflussberechnung im Niederspannungsnetz [41]. Dafür ist eine hochgenaue Anlagensimulation mit der Modellierung aller Wärmeverluste in jedem Haus nicht notwendig. Aber wenn untersucht werden soll, wie sich die Integration von Wärmepumpen auf die einzelnen Haushaltlastprofile und damit auf die Stromflüsse im Netz auswirkt, dann ist zumindest eine grobe Abschätzung des Wärmebedarfs notwendig.

Ein anders Beispiel ist die Berechnung des Heißwasserbedarfs. Im bLPG wird von der Verhaltenssimulation u.a. der Warmwasserbedarf berechnet, d.h. der Bedarf an Wasser von ca. 35 °C . Dieses wird im Haushalt u.a. aus hygienischen Gründen an der jeweiligen Zapfstelle aus Heiß- und Kaltwasser gemischt. Die

Temperatur des Heißwassers ist allerdings anlagenabhängig. Daher muss zunächst eine Wassermischung berechnet werden. Ohne eine im bLPG integrierte Anlagensimulation wäre dafür ein zusätzlicher Zwischenschritt z.B. in Excel notwendig. Durch die Integration eines Anlagensimulationsmoduls kann ein zusätzlicher Arbeitsschritt vermieden werden.

Für solche und ähnliche Aufgabenstellungen wurde daher ein sehr einfaches Anlagenmodell in den bLPG integriert. Dieses lehnt sich an Lösungen wie z.B. TRNSYS an, ist aber im Umfang deutlich reduziert. Ergänzend dazu ist für eine grobe Abschätzung der Wärmelast und Kältelast ein simples Gradtagszahlmodell eingebaut. Bevor im nächsten Kapitel dann das Datenmodell des bLPG vorgestellt wird, soll hier noch kurz das Gradtagszahlmodell und die Modellierung in TRNSYS erläutert werden.

### **3.4.1 Heizung und Kühlung**

Die Gradtagszahlberechnung ist in der VDI-Norm 2067 [42] beschrieben. Diese Berechnungsmethode stellt keine Modellierung des Wärmeverbrauchs eines konkreten Hauses dar. Stattdessen wird mit der Berechnung nur ein gegebener Verbrauch auf die einzelnen Tage im Jahr verteilt. Bei dieser besonders in der Energiewirtschaft weit verbreiteten Methode wird angenommen, dass es eine bestimmte Grenztemperatur gibt, ab welcher die Heizung eingeschaltet wird und dass bei abnehmenden Außentemperaturen linear zunehmend der Heizenergieverbrauch steigt. Dabei werden die Tagesdurchschnittstemperaturen für die Berechnung verwendet.

Wie das Modell funktioniert, lässt sich am einfachsten an einem Beispiel zeigen:

Es ist ein Heizungsbedarf von 1000 kWh gegeben, welcher über drei Tage verteilt werden soll. Die Tagesdurchschnittstemperaturen sind 0 °C , 10 °C und 20 °C . Die Heizgrenze ist 10 °C und die mittlere Raumtemperatur ist 20 °C . Die Berechnung dazu ist in Tabelle 3.1 dargestellt.

Die Berechnung des Kühlbedarfs funktioniert analog, aber auf Stunden- statt auf Tagesbasis. Mit dieser Methode sind nur Temperaturprofil und Jahressollbedarf erforderlich, um ein realitätsnahe Heizenergiebedarfsprofil und Kühlenergiebedarfsprofil zu erstellen.

Tabelle 3.1: Berechnungsbeispiel für die Gradtagszahlmethode

Tag	Tages-temperatur	Heizung in Betrieb	Gradtagszahl	Prozentualer Heizbedarf	Energiebedarf
1	20 °C	nein	0	0 %	0 kWh
2	10 °C	ja	10	$10/30 = 33,3\%$	333 kWh
3	0 °C	ja	20	$20/30 = 66,7\%$	667 kWh

### 3.4.2 Modellierung in TRNSYS

TRNSYS wird auf der zugehörigen Webseite [43] beschrieben als “ein transientes Systemsimulationsprogramm mit modularer Struktur. [...] Die TRNSYS Bibliothek beinhaltet sowohl viele der Komponenten, die üblicherweise in thermischen und elektrischen Systemen vorhanden sind, als auch Komponenten für die Behandlung des Inputs von Wetterdaten oder anderen zeitabhängigen Daten und für die Datenausgabe.”

Jede Komponente in TRNSYS hat Eingangsgrößen, Parameter und Ausgangsgrößen. Die Komponenten enthalten mathematische Modelle oder Programmcode, um ein bestimmtes Verhalten oder einen physikalischen Sachverhalt abzubilden. Für den Zusammenbau des Modells gibt es einen grafischen Editor, in dem die Komponenten angeordnet und verbunden werden können. Abb. 3.25 zeigt einen Screenshot des Editors.

Die Berechnung in TRNSYS erfolgt über einen mathematischen Solver. Dieser baut aus den Eingaben ein Gleichungssystem auf, welches dann gelöst wird. Die einzelnen Komponenten werden dabei in jedem Iterationsschritt so lange immer wieder abgefragt, bis die Werte konvergieren oder das Abbruchkriterium erreicht ist.

TRNSYS hat sich seit vielen Jahren als mächtiges Werkzeug für die Modellierung verschiedenster Anlagensysteme bewährt, was die Flexibilität des Ansatzes zeigt.

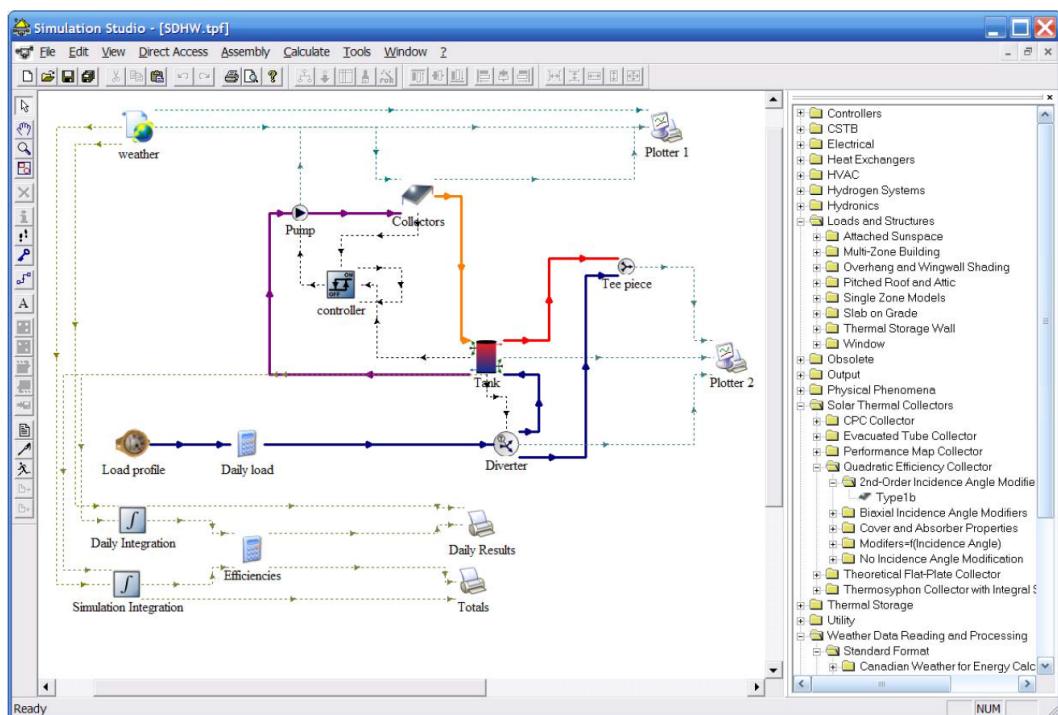


Abbildung 3.25: Screenshot von TRNSYS aus [44]

# Kapitel 4

## Das Modell des bLPG

In diesem Kapitel folgt die detaillierte Beschreibung der Modellgrundlagen des bLPG mit einem starken Fokus auf das Verhaltensmodell. Das Verständnis des Zusammenwirkens der Elemente ist dabei die Grundlage für das Verständnis der Funktionsweise. Da das vollständige Modell durch die Vielzahl der Elemente sehr komplex geworden ist, wird nach einer allgemeinen Beschreibung des Bedürfnismodells zunächst mit einem Minimalbeispiel für die Modellierung eines einzelnen Haushalts begonnen, um dann sukzessive die weiteren Elemente einzuführen.

Danach wird auf die zusätzlich eingeführten Abstraktionsebenen für die Haushaltsmodellierung eingegangen, welche dazu dienen, die automatische Erstellung von neuen Haushalten und ganzen Siedlungen zu ermöglichen. Im Folgenden werden bewusst die englischen Begriffe verwendet, da der bLPG in Englisch gehalten ist und so Begriffsverwirrungen zwischen der Software und der Beschreibung in dieser Arbeit vermieden werden.

Abb. 4.1 zeigt einen ersten Überblick über die einzelnen Schritte in diesem Kapitel.

### 4.1 Bedürfnismodell

Zur korrekten Modellierung des menschlichen Verhaltens muss immer die Vorgeschichte berücksichtigt werden. Zum Beispiel hängt das Hungergefühl primär vom zeitlichen Abstand zur letzten Nahrungsaufnahme ab und weniger von der Tatsache, ob es nun 17:45 oder 18:00 Uhr ist. Zwar gibt es häufig feste Gewohnheiten, aber wenn z.B. aufgrund besonderer Umstände um 17:00

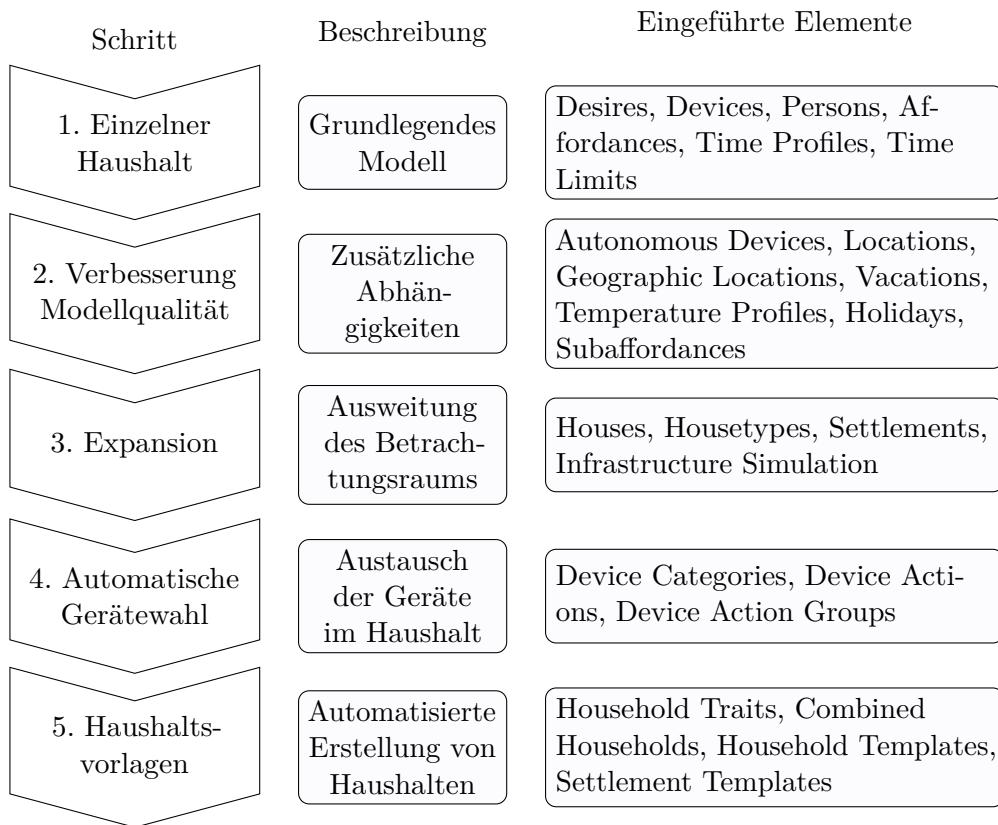


Abbildung 4.1: Schritte bei der Entwicklung des Modells

gegessen wurde, dann sind die Bewohner um 18:00 einfach nicht hungrig. Mit einem Bedürfnismodell lässt sich dieser Tatbestand einfach modellieren: Das Hungergefühl wird, wie im letzten Kapitel beschrieben, als sich ständig leerender Tank modelliert. Jede Mahlzeit füllt den Tank unterschiedlich stark auf und von Person zu Person ist die “Tanköffnung” unterschiedlich groß. Zum Beispiel variiert auch in der Realität die Zeitspanne, bis sich das Hungergefühl bemerkbar macht, von Person zu Person.

Unterschiedliche Aktivitätenkategorien wie z.B. Hunger, Toilettendrang, Hygiene, Reinigung oder auch Schlaf werden jeweils durch die Definition eines eigenen Bedürfnisses modelliert. Wenn mehrere Aktivitäten möglich sind, dann muss nach dem Abschluss einer Aktivität die simulierte Person die nächste Aktivität auswählen. Das wird in Anlehnung an das Rational Choice Model durchgeführt. Hierzu kommt der Erwartungswert ins Spiel. Der Erwartungswert ist dabei die Summe der Abweichungen aller Bedürfnisse vom Sollwert, nachdem die Aktivität ausgeführt worden ist. Wenn dann die verschiedenen

Erwartungswerte verglichen werden, kann die Aktivität ausgewählt werden, die zur geringsten Sollwertabweichung führt.

Weitere Faktoren, die im Modell berücksichtigt werden müssen, sind:

- Nicht alle Aktivitäten sind gleich wichtig oder kommen gleich häufig vor. Zum Beispiel ist in der Realität der Gang zur Arbeit deutlich wichtiger als das Schauen einer TV-Serie, wenn man seinen Job behalten möchte.
- Das Modell muss für jede Aktivität Verfügbarkeitszeiten integrieren. So ist z.B. für viele Jobs der Gang zur Arbeit nur an Werktagen zwischen 8:00 und 9:00 Uhr möglich.
- Zusätzlich muss es möglich sein, Abhängigkeiten zu modellieren, denn nicht alle Aktivitäten hängen nur von der Uhrzeit ab. Das gemeinschaftliche Essen kann nur stattfinden, wenn jemand gekocht hat, das Einschalten der Spülmaschine macht nur Sinn, wenn hinreichend viel schmutziges Geschirr angefallen ist und das Rasenmähen findet nicht bei tiefen Außentemperaturen statt.

Der Vorteil des Bedürfnismodells im Vergleich zu einem Wahrscheinlichkeitsmodell ist die automatische Verschiebung von Aktivitäten beim Hinzufügen oder Wegfall von Aktivitäten. Wenn in einem wahrscheinlichkeitsbasierten Modell eingefügt werden soll, dass die Person jeden Dienstag von 19:00 bis 21:00 Uhr im Sportverein tätig ist, dann müssen für Dienstage andere Wahrscheinlichkeitsprofile generiert werden, um abzubilden, dass die Person vorher zu Abend isst und nach der Rückkehr vom Sport ein realistisches Verhalten im Modell entsteht. Mit dem Bedürfnismodell hingegen reicht es, eine neue Aktivität hinzuzufügen und die anderen Aktivitäten werden automatisch sinnvoll angepasst, weil sich die simulierte Person „erinnert“, ob sie schon gegessen hat und was sie sonst noch tun wollte.

Basierend auf den Aktivitäten lässt sich dann das Lastprofil generieren. Dazu muss für die Aktivitäten definiert werden, welche Geräte wann und in welcher Reihenfolge benutzt werden und welches Gerätelastprofil jeweils zum Einsatz kommt. Ein weiterer Vorteil des verhaltensbasierten Modells ist, dass nicht nur der Stromverbrauch, sondern jede beliebige Größe mitmodelliert werden kann, sei es Warm- oder Kaltwasser, Gasverbrauch oder auch gefahrene Kilometer mit dem Auto.

## 4.2 Modellierung eines einzelnen Haushalts

Abb. 4.2 zeigt einen ersten Überblick über das Zusammenwirken der Elemente im Modell. Man sieht, dass die Person von ihren Bedürfnissen gesteuert wird. Die Geräte bieten verschiedene Aktivitäten für die Person an. Die Person prüft die Aktivitäten und wählt dann eine der Aktivitäten aus. In Abb. 4.3 ist die dafür notwendige Datenstruktur dargestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Elemente und das Zusammenwirken beschrieben, bevor dann an einem Berechnungsbeispiel der Algorithmus für die Auswahl der nächsten Aktivität erläutert wird.

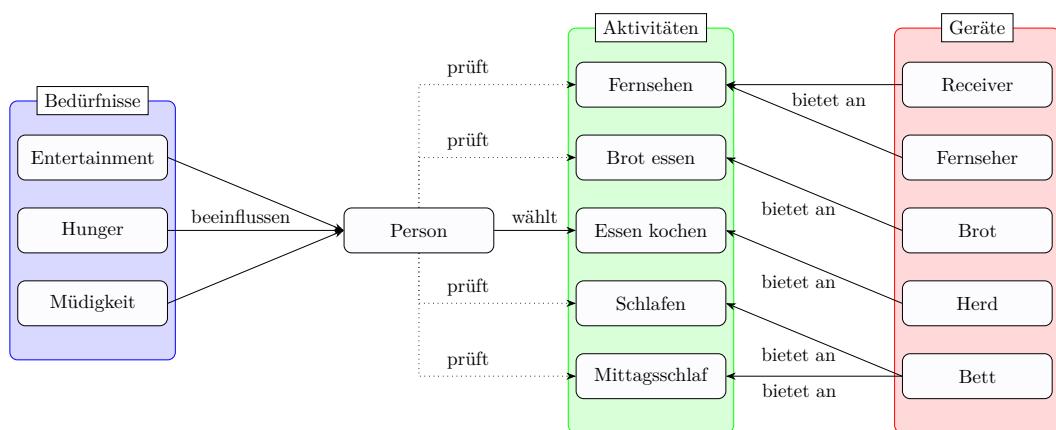


Abbildung 4.2: Zusammenwirken der Elemente für die Aktivitätsauswahl

### 4.2.1 Desires

Das grundlegende Element ist das **Desire** und drückt das Bedürfnis aus, etwas zu tun. Es wird modelliert mit dem beschriebenen Tank-Modell aus Abschnitt 3.3.2. Jedes Bedürfnis hat drei Eigenschaften, welche spezifiziert werden müssen:

- Weight (Gewichtung),
- Threshold (Schwellenwert),
- Decay Time (Verfallszeit).

Während der Simulation wird dann für jedes Bedürfnis der aktuelle Bedürfnisbefriedigungswert auf einer Skala von 0 bis 1 berechnet. In Abb. 4.4 ist das Zusammenwirken von Threshold und Decay Time dargestellt.

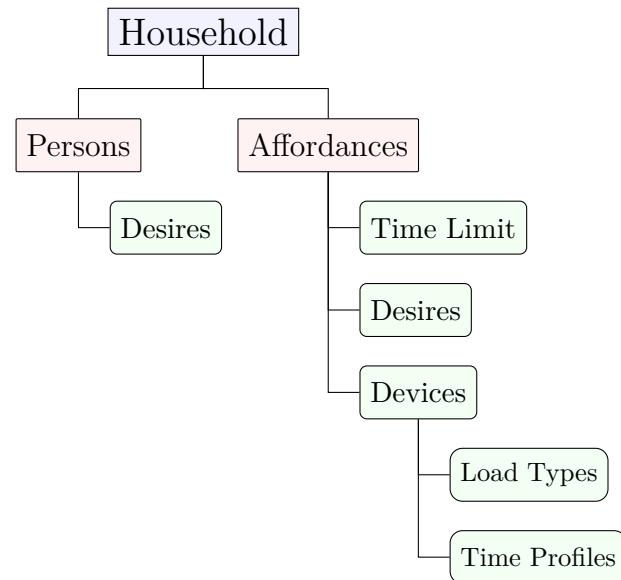


Abbildung 4.3: Minimal notwendige Elemente für die Modellierung eines Entscheidungsprozesses

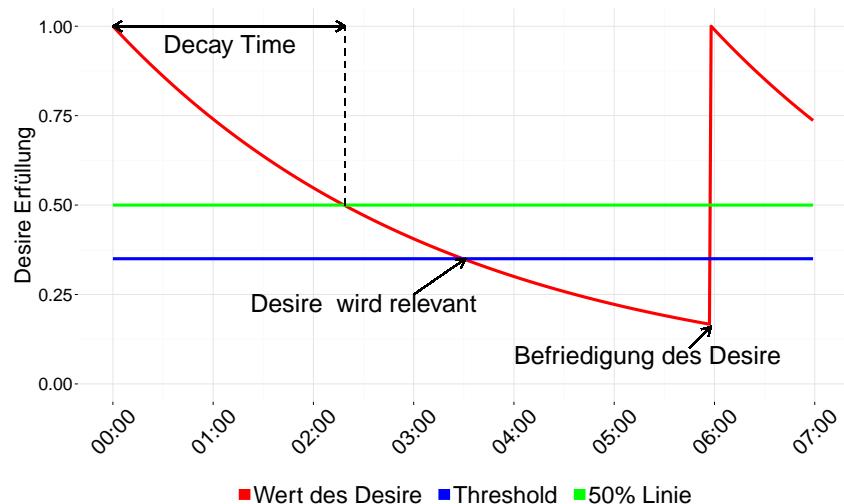


Abbildung 4.4: Darstellung von Decay Time und Threshold an einem Beispiel

*Weight* ist die relative Gewichtung des Bedürfnisses im Vergleich zu allen anderen Bedürfnissen der Person. Bei der Entscheidung für die nächste Aktion wird die Minimierung der Bedürfnisabweichung als Kriterium und bei dieser Berechnung die Gewichtung als Multiplikator verwendet. Die Gewichtung kann frei gewählt werden. Für die vordefinierten Haushalte im bLPG haben sich folgende Werte als sinnvoll erwiesen:

- Bedürfnisse für Freizeitbeschäftigungen wie Fernsehen, Spielen usw. werden im Allgemeinen mit der Gewichtung 1 angesetzt.
- Hausarbeiten und Hygiene und dergleichen erhalten eine Gewichtung von 5–10.
- Handlungen wie Schlafen, Arbeiten und Schule, welche die Tagesstruktur bestimmen, werden mit einer Gewichtung von 1000 definiert. Damit ist sichergestellt, dass diese Handlungen, wann immer möglich, ausgeführt werden.

Die Gewichtung hat nichts mit der Anzahl der Ausführungen zu tun, sondern bestimmt, wie sich eine Person entscheidet, wenn sie vor der Auswahl steht, z.B. in Bett zu gehen oder noch einen Film zu schauen.

*Threshold* legt fest, ab wann die Person das Bedürfnis wirklich bemerkt, d.h., ab wann es in die Berechnung für die Auswahl der nächsten Aktion mit einbezogen wird. Zum Beispiel wird in der Realität meist nicht kurz nach dem Mittagessen direkt wieder gegessen, weil 10 % Hungergefühl bemerkbar waren. Stattdessen wird im Allgemeinen gewartet, bis sich ein merkbares Hungergefühl aufgebaut hat, bevor zu Abend gegessen wird. Für den bLPG haben sich Werte von 50 % oder etwas darunter als sinnvoll erwiesen, um eine plausible Abbildung des menschlichen Verhaltens zu erreichen.

*Decay Time* beschreibt die Halbwertszeit, d.h., die in Abb. 4.4 dargestellte Zeit, bis 50 % des Bedürfnisses erreicht sind. Bei der Erstellung der Haushalte hat sich herausgestellt, dass Aktivitäten bei 50 % Threshold meist nach dem zwei- bis dreifachen der Decay Time ausgeführt werden, abhängig von der Gewichtung und den anderen zur Verfügung stehenden Aktivitäten. Für die Berechnung im bLPG wird aus der Decay Time die Verfallskonstante berechnet, mit welcher der aktuelle Wert des Bedürfnisses in jedem Zeitschritt multipliziert

wird. Der Wert des Bedürfnisses von einem Zeitschritt zum nächsten wird dann nach Gleichung (4.1) berechnet.

$$B_{t+1} = e^{\left(\frac{\ln 0.5}{T_{decay}}\right)} \cdot B_t \quad (4.1)$$

$T_{decay}$  Halbwertszeit des Bedürfnis

$B_t$  Bedürfnis zum Zeitpunkt t

$B_{t+1}$  Bedürfnis zum Zeitpunkt t+1

Um das Verständnis zu erleichtern, wird im Folgenden für jedes Element eine Definition mit Werten aus dem bLPG als Beispiel gezeigt. Tabelle 4.1 zeigt eine Bedürfnisdefinition.

Tabelle 4.1: Beispiel für die Definition eines Desires

Eigenschaft	Wert
Name	Schlafbedürfnis
Threshold	0,5
Decay Time	6 h
Weight	1000

### 4.2.2 Person

Personen bilden die Bewohner des Haushaltes ab. Für die Simulation werden wieder eine Reihe von Eigenschaften benötigt:

- Alter,
- Geschlecht,
- Krankheitstage im Jahr,
- Durchschnittliche Krankheitsdauer,
- Bedürfnisse, wenn gesund,
- Bedürfnisse, wenn krank.

Das *Alter* und *Geschlecht der Person* werden für die Begrenzung von Aktivitäten auf bestimmte Personengruppen benötigt. Zum Beispiel muss bei der

Modellierung sichergestellt werden können, dass ein erwachsener Mann nicht zur Grundschule geht und die 5-jährige Tochter nicht das Essen kocht.

In anderen Lastprofilgeneratoren wird meist vernachlässigt, dass sich im Krankheitsfall das Verhalten des Bewohners deutlich ändert, da z.B. der Gang zur Arbeit wegfällt. Im bLPG kann dafür die Anzahl der *Krankheitstage im Jahr* und die *durchschnittliche Krankheitsdauer* eingegeben werden. Während der Simulation werden die Krankheitstage dann zufällig über das Jahr verteilt. Dafür wird ein Zufallsgenerator verwendet. Aufgrund von Beobachtungen wird angenommen und vorausgesetzt, dass die Dauer der einzelnen Krankheitsfälle für jede Person normalverteilt sind. Zum Beispiel mag Person A mit robuster Kondition in den meisten Fällen 2 Tage krank sein, während Person B mit höherer Krankheitsneigung immer gleich eine ganze Woche ausfällt. Die Krankheitsdauern werden daher mit einem Zufallsgenerator mit einer Normalverteilung der Zufallszahlen berechnet.

Jede Person hat zwei individuelle *Listen von Bedürfnissen*. Die Bedürfnisse werden jeweils mit einer personenspezifischen Gewichtung, Verfallszeit und Schwellenwert versehen, da Personen z.B. unterschiedlich oft Fernsehen schauen oder Bücher lesen. Solange die Personen gesund sind, kommt die erste Liste von Bedürfnissen zum Einsatz. An den Krankheitstagen kommen dann die *Bedürfnisse für den Krankheitsfall* zum Einsatz. Dabei werden Bedürfnisse übernommen, die in beiden Listen auftreten, wie z.B. Hunger oder Schlafbedürfnis. Bedürfnisse, die nur im nicht akuten Fall auftreten, werden suspendiert, wie z.B. der Gang zur Arbeit.

Ein Beispiel für eine Personendefinition ist in Tabelle 4.2 gezeigt.

#### 4.2.3 Load Types

Für die Erstellung der Lastprofile, also dem Ziel des gesamten bLPG, muss festgelegt werden, welche Geräte welches Lastprofil beeinflussen. Lastprofile können z.B. für Elektrizität, Warmwasser oder Kaltwasserverbrauch erstellt werden.

Die Definition der Load Types, also der Lasttypen, ist die Grundlage für die Erstellung der Lastprofile. Bei der Gerätedefinition wird für jedes Gerät festgelegt, welche Art von Last das Gerät bei einer Aktivierung auslöst. Daher ist die Definition der Lasttypen einer der ersten Schritte bei der Modellierung.

Tabelle 4.2: Beispiel für eine Personendefinition

Eigenschaft	Wert		
Name	Udo		
Alter	52 Jahre		
Geschlecht	männlich		
Krankheitstage pro Jahr	15 Tage		
Durchschnittliche Krankheitsdauer	3 Tage		
Auszug der Bedürfnisse, wenn gesund:			
Name	Threshold	Decay Time	Weight
Schlafbedürfnis	0,5	6 h	1000
Arbeit	0,5	6 h	1000
Hunger	0,5	2 h	10
Entertainment	0,5	0,5 h	1
Auszug der Bedürfnisse, wenn krank:			
Name	Threshold	Decay Time	Weight
Schlafbedürfnis	0,5	4 h	1000
Mittagsschlaf	0,5	3 h	10
Hunger	0,5	3 h	10
Entertainment	0,5	0,5 h	1

Bei der Simulation wird dann für jeden Lasttyp in einem Haushalt eine eigene Datei mit dem jeweiligen Lastprofil erstellt.

Lasttypen haben als Eigenschaften eine Summeneinheit, eine Leistungseinheit und die Umrechnung zwischen den beiden.

Die Lasttypen sind übrigens nicht begrenzt auf die genannten Beispiele. Auch z.B. Wasserstoff, Heizenergiebedarf, Blindleistung oder Scheinleistung können als Lasttypen angelegt werden. Ein Beispiel für eine Lasttypendefinition zeigt Tabelle 4.3.

Tabelle 4.3: Beispiel für eine Lasttyp-Definition

Eigenschaft	Wert
Name	Wirkleistung
Einheit der Leistung / des Stroms	Watt
Einheit der Arbeit / der Menge	kWh
Umrechnung	$1000 \text{ W} * 1\text{h} = 1 \text{ kWh}$

#### 4.2.4 Devices

Devices dienen der Modellierung der realen Geräte in den Haushalten. Die Bewohner führen Aktivitäten aus und aktivieren dafür bestimmte Geräte. Welches Gerätelastprofil dabei ausgelöst werden, hängt von der Aktivität ab. Zum Beispiel ist das Gerätelastprofil für einen Herd bei der Aktivität “Spiegelei braten” signifikant anders als das Gerätelastprofil für “Drei-Gänge-Menü kochen”.

Geräte haben als Eigenschaft eine Liste von Lasttypen mit dem jeweiligen Maximalwert. Der Maximalwert wird nur verwendet, wenn ein synthetisches Gerätelastprofil zum Einsatz kommt. Ein Beispiel für eine Gerätedefinition zeigt Tabelle 4.4.

Tabelle 4.4: Beispiel für eine Geräte-Definition

Eigenschaft	Wert
Name	Medion MD20123_DE_A
Lasttypen	
	Name des Lasttypes    Maximalleistung
Wirkleistung	28 W
Scheinleistung	57 VA
Blindleistung	1 var

#### 4.2.5 Time Profile

Die Gerätelastprofile werden im bLPG **Time Profiles** genannt, da sie im Gegensatz zu den später eingeführten **Date Based Profiles** nur eine relative Zeitangabe statt einer absoluten Zeitangabe als Zeitstempel verwenden.

Gerätelastprofile können entweder gemessen oder synthetisch sein. Der Grund für die Unterstützung beider Varianten ist, dass nicht für alle Geräte Messwerte vorliegen. Auch ergeben für manche Geräte wie z.B. Glühlampen gemessene Lastprofile wenig Sinn, da der Verlauf der Last kaum variiert.

Gemessene Lastprofile enthalten für jeden Zeitschritt einen Messwert in absoluten Zahlen. Synthetische Profile hingegen werden in Prozenten definiert, wobei nur Änderungen angegeben werden müssen, um das Erstellen zu erleichtern. Bei der Verwendung eines synthetischen Profils bezieht sich die Prozentzahl auf den Maximalverbrauch des jeweiligen Gerätes.

Tabelle 4.5 zeigt ein Beispiel für einen Wasserkocher, einmal als gemessenes Profil und einmal als synthetisches Profil. Ergänzend sind die beiden Gerätelastprofile dazu in Abb. 4.5 als Grafik dargestellt. Die niedrigen Werte in der ersten und fünften Minute sind dabei durch die Mittelung der Leistungsmessung entstanden. Soweit möglich, sind gemessene Gerätelastprofile zu bevorzugen, aber meist ist eine gute Näherung mit einem synthetischen Profil möglich.

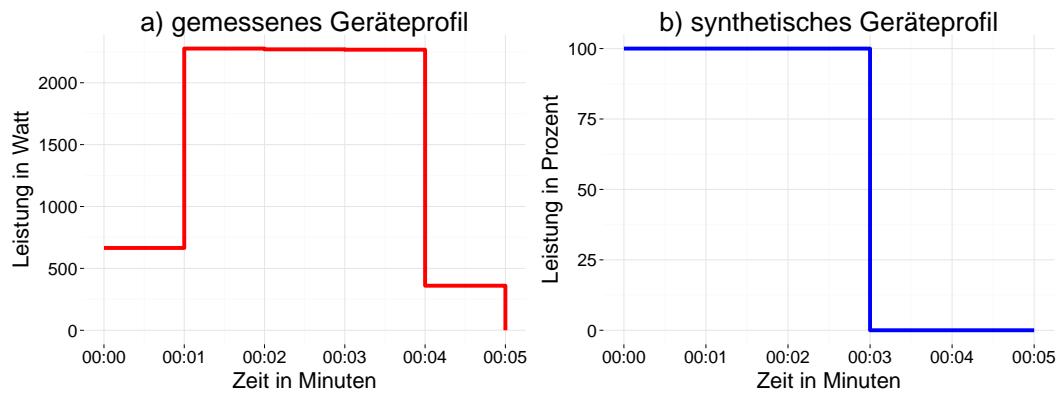
Tabelle 4.5: Beispiel für zwei Gerätelastprofile

Messwerte für einen Wasserkocher		Synthetisches Profil für einen Wasserkocher	
Zeit	Wert	Zeit	Wert
00:00	665 W	00:00	100 %
00:01	2276 W	00:03	0 %
00:02	2270 W		
00:03	2267 W		
00:04	360 W		

#### 4.2.6 Time Limits

Während der Entwicklung hat sich herausgestellt, dass nur eine plausible Modellierung des Verhaltens erfolgen kann, falls die Zeiten, zu denen Aktivitäten verfügbar sind, begrenzt werden. Zum Beispiel sollten sich die Bewohner nicht im Winter im Garten entspannen und auch der Gang zur Arbeit oder die Schlafenszeiten müssen reglementiert werden, um gute Ergebnisse zu erhalten.

Im bLPG verwendete Kriterien sind:



- Uhrzeit,
- Wochentag,
- Monat,
- Außentemperatur,
- Sonnenlicht,
- Werktag,
- Beliebige Werte aus Zeitreihen, wie z.B. Schulferien,
- Dauer des Urlaubs,
- Feiertage.

Im bLPG lassen sich diese Kriterien über die boolschen Operatoren (NOT, AND, OR) beliebig kombinieren. Tabelle 4.6 zeigt Beispiele für verschiedene Definitionen aus dem bLPG.

Tabelle 4.6: Beispiele für verschiedene Time Limits

Beschreibung
montags bis freitags zwischen 8:00 und 20:00
werktags zwischen 8:00 und 9:00
bei Tageslicht und Außentemperaturen über 15 °C
immer außer bei Urlauben über 5 Tage Dauer

#### 4.2.7 Affordances

“Affordanz” ist ein Begriff aus der Psychologie und beschreibt mögliche Aktionen, die ein Objekt anbietet [45]. Im bLPG wird der Begriff verwendet, um potentielle Aktionen zu beschreiben. Damit wird eine Verwechslung mit tatsächlich durchgeführten Aktionen vermieden. Affordanzen stellen die Schnittstelle zwischen Geräten und Personen dar. Sie haben die folgenden Eigenschaften:

- zulässiges Alter und Geschlecht,
- Time Limit,
- Liste der befriedigten Bedürfnisse,
- Unterbrechbarkeit,
- Unterbrechung anderer Aktivitäten,
- Notwendigkeit von Beleuchtung,
- Standardabweichung der Dauer,
- Variablenbedingungen und Variablenoperationen
- Personenprofil,
- Liste der Geräte mit zu aktivierendem Gerätprofil,

Der Zweck des *zulässigen Alters und Geschlechts*, *Liste der befriedigten Bedürfnisse* und des *Time Limit* wurden bereits erläutert.

#### Unterbrechbarkeit

Die *Unterbrechbarkeit* und die *Unterbrechung anderer Aktivitäten* sind für die realistische Modellierung notwendig. Der einfachste Ansatz wäre, dass Aktivitäten, wenn sie einmal gestartet sind, dann bis zum Ende ausgeführt werden. Allerdings ist es damit nicht möglich, z.B. einen Wecker oder eine zum Essen rufende Mutter zu modellieren. Daher wurden diese beiden Flags eingeführt, um festlegen zu können, welche Aktivitäten unterbrechbar sind und welche Aktivitäten Unterbrechungen auslösen.

#### Beleuchtung

Die meisten Aktivitäten im Haushalt, mit Ausnahmen wie z.B. Schlafen, benötigen künstliche Beleuchtung nach Einbruch der Dunkelheit. Das Flag

*Notwendigkeit von Beleuchtung* legt fest, ob für die jeweilige Aktivität die Beleuchtung im Zimmer bei Bedarf, d.h. bei Dunkelheit, automatisch eingeschaltet wird.

### Standardabweichung

In der Realität sind Aktivitätsdauern für dieselbe Aktivität im Allgemeinen nicht fix, sondern variieren. Zum Beispiel kann ein Frühstück mit identischen Gerichten zwischen 20 min und 40 min dauern. Um zu vermeiden, dass dafür dann viele verschiedene Frühstücksaffordanzen modelliert werden müssen, wurde eine Normalverteilung der Aktivitätsdauern angenommen, welche über die *Standardabweichung der Dauer* parametrisiert wird. Wird diese auf 0 gesetzt, bleibt die Länge der Aktivität konstant.

### Variablenbedingungen und Variablenoperationen

*Variablenbedingungen* und *Variablenoperationen* entstanden aus der Überlegung, dass viele Aktivitäten von anderen Aktivitäten abhängen. Zum Beispiel wird die Spülmaschine eingeschaltet, wenn eine bestimmte Menge schmutziges Geschirr angefallen ist, und ein Wäschetrockner wird in Betrieb genommen, wenn die Waschmaschine fertig ist. Eine Modellierung über ein Bedürfnis ist daher schwierig. Stattdessen muss für eine korrekte Modellierung verfolgt werden, wie oft und von wie vielen Personen gegessen wurde. Das ist mit Variablen möglich. Dazu wird dann z.B. bei jedem Essen von jeder Person in einer Variablenoperation das schmutzige Geschirr um +1 erhöht und die Spülmaschinenaffordanz erhält die Bedingung, dass sie nur eingeschaltet werden kann, wenn das schmutzige Geschirr größer oder gleich 10 ist. Beim Start der Spülmaschine wird dann von der Menge des schmutzigen Geschirrs z.B. 10 abgezogen.

### Personen- und Geräteprofile

Der Sinn des *Personenprofils* und die *Liste der Geräte mit zu aktivierendem Geräteprofil* ist am besten grafisch darstellbar. Dazu sind in Abb. 4.6, Abb. 4.7 und Abb. 4.8 drei Beispiele für drei unterschiedliche Aktivitäten dargestellt. Es werden folgende Eigenschaften sichtbar:

- Einzelne Aktivitäten können mehrere Geräte verwenden.

- Innerhalb einer Aktivität können einzelne Geräte mehrmals aktiviert werden. Dabei muss das Gerätprofil nicht gleich bleiben.
- Geräte können zwar nur von einer Person aktiviert werden, aber die Laufzeit des Geräts ist nicht abhängig von der Person.
- Es können verschiedene Aktivitäten dieselben Geräte verwenden.
- Nicht alle Geräte müssen elektrisch sein.

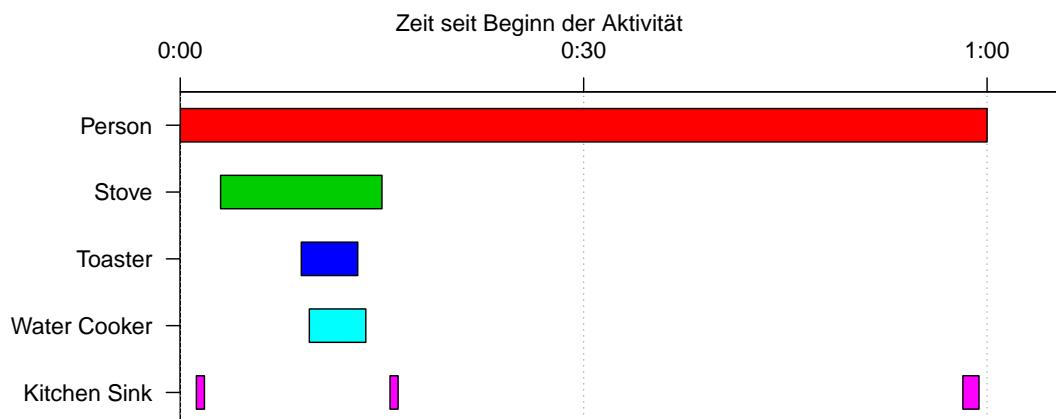


Abbildung 4.6: Beispiel eines Gantt-Charts für das Personenprofil und die Geräteaktivierungen für ein Frühstück

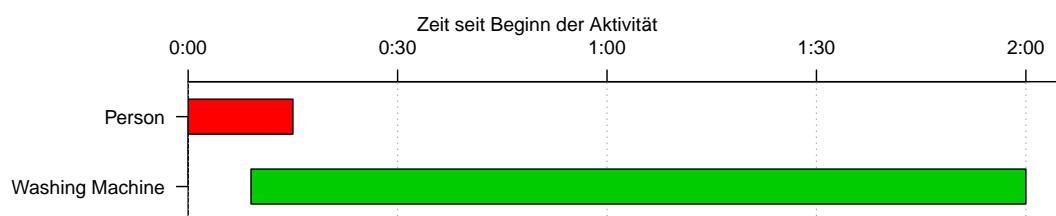


Abbildung 4.7: Beispiel eines Gantt-Charts für das Personenprofil und die Geräteaktivierungen für das Einschalten einer Waschmaschine

Folglich ist es für die Modellierung der Aktivitäten notwendig, sowohl ein Personenprofil als auch beliebig viele Geräteaktivierungen mit unterschiedlichen Gerätprofilen, unterschiedlichem Lasttyp und variablem Abstand zum Beginn der Aktivität festlegen zu können.

Tabelle 4.7 zeigt ein Beispiel für eine Affordance-Definition.

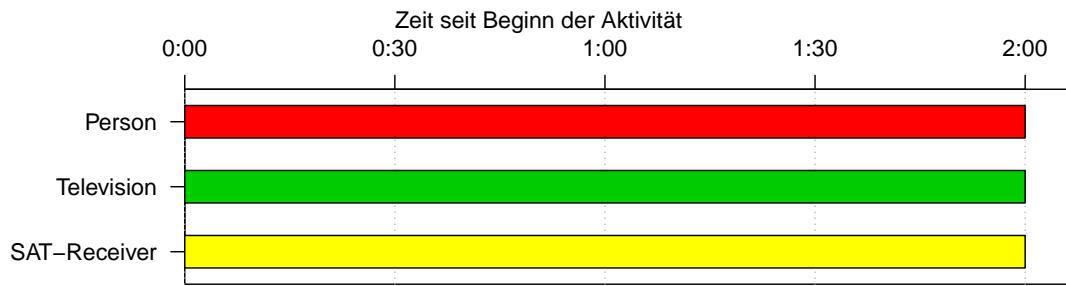


Abbildung 4.8: Beispiel eines Gantt-Charts für das Personenprofil und die Geräteaktivierungen für das Verfolgen einer 2 h-Sendung im Fernsehen

Tabelle 4.7: Beispiele für eine Affordanz-Definition

Beschreibung	Wert
Name	Duschen
zulässiges Alter	10 bis 80 Jahre
zulässiges Geschlecht	beide
Time Limit	jederzeit
befriedigte Bedürfnisse	Duschen 100 %
Personenprofil	30 min 100 %
Liste der Geräteaktivierungen	nach 5 min aktiviere Dusche für 5 min mit 100 %, warte 5 min, aktiviere wieder für 5 min mit 100 %
unterbrechbar	nein
unterbricht andere Aktionen	nein
Beleuchtung	ja
Standardabweichung der Dauer	0,1
Trigger	-

#### 4.2.8 Berechnungsbeispiel Aktivitätenauswahl

Mit diesen Elementen ist nun alles eingeführt, was für ein Berechnungsbeispiel für die Aktivitätenauswahl benötigt wird.

Gegeben sind die zwei Bedürfnisse Entertainment und Hunger. Dann soll für die drei Affordanzen "Fernsehen", "Brot essen" und "Eintopf kochen" diejenige ausgewählt werden, welche am besten zur Bedürfnisbefriedigung beiträgt. In Tabelle 4.8 ist die Berechnung dargestellt. Die Berechnung läuft wie folgt ab:

1. Es wird für jeden Aktivität und jedes Bedürfnis der Erwartungswert berechnet. Dabei kann es zu Erwartungswerten größer als 1 kommen.
2. Dann wird die absolute Sollwertabweichung für jedes Bedürfnis berechnet.
3. Für jede Aktivität wird die gewichtete Summe der Bedürfnisabweichungen gebildet.
4. Die Aktivität mit der geringsten gewichteten Summe wird ausgewählt.

Tabelle 4.8: Berechnungsbeispiel für die Aktivitätenauswahl

Affordanz	Fernsehen	Brot essen	Eintopf kochen
Befriedigungswerte der einzelnen Affordanzen für die Bedürfnisse:			
Entertainment	1,0		
Hunger		0,5	1,0
1. Erwartungswert berechnen:			
Entertainment	$0,1 + 1 = 1,1$	0,1	0,1
Hunger	$0,4 \cdot 0,4 + 0,5 = 0,9$	$0,4 + 1 = 1,4$	
2. Sollwertabweichung berechnen:			
Entertainment	$ 1 - 1,1  = 0,1$	$ 1 - 0,9  = 0,9$	$ 1 - 0,1  = 0,9$
Hunger	$ 1 - 0,4  = 0,6$	$ 1 - 0,9  = 0,1$	$ 1 - 1,4  = 0,4$
3. Bedürfnisabweichungen berechnen:			
Gewichtete Summe	$0,1 \cdot 1 + 3 \cdot 0,6 = 1,9$	$0,9 \cdot 1 + 0,1 \cdot 3 = 1,2$	$0,7 \cdot 1 + 0,4 \cdot 3 = 1,9$

#### 4.2.9 Zusammenfassung der Modellierung eines Haushalts

Mit den hier vorgestellten Elementen ist es möglich, einfache Entscheidungsprozesse zu modellieren. Die Entwicklung des Modells und die Erstellung der ersten Haushalte war sehr lehrreich. Wenn man z.B. den Fehler macht, Kaffee

auf das Schlafbedürfnis wirken zu lassen, und sei es nur mit einer sehr kleinen Wirkung, dann führt das dazu, dass die simulierten Bewohner ständig die Kaffeemaschine belagern, aber das Schlafen komplett aufgeben. Es gibt relativ viele dieser “Nebenwirkungen”, welche ausführliche Tests bei der Erstellung eines Haushalts zwingend notwendig machen. Auf die Erfahrungen bei der Erstellung der vordefinierten Haushalte wird im Kapitel 6 noch genauer eingegangen. Insgesamt lassen sich mit den beschriebenen Elementen bereits viele Effekte gut abbilden, aber für plausible Haushaltssimulationen ist noch eine Verbesserung der Modellqualität notwendig.

## 4.3 Verbesserung der Modellqualität

Mit den bisher beschriebenen Elementen können Entscheidungsprozesse und Geräteaktivierungen modelliert werden, aber die reale Welt ist deutlich komplexer. Daher sind noch eine Reihe zusätzlicher Elemente für realitätsnahe Lastprofile erforderlich. Im Laufe der Entwicklung des bLPG wurden dafür die folgenden zusätzlichen Elemente identifiziert:

- Locations,
- Holidays,
- Geographic Locations,
- Subaffordances,
- Temperature Profiles,
- Date Based Profiles,
- Autonomous Devices,
- Vacations.

In Abb. 4.9 ist die neue Datenstruktur dargestellt, welche all die vorgestellten Elemente berücksichtigt, die im Folgenden beschrieben werden.

### 4.3.1 Locations

Für die Organisation der Elemente und zur Steuerung der Beleuchtung wurden **Locations** eingeführt. Diese bilden zum einen Zimmer und zum anderen externe Orte wie z.B. Supermärkte, Schule oder auch Arbeitsplatz ab. Für die

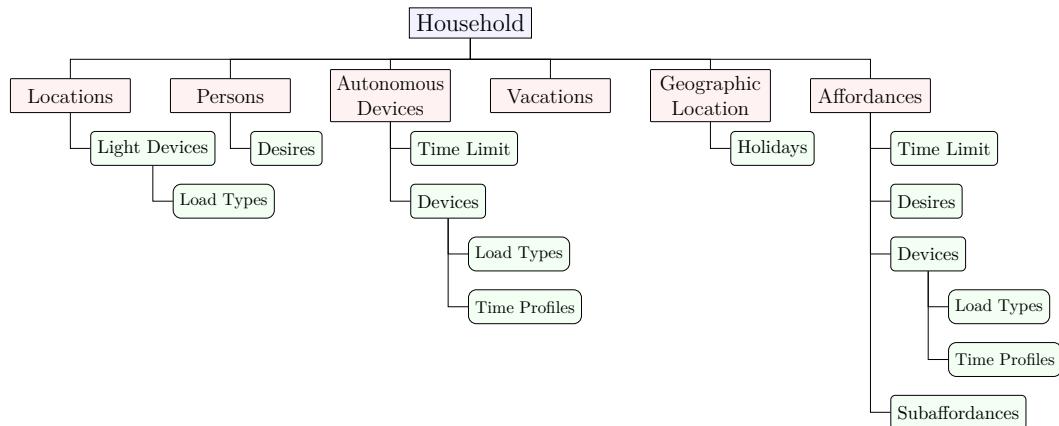


Abbildung 4.9: Datenstruktur nach der Integration der erwähnten Elemente

Modellierung der Beleuchtung kann einer Location ein oder mehrere Leuchtmittel zugeordnet werden, welche dann bei der Ausführung einer Affordanz am entsprechenden Ort bei Bedarf automatisch eingeschaltet werden. Tabelle 4.9 zeigt ein Beispiel für die Definition einer Location.

Tabelle 4.9: Beispiel für die Definition einer Location

Eigenschaft	Wert
Name	Wohnzimmer
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 W Glühlampe</li> <li>• 150 W Halogenstrahler</li> </ul>

### 4.3.2 Holidays

Holidays bilden Feiertage ab. Im bLPG kann eine beliebige Anzahl von Feiertagen mit unbegrenzt vielen Daten definiert werden. Damit kann abgebildet werden, dass z.B. der Tag der Arbeit jedes Jahr am 01.05. liegt, aber der Ostermontag jedes Jahr auf ein anderes Datum fällt.

Ein häufig vernachlässigter Aspekt in anderen Lastprofilgeneratoren sind die Brückentage. Wenn ein Feiertag auf z.B. einen Dienstag oder Donnerstag fällt, dann nimmt ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Bevölkerung einen Brückentag. Der Effekt ist so groß, dass in Monaten mit Brückentagen die Gesamtwirtschaftsleistung im einstelligen Prozentbereich beeinflusst wird [46].

Daher wurde in den bLPG eine Funktion für die stochastische Brückentag-Zuweisung in den Haushalten implementiert. Dazu kann für jeden Feiertag eingegeben werden, wie wahrscheinlich es für diesen Feiertag in dem jeweiligen Land ist, dass ein Brückentag genommen wird, wenn der Feiertag auf einen bestimmten Wochentag fällt. Tabelle 4.10 zeigt ein Beispiel für eine solche Definition.

Tabelle 4.10: Beispiel für die Definition eines Feiertags

Eigenschaft	Wert
Name	1. Mai
Daten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 01.05.2010</li> <li>• 01.05.2011</li> <li>• 01.05.2012</li> </ul>
Brückentag-Wahrscheinlichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feiertag am Dienstag: 70 % für Montag</li> <li>• Feiertag am Donnerstag: 70 % für Freitag</li> </ul>

### 4.3.3 Geographic Locations

Ein wichtiger Einflussfaktor auf das Lastprofil ist natürlich der geographische Standort des Haushalts. Im bLPG wird der geographische Einfluss über zwei Faktoren abgebildet. Zum einen werden aus dem Längen- und Breitengrad die Sonnenaufgangs- und Untergangszeiten berechnet. Diese werden dann zur Steuerung der Beleuchtung und anderer Aktivitäten verwendet, welche über ein Time Limit auf Tageslichtzeiten begrenzt sind. Zum anderen wird über den Standort festgelegt, welche Feiertage für den jeweiligen Haushalt Gültigkeit haben.

Zwar wäre es ideal, alleine über eine Änderung des Standorts modellieren zu können, dass z.B. spanische Haushalte erst gegen 21:00 Uhr zu Abend essen, während deutsche Haushalte eher zu 18:00 tendieren, aber die Abhängigkeiten sind zu komplex, um sie sinnvoll automatisch umstellen zu können. Stattdessen muss dieser Sachverhalt durch das Anlegen neuer Affordanzen mit anderen

zeitlichen Beschränkungen abgebildet werden. Tabelle 4.11 zeigt ein Beispiel für die Definition eines Standorts.

Tabelle 4.11: Beispiel für die Definition einer Geographic Location

Eigenschaft	Wert
Name	Chemnitz
Breitengrad	50.827845
Längengrad	12.921370
Feiertage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1. Januar</li> <li>• ...</li> <li>• 1. Mai</li> <li>• ...</li> <li>• Weihnachten</li> </ul>

#### 4.3.4 Subaffordances

Es gibt eine Reihe von Aktivitäten im Alltag, die in den meisten Fällen gemeinsam durchgeführt werden. Beispiele dafür sind:

- gemeinsame Mahlzeiten,
- gemeinsames Ausgehen,
- gemeinsames Anschauen von Filmen,
- gemeinsame Besuche.

Die Herausforderung bei der Modellierung ist, dass z.B. Person A Hunger bekommt und anfängt zu kochen, aber Person B gerade einen 2 h-Spielfilm ansieht. Mit dem bisher beschriebenen Modell wird Person A alleine essen und Person B anfangen zu kochen, sobald sie mit dem Film fertig ist. Zur Vermeidung dieses Problems wurden Subaffordances in das Modell integriert.

Dafür wird für eine Affordanz definiert, dass sie nach einer bestimmten Zeit selbst eine neue Affordanz anbieten kann. Im Falle des Kochens wird z.B. nach 30 min für Person B die neue Affordanz “gemeinsames Essen” angeboten, und wenn diese als “unterbrechend” gekennzeichnet ist, während das Betrachten des Films als “unterbrechbar” markiert ist, dann wird Person B mitten im

Film aufstehen und zum Essen kommen. Tabelle 4.12 zeigt ein Beispiel für eine Definition.

Tabelle 4.12: Beispiel für die Definition einer Subaffordance

Eigenschaft	Wert
Name	gemeinsam Mittag essen
Unterbrechend	ja
Unterbrechbar	nein
Befriedigte Bedürfnisse	Hunger 100 %

### 4.3.5 Temperature Profiles und Date Based Profiles

Sowohl für die Berechnung der Heizlast, der Küllast als auch für manche Time Limits müssen Temperaturdaten vorliegen. Für die Integration einer PV-Anlage in ein Haus müssen Solarstrahlungsdaten vorliegen. Wenn Schulferien berücksichtigt werden sollen, dann erfordert dies auch die Ferientermine. Dafür wurden die beiden Typen **Temperature Profiles** und **Date Based Profiles** eingeführt. Diese enthalten Tupel aus einem Zeitstempel und einem Wert. Die Zeitauflösung kann dabei beliebig sein. Es ist also kein Problem, Stundenwerte der Außentemperatur für die Berechnung eines Stromlastprofils mit 1 min Auflösung zu verwenden. Dazu wird eine automatische Umrechnung auf die gewünschte Zeitauflösung vorgenommen. Falls die Auflösung des Profils größer ist als die Auflösung der Simulation, werden die fehlenden Werte jeweils mit dem letzten Wert aufgefüllt, sodass sich eine Stufenfunktion ergibt. Wenn die Auflösung des Profils feiner ist als die Simulation, wird über eine Durchschnittsfunktion umgerechnet. Tabelle 4.13 zeigt ein Beispiel für die Definition eines solchen Profils.

### 4.3.6 Vacations

Ein ebenfalls häufig vernachlässigter Aspekt sind Urlaube. Wenn zum Beispiel die Hausbewohner für mehrere Wochen im Sommer in Urlaub fahren, dann fällt das in die Zeit der maximalen Solarproduktion und beeinflusst den Eigenverbrauch deutlich. Zur Modellierung dieses Sachverhalts können Haushalten

Tabelle 4.13: Beispiel für die Definition eines Date Based Profiles

Datum	Sonneneinstrahlung
01.01.2013 00:00	0 W/m <sup>2</sup>
01.01.2013 01:00	0 W/m <sup>2</sup>
...	
05.07.2013 12:00	1000 W/m <sup>2</sup>
...	

eine oder mehrere Urlaubsperioden zugeordnet werden. In diesen Urlaubsperioden entfällt dann außer bei entsprechend gekennzeichneten Standby-Geräten sämtlicher Verbrauch. Tabelle 4.14 zeigt eine Beispieldefinition.

Tabelle 4.14: Beispiel für die Definition einer Vacation mit zufällig ausgewählten Zeiträumen

Eigenschaft	Wert
Name	2x eine Woche
Daten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 01.03.2013 bis 07.03.2015</li> <li>• 13.07.2013 bis 21.07.2013</li> </ul>

### 4.3.7 Autonome Geräte

Die autonomen Geräte wie der Kühlschrank, Gefrierschrank oder Standby-Geräte sind im Vergleich zum menschlichen Verhalten deutlich einfacher zu modellieren. Sie haben entweder konstanten Stromverbrauch oder sich wiederholende Profile. Abb. 4.10 zeigt ein Beispiel für den Stromverbrauch eines Kühlschranks. Das Profil wiederholt sich stets, wobei die Abstände zwischen den einzelnen Einschaltvorgängen je nach Umgebungsbedingungen leicht variieren.

Nicht alle Geräte sind allerdings 24 h an 365 Tagen in Betrieb. Dazu zählen:

- Die Heizungspumpe, welche nur bei aktivierter Heizung eingeschaltet ist.
- Bürocomputer, welche morgens gebootet werden und dann den ganzen Tag bis zum Feierabend in Betrieb sind.

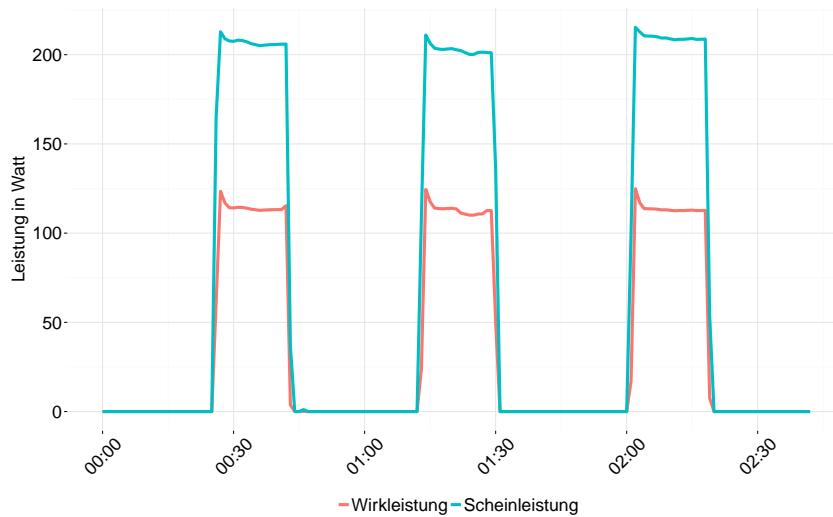


Abbildung 4.10: Beispiel für den Stromverbrauch eines Kühlschranks nach [47]

- Die Weihnachtsbeleuchtung, welche z.B. in Sachsen in sehr vielen Haushalten nach Einbruch der Dunkelheit traditionell vom ersten Advent bis zum 6. Januar in Betrieb ist.

Es ist also notwendig, für jedes Gerät vorgeben zu können, wann es eingeschaltet werden kann und zwar mit einer beliebigen Kombination von Bedingungen. Tabelle 4.15 zeigt wieder eine Beispieldefinition.

Tabelle 4.15: Beispiel für die Definition eines Autonomous Device

Eigenschaft	Wert
Name	Fernseher
Lasttyp	Wirkleistung
Time Limit	Immer eingeschaltet außer bei Urlauben länger als 5 Tage
Time Profile	1 % der Nennleistung
Location	Wohnzimmer

## 4.4 Houses und Settlements

Mit den bisher entwickelten Elementen können einzelne Haushalte plausibel abgebildet werden. Der nächste Schritt auf dem Weg zur Modellierung von

größeren Einheiten wie Dörfern oder Stadtvierteln ist die Einführung von **Houses** und **Settlements**, also Häusern und Siedlungen. Häuser haben als Eigenschaften einen **House Type** und einen oder mehrere Haushalte, dienen also zur Abbildung von sowohl Einfamilien- als auch Mehrfamilienhäusern. Im Haustyp wird die im Abschnitt 3.4 angesprochene Hausinfrastruktur definiert.

Siedlungen fassen dann einfach mehrere Häuser zusammen, sodass ein Summenlastprofil erstellt werden kann. Dargestellt ist die Datenstruktur für Häuser und Siedlungen in Abb. 4.11.

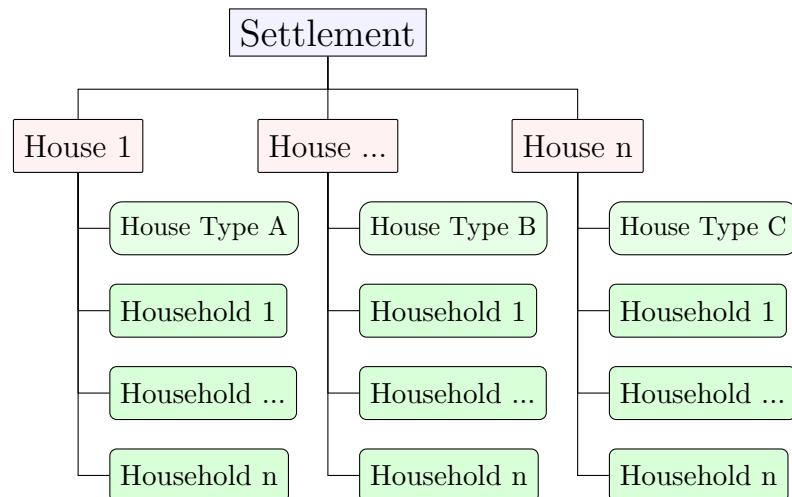


Abbildung 4.11: Datenstruktur der Settlements und Houses

#### 4.4.1 House Types

Mit dem Haustyp wird die Hausinfrastruktur modelliert. Diese wurde in einem getrennten Datentyp zusammengefasst, um die Dateneingabe zu erleichtern, da somit der Haustyp wiederverwendbar wird und nicht die Daten für jedes Haus erneut eingegeben werden müssen. Der Haustyp enthält als Eigenschaften:

- die Parameter für die Heizlastberechnung nach der beschriebenen Gradtagszahl-Methode,
- die Parameter für die Kühllastberechnung und
- die Anlagendefinition für die gegebenenfalls zu modellierende Hausinfrastruktur.

Für die Anlagensimulation wurde eine Minimalversion des TRNSYS-Ansatzes entwickelt. Dafür wurden die folgenden drei Elemente definiert:

- Generatoren haben externe Daten als Input und liefern einen bestimmten Wert für einen Lasttyp.
- Transformationen wandeln die Summe eines Lasttyps in einen oder mehrere Werte eines anderen Lasttyps.
- Speicher nehmen Überschüsse auf oder entladen sich bei Mangel.

Mit diesen drei Elementen können dann einfache Anlagen modelliert werden. Abb. 4.12 zeigt die vollständige Datenstruktur eines Haustyps. Zum Verständnis wird die Anwendung dieser Elemente im Folgenden in vier Beispielen beschrieben.

### **Beispiel 1: Photovoltaikanlage**

In der Realität erzeugt eine Photovoltaik-Anlage Strom in Abhängigkeit von der Solarstrahlung, der Ausrichtung, Neigung und der Außentemperatur. Wenn man als externe Daten Messwerte von einer Photovoltaik-Anlage verwendet, die mit einem Maßstabsübertragungsfaktor multipliziert wird, so ergibt sich näherungsweise die Leistung einer Photovoltaik-Anlage beliebiger Größe. Damit kann man dann z.B. untersuchen, wie sich die Stromflüsse in einem Niederspannungsnetz verändern, wenn ein bestimmter Anteil der Haushalte Photovoltaik-Anlagen auf dem Dach hat, wie z.B. Teuscher in [41] mit Lastprofilen aus einer frühen Version des bLPG demonstrierte. Visualisiert sind die Elemente in Abb. 4.13. Mit dem gezeigten Beispiel können bei großen PV-Leistungen übrigens auch negative Haushaltsleistungen zustandekommen, was dann zur Einspeisung ins Netz führt.

### **Beispiel 2: Photovoltaikanlage und Speicher**

Durch Hinzufügen eines Speichers beliebiger Größe zu dem Beispiel 1 kann untersucht werden, wie sich dezentrale Batteriespeicher auf die Stromflüsse auswirken. Dargestellt ist das in Abb. 4.14.

### **Beispiel 3: Modulierende Gastherme**

Gasthermen gibt es als modulierende Gasthermen, welche in Abhängigkeit des Bedarfs die Größe der Flamme anpassen, sowie als taktende Gasthermen, welche abwechselnd ein- und ausschalten. Die modulierende Gastherme

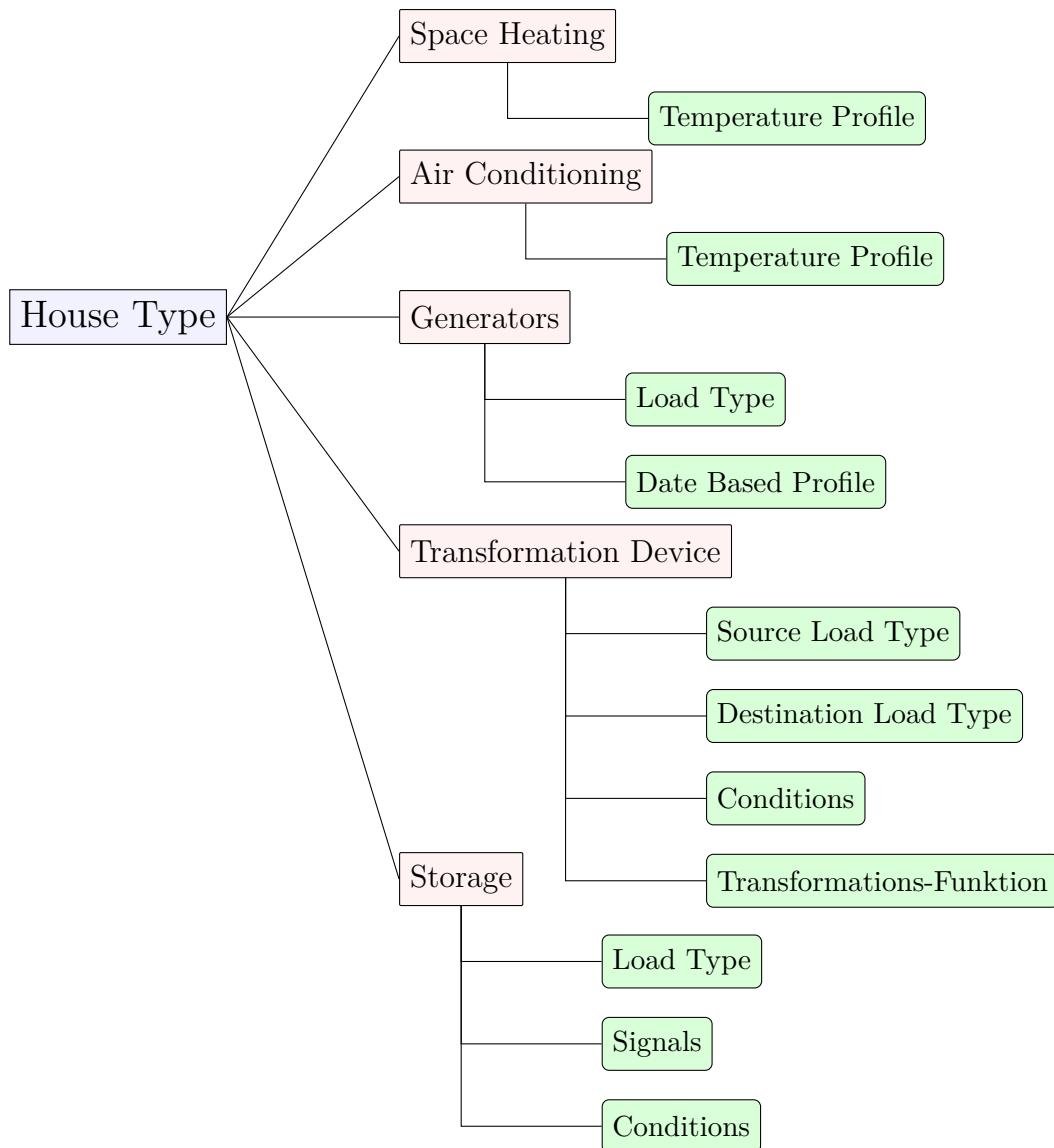


Abbildung 4.12: Datenstruktur für das Element Housetype

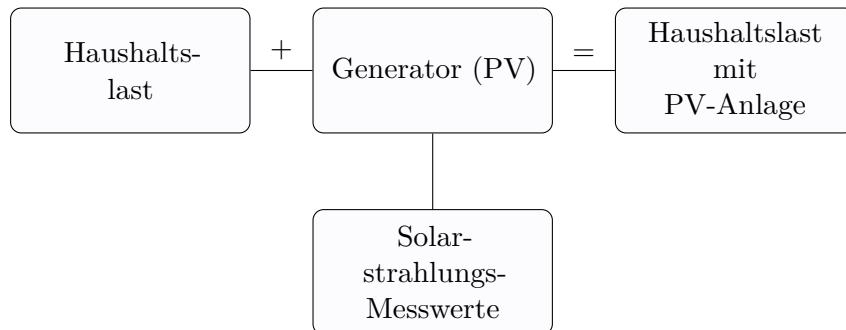


Abbildung 4.13: Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung der Photovoltaik-Anlage

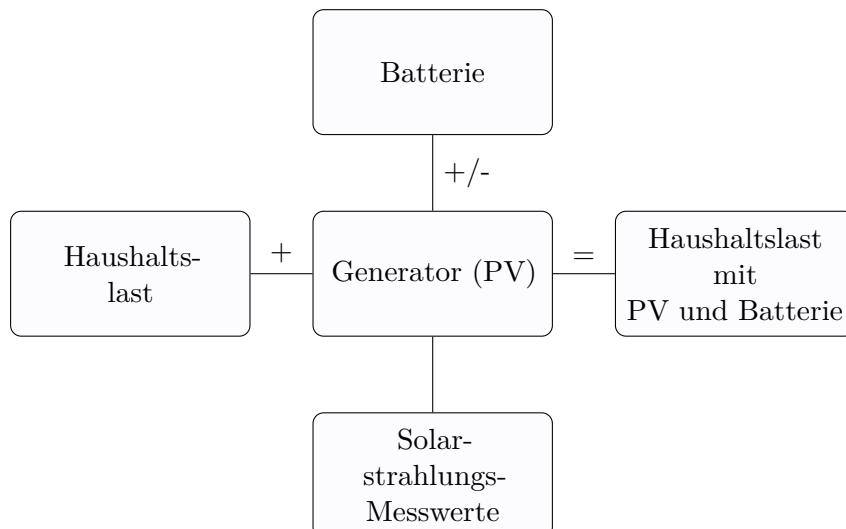


Abbildung 4.14: Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung der PV-Anlage mit Batteriespeicher

ist deutlich komplizierter zu bauen, aber sehr viel einfacher zu modellieren. Zur Modellierung des Gasverbrauchs müssen nur zwei Transformationen eingesetzt werden. Die erste Transformation rechnet den Heizbedarf aus dem Heizungsmodell in einen Gasverbrauch um. Die zweite Transformation muss den Warmwasserbedarf in einen Gasverbrauch umrechnen. Anschaulich gemacht ist das in Abb. 4.15.

#### **Beispiel 4: Taktende Gasheizung mit Warmwasserspeicher**

Die meisten Gasheizungen haben zur Verbesserung der Effizienz Pufferspeicher. Zur Modellierung dieses Sachverhaltes werden die beiden Transformationen des Beispiels 3 mit dem Speicher verbunden. Dieser wiederum wird über ein Steuersignal mit der Gasheizungs-Transformation verbunden, sodass der Spei-

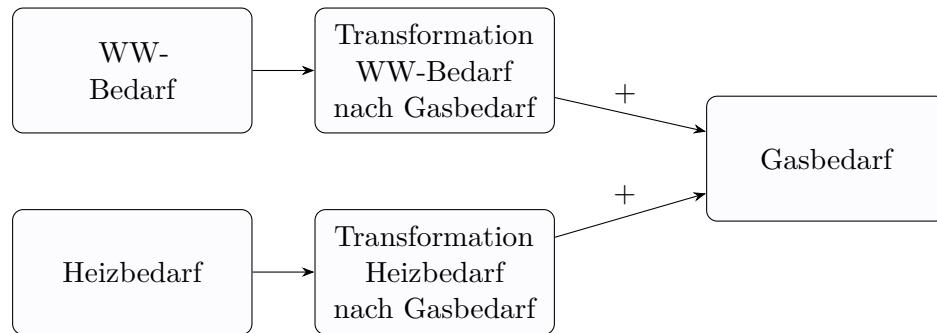


Abbildung 4.15: Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung des Gasbedarfs einer modulierenden Gastherme

cher bei Bedarf automatisch von der Gasheizung befüllt wird. Das Schema dafür enthält Abb. 4.16.

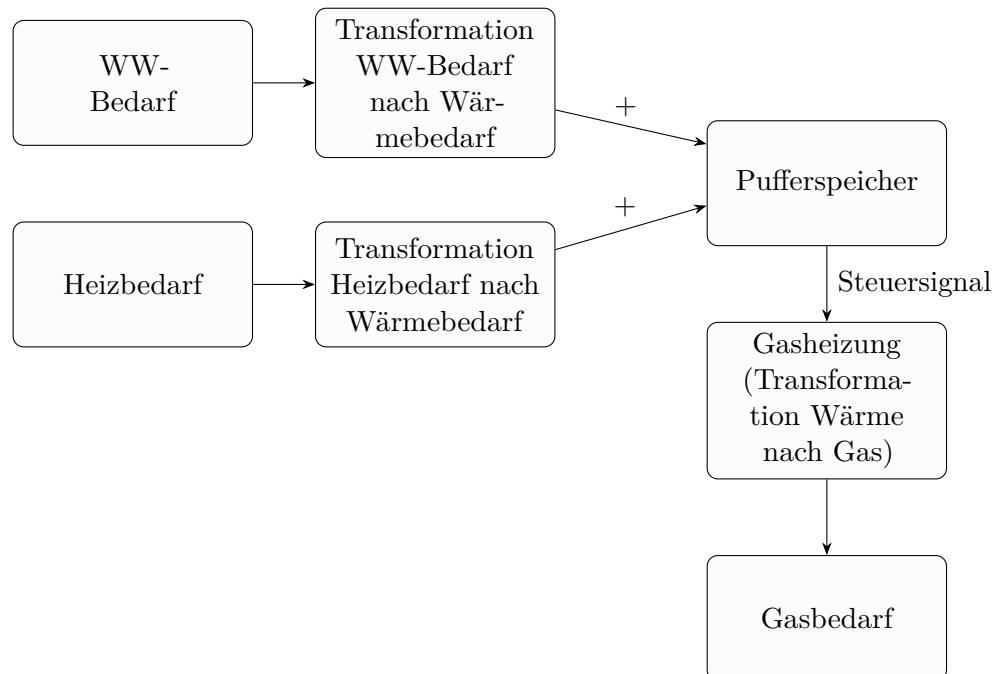


Abbildung 4.16: Zusammenwirken der Elemente für die Modellierung des Gasbedarfs einer taktenden Gastherme mit Pufferspeicher

## 4.5 Abstraktion der Geräte

Der erste Schritt auf dem Weg zur automatischen Generierung von Haushalten ist die Flexibilisierung der Gerätezuordnung. Mit dem bisher beschriebenen Modell ist jede Affordanz fest mit bestimmten Geräten und Gerätelastprofilen

gekoppelt. Damit ist gemeint, dass beim Anlegen der Affordanz eingeben wird, dass z.B. "Wäsche waschen 30 °C" die Waschmaschine Bosch XYZ benötigt. Allerdings haben in einer Siedlung in der Realität natürlich nicht alle Haushalte dieselbe Waschmaschine. Es sollte daher auch im bLPG möglich sein, die Geräte bei der Simulation automatisch zu variieren, ohne in den Affordanzen Änderungen einpflegen zu müssen.

Der erste Ansatz war die Einführung von **Device Categories**, also Gerätekategorien. Dafür wird jedem Gerät eine Gerätekategorie zugeordnet und in den Affordanzen wird die Gerätekategorie statt eines konkreten Geräts definiert. Beim Durchführen der Simulation ist es dann möglich, während der Initialisierung des Haushalts automatisch eine bestimmte Waschmaschine aus der Kategorie "Waschmaschinen" auszuwählen.

Damit ist es möglich, z.B. für eine Variantenuntersuchungen einen Staubsauger von 1990, welcher 3000 W verbraucht, automatisch gegen einen Staubsauger von 2015 mit 900 W Verbrauch auszutauschen. Allerdings hat sich bei vielen Haushaltsgeräten nicht der maximale Stromverbrauch geändert, sondern das Gerätelastprofil. Zum Beispiel benötigen Kühlschränke von 2015 annährend dieselbe Leistung wie Kühlschränke von 1990, aber die Einschaltdauern haben sich verkürzt und die Abstände zwischen Einschaltvorgängen haben sich deutlich verlängert, so dass insgesamt nur noch ein Bruchteil des gesamten Energieverbrauchs anfällt.

Daher wurde das Konzept der **Device Actions**, also Geräteaktivierungen, im bLPG eingeführt. Eine Geräteaktivierung kann eine oder mehrere Gerätelastprofile für einen oder mehrere Lasttypen auslösen. Zum Beispiel wird ein Waschbecken bei der Geräteaktivierung "Waschbecken 1 min warmes Wasser 100 %" das 100 %-Profil für eine Minute lang für den Lasttyp "Warmes Wasser" ausführen. Ein anderes Beispiel wäre das Einschalten der Waschmaschine Bosch Model XYZ für eine 60 °C Buntwäsche, was dann passende Geräteprofile für kaltes Wasser, Wirkleistung, Scheinleistung und Blindleistung auslöst.

Um den automatischen Austausch verschiedener Geräteaktivierungen zu ermöglichen, war noch eine Einordnung der Geräteaktivierungen notwendig. Zur Vermeidung von Verwirrung mit den Gerätekategorien wurden die Kategorien für die Geräteaktivierungen **Device Action Groups** genannt. Der Vorteil dieser Konstruktion lässt sich am besten an einem Beispiel erklären. Mit dem

in Abschnitt 4.2 diskutierten Modell wären getrennte Affordanzen für jeden Typ von Waschmaschine und jeden Waschgang nötig. Mit dem Konstrukt der “Device Action Groups” kann eine Affordanz für den 60 °C Waschgang definiert werden und der bLPG kann bei der Initialisierung des Haushalts automatisch eine bestimmte Waschmaschine aus dem vorgegebenen Bestand aussuchen und diese mit dem korrekten, gemessenen Profil dieser spezifischen Waschmaschine simulieren. Dabei ist zu beachten, dass zwischen Devices und Device Action Groups ein n:m Verhältnis besteht, d.h., ein Device kann in mehreren Device Action Groups auftauchen und eine Device Action Group kann mehrere Devices enthalten.

Schwierig war dabei, sicherzustellen, dass in einem Haushalt mit der Affordanz “waschen 30 °C ” und “waschen 60 °C ” nicht zwei verschiedene Waschmaschinen installiert werden. Die Lösung war die Speicherung der bereits gewählten Geräte für jede Device Category und jede Device Action Group und die Überprüfung der Listen beim Hinzufügen von Geräten und Erstellen von Affordanzen. Nachdem das Problem gelöst war, konnten Geräte automatisch getauscht werden.

Allerdings macht für bestimmte Anwendungsfälle wie z.B. die Beleuchtung in Zimmern die Verwendung von Device Actions keinen Sinn. Auch ist es bei der Modellierung eines konkreten Haushalts aus einer Umfrage sehr viel einfacher, direkt Geräte wählen zu können und nicht erst Device Action Groups anlegen zu müssen. Daher wurde im bLPG darauf geachtet, dass bei der Modellierung diese Elemente austauschbar sind. Das heißt, an fast jeder Stelle, wo ein Gerät und ein Gerätelastprofil verwendet werden kann, kann auch eine Gerätekategorie und ein Gerätelastprofil, eine Device Action oder eine Device Action Group verwendet werden. Abb. 4.17 zeigt die verschiedenen Methoden, eine Geräteaktivierung zu modellieren nochmals als Diagramm.

## 4.6 Abstraktion Haushaltsdefinition

Der nächste Schritt auf dem Weg zur Generierung vollständiger Siedlungen ist die Einführung einer Abstraktionsebene für die Zusammensetzung der Haushalte. Mit dem beschriebenen Modell ist zwar die Modellierung, nicht aber das automatische Zusammenfügen von Haushalten möglich. Angestrebt ist ein Zusammenbau von Haushalten nach dem LEGO®-Prinzip, d.h. verwenden

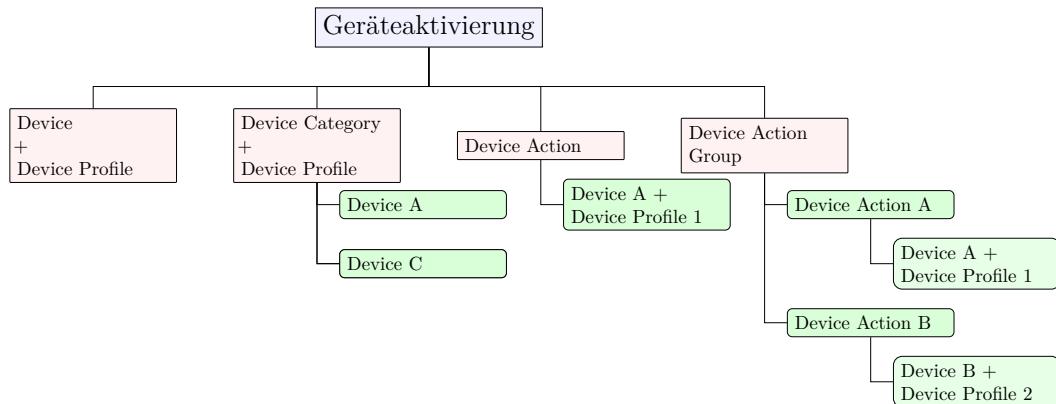


Abbildung 4.17: Möglichkeiten für die Modellierung einer Geräteaktivierung nach Einführung der Abstraktionsebenen

fertiger Bausteine, die schnell und einfach zusammengefügt werden können. Mit dem bis jetzt beschriebenen Modell müssen aber beim Einfügen einer neuen Aktivität in einen Haushalt folgende Festlegungen getroffen werden:

- Eine Affordanz muss ausgewählt werden.
- Passende Bedürfnisse müssen Personen zugeordnet werden, zu denen jeweils die zugehörigen Werte festgelegt werden müssen..
- Gegebenenfalls notwendige autonome Geräte, z.B. für Standby, müssen dem Haushalt hinzugefügt werden, wobei die passenden Gerätelastprofile auszuwählen sind.

Da dies sehr schwierig zu automatisieren ist, wurde das Konzept der **Household Traits** eingeführt. In einem Household Trait werden Bedürfnisse, Affordanzen und autonome Geräte zusammengefasst. Die Household Traits können dann in einem **Combined Household** Personen zugeordnet werden.

Der Unterschied bei der Modellierung lässt sich am besten an einem Beispiel erläutern. Es soll die Aktivität “1 h Fernsehen” in einen Haushalt eingefügt werden. Dafür waren mit dem bis jetzt beschriebenen Modell folgende Schritte notwendig:

- Bedürfnis für “Fernsehen” bei einer Person eintragen.
- Weight, Decay Time und Threshold definieren.
- Affordanz “Fernsehen, 1 h” in den Haushalt einfügen.

- Fernseher und Receiver als Standby-Geräte hinzufügen.

Mit Household Traits hingegen reduziert sich das zu:

- Household Trait “Fernsehen, 1 h, 1 x/Tag” zuordnen.

Die Datenstruktur für einen Household Trait ist in Abb. 4.18 und für einen Combined Household in Abb. 4.19 dargestellt.

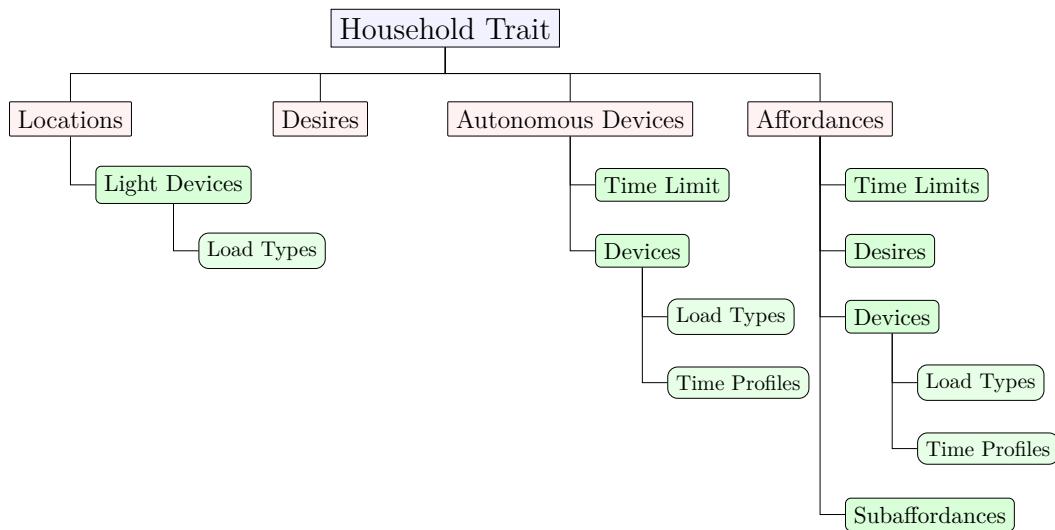


Abbildung 4.18: Datenstruktur für einen Household Trait

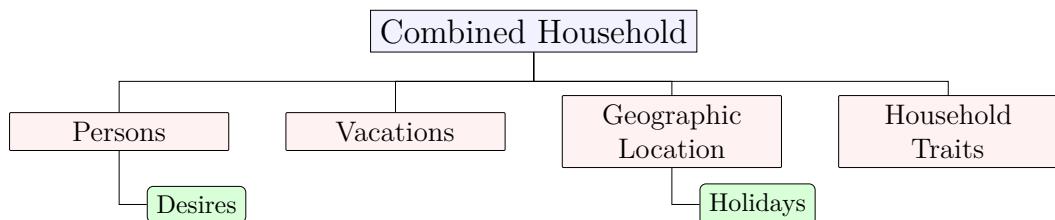


Abbildung 4.19: Datenstruktur für einen Combined Household

Für den automatischen Zusammenbau wurden dann **Trait Tags** definiert. Hier muss zum Verständnis etwas ausgeholt werden: Es gibt zwei Methoden, Elemente zu organisieren. Die erste Methode ist die Kategorisierung. Hier werden allen Elementen Kategorien zugeordnet. Dabei fällt jedes Element in genau eine Kategorie, es liegt also eine n:1-Beziehung vor. Die andere Methode ist die Annotation oder auf englisch das Tagging. Hierbei werden jedem Element ein oder mehrere Tags zugeordnet. Zwischen Elementen und Tags liegt also eine

n:m-Beziehung vor. Mit Tags werden jedem Trait dann Meta-Informationen wie z.B. "Hobby", "Sport", "Kochen" usw. zugeordnet.

Um automatisch Haushalte mit einem **Household Template** zu erstellen, werden Regeln benötigt wie z.B. "Die Mutter in diesem Haushalt soll zwischen 2 und 5 Hobbys aus der Liste der Hobbys haben" und "Die Mutter sollte mindestens einmal die Woche Sport machen". Man sieht schon hier, dass es dabei leicht zu Überlappungen kommt, weil manche, aber nicht alle Sportarten auch Hobbys sind. Auch Regeln wie z.B. "Weise einem der beiden Eltern zufällig die Aufgabe Bad putzen zu" sind notwendig, um hinreichend Varianz in die generierten Haushalte zu integrieren. Durch das System der Trait Tags, wobei jedem Household Trait ein oder mehrere Tags zugeordnet werden, können solche Regeln leicht implementiert werden. Also gehören zu einem Household Template folgende Elemente:

- eine Liste der Personen, welche den zu erstellenden Haushalten zugeordnet werden sollen,
- eine Liste der zulässigen Ferienzeiträume für die neu erstellten Haushalte, da z.B. ein Haushalt mit Schulkindern bestimmte Ferienzeiträume nicht wahrnehmen kann,
- und eine Liste von Regeln für die Zuweisung von Traits zu den Personen im Haushalt.

Danach müssen nur noch den Household Traits selbst eine Reihe von Regeln zur Prüfung der Sinnhaftigkeit hinzugefügt werden:

- Es wird eine Kategorisierung der Traits an sich benötigt, um sicherzustellen, dass nicht mehrere Traits für die gleiche Affordanz zur gleichen Person hinzugefügt werden.
- Für die Traits müssen Bedingungen für Alter und Geschlecht definiert werden.
- Es muss für die Traits festgelegt werden, wie viele Personen minimal und maximal im Haushalt leben dürfen, um z.B. zu vermeiden, dass Single-Mahlzeiten im Haushalt der Großfamilie landen.

- Für alle Traits muss bestimmt sein, wie oft sie im Haushalt vorkommen dürfen, um zu vermeiden, dass z.B. drei verschiedene Personen jeden Tag Schnee schaufeln gehen.

Nach der Integration all dieser Regeln und dem Anlegen von den entsprechenden Templates ist es möglich, automatisch vollständige Siedlungen zu erstellen, bei denen jeder einzelne Haushalt anders, aber plausibel ist.

## 4.7 Elemente für Auswertungen

Nach dem letzten Abschnitt sind alle Elemente für die Modellierung vollständiger Siedlungen eingeführt und somit sind die einzigen verbleibenden Herausforderungen die Validierung und die Erstellung von Auswertungen. Dieser Abschnitt beschreibt nur die zusätzlichen Elemente im Datenmodell für die Auswertung. Die eigentlichen Auswertungen selbst werden im nächsten Kapitel beschrieben und gezeigt, da diese der Implementierung und nicht dem Modell zuzuordnen sind.

Wenn man eine vollständige Siedlung simuliert hat und die Ergebnisse mit öffentlich zugänglichen Statistiken vergleichen möchte, wie z.B. [10] oder auch [31], dann stellt man fest, dass jede Studie ein anderes Kategorisierungssystem verwendet. Es ist daher beschwerlich, bei jedem Haushalt und jeder Simulation für die Auswertung immer wieder zu erraten, welche Aktivitäten z.B. eher in die Kategorie “Hobby” und welche eher in die Kategorie “Entertainment” gehören mögen. Daher wurden **Device Tagging Sets** und **Affordance Tagging Sets** eingeführt. Mit einem solchen Set von Tags kann einmalig definiert werden, welche Aktivitäten in welche Kategorien fallen. Danach kann dann bei jeder Simulation automatisch ausgewertet werden, wie viel Zeit oder Energie in der jeweiligen Kategorie verbraucht wurde.

Das zweite wichtige Element für die Auswertungen sind die **Household Plans**. Es gibt im bLPG keine Methode, festzulegen, wie oft bestimmte Aktivitäten ausgeführt werden. Es kann zwar festlegt werden, dass die Person für ein Bedürfnis eine Verfallszeit von 3 h hat und somit nach 6 h bis 9 h vermutlich ein sehr starker Drang vorliegt, die entsprechende Aktivität auszuführen. Aber wenn andere Aktivitäten mit höherer Gewichtung vorliegen, kann es sein, dass

die erste Aktivität trotzdem nie oder nur sehr selten ausgeführt wird. Typische Angaben in Umfragen sind aber z.B. "Zwei Mal pro Woche ins Fitnessstudio".

Wenn man basierend auf solchen Angaben einen konkreten Haushalt modellieren möchte, dann muss man eine erste Schätzung der Werte für alle Bedürfnisse machen, simulieren und dann von Hand auswerten, ob die Person wirklich zwei Mal pro Woche ins Fitnessstudio gegangen ist. Um diese Aufgabe etwas zu vereinfachen, wurden in den bLPG die Household Plans integriert. In diesen können Angaben wie eben "Zwei mal pro Woche X" oder "3 mal pro Jahr Y" eingegeben werden. Bei der Simulation werden dann Auswertungen erstellt, die zeigen, wie groß die Abweichungen sind. Das beschleunigt die iterative Verbesserung der Haushaltsdefinitionen deutlich. Eine automatische Optimierung wäre an dieser Stelle denkbar, aber durch die Vielzahl der Variablen und die Abhängigkeiten zwischen den Variablen wären damit lange Rechenzeiten verbunden.

## 4.8 Zusammenfassung des Modells des bLPG

In diesem Kapitel wurde das Modell hinter dem bLPG vorgestellt. Dabei mussten zwei getrennte Probleme gelöst werden. Das erste Problem war die Erstellung eines im Computer umsetzbaren Modells. Dieses Problem wurde mit dem beschriebenen verhaltensbasierten Ansatz gelöst. Das zweite Problem war die automatische Erstellung einer großen Anzahl verschiedener Haushalte. Dafür wurden verschiedene Abstraktionsebenen in das Modell eingeführt, was dann über den Weg der Household Templates zum Ziel führte. Schließlich wurden noch einige Hilfen für die Auswertung vorgestellt. Damit kann dann im nächsten Kapitel die Implementierung beschrieben werden.

# Kapitel 5

## Implementierung

Ein reines Datenmodell ohne Implementierung ist nur begrenzt nützlich. Daher wurde das im letzten Kapitel vorgestellte Modell im bLPG umgesetzt, um es zum einen zu testen und zum anderen benutzbar zu machen. Der bLPG ist ein Windows-Programm. Dieses Kapitel beschreibt die Implementierung. Dabei wird der Fokus auf die Programmstruktur und die Besonderheiten gelegt. Dieses Kapitel ist aber keine Bedienungsanleitung. Diese ist aufgrund des Umfangs im Kapitel B enthalten.

### 5.1 Allgemeines

Bevor im weiteren auf die technischen Details eingegangen wird, folgt als Einführung zunächst ein kurzer Überblick.

Als Programmiersprache für den bLPG wurde C# verwendet. C# ist eine an C und Java angelehnte Programmiersprache, welche von der Firma Microsoft seit 2001 kontinuierlich weiterentwickelt wird. Die Sprache wurde aus folgenden Gründen gewählt:

- Eine sehr ausgereifte Programmierumgebung steht in Form von Visual Studio zur Verfügung.
- Die Sprache ermöglicht eine sehr schnelle Entwicklung, da eine umfangreiche Bibliothek von Standardfunktionen zur Verfügung steht.
- Die Verwaltung des Hauptspeichers erfolgt automatisch mit einem Garbage Collector und muss nicht wie in C durch den Programmierer erfolgen.

Damit wird die häufigste Quelle von Programmierfehlern direkt ausgeschlossen.

- Für die Ausführung ist eine Laufzeitumgebung erforderlich, aber diese ist hochgradig optimiert, wodurch kaum ein Geschwindigkeitsverlust im Vergleich zu C auftritt.
- Die Sprache hat einen Multi-Paradigma-Ansatz, d.h., sie unterstützt sowohl objektorientierte als auch funktionale Programmierung.

Der bLPG selbst ist vollständig objektorientiert programmiert, da nur so die Komplexität des Programms beherrschbar bleibt. Das User-Interface wurde mit dem Framework WPF gestaltet. Für die anfallenden Daten benötigt man auch eine Möglichkeit der Datenspeicherung. Aus Gründen der Portabilität und Flexibilität wurde die SQL-Datenbank SQLite verwendet. Diese steht als Open-Source-Lösung kostenfrei zur Verfügung, ist sehr kompakt, portabel und hinreichend schnell.

## 5.2 Historie

Bevor im nächsten Abschnitt auf die Features des LPG eingegangen wird, zunächst ein paar Worte zur Entstehungsgeschichte, die für das Verständnis vieler Design-Entscheidungen relevant ist.

Die Entwicklung des bLPG begann bereits 2011 durch den Autor. Abb. 5.1 zeigt ein Bild des User-Interfaces einer der ersten Versionen. Die Entwicklung begann im Rahmen der ESF-Nachwuchsforschergruppe “Intelligente Dezentrale Energiespeicherung”. Der Grundgedanke war, durch die intelligente Verknüpfung von verschiedenen Technologien wie Photovoltaik, Brennstoffzelle, Batterie und Wärmespeicher die lokale Versorgung zu optimieren und damit Effizienzvorteile zu erreichen. Zusätzlich sollte die Möglichkeit der Verknüpfung von mehreren Häusern in einem Gebiet untersucht werden. Aus der Untersuchung dieser Verknüpfung ist u.a. die Dissertation von Teuscher [41] entstanden.

Für die Untersuchungen waren, wie schon in der Einleitung beschrieben, Lastprofile für mehrere hundert Haushalte notwendig. Dabei sollten die Lastprofile so realistisch wie möglich sein und es waren zueinander passende Lastprofile für sowohl Warmwasser als auch Elektrizität notwendig. Da die Recherche ergab, dass es dafür keine passende Lösung gab und da die Messung von mehreren

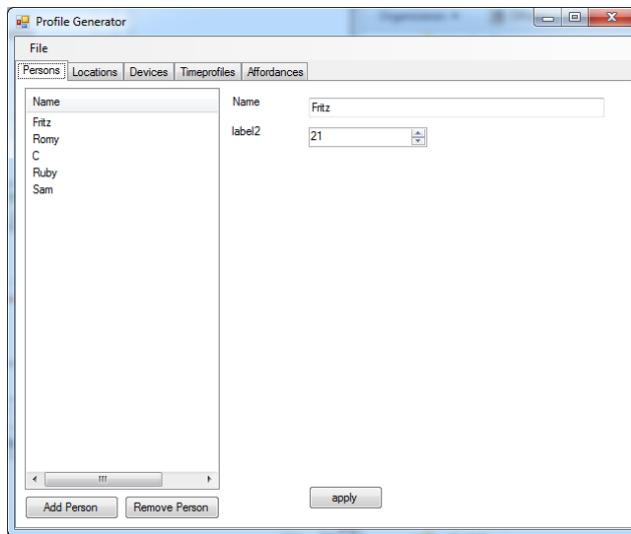


Abbildung 5.1: Screenshot von einer der ersten Versionen des bLPG

hundert Einzelhaushalten aus Budgetgründen leider nicht möglich war, wurde beschlossen, den bLPG zu entwickeln. Um sowohl andere Interessenten von der Entwicklung profitieren zu lassen, als auch um Feedback anderer Benutzer zu sammeln, wurde das Programm schon sehr früh im Web als Freeware zur Verfügung gestellt.

Version 1.0 setzte bereits die Grundgedanken der verhaltensbasierten Modellierung um, aber viele Aspekte, wie z.B. die Hausinfrastruktur oder die ausgefeilten Zeitbegrenzungen für Aktivitäten, fehlten noch. Der bLPG wurde dann bis zum Ende der Nachwuchsforschergruppe während der Arbeitszeit durch den Autor kontinuierlich weiterentwickelt bis zur Version 1.35 in 2013. Mitte 2014 wurde der Sourcecode der Version 1.35 unter der BSD Lizenz veröffentlicht und zum Download zur Verfügung gestellt.

Danach erfolgte die Weiterentwicklung zur gegenwärtigen Version außerhalb der Arbeitszeit und das Programm wurde unter <http://loadprofilegenerator.de> zum Download bereit gestellt. Dadurch weckte das Programm z.B. auch das Interesse von Firmen, für welche neue Lastprofile entwickelt wurden, und die von deren Kunden genutzt werden können, um den Eigenverbrauch von Haushalten bei Einsatz einer Solaranlage oder eines Batteriesystems abzuschätzen. Auch die Datenspende von den Geräteprofilen von Dr. Binder vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg kam zustande, weil dort der bLPG eingesetzt wurde. Aber auch von anderen Benutzern

kam viel Feedback. Das war nicht nur für die Motivation, sondern auch für die Entwicklung des bLPG sehr förderlich, da so die Schwachstellen besser identifiziert und in einem frühen Stadium behoben werden konnten.

### 5.3 Features

Durch die lange Entwicklungsphase kann der bLPG einen großen Funktionsumfang aufweisen. Hier ist die Liste der wichtigsten Features der Implementierung:

- Der bLPG ist ein einfach zu bedienendes, benutzerfreundliches Windows-Programm mit einem grafischen Benutzeroberfläche für die Modellierung.
- Zusätzlich steht ein Kommandozeilen-Interface für die effiziente Durchführung von Simulationen und deren Automatisierung zur Verfügung.
- Der Simulationszeitraum ist von wenigen Tagen bis zu mehreren Jahren frei wählbar.
- Die Modellierung ist flexibel gestaltet und kann nach kurzer Lernphase vom Anwender selbst durchgeführt werden. Es ist an keiner Stelle notwendig, Wahrscheinlichkeitsverteilungen o.ä. zu berechnen.
- Die Zeitauflösungen der internen Berechnung und der Ergebnisdateien sind voneinander unabhängig und beide frei konfigurierbar. Intern wird mit 1 min oder besser simuliert. Für die Ausgabedateien kann eine beliebige zeitliche Auflösung gewählt werden, solange diese ein ganzzahliges Vielfaches der internen Auflösung ist.
- Auf Wunsch des Anwenders können umfangreiche Auswertungen generiert werden, welche das erzeugte Lastprofil nach einer Vielzahl von Kriterien bewerten.
- Beliebige Geräte-, Temperatur- und sonstige Profile können in die Berechnung einbezogen werden.
- Für die automatische Erstellung einer größeren Anzahl unterschiedlicher Haushalte gibt es vordefinierte Household Templates, mit denen automatisch neue Haushalte erstellt werden können, die dann z.B. unterschiedliche Hobbys, andere Arbeitszeiten etc. haben.

- Es werden Ausgabedateien sowohl für das Gesamtprofil des Haushalts als auch für die einzelnen Geräteprofile erzeugt. Damit kann man z.B. für Studien zum Demand-Side-Management sehr einfach untersuchen, wie sich das Lastprofil ändert, wenn man z.B. das Wäschewaschen auf bestimmte Zeiten verlegt.
- Um die Kompatibilität mit älteren Versionen jederzeit aufrechtzuerhalten, ist es möglich, Haushalte aus älteren Versionen zu importieren.
- Es ist möglich, im Programm vollständige Siedlungen zu erstellen, für welche die Ergebnisse der Einzelhaushalte zusammengefasst werden.
- Es sind über 50 Haushalte vordefiniert, basierend auf einer Mischung aus statistischen Daten, Messungen, einer Umfrage, persönlichen Erfahrungen und gesundem Menschenverstand.
- Für die meisten Geräte sind gemessene Geräteprofile hinterlegt.
- Die Geräteprofile sind frei vom Benutzer erweiterbar und austauschbar.

## 5.4 Struktur

Der bLPG ist zur Reduktion der Komplexität intern in mehrere Module aufgeteilt. Die Module und deren Zusammenwirken sind in Abb. 5.2 dargestellt. Relativ früh in der Entwicklung stellte sich heraus, dass für die Berechnung ein völlig anderes Datenmodell als für das User Interface (UI) notwendig ist. Daher wurde hier eine Aufteilung vorgenommen. Der CalcController nimmt bei der Berechnung dann z.B. einen UI-Haushalt aus dem UI-Datenmodell und verwandelt ihn in einen Berechnungs-Haushalt im Berechnungs-Datenmodell. Bei dieser Umwandlung werden unter anderem die Device Actions durch konkrete Geräte ersetzt und die Household Traits werden zusammengeführt zu einem konkreten Haushalt. Durch diese Abstraktion sind Modellierung und Berechnung entkoppelt. Tabelle 5.1 enthält einen ersten Überblick über die Struktur des Programms. Auf die detaillierte Beschreibung wird dann in den nächsten Abschnitten weiter eingegangen. In der Tabelle sind zusätzlich die Anzahl der Codezeilen in den einzelnen Modulen aufgeführt. Da für die Entwicklung größtenteils das Prinzip des Test-Driven Development (TDD) verwendet wurde, gibt es mehrere hundert sogenannte Unit-Tests. Sie enthalten jeweils den Test für eine bestimmte Funktion oder eine Klasse. Zwar erfordert die

Erstellung der Tests zunächst etwas Mehraufwand, aber der große Vorteil der automatischen Tests ist, dass sie bei jeder Änderung automatisch erneut ausgeführt werden können. Damit lässt sich einfacher sicherstellen, das Änderungen nicht unbemerkt Nebeneffekte auslösen.

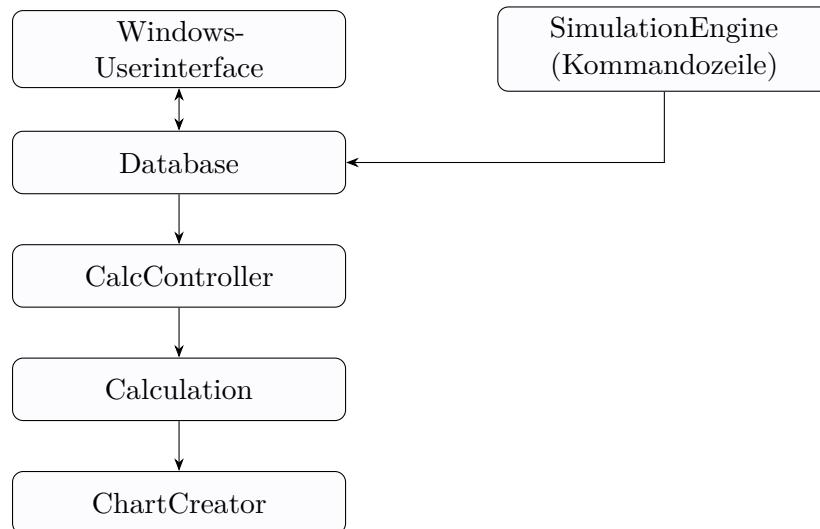


Abbildung 5.2: Zusammenwirken der Module im bLPG

## 5.5 User Interface

Dieses Modul beinhaltet die gesamte Programmlogik für die Interaktion mit dem Benutzer. Als Framework wird dabei wie erwähnt die Microsoft Windows Presentation Foundation (WPF) genutzt. WPF ermöglicht es, Steuerelemente an Felder von Klassen zu binden. Damit wird die Entwicklung deutlich beschleunigt. Ohne die Datenbindung muss z.B. einzeln für jedes Feld jeder Klasse in jeder relevanten Ansicht programmiert werden, dass der Wert des Feldes in das entsprechende Steuerelement (also z.B. ein Textfeld) beim Öffnen der Ansicht übertragen wird und beim Schließen wieder zurückübertragen wird. Mit WPF wird stattdessen nur die Verbindung zwischen dem Feld der Klasse und dem Steuerelement einmalig definiert. Zusätzlich bringt WPF viele Steuerelemente und Layout-Funktionen mit, welche die Arbeit deutlich erleichtern und das Ergebnis präsentabler machen.

Grob umschrieben wird im UI-Modul festgelegt, welche Steuerelemente welchen Programmcode auslösen. Alle Steuerelemente und deren Anordnung werden festgelegt, die Verbindungen zwischen den Steuerelementen und den

Tabelle 5.1: Beschreibung der Funktion der einzelnen Elemente und Anzahl Zeilen Programmcode in der Version 4.5

Name	Zeilen	Funktion
CalcController	2524	Wandelt das User-Interface-Datenmodell in das Berechnungsdatenmodell um.
CalcController.Tests	624	Enthält die Tests für den CalcController.
Calculation	4678	Führt die Berechnungen durch.
Calculation.Tests	1312	Enthält die Tests für die Berechnungen
ChartCreator	2826	Erstellt die Grafiken und das PDF.
ChartCreatorTests	381	Enthält die Tests für die Grafiken.
CommonDataWPF	737	Enthält Elemente, die modulübergreifend benötigt werden.
DatabaseIO	12778	Enthält das Datenmodell und die Logik für das Laden und Speichern.
DatabaseIO.Tests	3229	Tests für das Datenmodell.
LoadProfileGenerator UI	8248	Enthält das gesamte User Interface.
SimulationEngine	1217	Enthält ein Kommandozeilen-Interface für die Durchführung von Berechnungen.
SimulationEngine.Tests	342	Enthält die Tests für das Kommandozeilen-Interface.
Summe	38896	

Feldern aus dem Datenmodell definiert und es wird die Fehlerprüfung der Eingaben durchgeführt. Die strenge Trennung zwischen UI, Datenbank und Programm hat sich insbesondere bei der Erstellung des Kommandozeilen-Interfaces ausgezahlt, da dieses so sehr einfach gehalten werden konnte. Das UI setzt dabei das Model-View-Controller (MVC)-Pattern um. MVC ist eine Methode, die UI-Programmierung auf eine bestimmte Art zu strukturieren, welche die Wartbarkeit und Erweiterbarkeit erhöht. Je komplexer ein Projekt wird, desto wichtiger wird die Strukturierung des Programms und der Einsatz solcher Patterns.

Für jede Objektklasse, die im letzten Kapitel beschrieben wurde, wie z.B. die Haushalte, Affordanzen oder Geräte, gibt es eine eigene Ansicht. Die Ansichten repräsentieren das “View” in MVC. Abb. 5.3 zeigt einen Screenshot der Entwicklungsumgebung für die Erstellung der Desire-Ansicht. Man sieht, dass zum einen eine grafische Vorschau vorhanden ist und zum anderen die Definition der Ansicht in XAML dargestellt wird, einem Dialekt von XML, der “eXtensible Markup Language”. In dieser Sprache wird jedes einzelne Steuerelement der Ansicht und die Datenbindung festgelegt.

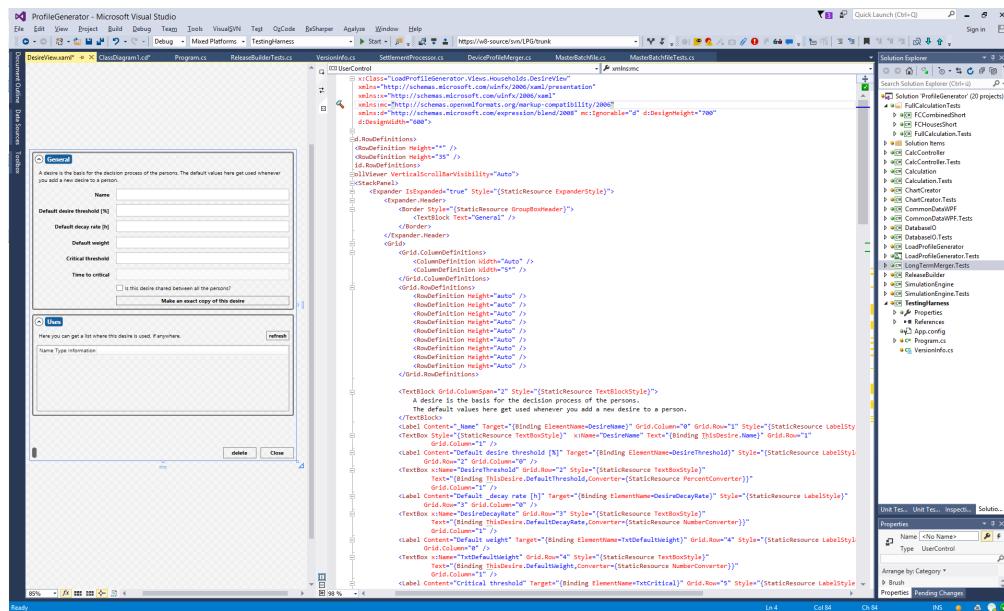


Abbildung 5.3: Screenshot der Entwicklungsumgebung

Zu jeder Ansicht wird von dem Programmiermuster ein passender Presenter benötigt, der kontrolliert, welche Informationen in die Datenbank fließen, und der alle Hilfs-Funktionen enthält, welche für die Ansicht benötigt werden. Die Presenter repräsentieren die “Controller” im MVC-Muster. Abb. 5.4 zeigt die Klassenstruktur des UI-Moduls als Übersicht. In der Grafik werden nur die Klassen und die Vererbungen dargestellt, da eine Darstellung des Zusammenwirkens der Klassen durch die Vielzahl der Linien zu unübersichtlich wäre.

## 5.6 Database

In diesem Modul ist das Datenmodell definiert. Dazu gehören die Logik für die Interaktion mit der SQLite-Datenbank, der Code für den Import alter

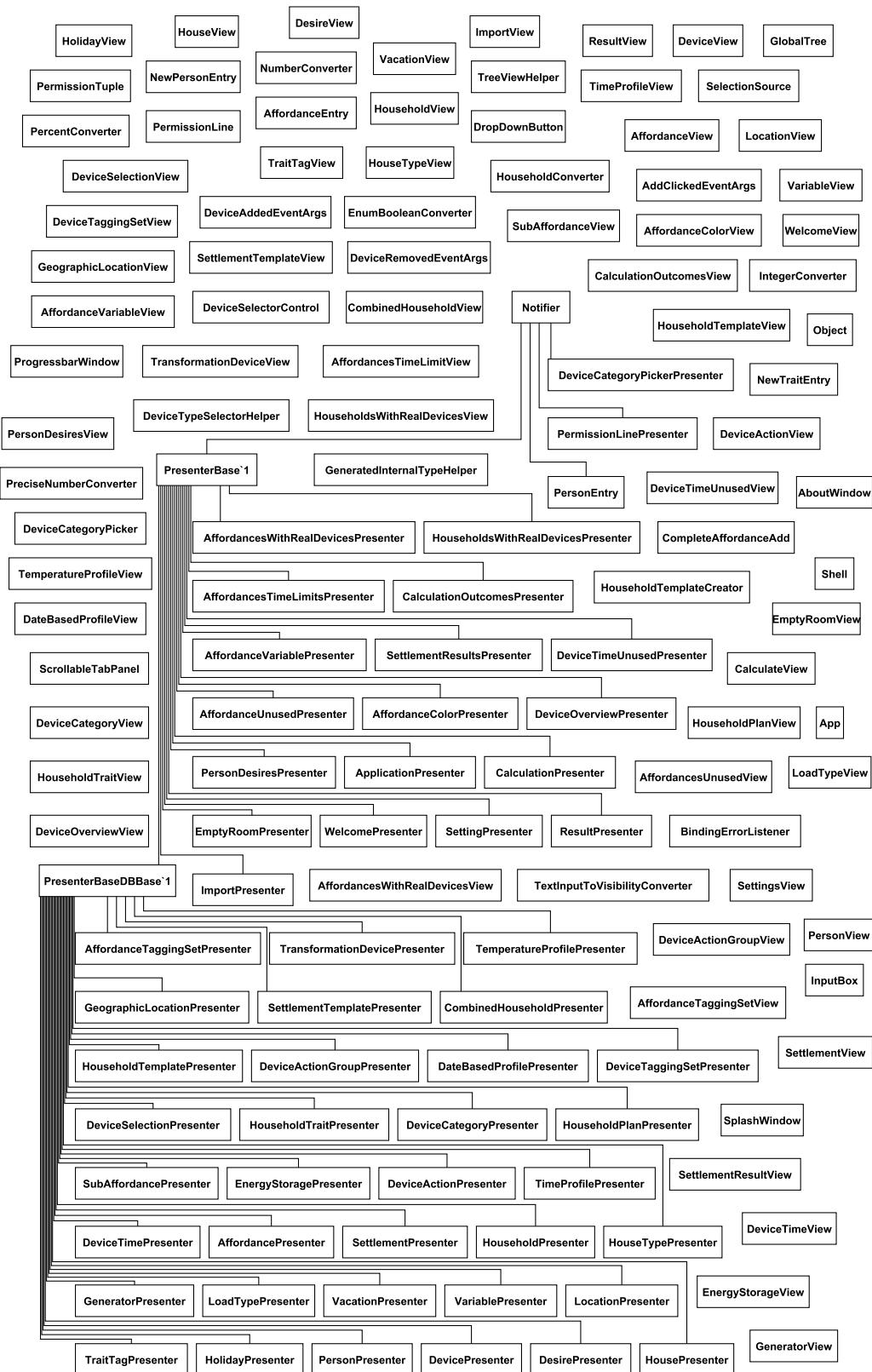


Abbildung 5.4: Übersicht über die Vererbungsstruktur und die Klassen des UI

Datenbankversionen und die nötige Funktionalität zum Speichern und Laden der Daten. Aus Geschwindigkeitsgründen wird der gesamte Inhalt der Datenbank beim Start des LPG in den Hauptspeicher geladen, da es sich nur um wenige Megabyte handelt.

In frühen Versionen des bLPG wurde das SQLCompact-Framework von Microsoft verwendet, bis sich herausstellte, dass es zum einen deutlich langsamer als SQLite ist und zum anderen eine Reihe von Fehlern aufweist. Zum Beispiel ist es mit dem SQLCompact-Framework nicht möglich, das Programm von einem Netzwerklaufwerk zu starten. Dadurch kam es immer wieder zu Beschwerden von Benutzern. Daher wurde das Framework gewechselt.

Das Programm ist so strukturiert, dass alle Änderungen sofort in die Datenbank geschrieben werden. Das hat den Nachteil, dass es keine Undo-Funktion gibt, aber den großen Vorteil, dass es nie zu Datenverlusten kommt, da immer automatisch gespeichert wird.

Ein weiterer, erwähnenswerter Punkt der Implementierung ist, dass die Abhängigkeiten der Elemente aus Gründen der Einfachheit nicht als Relationships in der Datenbank direkt definiert sind. Wäre dies der Fall, dann wäre es z.B. nur möglich, eine Affordanz zu löschen, nachdem sie aus allen Haushalten gelöscht worden ist. Stattdessen kann die Affordanz direkt gelöscht werden und beim nächsten Start wird ein Integritätscheck aller Daten durchgeführt. Dabei werden bei Bedarf inkonsistente Elemente gelöscht, wie z.B. Verweise in Haushalten auf gelöschte Affordanzen.

Abb. 5.5 zeigt eine Übersicht über alle Klassen des Database-Moduls. Man sieht, dass fast alle Klassen von DBBase abstammen. In DBBase ist die gemeinsame Funktionalität zum Speichern und Laden von Daten in die Datenbank enthalten. Die Grundstruktur aller dieser Klassen ist dabei gleich. Sie enthalten die:

- Funktion zum Laden des Elements mit allen Unterelementen,
- Funktion zum Speichern,
- Funktion zum Anlegen neuer Elemente,
- Funktion zum Import von Elementen aus alten Datenbank-Versionen mit automatischem Setzen von Werten auf sinnvolle Standardwerte, falls das entsprechende Feld in der alten Version noch nicht existierte.

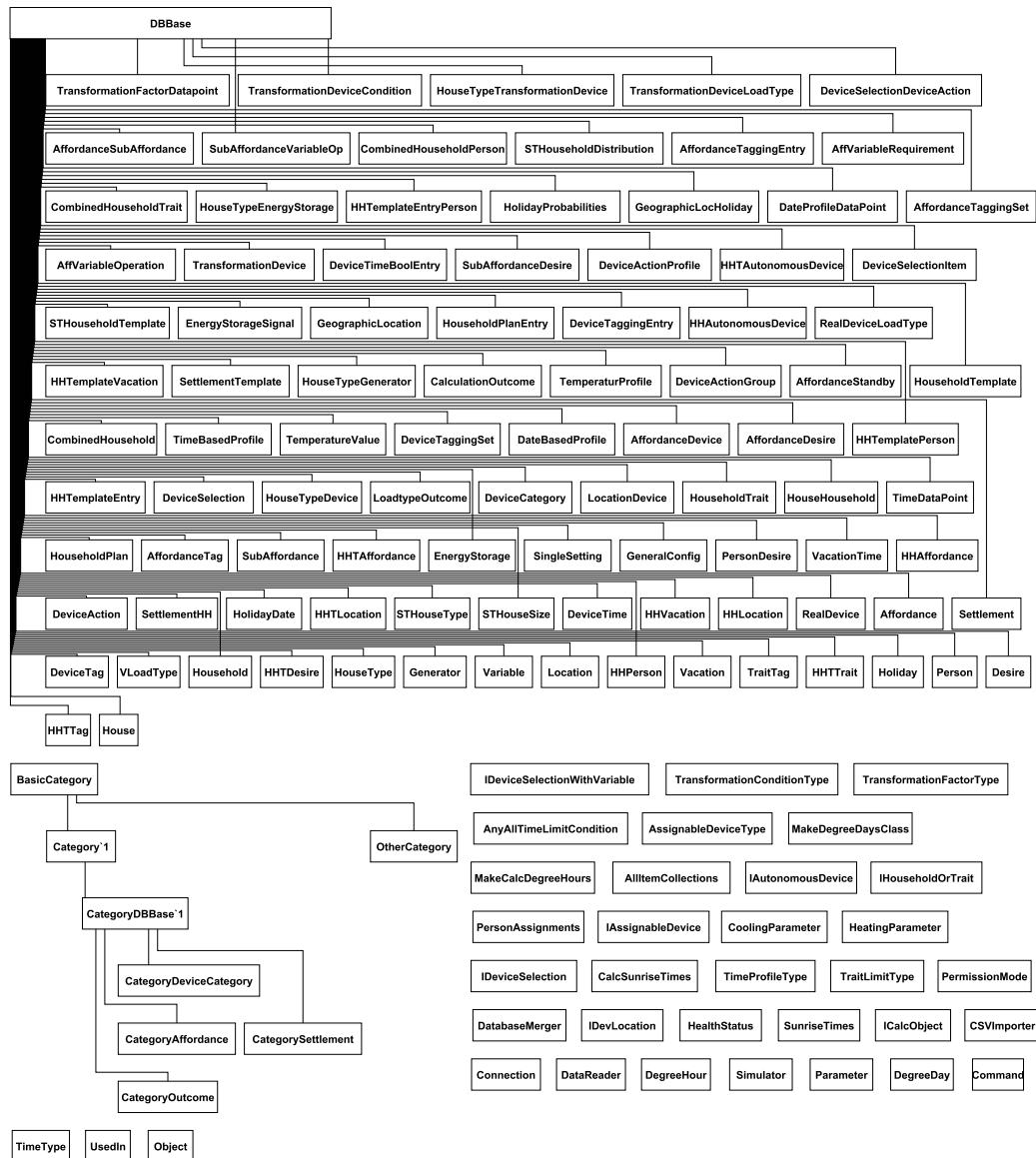


Abbildung 5.5: Übersicht über die Klassen des Database-Moduls

Zwei Details der Implementierung sind zusätzlich erwähnenswert:

- Für die Household Plans wird im Userinterface eine Abschätzung des Zeit- und Energieverbrauchs angezeigt. Die Berechnung dieser Abschätzung war unerwartet kompliziert, da auch eine Abschätzung für Affordanzen mit Device Action Groups erforderlich ist. Dafür muss die Summe der einzelnen Device Actions durch die Aufsummierung der Time Profiles und Multiplikation mit der Geräteleistung berechnet werden. Dann ist ein Durchschnitt der Geräteleistungen zu bilden und die Durchschnitte aller referenzierten Device Action Groups in der Affordanz müssen aufsummiert werden. Die Abschätzung des Zeitbedarfs erfolgt analog, wobei hier für die Aktivierungshäufigkeit von der zweifachen Verfallszeit ausgegangen wird, d.h. es wird angenommen, dass die Affordanzen immer bei 25 % des Bedürfnisses aktiviert werden.
- Alle Time Limits werden vor der Berechnung von der entsprechenden Klasse in ein Bitarray konvertiert. Dieses Array enthält für jeden Zeitschritt der Simulation entweder eine 1 (erlaubt) oder eine 0 (verboten). Damit kann zum einen während der Simulation sehr einfach festgestellt werden, ob eine bestimmte Aktivität zu einer bestimmten Zeit erlaubt ist, und zum anderen ist es leicht möglich, neue Kriterien einzuführen, da das Berechnungsmodul nicht geändert werden muss.

## 5.7 CalcController

Das CalcController-Modul stellt die Verbindung zwischen dem Berechnungsmodell und dem UI-Datenmodell her. Zudem muss vor der Berechnung immer eine Integritätsprüfung des Modells durchgeführt werden.

Durch die komplexen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Systemelementen wäre es sehr frustierend für den Benutzer, wenn zu jedem beliebigen Zeitpunkt die Integrität des UI-Datenmodells erzwungen werden würde. Für die Bedienung ist es deutlich angenehmer, frei arbeiten zu können und am Ende eine automatische Prüfung durchzuführen, ob alles richtig ist. Ein Beispiel wäre die Erstellung einer Affordanz. Eine Affordanz benötigt u.a. immer mindestens ein Desire und ein Device. Wenn die Integrität zu jedem Zeitpunkt gewahrt werden müsste, dann müsste die Reihenfolge beim Anlegen der Elemente im-

mer akribisch eingehalten werden, d.h., zunächst müsste das Desire, dann das Device und erst dann die Affordanz angelegt werden. Mit dem Hilfsmittel des Integritätschecks hingegen kann das Anlegen in beliebiger Reihenfolge erfolgen.

Das Berechnungsdatenmodell bildet immer einen einzelnen, konkreten Haushalt ab. Das UI-Datenmodell hingegen kann in einem einzelnen Combined Household ein Set von Haushalten mit verschiedenen Geräten abbilden. Der CalcController muss also aus einem Combined Household mit verschiedenen Device Action Groups einen konkreten Haushalt generieren. Das ergibt eine Reihe von Aufgaben:

1. Combined Households müssen zusammengeführt werden zu einem konkreten Haushalt, die entsprechenden Desires müssen den Personen zugeordnet werden und doppelte Affordanzen müssen eliminiert werden.
2. Die Gerätelastprofile müssen auf die gewählte zeitliche Auflösung umgerechnet werden.
3. Die Randbedingungen für die Simulation müssen gesetzt werden, wie z.B. der Zeitraum, das Temperaturprofil, der Ort, die auszugebenden Dateien usw.
4. Verschiedene Affordanzen können das gleiche Gerät meinen. Zum Beispiel beinhaltet die Affordanz "Wäsche waschen 30 °C" die Device Action Group "run washing machine 30 °C", welche dann 5 verschiedene Device Actions hinterlegt hat. Wenn dazu noch die Affordanz "Wäsche waschen 60 °C" und der Standby-Betrieb der Waschmaschine in dem Haushalt definiert sind, dann könnten theoretisch drei verschiedene Waschmaschinen im Haushalt landen. Im CalcController muss sichergestellt werden, dass nur eine einzige Waschmaschine dem fertigen Haushalt hinzugefügt wird und diese von allen Affordanzen und dem Standby-Eintrag verwendet wird.
5. Die Time Limits müssen berechnet werden und den einzelnen Standby-Geräten und Affordanzen zugeordnet werden.
6. Die Vacations müssen für den Simulationszeitraum angepasst werden.

Abb. 5.6 zeigt einen Überblick über die Klassen des CalcController-Moduls. Man sieht, dass hier keine Vererbung genutzt wurde, da einfach keine Gemeinsamkeiten zwischen den einzelnen Klassen vorliegen.

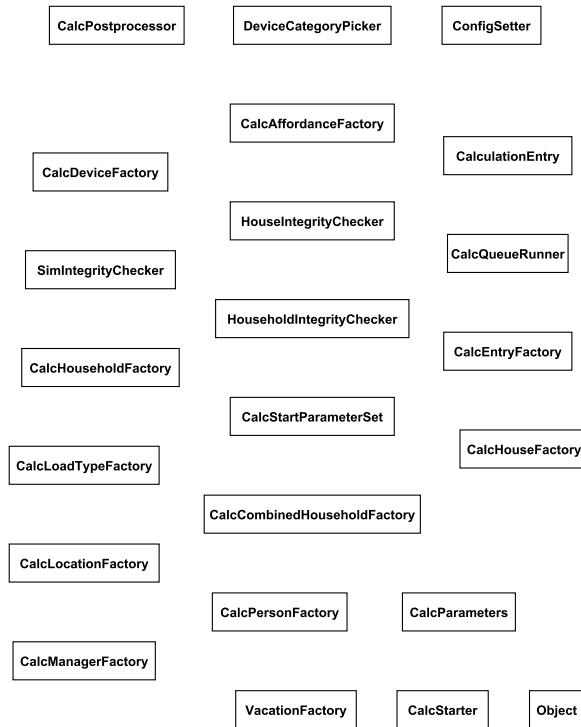


Abbildung 5.6: Übersicht über die Klassen des CalcController-Moduls

## 5.8 Calculation

Das Calculation-Modul, ist, wie der Name schon andeutet, das Herzstück des LPG und führt die eigentlichen Berechnungen durch. Die Trennung vom UI-Datenmodell ermöglicht dabei nicht nur einfachere Änderungen, sondern führt auch zu deutlich einfacheren Klassen, die besser zu testen und zu warten sind.

Die Zeitdauer für die Berechnung eines Haushalts hängt stark von der Anzahl der Personen und der Haushaltskomplexität ab. Ein Zweipersonenhaushalt benötigt für ein komplettes Jahr 1–5 min Berechnungszeit. Das Calculation-Modul ist leider nicht parallelisierbar, da das limitierende Element die Aktivitätenauswahl ist. Diese muss seriell stattfinden, um sicherzustellen, dass es nicht zu Kollisionen kommt, wie z.B., dass Person B versucht, die Waschmaschine

zu verwenden, welche gerade von Person A eingeschaltet wurde. Dies ist nicht zu Verwechseln mit dem gemeinsamen Benutzen von Geräten wie z.B. dem Fernseher, was über die Subaffordanzen modelliert wird. Abb. 5.7 zeigt das Flussdiagramm des Ablaufs der Berechnung.

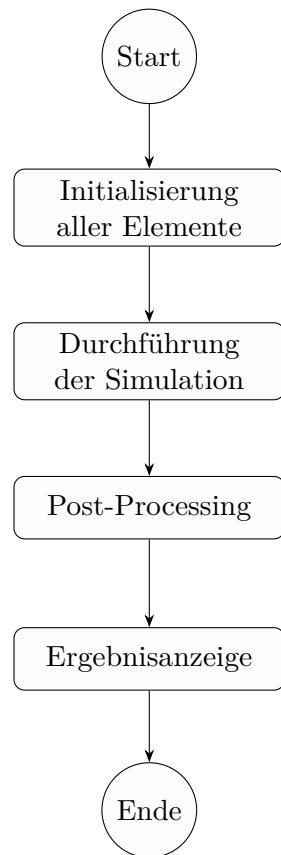


Abbildung 5.7: Flussdiagramm zum Ablauf der Berechnung

Die zentrale Funktion ist die Durchführung der Berechnung. Diese ist in etwas vereinfachter Form in Abb. 5.9 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde zum Beispiel auf die Darstellung der Prüfung auf das Vorliegen von unterbrechenden Affordanzen oder das Ausblenden der Initialisierungsperiode von drei Simulations-Tagen vor dem Beginn der Berechnung verzichtet.

Ergänzend dazu zeigt Abb. 5.8 die Klassen des Berechnungsmoduls.

### 5.8.1 Aktivitätswahl

Ein wichtiger Punkt in dem Diagramm ist die Aktivitätswahl. Diese ist relativ komplex, wird immer ausgeführt, wenn eine Aktivität zu Ende ist, und läuft wie folgt ab:

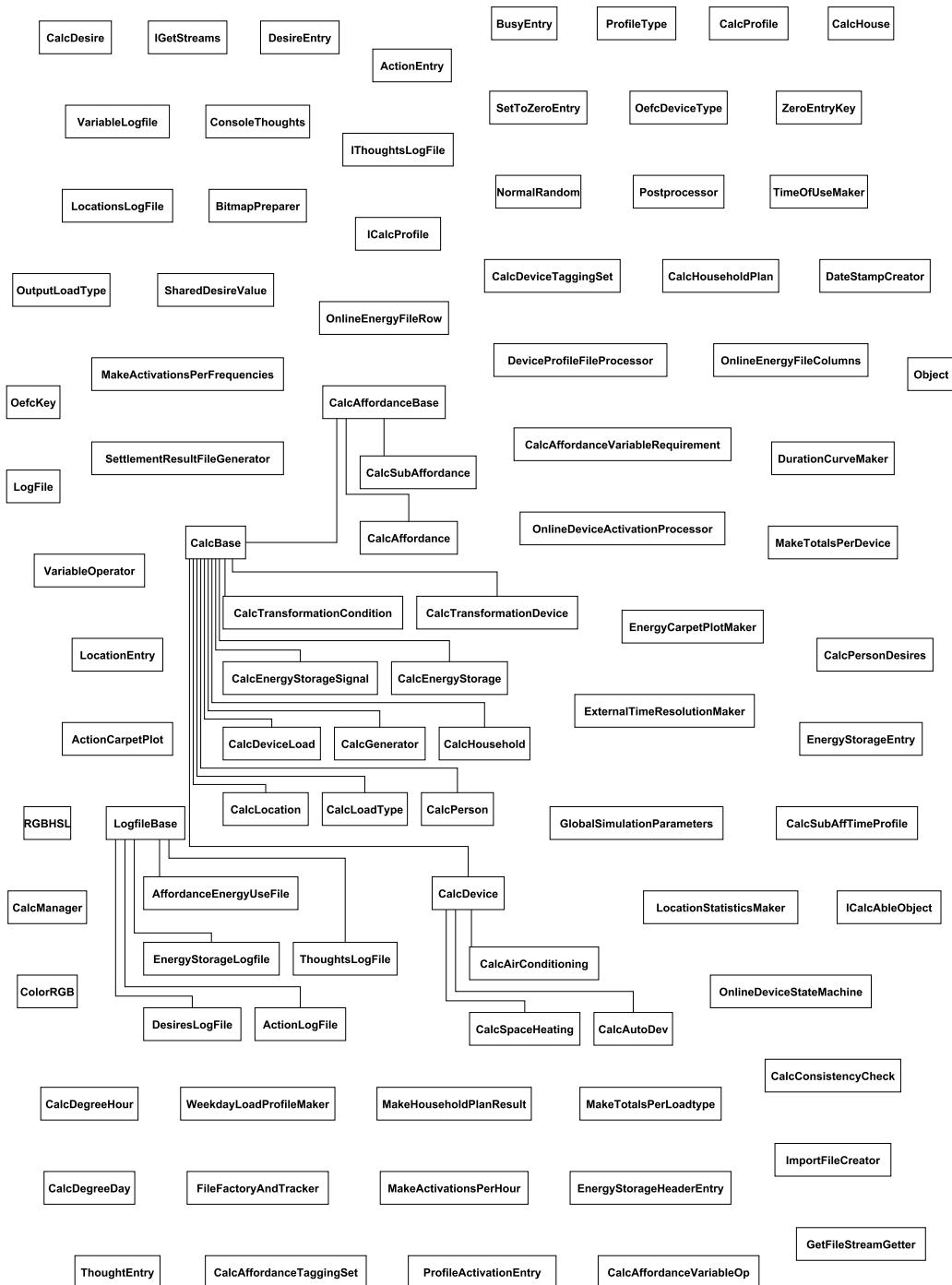


Abbildung 5.8: Übersicht über die Klassen des Berechnungsmoduls

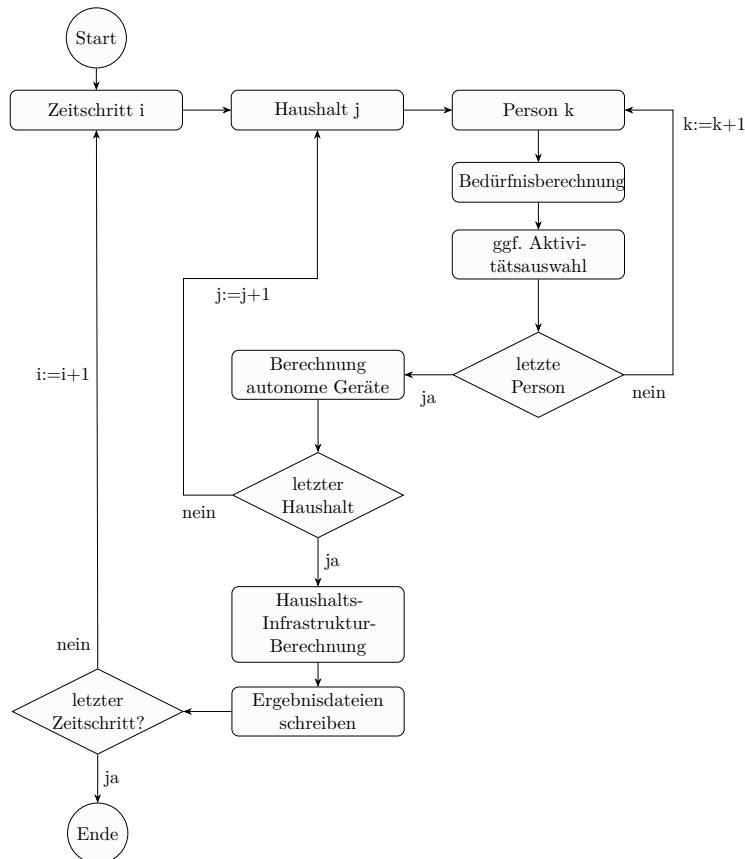


Abbildung 5.9: Flussdiagramm der zentralen Schleife im Berechnungsmodul

1. Zunächst werden alle passenden Affordanzen gesammelt. Dabei müssen alle geeigneten, momentan verfügbaren Affordanzen von allen Orten im Haushalt gesammelt werden. Geeignet bedeutet dabei, dass:
  - die Person nicht die Altersgrenzen oder die Geschlechtsbegrenzung verletzen darf,
  - die Ausführung der Affordanz in dem betreffenden Zeitschritt erlaubt sein muss,
  - die Affordanz mindestens ein Bedürfnis der Person erfüllen muss,
  - weder die Affordanz noch eines der benötigten Geräte in dem geplanten Ausführungszeitraum bereits belegt sein darf. Der geplante Ausführungszeitraum kann dabei in der Länge variieren durch die Variation der Ausführungszeiten, welche im letzten Kapitel beschrieben wurden. Es ist dazu nötig, schon bei der ersten Prüfung die

zufällig gewählte Ausführungsdauer zu speichern, damit nicht beim späteren Ausführen plötzlich alles länger dauern kann als geplant und es zu Kollisionen mit anderen Aktivitäten kommt. Dabei muss immer der gesamte Ausführungszeitraum geprüft werden, da z.B. Person B die Waschmaschine nicht in 15 min benutzen kann, wenn Person A diese bereits in 5 min eingeplant hat.

2. Dann muss für alle gefundenen Affordanzen die Wirkung auf die Person berechnet und die beste ausgewählt werden. Wenn mehrere Affordanzen gefunden werden, welche alle das Bedürfnis in gleichem Maße decken könnten, dann wird eine davon zufällig ausgewählt. Das passiert z.B. relativ häufig bei der Auswahl der nächsten Mahlzeit, da viele verschiedene Mahlzeiten alle zu 100 % Sättigung führen.
3. Dann wird die ausgewählte Affordanz ausgelöst und die benötigten Geräte werden für die jeweiligen Zeiträume reserviert. Zur Ausführung gehört, dass bei Bedarf im Ausführungsraum das Licht eingeschaltet wird und die Liste der Energieverbräuche von jedem Gerät an den für die Protokollierung zuständigen Programmteil übergeben werden.

### **5.8.2 Protokollierung**

Ein Bereich, der sich als unerwartet komplex herausstellte, ist die Protokollierung der Ergebnisse. Tabelle 5.2 zeigt einen Überblick über alle vom bLPG erzeugten Dateien und Auswertungen. Während der Entwicklung wurde offensichtlich, dass das größte Problem an einem Lastprofilgenerator nicht die Modellierung ist, sondern die Bewertung der Modellierungsgüte. Daher entstand eine Vielzahl verschiedener Auswertungen, mit denen das Ergebnis jeweils nach anderen Gesichtspunkten beurteilt werden kann. Es gibt im bLPG drei Arten von Ausgabedateien:

- direkt ausgegebene CSV-Dateien für die Auswertung,
- binäre Ergebnisdateien für das Postprocessing,
- Auswertungen, welche nach der Berechnung erstellt werden.

Die binären Ergebnisdateien machten dabei in der Entwicklung die meisten Wandlungen durch und es wurden drei Ansätze benötigt, bis die gegenwärtige,

robuste Lösung entwickelt wurde. Ein Beispiel soll das Problem erläutern: Beim Ausführen einer Affordanz zum Zeitschritt 10 sollen die zwei Geräte A und B aktiviert werden. A soll nach 5 Zeitschritten anfangen und für 20 Zeitschritte laufen, B nach 10 Zeitschritten anfangen und für 15 Zeitschritte laufen. Der Energieverbrauch in jedem Zeitschritt ist zum Zeitpunkt des Beginns Affordanzausführung festgelegt, es steht also schon im Zeitschritt 10 fest, wie der Verbrauch von Gerät A für den Zeitschritt 20 aussehen wird. Als Ergebnisdatei wird aber eine Datei mit dem Energieverbrauch aller Geräte pro Zeitschritt benötigt. Daher muss der Energieverbrauch der Geräteaktivierung geeignet gespeichert werden und dann für das Schreiben der Ergebnisdateien wieder abgerufen werden. Das Speichern direkt im Gerät ist aus Gründen der Komplexität und Geschwindigkeit nicht sinnvoll, da sonst in jedem Zeitschritt alle Geräte abgefragt werden müssten.

Der erste Versuch zur Lösung des Problems war die Verwendung von Arrays, welche in der Mathematik häufig als Matrizen beschrieben werden. Dazu wurde einfach ein Array mit einer Spalte pro Gerät und einer Zeile pro Zeitschritt im Hauptspeicher aufgebaut. Dann konnte bei der Geräteaktivierung der Energieverbrauch direkt in die entsprechende Spalte eingetragen werden. Diese Lösung war sehr einfach, aber leider zu speicherintensiv. Sie funktionierte gut in einer frühen Entwicklungsphase, als die Haushalte noch relativ einfach waren. Aber bei über 100 Geräteeinträgen pro Haushalt stößt die Methode schnell an die Speichergrenzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einzelne Geräte mehrere Geräteeinträge in den Ergebnisdateien auslösen können, nämlich zum einen für jeden Lasttyp und zum anderen getrennt nach Standby und normaler Benutzung. 100 Geräteeinträge/Lasttyp \* 365 Tage/Jahr \* 24 h/Tag \* 60 min/h \* 8 Byte/Gerät/min ergeben ein Array von 401 MB\footnote{1 MB = 1024 \* 1024 Byte} pro Lasttyp und Jahr. Bei 4 oder mehr Lasttypen in einem Haushalt kommt man so schnell über die Grenzen handelsüblicher PCs. Noch schlimmer wird die Situation bei Mehrfamilienhäusern mit z.B. 10 Haushalten. Hier wären bereits 16 GB Arbeitsspeicher nur für die Verbräuche nötig. Daher wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Der nächste Versuch war die direkte Protokollierung des Verbrauchs bei der Aktivierung auf Festplatte. Dabei wurde dann z.B. schon in Zeitschritt 10 gespeichert, dass im Zeitschritt 24 das Gerät B einen Verbrauch von 104 W

haben würde. Nach Abschluss der Berechnung wurden dann all diese Einträge eingelesen, chronologisch geordnet und neu gespeichert. Dabei wurde ein Merge-Sort-Algorithmus verwendet, um nicht durch Einlesen aller Dateien von der Festplatte wieder an die Grenzen des Speicherbedarfs zu kommen. Allerdings dauerte das Sortieren der Einträge genau so lange wie die gesamte Berechnung, sodass auch dieser Ansatz nach einiger Zeit verworfen wurde.

Der letzte und bisher beste Ansatz war die Verwendung von sogenannten Zustandsautomaten. Dabei initialisiert das Gerät bei der Aktivierung einen Zustandsautomaten mit der Liste der Verbräuche in jedem Zeitschritt. Diese Zustandsautomaten werden dann in eine Liste aufgenommen. Danach ist die Erstellung der binären Ergebnisdateien sehr einfach. Dazu werden von dem Zustandsautomatenverwalter in jedem Zeitschritt folgende Aktionen durchgeführt:

1. Löschen abgelaufener Zustandsautomaten.
2. Aufbau eines Vektors mit dem Verbrauch für alle Geräte für den aktuellen Zeitschritt.
3. Abfragen aller Zustandsautomaten für den aktuellen Zeitschritt und Eintragen in den Vektor.
4. Speichern des Vektors als neue Zeile in der binären Ergebnisdatei.

Diese Lösung hat sich als sehr zuverlässig, kompakt (nur wenige hundert Zeilen Code), leicht wartbar und performant erwiesen. Nach Abschluss der Berechnung erfolgt das Post-Processing. In diesem Schritt werden dann die binären Ergebnisdateien nochmal eingelesen und alle benötigten Statistiken erzeugt. Falls alle Auswertungen eingeschaltet sind, dauert die Berechnung der Auswertungen durch die Vielzahl der Statistiken inzwischen länger als die eigentliche Simulation.

### **5.8.3 House Infrastructure**

Die Hausinfrastruktur-Berechnung deckt die bereits beschriebenen Generators, Transformation Devices und Energy Storages ab. Dabei war ein Problem,

Tabelle 5.2: Übersicht über die Ausgabedateien der Berechnung in Version 4.5, d = direkt bei der Berechnung erzeugt, p = im Postprocessing erzeugt

Name	Typ	Beschreibung
<b>Binäre Dateien</b>		
OnlineDeviceEnergyUsage.<Loadtype>.dat	d	Binäre Ergebnisdateien für das Postprocessing, aufgeteilt nach Loadtype
<b>Ergebnis-Dateien</b>		
DeviceProfiles.<Loadtype>.csv	p	Tabelle mit den Energieverbräuchen pro Gerät in jedem Zeitschritt
SumProfiles.<Loadtype>.csv	p	Summenprofil des Haushalts/Hauses
ImportProfiles.300s.<Loadtype>.csv	p	Summenprofil des Haushalts/Hauses ohne Spaltenüberschriften und ohne Zeitstempel in 5 min Auflösung für den Import in andere Anwendungen
<b>Auswertungen</b>		
Actions.*.csv	d	Liste der ausgeführten Handlungen mit Zeitpunkt der Aktivierung
ActionsEachStep.*.csv	d	Liste der ausgeführten Handlungen zu jedem Zeitpunkt für einfache Statistiken
ActivationsPerHour.*.csv	p	Auswertung pro Person, welche Aktivitäten zu welchen Zeitpunkten wie oft gestartet werden

Tabelle 5.2: Übersicht über die Ausgabedateien der Berechnung in Version 4.5, d = direkt bei der Berechnung erzeugt, p = im Postprocessing erzeugt (*Fortsetzung*)

Name	Typ	Beschreibung
ActivityFrequenciesPerMinute.*.csv	p	Auswertung pro Person, in welcher Minute des Tages welche Aktivitäten ausgeführt werden
ActivityPercentage.*.csv	p	Auswertung pro Person nach Affordanzkategorie für die Aktivitäten pro Jahr
AffordanceEnergyUse.*.csv	p	Auswertung des Verbrauchs pro Affordanz pro Lasttyp
AffordanceEnergyUsePerPerson.*.csv	p	Auswertung des Verbrauchs pro Affordanz pro Person pro Lasttyp
AffordanceTaggingSet.*.csv	p	Zeitverbrauch pro Affordanz-Tag pro Person für die verschiedenen Tagging Sets
AffordanceTimeUse.*.csv	p	Zeitverbrauch pro Affordanz pro Person
Desires.*.csv	d	Werte der Desires pro Person für jeden Zeitschritt
DeviceDurationCurves.*.csv	p	Jahresdauerlinie des Haushalts pro Gerät pro Lasttyp
DeviceSums.*.csv	p	Summe der Verbräuche pro Lasttyp pro Gerät
DeviceSums_Monthly.*.csv	p	Summe der Verbräuche pro Lasttyp pro Gerät pro Monat
DeviceTaggingSet.*.csv	p	Summe der Verbräuche pro Loadtype pro Device Tag für die verschiedenen Device Tagging Sets
DurationCurve.*.csv	p	Jahresdauerlinie des Haushalts pro Loadtype

Tabelle 5.2: Übersicht über die Ausgabedateien der Berechnung in Version 4.5, d = direkt bei der Berechnung erzeugt, p = im Postprocessing erzeugt (*Fortsetzung*)

Name	Typ	Beschreibung
ExecutedActionsOverviewCount.*.csv	p	Anzahl der Ausführungen der Aktivitäten pro Person pro Wochentag
HouseholdPlan.Times.*.csv	p	Ergebnis des Vergleichs des Haushaltplans mit den konkreten Ergebnissen
Locations.csv	d	Liste der Ortswechsel der Bewohner mit Zeitstempel
LocationStatistics.csv	p	Statistiken zur Aufenthaltsdauer der Personen an den verschiedenen Orten
Thoughts.*.csv	d	Protokollierung der „Gedanken“ der Bewohner, insbesondere der Begründung bei der Aktivitätsauswahl
TimeOfUseEnergyProfiles.*.csv	p	Durchschnittliches Profil pro Gerät pro Lasttyp
TimeOfUseProfiles.*.csv	p	Durchschnittlicher Zeitverbrauch pro Jahreszeit pro Person und pro Wochentag
TotalsPerLoadtype.csv	p	Summe des Verbrauchs pro Lasttyp
Variablelogfile.csv	d	Status aller Variablen für jeden Zeitschritt
WeekdayProfiles	p	Durchschnittliches Haushaltsprofil pro Jahreszeit pro Lasttyp, pro Jahreszeit und pro Wochentag

dass sich verschiedene Transformation Devices und die Energy Storages gegenseitig beeinflussen können. Allerdings sollte kein Solver implementiert werden, da die Hausinfrastruktur nur als Minimallösung dienen soll.

Daher wurde folgender Berechnungsalgorithmus für jeden Zeitschritt verwendet:

1. Berechnung aller *Generators*.
2. Bis sich nichts mehr ändert und solange weniger als 100 Iterationen verstrichen sind, wiederhole die folgenden Schritte:
  - Berechnung aller *Transformation Devices*,
  - Berechnung aller *Energy Storages*.

Damit muss keine feste Reihenfolge vorgegeben werden und es sind beliebige Kombinationen von Transformation Devices möglich, solange keine Schleife gebildet wird. Eine Schleife wäre in diesem Falle z.B., wenn ein Transformation Device Strom in Wärme umwandelt und ein anderes Wärme in Strom. Solche Sachverhalte sind nicht modellierbar, aber auch eher selten, sodass der Einsatz einer richtigen Gebäudesimulation wie z.B. TRNSYS für diesen Anwendungsfall zumutbar ist.

## 5.9 ChartCreator

Das ChartCreator-Modul entstand aus dem Bedürfnis heraus, die Iterationszyklen bei der Haushaltsmodellierung zu beschleunigen. Vorher mussten nach jeder Berechnung mehrere CSV-Dateien in Excel geöffnet und dann entsprechende Grafiken erstellt werden, nur um die Auswirkungen der letzten Änderungen zu beurteilen. Um das zu beschleunigen, wurde der Prozess automatisiert.

Das ChartCreator-Modul ist zweigeteilt: Der eine Teil des Moduls erstellt die Grafiken. Der andere Teil fügt die Grafiken zu einem PDF-Dokument zusammen. Zur Erstellung der Grafiken wird die Oxyplot-Bibliothek genutzt, welche die Aufgabe deutlich vereinfacht. Die Grafiken werden als PNG-Dateien ausgegeben.

Die Klassen für die Erstellung der Grafiken sind relativ simpel. Alle Klassen sind analog aufgebaut und führen immer die folgenden Schritte aus:

1. Einlesen der passenden CSV-Datei,
2. Anpassen der Daten nach Bedarf,
3. Grafik aufbauen,
4. Grafik speichern.

Aus Platzgründen sollen hier keine Beispiele gezeigt werden, denn die Ergebnisse sind im Kapitel 7 und Kapitel 8 zu finden. Nachdem das Modul zur Erstellung der Grafiken abgeschlossen war, stellte sich heraus, dass auch das Inspizieren mehrerer Dutzend einzelner, ungeordneter Grafiken nicht ideal ist. Daher wurde ein PDF-Modul entwickelt, welches die Grafiken in einem PDF-Dokument automatisch zusammenfasst. Das PDF-Dokument enthält für einen typischen Haushalt ca. 80 Seiten und gibt somit einen umfassenden Überblick. Zusätzlich wird in das Dokument für jede Grafik automatisch eine kurze Erklärung eingefügt, wozu die jeweilige Grafik dient. Für die Erstellung des PDF wird die Migradoc-Bibliothek genutzt. Abb. 5.10 zeigt einen Überblick über die Klassen dieses Moduls. Man sieht, dass die 23 Klassen für die Erstellung der Grafiken alle von ChartBase abstammen. Dadurch konnte ein Großteil der Funktionalität gemeinsam genutzt werden.

## 5.10 SimulationEngine.Exe

Insbesondere für die Berechnung ganzer Siedlungen mit hunderten von Haushalten war eine robuste, parallelisierbare Berechnungsmethode wünschenswert. Wenn die Berechnung eines Haushalts 5 min für 1 Jahr benötigt, dann benötigen 500 Haushalte ca. 42 h. Das erschwert die iterative Verbesserung deutlich. Wenn man hingegen 15 Berechnung parallel ablaufen lassen kann, dann liegt das Ergebnis nach knapp 3 h vor. Mit einem Kommandozeilen-Interface ist eine solche Parallelisierung relativ einfach machbar.

Die Automatisierung einer grafischen Benutzeroberfläche ist immer schwierig, während dies mit einem Kommandozeilenprogramm relativ einfach ist. Es sind somit auch weitere Vorteile wie z.B. automatische Tests aller Haushalte möglich. Im Programm sind Optionen für die folgende Funktionen vorgesehen:

- Auflisten aller Households, Combined Households, Houses oder Settlements,



Abbildung 5.10: Übersicht über die Klassen des ChartCreator-Moduls

- Erstellen von Batchdateien für die automatische Berechnung aller Elemente,
- Erstellen von Batchdateien für Siedlungen. Dabei wird dann jedes Haus in der Siedlung als eigene Berechnung gestartet,
- Berechnung von Elementen mit Optionen für die Dauer und die freie Wahl der Ausgabedateien,
- parallele Ausführung der Einträge einer Batchdatei auf einer frei festlegbaren Anzahl von Kernen. Da die parallele Berechnung von z.B. 15 Haushalten Festplatten schnell an die Belastungsgrenze bringen kann, gibt es zudem Optionen für die Verwendung einer Ramdisk mit automatischer Archivierung der Berechnungsergebnisse.
- Erstellung von Übersichten für eine Siedlung, nachdem die einzelnen Haushalte getrennt berechnet wurden.

Anhang Kapitel B enthält einen Überblick über alle Optionen. Ergänzend dazu zeigt Abb. 5.11 einen Überblick über die Klassen dieses Moduls. Man sieht, dass das Modul nicht sehr komplex ist.

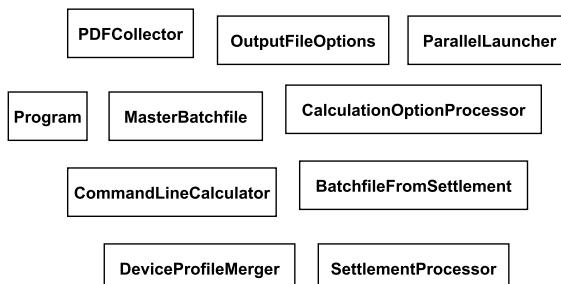


Abbildung 5.11: Übersicht über die Klassen des SimulationEngine-Moduls

## 5.11 Verwendete Bibliotheken

Zur Abgrenzung der geleisteten Arbeit enthält dieser Abschnitt als Übersicht eine Liste aller verwendeten Bibliotheken im bLPG:

- Die Sonnenaufgangs/Untergangsberechnung stammt aus [48]
- Oxyplot ist eine Opensource-Bibliothek zur Erstellung von Grafiken [49].
- SQLite ist die verwendete Datenbank [50].

- Der Zufallsgenerator mit Normalverteilung stammt aus einer inzwischen aus dem Netz verschwundenen CERN-Bibliothek.
- Migradoc ist die Bibliothek für das Erstellen des PDFs [51].
- Die Microsoft .NET Bibliothek inklusive WPF stammt von Microsoft [52].

## 5.12 Zusammenfassung der Implementierung

Mit der hier beschriebenen Implementierung ist gelungen, das beschriebene Modell vollständig umzusetzen. Dabei sind einige Sachverhalte besonders bemerkenswert:

- Der Umfang und die Komplexität des Projektes lag deutlich über frühen Schätzungen.
- Viele Anforderungen wurden erst offensichtlich, als ein bestimmter Stand der Entwicklung erreicht war.
- Die eigentliche Berechnung erfordert nur ca. 10 % des gesamten Source Codes. Der gesamte Rest ist Datenspeicherung, UI und Fehlerbehandlung.

Bevor die Ergebnisse beschrieben werden, wird im nächsten Kapitel zunächst auf die Modellierung der vordefinierten Haushalte und die dabei gewonnenen Erkenntnisse eingegangen.

# Kapitel 6

## Modellierung der vordefinierten Haushalte

Das Hauptziel der Arbeit war die Erstellung des Modells für die Simulation des Verhaltens, nicht die Erstellung konkreter Lastprofile.

Das Modell wird aber nur durch die Implementierung verwendbar. Für den Test der Implementierung ist wieder die praktische Anwendung unabdingbar. Nur auf dem Umweg der praktischen Anwendung der Implementierung kann also eine Validierung des Modells erfolgen. Die praktische Anwendung erfordert die Definition von verschiedenen Haushalten in der Datenbank und die Simulation dieser Haushalte. Daher wird in diesem Kapitel kurz auf die vordefinierten Haushalte in der mit dem bLPG ausgelieferten Datenbank und die Erkenntnisse bei der Modellierung eingegangen, auch wenn dieser Teil für das Modell und somit für das Ziel der Dissertation nur indirekt relevant ist. Die drei Schwerpunkte in diesem Kapitel sind:

- Überblick über die Elemente in der Datenbank,
- Beschreibung der Datenbasis für die Modellierung der vordefinierten Haushalte,
- Erfahrungen bei der Entwicklung und Modellierung.

### 6.1 Datenbasis und Modellierung

Bei der Erstellung eines Haushaltsprofils muss nach dem Verwendungszweck des Profils unterschieden werden. Wenn der Zweck die Auslegung von Anlagen

ist, dann sollte das Ziel ein “Durchschnittshaushalt” sein. Dieser Durchschnittshaushalt soll einen möglichst großen Teil der Zielgruppe repräsentieren. Der Durchschnittshaushalt wird dann durchschnittliche Verbräuche, ein durchschnittliches Lastprofil und ein durchschnittliches Verhalten der Menschen haben. Damit kann die Anlage ausgelegt werden. Nicht zuletzt aus rechtlichen Gründen sind zum Zweck der Auslegung in den meisten Fällen die fest definierten Lastprofile wie z.B. aus VDI4655 besser geeignet als selbst erstellte Lastprofile.

Wenn allerdings das Ziel die Untersuchung von Anlagenverhalten in verschiedenen Situationen ist, dann werden stattdessen viele konkrete Einzelbeispiele für Haushalte benötigt. Diese Einzelbeispiele müssen (und sollen meistens auch) nicht den Durchschnitt abbilden. Trotzdem sollten sie einen zumindest theoretisch denkbaren Haushalt reflektieren und plausibel sein. Die Haushalte im bLPG fallen in die zweite Kategorie.

Für die Modellierung der Haushalte können Durchschnittswerte als Orientierung dienen, aber sie sind nicht zwingend einzuhalten. Ein Beispiel wäre hier, dass laut [10] der durchschnittliche Verbrauch für einen Single 1798 kWh/Jahr beträgt. Allerdings hat z.B. ein Alleinstehender, der von Zuhause aus arbeitet, einen ganz anderen Verbrauch als eine Krankenschwester, welche 40–50 h/Woche im Schichtdienst arbeitet und selten zu Hause ist.

Die Verbräuche hängen nicht nur vom Verhalten, sondern auch von der Geräteausstattung des Haushalts ab. Selbst deutliche Abweichungen von den Durchschnittswerten sind daher zwar zu hinterfragen, aber können durchaus korrekt sein.

Die Herausforderung bei der Modellierung dieser Art von Haushalten ist der Mangel an einer soliden Datenbasis. Übliche Statistiken enthalten nur Durchschnittswerte. Daher musste bei der Modellierung auf eine Mischung aus Recherche, statistischen Daten, persönliches Wissen, Erfahrungen und einer Umfrage zurückgegriffen werden.

Die wichtigsten Datenquellen dabei waren:

- Die Arbeit von Fang [53]. Hier wurde eine sehr gründliche Recherche zu dem Stand der populärsten Haushaltsgeräte 1990, 2000 und 2010 durchgeführt. Datenquellen waren dabei die Stiftung Warentest und

das Internet, insbesondere amazon.de und Preisvergleichsportale. Dabei entstand eine Liste von Geräten mit Baujahr, maximaler Leistung und Jahresenergieverbrauch nach Herstellerangaben. Diese wurde im bLPG als Grundlage der Modellierung verwendet.

- Die gegenwärtig hinterlegten Geräteprofile stammen aus den folgenden Quellen:
  - Zum Teil wurden Literaturangaben verwendet, wo dies sinnvoll war oder keine Messdaten vorlagen. Zum Beispiel gelang es nicht, Geräte für die Vermessung des Starkstromanschlusses eines Herds zu beschaffen. Daher wurde hier auf Literaturangaben zur Leistungsaufnahme und Verlauf des Lastprofils zurückgegriffen.
  - Für Geräte wie z.B. Glühlampen wurde ein flaches Geräteprofil verwendet.
  - Geräte wie z.B. Wasserkocher wurden manuell vom Autor mit einer Stopuhr gemessen und über ein entsprechendes Rechteckprofil modelliert.
  - Von Studenten des Studiengangs „Nachhaltige Energieversorgungs-technologien“ der TU Chemnitz wurde eine Fallstudie zum Thema „Energieverbrauch in Haushalten“ durchgeführt [47]. Teil der Fallstudie war die Vermessung des jeweiligen heimischen Gerätbestands mit einem Conrad Voltcraft Energy-Logger 4000.
  - Binder vom ZSW stellte gemessene Geräteprofile für die Verwendung im bLPG zur Verfügung.
- Als Orientierung für die durchschnittlichen Energieverbräuche wurde eine Umfrage unter mehreren hunderttausend deutschen Haushalten verwendet [10].
- Für die Festlegung der Dauer der Affordanzen wurde auf persönliche Erfahrungen gesetzt.
- Die Zusammensetzung der individuellen Haushalte basierte teilweise auf der Umfrage, die in der Fallstudie durchgeführt wurde und teilweise auf persönlichen Erfahrungen.

- Als Ausgangspunkt für die Identifizierung typischer Aktivitäten wurde die Studie “Wo bleibt die Zeit” [54] verwendet.
- Orientierung für die Wasserverbräuche waren die Durchschnittswerte des Statistischen Bundesamts [55].

## 6.2 Vordefinierte Elemente

Tabelle 6.1 zeigt die Elemente in der Version 4.5. Man sieht, wie viele verschiedene Elemente für die vordefinierten Haushalte benötigt wurden.

Tabelle 6.1: Elemente für die vordefinierten Haushalte in Version 4.5

Name	Anzahl
Desires	215
Persons	144
Devices	334
Device Categories	155
Device Actions	454
Device Action Groups	204
Time Profiles (für Geräte)	286
Time Limits	99
Subaffordances	33
Affordances	274
Locations	66
Households (konventionelle Modellierung)	0 <sup>a</sup>
Trait Tags	86
Household Traits	416
Combined Households	62
House Types	21
Houses	27

<sup>a</sup> Bis Version 4.2 waren alle Haushalte als einfache Households definiert. Danach wurden alle auf Combined Households umgestellt.

Bei der Definition der Haushalte wurde versucht, einen guten Querschnitt durch die Bevölkerung zu erreichen. Abb. 6.2 zeigt die Aufteilung der Haushalte nach den vier Kriterien Kinderzahl, Einkommen, Beschäftigung und Haus-

haltsgröße und Abb. 6.1 zeigt die Verteilung des Alters der Personen. Dabei wurden Rentner, Arbeitslose und Studenten in die Kategorie “0 Einkommen” eingeordnet. Man sieht, dass alle Kategorien vertreten sind, es aber keine Haushalte mit mehr als 3 Kindern gibt. Auch hat ein überdurchschnittlicher Anteil der Personen einen Bürojob, weil bei der Erstellung der Fokus auf dem Testen verschiedener Haushaltseigenschaften lag, nicht auf der Erstellung aller denkbaren Varianten. Diese können besser und einfacher durch die automatisch erstellten Haushalte abgedeckt werden.

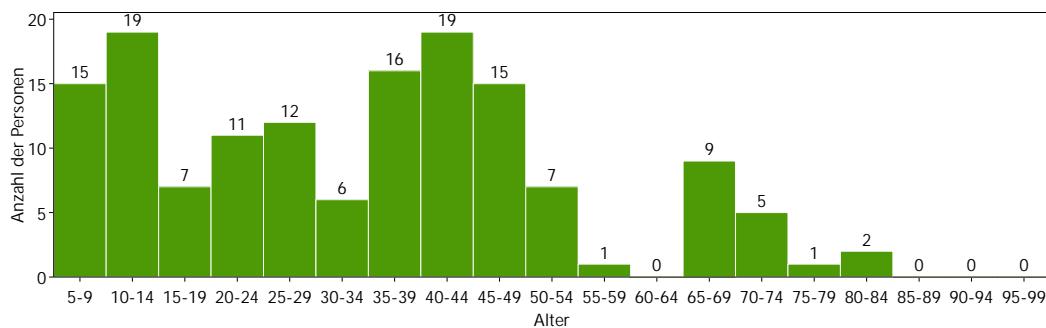


Abbildung 6.1: Alterstruktur der vordefinierten Haushalte

### 6.3 Namensschema

Durch die hohe Anzahl der Elemente war es wichtig, die Namen übersichtlich und kurz zu gestalten. Zum Beispiel ist sehr viel einfacher über den Haushalt H01 zu diskutieren als über “den Haushalt mit dem arbeitenden Ehepaar ohne Kinder mit Bürojobs, aber nicht den, in dem die Frau abends reiten geht”. Für eine konsistente Namensgebung wurden also Namensschemata eingeführt. Damit sich der Benutzer leichter im Programm zurecht findet, sind die Namenskonventionen in Tabelle 6.2 aufgelistet. Es wurden nur Namensschemata eingeführt, wo dies die Bedienung des Programms erleichtert, weswegen nicht alle Elementtypen ein Namensschema haben.

### 6.4 Erfahrungen bei der Erstellung der vordefinierten Haushalte

In diesem Abschnitt werden die Erfahrungen beschrieben, die bei der Erstellung der vordefinierten Haushalte gemacht wurden.

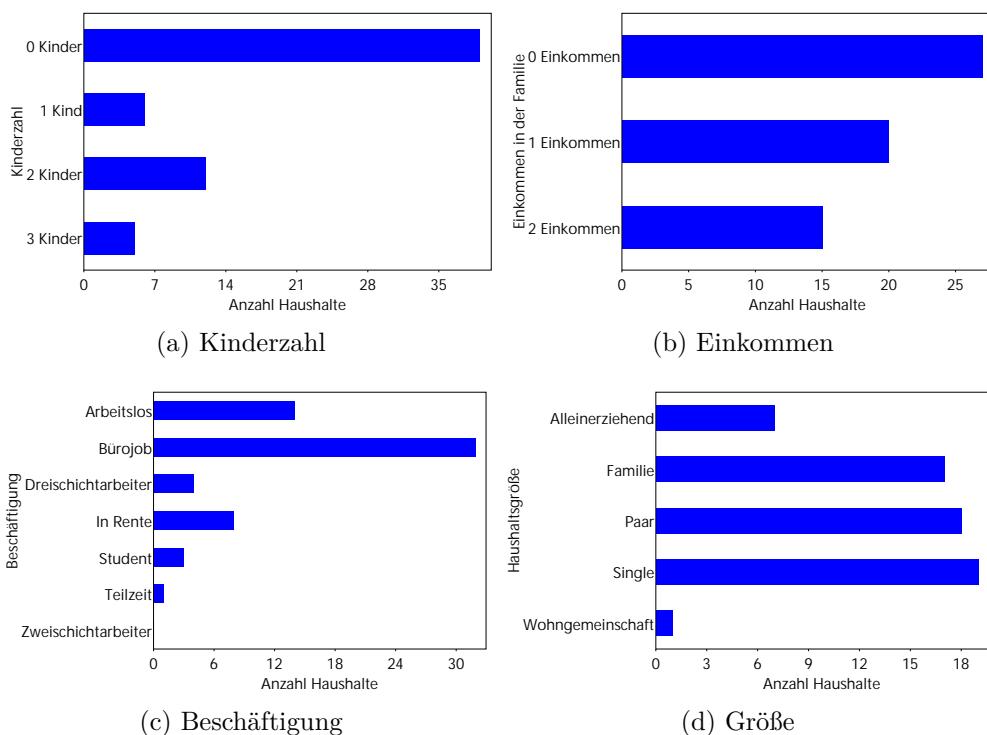


Abbildung 6.2: Eigenschaften der vordefinierten Haushalte, eingeteilt nach verschiedenen Kriterien

Tabelle 6.2: Namensschemata für die Elemente

Element	Schema	Beispiel
Holidays	(<Land>) [Datum] <Name>	(Germany) 05/01 Tag der Arbeit
Desires	<Kategorie> / <Na- me>	Cleaning / Bathroom
Household	<Haushalts-ID> <sup>a</sup> <Beschreibung>	H01 Couple with work
Combined Household	<Haushalts-ID> <sup>b</sup> <Beschreibung>	CHR01 Couple with work
Persons	<Haushalts-ID> Na- me	CHR01 Rubi
Devices	<Kategorie> <Na- me>	Electric Kettle / Pe- tra WK288 1.5L
House Types	<House Type ID> <sup>c</sup> <Beschreibung>	HT04 Photovoltaic System 5 kW, no space heating, gas warm water heater

<sup>a</sup> Die Haushalts-ID für konventionelle Haushalte ist H und eine fortlaufende Nummer und dient nur der einfacheren Identifikation.

<sup>b</sup> Die Haushalts-ID für einen *Combined Household* beginnt mit CHR oder CHS und einer fortlaufende Nummer. CHR steht dabei für „Combined Household Renewed“ und kennzeichnet einen Haushalt, welcher von einem konventionellen Haushalt konvertiert wurde. CHS steht für „Combined Household Special“ und kennzeichnet die ersten drei *Combined Households*, welche separat erstellt wurden während der Entwicklung der Funktionalität der *Combined Households*.

<sup>c</sup> Die ID setzt sich zusammen aus HT für *House Type* und einer fortlaufenden Nummer.

- Der erste Versuch war die Definition eines allgemeinen “Freizeit”-Bedürfnisses statt einzelner Bedürfnisse für “Fernsehen”, “X-Box spielen”, “Radfahren”, usw. Damit ist vom Zufall abhängig, ob ein plausibler Freizeitaktivitätenmix entsteht oder ob die simulierte Person z.B. zum Radfahrfanatiker wird. Das hat zu nicht akzeptablen Ergebnissen geführt. Es empfiehlt sich daher, jeder Aktivität ein eigenes Bedürfnis zuzuweisen.
- Wenn die Länge der Aktivität in der Erwartungswertberechnung einfließt, dann werden kurze Aktivitäten deutlich bevorzugt. Daher ist Einbeziehung

der Aktivitätslänge in die Berechnung nicht sinnvoll. Ein Beispiel wäre die Wahl zwischen einem Snack und einer richtigen Mahlzeit. Wenn die Länge der Mahlzeit mit in die Berechnung einfließt, dann müsste auch berücksichtigt werden, dass z.B. das Müdigkeitsbedürfnis am Ende der Mahlzeit deutlich höher ist als am Ende des Snacks. Somit würde nur noch gesnackt.

- Wenn man für einen Arbeitslosen keine fest definierten Schlafenszeiten mit extrem hoher Priorität definiert, dann verschiebt sich die Schlafenszeit immer weiter nach hinten, da er jeden Tag ein bisschen später ins Bett geht, weil er z.B. nur noch die eine TV-Sendung zu Ende sehen möchte. Dieser Effekt deckt sich z.B. mit dem berühmten Experiment von Aschoff [56], der seine Probanden in einen Bunker ohne Uhren sperrte, woraufhin bei vielen der Wach-Schlafzyklus anfing, länger zu werden, obwohl dort eine ganz andere Ursache vorlag. Trotzdem ist ein sehr chaotisches Verhalten in den meisten Fällen nicht zielführend und daher sind fest definierte Schlafenszeiten hilfreich bei der Erstellung regelmässiger Profile.
- Statistische Daten zu Details, wie z.B. die durchschnittliche Frequenz nächtlicher Toilettengänge in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht, sind rar. Noch seltener sind weitergehende Untersuchungen z.B. zur Änderung dieser Frequenz im Krankheitsfalle. Die einzige Lösung ist dann häufig eine Abschätzung aus der persönlichen Erfahrung heraus.
- Viele Aktivitäten sind nicht von Bedürfnissen, sondern von anderen Aktivitäten abhängig und können daher nicht ausschließlich durch einen Bedürfnis-Ansatz modelliert werden. Zum Beispiel hängt die Frequenz des Spülmaschinenbetriebs von der Menge des schmutzigen Geschirrs ab, nicht von dem Bedürfnis der Bewohner nach dem Einschalten der Spülmaschine. Für diese Aktivitäten ist die reine Bedürfnismodellierung nicht ausreichend.
- Wenn zu wenige Aktivitäten im Haushalt verfügbar sind, dann führen die Bewohner notgedrungen die vorhandenen Aktivitäten mit erhöhter Frequenz aus. Das kann in Extremsituationen z.B. zu Toilettengängen alle 10 min führen. Dies ist natürlich unerwünscht. Es ist daher notwendig, den Bewohnern hinreichend sinnvolle Freizeitaktivitäten zuzuordnen.

Insbesondere im Krankheitsfall bei Werktätigen tritt das Problem häufig auf. Genau wie in der Realität legen auch in der Simulation Workaholics ein sehr merkwürdiges Verhalten an den Tag, sobald ihre Haupttätigkeit wegfällt.

- Wenn man ein generelles Müdigkeitsbedürfnis definiert und zugleich Nickerchen am späten Abend zulässt, dann sind die Bewohner zur Schlafenszeit nicht hinreichend müde, gehen nicht ins Bett und sind am nächsten Tag sehr unausgeschlafen. Dies ist einem regelmäßigem Tagesablauf nicht zuträglich. Der gleiche Effekt tritt auch auf, wenn Kaffee auf das generelle Müdigkeitsbedürfnis wirkt.
- Eine zu niedrige Gewichtung des Hungerbedürfnisses führt dazu, dass die Bewohner morgens häufig zunächst einen Film schauen statt zu frühstücken, denn durch die Schlafperiode hat sich ja auch ein “Hunger” auf Entertainment aufgebaut. Daher ist eine sinnvolle Hierarchie der Gewichtungen sehr hilfreich für plausible Profile.
- Man benötigt einen Filter, um sicherzustellen, dass die Bewohner Affordanzen nicht direkt wiederholen können, sonst kommen wenig realistische Profile zustande.

## 6.5 Zusammenfassung

Dieses Kapitel enthielt einen kurzen Einblick in die Modellierung der vordefinierten Haushalte. Die Schlussfolgerungen sind:

- Das Ziel der vordefinierten Haushalte sind nicht perfekte, repräsentative Haushalte, sondern eine Vielzahl verschiedener, plausibler Haushalte.
- Für die Modellierung plausibler Haushalte sind eine Vielzahl von Elementen notwendig. Nur die Großverbraucher und die passenden Aktivitäten zu modellieren, führt nicht zum Ziel.
- Die Datenbasis der vordefinierten bLPG hat weiteres Optimierungspotenzial, bietet aber bereits eine gute Ausgangsbasis. Insbesondere könnten die Profile verbessert werden, wenn mehr gemessene Geräteprofile eingefügt werden und neue, zusätzliche Haushalte definiert werden.

- Bei der Modellierung tritt eine Vielzahl von Effekten auf, welche sich teilweise auch mit Erkenntnissen aus der Psychologie decken. Dies ist ein Indiz für die Güte des Modells.

# Kapitel 7

## Validierung

Die Validierung eines Lastprofilgenerators für Haushalte ist ein schwieriges Unterfangen. Der naive Vergleich eines erstellten Profils mit Messdaten eines realen Haushalts bringt keine aussagekräftigen Ergebnisse. Selbst wenn man alle Aktivitäten in der gleichen Häufigkeit modelliert hätte, wird eine minimale Abweichung bei dem Zeitpunkt der Ausführung dazu führen, dass das Profil von den Messdaten abweicht. Der alleinige Vergleich der Jahres- oder Monatssumme sagt ebenfalls nichts über die Qualität des Modells aus. Daher muss auf andere Methoden zurückgegriffen werden. Hierfür gibt es in der Literatur verschiedene Vergleichsgrößen.

Dieses Kapitel ist in drei Abschnitten aufgebaut:

- An einem Einzelhaushalt wird exemplarisch gezeigt, dass die Ergebnisse das Kriterium der Plausibilität erfüllen.
- Die Ergebnisse der vordefinierten Haushalte werden mit verschiedenen Kennwerten aus der Literatur verglichen.
- Die Resultate einer Siedlungssimulation mit mehreren hundert Haushalten werden mit dem Standardlastprofil H0 verglichen.

### 7.1 Einzelner Haushalt

Als Beispiel wurde der Haushalt CHR03 gewählt. Hierbei handelt es sich um einen fiktiven Haushalt, welcher wie folgt charakterisiert ist:

- Ehepaar Anfang 40 mit einem Kind.

- Die Frau arbeitet als Lehrerin.
- Der Mann arbeitet in einem typischen Bürojob.
- Das Kind ist 10 Jahre alt und geht zur Schule.
- Moderne, energiesparende Geräte werden genutzt.
- Der Haushalt ist in Sachsen angesiedelt.

Der Haushalt wurde gewählt, da er hinreichend komplex ist, um Interaktionen der Bewohner zu zeigen, wie z.B. das gemeinsame Frühstück. Zugleich ist er aber kleiner als eine Großfamilie, sodass es für diesen Haushalt noch möglich ist, die Aktivitäten aller Bewohner zu zeigen, ohne den Rahmen zu sprengen.

### 7.1.1 Aktivitäten - Rasterdiagramme

Als erstes soll ein Überblick über die Aktivitäten der Personen im Haushalt gegeben werden. Die kompakteste Art, die Aktivitäten für jeden Tag zu visualisieren, ist ein sogenanntes Rasterdiagramm der Handlungen. Dies ist für die drei Personen in Abb. 7.1, Abb. 7.2 und Abb. 7.3 dargestellt. Dabei zeigt jeweils eine Spalte einen Tag. Das Diagramm enthält also die Aktivitäten des gesamten Jahres. In den Rasterdiagrammen ist die Schlafenszeit blau und die Arbeitszeit grün eingefärbt. Krankheiten sind dabei mit dünnen vertikalen weißen Linien an den jeweiligen Tagen gekennzeichnet.

Man sieht, dass die Arbeitszeiten und Schlafenszeiten regelmäßig sind und ein Urlaub in der Mitte des Jahres eingeplant ist. Der Wecker ist jeden Tag auf genau 7:00 eingestellt und die Personen nutzen keine Snooze-Funktion. Die Modellierung der Snoozefunktion wäre aber problemlos möglich über eine Variation des Zeitlimits des Weckers. Zusätzlich sind verschiedene Feiertage, die Schulferien des Kindes und die Krankheitszeiten der Bewohner sichtbar. Die Freizeitbeschäftigungen an den Wochenenden und Feiertagen werden gemischt gewählt ohne unplausible Artefakte. Damit ist sichtbar, dass die Simulation in der Lage ist, plausible Tagesabläufe zu generieren.

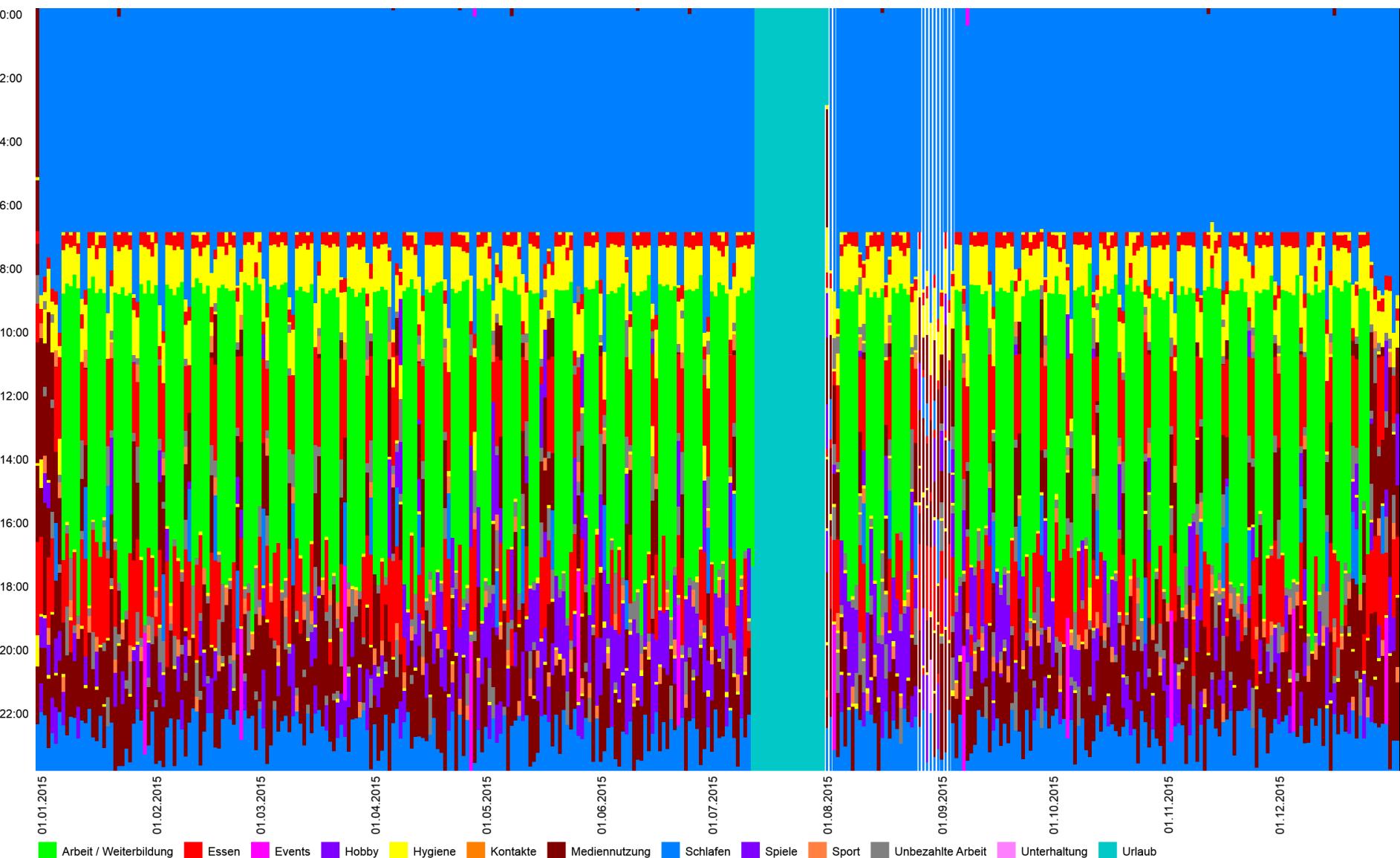


Abbildung 7.1: Rasterdiagramm der Aktivitäten der Mutter im Haushalt CHR03

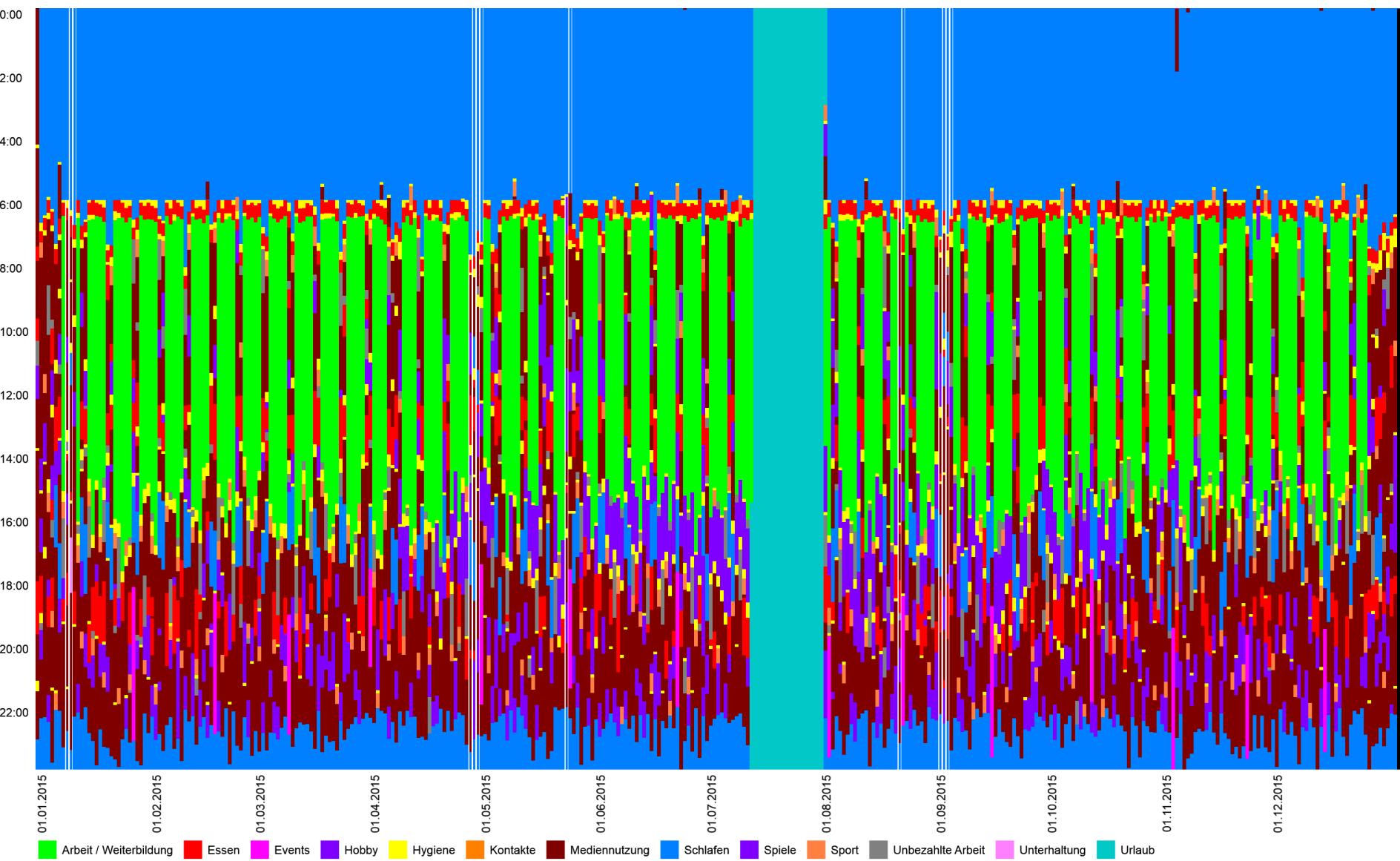


Abbildung 7.2: Rasterdiagramm der Aktivitäten des Vaters im Haushalt CHR03

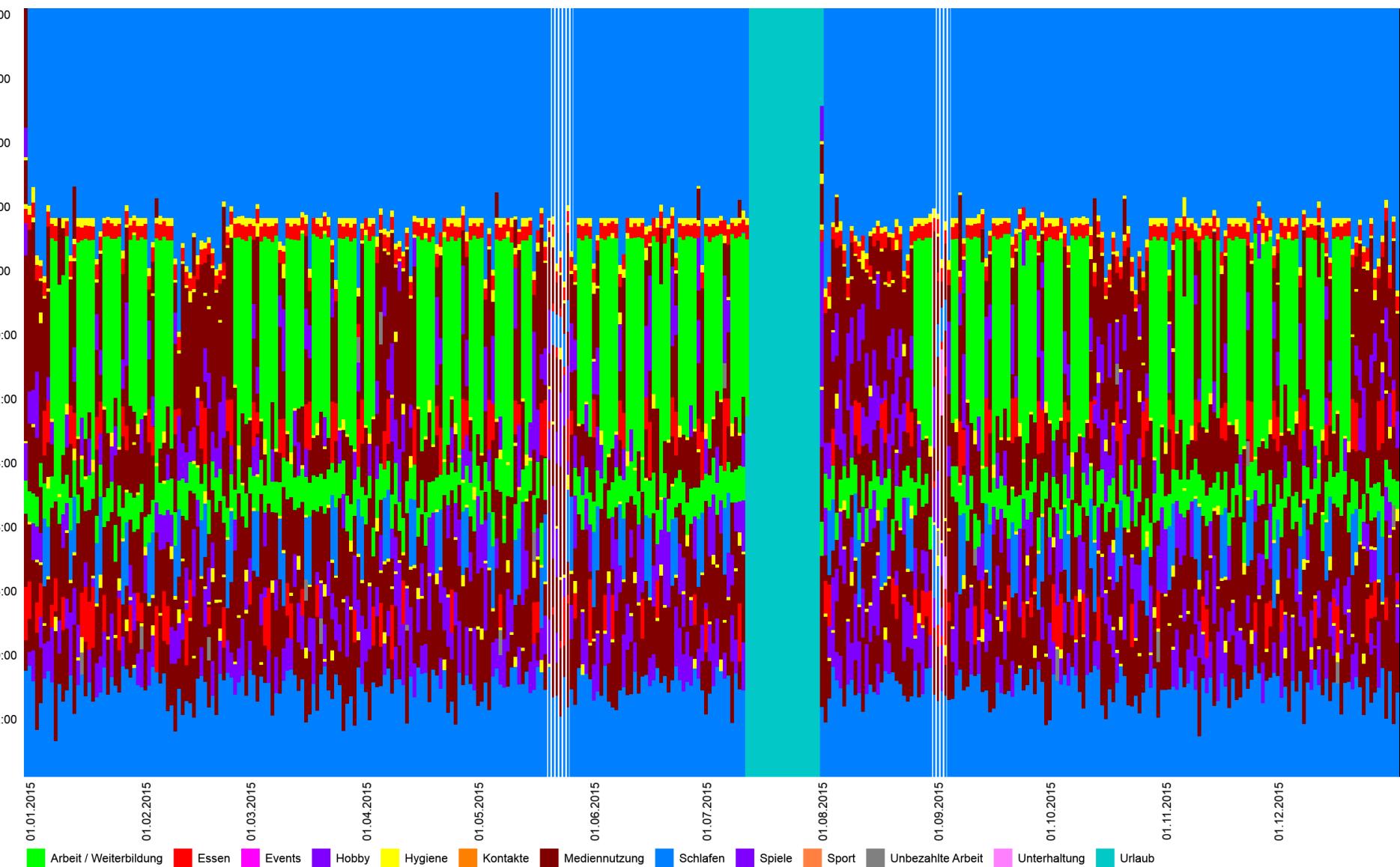


Abbildung 7.3: Rasterdiagramm der Aktivitäten des Kindes im Haushalt CHR03

### 7.1.2 Aktivitäten - Zeit pro Affordanz

Abb. 7.4, Abb. 7.5 und Abb. 7.6 zeigen den Anteil der Zeit, welche die Bewohner mit den einzelnen Aktivitäten verbringen. Diese Diagramme dienen der Identifikation der Aktivitäten mit dem größten Zeitverbrauch. Aber durch die sehr feingliedrige Aufteilung der Aktivitäten ist eine übersichtliche, vollständige Darstellung aller Aktivitäten schwierig. Aus diesem Grund wurden die bereits erwähnten Affordance Tagging Sets eingeführt. Mit der Einteilung der Aktivitäten gemäß den Kriterien des Statistischen Bundesamtes aus [54] ergibt sich die in Abb. 7.7 gezeigte Aufteilung. In der Darstellung ist für jede Person zusätzlich die durchschnittliche Aufteilung der Aktivitäten aller Deutschen dargestellt. Man sieht, dass z.B. Schlafen sehr gut im Trend liegt, aber z.B. die unbezahlte Arbeit in diesem konkreten Haushalt deutlich geringer ist als der bundesweite Durchschnitt. Dies ist für ein berufstätigtes Ehepaar erwartungskonform.

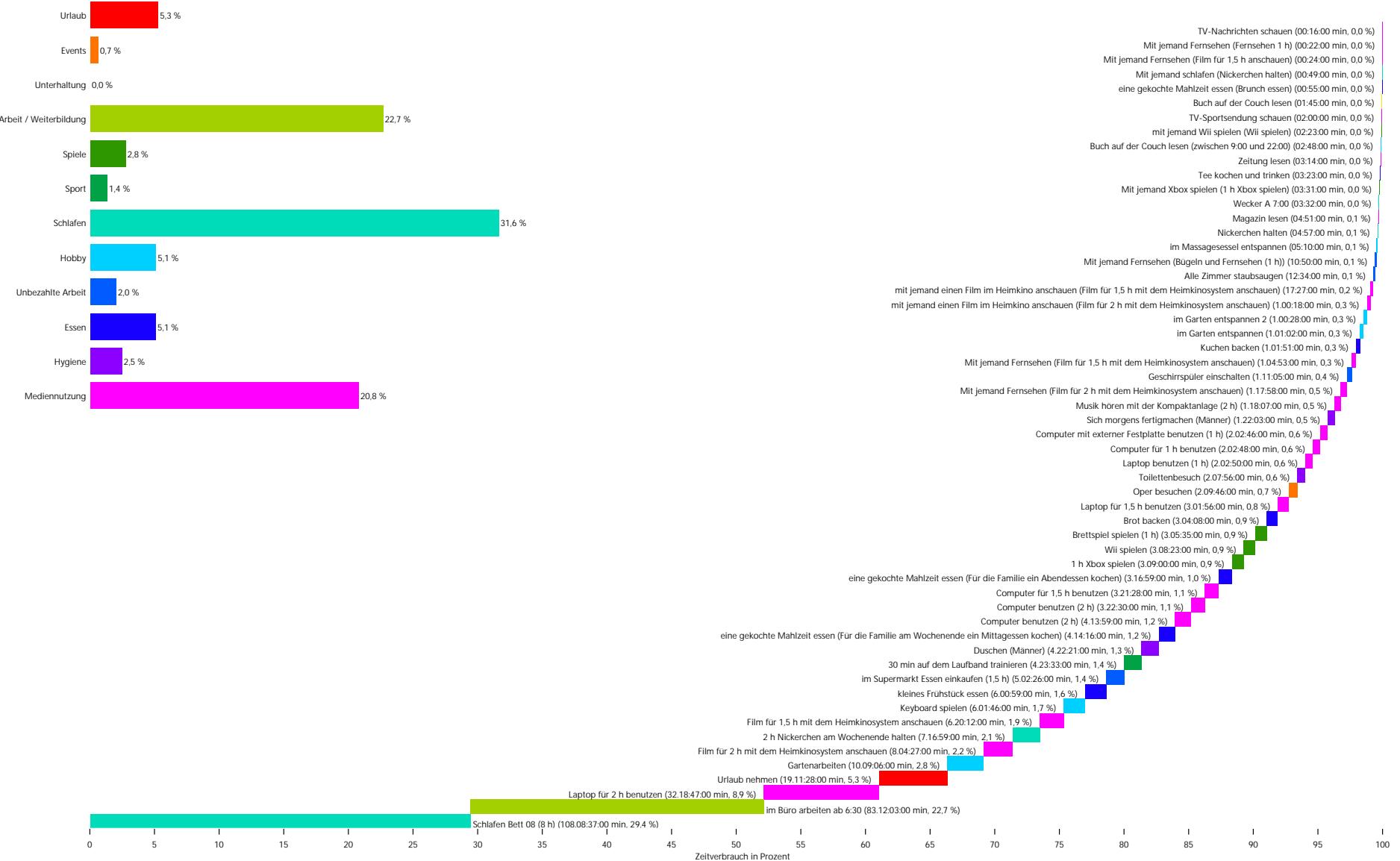


Abbildung 7.4: Übersicht über den Zeitaufwand für die einzelnen Aktivitäten des Vaters im Haushalt CHR03

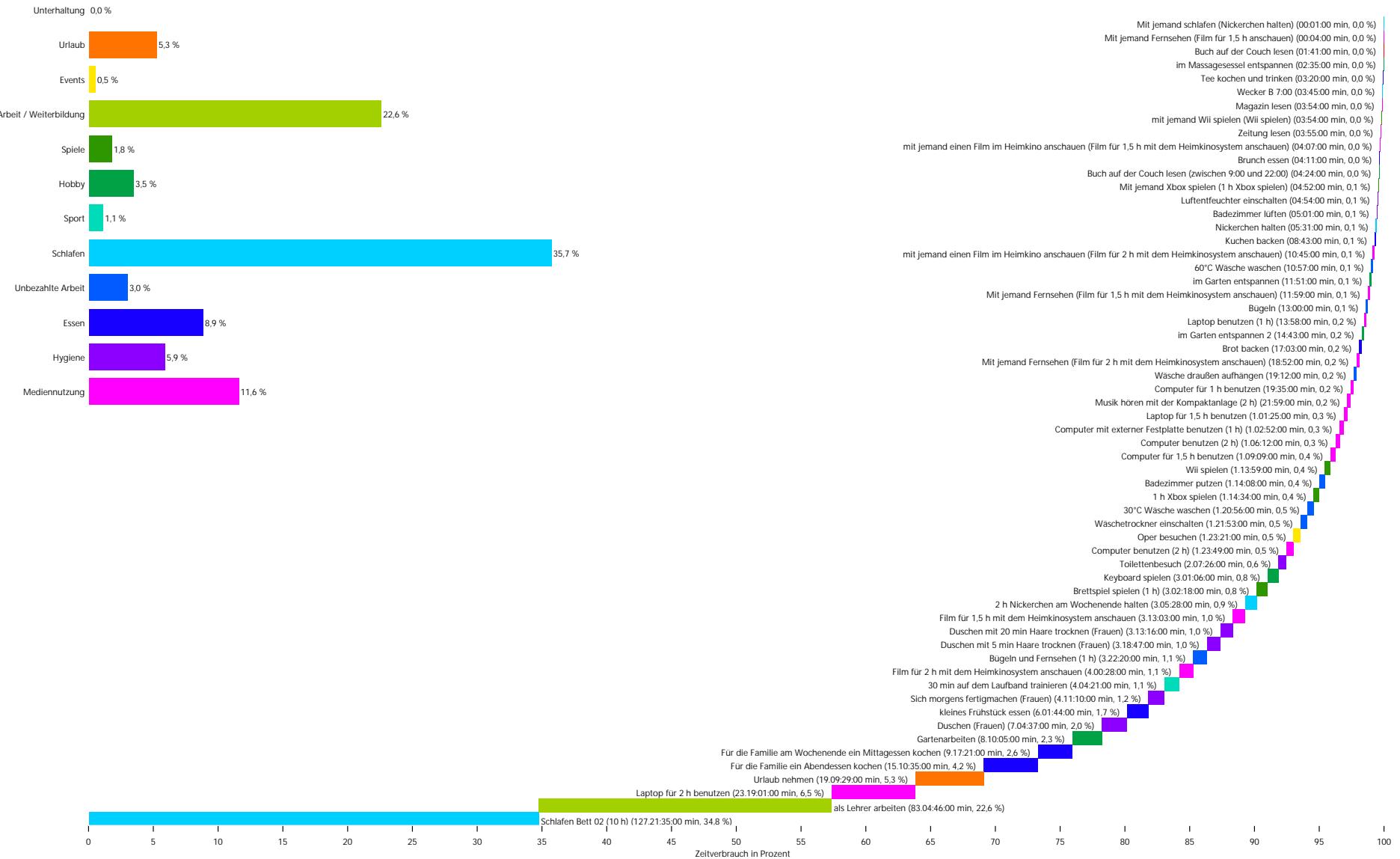


Abbildung 7.5: Übersicht über den Zeitaufwand für die einzelnen Aktivitäten der Mutter im Haushalt CHR03

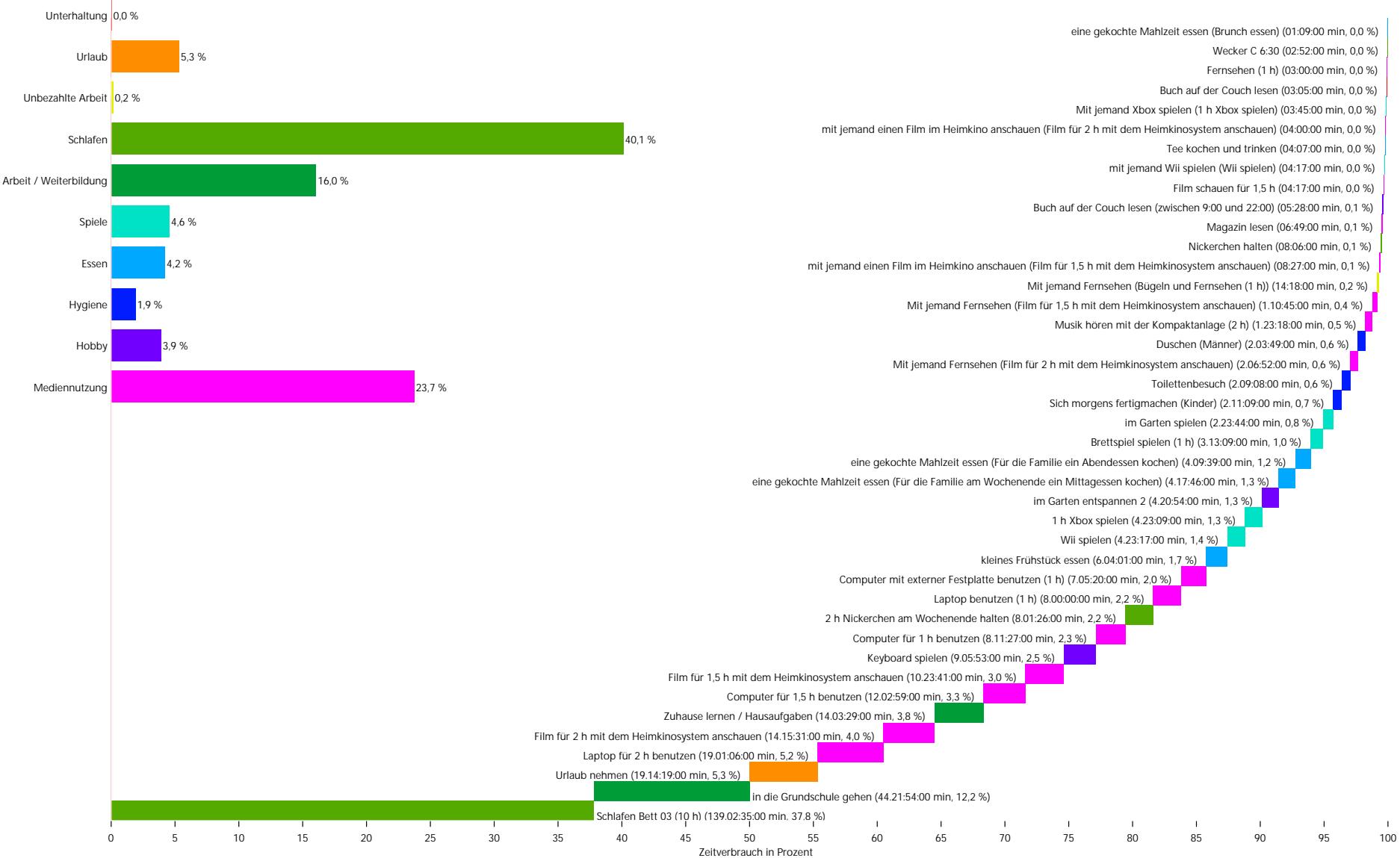


Abbildung 7.6: Übersicht über den Zeitaufwand für die einzelnen Aktivitäten des Sohns im Haushalt CHR03

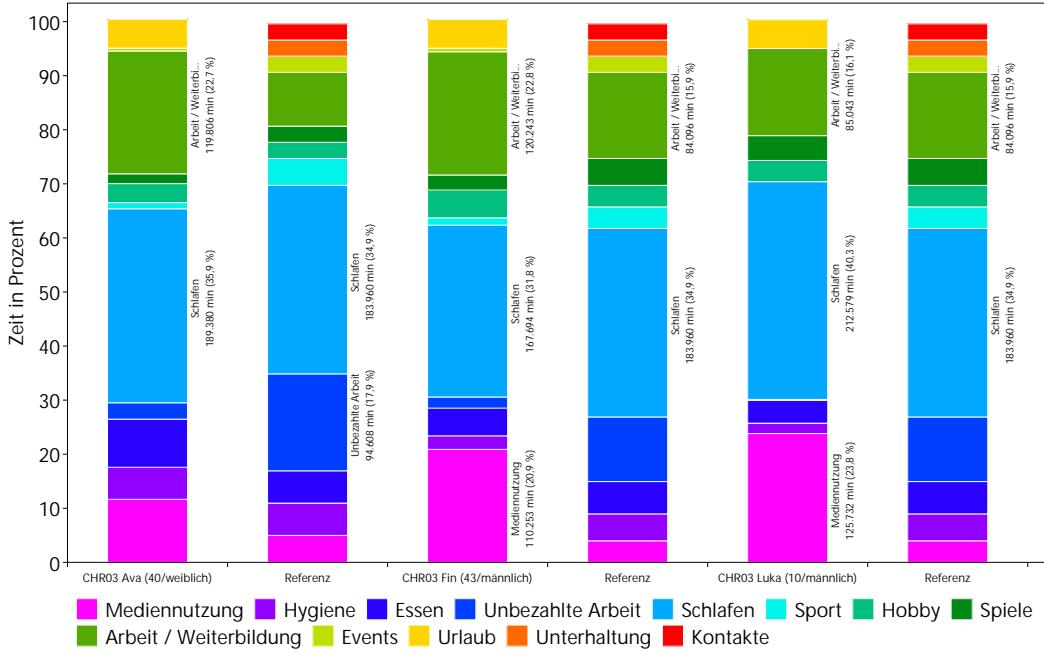


Abbildung 7.7: Übersicht über die Aktivitäten aller Bewohner und Vergleich mit Referenzzahlen aus [54]

### 7.1.3 Summe des Stromverbrauchs

In Abb. 7.8 ist der Stromverbrauch der Bewohner aufgeteilt in verschiedene Kategorien dargestellt. Dazu enthält die Grafik als Vergleichsgröße die durchschnittliche Aufteilung des Stromverbrauchs in Deutschland laut [10]. Man sieht, dass dieser konkrete Haushalt mit den gewählten Geräten leicht unterdurchschnittlich ist, weil verschiedene Gerätetypen wie z.B. die Beleuchtung deutlich weniger Strom benötigen. Dies ist hauptsächlich dadurch begründet, dass für den Haushalt durch die Einstellung "Energiesparende Geräte" auch konsequent LED-Glühlampen eingesetzt wurden.

Dazu ein Rechenbeispiel: In [10] wird der Durchschnittswert für den Energieverbrauch für die Beleuchtung in einem 3-Personenhaushalt mit 386,9 kWh angegeben. Umgerechnet in eine durchschnittliche Beleuchtungsdauer ergibt das drei Räume, welche jeweils mit 100 W 3,5 h am Tag beleuchtet werden. Ein Austausch der Beleuchtung von 100 W Glühlampen gegen 10 W LED Lampen ergibt eine Reduktion auf 38 kWh/Jahr bei vergleichbarer Helligkeit. Insofern sind durch den rapiden Preisverfall der LED-Lampen und den Aus-

tausch der Leuchtmittel in den letzten Jahren alle statistischen Angaben zum Beleuchtungsstromverbrauch vor ca. 2013 nicht mehr anwendbar.

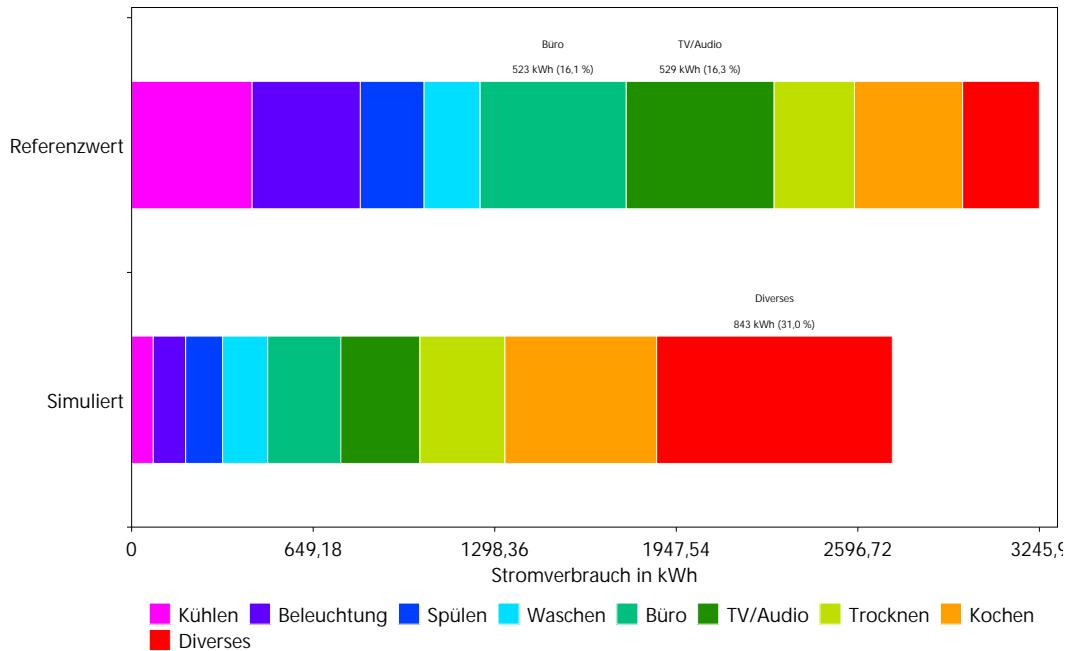


Abbildung 7.8: Stromverbrauch mit den Kategorien und Referenzwerten aus [10]

Die Verteilung auf die einzelnen Affordanzen ist in Abb. 7.9 dargestellt. Man sieht, dass die autonomen Geräte hier einen großen Anteil ausmachen.

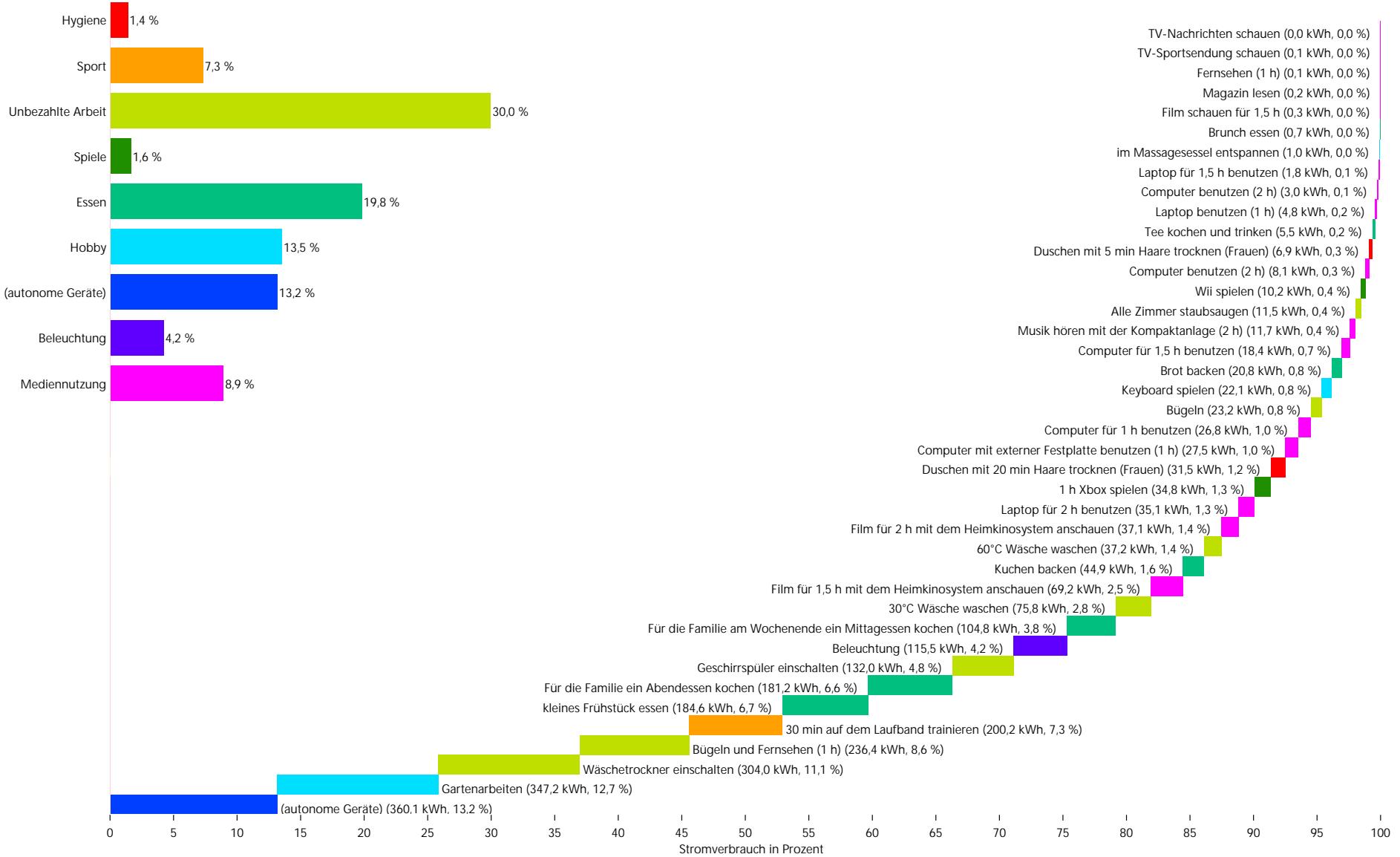


Abbildung 7.9: Verteilung des Stromverbrauchs auf die Affordanzen

Ergänzend dazu ist in Abb. 7.10 dargestellt, wie sich der Stromverbrauch auf die Bewohner verteilt. Die Verteilung erscheint plausibel, da keine Person einen überhöhten Anteil hat und sich die Aktivitäten gut auf die Personen verteilen. Da in diesem speziellen Haushalt eine traditionelle Rollenverteilung modelliert wurde und somit die Mutter für einen Großteil der energieintensiven Aktivitäten wie Waschen und Kochen verantwortlich ist, hat sie auch den größten Anteil am Energieverbrauch. Aber trotzdem entfällt auf die anderen Familienmitglieder ebenfalls ein signifikanter Energieverbrauch.

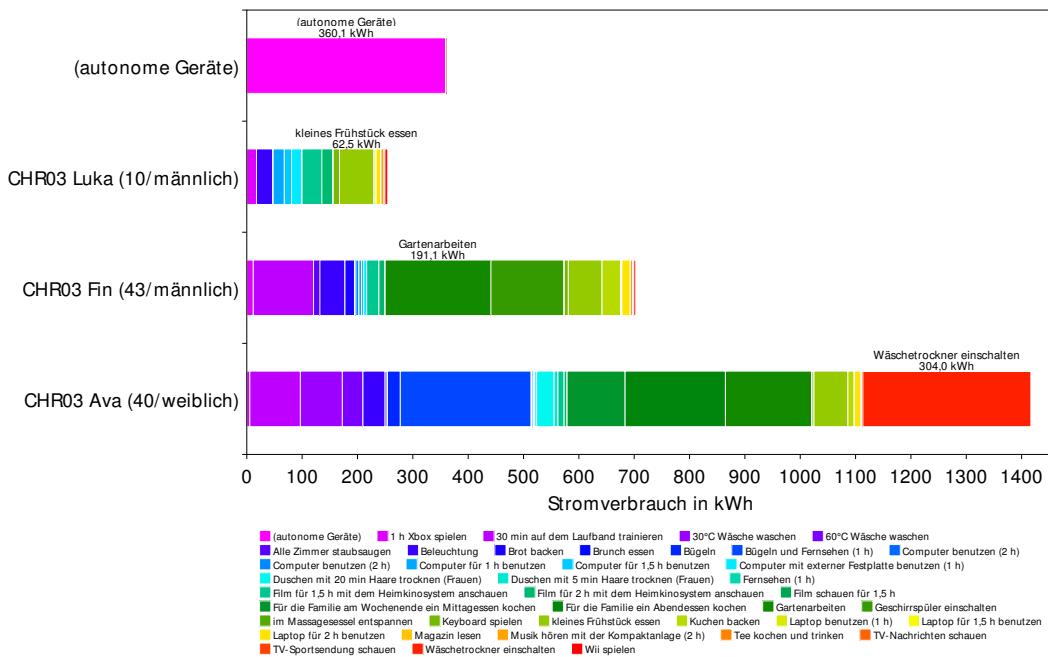


Abbildung 7.10: Verteilung des Stromverbrauchs auf die Bewohner

Der Verbrauch pro Gerät ist in Abb. 7.11 dargestellt. Auch hier ist eine relativ kleinteilige Verteilung auf die Geräte zu beobachten ohne einzelne Extremverbraucher, was ebenfalls ein Indiz für die Plausibilität des Profils ist.

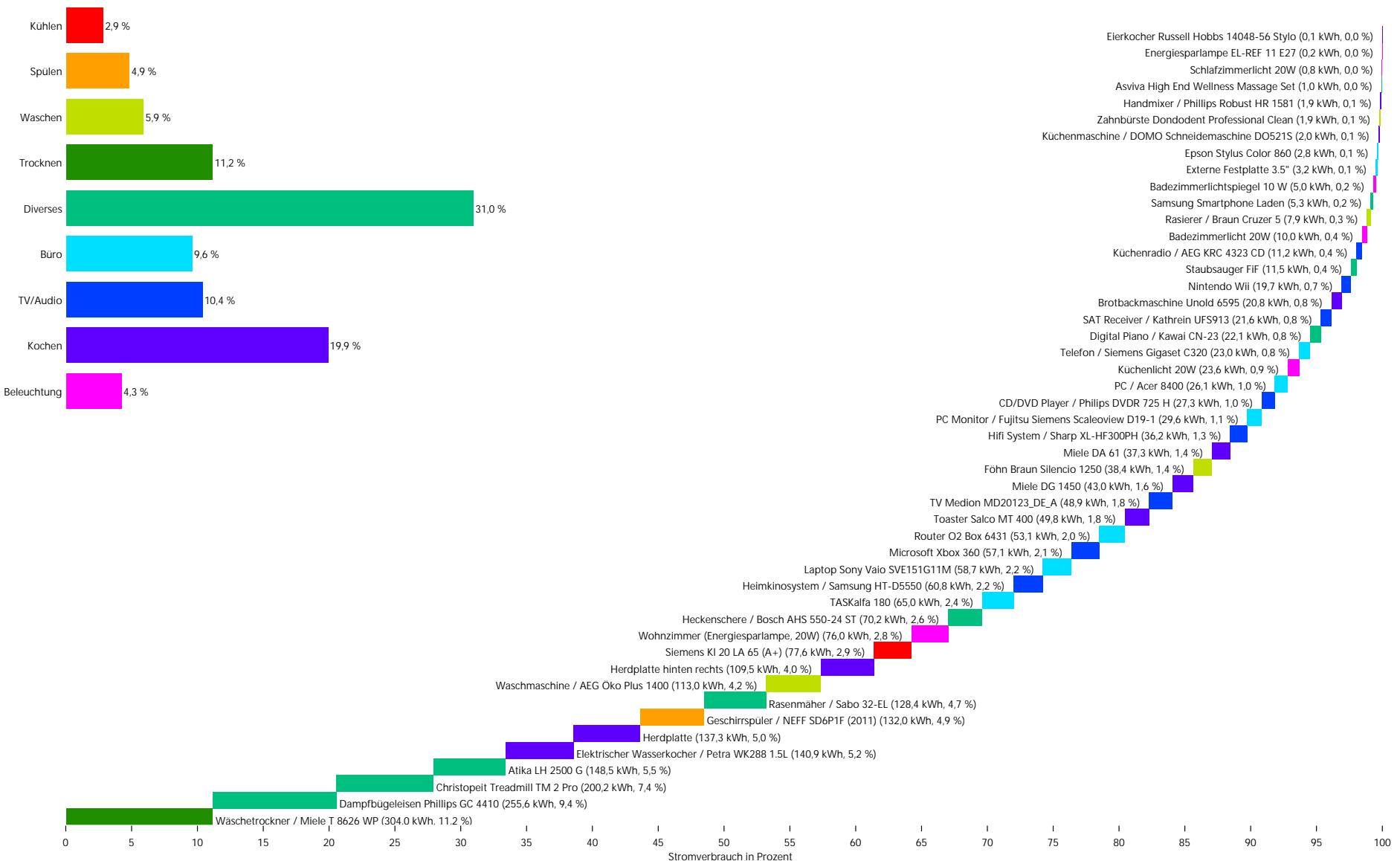


Abbildung 7.11: Verteilung des Stromverbrauchs auf die Geräte

### 7.1.4 Verlauf des Lastprofils

Abb. 7.12, Abb. 7.13 und Abb. 7.14 zeigen das Lastprofil des Haushalts an drei Beispieltagen. Man sieht, dass sich die typischen Verbrauchsspitzen und werktags tagsüber die Bewohner arbeiten sind, also keinen Verbrauch haben. Am Wochenende hingegen ist tagsüber ein deutlicher Stromverbrauch zu sehen. Der Standby-Verbrauch ist dabei sehr niedrig. Dies hat zwei Ursachen:

- Alle Geräte sind möglichst energiesparend, d.h. kaum Standby-Verbräuche.
- Haushaltsinfrastruktur wie z.B. Umwälzpumpen, Klingelanlagen, Heizungsanlagen usw. sind hier nicht mit abgebildet, da nur der Haushalt simuliert wird.

Da es mit dieser Form der Darstellung allerdings schwierig ist, das gesamte Jahr zu erfassen, wird im Folgenden auf andere Darstellungen ausgewichen.

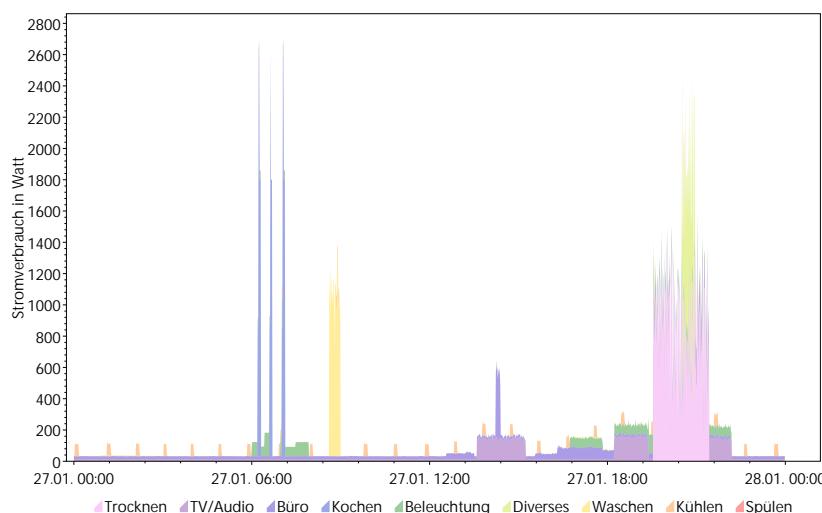


Abbildung 7.12: Beispiel für das Lastprofil am Dienstag, den 27.01.2015 im Haushalt CHR03

Die Verteilung des Stromverbrauchs über das Jahr ist als Rasterdiagramm in Abb. 7.15 dargestellt, da dies die kompakteste und übersichtlichste Art ist, das Lastprofil für ein ganzes Jahr zu visualisieren. Man erkennt deutlich die Zeit des Aufstehens, die Wochenenden, den Urlaub und die abendliche Verbrauchsspitze. Auch sieht man eine regelmäßige Verteilung des Stromverbrauchs ohne offensichtliche Artefakte.

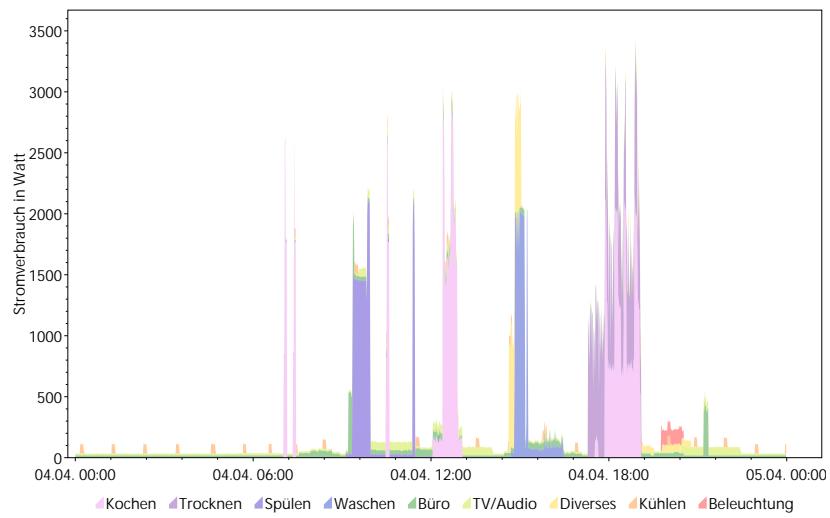


Abbildung 7.13: Beispiel für das Lastprofil am Samstag, dem 4.4.2015 im Haushalt CHR03

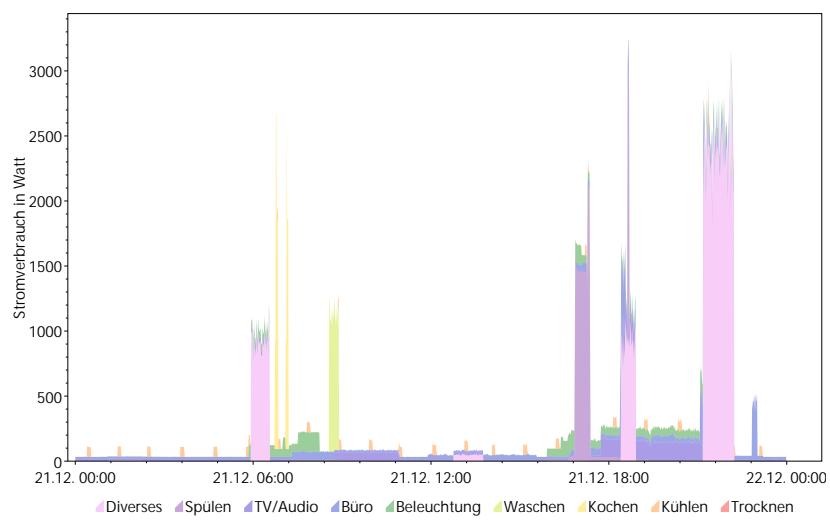


Abbildung 7.14: Beispiel für das Lastprofil am Montag, den 21.12.2015 im Haushalt CHR03

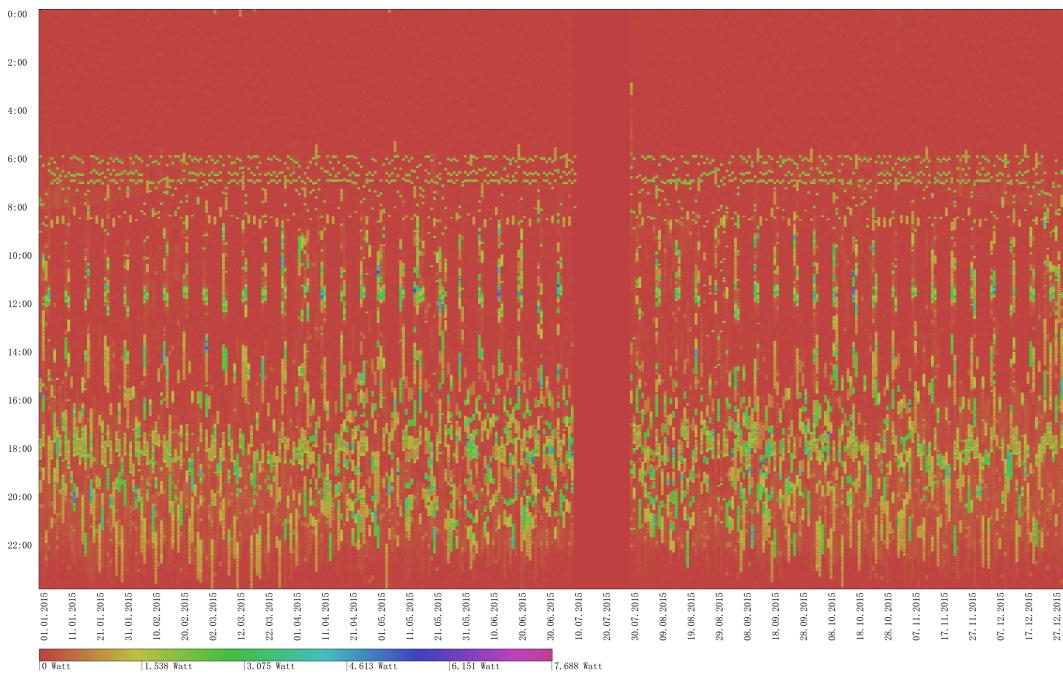


Abbildung 7.15: Rasterdiagramm des Stromverbrauchs über ein Jahr

Einige Effekte sind allerdings in anderen Darstellungsweisen besser zu erkennen. Daher ist zusätzlich in Abb. 7.16 die durchschnittliche Leistung über den Tag aufgeteilt nach Wochentagen und Jahreszeiten dargestellt. Man sieht, dass es keine deutlich erhöhte Abendspitze im Winter gibt, wie es z.B. die Sinuskurve des H0-Profil [13] erwarten lassen würde. Dafür gibt es zwei Ursachen:

- Es wird nur ein Haushalt modelliert, kein Haus. Es fehlt also die ganze Hausinfrastruktur wie z.B. Umwälzpumpen, elektrische Warmwasserbereitung und die Heizungsanlage. Da die Heizungsanlagen fast nur im Winter laufen, tragen sie entscheidend zum erhöhten Stromverbrauch im Winter bei.
- Als Beleuchtung in dem Haushalt werden LEDs eingesetzt. Sobald statt LEDs alte Glühlampen eingesetzt werden, tritt eine deutliche Winterspitze auf, wie im nächsten Kapitel gezeigt wird.

Eine weiteres Vergleichskriterium ist die Form der sogenannten Jahresdauerlinie. Diese wird erstellt, indem alle Werte des Lastprofils nach Größe sortiert werden. Dieses Kriterium wurde von Tjaden in [57] eingeführt. Für den Vergleich wird der Datensatz des IZES [58] verwendet. Dieser Datensatz beinhaltet u.a. 74

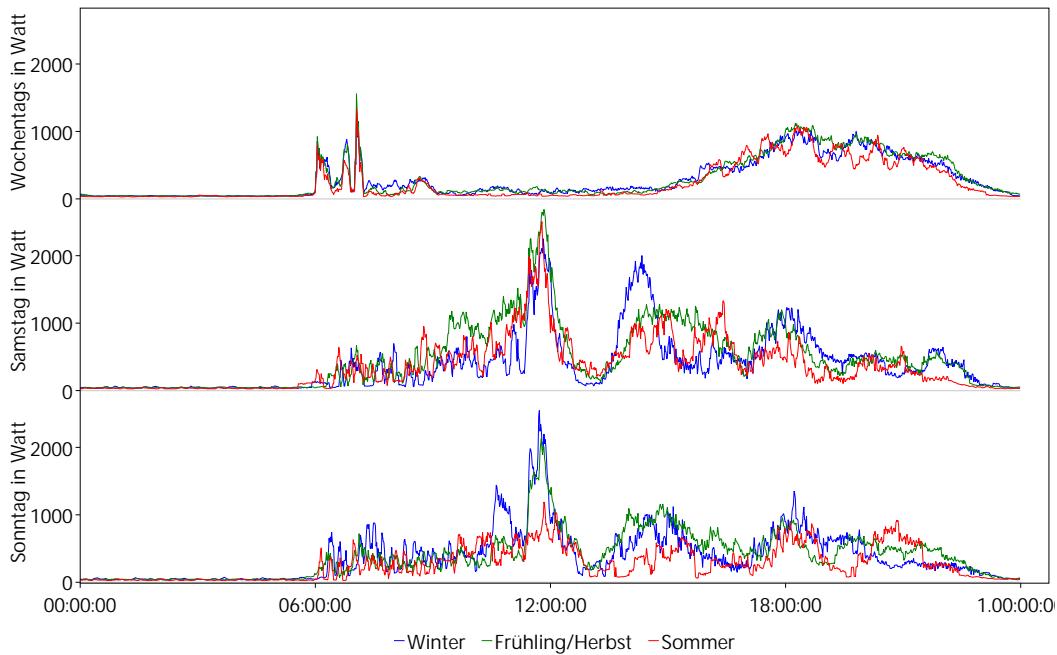


Abbildung 7.16: Durchschnittlicher Verlauf des Verbrauchs über das Jahr getrennt nach Wochentagen und Jahreszeiten

Smartmeter-Messungen von Einfamilienhäusern für ein Jahr in einer Auflösung von 15 min. Wenn man die Jahresdauerlinie für diese 74 Haushalte berechnet und diese normalisiert, dann ergibt sich für jeden Haushalt eine charakteristische Kurve. Wenn das Maximum und Minimum der Kurven in jedem Zeitschritt verwendet wird, dann ergibt sich eine Fläche als Orientierungswert für einen plausiblen Verlauf der Jahresdauerlinie in simulierten Einfamilienhäusern.

In den vorherigen Grafiken wurde immer nur der Haushalt ohne die Haushaltsinfrastruktur, d.h. insbesondere die Umwälzpumpen, dargestellt. Für den Vergleich der Jahresdauerlinie ist es allerdings wichtig, die Umwälzpumpe zu berücksichtigen, da sonst die Ergebnisse falsch sind. Daher wurde der Haushalt in den letzten Untersuchungen bereits verwendete Haushalt CHR03 in den Haustyp HT04 platziert und neu berechnet. Der Haustyp HT04 enthält dabei nur eine Solaranlage, die Warmwasser-Zirkulationspumpe und die Heizungsumwälzpumpe. Zusätzlich wurde die gleiche Berechnung ein zweites Mal durchgeführt, aber alle Geräte im Haushalt wurden durch die energieintensivste Variante ersetzt. Zum Beispiel wurden die LEDs ersetzt durch Glühlampen und der A++-Kühlschrank durch einen Kühlschrank mit der Einstufung C. Abb. 7.17 zeigt das Ergebnis der Visualisierung. Man sieht, dass beide Haushalte ent-

weder im Referenzbereich liegen oder sehr nahe daran. Und man sieht, dass der energieintensive Haushalt im mittleren Leistungsbereich deutlich über dem Energiesparenden Haushalt liegt. Das bedeutet, dass deutlich mehr Energie im mittleren Leistungsbereich abgefordert wird.

Bedingt durch die Wahl der Aktivitäten und Geräte liegt die Kurve im Bereich hoher Last etwas über dem Durchschnitt und im Bereich niedriger Last etwas darunter. Wichtig ist, dass die Kurve keine Artefakte wie z.B. Stufen zeigt.

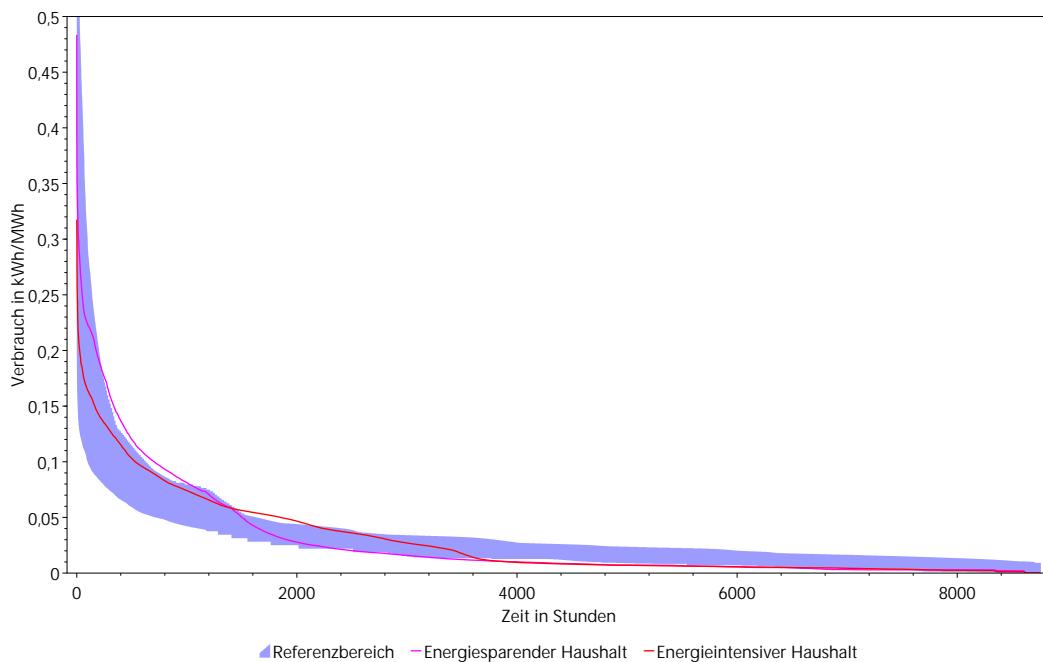


Abbildung 7.17: Jahresdauerlinie im Vergleich mit IZES-Messungen [58]

### 7.1.5 Wasserverbrauch

Für den beschriebenen Einsatzzweck ist nicht nur der Stromverbrauch, sondern auch der Wasserverbrauch wichtig. Dazu ist in Abb. 7.18 und Abb. 7.19 der Kalt- und Warmwasserverbrauch des Haushalts mit Referenzwerten für Deutschland dargestellt. Die Referenzwerte stammen vom Statistischen Bundesamt aus [55] und [59].

Man sieht, dass zwar der Wasserverbrauch für die Toilette etwas unterdurchschnittlich und der Wasserverbrauch für die Hygiene, also insbesondere das Duschen, etwas überdurchschnittlich ist. Hierbei ist aber zu berücksichtigen,

dass der Wasserverbrauch beim Duschen je nach Duschkopf zwischen 6 L/min und 20 L/min schwanken kann. Bei einem durchschnittlichen 10 L/min Duschkopf und einer täglichen 5 min Dusche ergibt sich somit ein Wasserverbrauch von 18,25 m<sup>3</sup> pro Person und Jahr, also für 3 Personen 54,75 m<sup>3</sup>. Wenn die durchschnittliche Dauer des Duschens 7 min beträgt, dann hat der Haushalt 76,7 m<sup>3</sup> Warmwasserverbrauch, also eine Steigerung um 40 %. Und wenn eine Person besonders lange Haare hat und somit 15 min für das Haare waschen alle 3 Tage benötigt, dann ergibt sich nur durch diese Änderung ein Zusatzverbrauch von 12,2 m<sup>3</sup>, also eine Steigerung um 22,2 %.

Insgesamt entspricht der Wasserverbrauch mit 118 L/Person/Tag sehr gut dem Durchschnitt von 121 L/Person/Tag aus [59].

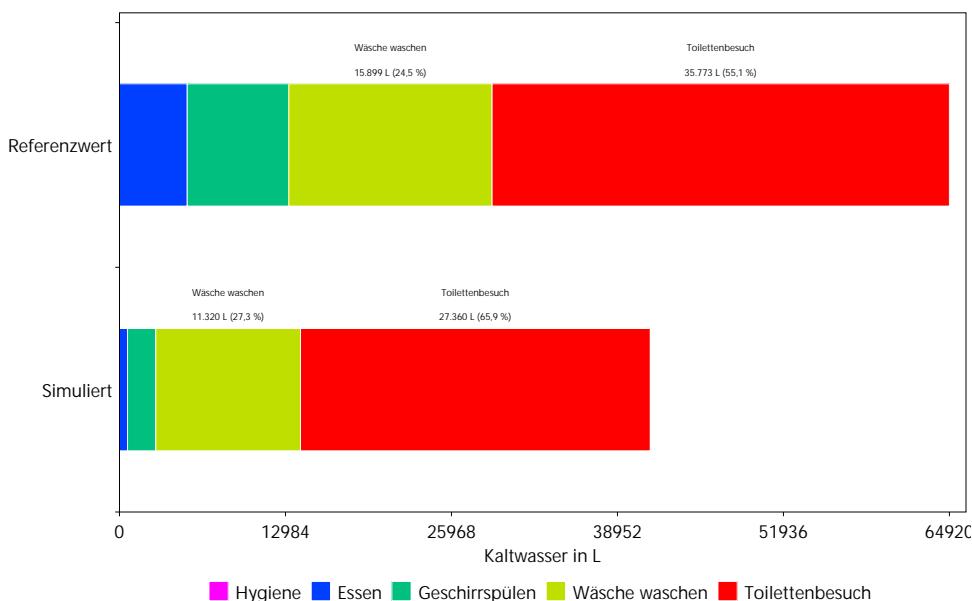


Abbildung 7.18: Kaltwasserverbrauch für den Haushalt CHR03 und Referenzwerte

Ergänzend sind dazu in Abb. 7.20 und Abb. 7.21 die Rasterdiagramme des zeitlichen Verlaufs des Kaltwasser- und Warmwasserverbrauchs dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Verbräuche relativ gleichmäßig verteilt sind.

### 7.1.6 Integration von Photovoltaik

Als nächstes soll gezeigt werden, wie sich die Integration einer Photovoltaikanlage auf die Last auswirkt. Insbesondere ist von Interesse, ob der Eigenverbrauch sich mit den durchschnittlichen Werten aus z.B. [57] deckt. Mangels

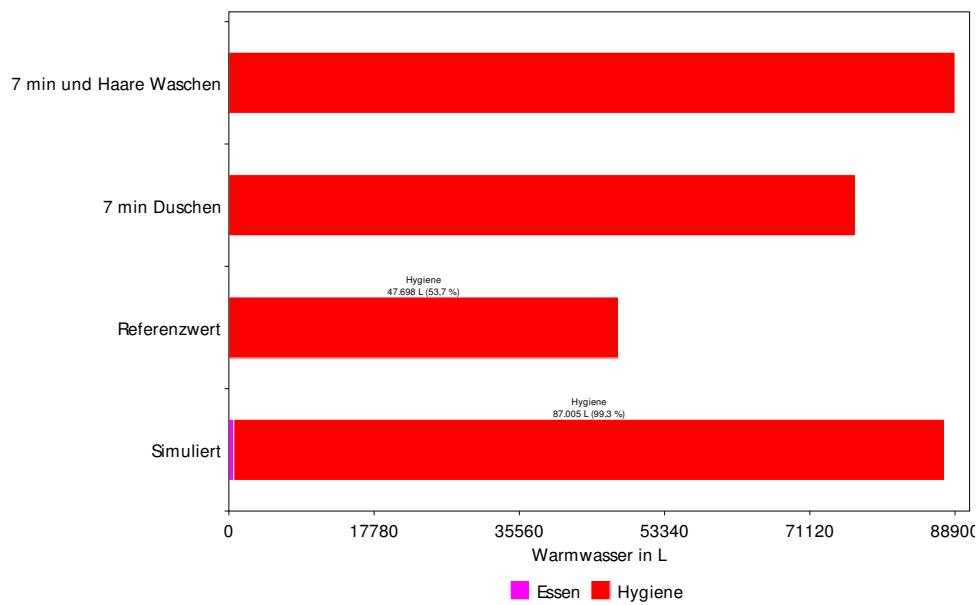


Abbildung 7.19: Warmwasserverbrauch für den Haushalt CHR03 und Referenzwerte

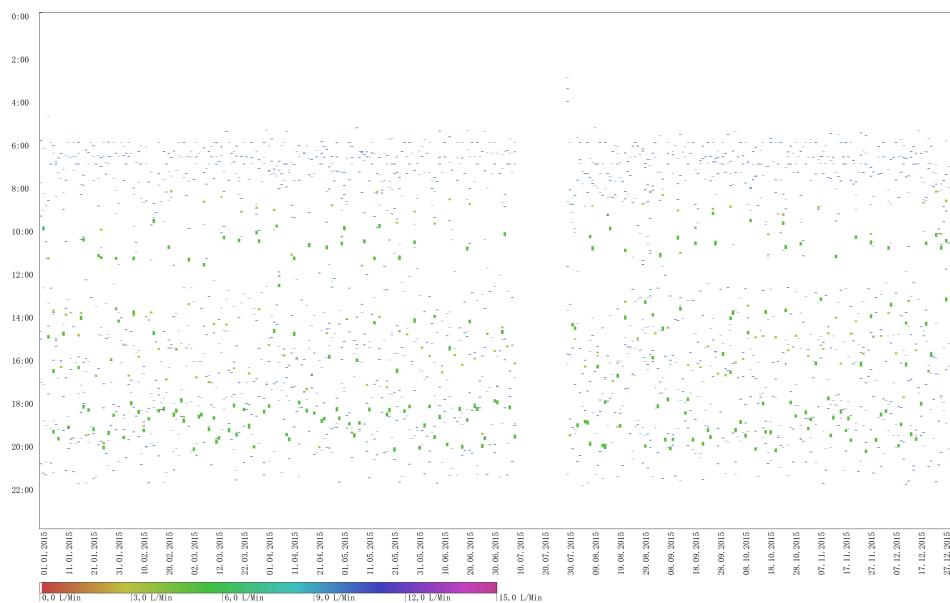


Abbildung 7.20: Rasterdiagramm des Kaltwasserverbrauchs für den Haushalt CHR03

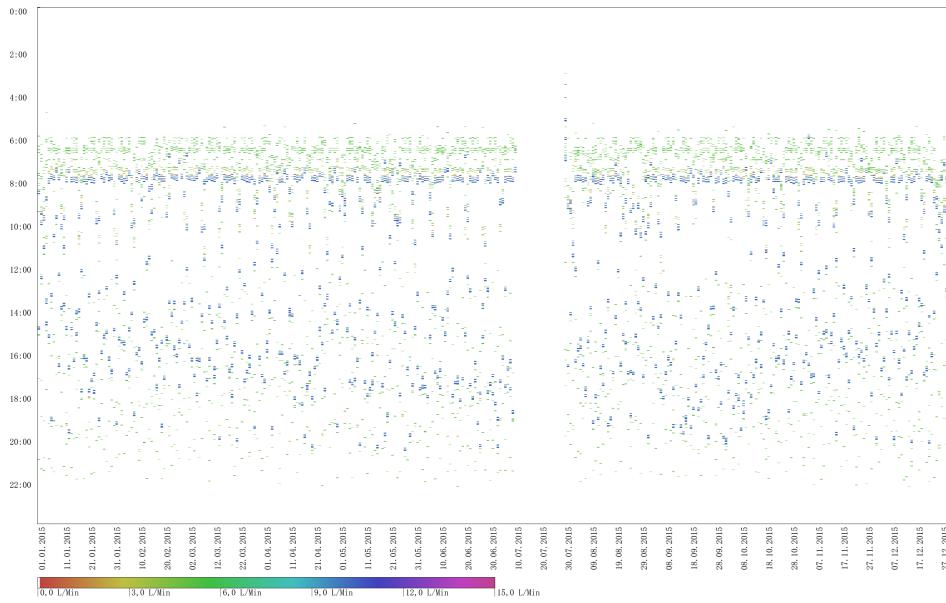


Abbildung 7.21: Rasterdiagramm des Warmwasserverbrauchs für den Haushalt CHR03

Messdaten einer PV-Anlage wurde ein gemessenes Globalstrahlungsprofil für Chemnitz aus dem Jahr 2014 verwendet. Der hierbei entstehende Fehler wird vernachlässigt, da das Ziel nur die Berechnung der Auswirkungen des Verlaufs der Lastprofile ist, nicht die Berechnung absoluter Zahlen. Für die Berechnung wurde der Haushalt CHR03 wieder in den Haustyp HT04 platziert, wodurch der Stromverbrauch für die Umwälzpumpe und Zirkulationspumpe zum Haushaltsenergiebedarf hinzukommt.

Das PV-Profil wurde so skaliert, dass die jährliche Stromerzeugung dem Strombedarf des Haushalts entspricht. Abb. 7.22 zeigt den täglichen aufsummierten Stromverbrauch und die tägliche Energieerzeugung. Nach dieser Grafik könnte man zunächst den Eindruck gewinnen, dass ein großer Anteil des Energieverbrauchs durch die PV-Anlage gedeckt werden kann.

Anschließend wurde dann für jede Minute des Jahres der Eigenverbrauch und die Netzlast oder Einspeisung berechnet. Das Ergebnis ist in Abb. 7.23 dargestellt. Es wird sichtbar, dass die Netzlast deutlich größer ist als zunächst vom Leser möglicherweise angenommen. Die Jahreswerte zeigen Tabelle 7.1. Diese Ergebnisse decken sich ungefähr mit der Fachliteratur und der Faustregel, dass ca. 1/3 Eigenverbrauch erreicht werden kann. Auch dies ist ein weiteres Indiz für die Plausibilität des erzeugten Lastprofils.

Tabelle 7.1: Ergebnisse des Haushalts CHR03 im Haustyp HT04 mit PV-Anlage

Beschreibung	Wert
Jährlicher Stromverbrauch	2.946,2 kWh
Erzeugter Strom	2.946,2 kWh
Eigenverbrauch	782,4 kWh
Eigenverbrauchsquote	26,6 %
Einspeisung	2.163,8 kWh

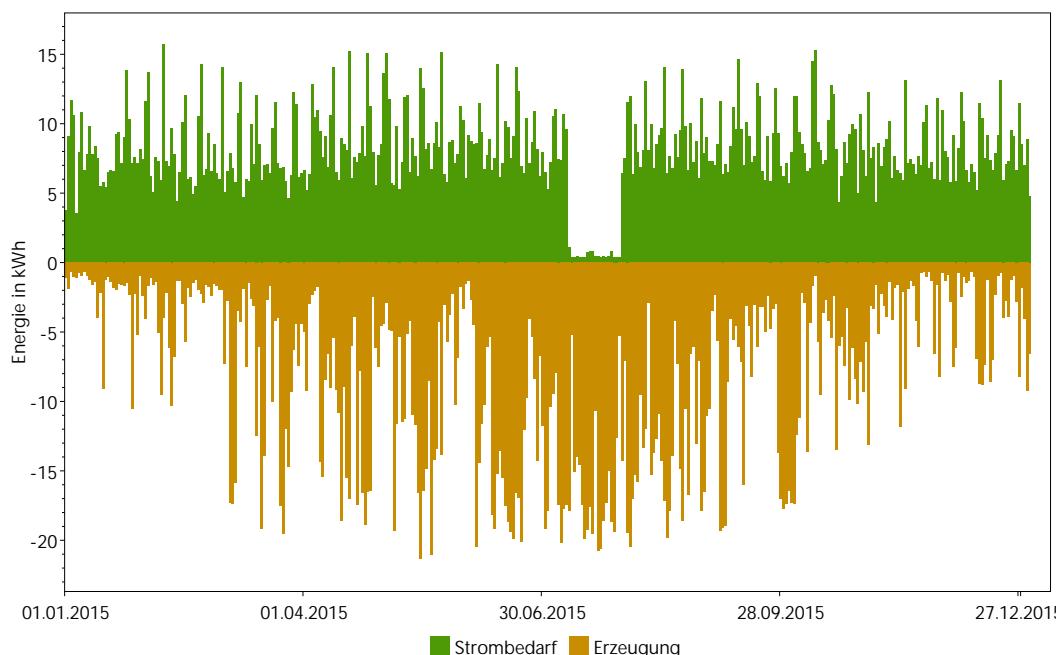


Abbildung 7.22: Stromverbrauch und durch die PV-Anlage erzeugte Energie für den Haushalt CHR03 im Haus HT04

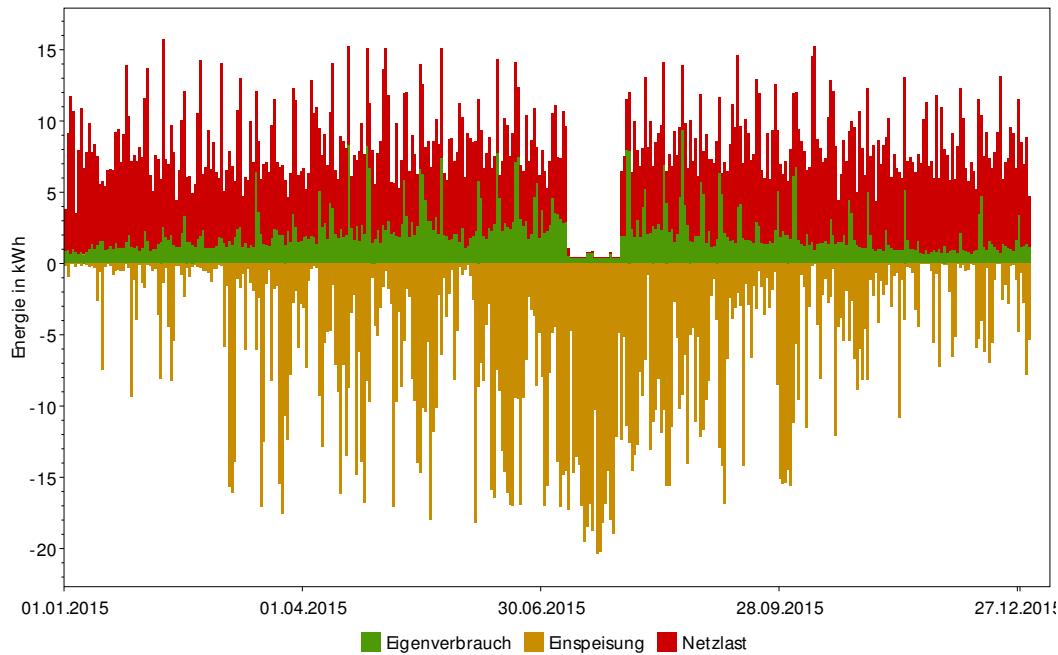


Abbildung 7.23: Eigenverbrauch, Netzlast und Netzeinspeisung für den Haushalt CHR03 im Haus HT04

### 7.1.7 Lichtbedarf

Stokes [20] hat unter anderem eine Analyse des Strombedarfs für Licht durchgeführt. Damit wurden die Kurven in Abb. 7.24 erzeugt. Es handelt sich um den durchschnittlichen Lichtbedarf über 24 h verteilt, aufgeteilt nach Monaten. Bei der Untersuchung wurde eine größere Bevölkerungsgruppe untersucht. Da z.B. Schichtarbeiter auch Nachts Licht benötigten, zeigt die Grafik eine Grundlast rund um die Uhr.

Abb. 7.25 zeigt die Ergebnisse für den Haushalt CHR03, falls erst bei Einbruch der Dunkelheit das Licht eingeschaltet wird. Deutlich realistischer ist das Einschalten des Lichts bei einem Globalstrahlungswert unter 50 W/m<sup>2</sup>. Abb. 7.26 zeigt das Ergebnis. Da nur ein einzelner Haushalt betrachtet wird, sind die Kurven weniger geglättet als die Referenzkurven. Die hohen morgendlichen Spitzen kommen aus dem spezifischen Verhalten in diesem Haushalt. Die Bewohner werden von ihrem jeweiligen Wecker geweckt, machen kurz das Licht im Schlafzimmer an und nach sehr kurzer Zeit wieder aus.

Die Ergebnisse, insbesondere Abb. 7.26, zeigen, dass die Modellierung des Stromverbrauchs für Licht tendenziell richtig ist. Allerdings zeigt sich hier

die erwähnte Schwachstelle der Modellierung, nämlich dass das Licht beim Verlassen des Raumes immer ausgeschaltet wird. Dadurch kommt es an dieser Stelle zu Modellierungartefakten. Da der Stromverbrauch für die Beleuchtung aber sehr gering ist, sind die Auswirkungen nicht sehr groß.

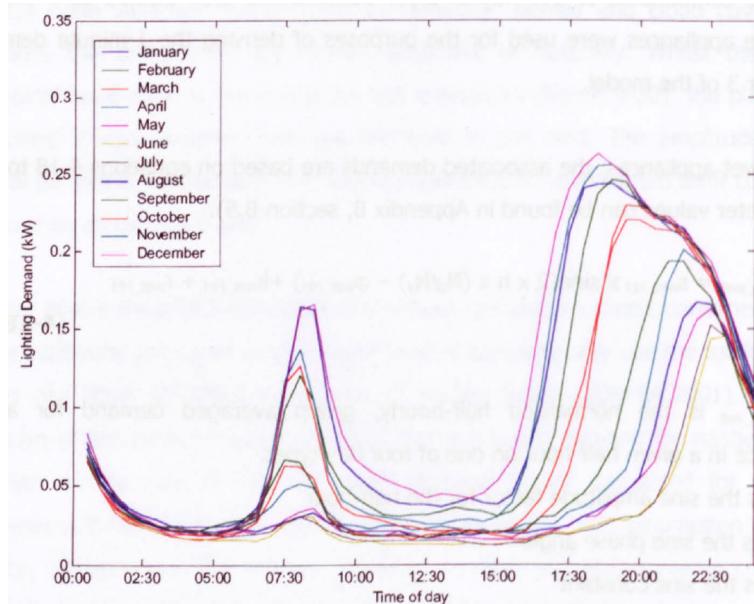


Abbildung 7.24: Übersicht über die Stromlast durch Licht aus [20]

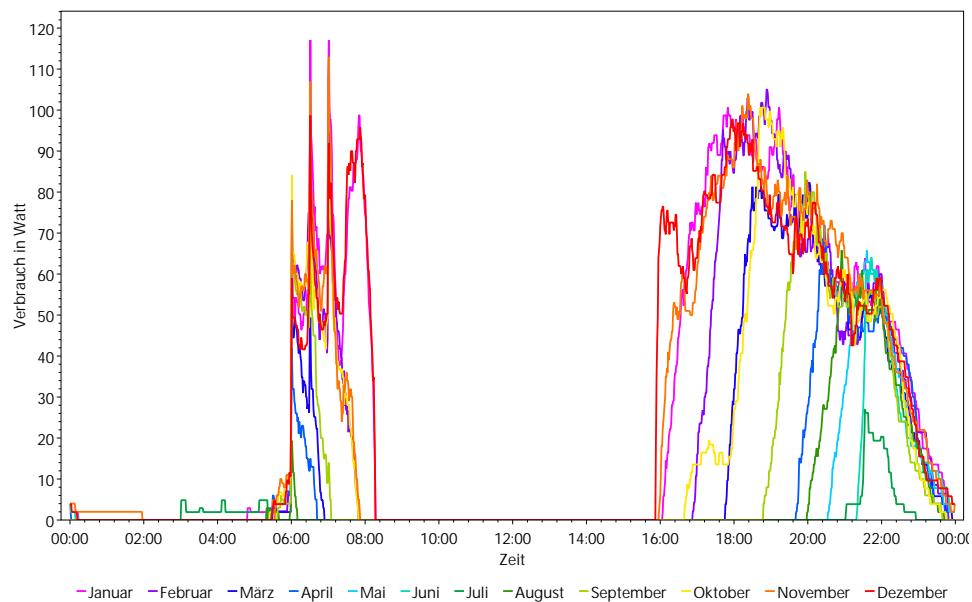


Abbildung 7.25: Durchschnittliche Last durch Beleuchtung im CHR03 für die einzelnen Monate bei Einschalten des Lichts nach Sonnenuntergang

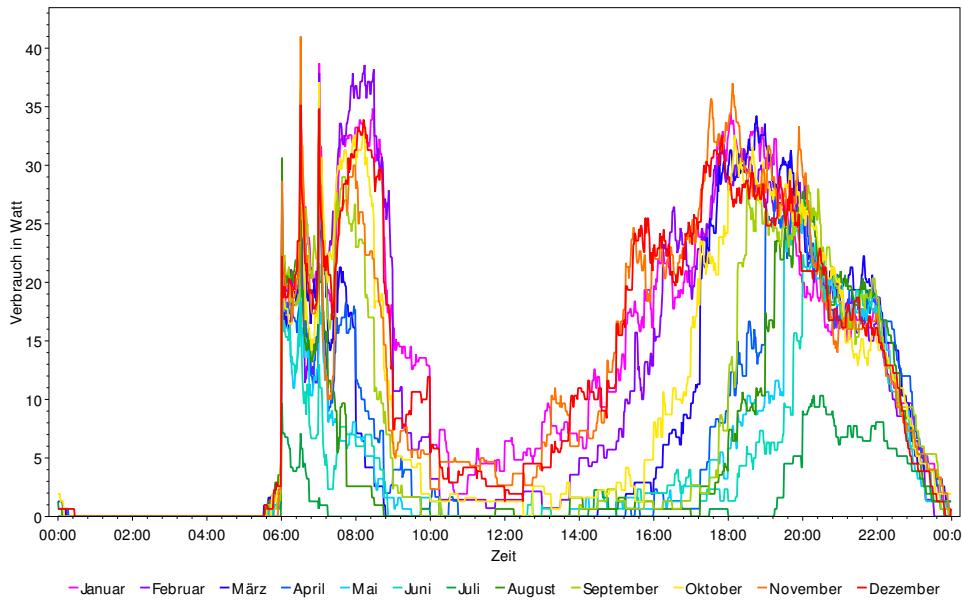


Abbildung 7.26: Durchschnittliche Last durch Beleuchtung im CHR03 für die einzelnen Monate bei Einschalten des Lichts bei unter  $50 \text{ W/m}^2$  Globalstrahlung

### 7.1.8 Zusammenfassung CHR03

Insgesamt konnte demonstriert werden, dass die Ergebnisse für den einzelnen Haushalt das Kriterium der Plausibilität erfüllen. Die Ergebnisse liegen in der Nähe der statistischen Durchschnittswerte und es sind keine realitätsfernen Artefakte sichtbar. Arbeits- und Schulzeiten werden abgebildet und in der Freizeit ergibt sich ein plausibles Muster mit abwechselnden Aktivitäten, gemeinsamen Essen und einem plausiblen Anteil an Hausarbeit.

## 7.2 Vordefinierte Haushalte

Aus Platzgründen ist es nicht möglich, alle Haushalte so gründlich wie CHR03 darzustellen. Daher werden in diesem Kapitel nur einige der wichtigsten Kenngrößen quer über alle vordefinierten Haushalte gezeigt, um zu demonstrieren, dass alle vordefinierten Haushalte plausibel sind.

### 7.2.1 Stromverbrauch

Der erste und wichtigste Vergleich ist der Stromverbrauch. Dazu ist in Abb. 7.27 eine Übersicht der Verbräuche in Abhängigkeit der Personenzahl

dargestellt. Dabei wurde jeder Haushalt zweimal berechnet: Einmal mit der Konfiguration "Energiesparende Geräte" und einmal mit der Konfiguration "Energieintensive Geräte". Zusätzlich zeigt die Grafik noch die Referenzwerte aus [10]. In der Grafik sind die Werte aus Gründen der Übersicht leicht gegeneinander verschoben.

Man sieht in der Vergleichsgrafik, dass der Verbrauch der Haushalte in der energiesparenden Konfiguration zum Teil deutlich unter dem Durchschnitt liegt, aber in der energieintensiven Konfiguration darüber. Das deutet darauf hin, dass der Energieverbrauch plausibel modelliert ist.

Ergänzend dazu ist in Abb. 7.28 die Aufteilung des Energieverbrauchs über alle Haushalte dargestellt. Diese Abbildung zeigt, dass alle Haushalte eine gute Mischung zwischen den Kategorien des Energieverbrauchs aufweisen und nicht z.B. einzelne Haushalte nur Kochenergie verbrauchen.

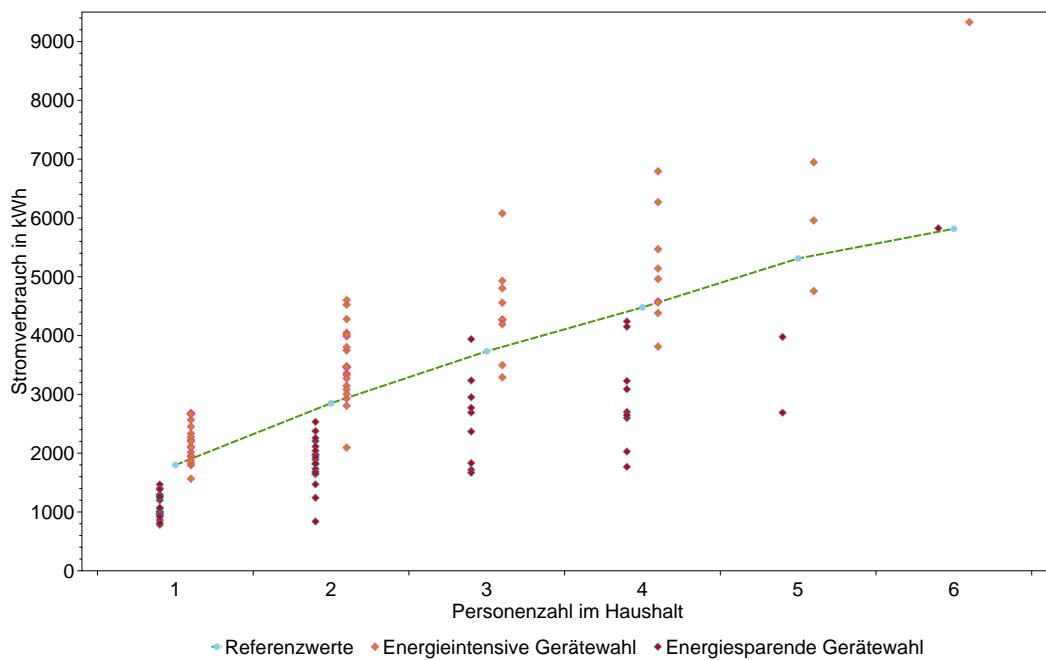


Abbildung 7.27: Übersicht über die Summe des Energieverbrauchs aller Haushalte in den Varianten Energiesparend und Energieintensiv mit Referenzwerten aus [10]

## 7.2.2 Verhaltensgesteuerter Anteil am Stromverbrauch

Im Kapitel 2 wurde gezeigt, dass der durchschnittliche verhaltensgesteuerte Anteil am Stromverbrauch 75 % ist, also der Anteil der autonomen Geräte ca.

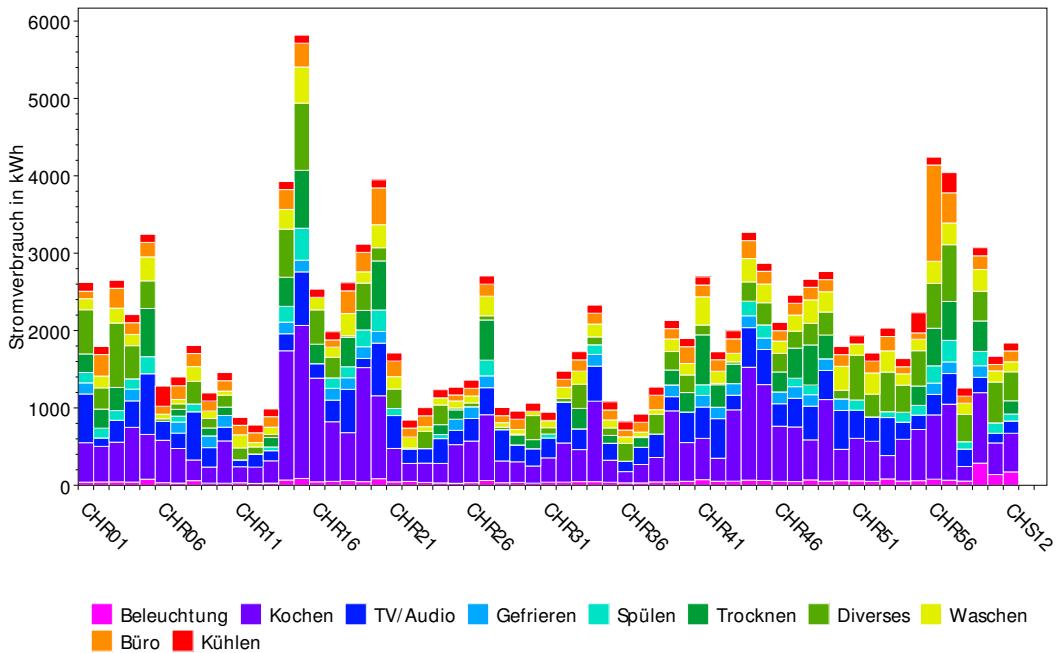


Abbildung 7.28: Übersicht über die Summe des Energieverbrauchs aller Haushalte, aufgeteilt nach Kategorien.

25 % beträgt. Plausible Ergebnisse sollten ungefähr in diesem Bereich liegen. Dazu zeigt Abb. 7.29 die Ergebnisse der Berechnung über alle Haushalte. Der Durchschnittswert über alle vordefinierten Haushalte beträgt 31 %. Eine Ursache hierfür sind die energiesparenden Geräte. Zum Beispiel sind Kühlschränke sehr stark optimiert worden, wodurch der prozentuale Anteil am Gesamtverbrauch gesunken ist.

### 7.2.3 Zeitverbrauch der Aktivitäten

Ebenfalls relevant ist die Übersicht über die Verteilung der Aktivitäten aller Personen. Dazu zeigt Abb. 7.30 die Verteilung der Aktivitätszeiten auf die Personen. Hier sieht man z.B., dass der Anteil des Schlafens zwischen 25 % und 43 % schwankt, also im plausiblen Bereich liegt. Auch ist sichtbar, dass eine gute Verteilung der Aktivitäten vorliegt und nicht einzelne Personen z.B. den ganzen Tag nur essen. Die einzige Ausnahme vom geregelten Tagsablauf ist die Haushaltshilfe im CHR19, welche am Feierabend nach Hause geht.

Ergänzend dazu zeigt Abb. 7.31 die durchschnittliche Schlafdauer aller Personen.

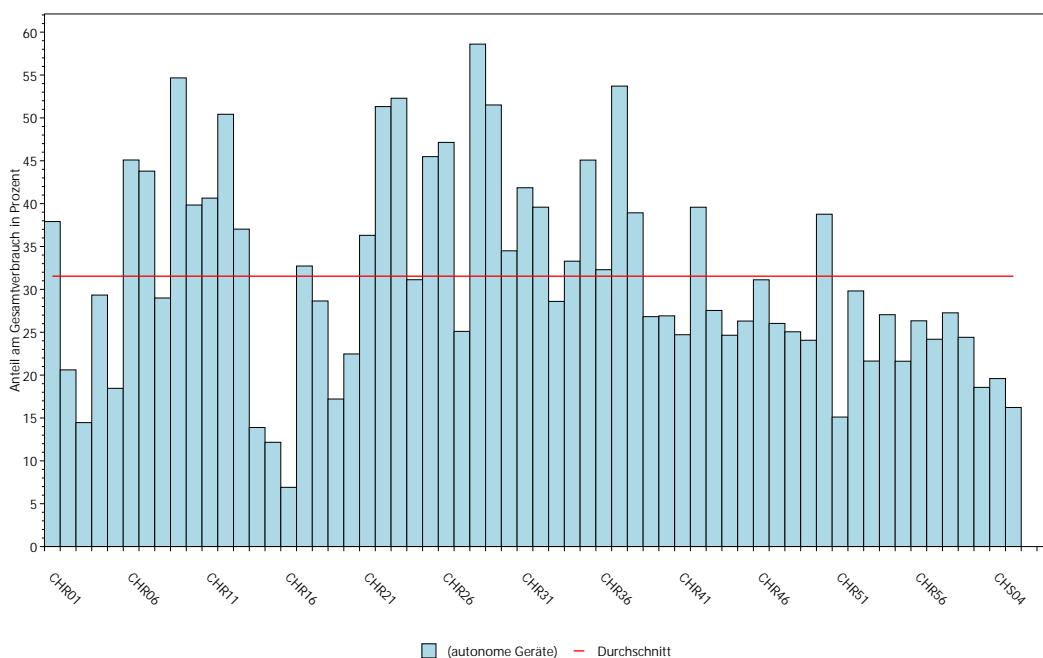


Abbildung 7.29: Anteil des Stromverbrauchs der autonomen Geräte über alle Haushalte

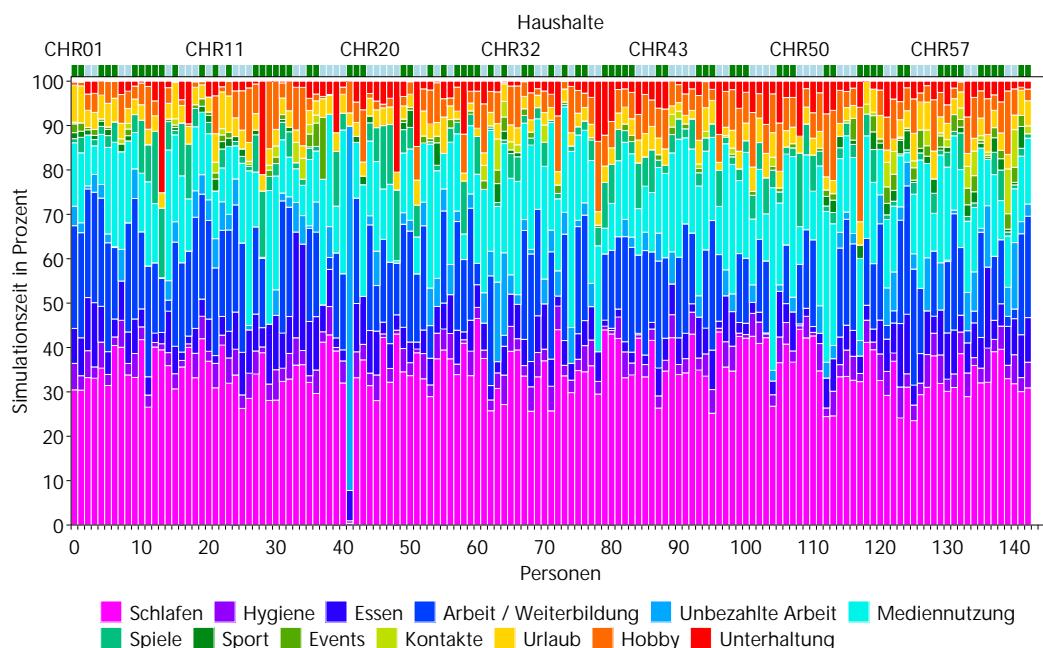


Abbildung 7.30: Zeitverbrauch für verschiedene Aktivitäten über alle Haushalte

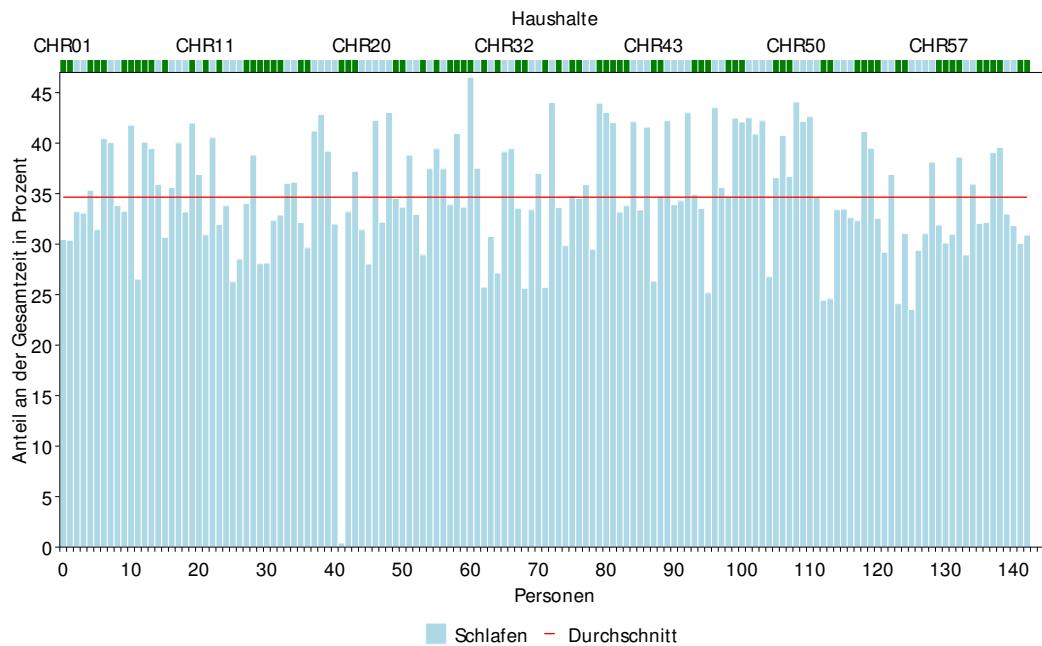


Abbildung 7.31: Durchschnittliche Schlafdauer aller Personen

#### 7.2.4 Eigenverbrauchsquote mit einer Photovoltaik-Anlage

Ein weiteres Kriterium für die Plausibilität der simulierten Haushalte ist die Eigenverbrauchsquote. Hierzu wurde wieder wie beim CHR03 der Eigenverbrauch berechnet. Als Grundlage für die Berechnung dient eine Anlage, deren jährliche Erzeugung dem Verbrauch des Haushalts entspricht. Als Referenz wurde zunächst die Eigenverbrauchsquote aller Haushalte aus [60] berechnet. Diese sind dargestellt in Abb. 7.32. Man sieht, dass die Werte zwischen 23 % und 37 % schwanken mit einem Durchschnitt von 31,7 %.

Die Eigenverbrauchsquoten aller vordefinierten Haushalte im bLPG sind in Abb. 7.33 dargestellt. Hier schwanken die Werte zwischen 21 % und 39 % mit einem Durchschnitt von 32,1 %. Die Ergebnisse sind also plausibel.

#### 7.2.5 Jahresdauerlinien

Wie schon für CHR03 ist auch für die anderen Haushalte der Verlauf der Jahresdauerlinie ein wichtiges Kriterium. Daher wurden alle Haushalte wieder im Haustyp HT04 platziert und die Berechnung für ein ganzes Jahr durchgeführt. Aus den Ergebnissen wurden dann die Jahresdauerlinien errechnet. Das Ergebnis ist in Abb. 7.34 dargestellt. Sichtbar wird, dass die meisten Haushalte sehr gut in

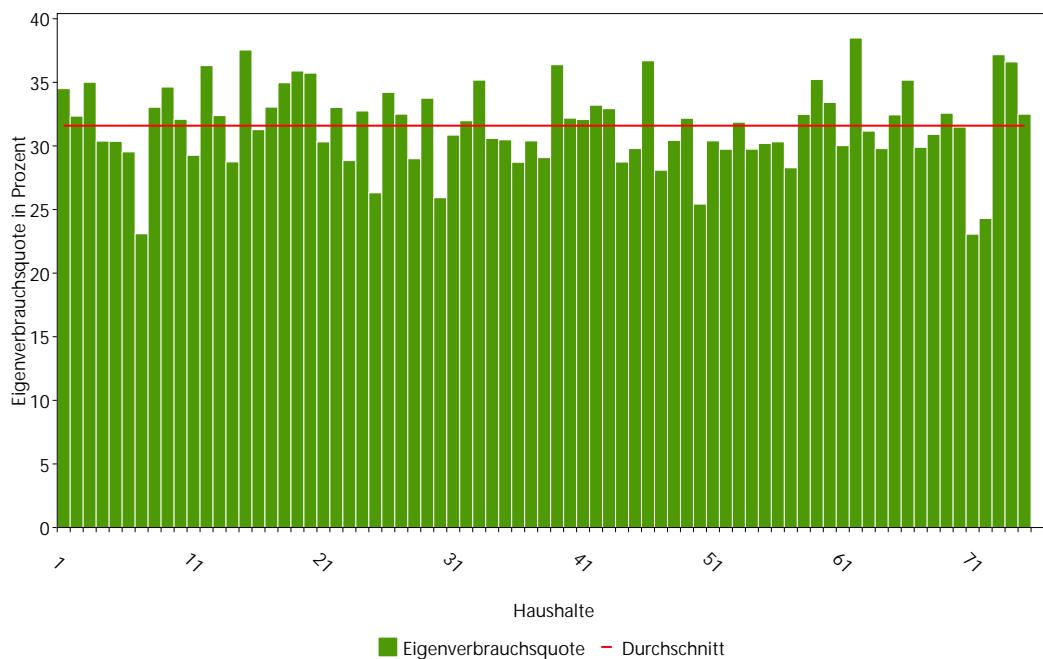


Abbildung 7.32: Eigenverbrauchsquoten für alle Haushalte aus [60] als Referenz

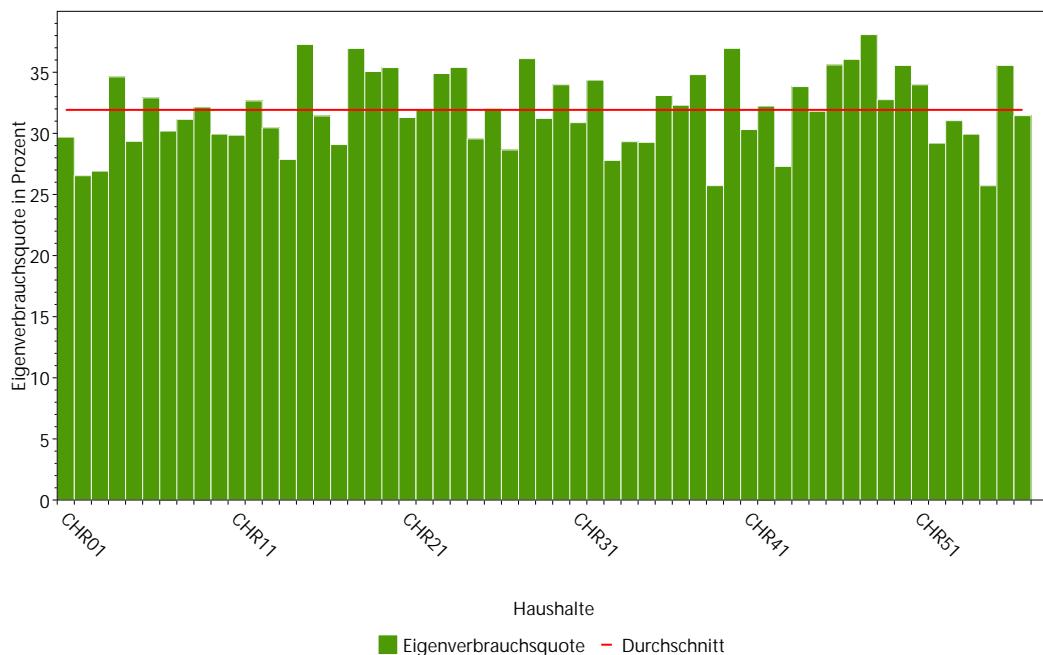


Abbildung 7.33: Eigenverbrauchsquoten für alle vordefinierten Haushalte

dem vorgegebenen Bereich liegen. Die Hauptabweichung ist ein Renterehepaar, dass zweimal täglich kocht und somit sehr viel Leistung im mittleren Bereich verbraucht.

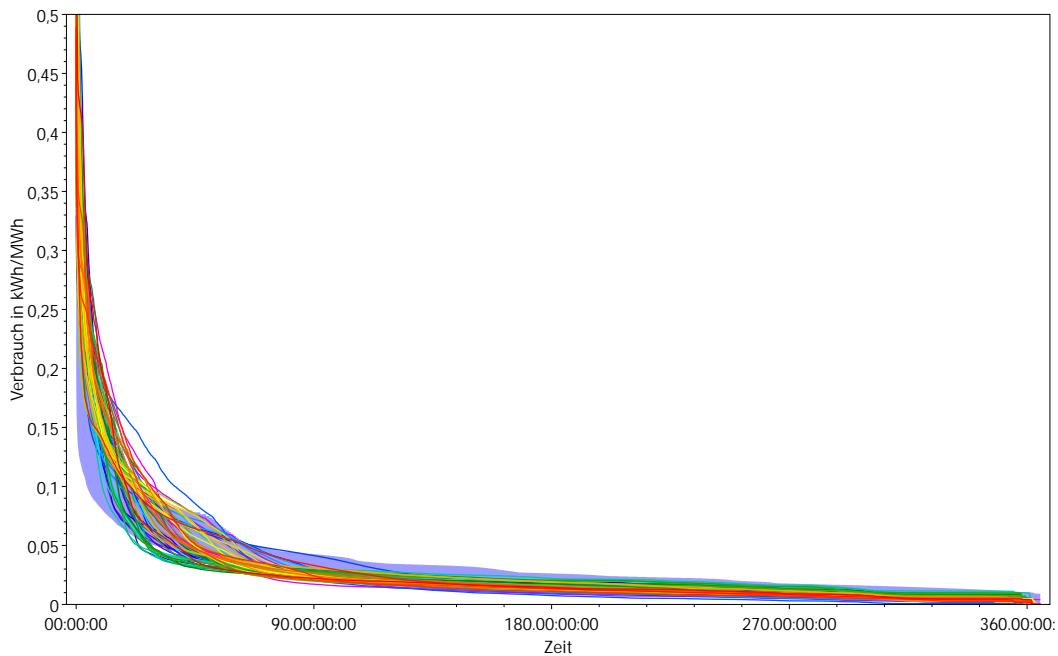


Abbildung 7.34: Jahresdauerlinien für alle vordefinierten Haushalte und Vergleich mit Referenzkurven

### 7.3 Validierung einer Siedlung

Der letzte Teil der Validierung befasst sich mit der Darstellung der Ergebnisse für Siedlungen. Dafür wurden zwei Siedlungen definiert:

- Die erste Siedlung besteht aus 62 Haushalten und enthält jeden der vordefinierten 62 Haushalte genau einmal. Es ergibt sich damit die demographische Verteilung in Abb. 6.2 und Abb. 6.1.
- Zum anderen wurden mit Hilfe eines Settlement Templates und den Informationen in [61] die in Tabelle 7.2 dargestellte Verteilung errechnet. Aus dieser wurde mit dem Zufallsgenerator eine Siedlung mit 100 Haushalten erstellt. Die resultierende Altersverteilung ist in Abb. 7.35 und die demographische Verteilung ist in Abb. 7.36 dargestellt.

Zwar hätte eine höhere Anzahl an Haushalten eine bessere Absicherung der Ergebnisse ermöglicht, aber aus Gründen der Rechenzeit musste die Betrachtung auf 100 Haushalte beschränkt werden. Die wichtigsten Informationen zur Siedlung sind in Abb. 7.35 und in Abb. 7.36 zusammengefasst.

Tabelle 7.2: Errechnete Bevölkerungsverteilung als Grundlage für den Zufallsgenerator im Settlement Template

Anzahl Personen im Haushalt	Kein Einkommen in %	Rente in %	Ein Einkommen in %	Zwei Einkommen in %
1	2,9	16,7	25,3	0
2	2,5	14,1	10,9	10,4
3	0,9		3,9	3,7
4	0,7		2,9	2,8
5+	0,2		1,1	1

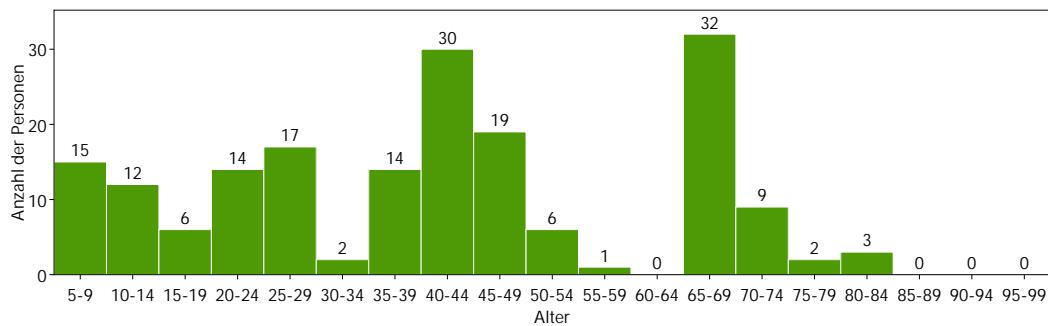


Abbildung 7.35: Alterstruktur der Beispielsiedlung

### 7.3.1 Gleichzeitigkeitsfaktor des Stromverbrauchs

In DIN18015–1 ist eine Kurve für die Bemessung effektiver Leistung bei der Planung von Hauptleitungen für Wohnungen enthalten. Diese zeigt, dass für einen einzelnen Haushalt die Leistung der Hauptleitung auf 14 kW auszulegen ist, aber für 100 Haushalte nur 110 kW zu planen sind. Die Ursache dafür ist, dass die Spitzenlasten verschiedener Haushalte selten zusammentreffen, da die einzelnen Lastspitzen meist relativ kurz sind.

Um die Qualität der Ergebnisse des bLPG zu validieren, sollen die Ergebnisse des bLPG mit dieser Kurve verglichen werden. Dafür wurden für die beiden

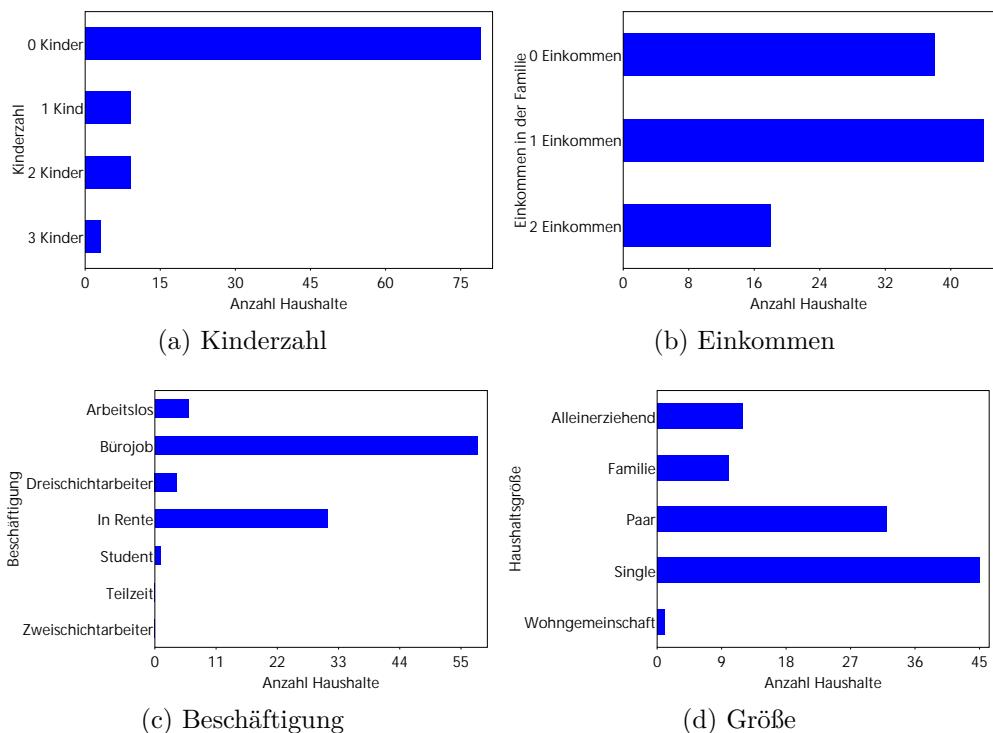


Abbildung 7.36: Eigenschaften der Beispielsiedlung, eingeteilt nach verschiedenen Kriterien

Siedlungen die Lastkurven sukzessive aufsummiert, für jeden Zeitschritt die maximale Last für jede Anzahl an Haushalten gesucht und dann das Maximum über alle Kurven in die Grafik eingezeichnet.

Das Ergebnis ist in Abb. 7.37 dargestellt. Die Kurve der 100 zufällig generierten Haushalte liegt teilweise oberhalb der Referenzkurve, während die Kurve, die lediglich die vordefinierten Haushalten zeigt, knapp unterhalb der Referenzkurve liegt. Die Ähnlichkeit mit der Referenz ist offensichtlich. Insgesamt zeigt das Ergebnis, dass je nach Parametern der zu generierenden Siedlung die Spitzenlast knapp unter oder knapp über der Gleichzeitigkeitskurve liegt und somit die Realität gut abgebildet wird.

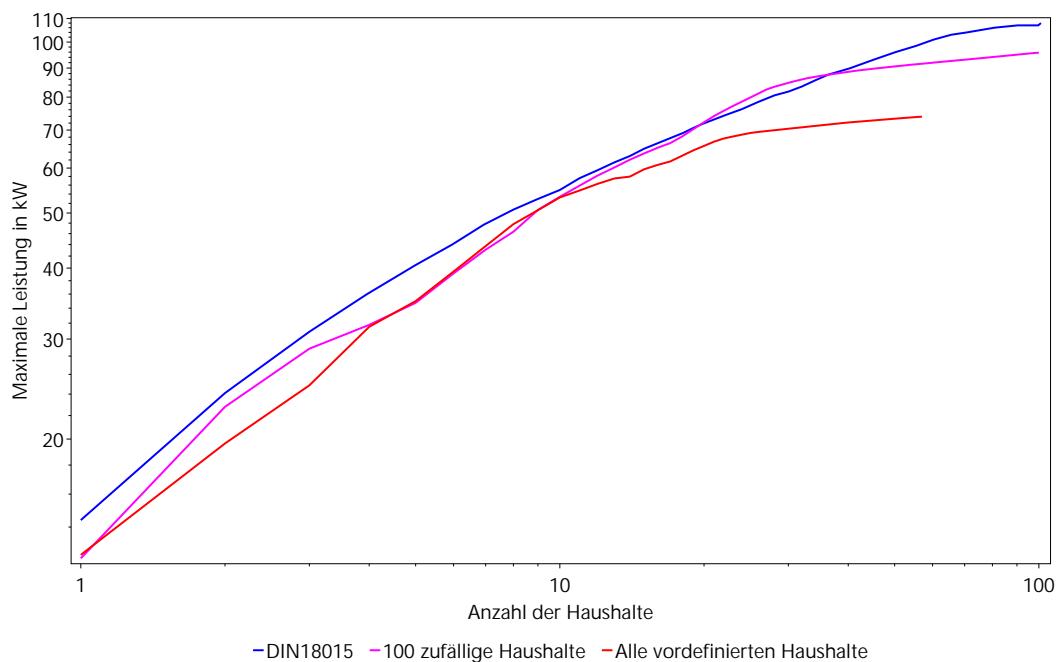


Abbildung 7.37: Gleichzeitigkeitskurve nach DIN18015 und Ergebnisse des bLPG im Vergleich

### 7.3.2 Vergleich einer Siedlung mit dem H0-Profil

Ein weiteres interessantes Kriterium ist die Übereinstimmung des Siedlungsverbrauchs mit dem H0-Profil des VDEW [13]. Dafür wurde ebenfalls die Beispielsiedlung verwendet. Um die Daten übersichtlich darzustellen, wurde eine Darstellung des durchschnittlichen Profils pro Wochentag und pro Jahreszeit gewählt. Die Ergebnisse zeigen Abb. 7.38 und Abb. 7.39.

Man sieht, dass die Simulationsergebnisse das H0-Profil nur unvollständig nachbilden. Die 100 zufälligen Haushalte in Abb. 7.38 zeigen eine ähnliche Abendspitze wie das H0-Profil, aber die Zeit für das Frühstück ist deutlich zu früh im Vergleich mit dem Durchschnitt, besonders am Wochenende. Zudem ist die Kurve etwas “zackiger” als die H0-Kurve, da nur 100 Haushalte gemittelt werden. Die Überlagerung der vordefinierten Haushalte in Abb. 7.39 ist der H0-Kurve insbesondere an Wochentagen ähnlicher, aber dafür ist die Abendspitze am Wochenende schwächer ausgeprägt. In beiden Profilen ist der Anteil der Stromverbrauchs in der Nacht zu gering im Vergleich zum H0-Profil. Die Ergebnisse zeigen aber, dass es möglich ist, mit dem bLPG den Verlauf der durchschnittlichen Last nachzubilden, da unterschiedliche Haushaltszusammenstellungen jeweils verschiedene Tage gut abbilden. Allerdings sind für eine noch bessere Modellierung genaue Daten über die Zusammensetzung der Siedlung notwendig. Da diese Daten hier nicht vorlagen, konnte das H0-Profil nur angenähert werden.

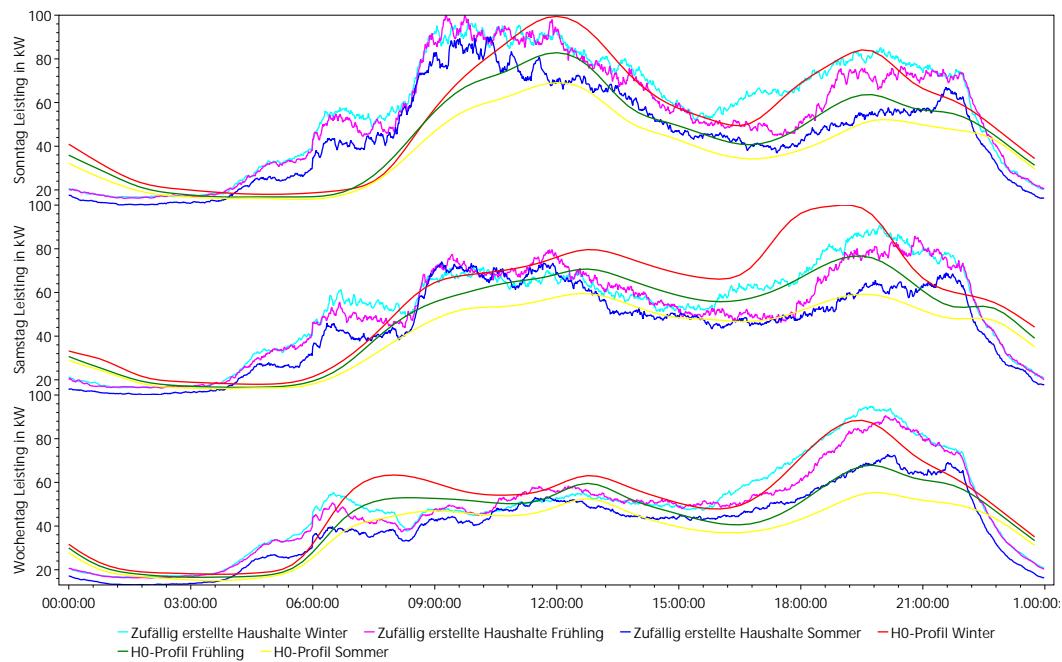


Abbildung 7.38: Vergleich der Berechnungsergebnisse des bLPG für 100 Haushalte mit dem H0-VDEW-Profil

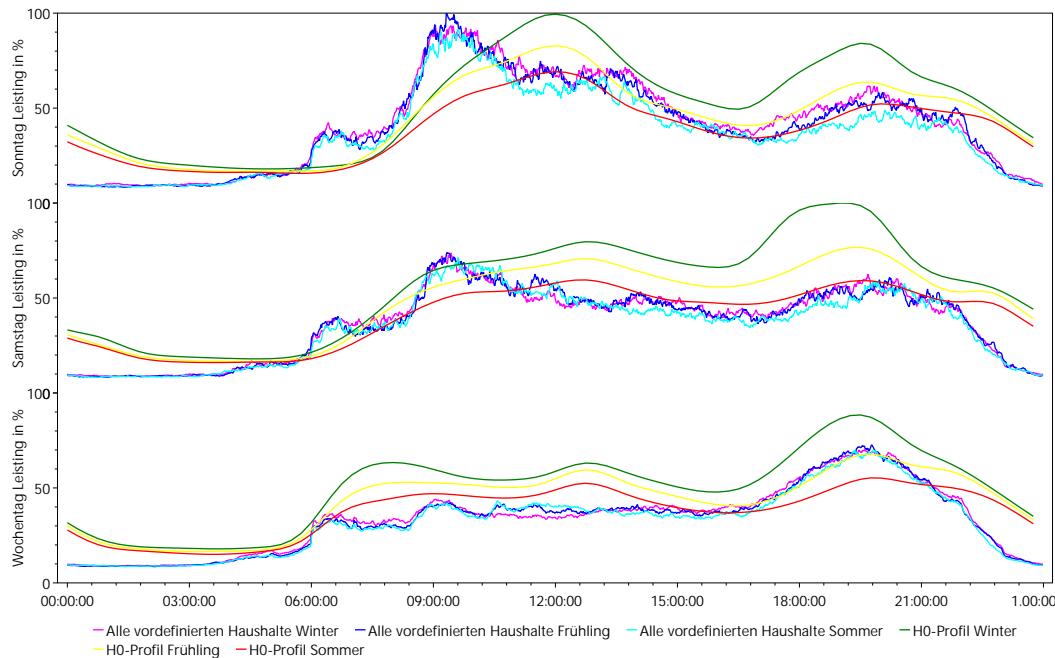


Abbildung 7.39: Vergleich der Berechnungsergebnisse des bLPG für alle vordefinierten Haushalte mit dem H0-VDEW-Profil

## 7.4 Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, mit dem bLPG sowohl für einzelne Haushalte als auch für Häuser mit einem oder mehreren Haushalten sehr gute Ergebnisse zu erzielen. Allerdings zeigt das Kapitel auch, dass die Qualität der Ergebnisse stark von den Eingaben abhängt. Es ist nicht zuletzt aus Datenschutzgründen sehr schwierig, für die Modellierung einer Siedlung detaillierte Informationen über die einzelnen Bewohner zu sammeln. Falls ein Benutzer des bLPG also plant, ganze Siedlungen mit dem bLPG abzubilden, werden unvermeidbar viele Annahmen in die Simulation einfließen und man wird nicht umhin können, die Ergebnisse in einem iterativen Prozess der Wirklichkeit anzupassen.



# Kapitel 8

## Anwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse

Dieses Kapitel ist in zwei Abschnitte geteilt. Im ersten Abschnitt wird an einem Beispiel gezeigt, wie der bLPG eingesetzt werden kann. Im zweiten Abschnitt werden die Auswirkungen individueller Aspekte der Lastprofile auf das Gesamtprofil quantifiziert. Da viel Zeit und Mühe investiert wurde, möglichst viele Details abzubilden, soll auch analysiert werden, wie groß der Einfluss der Details ist.

Für das Beispiel wird an der bereits erwähnten Siedlung aus Abschnitt 7.3 gezeigt, wie groß die Auswirkung einer zentralen vs. dezentralen Anordnung von Photovoltaik und Batteriespeichern auf das Siedlungslastprofil ist.

Für die Analyse wird die Siedlung systematisch variiert. Es werden z.B. Brückentage oder Urlaub gestrichen, die Freizeitaktivitäten variiert und es wird verglichen, wie die Auswirkungen sind, wenn die Siedlung nur aus Rentnern, nur aus Schichtarbeitern oder nur aus Arbeitslosen besteht.

Die Erstellung des Kapitels brachte gewisse logistische Herausforderungen mit sich. Insgesamt waren für die folgenden Analysen 1600 Simulationen erforderlich, welche ungefähr 8000 GB Ergebnisdateien produzierten. Bei einer durchschnittlichen Berechnungsdauer von 10 min pro Haushalt hätte die Berechnung auf einem einzigen Prozessor 12 Tage benötigt. Durch Parallelisierung der Berechnung konnte die Berechnungsdauer deutlich gesenkt werden. Dies war insbesondere deshalb von Vorteil, weil die Entwicklung der Simulationen

ein iterativer Prozess war, also alle Berechnungen mehrmals durchzuführen waren.

## 8.1 Integration von Photovoltaik und Batterien

Das Thema der Integration von Photovoltaik-Anlagen und Batterien in Haushalten ist in der Literatur bereits erschöpfend behandelt worden. Allerdings sind Untersuchungen zu den Auswirkungen des Lastprofils auf ein solches System weniger verbreitet. Daher sollen hier in diesem Beispiel der Siedlung aus Abschnitt 7.3 die zwei folgenden Szenarien verglichen werden:

1. Jeder Haushalt wird unabhängig betrachtet, d.h., es gibt keinen Energie-transfer zwischen den Haushalten. Situation 1 zeigt also das Ergebnis, wenn jeder Haushalt einzeln gemessen wird.
2. Alle Haushalte werden als eine Einheit betrachtet, d.h., es wird das Ergebnis einer Messung an der Trafostation simuliert.

Anders als im Abschnitt 7.3 wurden diesmal die Haushalte im Haustyp HT02 platziert. Dieser enthält die Hausinfrastruktur, eine 2,5 kW<sub>peak</sub>-Solaranlage und eine 5 kWh-Batterie. Für die PV-Anlagenenerträge wurden Globalstrahlungsmesswerte aus Chemnitz verwendet<sup>1</sup>. Anders als im letzten Kapitel wird hier die Leistung der Solaranlage nicht zwischen den Haushalten variiert, sondern bleibt konstant.

Das Ziel des Vergleichs ist die Beantwortung folgender Fragen:

- Wie groß ist der Unterschied in der Ausnutzung zwischen einer zentralen Batterie an der Trafostation und dezentralen Batterien in jedem Haushalt?
- Wie groß ist der Unterschied im Eigenverbrauch?
- Ist eine integrale Betrachtung an der Trafostation zulässig, um dezentrale Erzeuger- und Speichersysteme zu bewerten?

---

<sup>1</sup>Da das Ziel an dieser Stelle nur ein Vergleich ist, ist das genaue PV-Anlagenprofil von untergeordneter Bedeutung. Der Fehler durch die Verwendung von Globalstrahlungswerten wird daher vernachlässigt.

Eine solche Untersuchung ist nur möglich, wenn Lastprofile für jeden einzelnen Haushalt vorliegen. Eine solche Studie erfordert also entweder einen Lastprofilgenerator oder eine umfangreiche Messkampagne und demonstriert eine der Möglichkeiten beim Einsatz des bLPG.

Es handelt sich um ein idealisiertes System ohne Verluste und mit einer rein energetischen Betrachtung. Der Batteriesteuerungsalgorithmus ist sehr simpel: Die Batterie wird bei einem Energieüberschuss geladen und bei einem Energiedefizit entladen. Ein Peak-Shaving, also ein gezieltes Abfangen von Verbrauchs- oder Erzeugungsspitzen o.ä., findet nicht statt.

Für das Verständnis des Systemverhaltens wird zunächst für Szenario 1 in Abb. 8.1 das durchschnittliche Summenlastprofil für die Siedlung während des Sommers gezeigt, aufgeteilt nach Wochentag, Samstag und Sonntag. Dabei sind die drei Fälle „keine Erzeugung“, „Photovoltaik auf jedem Haus“ und „Photovoltaik und Batterien in jedem Haus“ dargestellt. Man sieht, dass insbesondere am Nachmittag die Batterien wenig Auswirkungen haben. Allerdings wird durch die Integration der Batterien die Abendspitze signifikant reduziert.

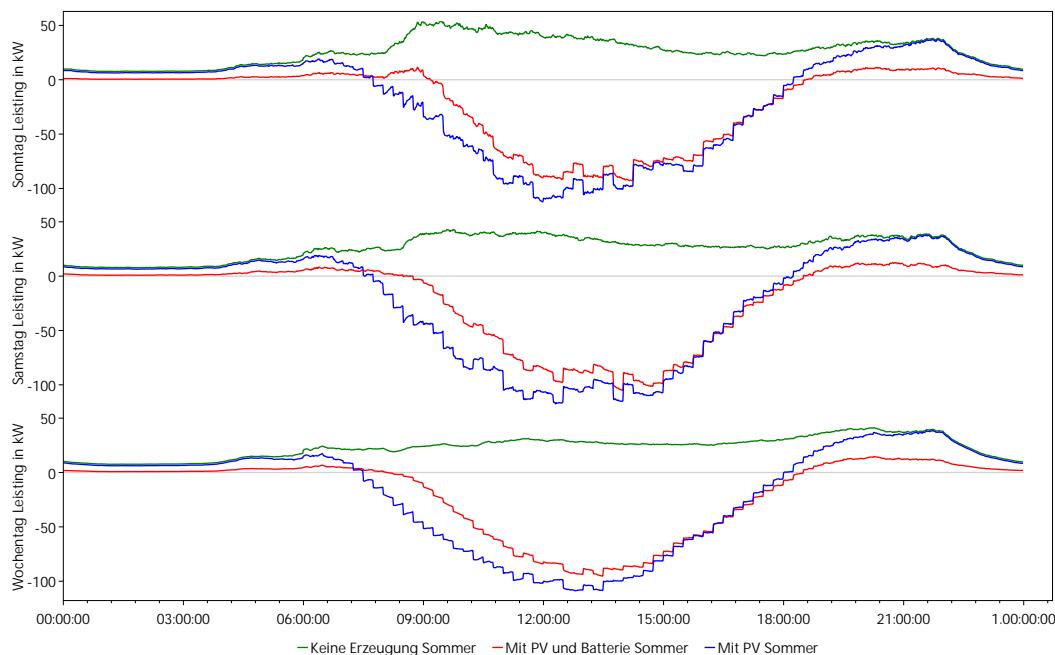


Abbildung 8.1: Auswirkungen der Integration von Photovoltaik und Batterien auf das durchschnittliche Stromverbrauchsprofil

Abbildung 8.2 zeigt ebenfalls für Szenario 1 die Aufteilung des Verbrauchs über alle Haushalte. Im negativen Bereich der Y-Achse ist dabei die Stromer-

zeugung aufgetragen, welche nach der Verwendung aufgeteilt ist. Der erzeugte Strom kann entweder in die Batterie eingespeist, direkt verwendet oder ins Netz gespeist werden. Da alle Haushalte die gleiche Photovoltaik-Anlage zur Verfügung haben, erzeugen sie alle die gleiche Menge an Strom. Trotzdem ist die Aufteilung von Haushalt zu Haushalt sehr unterschiedlich. Im positiven Bereich der Y-Achse ist der Verbrauch, aufgeteilt nach Herkunft, aufgetragen. Die Energie stammt dabei aus der Batterie, der PV-Anlage und dem Netz. Man sieht, dass trotz gleicher Erzeugung sowohl der Anteil des direkten Eigenverbrauchs als auch der Anteil des über die Batterie gepufferten Stroms zwischen den Haushalten deutlich variiert.

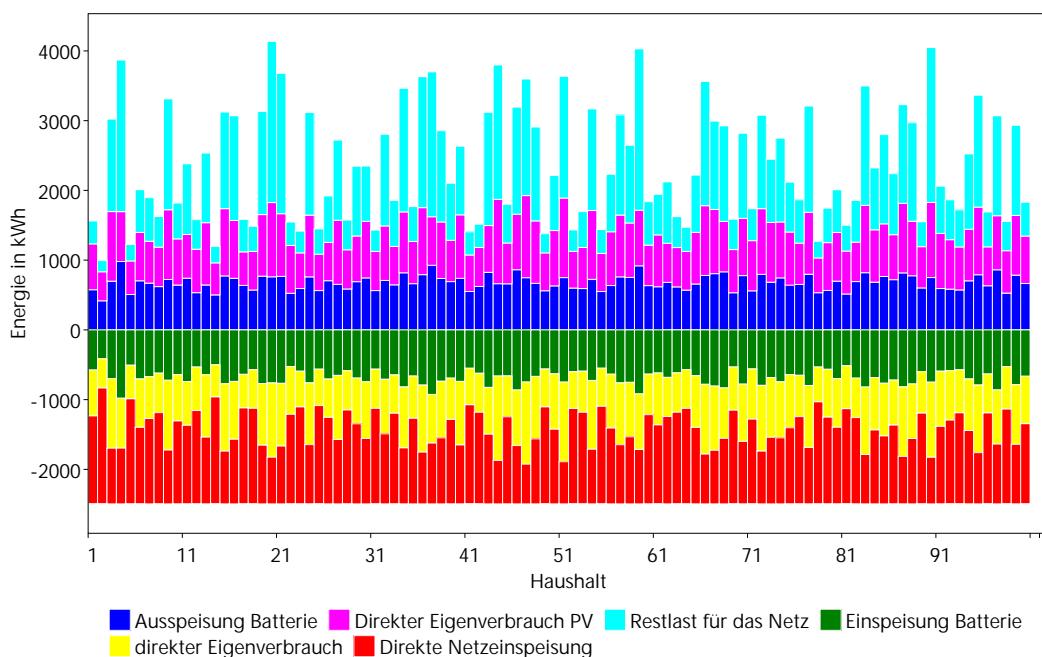


Abbildung 8.2: Aufteilung der Stromverbrauchs und Verwendung des erzeugten Stroms für die verschiedenen Haushalte

Der nächste Schritt ist der Vergleich mit Szenario 2. Abbildung 8.3 zeigt das sich ergebende durchschnittliche Summenlastprofil. Die Unterschiede haben zwei Ursachen. Zum einen kann häufig der ins Netz eingespeiste PV-Strom von den Nachbarn genutzt werden kann, wodurch die Last nicht an der Trafostation sichtbar wird. Zum anderen kann die zentrale Batterie sowohl morgens als auch abends die Last besser und länger puffern. Die Ursache dafür ist, dass die dezentralen Batterien nicht in allen Haushalten gleichmäßig zum Einsatz kommen. Einige der möglichen Gründe dafür sind:

- Sie sind teilweise bereits voll.
- Die Bewohner sind im Urlaub.
- Der Verbrauch in diesem Haushalt ist so groß, dass die Batterie bereits am frühen Abend leer ist.

Tabelle 8.1 zeigt die Ergebnisse. Sichtbar ist, dass es kaum einen Unterschied zwischen der Ausnutzung einer großen Batterie im Vergleich zu dezentralen kleinen Batterien gibt. Wichtig ist aber, dass für Szenario 2 durch die gemeinsame Nutzung des Solarstroms die direkte Eigenverbrauchsquote für die Siedlung deutlich gesteigert wird von 30,9 % auf 39,1 %. Das geschieht hauptsächlich durch die direkte Nutzung des ins Netz eingespeisten PV-Stroms durch die Nachbarn.

Eine Betrachtung der Situation an der Trafostation liefert also bei dezentralen Erzeugersystemen deutlich andere Ergebnisse als eine Betrachtung pro Haushalt und sollte daher nur als erste Näherung verwendet werden.

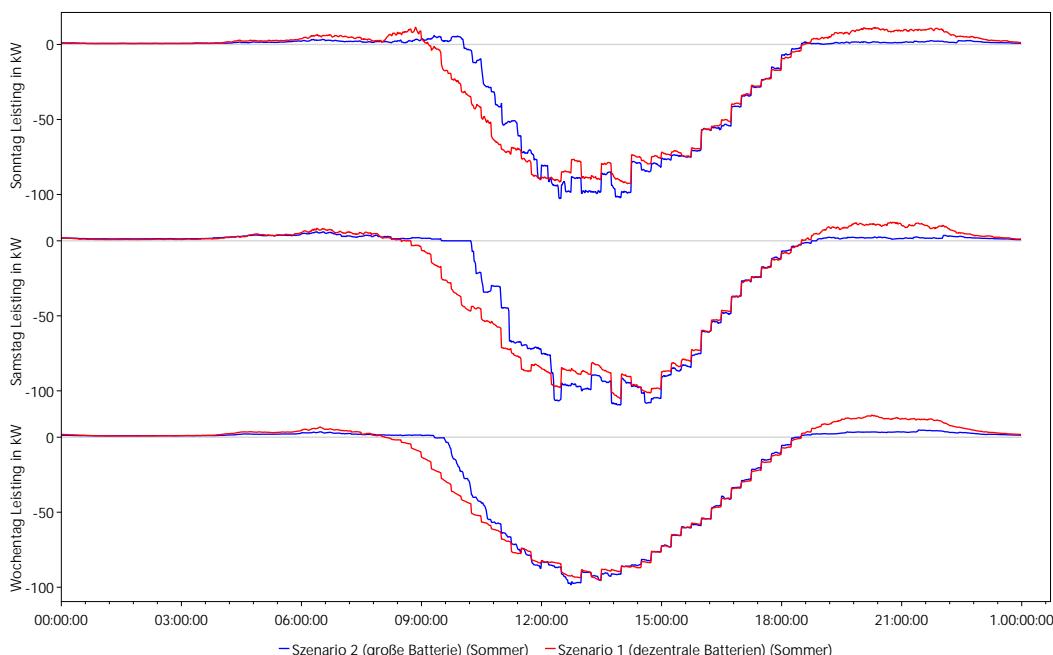


Abbildung 8.3: Aufteilung der Stromverbrauchs für die verschiedenen Haushalte

Tabelle 8.1: Unterschiede zwischen zentraler und dezentraler Batterieinstallation

Beschreibung	Szenario 1	Szenario 2
Jährliche Stromerzeugung aus PV	249,0 MWh	249,0 MWh
Jährlicher Stromverbrauch	238,2 MWh	238,2 MWh
<hr/>		
Quelle des verbrauchten Stroms		
Jährliche Netzlast	96,4 MWh	78,0 MWh
Aus Batterie entladen	68,2 MWh	67,1 MWh
Direkter Eigenverbrauch	73,6 MWh	93,1 MWh
<hr/>		
Verwendung des erzeugten Stroms		
Einspeisung	107,5 MWh	89,3 MWh
In Batterie gespeichert	67,8 MWh	66,6 MWh
Direkter Eigenverbrauch	73,6 MWh	93,1 MWh
<hr/>		
Eigenverbrauch		
Gesamter Eigenverbrauch	141,8 MWh	160,2 MWh
Deckungsanteil durch Solarstrom	59,5 %	67,3 %
Eigenverbrauchsquote	30,9 %	39,1 %

## 8.2 Parameterstudie

In diesem Abschnitt soll der Einfluss ausgewählter Features des bLPG quantifiziert werden. Diese sind:

- Brückentage
- Urlaubsreisen
- Rentner
- Schichtarbeiter
- Arbeitslose
- Energieintensität /Geräteauswahl
- Beleuchtung

Herauszufinden ist, welche dieser Features die Ergebnisse deutlich ändern und daher auch von zukünftigen, noch zu entwickelnden Lastprofilgeneratoren berücksichtigt werden sollten.

Dafür wird die Siedlung aus dem letzten Abschnitt wieder als Referenz herangezogen. Allerdings wird für die Berechnung der Eigenverbrauchsquoten wie im letzten Kapitel und anders als im letzten Abschnitt die erzeugte Jahresenergie skaliert auf den Jahresverbrauch des Haushalts. Ein Haushalt welcher z.B. 2070 kWh verbraucht, erhält folglich eine Solaranlage, die genau 2070 kWh über das Jahr verteilt erzeugt. Als Standardeinstellung werden wieder energiesparende Geräte verwendet.

### 8.2.1 Vergleichskriterien

Der Vergleich von Zeitreihen ist wie beschrieben ein schwieriges Thema. Für die Beurteilung des Einflusses der einzelnen Features werden daher die folgenden Kriterien verwendet:

1. Durchschnitt des Gesamtverbrauchs pro Jahr aller 100 Haushalte.
2. Durchschnittliche Eigenverbrauchsquote aller Haushalte.
3. Summe der Differenz der durchschnittlichen Profile pro Wochentagstyp und Jahreszeit.

Zu den einzelnen Kriterien:

Zu 1. Der Durchschnitt des Verbrauchs ist ein erster Indikator für den Einfluss des Features.

Zu 2. Die Eigenverbrauchsquote ist zwar ein sehr interessantes Kriterium, hat aber das Problem, dass selbst ein Satz sehr unterschiedlicher Lastprofile wie [60] nur Schwankungen zwischen 21 % und 39 % aufweist, wie in Abschnitt 7.2.4 gezeigt wurde. Da Änderungen im Verlauf des Lastprofils am Abend und in der Nacht mit diesem Kriterium überhaupt nicht erfasst werden, resultieren teilweise selbst große Änderungen des Lastprofils nur in einer Änderung der Eigenverbrauchsquote von 1–2 Prozentpunkten.

Zu 3. Ein direkter Vergleich der gesamten Lastprofile erschien nicht zielführend, da schon geringe zeitliche Verschiebungen sofort zu großen Abweichungen führen. Daher wurden die Vergleiche wie folgt durchgeführt:

- Zunächst wurden die bereits eingeführten Kurven für die drei Tagtypen Montag-Freitag, Samstag und Sonntag und pro Jahreszeittyp, d.h. Sommer, Winter und Herbst/Frühling berechnet, sodass insgesamt neun Kurven pro Lastprofil entstanden.
- Anschließend wurde für jeden Zeitschritt die Differenz zwischen den beiden Kurven berechnet. Es wurde eine zeitliche Auflösung von 1 min verwendet.
- Die Differenzen wurde dann quadriert, um den Einfluss von größeren Abweichungen zu verstärken und aufsummiert.

Hierdurch ergibt sich eine Summe. Die Summe hat keine (sinnvolle) Einheit und ist ein reiner Vergleichswert, mit welchem beurteilt werden kann, wie sehr sich die Profile unterschieden. Im Folgenden wird dieser Wert als “Profildifferenz” bezeichnet. Eine gleichmäßige Verschiebung eines Profils um z.B. 1 kW ergibt bei 9 Kurven und 1440 Werten pro Tag einen Wert von 12960. Wenn man die gleiche Siedlung mit identischen Einstellungen mehrfach berechnet, dann ergeben sich Werte zwischen 10.000 und 30.000 durch den Einfluss des Zufallsgenerators, welcher z.B. die Essensauswahl festlegt. Werte deutlich darüber, also z.B. über 50.000 bedeuten deutliche Unterschiede im Lastprofil.

Der Einfluss von zeitlicher Verschiebung ist hier durch die Bildung der durchschnittlichen Lastprofile übrigens relativ gering. Experimente mit der Methode

des “Dynamic Time Warping”, einem Algorithmus, um die Spitzen verschiedener Zeitprofile in Übereinstimmung zu bringen, brachten keine Verbesserung der Ergebnisse.

Durch die Analyse aller Kriterien kann dann beurteilt werden, ob ein Feature auch von künftigen Lastprofilgeneratoren berücksichtigt werden sollte, oder ob die Auswirkungen vernachlässigbar sind.

### 8.2.2 Einfluss von Brückentagen

Ein Brückentag kann z.B. auftreten, wenn ein Feiertag auf einen Donnerstag fällt. Für viele, aber nicht alle Arbeitnehmer ist es in solchen Fällen attraktiv, den Freitag als Brückentag für ein insgesamt viertägiges Wochenende zu nehmen. Im bLPG ist zur Abbildung dieses Sachverhalts z.B. hinterlegt, dass mit 90 % Wahrscheinlichkeit der Freitag als Brückentag genommen wird. Zusätzlich ist hinterlegt, dass z.B. für die Woche des Ostermontags eine 5 % Chance besteht, dass für die ganze Woche Urlaub genommen wird.

Die Werte können vom Benutzer des Programms für jeden Feiertag frei festgelegt werden. Da keine verlässliche Datenquelle zu dem Thema gefunden werden konnte, wurden die 90 % und 5 % aufgrund persönlicher Erfahrung festgelegt. Brückentage führen dazu, dass an den jeweiligen Tagen mehr Personen zuhause sind, wobei sich der Energieverbrauch leicht erhöhen kann. Allerdings werden die freien Tage auch häufig für Ausflüge genutzt, was dann den gegenteiligen Effekt hat.

Dazu zeigt Abb. 8.4 die Anzahl der Brückentage für jeden simulierten Haushalt für den Referenzfall. Die meisten Haushalte nehmen 6 Brückentage wahr. Wie die Brückentage über das Jahr verteilt sind, zeigt Abb. 8.5. Die meisten Brückentage werden in diesem Beispiel um Weihnachten und Neujahr genommen und nur sehr wenige Personen nehmen eine ganze Woche frei.

Abb. 8.6 zeigt die Energieverbräuche für den Referenzfall (mit Brückentagen) und ohne jegliche Brückentage. Der Unterschied im Energieverbrauch beträgt 19,9 kWh, liegt also im Rahmen der Schwankungen durch den Zufallsgenerator im bLPG, welcher bei äquivalenten Aktivitäten die Aktivitäten auswählt. Auch die Eigenverbrauchsquote in Abb. 8.7 weist kaum Unterschiede auf, nicht zuletzt da die meisten Brückentage nicht in den Sommer fallen, sondern an Tagen mit relativ geringer Solarstrahlung stattfinden. Tabelle 8.2 zeigt alle Werte nochmal

Tabelle 8.2: Vergleich der Auswirkungen der Brückentage

Szenario	Gesamtenergieverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote	Profildifference
Referenz	2.385	30,9 %	-
Brückentage	2.405	30,9 %	105.555

im Überblick. Die Profildifferenz ist relativ groß, da sich in den Jahreszeiten mit vielen Brückentagen der Verlauf des durchschnittlichen Lastprofils leicht verschiebt.

Brückentage sind also für Untersuchungen zu Systemen mit Solaranlagen von niedriger Priorität. Für andere Untersuchungen hingegen können sie einen deutlichen Einfluss auf die Form des Lastprofils haben.

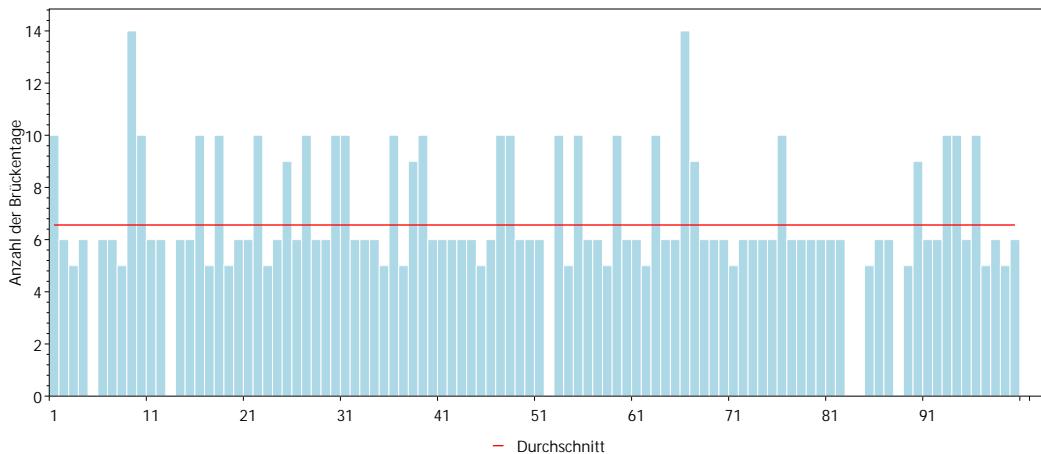


Abbildung 8.4: Anzahl der genommenen Brückentage über alle 100 Haushalte

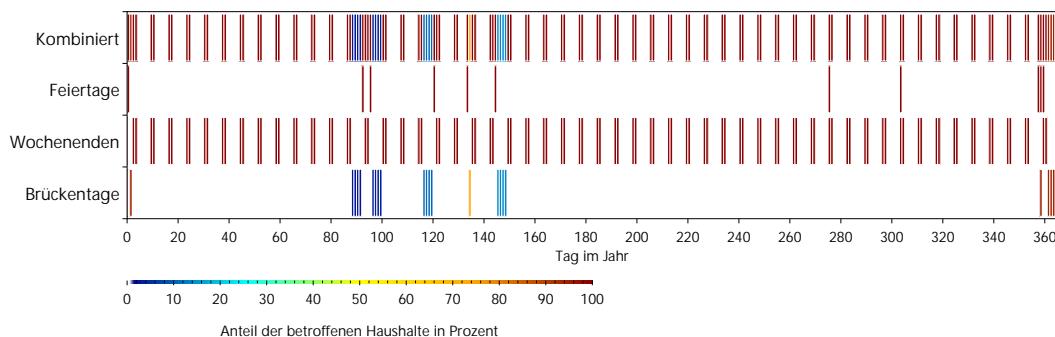


Abbildung 8.5: Verteilung der Brückentage über das Jahr mit farblicher Kodierung für den Anteil der Haushalte, welche den Brückentag genommen haben.

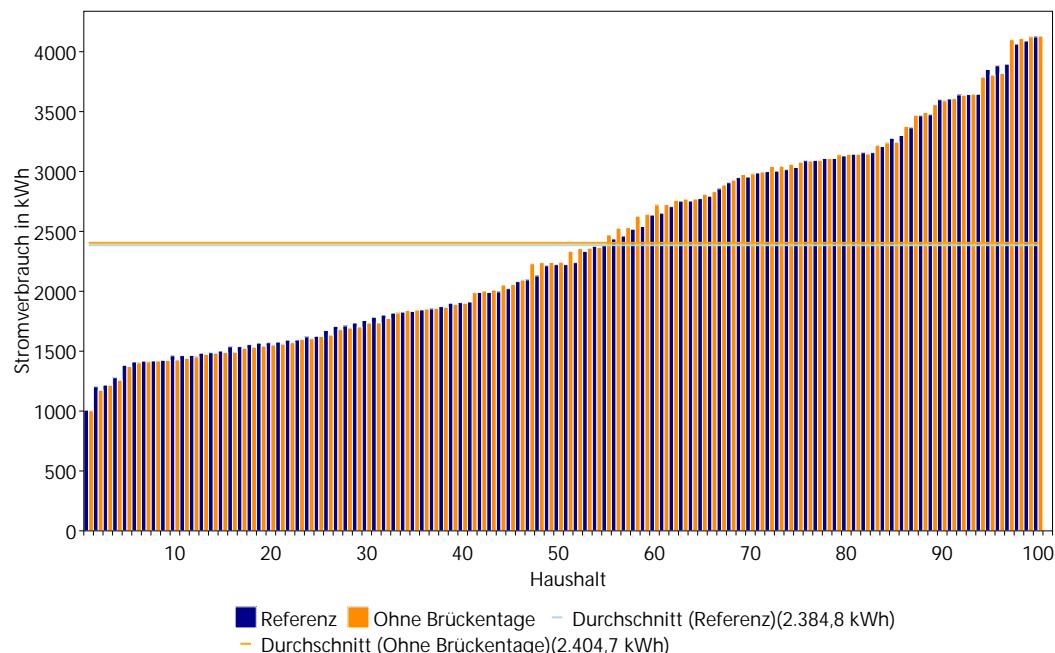


Abbildung 8.6: Änderung des Energieverbrauchs durch die Brückentage

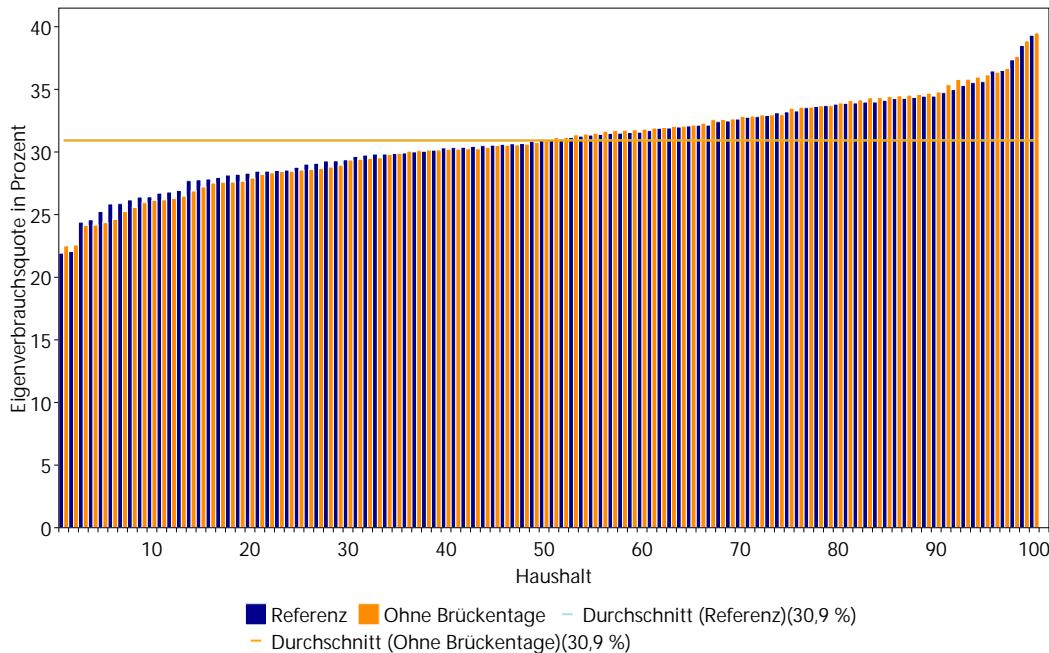


Abbildung 8.7: Änderung der Eigenverbrauchsquote durch die Integration der Brückentage

### 8.2.3 Einfluss von Urlaubsreisen

Als nächstes sollen die Auswirkungen von Urlaubsreisen auf den Stromverbrauch und die Eigenverbrauchsquoten untersucht werden. Da die längsten Schulferien in den Sommer fallen und somit in die Zeit der maximalen Solarstromproduktion, ist zu erwarten, dass der Eigenverbrauch deutlich davon beeinflusst wird. Für die Untersuchung wurden vier Fälle definiert:

- 1 Tag Urlaubreise
- 7 Tage Urlaubreise
- 14 Tage Urlaubreise
- 21 Tage Urlaubsreise

Diese vier Fälle wurden wieder auf die Referenzsiedlung angewandt. Als Zeitraum für die Urlaubsreisen wurde der 1.6. bis 30.7. gewählt, um eine hohe Gleichzeitigkeit zu erreichen. Das Startdatum der Urlaubsreise wurde dann für jeden Haushalt zufällig gewählt. Abb. 8.8 zeigt eine Übersicht über die Zeiträume, in denen die Reise jeweils stattfand.

Tabelle 8.3: Vergleich der Auswirkungen der Brückentage

Szenario	Gesamtenergieverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote	Profildifference
Referenz	2.385	30,9 %	-
1 Tag Urlaub	2.456	31,4 %	37.288
7 Tage Urlaub	2.425	31,1 %	24.334
14 Tage Urlaub	2.388	30,6 %	30.637
21 Tage Urlaub	2.348	30,1 %	50.526

Abb. 8.9 zeigt die Änderung des Gesamtenergieverbrauchs. Der durchschnittliche Energieverbrauch sank durch den Urlaub von 2456 kWh auf 2347 kWh, also um 109 kWh. Das ist leicht unterproportional. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 6,72 kWh/Tag wäre eine Senkung um 134 kWh zu erwarten gewesen. Ergänzend zeigt Abb. 8.10 das durchschnittliche Lastprofil für die Sommermonate. Man sieht, dass es leicht abgesenkt ist, aber die Form sich kaum ändert.

Tabelle 8.3 fasst die Ergebnisse nochmals zusammen. Urlaubsreisen bewirken hauptsächlich eine Verbrauchsreduktion und ändern die Form des Lastprofils kaum. Für realistische Lastprofile, insbesondere für die Betrachtung des Einflusses von Solaranlagen, sollten sie berücksichtigt werden. Ansonsten scheint der Fehler eher gering zu sein, wenn man sie vernachlässigt.

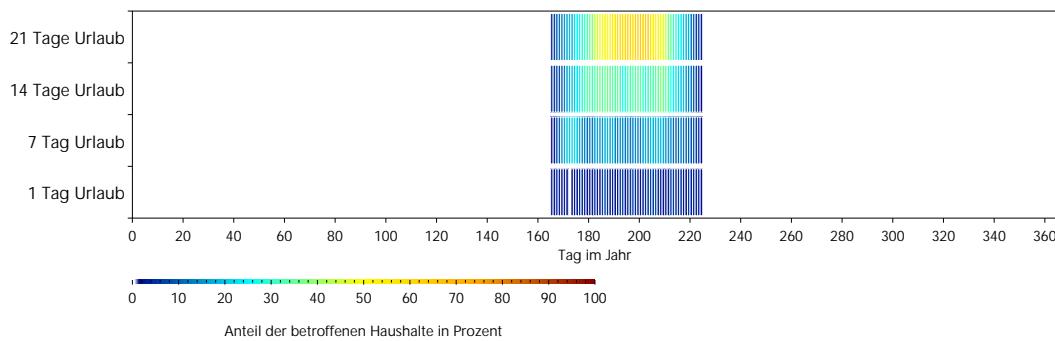


Abbildung 8.8: Verteilung des Urlaubs über das Jahr mit farblicher Kodierung für den Anteil der Haushalte, welche an dem jeweiligen Tag Urlaub genommen haben.

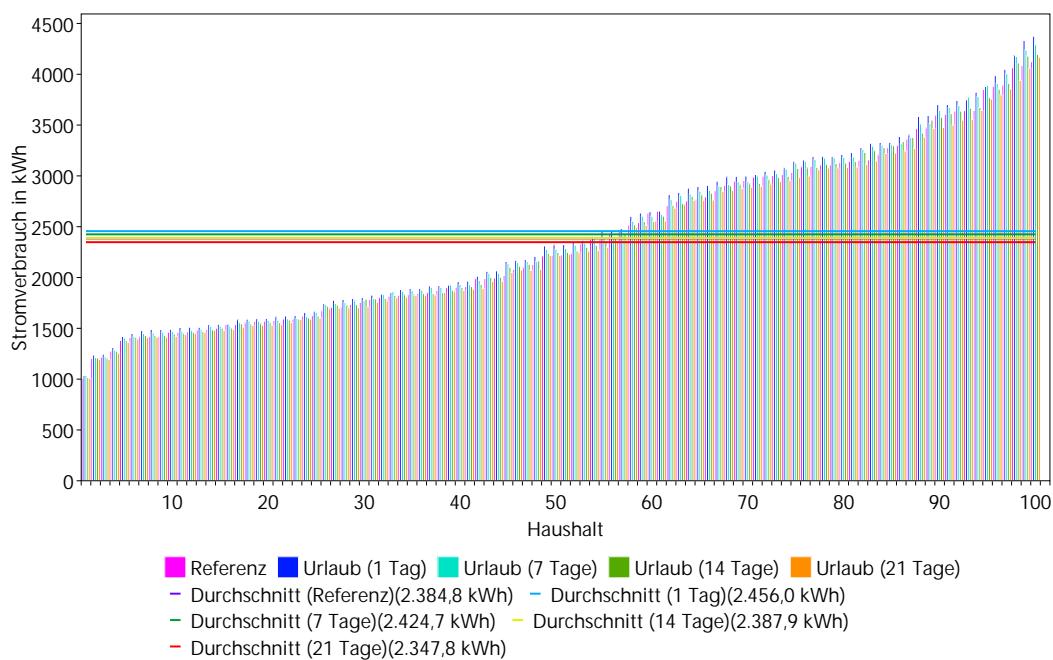


Abbildung 8.9: Übersicht des Energieverbrauchs aller Haushalte mit den jeweiligen Durchschnitten für die verschiedenen Urlaubsdauern

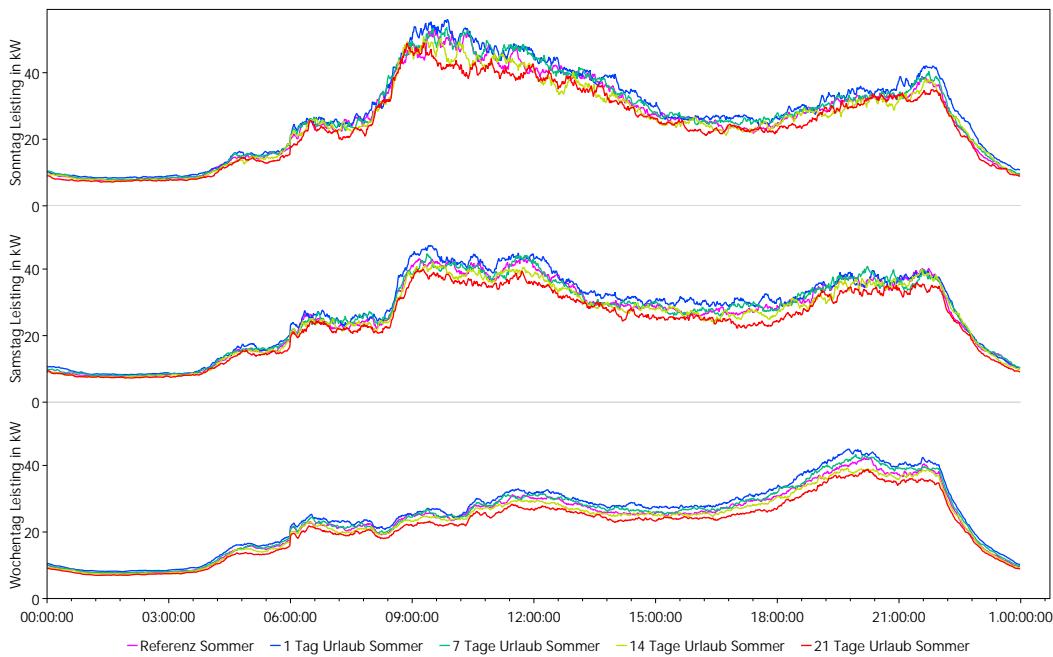


Abbildung 8.10: Änderung des Verlaufs des durchschnittlichen Lastprofils durch die Erhöhung des Urlaubs

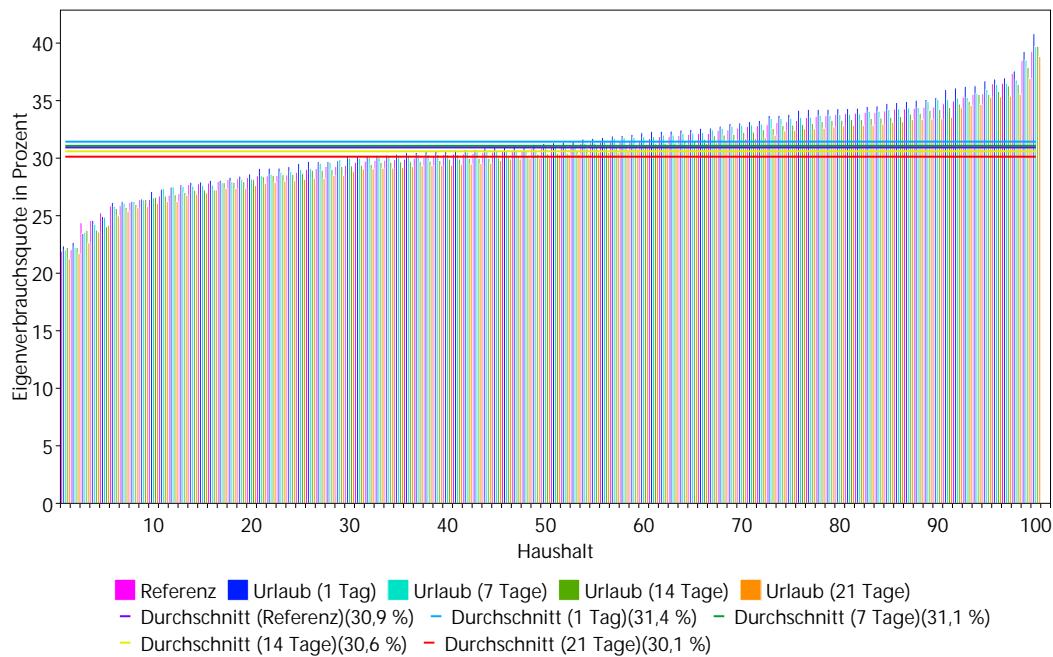


Abbildung 8.11: Änderung der Eigenverbrauchsquote durch die Erhöhung des Urlaubs

#### 8.2.4 Einfluss des Rentneranteils

Als nächstes soll die Auswirkung der Bevölkerungsstruktur analysiert werden. Das ist zwar in Zeiten des demographischen Wandels hochgradig relevant, aber die Stichprobengröße von nur 100 Haushalte ist zu gering, um allgemeingültige Aussagen zu machen, die sich auf ganz Deutschland anwenden lassen. Stattdessen kann hier nur untersucht werden, wie groß die Auswirkungen für die konkrete Siedlung sind. Damit kann dann schlussgefolgert werden, welche Untersuchungen für größere Populationen sinnvoll sein könnten.

Als erstes soll eine Rentner-Siedlung untersucht werden. Dafür wurde eine neue Siedlung erstellt, welche zu 50 % aus alleine lebenden Rentnern und zu 50 % aus Rentner-Paaren besteht. Abb. 8.12 zeigt den Vergleich der Stromverbräuche. Der durchschnittliche Verbrauch der Rentner liegt dabei um 104 kWh/Jahr niedriger als der Verbrauch für die Referenzsiedlung. Abb. 8.13 zeigt das durchschnittliche Lastprofil für den Sommer. Man sieht, dass die Rentnerhaushalte generell an Wochentagen tagsüber etwas höhere Leistung beziehen, aber dafür in den Abendstunden und an den Wochenenden einen niedrigeren Verbrauch haben. Dies ist in einer geringeren Quote an energiein-

Tabelle 8.4: Vergleich der Auswirkungen der Rentner-Siedlung

Szenario	Gesamtenergieverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote	Profildifferenz
Referenz	2.385	30,9 %	-
Rentner	2.280	32,5 %	276.985

tensiven Freizeitbeschäftigungen wie z.B. Computerspielen bei den Rentnern begründet.

Abb. 8.14 zeigt die Eigenverbrauchsquoten im Vergleich. Die Referenzsiedlung liegt bei 30,9 %, die Rentnersiedlung weist eine Eigenverbrauchsquote von 32,5 % auf, also 1,6 Prozentpunkte höher. Tabelle 8.4 fasst nochmal alle Werte zusammen. Man sieht, dass die Rentner auch die Form des Lastprofils deutlich ändern. Folglich ist die Modellierung der demographischen Struktur ein wichtiges Feature für weitere Lastprofilgeneratoren, da diese die Ergebnisse deutlich beeinflussen kann.

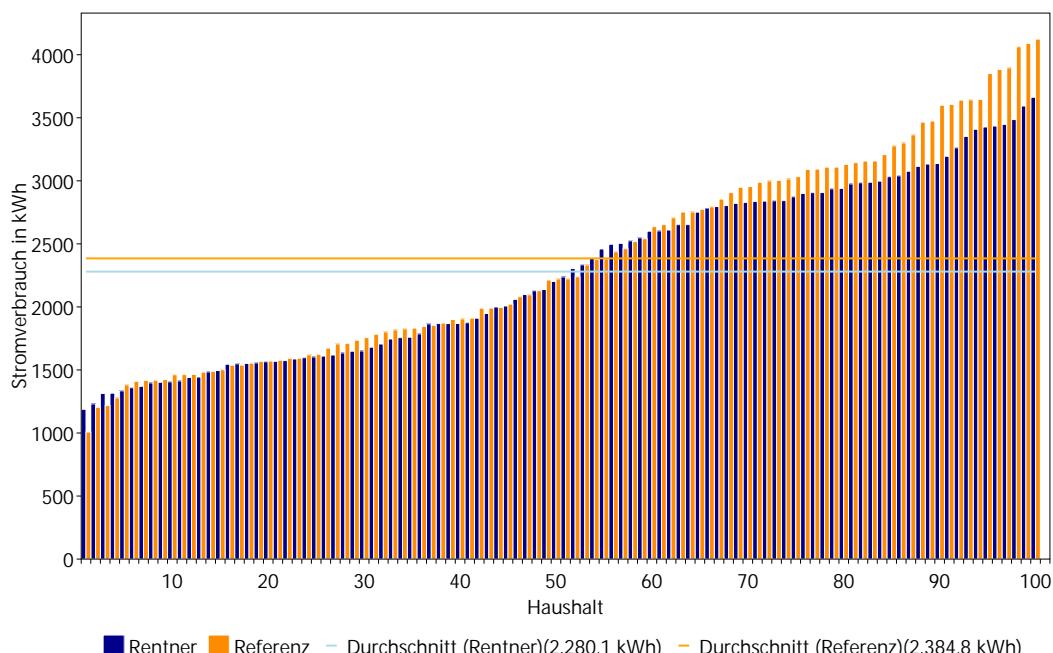


Abbildung 8.12: Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung und die Rentnersiedlung mit den jeweiligen Durchschnitten

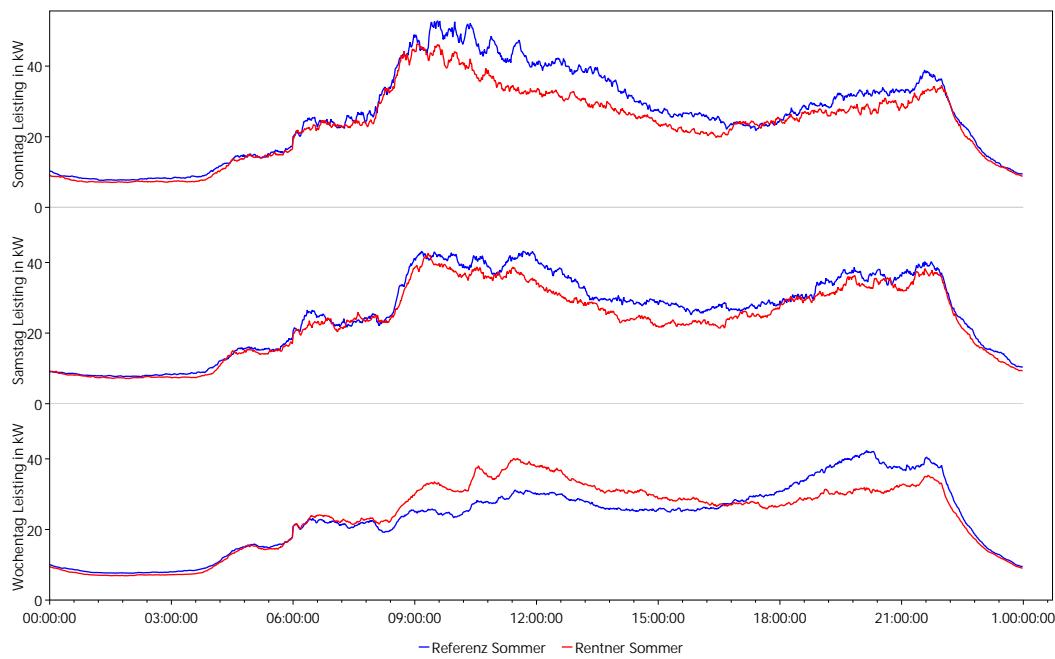


Abbildung 8.13: Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer für die Refenzsiedlung und die Rentnersiedlung

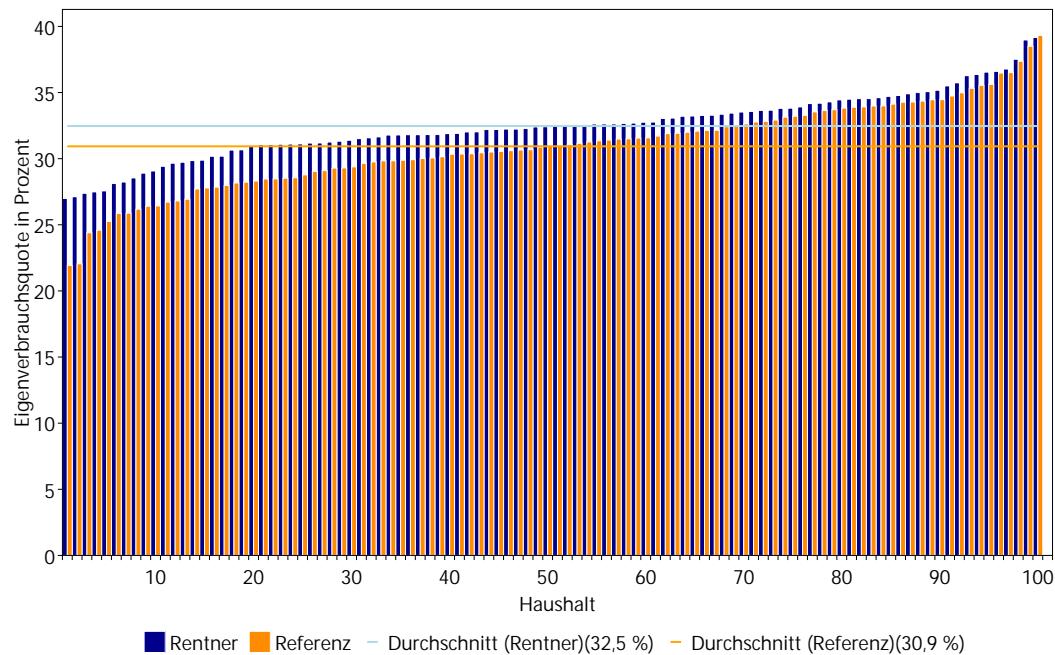


Abbildung 8.14: Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten aller Haushalte der Rentner-Siedlung und der Referenz-Siedlung

Tabelle 8.5: Vergleich der Auswirkungen der Schichtarbeiteursiedlung

Szenario	Gesamtenergieverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote	Profildifference
Referenz	2.385	30,9 %	-
Schichtarbeiter	2.109	29,8 %	1.057.461

### 8.2.5 Einfluss von Schichtarbeitern

Schichtarbeit wurden bereits verschiedentlich erwähnt. Für diesen Abschnitt wurde eine Siedlung mit 50 % Single-Schichtarbeitern und 50 % Schichtarbeiter-Ehepaaren erstellt, um eine sehr extreme Situation zu testen. Für die Arbeitszeiten wurde dabei ein rotierendes Dreischichtmodell festgelegt.

Abb. 8.15 zeigt wieder den Gesamtenergieverbrauch der Siedlung. Sichtbar ist der geringere Energieverbrauch im Vergleich zur Referenzsiedlung, bedingt zum einen durch den Mangel an Familien und zum anderen dadurch, dass Schichtarbeiter relativ viel Zeit außer Haus verbringen und somit weniger Energie verbrauchen. Abb. 8.16 enthält das durchschnittliche Lastprofil. Es unterscheidet sich an Wochentagen signifikant von der Referenzsiedlung, da durch das rotierende Dreischichtsystem kein normaler Tagesrythmus zustande kommt.

Tabelle 8.5 zeigt die Ergebnisse im Überblick. Die Eigenverbrauchsquote in Abb. 8.17 sinkt von 30,9 % auf 29,8 %. Sowohl die geänderte Eigenverbrauchsquote als auch die deutliche Änderung der Form des durchschnittlichen Lastprofils zeigen, dass eine Berücksichtigung des Arbeitszeitmodells in zukünftigen Lastprofilgeneratoren die Genauigkeit des Ergebnis deutlich verbessern kann.

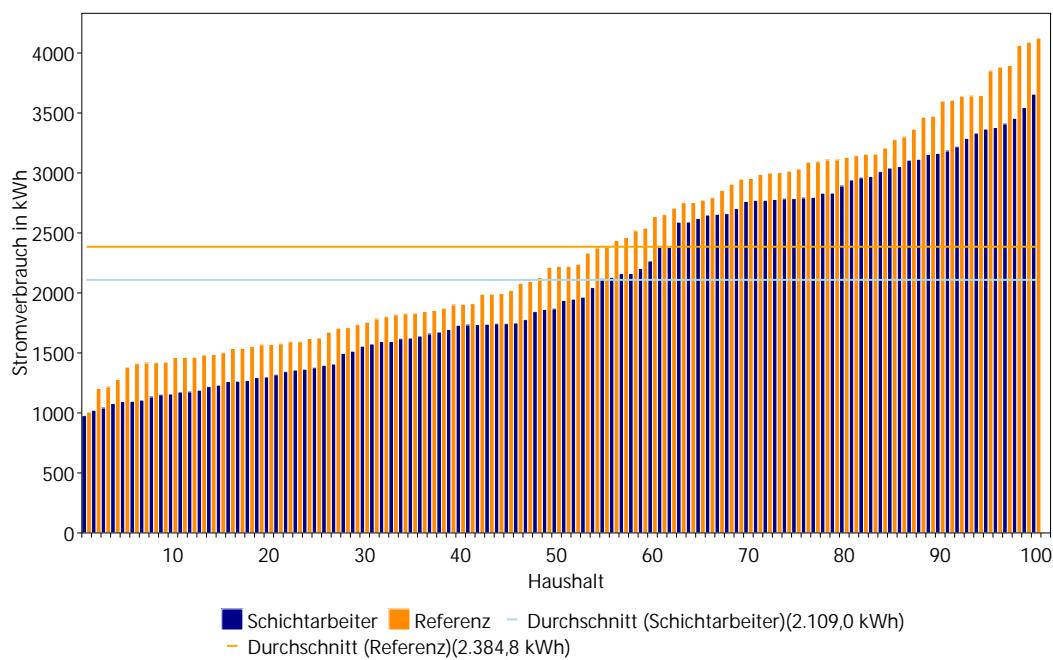


Abbildung 8.15: Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung und die Schichtarbeite rsiedlung mit den jeweiligen Durchschnitten

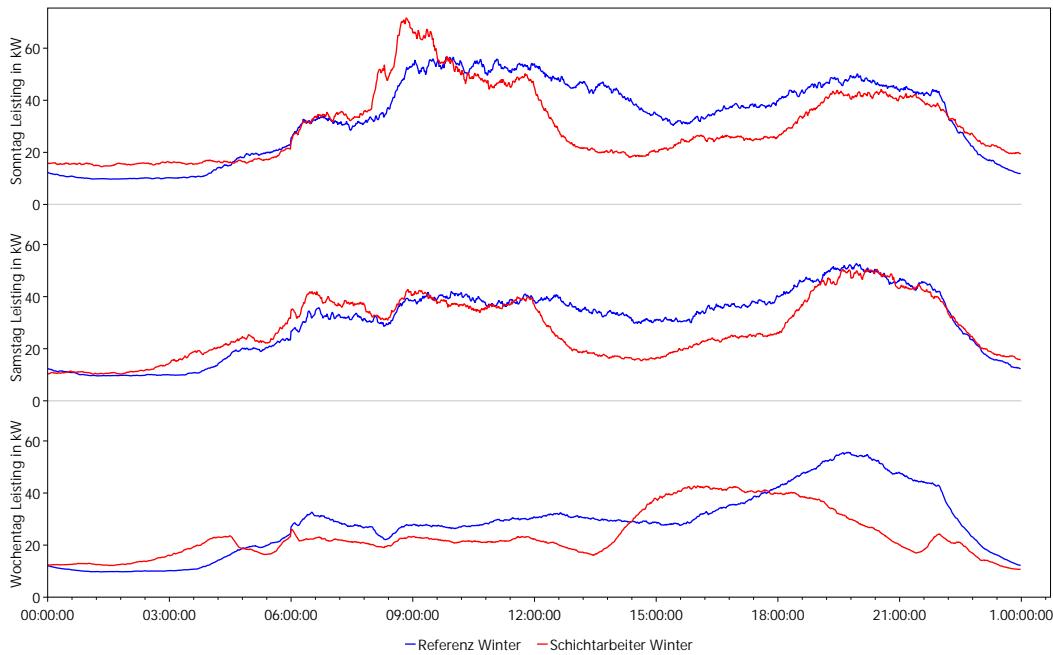


Abbildung 8.16: Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer getrennt nach Wochentagen für die Referenzsiedlung und die Schichtarbeite rsiedlung

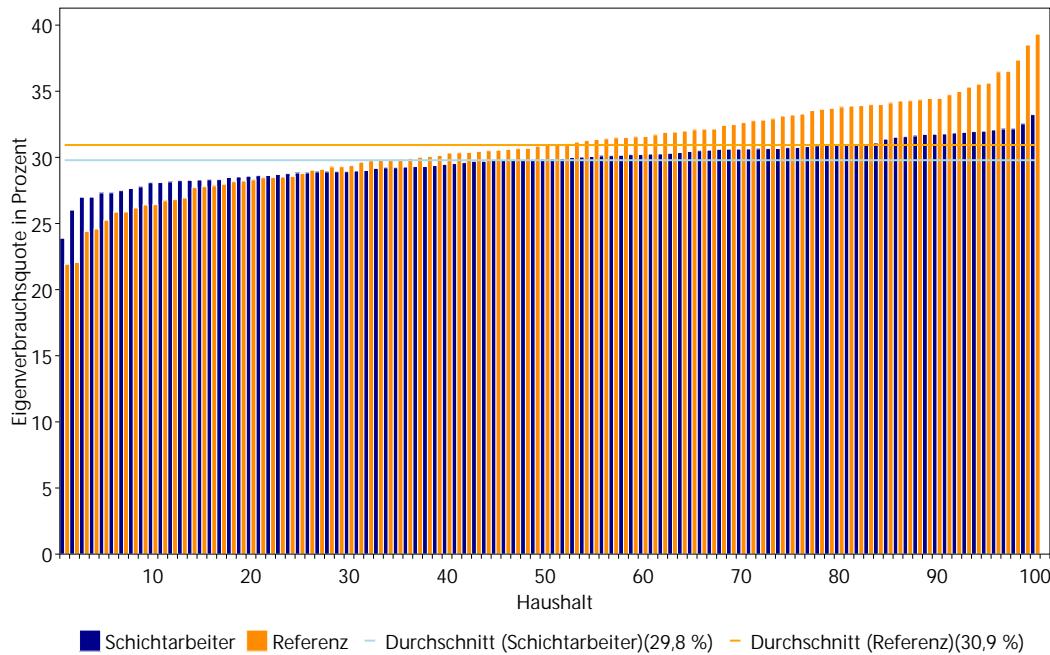


Abbildung 8.17: Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten der Referenzsiedlung und der Schichtarbeite rsiedlung

### 8.2.6 Einfluss von Arbeitslosigkeit

Das dritte und letzte demographische Szenario ersetzt die gesamte Bevölkerung der Siedlung durch Arbeitslose, davon sind:

- 25 % Singles,
- 25 % alleinerziehende Eltern,
- 25 % Paare und
- 25 % Familien.

Der wichtigste Unterschied zur Rentner-Siedlung ist dabei die deutlich jüngere Bevölkerung und der signifikante Kinderanteil. Damit sind auch mehr energieintensive Aktivitäten wie z.B. Computerspielen verbreitet.

Abb. 8.18 zeigt die Energieverbräuche im Vergleich zur Referenzsiedlung. Man sieht, dass der Energieverbrauch der Arbeitslosensiedlung pro Haushalt deutlich höher ist. Abb. 8.19 zeigt das durchschnittliche Lastprofil dazu. Insbesondere an Wochentagen tagsüber ist hier ein deutlich erhöhter Energiebedarf sichtbar.

Tabelle 8.6: Vergleich der Auswirkungen der Demographieänderung

Szenario	Gesamtenergieverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote	Profildifference
Referenz	2.385	30,9 %	-
Arbeitslose	2.707	34,3 %	333.998

Tabelle 8.6 zeigt eine Übersicht der Werte. Die durchschnittliche Eigenverbrauchsquote in Abb. 8.20 steigt von 30,9 % auf 34,3 %. Insofern scheint die Aussage berechtigt, dass die Erwerbssituation das Ergebnis einer Simulation deutlich beeinflusst und somit in zukünftigen Lastprofilgeneratoren definitiv berücksichtigt werden sollte.

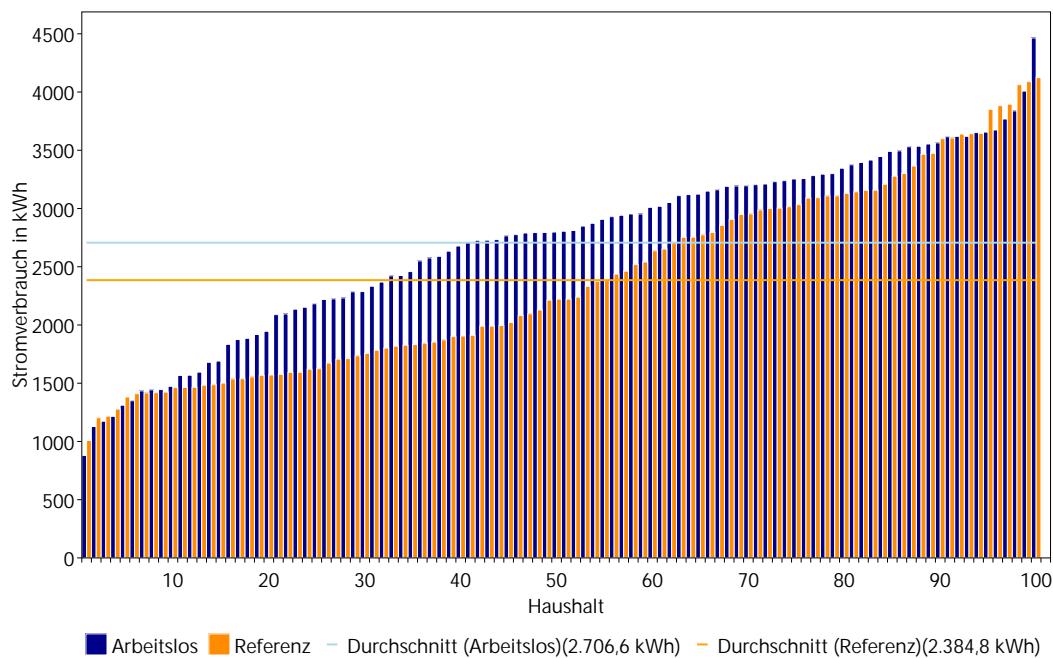


Abbildung 8.18: Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung und die Rentnersiedlung mit den jeweiligen Durchschnitten

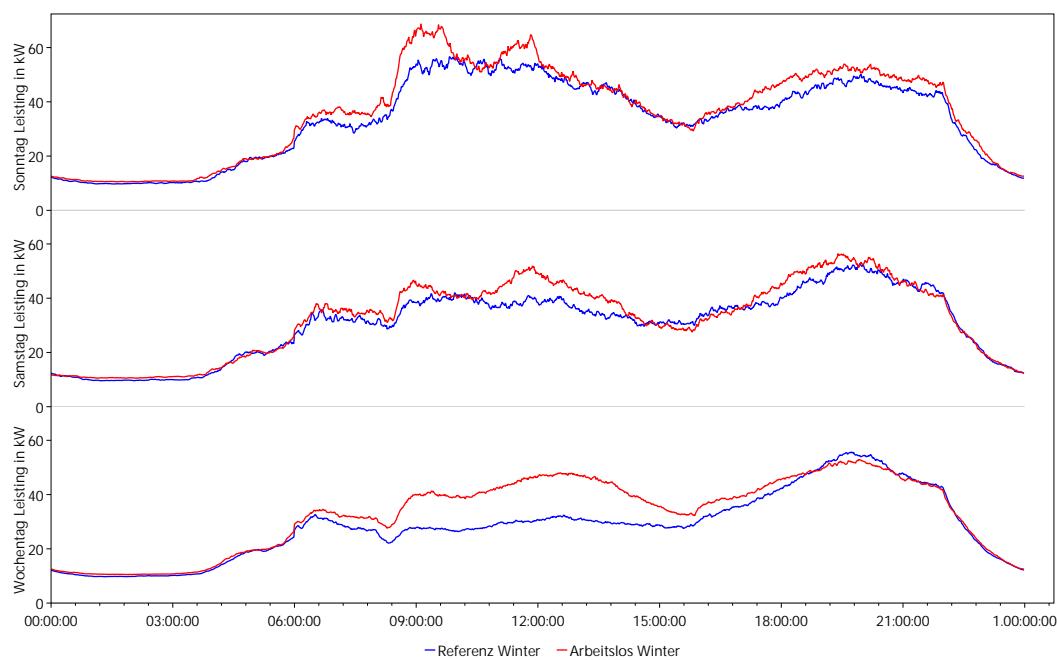


Abbildung 8.19: Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer für die Referenzsiedlung und die Arbeitslosensiedlung

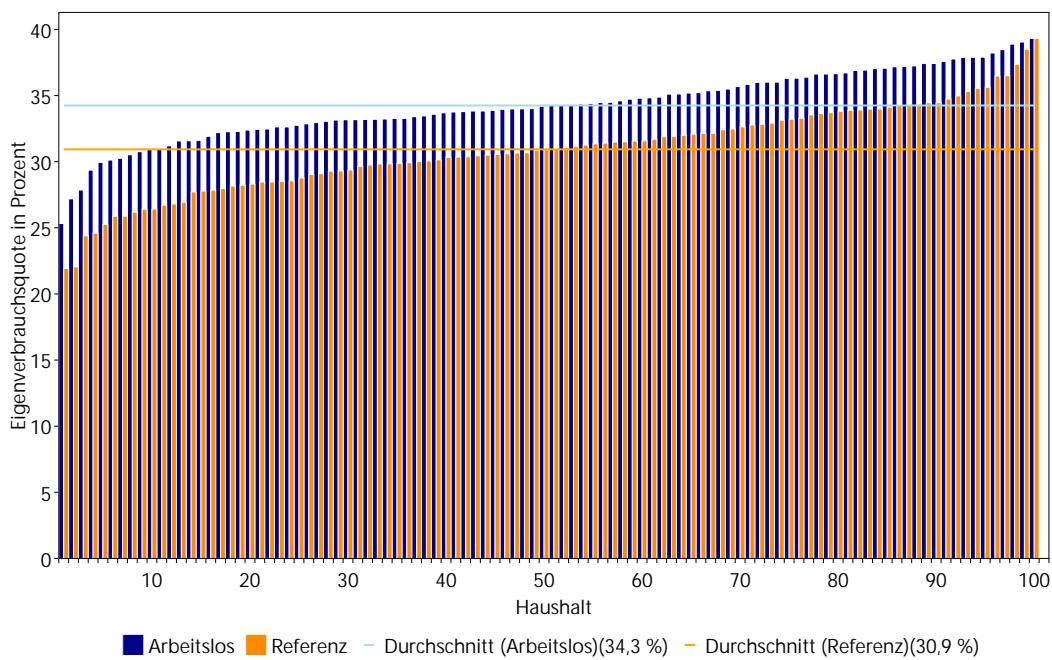


Abbildung 8.20: Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten aller Haushalte in der Arbeitslosensiedlung

### 8.2.7 Einfluss der Energieintensitätseinstellung

Wie bereits in Abschnitt 4.5 beschrieben, verfügt der bLPG über die Fähigkeit, die Geräte in einem Haushalt automatisch auszutauschen. Für die Auswahl der Geräte kann dabei zwischen zufällig, energiesparend und energieintensiv gewählt werden. Die Grundidee dabei ist, dass für die Auswahl der Geräte z.B. die Energieintensität aller Fernseher berechnet wird und derjenige mit dem geringsten Energieverbrauch ausgewählt. Für die Berechnung der Energieintensität ist nicht die Maximalleistung, sondern der Gesamtverbrauch relevant, wofür das Gerätprofil benötigt wird.

Während der Entwicklung des bLPG wuchs der Bestand an gemessenen Gerätprofilen immer weiter, aber es stehen trotzdem nicht für alle Geräte gemessene Gerätelastprofile zur Verfügung. Die erstellten Lastprofilen sind aber um so genauer, je mehr gemessene Gerätprofile statt synthetischen Gerätprofilen zum Einsatz kommen. Daher wurde die Option eingeführt, die gemessenen Profile zu bevorzugen, auch wenn die Energieintensität höher oder niedriger ist. Bei der Berechnung wird dann für jede Device Action Group geprüft, ob es mindestens ein Gerät in der Gruppe gibt, welches über ein gemessenes Gerätprofil verfügt. Falls ja, dann werden alle Device Actions mit synthetischen Profilen herausgefiltert.

Insgesamt gibt es somit fünf Voreinstellungen für die Einstellung der Energieintensität:

1. Energiesparende Geräte (im bLPG: “Energy Saving”)
2. Energieintensive Geräte (im bLPG: “Energy Intensive”)
3. Energiesparende Geräte mit Bevorzugung der gemessenen Profile (im bLPG: “Energy Saving, but prefer measured devices if available”)
4. Energieintensive Geräte mit Bevorzugung der gemessenen Profile (im bLPG: “Energy Intensive, but prefer measured devices if available”)
5. Zufällige Gerätewahl (im bLPG “Randomly chosen devices”)

Dazu ein Beispiel:

Gegeben seien 4 Kühlschränke mit folgenden Verbräuchen:

- Kühlschrank A: 0.8 kWh/Tag, synthetisches Profil
- Kühlschrank B: 0.9 kWh/Tag, gemessenes Profil
- Kühlschrank C: 1.0 kWh/Tag, gemessenes Profil
- Kühlschrank D: 1.1 kWh/Tag, synthetisches Profil

Die Ergebnisse für die Einstellungen sind dann:

1. Energiesparende Geräte: Kühlschrank A
2. Energieintensive Geräte: Kühlschrank D
3. Energiesparende Geräte mit Bevorzugung der gemessenen Profile: Kühlschrank B
4. Energieintensive Geräte mit Bevorzugung der gemessenen Profile: Kühlschrank C

Durch die Möglichkeit der Bevorzugung der gemessenen Profile kann somit aus den zur Verfügung stehenden Daten das genaueste Profil generiert werden, ohne Geräte löschen zu müssen oder darauf angewiesen zu sein, für jedes Gerät ein gemessenes Profil zur Verfügung zu haben. Interessant ist die Auswirkung dieser Einstellungen auf den Gesamtverbrauch und die Form des Lastprofils.

Für diesen Abschnitt wurde daher die Referenzsiedlung mit allen fünf Einstellungen jeweils einmal berechnet. Der Energieverbrauch für die fünf Varianten ist in Abb. 8.21 dargestellt. Der Jahresenergieverbrauch schwankt damit zwischen 2385 kWh und 4586 kWh, also um fast 100 %. Man sieht sehr deutlich, wie sehr die Geräteentwicklung in den letzten 20 Jahren die Energieverbräuche gesenkt hat.

Ergänzend ist in Abb. 8.22 der durchschnittliche Verlauf des Lastprofils dargestellt. Sowohl die Abend- als auch Morgenspitze wird deutlich verstärkt. Tabelle 8.7 zeigt den Überblick über alle Werte. Auch die Eigenverbrauchsquote in Abb. 8.23 variieren sehr deutlich zwischen 27,8 % und 30,9 %, wobei die energieintensiven Geräte eine geringere Eigenverbrauchsquote aufweisen. Der Grund dafür ist der erhöhte Verbrauch in den Morgen- und Abendstunden, welcher nicht durch den Solarstrom gedeckt werden kann.

Die Schlussfolgerung daraus ist, dass die Geräteauswahl das wichtigste Kriterium bei der Erstellung eines Lastprofilgenerators ist und für eine repräsentative

Tabelle 8.7: Vergleich der Auswirkungen der Energieintensität

Szenario	Gesamtenergieverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote	Profildifference
Referenz	2.385	30,9 %	-
Energiesparend Gemessen	2.386	30,9 %	24.811
Energieintensiv	4.586	27,9 %	13.366.007
Energiesparend	2.411	30,9 %	31.533
Zufällig	3.944	30,3 %	5.783.690
Energieintensiv Gemessen	4.585	27,8 %	13.983.213

Gerätewahl eine umfassende Datenbank erforderlich ist. Zusätzlich kann man schlussfolgern, dass die naive Skalierung eines existierenden Profils zu falschen Ergebnissen führt, da sich bei einer Änderung der Gerätewahl auch der Verlauf des Lastprofils ändern muss.

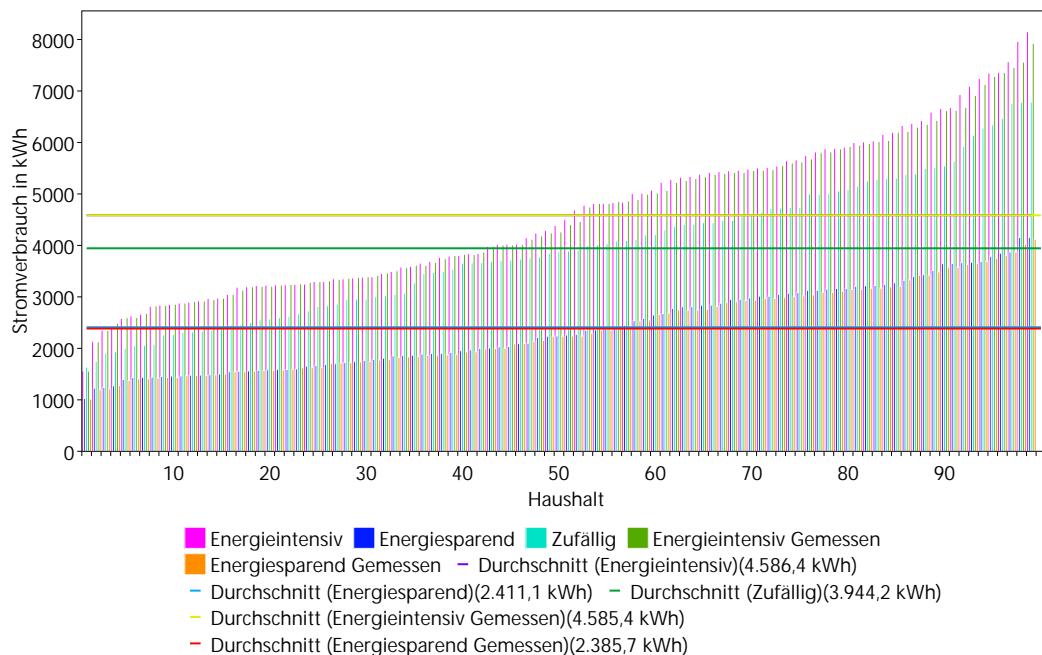


Abbildung 8.21: Übersicht zum Energieverbrauch aller Haushalte für die Referenzsiedlung mit allen Energieintensitätseinstellungen

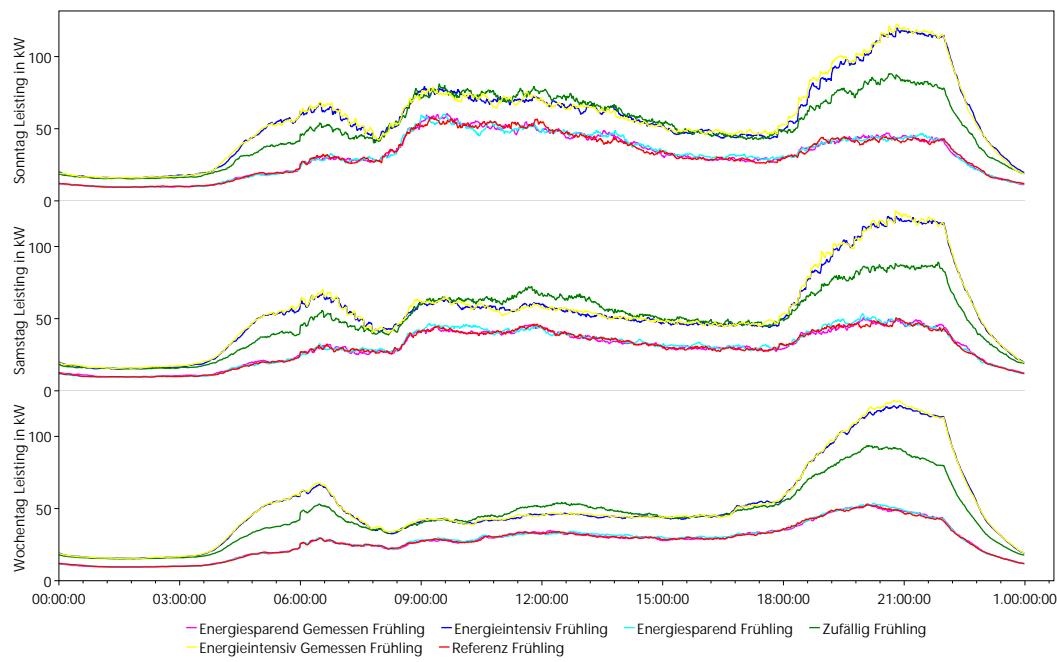


Abbildung 8.22: Durchschnittliches Lastprofil für den Sommer für die Refe- renzsiedlung und die Arbeitslosensiedlung

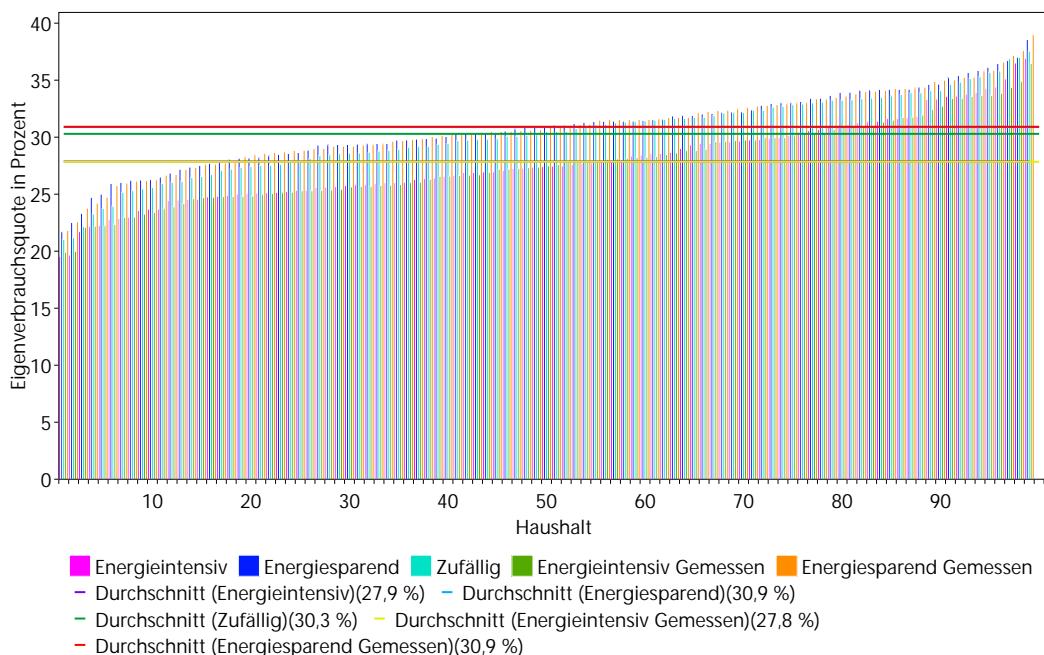


Abbildung 8.23: Übersicht über die Eigenverbrauchsquotas aller Haushalte beim Energieintensitätsvergleich

Tabelle 8.8: Vergleich der Auswirkungen der Beleuchtung

Szenario	Gesamtenergieverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote	Profildifference
Referenz	2.385	30,9 %	-
LEDs	2.364	31,0 %	26.966
Glühbirnen	2.769	28,4 %	842.108

### 8.2.8 Einflussgröße Beleuchtung

In Abschnitt 7.1.3 wurde bereits auf die Auswirkungen des Leuchtmittelwechsels auf den Stromverbrauch eingegangen. Um die diesbezüglichen Auswirkungen zu quantifizieren, wurde daher die Referenzsiedlung zweimal berechnet: In der ersten Berechnung wurde die Einstellung “Energiesparend gemessen” gewählt, sodass für alle Beleuchtung LEDs verwendet wurden. In der zweiten Berechnung wurde diese Einstellung beibehalten, aber über eine “Device Selection” wurde festgelegt, dass für die Beleuchtung Glühlampen verwendet werden sollen. Alle anderen Einstellungen wurden beibehalten.

Abb. 8.24 zeigt den Stromverbrauch der beiden Varianten. Die Differenz im durchschnittlichen Stromverbrauch beträgt 393 kWh, was sehr nahe an dem Durchschnittswert aus [10] liegt. Da in der Studie der Durchschnittsverbrauch angegeben wird und auch schon 2010 Energiesparlampen durchaus verbreitet waren, erscheint der Wert plausibel. Ergänzend dazu ist in Abb. 8.25 das durchschnittliche Lastprofil für den Winter dargestellt. Es wird sichtbar, wie sehr die Beleuchtung die Form des Lastprofils beeinflusst. Es erscheint nur durch die Änderung der Beleuchtung dieselbe Abendspitze, welche auch im H0-Profil vorhanden ist.

Ebenfalls interessant ist der Einfluss auf die Eigenverbrauchsquoten in Abb. 8.26. Der Eigenverbrauch sinkt von 31 % auf 28,4 %, also um 2,6 Prozentpunkte, da die Beleuchtung logischerweise nicht von der Photovoltaik-Anlage versorgt werden kann, da die Beleuchtung ja genau dann benötigt wird, wenn die Photovoltaikanlage keinen Strom liefert. Tabelle 8.8 zeigt den Überblick über alle Werte.

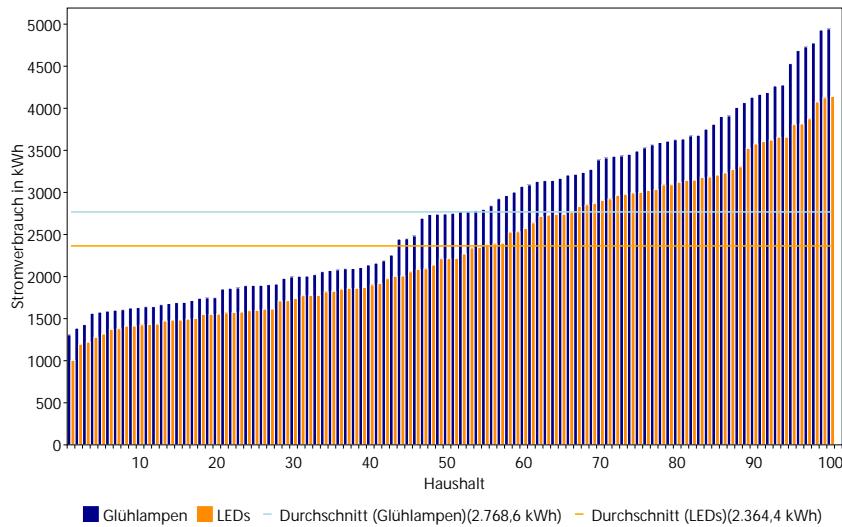


Abbildung 8.24: Übersicht zum Energieverbrauch der Referenzsiedlung für die beiden Beleuchtungsvarianten

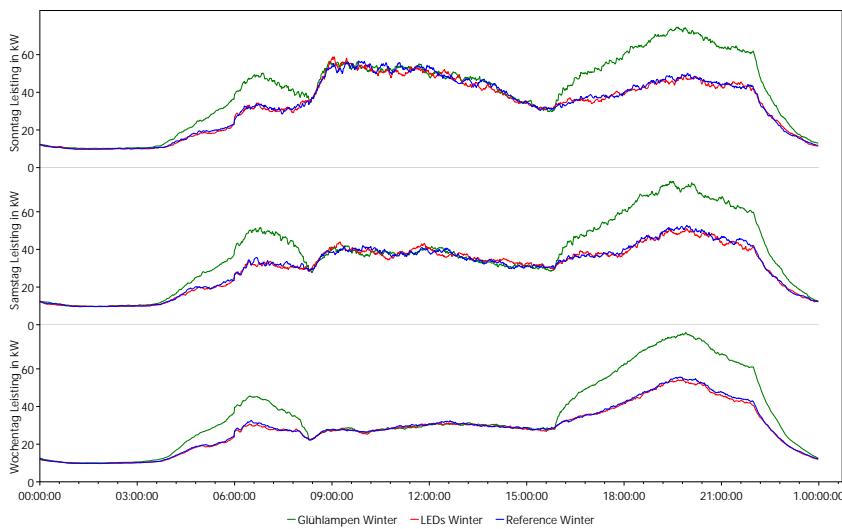


Abbildung 8.25: Durchschnittliches Lastprofil für den Winter für die Referenzsiedlung und die beiden Beleuchtungsvarianten

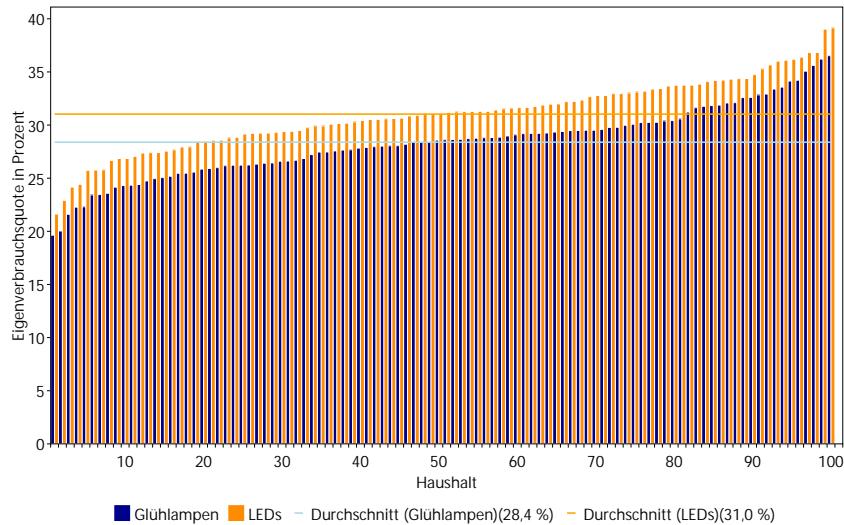


Abbildung 8.26: Übersicht über die Eigenverbrauchsquoten der Siedlung für die zwei Beleuchtungsvarianten

### 8.3 Zusammenfassung der Parameterstudie

Um die Vielzahl der Berechnungen leichter vergleichen zu können, sind die Ergebnisse in Tabelle 8.9 zusammengestellt. Es wird sichtbar, dass die Gerätewahl den größten Einfluss hat, dicht gefolgt von der Demographie. Der Einfluss der Urlaubsreisen und der Brückentage hängt davon ab, was untersucht werden soll. Für Untersuchungen zum Eigenverbrauch ist der Urlaub relativ wichtig. Für Untersuchungen zur Heizung hingegen sind eher die Brückentage relevant.

Tabelle 8.9: Übersichtstabelle über die Ergebnisse der Parameterstudie

Name	Jahresverbrauch in kWh	Eigenverbrauchsquote in Prozent	Profil-differenz
Referenz	2.385	30,9 %	-
Brückentage	2.405	30,9 %	105.555
1 Tag Urlaub	2.456	31,4 %	37.288
7 Tage Urlaub	2.425	31,1 %	24.334
14 Tage Urlaub	2.388	30,6 %	30.637
21 Tage Urlaub	2.348	30,1 %	50.526
Rentner	2.280	32,5 %	276.985
Schichtarbeiter	2.109	29,8 %	1.057.461
Arbeitslose	2.707	34,3 %	333.998
Energiesparend (mit bevorzugt gemessenen Lastprofilen)	2.386	30,9 %	24.811
Energieintensiv	4.586	27,9 %	13.366.007
Energiesparend	2.411	30,9 %	31.533
Zufällig	3.944	30,3 %	5.783.690
Energieintensiv (mit bevorzugt gemessenen Lastprofilen)	4.585	27,8 %	13.983.213
LEDs	2.364	31,0 %	26.966
Glühlampen	2.769	28,4 %	842.108

# Kapitel 9

## Ausblick

Der in dieser Arbeit entwickelte verhaltensbasierte Lastprofilgenerator ist bereits in der Forschung im Einsatz und steht kostenlos im Internet zur Verfügung. Selbstverständlich gibt es immer Möglichkeiten zur Verbesserung. Doch die vorliegende Version hat eine Reife und Vollständigkeit erlangt, die eine Zäsur in der Entwicklung rechtfertigt. In diesem Kapitel werden trotzdem die wichtigsten Verbesserungspotenziale für die Datenbasis und für die Implementierung beschrieben.

### 9.1 Verbesserungspotenziale der Implementierung

Die einzelnen Maßnahmen lassen sich in die folgenden Kategorien aufteilen:

- Verbesserung der Implementierung
- Erhöhung des Detailgrads
- Integration von zusätzlichen Funktionalitäten

#### Verbesserung der Implementierung

- Die Hausinfrastrukturberechnung ist noch rudimentär. Durch Hinzufügen eines Solvers und eine weitere Verbesserung der Modellierung könnten auch komplexere Anlagen abgebildet werden.
- Die Datenbank enthält keine Relationen, sodass bei Programmfehlern möglicherweise ungültige Definitionen entstehen können. Damit ist gemeint, dass die Definition von Abhängigkeiten direkt in der Datenbank

sicherstellen könnte, dass z.B. beim Löschen einer Affordanz auch alle Verweise auf die Affordanz entfernt werden. Ansonsten können bis zum nächsten Neustart möglicherweise ungültige Verweise im Speicher verbleiben, welche bei einer neuen Berechnung zu Fehlern führen können.

- Alle Affordanzen sind immer an Devices gebunden, auch wenn dies ggf. im konkreten Fall wenig Sinn macht, wie z.B. bei einem Wochenendausflug. Die Modellierung könnte also etwas entschlackt werden.
- Die Reihenfolge der Personen bei der Aktivitätswahl ist deterministisch. Das kommt nur zum Tragen, wenn mehrere Personen in demselben Zeitschritt nach einer neuen Aktivität suchen. Aber möglicherweise kämen abwechslungsreichere Verhaltensmuster durch zufälliges Variieren der Reihenfolge zustande. Insbesondere tritt die Situation auf, wenn z.B. mehrere Personen gleichzeitig das Essen beenden.
- Die zeitliche Auflösung ist zwar frei wählbar. Aber Auflösungen von unter einer Minute führen zu sehr großen Rechenzeiten. Für eine Auflösung von 1 s läge die Berechnungszeit für einen einfachen Haushalt bei mindestens 25 h. Hier ist noch ein großes Optimierungspotenzial vorhanden.

### **Erhöhung Detailgrad**

- Wenn eine ausgeführte Aktivität unterbrochen wird, z.B. weil die Mutter zum Essen ruft, dann kehrt die ausführende Person nach dem Essen je nach Einstellungen in der Affordanz nicht zur angefangenen Aktivität zurück. Das ist nicht in allen Fällen realistisch. Trotzdem laufen die Geräte noch bis zum Ende der Aktivität. Hier wäre eine Lösung besser, bei der die Geräte ggf. abgeschaltet werden.
- Es fehlen in den vordefinierten Haushalten nächtliche Toilettengänge mit den damit verbundenen Wasserverbrauchsspitzen. Das hängt mit dem ausbaufähigen Verhalten bei Aktivitätsunterbrechungen zusammen, welches es in der bisherigen Simulation schwierig macht, die Bewohner nach einem Toilettengang zum Weiterschlafen zu animieren.
- Im bLPG wird die Raumbeleuchtung nur eingeschaltet, wenn jemand im Raum ist. In der Realität bleibt die Beleuchtung eingeschaltet, obwohl gerade niemand in dem jeweiligen Raum ist.

- Die Bedürfnisänderungen durch die Affordanzen werden aus Gründen der Einfachheit zu Beginn der Aktivität sprunghaft wirksam, d.h., in dem Moment, in dem jemand sich zum Schlafen legt, wird sofort das Schlafbedürfnis vollständig aufgefüllt. Wenn stattdessen in jedem Zeitschritt eine Teilbedürfnisbefriedigung erfolgen würde, wären Unterbrechungen sinnvoller handhabbar.

## Zusätzliche Funktionalitäten

- Es gibt keine explizite Modellierung der Wegezeiten und -strecken. Dies wäre notwendig für realistische E-Mobility-Profilen.
- Ideal wäre für die Modellierung von Siedlungen, wenn gewisse gemeinsame Infrastruktur wie z.B. Läden, Musikverein usw., einmal definiert werden können und dann automatisch in die Haushalte eingefügt werden. Das würde einfache Untersuchungen z.B. bezüglich der Auswirkungen von Ladenöffnungszeiten auf das Lastprofil ermöglichen.
- Für die Modellierung wäre es eine Erleichterung, wenn auch Häuser Affordanzen anbieten könnten. Statt für eine Familie zwei verschiedene Haushalte anlegen zu müssen, d.h., einen Haushalt mit typischen Aktivitäten im Einfamilienhaus und einen Haushalt mit typischen Aktivitäten im Mehrfamilienhaus, könnten dann z.B. in einem Einfamilienhaus Gartenaktivitäten usw. direkt dem Haustyp zugeordnet werden. Damit wäre nur noch ein Haushalt notwendig, welcher sich je nach Haustyp ändert.
- Jeder Last kann eine Normalverteilung zur Simulation der realen Schwankungen im Verbrauch zugeordnet werden. Aber die Lasten für Scheinleistung, Blindleistung und Wirkleistung sind nicht synchronisiert, sodass unrealistische Werte zustande kommen können. Eine mögliche Lösung wäre die Integration einer Blindleistungsberechnung für alle Geräte, für die keine Messwerte vorliegen.
- Im bLPG sind Krankheiten nicht ansteckend und Kinderbetreuung wird nicht berücksichtigt. In der Realität führt die Erkrankung eines Familienmitglieds häufig dazu, dass auch andere Familienmitglieder angesteckt werden. Und wenn ein Kind unter 10 Jahren krank zuhause bleiben muss, dann bleibt in der Realität oft auch ein Elternteil bei dem Kind.

- Es gibt keine Funktionalität für die automatische Aufteilung des Stromverbrauchs der Geräte auf die drei elektrischen Phasen.
- Auch könnte eine Funktionalität integriert werden, verschiedene Arten von Urlaub abzubilden: Verreist, Zuhause-Urlaub oder Schulferien. Im Moment gibt es nur für Reisen ein Userinterface und die anderen Typen müssen über Date Based Profiles abgebildet werden.

## 9.2 Verbesserungspotenziale der Datenbasis

- Durch eine Messkampagne könnten mehr und bessere Geräteprofile in höherer zeitlicher Auflösung eingepflegt werden.
- Eine Modellierung der Innenraumtemperatur und die Integration der Abhängigkeit der Innenraumtemperatur zum Kühlschrankstromverbrauch könnte den Verbrauch genauer abbilden.
- Eine umfassende statistische Analyse von Time-of-Use-Daten könnte benutzt werden, um neue Haushalte zu erstellen.
- Zusätzliche Aktivitäten könnten die Bandbreite des möglichen Verhaltens vergrößern.
- In den vordefinierten Haushalten ist bislang kein Urlaub zuhause integriert. Dies könnte den Realitätsgrad der Haushalte noch etwas erhöhen.
- Im Moment ist die Datenbasis auf Deutschland ausgerichtet. Der Nutzen des Tools könnte deutlich erhöht werden, wenn auch die Geräteprofile und Gewohnheiten anderer Länder integriert würden.
- Die Integration einer Vielzahl verschiedener Siedlungstypen mit passenden Haushalten würde den Anwendern helfen.
- Für die einfachere Handhabung bei der Erstellung könnten Household Traits zusammengefasst werden, sodass der Benutzer weniger individuelle Einstellungen treffen muss.

## 9.3 Zusammenfassung des Ausblicks

Wie man an den Punkten in diesem Kapitel sieht, ist der bLPG ein relativ ausgereiftes Produkt. Es wird auch bereits in der Industrie und Forschung eingesetzt. Die erwähnten Punkte können aber die Software weiter verbessern.

# Kapitel 10

## Zusammenfassung

Die Arbeit beginnt mit einer ausführlichen Erläuterung der Problemstellung. Bisher lag der Fokus der Simulation von Haushaltsenergieverbräuchen auf dem Wärmeverbrauch. Da allerdings durch ständige Verbesserung der Effizienz und durch die immer bessere Wärmedämmung der Anteil der Wärme am Verbrauch immer weiter abnimmt, steigt der prozentuale Anteil des Haushaltsstromverbrauchs. Da Konzepte für zukünftige Energiesysteme häufig auf dezentrale Erzeugung setzen, sind für die Untersuchung dieser Konzepte unter anderem detaillierte Haushaltsprofile notwendig. Da bisherige Ansätze die Anforderungen nicht hinreichend erfüllen, wird als Ziel ein besserer Lastprofilgenerator definiert.

Es wird auf den gegenwärtigen Stand des Wissens zu Lastprofilen und Lastprofilgeneratoren eingegangen. Dabei gibt es eine Unzahl verschiedener Lastprofilgeneratoren für unterschiedliche Einsatzzwecke, die aber fast alle auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen basieren. Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind für die Beschreibung einer großen Bevölkerungsgruppe sehr gut geeignet, weisen aber bei der Modellierung eines konkreten Einzelhaushalts eine Reihe von Problemen auf, da das Verhalten einer konkreten Person von der individuellen Vorgeschichte und den Bedürfnissen der Person abhängig ist, was mit Wahrscheinlichkeiten nur schwer zu modellieren ist.

Für den zu entwickelnden Lastprofilgenerator ist der erste Schritt die Beschreibung des Datenmodells. Das Modell wird aufgrund der Komplexität in 5 Schritten eingeführt:

1. Basismodell mit grundlegendem Entscheidungsprozess.

2. Verfeinerung des Modells. Dazu werden unter anderem Abhängigkeiten von den Außentemperaturen und Zeitbegrenzungen oder auch Standby-Geräte integriert.
3. Ausweitung des Betrachtungsraumes vom einzelnen Haushalt auf das Haus und die Siedlung.
4. Automatische Gerätewahl.
5. Automatische Erstellung von neuen Haushalten und Siedlungen.

Nach der Vorstellung des Datenmodells folgt eine Diskussion der wichtigsten Merkmale der Implementierung. Ein wichtiger Punkt hierbei war die Aufteilung des Programms in verschiedene, unabhängige Module zur Beherrschung der Komplexität. Dies hatte unter anderem den Vorteil, dass es sehr einfach war, ein Kommandozeilen-Interface für die automatische Durchführung von Berechnungen zu programmieren.

Auf die Implementierung folgt dann die Beschreibung der Modellierung, also die Anwendung des Programms mit besonderem Fokus auf die Beschreibung der Datenbasis und die damit gemachten Erfahrungen. Insbesondere die Beschaffung von detaillierten Daten zum Verhalten von Personen erwies sich teilweise als schwierig, sodass Informationen aus vielen Quellen zusammengeführt werden mussten.

Für die Validierung wird ein einzelner Haushalt, ein Querschnitt über alle Haushalte und eine Siedlung mit 100 zufällig generierten Haushalten gewählt. Dabei werden verschiedene Metriken, wie z.B. Gesamtenergieverbrauch, Dauerlastkurven, Wasserverbrauch oder auch die Gleichzeitigkeit, verglichen und gezeigt, dass die Berechnungsergebnisse plausibel sind.

Zum Abschluss wird dann zum einen an einem Beispiel demonstriert, wofür ein verhaltensbasierter Lastprofilgenerator einsetzbar ist. Zum anderen wird der Einfluss verschiedener Modellierungsaspekte wie z.B. Brückentage, Urlaubsreisen oder auch die Demographie der Bevölkerung quantifiziert und somit ist es möglich, wichtige Features für künftige Lastprofilgeneratoren zu identifizieren.

Es gelang somit, einen universellen Lastprofilgenerator mit extrem hohem Detaillierungsgrad zu schaffen. Dies zeigt sich nicht nur in dieser Arbeit, sondern auch an den hunderten von Downloads und den vielen Arbeiten und Veröffentlichungen, welche auf die Ergebnisse des bLPG aufbauen.

# Anhang A

## Website

Für die Bereitstellung des Programms im Internet wurde die Domäne <http://www.loadprofilegenerator.de> registriert und eine Website für den Download und die Beantwortung der häufigsten Fragen erstellt. Abb. A.1 und Abb. A.2 zeigen Screenshots der Seite und Abb. A.3 zeigt die Downloads ab 11/2014. Davor stand der bLPG auf der Homepage der TU Chemnitz zur Verfügung.

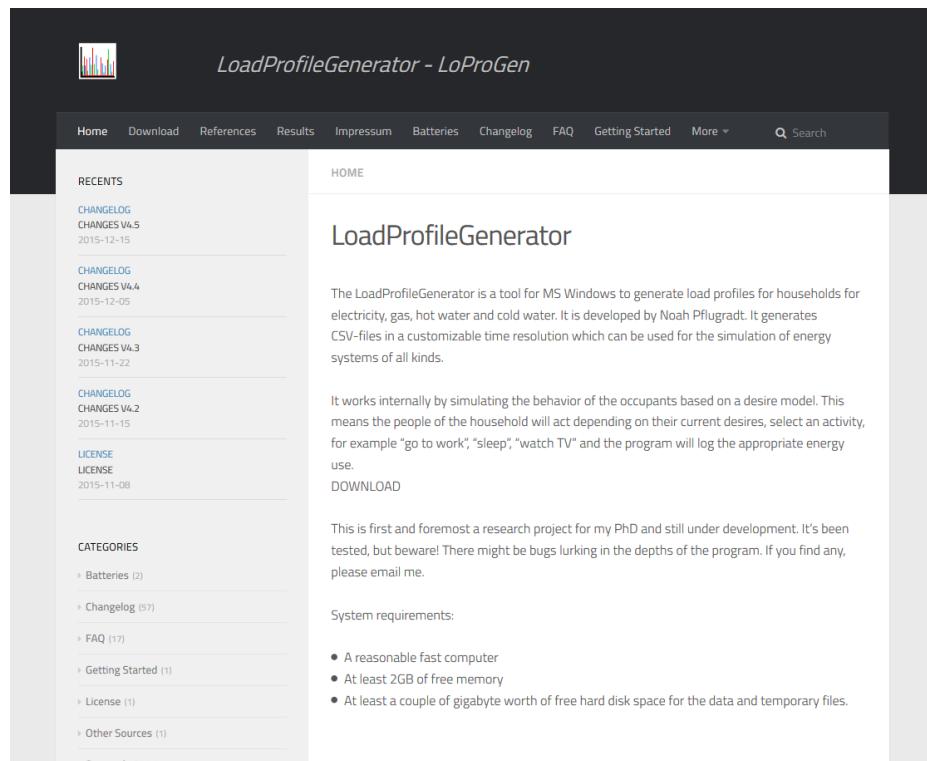


Abbildung A.1: Startseite von [www.loadprofilegenerator.de](http://www.loadprofilegenerator.de)

**RECENTS**

- CHANGELOG  
CHANGES V4.5  
2015-12-15
- CHANGELOG  
CHANGES V4.4  
2015-12-05
- CHANGELOG  
CHANGES V4.3  
2015-11-22
- CHANGELOG  
CHANGES V4.2  
2015-11-15

**LICENSE**

LICENSE  
2015-11-08

**CATEGORIES**

- Batteries (2)
- Changelog (57)
- FAQ (17)
- Getting Started (1)
- License (1)
- Other Sources (1)
- Screenshots (1)

**ARCHIVES**

December 2015 (2)

**CATEGORY : FAQ**

2015

**FAQ 2015-11-08**  
**How does it work?**  
The LoadProfileGenerator (LPG) creates load profiles based on a behaviour simulation of the people in a household. This means that the program tries to figure out what people are doing

**FAQ 2015-11-08**  
**Can I really use the program for my class / my company / to make money / do whatever?**  
Yes. The only condition is that you send me a bug report if there is any problem.

**FAQ 2015-11-08**  
**What is the history of the program?**  
It was developed at TU Chemnitz during a project. Then the funding ran out and all applications for new projects using this program were denied. After it became obvious that there would not be any fu

**FAQ 2015-11-08**  
**I have the problem ... Will you help me?**  
Of course. The entire point of putting the program online is to get some beta testing and improve the program.

**FAQ 2015-11-08**  
**The program is great, but it is missing the feature ...**  
Glad to hear that. Send me an email and if I agree, I'll probably put it in.

**FAQ 2015-11-08**  
**The predefined households don't match the averages in this other source I found! This is all wrong!**  
There are no "average" load curves. Every person, every household is different. The purpose of the LPG and the predefined households is to provide a lot of individual examples to do statistical verif

Abbildung A.2: Frequently Asked Questions (FAQ)-Seite von [www.loadprofilegenerator.de](http://www.loadprofilegenerator.de)

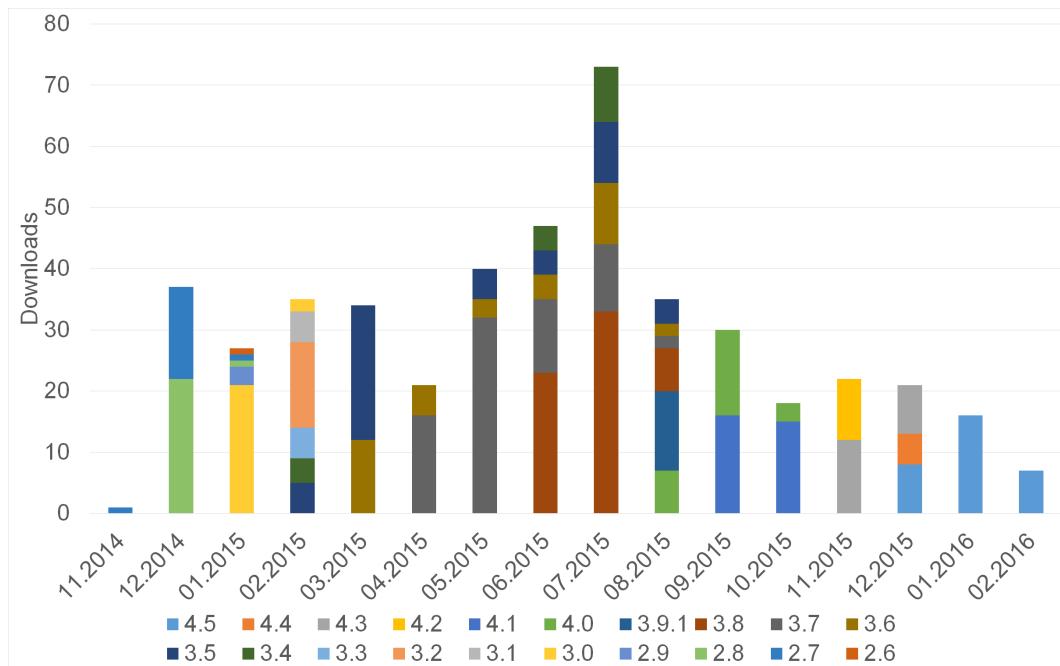


Abbildung A.3: Downloads des bLPG pro Monat aufgeteilt nach Version

## **Anhang B**

# **LoadProfileGenerator Manual**

Das Handbuch im folgenden ist in Englisch gehalten, um die internationale Nutzung des bLPG zu ermöglichen.

# **LoadProfileGenerator**

Manual

by

Noah Pflugradt

Version 4.7+

# Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>199</b>
<b>2</b>	<b>Features and Requirements</b>	<b>200</b>
2.1	Features . . . . .	200
2.2	Requirements . . . . .	201
<b>3</b>	<b>Basics</b>	<b>202</b>
<b>4</b>	<b>Structure of this Document</b>	<b>204</b>
<b>5</b>	<b>Basic Model for a household</b>	<b>205</b>
5.1	Load Type . . . . .	207
5.2	Desire . . . . .	209
5.3	Person . . . . .	212
5.4	Time Profile . . . . .	216
5.5	Device . . . . .	220
5.6	Location . . . . .	224
5.7	Time Limit . . . . .	226
5.8	Affordance . . . . .	231
5.9	Household . . . . .	240
<b>6</b>	<b>More Details</b>	<b>245</b>
6.1	Holiday . . . . .	245
6.2	Geographic Location . . . . .	247
6.3	Sub-Affordance . . . . .	250
6.4	Variable . . . . .	253
6.5	Date Based Profile . . . . .	254
6.6	Temperature Profile . . . . .	257
<b>7</b>	<b>Scope Expansion</b>	<b>260</b>
7.1	Externally Controlled Generator . . . . .	260
7.2	Energy Storage . . . . .	262
7.3	Transformation Device . . . . .	266
7.4	House Type . . . . .	271
7.5	House . . . . .	277
7.6	Settlements . . . . .	278

<b>8 Automatic Device Picking</b>	<b>283</b>
8.1 Device Category . . . . .	283
8.2 Device Action . . . . .	286
8.3 Device Action Group . . . . .	289
8.4 Device Selection . . . . .	289
<b>9 Automatic Creation</b>	<b>293</b>
9.1 Household Trait . . . . .	293
9.2 Trait Tags . . . . .	300
9.3 Vacation . . . . .	301
9.4 Household Tags . . . . .	303
9.5 Combined Household . . . . .	304
9.6 Household Template . . . . .	307
9.7 Settlement Template . . . . .	311
<b>10 Results Improvements</b>	<b>318</b>
10.1 Device Tagging Set . . . . .	318
10.2 Affordance Tagging Set . . . . .	322
10.3 Household plans . . . . .	325
<b>11 Menus</b>	<b>330</b>
11.1 Menu File . . . . .	330
11.2 Menu Views . . . . .	331
11.3 Menu Basics . . . . .	331
11.4 Menu Households . . . . .	332
11.5 Menu Houses . . . . .	332
<b>12 Other Screens</b>	<b>334</b>
12.1 Calculation . . . . .	334
12.2 Settings . . . . .	336
<b>13 Result Files</b>	<b>338</b>
<b>14 Command Line Interface</b>	<b>340</b>
14.1 Database Content . . . . .	340
14.2 Batch File Creation . . . . .	340
14.3 Calculation . . . . .	341
14.4 Parallel Launcher . . . . .	344
<b>15 Conclusion</b>	<b>345</b>

# Chapter 1

## Introduction

The Load Profile Generator (LPG) is a tool for creating load profiles for the energy and water consumption in households. These profiles are meant to be used in other simulations as foundation for the analysis, for example, of optimal battery sizes, fuel cell sizes or demand side management systems.

This tool was created to help with research into new energy technologies, low voltage energy grids and energy storages. It is built upon a (drastically simplified) behaviour model from the German psychologist D. Dörner. This model says that every person has desires, which that person will try to fulfil. They decide on which activity to choose based on what would give them the maximum improvement in wellbeing at that moment.

The LPG provides a user interface to help the user put together a list of desires and an environment that enables the simulated people to fulfill those desires. Such an environment is either a household or a house. A household contains locations, which contain devices which offer possible actions (called affordances in psychology) to people.

The LPG contains a large number of predefined persons, devices and households, but it's not possible to cover every case. One important thing to consider when using the LPG is that the goal is not to create some mythic "average" household, but to create a large number of different, realistic individual cases. For example a shift worker, an office worker and an unemployed person all have very different life patterns and none of them is more "representative" than the other. So if one was to focus on only the office worker with the 9–5 job then the results of any simulations would completely neglect the other cases and be therefore not very useful.

The LPG tries to help with this problem by providing load profile for a number of sample cases and providing the tools for the user to create any kind of household that they might imagine.

## Chapter 2

# Features and Requirements

### 2.1 Features

The LPG has the following functions and features:

- It performs a behaviour simulation of the people in a household. This is used to determine their activities, which is then turned into a load curve.
- The person chooses the next activity based on their current desires. The desires are completely user defined.
- The activities are also user defined and called affordances in the LPG. They can contain an arbitrary number of devices each with different device profiles.
- There is a distinction between autonomous devices and user controlled devices. Autonomous devices consume energy independently from the user. Examples are fridges, circulation pumps and standby devices. User controlled devices for example are the TV, the light or the stove. Devices can be contained in both categories, for example turned on it's user controlled, but a TV in standby might be autonomous.
- The LPG enables the modelling of different load types, such as electricity, water consumption, gas, space heating or others. The load types are freely customisable.
- There is a small module for the simulation of household infrastructure included that lets you simulate at least very basic systems and that provides a basis for a first rough estimate of the consumption of such household infrastructure.
- Automatic configuration of the devices in a household based on energy intensity settings.
- Devices use different device profiles based on the activities.
- Flexible time limits for activities with boolean conditions make it possible to model, for example, that gardening only happens at outside temperatures above 15 °C , during sunshine and not on sundays.
- For joint activities such as eating, going out or watching TV there is the feature of sub-affordances.

- All the elements are assembled into household.
- It is possible to define household traits such as “gardener” or “home cinema enthusiast”. This makes the modelling easy and quick since households can be easily put together from these predefined elements.
- Houses can be assembled from one or multiple households.
- Houses can be assembled to settlements to simulate entire villages or city blocks.
- The model includes holidays, vacations and location.
- Automatic calculation of dusk and dawn and automatic light activation.
- Flexible time resolution from seconds to days.
- Custom start and end dates.

## 2.2 Requirements

For running the LPG the following requirements must be met:

- A reasonable fast computer
- At least 500 MB of free memory
- If houses are calculated, then the memory requirements per household is about 500–1000 MB.
- Sufficient hard drive space to save the calculations. The LPG offers a lot of options for output files and result analysis. In the minimum configuration about 100 - 200 MB of result files are generated. But if a detailed analysis is desired then up to 10 GB of files per household are generated.

# Chapter 3

## Basics

When opening the program for the first time, the screen the user will see is fig. 3.1.

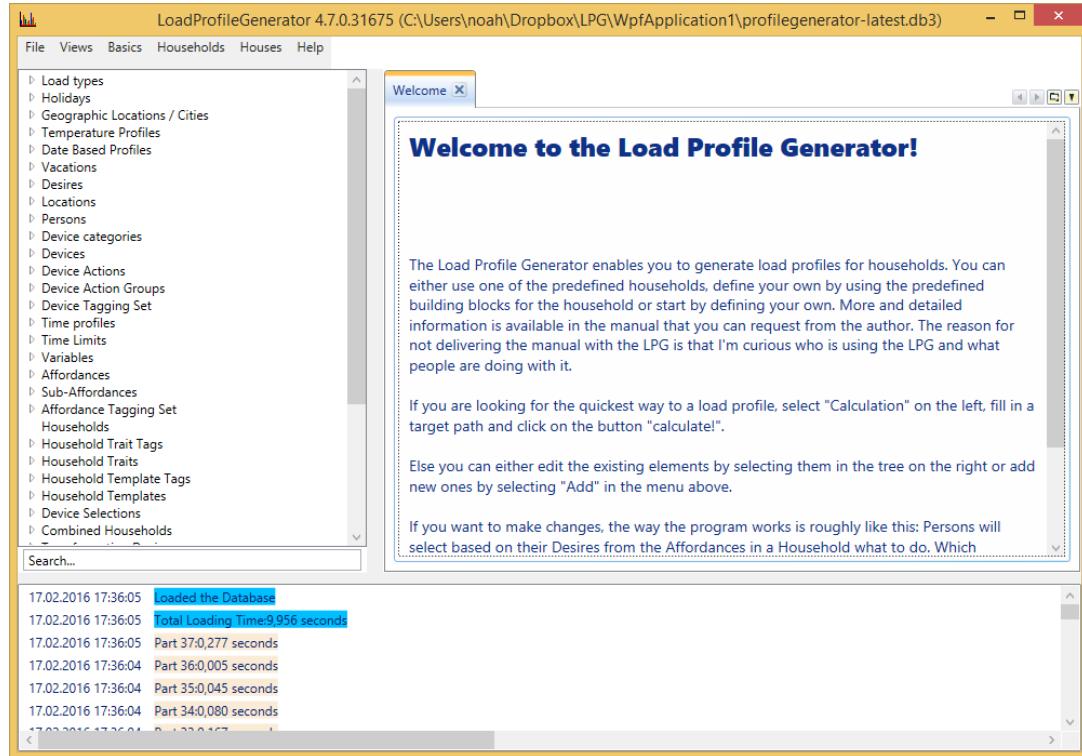


Figure 3.1: Starting screen

The basic concept is rather simple:

- In the top of the window is the menu for file operations, for adding new elements to the database and for special views.
- On the left is a tree structure which shows all the elements in the database.
- On the right is the tab control which will show the individual elements.

- At the bottom is the logging window for messages from the program and for debugging if needed.

Other relevant information:

- All data is automatically saved in a SQLite database.
- There is no save button, because closing a tab instantly saves everything
- There is no undo function either. So if you are working on a large project it is recommended to keep a few backup copies of the database.

## Chapter 4

# Structure of this Document

Because in the course of the development of the LPG a lot of different elements were added, it is helpful to organise them a bit. One approach is organising by development area, as shown in Figure 4.1. This is also the structure for the main part of this manual.

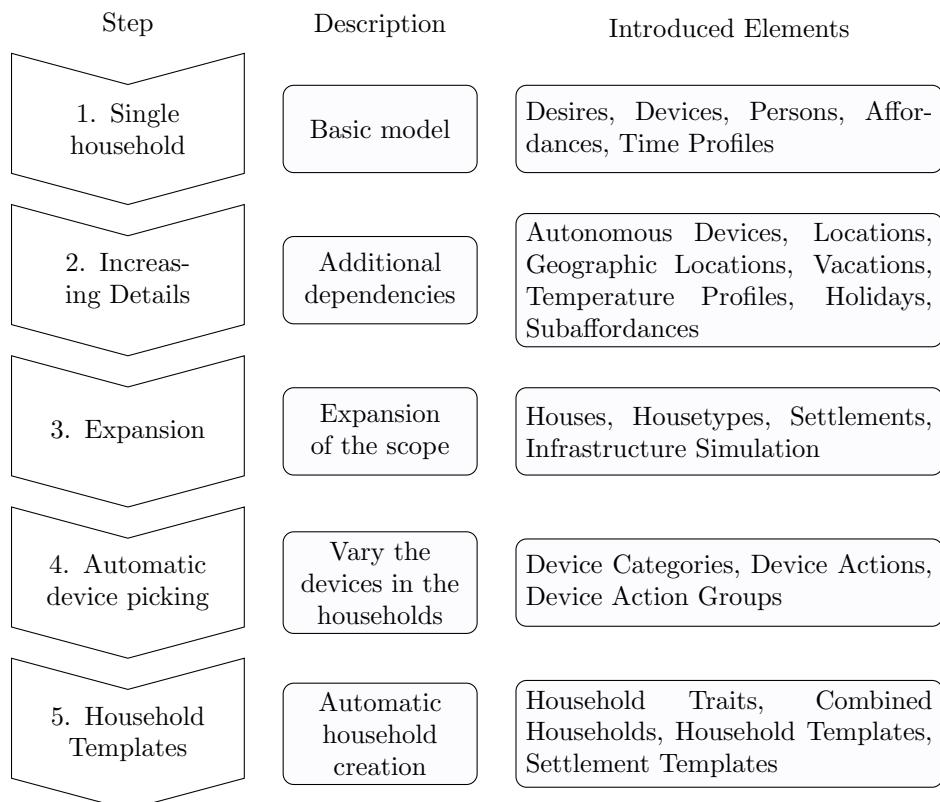


Figure 4.1: Steps during the creation of the model

# Chapter 5

## Basic Model for a household

This chapter contains the descriptions of the following elements:

- Load Type
- Desire
- Time Profile
- Device
- Location
- Time Limit
- Affordance
- Household.

For each of the elements the user interface and the individual fields are described in detail. The elements in this chapter interact as shown in fig. 5.1. Additionally the data structure is shown in fig. 5.2. “Affordance” is a term from the field of psychology and means a potential activity.

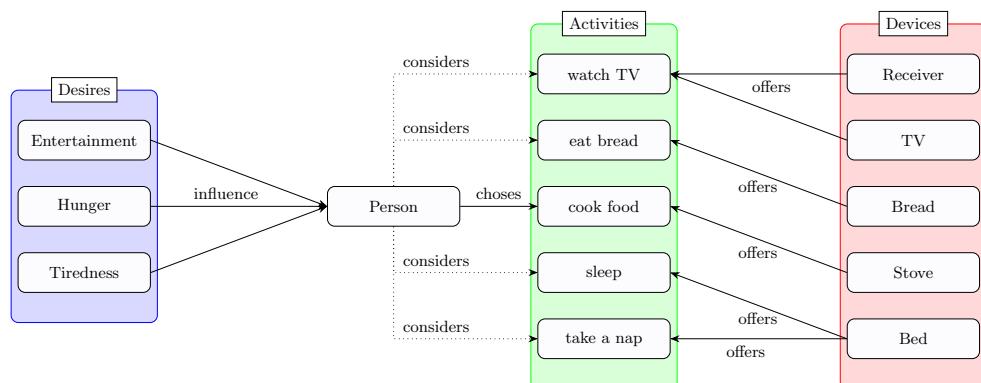


Figure 5.1: Interaction of the elements of the basic model

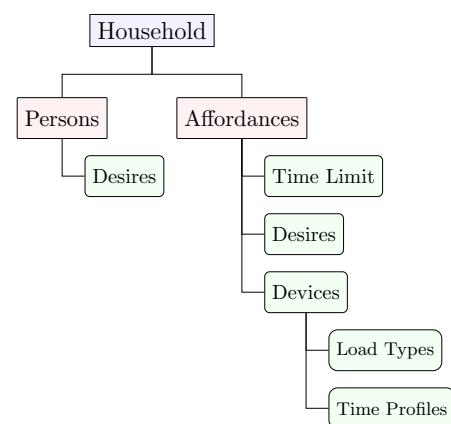


Figure 5.2: Elements used for the basic model

## 5.1 Load Type

The load types are the basic element for calculating all energy use. The different load types determine what is being calculated by the LPG. Predefined are, for example, electricity, gas, warm- and cold water. It would also be possible to add meters walked, kilometers driven or anything else that should be kept track of. The screen for this element is shown in fig. 5.3.

**General**

A load type is a something that the load profile generator should keep track of. It can be electricity, gas, consumed cola or even driving kilometers. there are two units. One is the unit of power, which describes an intensity per time unit. Examples are "Watt", "L/min", "Glasses/hour", "km/h". The other is the unit for adding up. Examples for that would be "kWh", "Liter", "Glasses" or "km driven".

Name	Electricity
Name of the unit of power, f.ex. Watt	Watt
Name of the unit of sums, f.ex. kWh	kWh
Load Type Weight	1

The load type weight is for calculating the energy intensity of a device. For example if you think that 1L water is worth 2 kWh, then you would give the cold water a weight of 2 and electricity a weight of 1.

**Unit Conversion**

Please fill in these numbers for the correct conversion:

Running at [ Watt ] (f.ex. 1000 Watt)	1000,00
for this timespan (f.ex. 01:00:00)	01:00:00
will give this sum in [ kWh ] (f.ex. 1 kWh)	1

**Examples**

Here you can double check the conversion to make sure the conversion factor is calculated correctly.

Test with	1000,00
-----------	---------

1000 Watt for 1 second is 0,0002777777777778 kWh  
 1000 Watt for 1 minute is 0,0166666666666667 kWh  
 1000 Watt for 15 minute is 0,25 kWh  
 1000 Watt for 1 hour is 1 kWh  
 1000 Watt for 1 day is 24 kWh

Figure 5.3: Overview of the element 'Loadtype'

### 5.1.1 General

**General**

A load type is a something that the load profile generator should keep track of. It can be electricity, gas, consumed cola or even driving kilometers. there are two units. One is the unit of power, which describes an intensity per time unit. Examples are "Watt", "L/min", "Glasses/hour", "km/h". The other is the unit for adding up. Examples for that would be "kWh", "Liter", "Glasses" or "km driven".

Name	Electricity
Name of the unit of power, f.ex. Watt	Watt
Name of the unit of sums, f.ex. kWh	kWh
Load Type Weight	1

The load type weight is for calculating the energy intensity of a device. For example if you think that 1L water is worth 2 kWh, then you would give the cold water a weight of 2 and electricity a weight of 1.

Figure 5.4: Section 'General' of the element 'Loadtype'

The settings in detail are:

- **Name**

The name of the element. Up to 200 characters long.

- **Name of the Unit of Power**

This is the name that is used for power. For electricity this is Watt, for water it is litre per minute and so on.

- **Name of the unit of sums**

This is the name that is used for sums, such as the yearly total. For electricity this is kWh (Joule would also be possible), for water this would be litres or cubic metres.

- **Load Type Weight**

This determines how important the load type is when picking a device from a device category. The LPG has the feature of automatically picking devices for a household, based on the setting for the energy intensity. For this a criteria is needed to compare different devices. This criteria is the load type weight. It enables the comparison of, for example, a dishwasher with 500 W and 50 L water to a dishwasher with 1000 W and 10 L water usage. Depending on your weights the higher water consumption is either more or less important.

### 5.1.2 Unit Conversion

Please fill in these numbers for the correct conversion:

Running at [ Watt ] (f.ex. 1000 Watt)	1000,00
for this timespan (f.ex. 01:00:00)	01:00:00
will give this sum in [ kWh ] (f.ex. 1 kWh)	1

Figure 5.5: Section 'Conversion' of the element 'Loadtype'

Because getting the conversion factor right can be frequently surprisingly tricky, the LPG doesn't ask for it. Instead it asks for the three values shown above and calculates the conversion factor from that.

### 5.1.3 Examples

The examples are just an additional safeguard to make really, really sure that the right conversion was entered.

**Examples**

Here you can double check the conversion to make sure the conversion factor is calculated correctly.

Test with 1000,00

1000 Watt for 1 second is 0,000277777777777778 kWh  
 1000 Watt for 1 minute is 0,0166666666666667 kWh  
 1000 Watt for 15 minute is 0,25 kWh  
 1000 Watt for 1 hour is 1 kWh  
 1000 Watt for 1 day is 24 kWh

Figure 5.6: Section 'Examples' of the element 'Loadtype'

## 5.2 Desire

Desires are exactly what they sound like: Based on the desires the person determines what to do next, which is the central idea around which the entire LPG is built. The interface for this is shown in fig. 5.7.

**General**

A desire is the basis for the decision process of the persons. The default values here get used whenever you add a new desire to a person.

Name	Cleaning / Bathroom
Default desire threshold [%]	50,00
Default decay rate [h]	72,00
Default weight	10,00
Critical threshold	-1,000000
Time to critical	forever
<input checked="" type="checkbox"/> Is this desire shared between all the persons?	
<b>Make an exact copy of this desire</b>	

**Uses**

Here you can get a list where this desire is used, if anywhere.

Name	Type	Information
H99	Person	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 72
Clean Bathroom 1	Household Trait	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 72
Clean Bathroom 2	Household Trait	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 150
Clean Bathroom 3	Household Trait	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 48
clean the bath	Affordance	Cleaning / Bathroom, Satisfaction: 100,00

Figure 5.7: Overview of the element 'Desire'

How the values interact is best understood with fig. 5.8. Note that the values entered here are just the default values. When adding the desire to a person or to a household trait, these values will be shown, but can be changed. A change here does not influence the values for already entered persons.

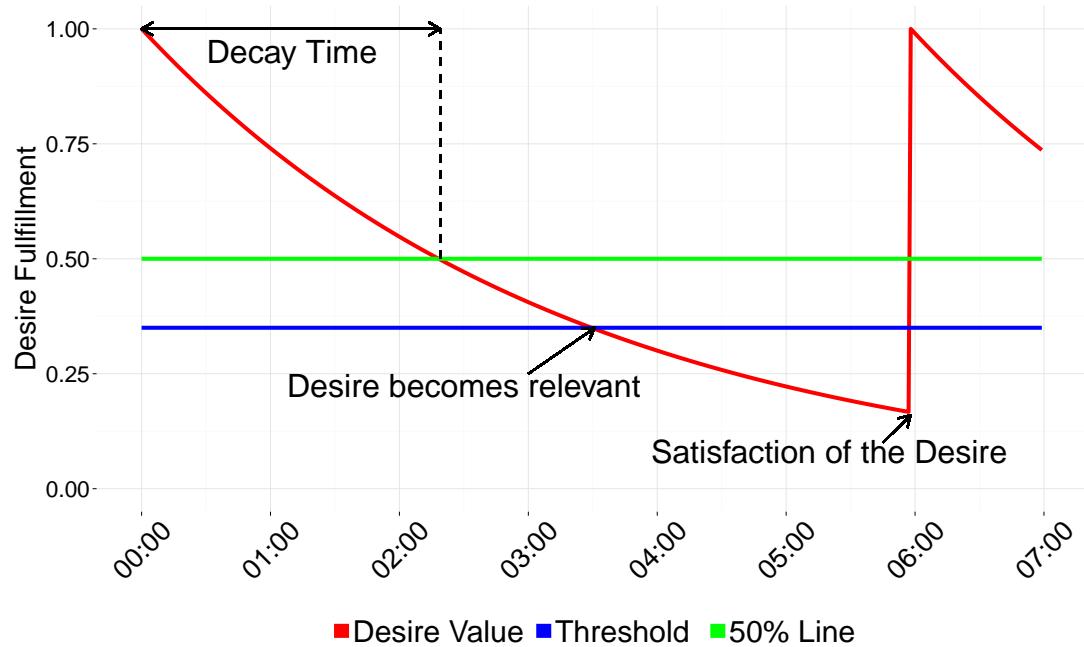


Figure 5.8: Interaction of the different values

### 5.2.1 General

General

A desire is the basis for the decision process of the persons. The default values here get used whenever you add a new desire to a person.

Name	Cleaning / Bathroom
Default desire threshold [%]	50,00
Default decay rate [h]	72,00
Default weight	10,00
Critical threshold	-1,000000
Time to critical	forever
<input checked="" type="checkbox"/> Is this desire shared between all the persons?	
<input type="button" value="Make an exact copy of this desire"/>	

Figure 5.9: Section 'General' of the element 'Desire'

- **Name**

Name for the desire.

- **Default Desire Threshold**

The threshold in the picture is the limit after which the people will start considering the desire. For example if the threshold is 50 % and the person recently ate and is at 75 % hunger satisfaction, then all food activities will basically have a satisfaction value of 0 %.

- **Default Decay Rate**

The decay rate describes how long it takes for a desire to reach 50 % of the starting value. For example a person with a decay rate of 5 h will be 50 % hungry after 5 h, 75 % hungry after 10 h and so on.

- **Default Weight**

The default weight is used to describe how important the desire is for the decision making. The weights are only relative values and are freely customizable. In the predefined households after quite a bit of testing the following values worked out well:

- 1000 for work and sleep
- 100 for food
- 2–10 for house work
- 1 for hobbies and entertainment

Without weights it is considerably more attractive for the persons to spend time in front of the TV instead of working, which is understandable, but not helpful for creating realistic profiles.

- **Critical Threshold**

To easily determine if people are starving or suffering from major lack of sleep, there is a report for critical threshold violations. The report shows a 1 for every time step where the critical threshold was violated and a zero for every other time step. Thus a simple sum over the column shows the size of the problem.

- **Is this desire shared between all the persons?**

Some activities only need to be done once per period, but multiple people can do it. For example cleaning might be done by both husband and wife. If they each get a cleaning desire, then both will clean the floors every week, which is not helpful for creating realistic profiles. When the desire is shared whoever has time first and nothing better to do will take over the cleaning for the week, which is far more realistic.

- **Make an exact copy of this desire**

Used mostly when creating a lot of desires for similar activities.

### 5.2.2 Used In

fig. 5.10 shows in which other elements this desire is used.

Name	Type	Information
H99	Person	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 72
Clean Bathroom 1	Household Trait	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 72
Clean Bathroom 2	Household Trait	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 150
Clean Bathroom 3	Household Trait	Cleaning / Bathroom, Weight: 10, Threshold: 0,5, Decay: 48
clean the bath	Affordance	Cleaning / Bathroom, Satisfaction: 100,00

Figure 5.10: Section 'Uses' of the element 'Desire'

### 5.3 Person

The element Person is used to model the people living in the household. The overview of the person view is shown in fig. 5.11.

Figure 5.11: Overview of the element 'Person'

#### 5.3.1 General

- **Name**

The name of the person. The persons from the predefined households also have the name of the household in the person name to make it easier to keep track of the hundreds of different persons that are already in the database.

Persons are the ones causing the energy use in households. Here you can define a person. Each person needs enough desires to keep them occupied. A person has normal desires, for example going to work or eat and different desires when sick. For example a sick person will not have the desire to go to work.

Name	CHR01 Rubi
Description	
Age	23
Sick days per year [d]	10
Average illness duration [d]	4
Gender	female
<b>Make an exact copy of this person</b>	

Figure 5.12: Section 'General' of the element 'Person'

- **Description**

A description for the person. Not used in any way, but sometimes helpful to remind you of something.

- **Age**

The age is used to limit the kind of activities the person can execute. For example a 6-year old should not cook by herself. For each affordance you can set the age range that the person has to be in, to be able to execute the affordance.

- **Sick days per year**

This sets the number of sick days for the person per year. This models that sick people have other desires than healthy people. For example they don't go to work, don't go out and sleep more. The sick days are randomly distributed over the entire year. Even if only one month is calculated still the distribution for the entire year is calculated. On the start of an illness the desires are switched over to the illness desires. The switch is always at 00:00 at night.

- **Average illness duration**

This determines the average illness duration. This is calculated using a random number generator with a normal distribution. The number entered here is the expectation value of the normal distribution.

- **Gender**

This is also used to set limits on the affordances. This makes it possible that women and men, for example, have different hygiene routines.

- **Make an exact copy of this person**

This makes a copy of the person, useful for adding new households quickly.

### 5.3.2 Desires

This area is for setting the desires for the person. How the desires work was already described in section 5.2. The values entered in the desires screen are offered as the default values when adding a desire, but every value can be changed.

Desires

Desire: Cleaning / Bathroom

Hours to reach 50% desire [h]: 72,00

Threshold for noticing the desire [%]: 50,00

Weight / Importance [no unit]: 10,00

Add / update desire | Remove desire

Desires for this person

Desire	Decay time [h]	Threshold [%]	Weight [no unit]

Figure 5.13: Section 'Desires' of the element 'Person'

### 5.3.3 Desires when ill

The desires switch over from the normal desires to these desires when the person becomes sick. Desires that don't exist in this list are automatically suspended on switching. That means that, for example, when a person has the desire to go out to bars once a week and gets sick, the desire to go out to a bar won't increase during the time when he is sick and he will completely ignore the desire, even if it is past the threshold.

Desires when ill

Desire: Cleaning / Bathroom

Hours to reach 50% desire [h]: 72,00

Threshold for noticing the desire [%]: 50,00

Weight / Importance [no unit]: 10,00

Add / update desire | Remove desire | Copy normal desires

Desires for this person

Desire	Decay time [h]	Threshold [%]	Weight [no unit]

Figure 5.14: Section 'Desires when ill' of the element 'Person'

### 5.3.4 Copy Desires from other Person

This button is used to copy all the desires from someone else to make it easier to add a new person.

**Copy desires from other person**

Persons	CHR01 Rubi
<b>Copy desires from this person</b>	
Desires for the selected person	Desire Decay time [h] Threshold [%] Weight [no unit]

Figure 5.15: Section 'Copy desires from other person' of the element 'Person'

### 5.3.5 Used By

This list shows in which households the person is used.

**Used by**

Here you can get a list which households use this person, if any.

refresh

Name	Description
CHR01 Couple both at Work	Combined Household
x CHR01 Couple both at Work 03	Combined Household
x CHR01 Couple both at Work 04	Combined Household
x CHR01 Couple both at Work 05	Combined Household
x CHR01 Couple both at Work 06	Combined Household
x CHR01 Couple both at Work 07	Combined Household
x CHR01 Couple both at Work 08	Combined Household
x CHR01 Couple both at Work 09	Combined Household

Figure 5.16: Section 'Used by' of the element 'Person'

## 5.4 Time Profile

Time profiles are used in affordances to set how long a device or a person will be busy. For devices it also determines the partial load. Figure 5.17 shows the overview for the element. It is possible to either import data from CSV files or to enter it directly. The individual time steps are always counted from the beginning of the profile and start at 0:00. The time resolution will be automatically adjusted to the time resolution of the calculation. In the predefined profiles the time resolution is always 1 min, since that proved to be a good compromise between accuracy and data volume.

There are two types of time profiles: *Absolute* and *Relative*. An absolute profile contains an absolute value for every timestep, for example: 00:00 1000 W, 00:01: 980 W, etc. A relative profile contains percentages that are multiplied with the maximum power consumption of the device that the profile is applied to. A relative profile might be 00:00 100 %, 00:05 40 % and so on. So relative profiles can be used with different devices, while absolute profiles are usually only applicable to a single device.

**General**

A time profile describes how much energy a device is using at what time. It's always expressed in percent of the maximum power of the device. The time is always counted from the beginning of the device activation. Time profiles are also used for persons. Each executing an affordance will make a person busy for a while. The person profile determines for how long. Any value other than 0 counts as busy.

Name: 0-01 min 100%

Time Profile Type: Relative

Data Source: Synthetic

Duration: 00:01:00

**Import data**

Path to the CSV file for import: [Browse]

Separator: [ ]

Column: 2

Header line count: 1

Time Span between Entries: 00:01:00

Refresh Preview Import Data

Preview

Results of the import: [Time]

**Time points**

Time: 00:00:00

Value [%]: 100

Add data point Remove data point Remove all data points Set last data point to the previous one if zero

Values	Time	Value [%]
00:00:00	00:00:00	100.00
00:01:00	00:01:00	0.00

**Used by**

Here you can get a list where this affordance is used.

Name	Type
Baumreit GTE 100, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTE 100, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Baumreit GTE 260, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTE 260, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Baumreit GTE 360, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTE 360, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Baumreit GTM 2511, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 Li-2, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Tools / OI	Device Action - Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 Li-2, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Tools / OI
Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 Li-2, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Tools / OI	Device Action - Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 Li-2, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Tools / OI
Coaster, Cupmatron / Bosch RGB 18 Li-2, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Tools / OI	Device Action - Coaster, Cupmatron / Bosch RGB 18 Li-2, 0-01 min 100%, Electricity, Group for Tools / OI

Figure 5.17: Overview of the element 'Time profile'

### 5.4.1 General

A time profile describes how much energy a device is using at what time. It's always expressed in percent of the maximum power of the device. The time is always counted from the beginning of the device activation. Time profiles are also used for persons. Each executing an affordance will make a person busy for a while. The person profile determines for how long. Any value other than 0 counts as busy.

Name	0 h 01 min 100%
Time Profile Type	Relative
Data Source	Synthetic
Duration	00:01:00

Figure 5.18: Section 'General' of the element 'Time profile'

- **Name**

The name for the time profile.

- **Time Profile Type**

This lets you set the type for the profile. The type is either relative or absolute.

- **Data Source**

A comment field used to keep track of where the profile is from.

- **Duration**

Shows the duration.

### 5.4.2 Import Data

This section is used to import data from a CSV file. This requires a file with measurements with equal time steps, for example one value every minute.

Path for the CSV file for import

Separator

Column

Header line count

Time Span between Entries

Preview

Results of the import 

Time	Value
00:01:00	100

Figure 5.19: Section 'Import data' of the element 'Time profile'

- **Path for the CSV file for import**

Here you can set the CSV file.

- **Separator**

The separator between the columns. In Germany this is usually “;”, in the US “,”.

- **Column**

This sets which column should be imported.

- **Header line count**

How many header lines to skip before starting the import.

- **Time Span between Entries**

This sets the distance between timesteps.

- **Refresh Preview**

To make the process a bit easier this button first generates a preview for verifying that all settings are correct.

- **Import Data**

Click this button to do the import.

#### 5.4.3 Time Points

This section contains the list of all the data points. Each data point has a time and a value. The time points don't need to be equidistant. So it's perfectly legal to have 0:00 with 100%, one at 0:05 with 60% and another at 0:06 with 50%. Missing values will be filled in with the last value so that the result is a step function.

Time	Value [%]
00:00:00	100
00:01:00	0,00

Figure 5.20: Section 'Time points' of the element 'Time profile'

- **Time**

When adding a new data point, enter the time from the beginning here, for example 0:05.

- **Value [%]**

Enter the value here.

#### 5.4.4 Graph

To visualise the result, a graph can be displayed that shows the entire time profile.

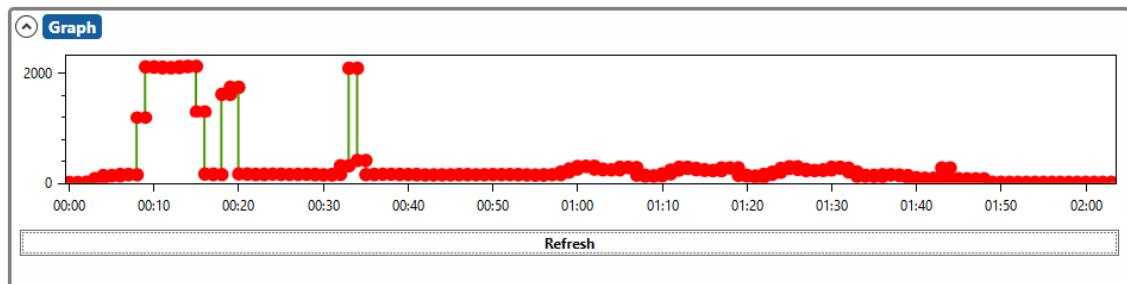


Figure 5.21: Section 'Graph' of the element 'Time profile' with an example from a washing machine

#### 5.4.5 Used By

And to help identify the impact of changes, a list of other elements that use this time profile is displayed here.

The figure shows a table titled 'Used by' with a refresh button at the top right. The table lists various devices that use the 'Time profile'. The columns are 'Name' and 'Type'. The list includes multiple entries for Bauknecht GTE 260, GTM 2511, and Bosch PSR 18 LI-2, along with other device actions and groupings.

Name	Type
Bauknecht GTE 260, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Bauknecht GTE 260, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for
Bauknecht GTE 260, 0 h 01 min 100% Electricity, Group for Appliances	Device Action - Bauknecht GTE 260, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for
Bauknecht GTE 260, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Bauknecht GTE 260, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for
Bauknecht GTM 2511, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Bauknecht GTM 2511, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group f
Bauknecht GTM 2511, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Bauknecht GTM 2511, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group f
Bauknecht GTM 2511, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for Appliances	Device Action - Bauknecht GTM 2511, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group f
Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 LI-2, 0 h 01 min 100%, Electricity, Group for Tools / O	Device Action - Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 LI-2, 0 h 01 min 100%
Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 LI-2, 0 h 01 min 100% Electricity, Group for Tools / O	Device Action - Cordless Screwdriver / Bosch PSR 18 LI-2, 0 h 01 min 100%

Figure 5.22: Section 'Used by' of the element 'Time profile'

## 5.5 Device

A device is used to model real devices, such as a washing machine, a TV or a shower. Figure 5.23 shows the overview.

Unfortunately not for every device measured device profiles are available. For these cases it is possible to use synthetic profiles that are based on experience or estimates. To make the total result more realistic when using synthetic profiles it is possible to have some random noise added to the profile to vary the energy use. Figure 5.24 visualizes the concept. In the device it is possible to set the standard deviation for the energy consumption and in the affordance it is possible to set the standard deviation for the duration of the activity.

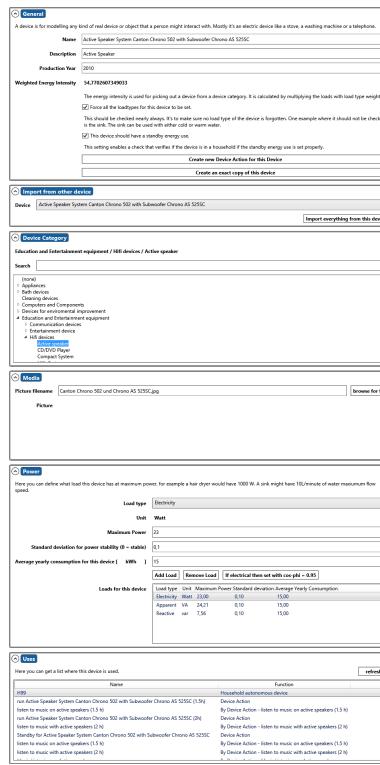


Figure 5.23: Overview of the element 'Device'

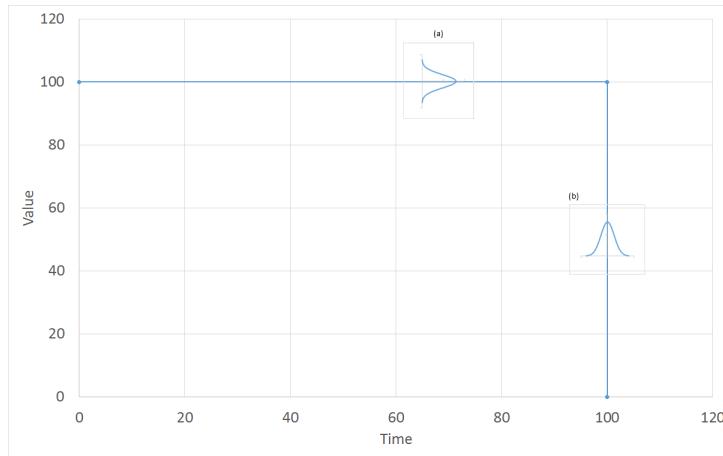


Figure 5.24: The two ways random noise can be added. a) adds random noise to the value, b) adds the noise to the duration.

### 5.5.1 General

General

A device is for modelling any kind of real device or object that a person might interact with. Mostly it's an electric device like a stove, a washing machine or a telephone.

<b>Name</b>	Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC
<b>Description</b>	Active Speaker
<b>Production Year</b>	2010
<b>Weighted Energy Intensity</b>	54,7702607349033

The energy intensity is used for picking out a device from a device category. It is calculated by multiplying the loads with load type weights.

Force all the loadtypes for this device to be set.

This should be checked nearly always. It's to make sure no load type of the device is forgotten. One example where it should not be checked is the sink. The sink can be used with either cold or warm water.

This device should have a standby energy use.

This setting enables a check that verifies if the device is in a household if the standby energy use is set properly.

[Create new Device Action for this Device](#)

[Create an exact copy of this device](#)

Figure 5.25: Section 'General' of the element 'Device'

- **Name**

This is the name of the device.

- **Description**

The description for keeping track of additional information about this device. Not used in the simulation.

- **Production Year**

For keeping track of information about the production year of the device. Not used in the simulation.

- **Weighted Energy Intensity**

Displays the weighted energy intensity. This is used as described in the load types to select devices to put into a certain household.

### 5.5.2 Import from other device

Sometimes it makes sense, when creating a new device, to copy all settings from another device and only change some values. This section provides the tools to accelerate that process.

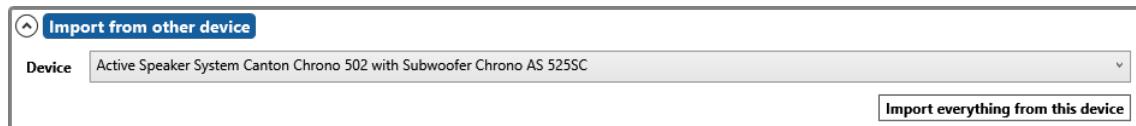


Figure 5.26: Section 'Import from other device' of the element 'Device'

### 5.5.3 Device Category

In this section the device category is selected. The device category will be explained in chapter 8. The idea behind having device categories is to help switching out different devices in households automatically.

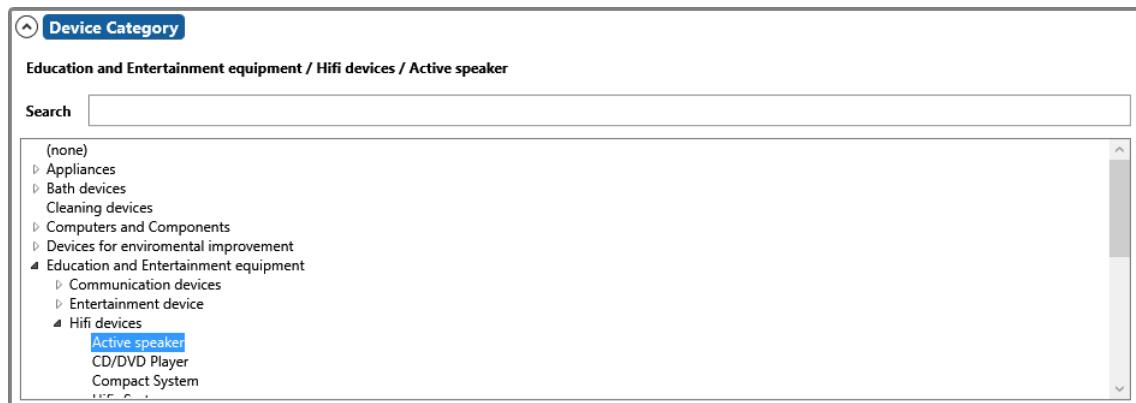


Figure 5.27: Section 'Device Category' of the element 'Device'

### 5.5.4 Media

Because frequently device names are rather mysterious, such as "AEG SBE 650 RX", it is possible to put in pictures to help remind the user. For copyright reasons the pictures are not available for download though. This has largely become obsolete by the automatic device picking features anyway, since they make it rarely necessary to work with the devices directly.

Media

Picture filename: Canton Chrono 502 und Chrono AS 525SC.jpg

browse for file

Picture

Figure 5.28: Section 'Media' of the element 'Device'

### 5.5.5 Power

In this section the energy consumption of the device is defined. This is used for all relative devices and for the device picking. A device can have one entry per load type. The device load profile is not set here, but on the affordance, because different affordances will result in the same device using different load profiles. For example the load from the stove is different when you are heating water vs. when you are cooking a 3 course meal.

Power

Here you can define what load this device has at maximum power, for example a hair dryer would have 1000 W. A sink might have 10L/minute of water maximum flow speed.

Load type: Electricity

Unit: Watt

Maximum Power: 23

Standard deviation for power stability (0 = stable): 0,1

Average yearly consumption for this device [ kWh ]: 15

Add Load | Remove Load | If electrical then set with cos-phi = 0.95

Load type	Unit	Maximum Power	Standard deviation	Average Yearly Consumption
Electricity	Watt	23,00	0,10	15,00
Apparent	VA	24,21	0,10	15,00
Reactive	var	7,56	0,10	15,00

Figure 5.29: Section 'Power' of the element 'Device'

- **Load type**

This is for selecting the load type.

- **Unit**

The unit of the load type is displayed here to remind the user.

- **Maximum Power**

This is the maximum power value for the device. For example for a 1000 W water cooker you would enter 1000 here.

- **Standard deviation for power stability (0 = stable)**

The standard deviation for the random variation of the time profile used. Entering 0 will turn this feature off. Experiments showed that a value of 0.1 gives good results for the predefined households.

- **Average yearly consumption for this device**

Here you can enter the average yearly consumption for this device for this load type. This will be shown in one of the report files as comparison value to help calibrate the simulation.

### 5.5.6 Uses

This section once again just shows where the device is used to make it possible to judge the impact of changes.

Name	Function
H99	Household autonomous device
run Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC (1.5h)	Device Action
listen to music on active speakers (1.5 h)	By Device Action - listen to music on active speakers (1.5 h)
run Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC (2h)	Device Action
listen to music with active speakers (2 h)	By Device Action - listen to music with active speakers (2 h)
Standby for Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC	Device Action
listen to music on active speakers (1.5 h)	By Device Action - listen to music on active speakers (1.5 h)
listen to music with active speakers (2 h)	By Device Action - listen to music with active speakers (2 h)

Figure 5.30: Section 'Uses' of the element 'Device'

## 5.6 Location

Locations are used primarily to organize the devices. The view for this is shown in fig. 5.31.

Locations can be either rooms in the house or external locations such as the workplace, the school or the supermarket. Each location can have one or more light devices, which are automatically turned on if all of the following conditions are met:

- someone is in the room and executing an affordance and
- the affordance has the flag set “Needs light” and
- the conditions set in the geographic location are met.

The geographic locations will be introduced in section 6.2.

The screenshot shows the 'Location' element overview page. It includes three main sections:

- General:** A description stating "A location is a part of a household where devices can be put. It can have a light device. An example would be a kitchen or a supermarket. Both are locations that people can go to." Below is a 'Name' input field containing "Balcony".
- Light Devices:** A description stating "Here you can add light devices to a location. The light device is turned on every time someone is in the room after dark if they are executing an activity marked with 'requires light'. The darkness is determined by the geographic location. In the geographic location you can set a time limit that determines when program should consider it to be 'dark'." Below are dropdown menus for 'Category or Device' (set to 'Device'), 'Device' (set to 'Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC'), and 'Loadtype' (set to 'Air Conditioning Load'). Buttons for 'Add Device' and 'Remove Device' are present. A 'Device Count' label shows '0'.
- Used by:** A description stating "Here you can get a list which households use this location, if any." Below is a table with two rows:

Name	Name
H99	Household - Autonomous - Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC
Balcony Decorating	Household Trait

Figure 5.31: Overview of the element 'Location'

### 5.6.1 General

The screenshot shows the 'General' section of the 'Location' element. It includes a description and a 'Name' input field:

A location is a part of a household where devices can be put. It can have a light device. An example would be a kitchen or a supermarket. Both are locations that people can go to.

**Name:** Balcony

Figure 5.32: Section 'General' of the element 'Location'

- **Name**

This is the name for the location.

### 5.6.2 Light Devices

- **Category or Device**

This lets you select if you want to add a specific device or a device category from which a device will be picked at calculation time.

- **Device**

This lets you select the device.

- **Category to add (not visible)**

This is for selecting the category.

**Light Devices**

Here you can add light devices to a location. The light device is turned on every time someone is in the room after dark if they are executing an activity marked with "requires light". The darkness is determined by the geographic location. In the geographic location you can set a time limit that determines when program should consider it to be "dark".

<b>Category or Device</b>	Device
<b>Device</b>	Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC
<b>Loadtype</b>	Air Conditioning Load
<input type="button" value="Add Device"/> <input type="button" value="Remove Device"/>	
<b>Device Count</b>	0
<b>Device Load Type</b>	

Figure 5.33: Section 'Light Devices' of the element 'Location'

- **Loadtype**

The load type is for selecting the load type that will be used. For example for a normal light bulb this would be electricity, but it would also be possible to have gas lighting.

### 5.6.3 Used by

This section simply shows where the location is used to help identify the impact of changes.

**Used by**

Here you can get a list which households use this location, if any.

Name	Name
H99	Household - Autonomous - Active Speaker System Canton Chrono 502 with S
Balcony Decorating	Household Trait

Figure 5.34: Section 'Used by' of the element 'Location'

## 5.7 Time Limit

The interface for the time limits is one of the most complicated ones in the program. Time limits are used for the following:

- Each affordance uses a time limit to determine when it is available to the people in the household. For example this can be used to ensure that the people only mow the lawn if the temperature is above 15 °C and if there is sunlight.
- Each autonomous device uses a time limit to determine if it is active. This is used, for example, to only activate the heating system when it is actually cold outside.

- Geographic locations use a time limit to determine when to turn on the light in the house.

The individual conditions can be joined with boolean operators and nested as deeply as needed. Figure 5.35 shows an overview.



Figure 5.35: Overview of the element 'Time Limit'

### 5.7.1 General

This screenshot shows the 'General' section of the 'Time Limit' configuration. It features a 'Name' input field containing 'Time Limit Demo'. Below the name, there is descriptive text: 'Here you can define conditions which are used to control when a device or affordance runs.'

Figure 5.36: Section 'General' of the element 'Time Limit'

- Name**

This is the name for the time limit which will be used when selecting it.

### 5.7.2 Import from other time limit

Because sometimes time limits are complicated and it's not much fun entering everything again just to change one number, this is an option to import everything from another time limit.



Figure 5.37: Section 'Import from other time limit' of the element 'Time Limit'

### 5.7.3 Times when a certain device is permitted to run

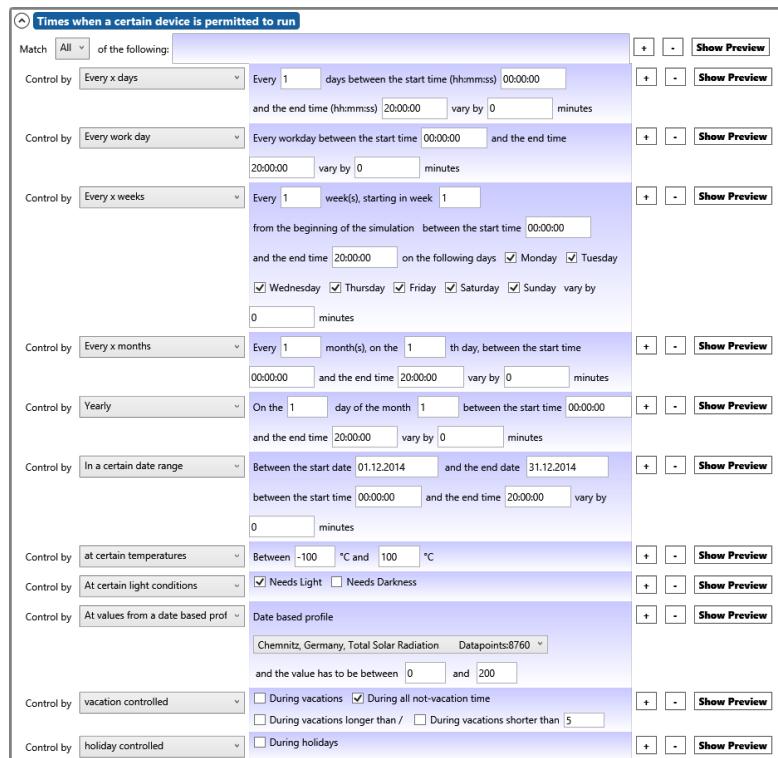


Figure 5.38: Section 'Times when a certain device is permitted to run' of the element 'Time Limit'

The options offered here are as follows:

- **Every x days**

For time limits such as “every second day between 6:00 and 8:00”.

- **Every work day**

For limiting the activities to work days. Workdays are Monday to Friday except holidays and bridge days. For shiftworkers and other schedules use the option below.

- **Every x weeks**

For conditions such as “every 2nd Tuesday”.

- **Every x months**

For conditions such as every month on the 3rd. Note that if a condition is set to only be executed on the 31st of the month, then it will only be executed on the months with 31 days.

- **Yearly**

To execute something only once a year.

- **In a certain date range**

To only permit something to happen in a certain date range. One use is to limit the Christmas lights to the period from the 1.12. to the 6.1.

- **At certain temperatures**

To limit something by the temperatures. This can be used for example to limit gardening to days which are reasonably warm.

- **At certain light conditions**

With this option a limit can be set that something only happens when there is daylight or only when there is no daylight. The daylight hours are calculated based on the longitude and latitude of the geographic location.

- **At values from a date based profile**

This provides a limit based on a date based profile. This is used for example for school holidays or to make the light turn on as soon as the solar global radiation falls below a certain value.

- **Vacation controlled**

Limits to either vacation time, not vacation time or to vacations above or below a certain duration. This is used for example to turn off stand by devices on vacations longer than 5 days.

- **Holiday controlled**

Only do something on holidays.

#### 5.7.4 Preview

Because complex conditions are sometimes difficult to figure out this area offers a preview function. The preview is only updated if the button “Show Preview” is clicked. There are two preview images. The first one is for the selected entry, that is the one where the button was clicked. The second image shows a preview for the entire time limit.

To use the preview function a temperature profile and a geographic location have to be selected. The preview itself is a carpet plot with grey for allowed and blue for forbidden times. The y-axis is from 0 to 24h and the x-axis reaches from day 1 of the year to day 365 of the year. If a preview of a vacation period is needed then a household has to be selected.

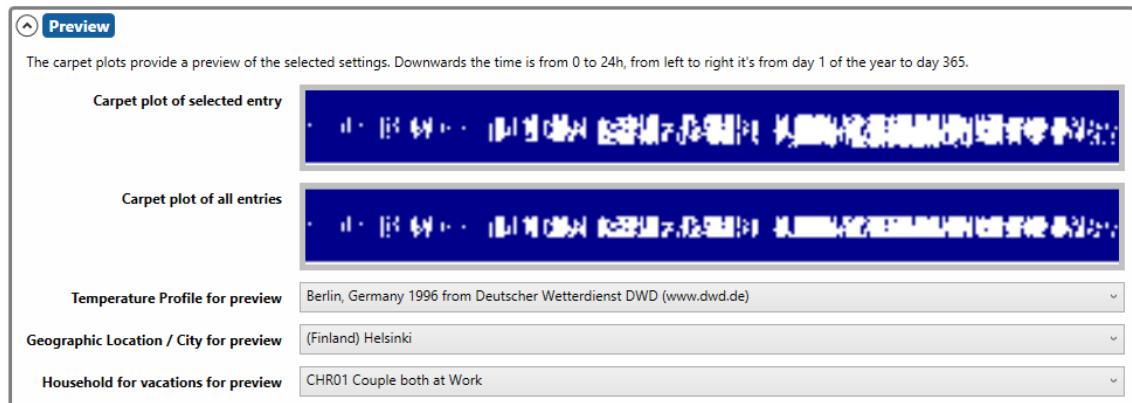


Figure 5.39: Section 'Preview' of the element 'Time Limit'

### 5.7.5 Uses

This shows where the time limit is used to judge the impact of changes.



Figure 5.40: Section 'Uses' of the element 'Time Limit'

## 5.8 Affordance

Affordances are potential actions. They are the connection between persons and devices. Because they fill a central role, they have a lot of different options, as can be seen in fig. 5.41.

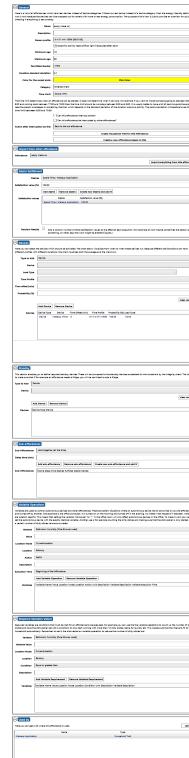


Figure 5.41: Overview of the element 'Affordance'

### 5.8.1 General

- **Name**

This is the name of the affordance.

- **Description**

In the description field additional information can be stored.

- **Person profile**

The person profile determines how long the person will be busy. Any value different from zero will be interpreted as busy. Breaks in person profiles are not permitted.

- **Does this activity need artifical light if executed after dark?**

This is the flag that determines if the light needs to be turned on as discussed in section 9.1.3.

- **Minimum age**

**Name:** apply make up

**Description:**

**Person profile:** 0 h 01 min 100% [00:01:00]

Does this activity need artificial light if executed after dark?

**Minimum age:** 16

**Maximum age:** 65

**Permitted Gender:** Male

**Duration standard deviation:** 0,1

**Color for the carpet plots:** Yellow (with a 'Pick Color' button)

**Category:** Entertainment

**Time Limit:** Above 15°C

The time limit determines when an affordance can be started. It does not determine when it can end. For example if you want to model someone going to between 8:00 and 9:00 and coming back between 17:00 and 18:00 then the time limit should be workdays between 8:00 and 9:00. It is usually better to have a bit of slack towards the end in case the person oversleeps or something like that, which depends in the standard deviation of the duration previous activity. The recommendation is therefore to set the time limit between 8:00 and 10:00.

Can this affordance interrupt others?

Can this affordance be interrupted by other affordances?

**Action after interruption by this:** Back to the old affordance

Create Household Trait for this Affordance

Create a new Affordance based on this

Figure 5.42: Section 'General' of the element 'Affordance'

This is used to set the minimum age that is required for the persons executing the affordance. The goal is, for example, to avoid simulating shaving 6-year-olds.

- **Maximum age**

The maximum age is used to prevent, for example, the dad from going to primary school.

- **Permitted Gender**

The permitted gender is used to limit activities to only male or only female.

- **Duration standard deviation**

This is the standard deviation which is used to randomly vary the length of the activity. Note that all device durations get also varied. This only makes sense for activities like cooking. Do not use this setting, for example, when setting a washing machine, since the specific washing cycle duration will not vary.

- **Color for the carpet plots**

One of the reports that the LPG can generate is a carpet plot. This option lets you set the color for the affordance in the carpet plot.

- **Category**

The category is used to calculate the time spent by each person per affordance category. The results are written to a report file at the end of the simulation. It

has become largely redundant with the introduction of the affordance tagging sets, which will be explained in section 10.2.

- **Time Limit**

The time limit determines when the affordance is available to the people in the house. Note that this limits the starting time of the affordance, not the end. So if you set a sleeping time from 21:00 to 23:00, that doesn't mean the people wake up at 23:01. It just means that people are only allowed to go to sleep in that time period.

- **Can this affordance interrupt others?**

Usually the people in the household only look for new things to do when they are actually finished with the previous activity. But in reality a lot of activities are interrupted, especially if people are living together. One example is the joint food intake when the mom calls the kids to dinner and the kids interrupt whatever they were doing. Another example is the alarm clock. This checkbox allows the current affordance to interrupt other affordances (at least those which can be interrupted). This function can also be used to make an alarm clock. Set the sleep affordance to being interruptable, create a new "alarm" affordance that lasts only one minute, is interrupting and is available every morning at 6:00 am and the alarm clock is finished.

- **Can this affordance be interrupted by other affordances?**

With this checkbox you can set if this is an activity that can be interrupted at all. For example sleep or watching TV should have this checked. Taking a shower or going to work probably not.

- **Action after interruption by this**

This option determines what should happen after the affordance was interrupted.

### 5.8.2 Import from other affordance

To make it easier to create a variation of an existing affordance, this feature makes it possible to import all the settings of the other affordance with one click.



Figure 5.43: Section 'Import from other affordance' of the element 'Affordance'

### 5.8.3 Desire fulfillment

In this section you can define which desires it satisfies and how much. In testing it turned out that mostly 100 % satisfaction is the easiest and most frequent setting. If there are multiple affordances that all provide the same satisfaction to a given desire then one of them gets picked randomly. This can be very useful, for example, to model different food

types: Create one affordance for each food type, give them all the same satisfaction value and the people will keep automatically varying between, for example, pizza, noodles and salad.

The screenshot shows a user interface for configuring an affordance's desire fulfillment. At the top, there is a header labeled 'Desire fulfillment'. Below it, a dropdown menu titled 'Desires' contains the option 'Spare Time / Makeup Application'. Underneath this, a field labeled 'Satisfaction value [%]' has the value '100,00' entered. Below these fields are three buttons: 'Add desire', 'Remove desire', and 'Create new Desire and add it'. To the right of these buttons is a table titled 'Satisfaction values' with one row: 'Spare Time / Makeup Application' and '100,00'. At the bottom left, there is a section titled 'Random Results' with a checkbox. The checkbox is checked, and next to it is the text: 'Add a random number of other satisfaction values to the effect at each execution. (For example at work maybe sometimes the person eats something, on other days the work might be entertaining etc.)'

Figure 5.44: Section 'Desire fullfillment' of the element 'Affordance'

- **Desires**

Pick the desire here.

- **Satisfaction value [%]**

This field is for entering the satisfaction value.

- **Random Results**

Additionally it's possible to make an affordance satisfy random other desires. The idea was that, for example, sometimes people eat at work, sometimes they are entertained, sometimes they have a pleasant conversation or even an overdose of coffee which takes away the need for a nap. The testing did not show this to be an improvement on the generated profiles. But since the code was already written the option stayed in so far because it doesn't seem to make things worse either. It is not used in the predefined households.

#### 5.8.4 Devices

In this section the devices needed for the affordance are defined. It is possible to select:

- A *Device*
- A *Device Category*
- A *Device Action*
- A *Device Action Group*

Everything except the device is explained in chapter 8. On adding a device you need to select which load type, which load profile and which time offset is wanted. For example when modelling a shower for men the following device profiles might be used:

- Electric shaver with 100 % for 2 min
- Shower with 100 % for 5 min, offset 4 min
- Shower with 100 % for 5 min, offset 12 min (after soaping)
- Hair dryer with 100 % for 10 min, offset 20 min

There is no upper limit to the number of devices in this section.

The setting for probability is to make it possible to integrate more variability into the affordances. Without this setting every execution of an affordance would be identical. For example at breakfast, if the toaster is integrated into the breakfast affordance, then the profile will show it is being used every morning. Obviously this is not realistic, since humans tend to vary things. By giving the toaster use, for example, a 90 % probability you can simulate that variability.

**Devices**

Here you can select the devices which should be activated. The chart below visualizes from when to when these devices run. Because different device actions can have different profiles with different durations, the chart visualizes both the average and the maximum.

Type to Add	Device
Device	Makeup Mirror
Load Type	None
Time Profile	01 h 0 min 100%
Time offset [min]	0
Probability [%]	100,00
<b>Add Device</b> <b>Remove Device</b>	
<b>Devices</b>	Device Type    Device    Time Offset [min]    Time Profile    Probability [%]    Load Type
	Device    Makeup Mirror    0    01 h 0 min 100%    100,00    None

Figure 5.45: Section 'Devices' of the element 'Affordance'

### 5.8.5 Standby

Another thing that needs to be considered is that a lot of affordances indirectly require standby devices. Using the computer requires a router, eating breakfast requires a fridge and so on. This section lists the devices required. These devices are then checked when putting the household or the household trait together, thus ensuring that everything is properly modelled.

Figure 5.46: Section 'Standby' of the element 'Affordance'

### 5.8.6 Sub-Affordances

Sub-Affordances are used to model joint activities, such as cooking together, eating together or going out together. These are explained in more detail in section 6.3. In this section of the affordance definition you can add as many sub-affordances as needed. They will become available to other people in the household after the affordance was started. The delay time is used to set how long after the start of the main affordance they become available.

Figure 5.47: Section 'Sub-Affordances' of the element 'Affordance'

### 5.8.7 Variable Operations

Not all activities depend only on the desires. Some activities also depend on other circumstances. For example in reality the dishwasher is turned on when it is full and the user has time to turn it on. To model these issues, variables were introduced. They can be used to keep track of how full the dishwasher is, if the air dehumidifier needs to be turned on or if laundry needs to be done. Variable operations on an affordance are used to perform operations on variables, such as adding to them, subtracting from them or setting them to a certain value.

To keep track of the dirty dishes, for example, each cooking affordance and each eating sub-affordance adds 1 to the dirty dishes count. The dishwasher affordance then subtracts 12 from the dirty dishes, but only gets executed if there are 12 or more dirty dishes.

Variable	Name	Value	Location Mode	Location	Action	Unit	Description	Variable	Execution Time
Bathroom Humidity [One Shower Load]			CurrentLocation	Balcony	SetTo				Beginning of the Affordance

Figure 5.48: Section 'Variable Operations' of the element 'Affordance'

- **Variable**

Select the variable to use here.

- **Value**

This is the value that should be added, subtracted or set to.

- **Location Mode**

The two options are “Current Location” and “Other Location”. Some things should always be kept in the same room as the affordance. For example if there are multiple bathrooms and you want to keep track when to turn on the dehumidifier, then obviously you want to count the humidity for each bathroom separately, so you would select “current location”. But for the dirty laundry it makes sense to count it centrally, for example, in the kitchen. For this you would select “other location” and “kitchen”. So this option lets you select where to count. Be aware that if you select “other location”, but the location doesn’t exist in the household, it won’t work.

- **Location**

This is the location to be used for counting.

- **Action**

The action determines what to do to the variable.

- **Description**

This field is just to keep notes.

- **Execution Time**

Sometimes the variable needs to be set at the beginning of the affordance, but at other times it needs to change after the last person or the last device is finished. One example for each case:

- When eating the dirty dishes are available for the dishwasher, when the last person has finished eating.
- When doing laundry, the wet laundry can be hung up after the last device, that is the washing machine has finished.
- When turning on an office computer that will run the entire day, then the electricity consumption will start as soon as the affordance is started.

### 5.8.8 Required Variables Values

This is the matching counterpart to the variable operations. In this section it is possible to define, which requirements must be met before this affordance is available. For example the dishwasher in the previous example should of course only run if there are equal to or more than 12 dishes.

▲ **Required Variables Values**

Required variables are conditions that must be met for an affordance to be executed. For example you can use the variable operations to count up the number of dirty dishes and have the dishwasher set with a condition to only start running with more than 10 dirty dishes. Same for laundry etc. This makes sure that the intervals fit to the household automatically. Remember to set in the dishwasher an variable operation to reduce the number of dirty dishes too!

Variable	Bathroom Humidity [One Shower Load]
Variable Value	
Location Mode	CurrentLocation
Location	Balcony
Condition	Equal or greater than
Description	
<input type="button" value="Add Variable Requirement"/> <input type="button" value="Remove Variable Requirement"/>	
Variables	Variable Name Value Location Mode Location Condition Unit Description Variable Description

Figure 5.49: Section 'Required Variables Values' of the element 'Affordance'

- **Variable**

Selects the variable to use.

- **Variable Value**

Enter the comparison value here.

- **Location Mode**

This is again for choosing the location mode, as described in for the variable operations.

- **Location**

The location used for counting.

- **Condition**

The condition determines how the comparison should be made. The available comparison modes are:

- smaller than
- smaller or equal to
- equal to
- bigger than,
- bigger or equal to

- **Description**

Again a field to keep notes.

### 5.8.9 Used by

This section shows where the affordance is used to be able to judge the impact of changes.

 Used by	
Here you can get a list where this affordance is used.	
Name	Type
Makeup Application	Household Trait

Figure 5.50: Section 'Used by' of the element 'Affordance'

## 5.9 Household

*Households* put all the elements mentioned in this chapter together. The interface for this is shown in fig. 5.51. Households have been made largely obsolete by the introduction of the *household traits* (section 9.1) and the *combined households* (section 9.5), but they still have their uses. And because they came first, understanding them helps with understanding the later developments.

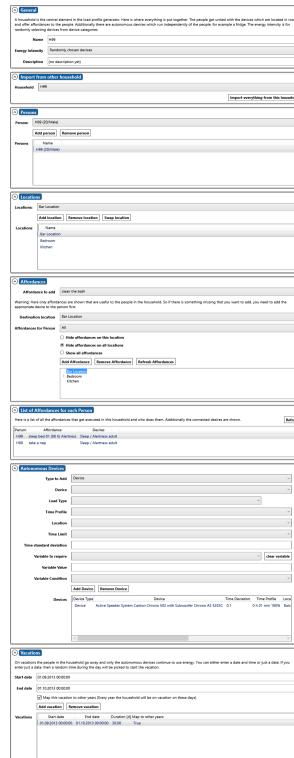


Figure 5.51: Overview of the element 'Household'

### 5.9.1 General

General	
<p>A household is the central element in the load profile generator. Here is where everything is put together. The people get united with the devices which are located in rooms and offer affordances to the people. Additionally there are autonomous devices which run independently of the people, for example a fridge. The energy intensity is for randomly selecting devices from device categories.</p>	
Name	H99
Energy Intensity	Randomly chosen devices
Description	(no description yet)

Figure 5.52: Section 'General' of the element 'Household'

- Name

This is the name of the household. The predefined households used to be numbered to help with keeping track of them. The numbers used were H01, H02 and so.

- **Energy Intensity**

The energy intensity setting is used to determine what devices to add, if the affordances used in this household were defined using abstracted devices. The concept behind the abstracted devices will be explained in chapter 8.

- **Description**

The description is simply for taking notes.

### 5.9.2 Import from other household

To make it easier to create a new household, this option lets you import all the settings from an existing household to provide a template.

Figure 5.53: Section 'Import from other household' of the element 'Household'

### 5.9.3 Persons

Here the persons can be added to the household. There is no limit to the number of persons, but the memory usage and the time consumption of the calculation increase linear with the number of people.

Figure 5.54: Section 'Persons' of the element 'Household'

### 5.9.4 Locations

In this section it is possible to add as many locations as needed to a household. The program requires only a single location in a household, but it is recommended to organise things a bit more.

Locations	Name
Bar Location	
Bedroom	
Kitchen	

Figure 5.55: Section 'Locations' of the element 'Household'

### 5.9.5 Affordances

In this section the affordances can be added.

Bar Location	Bedroom
Bar Location	Kitchen

Figure 5.56: Section 'Affordances' of the element 'Household'

- **Affordance to add**

Select the affordance here.

- **Destination location**

And select the location to put it here.

The other options are to filter the the number of displayed affordances. Because there are hundreds of affordances included in the LPG, things can get a bit confusing. To reduce the chaos only affordances are shown which would actually be useful to the people in the household, that is, affordances that fill at least one desire they have.

### 5.9.6 List of Affordances for each Person

The affordances are not limited to one person, but every person with an appropriate desire can execute one. This list should help to figure out, who will end up with which

affordances.

Person	Affordance	Desires
H99	sleep bed 01 (08 h) Alertness	Sleep / Alertness adult
H99	take a nap	Sleep / Alertness adult

Figure 5.57: Section 'List of Affordances for each Person' of the element 'Household'

### 5.9.7 Autonomous Devices

To model the already mentioned autonomous devices such as fridges or standby devices, they can be entered here.

Devices	Device Type	Device	Time Deviation	Time Profile	Loca
	Device	Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC	0,1	0 h 01 min 100%	Balc

Figure 5.58: Section 'Autonomous Devices' of the element 'Household'

- **Type to Add**

Select here what type of device to add. A device is a normal device. Device categories, device actions and device action groups were already mentioned and will be explained in more detail in chapter 8.

- **Time Profile**

This is for selecting the time profile.

- **Time Limit**

The time limit determines when the device is allowed to start. The time profile is continuously repeated as long as the device is permitted, but it isn't stopped when the permitted time runs out. So if a device is allowed to run from 8:00 to 10:00 and you assign a 20 h profile, then it will still run for the entire 20 h. So a short time profile for an autonomous device makes the device conform more tightly to the time limit.

- **Duration standard deviation**

This is the standard deviation for the duration of the time profile. This is needed for example for fridges. Fridges are usually running for a few minutes and then go into standby for a certain time period. If there is no noise added to the duration, then in a settlement with 1000 fridges they will be exactly synchronised, which leads to unrealistic peaks.

### 5.9.8 Vacations

In this section vacation times can be entered for this household. During vacation times the people are not at home and only the autonomous devices continue running (unless prevented from doing so by a time limit)

Vacations	Start date	End date	Duration [d]	Map to other years
	01.09.2013 00:00:00	01.10.2013 00:00:00	30,00	True

Figure 5.59: Section 'Vacations' of the element 'Household'

# Chapter 6

## More Details

In this section the simulation elements are introduced, which are needed to increase the level of detail of the model to make the simulations more accurate.

### 6.1 Holiday

In the holiday element you define holidays for the households. A holiday is used by the time limit setting “workday” to determine if a person is working on a given day or not. Figure 6.1 shows the overview.

The screenshot displays the 'Holiday' configuration interface with three tabs:

- General:** This tab contains fields for 'Name' (set to '(Worldwide) 12/24 Christmas') and 'Description' (set to 'Christmas Eve'). A note below states: "Holidays are days where people don't work. Here you can enter the different holidays in your country and the dates when they occur. Since a lot of holidays are on different day each year, you have to enter the date for each year."
- Dates:** This tab allows entering specific dates for the holiday. It includes a 'Date' field (set to '24.12.2010'), 'Add Date' and 'Remove Date' buttons, and a dropdown list of previous years' dates from 2010 to 2016.
- Additional Vacation Days:** This tab is for setting probabilities of taking vacation days off on specific weekdays if a holiday falls on that day. A table titled 'Probability to take these days off' shows the following data:

Weekday of holiday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
Monday	0	100	100	100	100
Tuesday	0	0	100	100	100
Wednesday	0	0	0	100	100
Thursday	0	0	0	0	100
Friday	0	0	0	0	0

Figure 6.1: Overview of the element 'Holiday'

### 6.1.1 General

Name	(Worldwide) 12/24 Christmas
Description	Christmas Eve

Figure 6.2: Section 'General' of the element 'Holiday'

- **Name**

This is the name of the holiday.

- **Description**

This is for taking notes.

### 6.1.2 Dates

This is a simple list of dates. In the LPG all German holidays between 2010 and 2020 are predefined. The amount of holidays with frequently very strange rules on when they actually occur (4 weeks after the 3rd full moon with a high tide, but only if the groundhog didn't spot his own shadow or similar) didn't make it seem like a reasonable idea to integrate any sort of algorithms to calculate the holidays automatically. So the user just has to enter all the days manually for all the years that should be simulated.

Date	24.12.2010									
Add Date	<input type="button" value="Remove Date"/>									
Dates	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Date</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Freitag, 24. Dezember 2010</td> </tr> <tr> <td>Samstag, 24. Dezember 2011</td> </tr> <tr> <td>Montag, 24. Dezember 2012</td> </tr> <tr> <td>Dienstag, 24. Dezember 2013</td> </tr> <tr> <td>Mittwoch, 24. Dezember 2014</td> </tr> <tr> <td>Donnerstag, 24. Dezember 2015</td> </tr> <tr> <td>Samstag, 24. Dezember 2016</td> </tr> <tr> <td>Sonntag, 24. Dezember 2017</td> </tr> </tbody> </table>	Date	Freitag, 24. Dezember 2010	Samstag, 24. Dezember 2011	Montag, 24. Dezember 2012	Dienstag, 24. Dezember 2013	Mittwoch, 24. Dezember 2014	Donnerstag, 24. Dezember 2015	Samstag, 24. Dezember 2016	Sonntag, 24. Dezember 2017
Date										
Freitag, 24. Dezember 2010										
Samstag, 24. Dezember 2011										
Montag, 24. Dezember 2012										
Dienstag, 24. Dezember 2013										
Mittwoch, 24. Dezember 2014										
Donnerstag, 24. Dezember 2015										
Samstag, 24. Dezember 2016										
Sonntag, 24. Dezember 2017										

Figure 6.3: Section 'Dates' of the element 'Holiday'

### 6.1.3 Additional Vacation Days

This section is for entering probabilities for additional vacation days. For example if a holiday happens on a Thursday, then entering a 80% for Friday would mean an 80% chance that the people where this holiday applies will take the Friday after the holiday as vacation day and stay home. These vacation days always apply to the entire household.

 Additional Vacation Days

If a holiday is on for example a Thursday, there is a high chance that a lot of people will take a vacation day on Friday. Here you can set the probabilities for how likely people are to take a day off, if this holiday falls on a particular weekday. Enter the probability as a number between 0 and 100.

Weekday of holiday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
Monday	0	100	100	100	100
Tuesday	0	0	100	100	100
Wednesday	0	0	0	100	100
Thursday	0	0	0	0	100
Friday	0	0	0	0	0

Figure 6.4: Section 'Additional Vacation Days' of the element 'Holiday' with values for Christmas Eve

## 6.2 Geographic Location

Geographic Locations are used to model that the household is at a certain city. The overview is shown in fig. 6.5. The geographic location is used for three purposes:

- The longitude and latitude is used to calculate the sunrise and sunset times.
- The geographic location contains the setting which time limit to use to turn on the light at night.
- Each geographic location contains a list of the holidays that apply at this location.

The screenshot shows the 'Geographic Location' section with three tabs: 'General', 'Geographic Location', and 'Holidays'.  
**General Tab:**  
 - Name: (Germany) Chemnitz  
 - Time limit for light: Below 50W solar radiation  
**Geographic Location Tab:**  
 - Latitude Degree: 52  
 - Latitude Minute: 31  
 - Latitude Second: 10  
 - Latitude Direction: North  
 - Longitude Degree: 13  
 - Longitude Minute: 24  
 - Longitude Second: 30  
 - Longitude Direction: East  
**Holidays Tab:**  
 - Geographic location: (Finland) Helsinki  
 - Holiday: (Worldwide) 01/01 New Year Dates:11  
 - Buttons: Add Holiday, Remove Date, Replace all with identical holidays but with a 0 % bridge day probability  
 - Holiday list:  
 - (Worldwide) 01/01 New Year: Freitag, 1. Januar 2010, Samstag, 1. Januar 2011, Sonntag, 1. Januar 2012, Dienstag, 1. Januar 2013  
 - (Germany) 04/02 Karfreitag: Freitag, 2. April 2010, Freitag, 22. April 2011, Freitag, 6. April 2012, Freitag, 29. März 2013, Freitag, Montag, 5. April 2010, Montag, 25. April 2011, Montag, 9. April 2012, Montag, 1. April 2013, Montag, Samstag, 1. Mai 2010, Sonntag, 1. Mai 2011, Dienstag, 1. Mai 2012, Mittwoch, 1. Mai 2013, Donnerstag, 13. Mai 2010, Donnerstag, 2. Juni 2011, Donnerstag, 17. Mai 2012, Donnerstag, 9. Mai 2013, Montag, 24. Mai 2010, Montag, 13. Juni 2011, Montag, 28. Mai 2012, Montag, 20. Mai 2013, Montag, Sonntag, 3. Oktober 2010, Montag, 3. Oktober 2011, Mittwoch, 3. Oktober 2012, Donnerstag, 3. Oktober 2013, Sonntag, 31. Oktober 2010, Montag, 31. Oktober 2011, Mittwoch, 31. Oktober 2012, Donnerstag, 31. Oktober 2013

Figure 6.5: Overview of the element 'Geographic Location'

### 6.2.1 General

The screenshot shows the 'General' tab of the 'Geographic Location' section.  
**General Tab:**  
 - Name: (Germany) Chemnitz  
 - Time limit for light: Below 50W solar radiation

Figure 6.6: Section 'General' of the element 'Geographic Location'

- **Name**

This is the name for location.

- **Time limit for light**

Here you can pick the time limit to be used.

### 6.2.2 Geographic Location

In this section you need to enter the coordinates for the location. The internet has various mapping tools that provide this information for any place on earth.

The screenshot shows a form titled 'Geographic Location'. It contains fields for entering coordinates:

- Latitude Degree:** 52
- Latitude Minute:** 31
- Latitude Second:** 10
- Latitude Direction:** North
- Longitude Degree:** 13
- Longitude Minute:** 24
- Longitude Second:** 30
- Longitude Direction:** East

Figure 6.7: Section 'Geographic Location' of the element 'Geographic Location'

### 6.2.3 Holidays

In this section you can enter the list of holidays. The holidays can either be imported from another location or they can be entered manually.

The screenshot shows a form titled 'Holidays'. It includes the following elements:

- Geographic Location:** (Finland) Helsinki
- Import from this Geographic Location:** A button to import holidays from the selected location.
- Holiday:** (Worldwide) 01/01 New Year Dates:11
- Add Holiday**, **Remove Date**, **Replace all with identical holidays but with a 0 % bridge day probability**: Buttons for managing the holiday list.
- Holidays** table:
 

	Holiday Name
(Worldwide)	01/01 New Year
(Germany)	04/02 Karfreitag
(Germany)	04/05 Ostermontag
(Germany)	05/01 Tag der Arbeit
(Germany)	05/13 Christi Himmelfahrt
(Germany)	05/24 Pfingstmontag
(Germany)	10/03 Tag der deutschen Einheit
(Germany)	10/31 Reformationsfest

Figure 6.8: Section 'Holidays' of the element 'Geographic Location'

- Geographic Location**

If you want to import the holidays then select the other location here and press the button below.

- Holiday**

If you want to add holidays manually, select the holiday here and then press the button below.

- Replace all with identical holidays but with a 0 % bridge day probability**

If you want to perform an analysis of the impact of the bridge days, clone a location and then press this button.

## 6.3 Sub-Affordance

Sub-Affordances are dependent affordances. Examples are joining someone else for a joint meal, going shopping with someone or watching a movie together. They are used by adding the sub-affordance to a normal affordance.

The options available are a subset of the options for the normal affordances. There is no gender limit, because so far in the predefined sub-affordances, there was no case, where a gender limit was required. Figure 6.9 shows an overview.

**General**

A subaffordance is an affordance that only appears when another affordance is executed. For example if someone else has finished cooking, then there might be a subaffordance for all the other people in the household to eat the cooked food.

Name	cook together (all time)
Minimum age	0
Maximum age	99
<input checked="" type="checkbox"/> Can this subaffordance interrupt other affordances?	
<input type="checkbox"/> Can this subaffordance be interrupted by other affordances?	

**Desire fulfillment**

Desires: Food / Cooking together (all times)  
Satisfaction value [%]: 100,00  
  
   
**Satisfaction values**  

Desire	Satisfaction value [%]
Food / Cooking together (all times)	100,00
Special / Un-Hungry	100,00

**Variable Operations**

Variables are used to control autonomous devices and other affordances. One use of a variable operation in a subaffordance would be to count up the dirty dishes by 1 for every person joining the meal.

Variable	Dirty Dishes [Dish]
Variable Value	1
Variable Location Mode	Other Location (for example always the kitchen)
Location	Kitchen
Action	Add
Execution Time	When the person profile ends
<input type="button" value="Add Variable Operation"/> <input type="button" value="Remove Variable Operation"/>	
Variable Operations	Variable Name Variable Value Location Mode Location Action Execution Time
Dirty Dishes	1 Other Location (for example always the kitchen) Kitchen Add When the person profile ends

**Used by**

Here you can get a list where this sub-affordance is used.

Name	Type
cook together at all times	Subaffordance

Figure 6.9: Overview of the element 'SubAffordance'

### 6.3.1 General

- **Name**

This is the name of the sub-affordance.

- **Minimum age**

Enter the minimum age for the people allowed to use this sub-affordance here.

- **Maximum age**

This is the maximum age for using this sub-affordance here.

**General**

A subaffordance is an affordance that only appears when another affordance is executed. For example if someone else has finished cooking, then there might be a sub-affordance for all the other people in the household to eat the cooked food.

Name	cook together (all the time)
Minimum age	0
Maximum age	99
<input checked="" type="checkbox"/> Can this subaffordance interrupt other affordances? <input type="checkbox"/> Can this subaffordance be interrupted by other affordances?	

Figure 6.10: Section 'General' of the element 'SubAffordance'

- **Can this subaffordance interrupt other affordances?**

Just as described in section 5.8.1, there is the option to interrupt and to be interrupted. For most activities this should be enabled. If, for example, a joint meal subaffordance is not defined as "interrupting", then the chance that it will work as intended is really low, since that would require the children or the husband will finish their specific activities just in time to join the meal. The chance of this happening reliably every day is of course rather low.

- **Can this subaffordance be interrupted by other affordances?**

This is to mark activities that can be interrupted. This is rarely useful on sub-affordances.

### 6.3.2 Desire fulfillment

Subaffordances fulfil desires just like regular affordances. In this section you can define which desires are fulfilled. These can be completely different from the desires of the affordance.

**Desire fulfillment**

Desires	Food / Cooking together (all times)						
Satisfaction value [%]	100,00						
<input type="button" value="Add desire"/> <input type="button" value="Remove desire"/>							
Satisfaction values	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Desire</th> <th>Satisfaction value [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Food / Cooking together (all times)</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>Special / Un-Hungry</td> <td>100,00</td> </tr> </tbody> </table>	Desire	Satisfaction value [%]	Food / Cooking together (all times)	100,00	Special / Un-Hungry	100,00
Desire	Satisfaction value [%]						
Food / Cooking together (all times)	100,00						
Special / Un-Hungry	100,00						

Figure 6.11: Section 'Desire fulfillment' of the element 'SubAffordance'

### 6.3.3 Variable Operations

In this section the variable operations can be set. The options are exactly the same as described in section 5.8.7. There is no option to define requirements for variables because so far no use case could be identified.

**Variable Operations**

Variables are used to control autonomous devices and other affordances. One use of a variable operation in a subaffordance would be to count up the dirty dishes by 1 for every person joining the meal.

Variable	Dirty Dishes [Dish]												
Variable Value	1												
Variable Location Mode	Other Location (for example always the kitchen)												
Location	Kitchen												
Action	Add												
Execution Time	When the person profile ends												
<b>Add Variable Operation</b> <b>Remove Variable Operation</b>													
Variable Operations	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable Name</th> <th>Variable Value</th> <th>Location Mode</th> <th>Location</th> <th>Action</th> <th>Execution Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dirty Dishes</td> <td>1</td> <td>Other Location (for example always the kitchen)</td> <td>Kitchen</td> <td>Add</td> <td>When the person profile ends</td> </tr> </tbody> </table>	Variable Name	Variable Value	Location Mode	Location	Action	Execution Time	Dirty Dishes	1	Other Location (for example always the kitchen)	Kitchen	Add	When the person profile ends
Variable Name	Variable Value	Location Mode	Location	Action	Execution Time								
Dirty Dishes	1	Other Location (for example always the kitchen)	Kitchen	Add	When the person profile ends								

Figure 6.12: Section 'Variable Operations' of the element 'SubAffordance'

### 6.3.4 Used by

This list shows where the sub-affordance is used help with judging the impact of changes.

**Used by**

Here you can get a list where this sub-affordance is used.

Name	Type
cook together at all times	Subaffordance

Figure 6.13: Section 'Used by' of the element 'SubAffordance'

## 6.4 Variable

The concept of the variables was already introduced in section 5.8.7. The interface for entering a variable is shown in fig. 6.14.

**General**

A variable is used to keep track of things. For example a dishwasher is not run according to desires, but mostly according to the number of dirty dishes. With a variable it is possible to keep track of the dirty dishes and to only enable the dishwasher when there are enough dirty dishes.

Name	Bathroom Humidity
Description	(no description)
Unit	One Shower Load

**Uses**

Here you can get a list where this desire is used, if anywhere.

Name	Type	Information
take a shower (men)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower with electric air heater	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower with hair washing (women) (20 min hair drying)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower with hair washing (women) (5 min hair drying)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower without hair washing (women)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
turn on the dehumidifier below 15 °C outside after shower	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Subtract, Value 1
turn on the dehumidifier below 15 °C outside after shower	Affordance Requirement	Variable Bathroom Humidity, Equal or greater than, Value 1

Figure 6.14: Overview of the element 'Variable'

### 6.4.1 General

**General**

A variable is used to keep track of things. For example a dishwasher is not run according to desires, but mostly according to the number of dirty dishes. With a variable it is possible to keep track of the dirty dishes and to only enable the dishwasher when there are enough dirty dishes.

Name	Bathroom Humidity
Description	(no description)
Unit	One Shower Load

Figure 6.15: Section 'General' of the element 'Variable'

- **Name**

This is the name of the variable.

- **Description**

The description is to keep notes.

- **Unit**

The unit is important to clarify what is meant with a certain variable.

### 6.4.2 Uses

This section displays where the variable is used.

Name	Type	Information
take a shower (men)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower with electric air heater	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower with hair washing (women) (20 min hair drying)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower with hair washing (women) (5 min hair drying)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
take a shower without hair washing (women)	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Add, Value 1
turn on the dehumidifier below 15 °C outside after shower	Affordance Operation	Variable Bathroom Humidity, Subtract, Value 1
turn on the dehumidifier below 15 °C outside after shower	Affordance Requirement	Variable Bathroom Humidity, Equal or greater than, Value 1

Figure 6.16: Section 'Uses' of the element 'Variable'

## 6.5 Date Based Profile

*Date Based Profiles* are called that name to avoid confusion with the *Time Profiles*. *Time Profiles* have a relative time stamp counted from the beginning of the profile. *Date Based Profiles* have an absolute time stamp for every value, with year, month, day, hour and minute.

This element is used for a various purposes. Two examples are:

- A photo-voltaic system needs as input the solar radiation for each time step.
- School holidays can be modelled by having a time profile that has a 0 or a 1 for each day and a matching time limit which limits the school affordance to only days where the time profile has a 1.

The overview of the interface is shown in fig. 6.17. One thing to note is that every value in the profile must have a date. Dates are automatically mapped to different years. So if the profile contains values for the 03.01.2015 and you run a calculation for the year 2010, then the values will be applied on the 03.01.2010.

The date based profiles can have any resolution. For missing values always the last value will be used until the next value in the profile is encountered. One side effect of this is that you end up with a completely dark day if you use solar radiation values from a year without the 29.2. and you map those to a year with the 29.2.

The screenshot shows a software interface for managing a 'Date based profile'. It consists of four main sections:

- General:** Displays basic information: Name (Chemnitz, Germany, Direct Solar Radiation) and Description (Measurement Point at TU Chemnitz). A note explains the difference between time-based and date-based profiles.
- Import data:** Allows importing CSV data. Fields include Path for the CSV file for import, Separator, Time Column (set to 1), Data Column (set to 2), and Header line count (set to 1). Buttons for Refresh Preview and Import Data are present. A preview table shows the imported data.
- Values:** Shows a table of data points with columns Date / Time and Value. The table lists hourly values from 0.00 to 0.00 for the first 24 hours of January 1, 2007.
- Graph:** A blank area for displaying a graph of the profile data.

Figure 6.17: Overview of the element 'Date based profile'

### 6.5.1 General

This screenshot shows the 'General' section of the configuration interface. It includes:

- Name:** Chemnitz, Germany, Direct Solar Radiation
- Description:** Measurement Point at TU Chemnitz
- A note explaining the difference between time-based and date-based profiles.

Figure 6.18: Section 'General' of the element 'Date based profile'

- **Name**

This is the name of the profile.

- **Description**

This is the description for your own use.

### 6.5.2 Import data

In this section you can import a CSV file.

- **Path for the CSV file for import**

This is the path to the file to import.

**Import data**

Path for the CSV file for import:

Separator: :

Time Column:

Data Column:

Header line count:

**Preview**

Number	Time	Value

**Results of the import**

Figure 6.19: Section 'Import data' of the element 'Date based profile'

- **Separator**

This is the character that separates the columns in the file.

- **Time Column**

Enter the number of the column with the date and the time here.

- **Data Column**

This is the number of the column with the data.

- **Header line count**

Enter the number of header lines to be ignored here.

### 6.5.3 Values

In this section you can see the values of the profile and add or remove individual values.

**Values**

Date / Time:

Value:

**Values**

Date / Time	Value
01.01.2007 00:00:00	0,00
01.01.2007 01:00:00	0,00
01.01.2007 02:00:00	0,00
01.01.2007 03:00:00	0,00
01.01.2007 04:00:00	0,00
01.01.2007 05:00:00	0,00
01.01.2007 06:00:00	0,00
01.01.2007 07:00:00	0,00
01.01.2007 08:00:00	1,70

Figure 6.20: Section 'Values' of the element 'Date based profile'

#### 6.5.4 Graph

This shows a chart of the entire profile.

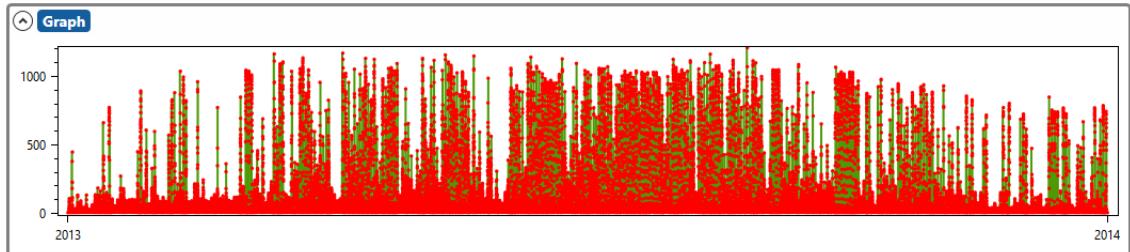


Figure 6.21: Section 'Graph' of the element 'Date based profile'

## 6.6 Temperature Profile

Temperature profiles work just like the date based profiles. They share most of the code and the only reason they get a special role is that temperatures fill a special role in the calculations. The overview of the interface for the temperature profiles is shown in fig. 6.22.

Date / Time	Value [°C]
01.01.1996 00:00:00	-8.3
02.01.1996 00:00:00	-7.10
03.01.1996 00:00:00	-2.20
04.01.1996 00:00:00	-6.00
05.01.1996 00:00:00	-3.60
06.01.1996 00:00:00	-3.70
07.01.1996 00:00:00	-0.60
08.01.1996 00:00:00	2.50

Figure 6.22: Overview of the element 'Temperature Profile'

**General**

A temperature profile contains (surprise!) temperature information. It is used for determining the permissions for affordances and autonomous devices. It can be any resolution, missing values are automatically filled in. So if your temperature profile only contains one value every day then it's assumed that the entire day until the next value is that temperature. It is strongly suggested to avoid using a resolution finer than 1h or 15 min due to performance.

Name	Berlin, Germany 1996 from Deutscher Wetterdienst DWD (www.dwd.de)
Description	Free data from www.dwd.de

Figure 6.23: Section 'General' of the element 'Temperature Profile'

### 6.6.1 General

- **Name**

This is the name for the temperature profile.

- **Description**

The description field can be used for notes.

### 6.6.2 Import data

The importing of data works just like the import on the date based profiles.

**Import data**

Path for the CSV file for import

Separator :

Time Column 1

Data Column 2

Header line count 1

Preview

Results of the import  Number Time Value [°C]

Figure 6.24: Section 'Import data' of the element 'Temperature Profile'

### 6.6.3 Temperatures

This section displays the temperature values and lets you add or remove individual values.

Temperatures		
Date / Time	01.01.1996 00:00:00	
Value [°C]	-8,3	
	Add data point	Remove data point
Values	Date / Time	Value
	01.01.1996 00:00:00	-8,30
	02.01.1996 00:00:00	-7,10
	03.01.1996 00:00:00	-2,20
	04.01.1996 00:00:00	-6,00
	05.01.1996 00:00:00	-3,60
	06.01.1996 00:00:00	-3,70
	07.01.1996 00:00:00	-0,60
	08.01.1996 00:00:00	2,50
	09.01.1996 00:00:00	1,20

Figure 6.25: Section 'Temperatures' of the element 'Temperature Profile'

# Chapter 7

## Scope Expansion

The next step in the development of the LPG is to expand the scope from the individual household to houses, multi-family-houses and entire settlements. This chapter also includes the rudimentary house infrastructure simulation which is integrated into the LPG.

This structure of this chapter is first an introduction to the three elements used for modelling the house infrastructure and then cover the houses and settlements.

### 7.1 Externally Controlled Generator

*Externally controlled generators* are used to model all generators that are controlled by external factors. The people in the household have no influence on it. Examples for this are a photovoltaic system or a wind turbine. This is very different from a Combined Heat and Power (CHP) plant which is controlled by demand. Figure 7.1 shows an overview of the interface.

The figure shows a software interface for configuring a 'Generator'. It consists of two main sections: 'General' and 'Parameters'.

**General Tab:**

- Name:** Photovoltaic System 100 kW
- Description:** New generator description

**Parameters Tab:**

- Loadtype:** PV Electricity Balance
- Selected Units:** [Watt] [kWh]
- Date Based Profile:** Chemnitz, Germany, Total Solar Radiation Datapoints:8760
- Factor:** -100

Figure 7.1: Overview of the element 'Generator'

### 7.1.1 General

A generator is any device that generates energy and is externally controlled. For example photovoltaic, wind energy and waste heat are all controlled by an external influence. They are modeled in the Load Profile Generator with a date based profile and a generator device. If you want to model a CHP device or a gas heater, this is probably not the right function, unless your CHP device is controlled externally, for example by a virtual power plant. For an ordinary gas heater, a transformation device would be better suited.

Name	Photovoltaic System 100 kW
Description	New generator description

Figure 7.2: Section 'General' of the element 'Generator'

- **Name**

This is the name of the generator.

- **Description**

The description field can be used for notes.

### 7.1.2 Parameters

These parameters determine what date based profile to use, which load type the generator should generate and if the profile should be scaled up or down (multiplied by a certain value).

Loadtype	PV Electricity Balance
Selected Units	[Watt] [kWh]
Date Based Profile	Chemnitz, Germany, Total Solar Radiation Datapoints:8760
Factor	-100

Figure 7.3: Section 'Parameters' of the element 'Generator'

- **Loadtype**

This field selects the load type (section 5.1) that will receive the values. Basically the LPG builds a table for every load type when performing the simulation. In this table every device is one column and every line is one timestep. This table is written to the "DeviceProfiles.\*"-files at the end of the simulation.

- **Selected Units**

The units here are just a reminder which units are required for the load type.

- **Date Based Profile**

This is for selecting one of the date based profiles from section 6.5.

- **Factor**

There are cases where it makes sense to multiply the values in a date based profile with a factor before using them. To avoid having to create and import a separate profile for each factor, a factor can be entered here that will be applied to all values

in the profile. One thing that might be counter-intuitive is that the LPG is a **LOAD** profile generator and therefore all the load is positive and energy generation is negative. So to convert positive solar radiation data with the unit Watt/m<sup>2</sup> to energy generation values for a 50 m<sup>2</sup> photovoltaic system with 10 % efficiency, use a factor of -5. (Of course there is quite a difference between solar radiation data and what really comes out of a PV system. So don't use solar radiation profiles to simulate a PV system unless you either really know what you are doing or you only need a very rough estimate.)

## 7.2 Energy Storage

Energy Storages are for example batteries or warm water tanks. The model integrated here is very rudimentary and doesn't include losses or, in the case of water tanks, mixing. If an accurate simulation of these properties is needed, the author recommends using for example polysun or TRNSYS. The overview for the energy storages is in fig. 7.4. The functioning of the energy storage is very simple:

- If the sum of the load type it is attached to is below zero, that is, if energy is being generated, then it will be in charging mode and absorb energy.
- If the sum of the load type is above zero, that is, if energy is being used, then it will discharge and provide energy.
- If the fill level falls under a threshold, then the tank can send a signal which can be used by another device to perform some kind of action, such as turning on a CHP plant which will recharge the tank.

The screenshot shows the configuration interface for an 'Energy Storage Device'. It consists of three main sections: 'General', 'Parameters', and 'Signals'.

- General:** A brief description of the device as a buffer for energy storage. Fields include 'Name' (10 kWh Battery) and 'Description' (New energy storage device description).
- Parameters:** Settings for tank size and load type.
  - 'Loadtype' is set to 'Electricity'.
  - 'Selected Units' is '[Watt] [kWh]'.
  - 'Storage Capacity' is 10 kWh.
  - 'Initial Fill' is 10 kWh.
  - 'Minimum storage rate' and 'Maximum storage rate' are both 0.
  - 'Minimum withdraw rate' and 'Maximum withdraw rate' are both 1000.
- Signals:** Conditions for sending signals.
  - 'Loadtype' is 'Signal Electricity Needed'.
  - 'Turn-On Trigger Level [%]' is 25.
  - 'Turn-Off Trigger Level [%]' is 75.
  - 'Value to send' is 1.
  - A table titled 'Signals' shows one entry: LoadType: Signal Electricity Needed, Turn On Level [%]: 25, Turn Off Level [%]: 75, Value: 1.

Figure 7.4: Overview of the element 'Energy Storage Device'

### 7.2.1 General

This screenshot shows the 'General' section of the configuration interface for an 'Energy Storage Device'.

- General:** A brief description of the device as a buffer for energy storage. Fields include 'Name' (10 kWh Battery) and 'Description' (New energy storage device description).

Figure 7.5: Section 'General' of the element 'Energy Storage Device'

- **Name**

The name for the energy storage.

- **Description**

This can be useful to keep notes.

### 7.2.2 Parameters

- **Loadtype**

This is the load type the tank is attached to, see section 5.1.

- **Selected Units**

This displays the units of the load type as a reminder.

These parameters determine the size of the tank and what load type it will buffer.

<b>Loadtype</b>	Electricity
<b>Selected Units</b>	[Watt] [kWh]
<b>Storage Capacity [ kWh ]</b>	10
<b>Initial Fill [ kWh ]</b>	10
The minimum and maximum store and withdraw rates determine, how much energy can be stored per time unit in the storage unit and how much can be withdrawn. For example a battery might have a certain minimum power requirement for the charger to work, like 50W and a certain maximum withdraw rate, like 3000W. If in the house grid there is only 25W left over in this timestep, the battery would not be charged.	
<b>Minimum storage rate</b>	0
<b>Maximum storage rate</b>	1000
<b>Minimum withdraw rate</b>	0
<b>Maximum withdraw rate</b>	1000

Figure 7.6: Section 'Parameters' of the element 'Energy Storage Device'

- **Storage Capacity**

Enter the storage capacity of the tank here, for example 10 kWh

- **Initial Fill**

This is the fill level of the tank at the beginning of the simulation, for example 5 kWh.

- **Minimum storage rate**

Some storages have limits on the flows that they can store or that can be withdrawn. These limits can be both for the minimum and the maximum amount. For example a battery will only be able to store energy if the current power is above a certain threshold and it will not store more than a certain amount per time step, depending on the AC/DC converter construction.

- **Maximum storage rate**

This is the maximum storage rate. If you enter 1000 W here, the tank will never store more than that, even if there are, for example, 2000 W of energy available.

- **Minimum withdraw rate**

The minimum withdraw rate works just like the minimum storage rate. It makes it possible to ensure that energy will only be withdrawn from the storage if the demand is above a certain level.

- **Maximum withdraw rate**

This is the maximum for the withdraw rate.

### 7.2.3 Signals

Signals are used to turn transformation devices on or off. They were put in about 2 years before the variables and can be seen as an early version. If this part is ever reworked, then signals will be replaced with variables, which are more flexible and more useful. With the

current implementation load types have to be abused as signal channels. So to send a signal from the hot water storage to the gas burner that it should create more hot water, you need a “hot water needed signal” load type and a transformation device, which acts upon that load type as input. This works, but isn’t really the intended use of load types and is rather counter intuitive.

One tank can send as many signals as needed. This makes it possible to model a storage tank that is usually filled with a solar thermal collector, if it gets below 50 % the CHP plant will get turned on and, if the fill level falls below 10 %, an emergency heater is turned on.

LoadType	Turn On Level [%]	Turn Off Level [%]	Value
Signal Electricity Needed	25	75	1

Figure 7.7: Section ‘Signals’ of the element ‘Energy Storage Device’

- **Loadtype**

This is the load type that should be used to send the signal. Think of load types here as an information channel that transmits the signal from the storage tank to the transformation type.

- **Turn-On Trigger Level [%]**

This is the level at which the Signal starts to be send. Set this to 15 % to start sending the signal as soon as the tank level is below 15 %.

- **Turn-Off Trigger Level [%]**

This is the level at which the signal should stop being send. Set this for example to 80 %. The program does the proper calculations so that the desired hysteresis is achieved.

- **Value to send**

This is the value that the storage tank will send.

### 7.3 Transformation Device

A transformation device is a device which takes the sum of one load type, performs a transformation of the input value to the output value by doing a multiplication with one or more factors and adds the transformed value(s) to one or more load types.

One example is the warm water mixer in the predefined households in the LPG. The warm water used for showering is usually about 35–40 °C, but hot water generated by the hot water heater is usually around 50 °C or higher. Since the LPG simulates the demand, it generates a load profile for the consumption of warm water. To turn this into a hot water demand profile, a warm water mixer transformation device is needed. It takes the warm water demand and calculates the corresponding hot and a cold water demand.

Figure 7.8 shows the overview of the interface of the transformation devices.

The screenshot shows the configuration interface for a 'Transformation Device'. It includes the following sections:

- General:** A brief description of what a transformation device does, mentioning its use in mixing different load types. It includes fields for 'Name' (Storage Charge (Fuel Cell)) and 'Description' (None Transformation device description).
- Input Conditions:** A section for defining conditions on the input load type. It includes fields for 'Input Loadtype' (Signal Electricity Needed), 'Minimum Value Condition' (0), 'Maximum Value Condition' (1000000), 'Minimum Input Power' (0), and 'Maximum Input Power' (1000000). A note states that the maximum input value and input power works like the Load Type rule you have an air conditioning device that you want to run as soon as the cooling load is over 1000000. The minimum value condition is useful for example when you want to add a minimum load to a load type that is generated at 0W.
- Factor Curve:** A section for defining a curve of factors. It includes fields for 'Input Value' and 'Factor for this value'. Buttons for 'Add Factor' and 'Remove Factor' are available. A note states that this option allows you to set a number of factors for the conversion. The real factor is interpolated from that using linear approximation between the two closest points. For example, if you have a factor of 1.0 at 1000000 and 1.5 at 2000000, the factor at 1500000 would be 1.25.
- Output Loadtypes:** A section for defining output load types. It includes fields for 'Output Loadtype' (Unit: Watt, Factor: 300), 'Factor Type' (None), and 'Output Loadtype' (None Transformation Device / Common Transformation Device). A note states that in the above example with the unit the output will be a cold water consumption and a hot water consumption with maybe a factor of 3.1 each. Something must be defined for the output load type, even if there is no output load type in the future, like for example adding a dependency on the seasonality changing from water temperature, but for now the values will have to be fixed to use the function correctly.
- Conditions:** A section for defining conditions for the transformation device to be active. It includes fields for 'Condition Type' (The storage content has to be between these values), 'Condition Loadtype' (Unit: Storage Unit), 'Storage Unit' (10 kWh Battery), 'Minimum Value' (0), 'Maximum Value' (10), and 'Add Transformation Condition' (None Transformation Condition). A note states that the condition determines when a transformation device can be active. This is used for example to model a fuel cell that can only active if the storage tank has a certain amount of energy left. If all of the time the device is always active.
- Help:** A section providing help information, stating that here you can get a list where this item is used, if anywhere. It includes a 'refresh' button and a 'Name Type' field.

Figure 7.8: Overview of the element 'Transformation Device'

#### 7.3.1 General

- **Name**

This is the name of the transformation device.

- **Description**

This field is for keeping track of additional information.

 General

A transformation device is used to help with modelling of the transformations between load types. For example a kitchen sink uses warm water when washing hands. Warm water consists of a mixture of cold water and hot water. To have one central point to control the ration of hot to cold water, there is one central transformation device which generates warm water from hot and cold. Another Transformation Device is then used to generate the hot water from gas for example.

Name	Battery Charger (Fuel Cell)
Description	New transformation device description

Figure 7.9: Section 'General' of the element 'Transformation Device'

### 7.3.2 Input Loadtype

The input load type is the source. In the example above this would be the warm water demand.

 Input Loadtype

In the above example with the sink the input loadtype would be the warm water.

Input Loadtype	Signal Electricity Needed
Minimum Value Condition	0
Maximum Value Condition	10000000
Minimum Input Power	0
Maximum Input Power	10000000

The minimum/maximum value condition and input power work like this: Lets assume you have an air conditioning device that you want to run as soon as the cooling load is above 100W. But the AC device has a minimum power consumption of 500W. Additionally it has a maximum power consumption of 2000W. So you would put in 100 as Minimum Condition, 10000000 (or another really high number) as maximum condition. As minimum power you put in 500, as maximum power 2000.

Figure 7.10: Section 'Input Loadtype' of the element 'Transformation Device'

- **Input Loadtype**

Select the input loadtype here.

- **Minimum Value Condition**

This is the minimum value that the input value has to be above to activate the transformation device.

- **Maximum Value Condition**

An input value above the maximum value deactivates the transformation device.

- **Minimum Input Power**

The minimum input power is the minimum power that the transformation device will use for further calculations.

- **Maximum Input Power**

The maximum input power is the maximum power that the transformation device will use for further calculations.

Since this might be a bit confusing here is an example:

- An air conditioner should be activated whenever the cooling load is above 300 W.
- If you turn on the air conditioner at the lowest setting it provides 500 W of cooling.
- At the maximum setting the air conditioner provides 2000 W of cooling.

Here you would put the 300 W as minimum value condition. The 500 W as the minimum input power. The 2000 W is the maximum input power. The outputs of a transformation device with a factor of 1 will be as follows:

- 0 for any cooling load below 300 W.
- 500 for any load between 300 W and 500 W.
- For values between 500 W and 2000 W it will be the exact value.
- For any value above 2000 W it will be 2000.

Of course air conditioners usually have a temperature-dependent efficiency factor that varies strongly depending on the outside temperature. This currently can't be modelled with the LPG.

### 7.3.3 Factor Curve

Reality is frequently not linear, which is rather impolite from a modelling perspective. Fortunately this can be handled by integrating a nonlinear factor curve. In this section you can enter as many supporting points for the factor curve as needed. The transformation device will then find the appropriate support points and do a linear interpolation between the two closest ones.

Factors	Input Value Factor

Figure 7.11: Section 'Factor Curve' of the element 'Transformation Device'

### 7.3.4 Output Loadtypes

In this section you can enter the outputs.

Output Loadtype	Electricity
Unit	Watt
Factor	-300
Factor Type	Fixed
Add Transformation Device	Remove Transformation Device
Output Loadtypes	Name of the load type Factor Factor Type Electricity -300 Fixed

Figure 7.12: Section 'Output Loadtypes' of the element 'Transformation Device'

- **Output Loadtype**

Select the load type here.

- **Factor**

Enter the fixed factor here or select a different factor type.

- **Factor Type**

This lets you chose between the fixed factor and the factor curve.

### 7.3.5 Conditions

It is often not enough to only have one condition. So in this section additional conditions can be set. The conditions can be of two different types:

- The content for a storage has to be between certain values.
- The sum of a load type has to be between certain values.

As many conditions can be added as needed.

- **Condition Type**

Set the condition type here, that is sum of a loadtype or storage tank fill level.

- **Condition Loadtype**

If you want to base the condition on the load type, select the load type here.

- **Storage Unit**

If you want to base the condition on a storage tank, enter the tank here.

**Conditions**

Conditions determine when a transformation device can be active. This is used for example to model a fuel cell that can only be active if the storage tank has a certain minimum level. If there is no condition at all then the device is always active.

Condition Type	The storage content has to be between these values.				
Condition Loadtype					
<b>Unit</b>					
Storage Unit	10 kWh Battery				
Minimum Value	0				
Maximum Value	100				
<input type="button" value="Add Transformation Condition"/> <input type="button" value="Remove Transformation Condition"/>					
Conditions	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Description</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">The storage content has to be between these values. The storage 10 kWh Battery has to be between 0% and 100%</td> </tr> </tbody> </table>	Type	Description	The storage content has to be between these values. The storage 10 kWh Battery has to be between 0% and 100%	
Type	Description				
The storage content has to be between these values. The storage 10 kWh Battery has to be between 0% and 100%					

Figure 7.13: Section 'Conditions' of the element 'Transformation Device'

- **Minimum Value**

This is the minimum value for the condition. The sum of the load type or the fill level of the storage unit has to be above this value to allow the activation of the transformation device.

- **Maximum Value**

And this is the maximum value for the condition. The sum of the load type or the fill level of the storage unit has to be below this value, otherwise the transformation device will not activate.

### 7.3.6 Uses

Here you can see where the transformation device is being used.

**Uses**

Here you can get a list where this item is used, if anywhere.

<input type="button" value="refresh"/>
Name Type

Figure 7.14: Section 'Uses' of the element 'Transformation Device'

## 7.4 House Type

House types are an abstraction of a specific house. A house type combines all the elements needed for a house to make it easier to create a large number of houses. They combine the household infrastructure, that is the generators, energy storages and transformation devices. Additionally the house type contains the calculation for the heating and cooling needs and additional autonomous devices such as circulation pumps, door bell systems and so on. Figure 7.15 shows an overview of the house type interface.

For the heating and cooling demand the LPG uses the degree day / degree hour model. It is a very simple model, because the simulation of building infrastructure is not the focus of the LPG. The model only distributes a given total energy consumption over a time period in a plausible way. It does not calculate the energy consumption itself!

Here is an example with some numbers: Assume you have 3 days, 100 kWh heating load and the following temperatures:

1. Day: 20 °C
2. Day: 10 °C
3. Day: 0 °C

With the usual 20 °C room temperature / 15 °C heating temperature settings this results in:

1. Day: no heating
2. Day: 5 Degreedays
3. Day: 15 Degreedays

That adds up to a total of 20 Degreedays. Now the algorithm distributes the 100 kWh over the 3 days according to the degree days:

1. Day: 0 kWh
2. Day:  $5/20 = 0.25 \cdot 100 \text{ kWh} = 25 \text{ kWh}$
3. Day:  $15/20 = 0.75 \cdot 100 \text{ kWh} = 75 \text{ kWh}$

Then the average power is calculated:

1. Day: 0 W
2. Day:  $25 \text{ kWh} / 24 \text{ h} = 1,04 \text{ kW}$
3. Day:  $75 \text{ kWh} / 24 \text{ h} = 3.1 \text{ kW}$

That heating load is saved as “Space Heating” (or whatever load type you select) and then can be “transformed” into electricity or gas consumption with a transformation device. Additionally storage devices can be used to buffer the power consumption.

The air conditioning model works the same way, but on an hourly basis.

The screenshot shows the 'House type' element's configuration interface. It includes several tabs and sections:

- General**: Contains fields for Name (HT01 House with a 10kWh Battery and a fuel cell battery charger, 5 MWh yearly space heating, gas heating), Description (The battery charger could for example be a fuel cell), Minimum number of households (1), and Maximum number of households (2).
- Autonomous Devices**: A table listing various devices such as a pump, light, and pump for a garden pond.
- Heating**: Fields for Heating Type (Gas Heating), Heating Capacity (200), Heating Response (20), Heating Efficiency (0.85), Heating Consumption (0.0002), and Heating Energy Use (0.0002).
- Cooling**: Fields for Cooling Type (Air Conditioning), Cooling Capacity (200), Cooling Response (20), Cooling Efficiency (0.85), Cooling Consumption (0.0002), and Cooling Energy Use (0.0002).
- Storage**: Fields for Storage Type (Battery), Storage Capacity (10000), Storage Response (10000), Storage Efficiency (0.85), Storage Consumption (0.0002), and Storage Energy Use (0.0002).
- Electrical Grid**: Fields for Grid Type (Grid), Grid Capacity (5000), Grid Response (5000), Grid Efficiency (0.85), Grid Consumption (0.0002), and Grid Energy Use (0.0002).
- Charging**: Fields for Charging Type (Fuel Cell), Charging Capacity (5000), Charging Response (5000), Charging Efficiency (0.85), Charging Consumption (0.0002), and Charging Energy Use (0.0002).
- Transport**: Fields for Transport Type (Car), Transport Capacity (1), Transport Response (1), Transport Efficiency (0.85), Transport Consumption (0.0002), and Transport Energy Use (0.0002).
- Water**: Fields for Water Type (Water Pump), Water Capacity (1), Water Response (1), Water Efficiency (0.85), Water Consumption (0.0002), and Water Energy Use (0.0002).
- Waste**: Fields for Waste Type (Waste Disposal), Waste Capacity (1), Waste Response (1), Waste Efficiency (0.85), Waste Consumption (0.0002), and Waste Energy Use (0.0002).
- Plants**: Fields for Plant Type (Garden Pond), Plant Capacity (1), Plant Response (1), Plant Efficiency (0.85), Plant Consumption (0.0002), and Plant Energy Use (0.0002).
- Other**: Fields for Other Type (Other), Other Capacity (1), Other Response (1), Other Efficiency (0.85), Other Consumption (0.0002), and Other Energy Use (0.0002).

Figure 7.15: Overview of the element 'House type'

#### 7.4.1 General

This screenshot shows the 'General' section of the 'House type' configuration. It contains the following fields:

- Name**: HT01 House with a 10kWh Battery and a fuel cell battery charger, 5 MWh yearly space heating, gas heating
- Description**: The battery charger could for example be a fuel cell
- Minimum number of households**: 1
- Maximum number of households**: 2

A note above the fields states: "A house type is used to help with modelling of (surprise) houses. It contains all the infrastructure that belongs to a house, like various autonomous devices. The autonomous devices could be things like the heating system pumps, light or a pump for a garden pond. A house type represents what kind of house someone is living in."

Figure 7.16: Section 'General' of the element 'House type'

##### • Name

This is the name of the house type.

##### • Description

This is the description field for taking notes.

##### • Minimum number of households

Not every house type is suitable for any amount of people. If you put together a small single family house and then put 15 families into it, the result is obviously not

very useful. To make it possible to check for such mistakes this setting exists. The limits are checked at the start of the simulation .

- **Maximum number of households**

The maximum number of households this house type is meant for.

#### 7.4.2 Externally Controlled Generators

Here you can add as many generators as needed.

**Externally Controlled Generators**

Here you can add externally controlled generators. This might be for example a solar thermal system or a photovoltaic system.

<b>Generator</b> <input type="text" value="Photovoltaic System 100 kW"/> <input type="button" value="Add Generator"/> <input type="button" value="Remove Generator"/> <b>Generators</b> <table border="1"> <tr><td>Generators</td></tr> </table>	Generators
Generators	

Figure 7.17: Section 'Externally Controlled Generators' of the element 'House type'

#### 7.4.3 Space Heating

**Space Heating**

Here you can set the parameters for the heating model. Right now there is only a simple degree-day model available.

<b>Load type</b>	<input type="text" value="Space Heating"/>
<b>Total Energy Consumption per Year</b>	<input type="text" value="5000"/>
<b>Heating Temperature</b>	<input type="text" value="15"/>
<b>Room Temperature</b>	<input type="text" value="20"/>

The heating temperature is the daily average temperature above which there is no more heating. The german VDI 2067 sets this to 15°C. The room temperature is set to 20° C in the VDI 2067.

Adjust the energy consumption based on the degree days for the temperature profile

**The energy consumption value is for yearly degree day sum of**

Below you can see for testing purposes what the yearly sum will be for the temperature profile you select.

<b>Temperature profile for testing</b>	<input type="text" value="Berlin, Germany 1996 from Deutscher Wetterdienst DWD (www.dwd.de)"/>
<b>Degree days of the selected temperature profile</b>	<input type="text" value="4.261,2"/>
<b>Resulting Energy Use</b>	<input type="text" value="5.326,5"/>

Figure 7.18: Section 'Space Heating' of the element 'House type'

- **Load type**

This is the load type that the space heating values should be written to.

- **Total Energy Consumption per Year**

This is the energy amount to distribute over the entire year.

- **Heating Temperature**

This is the threshold temperature below which the heating system becomes active. The typical value for this is 15 °C .

- **Room Temperature**

This is the desired room temperature. The typical value for this is 20 °C .

- **Adjust the energy consumption based on the degree days for the temperature profile**

If you put the same house into a city in Spain and a city in Sweden then the heating load will be dramatically different. If you check this mark, then the heating load will be adjusted based on the degree days. So if the house consumption is measured in a location with 1000 degree days and you put it into a location with 2000 degree days, then the energy consumption will be doubled.

- **The energy consumption value is for yearly degree day sum of**

This is the energy consumption of the reference location for this house. This only gets used if the checkbox above is ticked.

- **Temperature profile for testing**

This temperature profile and the values below are used to calculate a preview of the impact of selecting the “Adjust...”-option.

#### 7.4.4 Air Conditioning

This works exactly the same way as the heating calculation, but on an hourly basis. So to make this work

**Air Conditioning**

Here you can set the parameters for the air conditioning model. Right now there is only a simple cooling degree hour model available.

Load type for the cooling	<input type="text" value="Air Conditioning Load"/>
Total Energy Consumption per Year	<input type="text" value="0"/>
Cooling Temperature	<input type="text" value="19"/>

The cooling temperature is the hourly average temperature below which there is no more cooling. A good default value for the temperature is 19°C for time profiles with a resolution of one day.

Adjust the energy consumption based on the cooling degree hours for the temp

**The entered energy consumption value is for a yearly cooling degree hour sum of**

**Temperature profile for testing**

**Cooling degree hours of the selected temperature profile**

**Resulting cooling energy use**

Figure 7.19: Section 'Air Conditioning' of the element 'House type'

### 7.4.5 Transformation Devices

Here you can add as many transformation devices as needed.

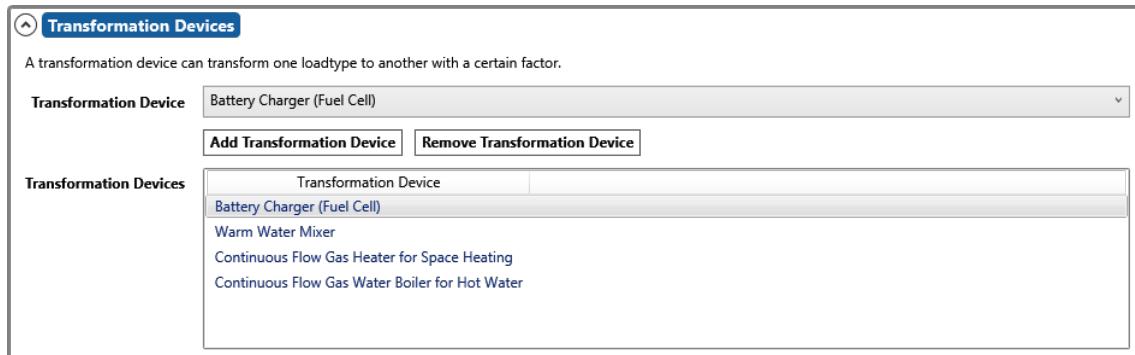


Figure 7.20: Section 'Transformation Devices' of the element 'House type'

### 7.4.6 Energy Storage Devices

In this section as many energy storage devices as needed can be added.

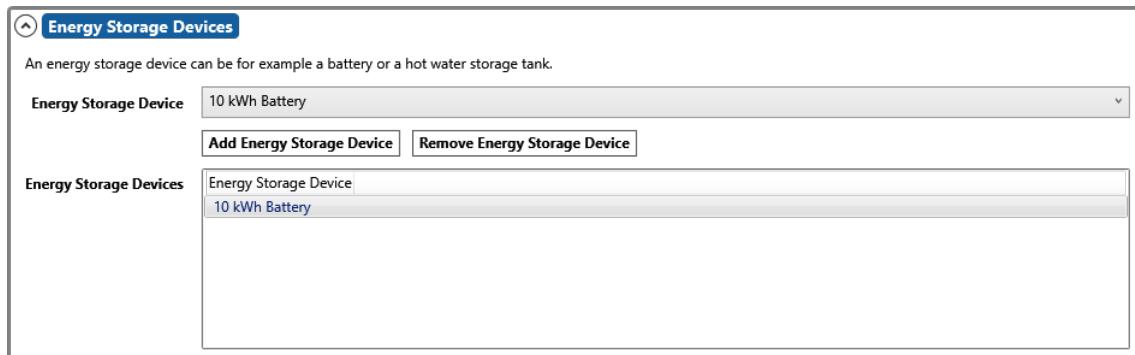


Figure 7.21: Section 'Energy Storage Devices' of the element 'House type'

### 7.4.7 Autonomous Devices

In this section as many autonomous devices as needed can be added. Note that if you are using variables and modelling a multi-family house, the variables from the locations of the first household will be used. It is currently not possible to trigger house devices from any household other than the first household in the house.

**Autonomous Devices**

Here you can add devices to a house that are independent of the actions of the inhabitants. One example would be the circulation pumps for heating and warm water.

Type to Add	Device																					
Device																						
Load Type																						
Time Profile																						
Location																						
Time Limit																						
Time standard deviation																						
Variable to require																						
Variable Value																						
Variable Condition																						
<b>Add Device</b> <b>Remove Device</b>																						
<b>Devices</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Device Type</th> <th>Device</th> <th>Time Deviation</th> <th>Time Profile</th> <th>Location</th> <th>Time Limit</th> <th>Load Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DeviceActionGroup</td> <td>run Circulation pump, 01 h 0 min</td> <td>0,1</td> <td></td> <td>Cellar</td> <td>Everyday between 06:00 and 22:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>DeviceActionGroup</td> <td>run Circulation pump, 01 h 0 min</td> <td>0,1</td> <td></td> <td>Cellar</td> <td>Below 15°C</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Device Type	Device	Time Deviation	Time Profile	Location	Time Limit	Load Type	DeviceActionGroup	run Circulation pump, 01 h 0 min	0,1		Cellar	Everyday between 06:00 and 22:00		DeviceActionGroup	run Circulation pump, 01 h 0 min	0,1		Cellar	Below 15°C	
Device Type	Device	Time Deviation	Time Profile	Location	Time Limit	Load Type																
DeviceActionGroup	run Circulation pump, 01 h 0 min	0,1		Cellar	Everyday between 06:00 and 22:00																	
DeviceActionGroup	run Circulation pump, 01 h 0 min	0,1		Cellar	Below 15°C																	

Figure 7.22: Section 'Autonomous Devices' of the element 'House type'

#### 7.4.8 Used by

This shows in which houses the house type is used.

**Used by**

Here you can get a list where this house type is used, if anywhere.

**refresh**

Name	Name
(DissR1PV 01) House 01 HT02 with CHR02	House
(DissR1PV 01) House 01 HT02 with CHR22	House
(DissR1PV 01) House 02 HT02 with CHR05	House
(DissR1PV 01) House 02 HT02 with CHR34	House
(DissR1PV 01) House 03 HT02 with CHR06	House
(DissR1PV 01) House 03 HT02 with CHR43	House
(DissR1PV 01) House 04 HT02 with CHR07A	House
(DissR1PV 01) House 04 HT02 with CHR46	House

Figure 7.23: Section 'Used by' of the element 'House type'

## 7.5 House

A *house type* is combined with one or more households to create a *house*. The interface is shown in fig. 7.24. Every element there was already discussed, so no further explanation is necessary.

One thing to keep in mind is that all the households in a house are calculated at the same time. Therefore they all need to be kept in memory. Per household about 500–1000 MB of memory are required for a time resolution with 1 min. So when calculating multi-family houses, make sure you have enough memory.

**General**

A house is used to help with modelling of (surprise) houses. It can contain one or more households, has temperature profile, a geographical location and various autonomous devices. The autonomous devices could be things like the heating system pumps.

Name	(DissRIPV 01) House 01 HT02 with CHR02
Description	New house description
Temperature profile	Berlin, Germany 1996 from Deutscher Wetterdienst DWD (www.dwd.de)
Geographic Location	(Germany) Chemnitz
House Type	HT02 House with a 5 kWh Battery and a 50 m <sup>2</sup> Photovoltaic Array, 5MWh space heating, gas heating
Energy Intensity	As chosen for the household
Source	Generated by Diss Results 1 PV at 12.02.2016 16:41

**Households**

The households here all count as belonging to the house. The autonomous devices will be added to the first household. You can add either basic households or combined households, which are a combination of a basic household and one or more household traits.

Type of household	CombinedHousehold		
Combined household	x CHR02 Couple, 30 - 64 age, with work 24		
<input type="button" value="Add household"/> <input type="button" value="Remove household"/>			
Households	1		
Households	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Household</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">x CHR02 Couple, 30 - 64 age, with work 24</td> </tr> </table>	Household	x CHR02 Couple, 30 - 64 age, with work 24
Household			
x CHR02 Couple, 30 - 64 age, with work 24			

Figure 7.24: Overview of the element 'House'

## 7.6 Settlements

Settlements are used to combine houses or households into villages or city districts. It isn't advisable to try to simulate larger cities in one go, though, since a full household simulation depending on the settings can generate a couple of gigabyte of result files. To calculate larger settlements it is recommended to use the command line interface since it easily allows the work to be spread out across multiple computers and offers easier restart capabilities. The overview for the settlement interface is shown in fig. 7.25

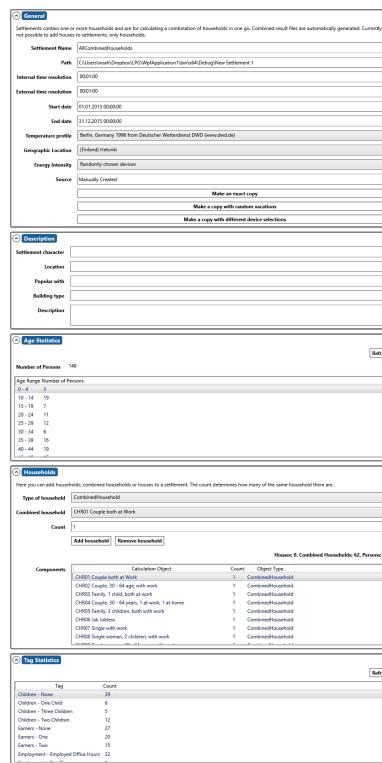


Figure 7.25: Overview of the element 'Settlement'

### 7.6.1 General

In this section you can set a lot of defaults. All of those settings can be changed on the calculation screen.

**General**

Settlements contain one or more households and are for calculating a combination of households in one go. Combined result files are automatically generated. Currently it's not possible to add houses to settlements, only households.

<b>Settlement Name</b>	AllCombinedHouseholds
<b>Path</b>	C:\Users\noah\Dropbox\LPG\WpfApplication1\bin\x64\Debug\New Settlement 1
<b>Internal time resolution</b>	00:01:00
<b>External time resolution</b>	00:01:00
<b>Start date</b>	01.01.2015 00:00:00
<b>End date</b>	31.12.2015 00:00:00
<b>Temperature profile</b>	Berlin, Germany 1996 from Deutscher Wetterdienst DWD (www.dwd.de)
<b>Geographic Location</b>	(Finland) Helsinki
<b>Energy Intensity</b>	Randomly chosen devices
<b>Source</b>	Manually Created
<b>Make an exact copy</b>	
<b>Make a copy with random vacations</b>	
<b>Make a copy with different device selections</b>	

Figure 7.26: Section 'General' of the element 'Settlement'

- **Settlement Name**

This is the name of the settlement

- **Path**

This is the default path where to save the calculations.

- **Internal time resolution**

You can set the default for the internal time resolution here.

- **External time resolution**

And this the the default for the external time resolution.

- **Start date**

This is the default start date for the simulation.

- **End date**

And this is the default end date.

- **Temperature profile**

The default temperature profile can be set here.

- **Geographic Location**

And the default location can be set here.

- **Energy Intensity**

Default energy intensity.

- **Source**

Comment field for noting if this settlement was created by a settlement template(chapter 9) or manually.

### 7.6.2 Description

This section is basically an extended note taking section. It is not used in the simulation but it can be useful to keep track of this information inside the LPG.

The screenshot shows a user interface for a 'Settlement' element. At the top left is a blue button labeled 'Description'. Below it is a table with five rows. Each row has a label on the left and a large input field on the right. The labels are: 'Settlement character', 'Location', 'Popular with', 'Building type', and 'Description'. Each input field has a horizontal scroll bar at the bottom.

Figure 7.27: Section 'Description' of the element 'Settlement'

- **Settlement character**

This is for describing the settlement character.

- **Location**

This describes the location of the settlement.

- **Popular with**

Here you can describe what kind of people the settlement is popular with.

- **Building type**

This is for describing the dominant building type in the settlement.

- **Description**

And this field is for all other notes.

### 7.6.3 Age Statistics

This section displays some statistics about the demographics of the settlement.

The screenshot shows a user interface for a 'Settlement' element. At the top left is a blue button labeled 'Age Statistics'. In the top right corner is a small 'Refresh' button. Below the title is a table with two columns: 'Age Range' and 'Number of Persons'. The table lists the following data:

Age Range	Number of Persons
0 - 4	3
10 - 14	19
15 - 19	7
20 - 24	11
25 - 29	12
30 - 34	6
35 - 39	16
40 - 44	19
45 - 49	15
50 - 54	15

Figure 7.28: Section 'Age Statistics' of the element 'Settlement'

### 7.6.4 Households

In this section you can add as many houses and households as needed.

The screenshot shows the 'Households' configuration section. At the top, there is a note: 'Here you can add households, combined households or houses to a settlement. The count determines how many of the same household there are.' Below this, there are three input fields: 'Type of household' (set to 'CombinedHousehold'), 'Combined household' (set to 'CHR01 Couple both at Work'), and 'Count' (set to '1'). Below these are two buttons: 'Add household' and 'Remove household'. To the right of the 'Count' field, the status is displayed as 'Houses: 0, Combined Households: 62, Persons: 148'. At the bottom, there is a table titled 'Components' with columns: Calculation Object, Count, and Object Type. The table lists various household types and their counts:

Components	Calculation Object	Count	Object Type
	CHR01 Couple both at Work	1	CombinedHousehold
	CHR02 Couple, 30 - 64 age, with work	1	CombinedHousehold
	CHR03 Family, 1 child, both at work	1	CombinedHousehold
	CHR04 Couple, 30 - 64 years, 1 at work, 1 at home	1	CombinedHousehold
	CHR05 Family, 3 children, both with work	1	CombinedHousehold
	CHR06 Jak Jobless	1	CombinedHousehold
	CHR07 Single with work	1	CombinedHousehold
	CHR08 Single woman, 2 children, with work	1	CombinedHousehold

Figure 7.29: Section 'Households' of the element 'Settlement'

- **Type of household**

Select here what type of household to add. This can be either a household, a house or a combined household. Combined households are explained in section 9.5

- **Count**

This is how many of the element should be added. If you add too many of the same type you start getting artificial spikes in the load profile, because identical households tend to do the same things at the same time, so the concurrency factor is very high, which leads to unrealistic results. To get better results, it is strongly recommended to use a settlement template (section 9.7) instead to generate a settlement. That way each household will be unique.

### 7.6.5 Tag Statistics

This section displays information about the households in the settlements.

Tag	Count
Children - None	39
Children - One Child	6
Children - Three Children	5
Children - Two Children	12
Earners - None	27
Earners - One	20
Earners - Two	15
Employment - Employed Office Hours	32

Figure 7.30: Section 'Tag Statistics' of the element 'Settlement'

## Chapter 8

# Automatic Device Picking

The scope expansion in the last chapter made it possible to model entire settlements, but it is very unrealistic if every household in the settlement has the same fridge, the same vacuum cleaner and the same washing machine. Therefore a way is needed to automatically vary the devices in the households. The LPG contains a number of types for this purpose, which will be introduced in this chapter.

The main difficulty with automatically replacing the devices is that there are two types of devices. For the first type the device needs to be switched, but the device load profile stays the same. This includes for example light bulbs, some stoves or hair dryers. For the second type the device profile depends on the machine and needs to be replaced together with the machine. One example of this are fridges. Newer fridges consume the same power, but much less energy, because they turn on significantly less, since they are better insulated. So the entire load profile changes.

The first type of devices is modelled by the device categories. The second type of device is covered by the device actions and device action groups.

### 8.1 Device Category

The first type of devices is not that difficult. The main problem is to avoid accidentally replacing the light bulbs with washing machines or other similar nonsensical combinations. The *Device Categories* are a simple way to make the devices easy to switch by assigning a category to each device and making sure that only devices in the same category can be used to replace each other. In the LPG the device categories can be used at any place where a device can be assigned, such as affordances or autonomous devices. Figure 8.1 shows an overview of the interface. The device categories are arranged hierarchically to make them easier to deal with.

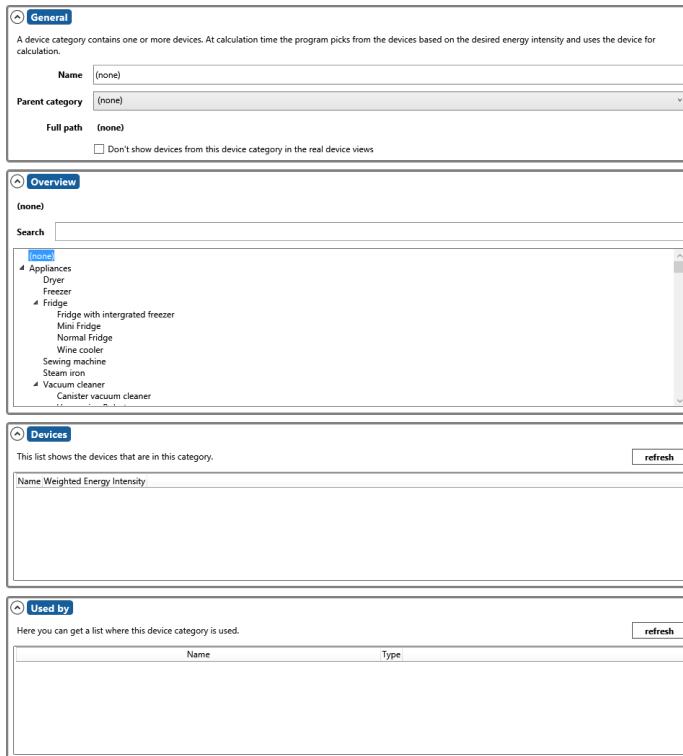


Figure 8.1: Overview of the element 'Device Category'

### 8.1.1 General

<b>General</b>	
A device category contains one or more devices. At calculation time the program picks from the devices based on the desired energy intensity and uses the device for calculation.	
<b>Name</b>	(none)
<b>Parent category</b>	(none)
<b>Full path</b>	(none)
<input type="checkbox"/> Don't show devices from this device category in the real device views	

Figure 8.2: Section 'General' of the element 'Device Category'

- **Name**

This is the name of the device category.

- **Parent category**

This is the parent category. The root category for all device categories is called “(none)”.

- **Full path**

This displays the full path.

- **Don't show devices from this device category in the real device views**

To identify forgotten devices that should be replaced with device categories in the households, there is a view that displays all normal devices in the households. But there are some devices that should not be replaced, because they are, for example, simple furniture. To avoid cluttering up the view with those devices, by ticking this checkbox on the appropriate categories, the furniture will be hidden from that view.

```

graph TD
    none["(none)"] --> Appliances[Appliances]
    none --> Fridge[Fridge]
    none --> Vacuum[Vacuum cleaner]
    Appliances --> Dyer[Dyer]
    Appliances --> Freezer[Freezer]
    Appliances --> Fridge2[Fridge]
    Appliances --> SteamIron[Steam iron]
    Fridge2 --> FridgeWithIntegrator[Fridge with intergrated freezer]
    Fridge2 --> MiniFridge[Mini Fridge]
    Fridge2 --> NormalFridge[Normal Fridge]
    Fridge2 --> WineCooler[Wine cooler]
    Vacuum --> CanisterVacuum[Canister vacuum cleaner]
  
```

Figure 8.3: Overview of the element 'Device Category'

### 8.1.2 Devices

This shows the tree structure of all device categories.

Name	Weighted Energy Intensity

Figure 8.4: Section 'Devices' of the element 'Device Category'

### 8.1.3 Used by

In this section the uses of the device category are shown.

Used by

Here you can get a list where this device category is used.

Name	Type

refresh

Figure 8.5: Section 'Used by' of the element 'Device Category'

## 8.2 Device Action

*Device Actions* connect a device and one or more device profiles.

General

A device action is a combination of a device with one or more time profiles. The use of device actions is to make it easier to vary the energy use of a household.

Name	AEG NM 2701 Premium, 01 h 0 min 100%, Electricity, Group for Appliances
Description	
Device	AEG NM 2701 Premium
Device Action Group	Group for Appliances / Sewing machine, 01 h 0 min 100%, Electricity
Make an exact copy of this device action	

Device Profiles and Load Types

In this section you can add device time profiles to the device actions. For example if you want to model the activation of a dishwasher, then you need to add the electricity profile and the water profile here.

Load Type	Apparent	
Time profile	01 h 0 min 100% [01:00:00]	
Time offset [min]	0,00	
Profile Multiplier	1,00	
The time offset is the time from the beginning of the device action until this specific profile starts.		
The multiplier is simply to increase or decrease another profile. For example if you have a measured electricity profile and want to model the apparent power too and you know that cosphi is 0,9, then you can use the multiplier 1,11111 to achieve that effect.		
Add time profile	Remove time profile	Fix electrical loads
Load	Loadtype Time profile Time offset [min] Multiplier	
Apparent	01 h 0 min 100% [01:00:00] 0,00 1,00	
Electricity	01 h 0 min 100% [01:00:00] 0,00 1,00	
Reactive	01 h 0 min 100% [01:00:00] 0,00 1,00	

Estimates

These are estimates for the energy use for this device action.

Name	Estimate
Apparent	0,098473884210526 kWh
Electricity	0,073 kWh
Reactive	0,0246513078884147 kWh

refresh

Uses

Here you can get a list where this device action is used, if anywhere.

Name	Type
sew and repair clothes	Affordance (by group)

refresh

replace device action in affordance with device

Figure 8.6: Overview of the element 'Device Action'

### 8.2.1 General

- **Name**

This is the name for the device action.

- **Description**

This field is for notes.

The screenshot shows a configuration interface for a 'Device Action'. The top bar has a 'General' tab selected. Below it, a note states: 'A device action is a combination of a device with one or more time profiles. The use of device actions is to make it easier to vary the energy use of a household.' There are four main input fields: 'Name' (AEG NM 2701 Premium, 01 h 0 min 100%, Electricity, Group for Appliances), 'Description' (empty), 'Device' (AEG NM 2701 Premium), and 'Device Action Group' (Group for Appliances / Sewing machine, 01 h 0 min 100%, Electricity). To the right of each device and group selection are 'open' buttons. At the bottom is a button labeled 'Make an exact copy of this device action'.

Figure 8.7: Section 'General' of the element 'Device Action'

- **Device**

Select the device here.

- **Device Action Group**

This is for selecting the device action group. The device action groups are the equivalent to the device categories, with one major difference: Each device belongs to exactly one device category. But one device can have as many device actions as needed and thus belong to many device action groups. So devices and device categories have a n:1 relationship, but devices and device action groups have a n:m relationship.

### 8.2.2 Device Profiles and Load Types

In this section you can add as many device profiles for different load types as needed. This is, for example, useful to model the electric appearant, effective and reactive power, since they all have different device profiles for different devices.

- **Load Type**

Select the load type here.

- **Time profile**

Select the device profile to use here.

- **Time offset [min]**

This is the time offset from the beginning of the activation of the device. For example for a dishwasher the water demand might only starts a couple of minutes after the machine was started.

- **Profile Multiplier**

This is a multiplier that can be applied to a device profile to increase or decrease the values. This is useful to approximate a appearant or reactive power profile if you only have the measurements for the effective profile.

**Device Profiles and Load Types**

In this section you can add device time profiles to the device action. For example if you want to model the activation of a dishwasher, then you need to add the electricity profile and the water profile here.

Load Type	Apparent
Time profile	01 h 0 min 100% [01:00:00]
Time offset [min]	0,00

The time offset is the time from the beginning of the device action until this specific profile starts.

Profile Multiplier	1,00
--------------------	------

The multiplier is simply to increase or decrease another profile. For example if you have a measured electricity profile and want to model the apparent power too and you know that  $\cos(\phi)$  is 0.9, then you can use the multiplier 1.1111 to achieve that effect.

Add time profile	Remove time profile	Fix electrical loads																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Loads</th> <th>Loadtype</th> <th>Time profile</th> <th>Time offset [min]</th> <th>Multiplier</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Apparent</td> <td>01 h 0 min 100% [01:00:00]</td> <td>0,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Electricity</td> <td>01 h 0 min 100% [01:00:00]</td> <td>0,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Reactive</td> <td>01 h 0 min 100% [01:00:00]</td> <td>0,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table>			Loads	Loadtype	Time profile	Time offset [min]	Multiplier	Apparent	01 h 0 min 100% [01:00:00]	0,00	1,00	Electricity	01 h 0 min 100% [01:00:00]	0,00	1,00	Reactive	01 h 0 min 100% [01:00:00]	0,00	1,00
Loads	Loadtype	Time profile	Time offset [min]	Multiplier															
Apparent	01 h 0 min 100% [01:00:00]	0,00	1,00																
Electricity	01 h 0 min 100% [01:00:00]	0,00	1,00																
Reactive	01 h 0 min 100% [01:00:00]	0,00	1,00																

Figure 8.8: Section ‘Device Profiles and Load Types’ of the element ‘Device Action’

### 8.2.3 Estimates

In this section estimates are provided, how much the device will consume when activated. How much it actually needs depends of course on the noise added, both for demand and length.

**Estimates**

These are estimates for the energy use for this device action.

Name	Estimate
Apparent	0,0789473684210526 kWh
Electricity	0,075 kWh
Reactive	0,0246513078884147 kWh

Figure 8.9: Section ‘Estimates’ of the element ‘Device Action’

### 8.2.4 Uses

This shows where this device action is being used.

Here you can get a list where this device action is used, if anywhere.

**refresh**

**replace device action in affordance with device**

Name	Type
sew and repair clothes	Affordance (by group)

Figure 8.10: Section 'Uses' of the element 'Device Action'

### 8.3 Device Action Group

Device Action Groups fill the place of the device categories, but for device actions. Figure 8.11 shows an overview of the user interface. There is nothing worth mentioning here, since the type is very simple.

General

A device action group is a list of device actions. The use of device actions is to make it easier to vary the energy use of a household by picking one device with the appropriate time profile at calculation time.

**Name** Group for Appliances / Sewing machine, 01 h 0 min 100%, Electricity

**Description** (automatically created)

Uses

Here you can get a list where this device action group is used, if anywhere.

Name	Type	Information
AEG NM 2701 Premium, 01 h 0 min 100%, Electricity, Group for Appliances (Device AEG NM 2701 Premium)	Device Action	01:00:00 - 01:00:00
sew and repair clothes	Affordance	

Figure 8.11: Overview of the element 'Device Action Group'

### 8.4 Device Selection

For some purposes it is important to have a way to select certain devices instead of having them picked out by the algorithm. One such thing might be a study about the impact of different light sources where you just want to switch out light bulbs for LEDs, but have no other changes. A *Device Selection* is designed for this exact purpose. The overview is shown in fig. 8.12.

The screenshot displays the 'Device Selection' configuration interface, which is a collection of choices for devices across different device categories. It includes fields for Name, Description, and selection of categories like Household or Combined Household. Below these are sections for Devices and Device Actions, each with their own sub-fields and lists.

General	
A device selection is a collection of choices for devices for different device categories. The idea is to make the household definition with generic device categories and then devices can either be randomly assigned or manually picked.	
Name	CHR01 Business As Usual Selection
Description	(no description yet)
Please select the source of the categories / groups that you want to preselect here:	
<input checked="" type="radio"/> All categories and device groups	
<input type="radio"/> Household	H99
<input type="radio"/> Combined Household	CHR01 Couple both at Work

Devices	
Device Category	(none)
Picked Device	
Add Selection	Remove Selection
Devices	Device Category Device Energy Intensity

Device Actions					
Device Action Group	run 30°C Washing Machine (measured)				
Picked Device Action	run Washing Machine AEG Öko Lavamat Carat 4658 Electricity				
Energy Consumption	Weighted Device Energy Use: 33476,688; Apparent: 1,19 kWh; Cold Water: 50,00 L; Electricity: 0,93 kWh; Reactive: 0,30 kWh				
Add Selection	Remove Selection				
Device Action Selections	<table border="1"> <tr> <th>Device Action Group</th> <th>Device Action</th> </tr> <tr> <td>run 30°C Washing Machine (measured)</td> <td>run Washing Machine AEG Öko Lavamat Carat 4658 Electricity</td> </tr> </table>	Device Action Group	Device Action	run 30°C Washing Machine (measured)	run Washing Machine AEG Öko Lavamat Carat 4658 Electricity
Device Action Group	Device Action				
run 30°C Washing Machine (measured)	run Washing Machine AEG Öko Lavamat Carat 4658 Electricity				

Figure 8.12: Overview of the element 'Device Selection'

#### 8.4.1 General

This screenshot shows the 'General' section of the 'Device Selection' configuration. It includes fields for Name and Description, and a list of categories to preselect.

General	
A device selection is a collection of choices for devices for different device categories. The idea is to make the household definition with generic device categories and then devices can either be randomly assigned or manually picked.	
Name	CHR01 Business As Usual Selection
Description	(no description yet)
Please select the source of the categories / groups that you want to preselect here:	
<input checked="" type="radio"/> All categories and device groups	
<input type="radio"/> Household	H99
<input type="radio"/> Combined Household	CHR01 Couple both at Work

Figure 8.13: Section 'General' of the element 'Device Selection'

- **Name**

This is the name of Device Selection.

- **Description**

This field is for keeping notes.

- **Please select the source of the categories / groups that you want to pre-select here:**

Because it was frequently confusing to find the right device category or the right device action group to actually preselect a device for, this option was added. This acts as a filter for the list below, and can be very helpful sometimes.

#### 8.4.2 Devices

This is the section to preselect a device from a device category.

Device Category	(none)
Picked Device	
Add Selection	Remove Selection
Devices	Device Category Device Energy Intensity

Figure 8.14: Section 'Devices' of the element 'Device Selection'

- **Device Category**

Select a device category here.

- **Picked Device**

Pick a device from that category here.

#### 8.4.3 Device Actions

Device Action Group	run 30°C Washing Machine (measured)
Picked Device Action	run Washing Machine AEG Öko Lavamat Carat 4658 Electricity
Energy Consumption	Weighted Device Energy Use: 33476,688; Apparent: 1,19 kWh; Cold Water: 50,00 L; Electricity: 0,93 kWh; Reactive: 0,30 kWh
Add Selection	Remove Selection
Device Action Selections	Device Action Group      Device Action
	run 30°C Washing Machine (measured)      run Washing Machine AEG Öko Lavamat Carat 4658 Electricity

Figure 8.15: Section 'Device Actions' of the element 'Device Selection'

- **Device Action Group**

This is the *device action group* to select from.

- **Picked Device Action**

And this is the device action that should be selected on calculation.

# Chapter 9

## Automatic Creation

Undoubtedly the best results when simulating a village could be attained if one were to perform a detailed survey and then lovingly handcraft every single household in the LPG. Considering that crafting a new household from scratch takes at least a couple days, the loving, handcrafting approach is usually not feasible, not to mention the privacy issues. To shorten this process two improvements were implemented.

1. A better, faster way of modelling was needed. For this the *household traits* and *combined households* were developed, which accelerate the modelling process significantly.
2. A way to automatically generate a large number of unique households was required. For this *household templates* and *settlement templates* were created.

### 9.1 Household Trait

To give a person in the previously discussed household model a new hobby, the following changes must be made:

- The appropriate one or more desires have to be added to the person.
- Locations have to be added to the household.
- The affordances have to be added to the locations.
- Standby devices have to be added to the household.

Since doing this over and over takes a long time, traits were invented as a way to bundle all of this into a single element. By adding a trait to a person in a household, all the mentioned changes are automatically performed. This method of modelling is considerably more efficient, but also caused the old households to become deprecated. To replace them the *combined households* were introduced that combine the traits with the persons. Figure 9.1 shows an overview of the user interface for a household trait.

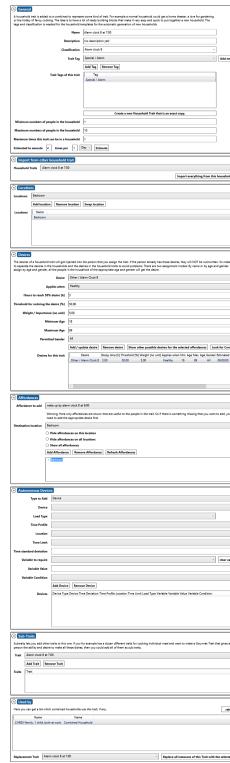


Figure 9.1: Overview of the element 'Household Trait'

### 9.1.1 General

- **Name**

This is the name for the trait.

- **Description**

This is the description.

- **Classification**

One issue with the traits is that it is easy to accidentally add two traits with the same purpose. But since it creates chaos if a person has two different shower desires, a way was needed to automatically catch such issues. The classification is meant for that. The classification must be unique among the traits for this person. The program will automatically flag any duplicates when you try to start a calculation.

- **Trait Tag to add**

The trait tags are used for the household templates to enable rules like “make a person with 3 hobbies” and explained in more detail later.

- **Minimum numbers of people in the household**

Not every trait is valid for any household size. Single person cooking and cooking for a large family are quite different for example. With this and the next field, limits can be set on the use of the trait. The limits will be automatically checked at the start of the calculation.

**General**

A household trait is added to a combined to represent some kind of trait. For example a normal household could get a home theater, a love for gardening or the hobby of fancy cooking. The idea is to have a lot of ready building blocks that make it very easy and quick to put together a new household. The tags and classification is needed for the household templates for the automatic generation of new households.

Name	Alarm clock B at 7:00		
Description	(no description yet)		
Classification	Alarm clock B		
Trait Tag	Special / Alarm		
<input type="button" value="Add Tag"/> <input type="button" value="Remove Tag"/>			
Trait Tags of this trait	<table border="1"> <tr> <td>Tag</td> <td>Special / Alarm</td> </tr> </table>	Tag	Special / Alarm
Tag	Special / Alarm		
<input type="button" value="Create a new Household Trait that is an exact copy."/>			
Minimum numbers of people in the household	1		
Maximum numbers of people in the household	10		
Maximum times this trait can be in a household	1		
Estimated to execute	<input type="button" value="4"/> times per <input type="button" value="1"/> Day <input type="button" value="Estimate"/>		

Figure 9.2: Section 'General' of the element 'Household Trait'

- **Maximum numbers of people in the household**

This is used to limit the number of maximum number of persons in the household where this trait is applied.

- **Maximum times this trait can be in a household**

This limits the number of times a trait can be in a household.

- **Estimated to execute**

This provides an estimate based when the desire will reach 25% satisfaction level. If there are multiple desires, it will average the time, which is only of limited use in a lot of cases.

### 9.1.2 Import from other household trait

To make it easier to create new household traits, this section allows an import from another trait.

**Import from other household trait**

Household Traits	Alarm clock B at 7:00
<input type="button" value="Import everything from this household trait"/>	

Figure 9.3: Section 'Import from other household trait' of the element 'Household Trait'

### 9.1.3 Locations

Here you can add as many locations as needed. The locations then get merged together at calculation time to form the newly created household.



Figure 9.4: Section 'Locations' of the element 'Household Trait'

### 9.1.4 Desires

Here you can add the desires to the trait. Traits can be assigned in two ways in a household. The first way is “to whoever fits the criteria” and the second is assigning to a certain person. To enable the first way, for every desire the age and gender limits have to be set. But even if you assign a trait directly to a person, the age and gender limits are still considered. This makes it possible to combine different desires for different people inside the same trait. For example you could make a “Hunger”-trait that causes children to get hungry every 4 hours and adults every 6 hours and then just assign the same trait to everyone.

- **Desire**

Select the desire to add here.

- **Applies when**

Here you can decide if this desire should apply always, only when healthy or only when sick.

- **Hours to reach 50% desire [h]**

This is the decay time discussed earlier.

- **Threshold for noticing the desire [%]**

This is the threshold when people start noticing the desire.

- **Weight / Importance [no unit]**

This is the weight of the desire.

- **Minimum Age**

The desire will only get applied to the person if the minimum age is met.

- **Maximum Age**

And the desire will only get applied to the person if the maximum age is not surpassed.

**Desires**

The desires of a household trait will get injected into the person that you assign the trait. If the person already has these desires, they will NOT be overwritten. So make sure to separate the desires in the households and the desires in the household traits to avoid problems. There are two assignment modes: By name or by age and gender. If you assign by age and gender, all the people in the household of the appropriate age and gender will get the desire.

Desire	Other / Alarm Clock B																		
Applies when	Healthy																		
Hours to reach 50% desire [h]	3																		
Threshold for noticing the desire [%]	50,00																		
Weight / Importance [no unit]	5,00																		
Minimum Age	18																		
Maximum Age	99																		
Permitted Gender	All																		
<b>Add / update desire</b>																			
<b>Remove desire</b>																			
<b>Show other possible desires for the selected affordances</b>																			
<b>Look for Correct Desires</b>																			
<b>Desires for this trait</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Desire</th> <th>Decay time [h]</th> <th>Threshold [%]</th> <th>Weight [no unit]</th> <th>Applies when</th> <th>Min. Age</th> <th>Max. Age</th> <th>Gender</th> <th>Estimated time to notice</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Other / Alarm Clock B</td> <td>3,00</td> <td>50,00</td> <td>5,00</td> <td>Healthy</td> <td>18</td> <td>99</td> <td>All</td> <td>06:00:00</td> </tr> </tbody> </table>	Desire	Decay time [h]	Threshold [%]	Weight [no unit]	Applies when	Min. Age	Max. Age	Gender	Estimated time to notice	Other / Alarm Clock B	3,00	50,00	5,00	Healthy	18	99	All	06:00:00
Desire	Decay time [h]	Threshold [%]	Weight [no unit]	Applies when	Min. Age	Max. Age	Gender	Estimated time to notice											
Other / Alarm Clock B	3,00	50,00	5,00	Healthy	18	99	All	06:00:00											

Figure 9.5: Section 'Desires' of the element 'Household Trait'

- **Permitted Gender**

Also the gender has to fit.

### 9.1.5 Affordances

**Affordances**

Affordance to add: wake up by alarm clock B at 6:00

Warning: Here only affordances are shown that are useful to the people in the trait. So if there is something missing that you want to add, you need to add the appropriate desire first.

Destination location: Bedroom

Hide affordances on this location  
 Hide affordances on all locations  
 Show all affordances

**Add Affordance**   **Remove Affordance**   **Refresh Affordances**

► Bedroom

Figure 9.6: Section 'Affordances' of the element 'Household Trait'

- **Affordance to add**

In this section you can add affordances to the trait. All affordances from all traits get merged on calculation time.

- **Destination location**

This is the location you want to add the affordance to.

### 9.1.6 Autonomous Devices

In this section you can add autonomous devices to a trait. All autonomous devices again get merged at calculation time.

Device	Type	Device	Time Deviation	Time Profile	Location	Time Limit	Load Type	Variable Value	Variable Condition

Figure 9.7: Section 'Autonomous Devices' of the element 'Household Trait'

### 9.1.7 Sub-Traits

This section allows you to add subtraits. Subtraits are a feature meant to make modelling easier, but are not currently used in the predefined households.

Trait
Trait

Figure 9.8: Section 'Sub-Traits' of the element 'Household Trait'

### 9.1.8 Used by

This section shows where the trait is used.

Used by

Here you can get a list which combined households use this trait, if any.

refresh

Name	Name
CHR03 Family, 1 child, both at work	Combined Household

Replacement Trait: Alarm clock B at 7:00

Replace all instances of this Trait with the selected one

Figure 9.9: Section 'Used by' of the element 'Household Trait'

- **Replacement Trait**

Because in a few cases, it was necessary to exchange a trait for another trait in a large number of households, this option was added. Select the new trait that should replace the current one here and click replace.

## 9.2 Trait Tags

There are two ways to annotate a set of items. The first way is to sort items into categories, which works very well if the items fits into exactly one category. This models a 1:n relationship. The other way is tagging, where every item gets one or more tags. Tagging models a n:m relationship between tags and items.

For the household templates, which can randomly create households, rules are needed like “add 1 to 3 hobbys to the person A”, or “add 1 sport activity to the person A”. But for a lot of activities there is significant overlap and it’s not easy to define if, for example, going cycling is a hobby or a sport. So to avoid the issue, tags instead of categories were used and every household trait can have as many trait tags as needed. Figure 9.10 shows an overview of the interface. The only thing to set is the name.

The screenshot displays a user interface for managing trait tags. It consists of two main sections: 'General' and 'Uses'.

**General Tab:**

- A trait tag is used in the household generator to pick for example two traits .
- Name:** Child / Children Entertainment

**Uses Tab:**

- Here you can get a list where this tag is used, if anywhere.
- refresh** button

Name	Type
(Play with Toys) Play with Toys Child 1 (1,3h, 4x/Day)	Household Trait
(Play with Toys) Play with Toys Child 2 (1,3h, 4x/Day)	Household Trait
(Playstation Children Room) Playstation Children Room 1 (1,0h, 7x/Week)	Household Trait

Figure 9.10: Overview of the element 'Trait Tag'

## 9.3 Vacation

For households the interface for setting vacations was rather simple, since it just contained the options to set start and end dates. But this is difficult to scale to a large number of households. So to make it easier to automate the vacation assignment, the vacation type was introduced. The overview is shown in fig. 9.11.

The screenshot shows the 'Vacation' element configuration interface. It consists of two main sections:

- General**: This section contains fields for 'Name' (set to 'April'), 'Minimum Age' (set to '18'), and 'Maximum Age' (set to '99'). A note explains that vacations are periods of time where people are absent, differing from holidays by being specific to individual households and limited by age.
- Dates**: This section allows entering vacation dates. It includes fields for 'Start' (set to '19.04.2015') and 'End' (set to '30.04.2015'). Below these are 'Add Date' and 'Remove Date' buttons. A table displays the entered date range: 

Start	End	Days
19.04.2015 00:00:00	30.04.2015 00:00:00	11

Figure 9.11: Overview of the element 'Vacation'

### 9.3.1 General

This screenshot shows the 'General' section of the 'Vacation' configuration. It includes fields for 'Name' (set to 'April'), 'Minimum Age' (set to '18'), and 'Maximum Age' (set to '99'). A note at the top explains the difference between vacations and holidays, mentioning age restrictions and school times.

Figure 9.12: Section 'General' of the element 'Vacation'

- **Name**

This is the name of the vacation.

- **Minimum Age**

The vacation can not be assigned to any household, where the youngest member is

younger than the minimum age. This is intended to be an easy way to avoid sending people with school children on vacation during the school year.

- **Maximum Age**

The vacation can not be assigned to any household where the oldest member is older than the maximum age.

### 9.3.2 Dates

The screenshot shows a user interface for entering vacation dates. At the top, there is a header with a circular icon and the text 'Dates'. Below the header, a descriptive message reads: 'Here you can enter the dates for this vacation.' There are two input fields: 'Start' containing '19.04.2015' and 'End' containing '30.04.2015'. Below these fields are two buttons: 'Add Date' and 'Remove Date'. A table titled 'Dates' displays the entered information:

	Start	End	Days
1	19.04.2015 00:00:00	30.04.2015 00:00:00	11

Figure 9.13: Section 'Dates' of the element 'Vacation'

- **Start**

Enter the start of the vacation here.

- **End**

Enter the end of vacation here.

## 9.4 Household Tags

Household tags fill the same purpose as trait tags, but for combined households and household templates instead of household traits. They are used to be able to set rules like “12,5 % of the new settlement should have one earner and have an office job”. Every combined household and every household template have some household tags assigned.

One thing that differs from the trait tags is the need to set a classification. The check at the beginning of the calculation makes sure that every item has exactly one tag from each classification. This ensures that no households are forgotten. The classifications in the predefined households are:

- Earners
- Size
- Employment
- Children.

The screenshot shows two tabs: 'General' and 'Uses'.

**General Tab:**

- A template tag is used in the settlement generator to be able to define conditions like "15% unemployed people".
- Name:** Children - None
- Classification:** Children Count

**Uses Tab:**

- Here you can get a list where this tag is used, if anywhere.
- refresh** button

Name	Type
CHR01 Couple both at Work	Household Template
CHR02 Couple, 30 - 64 age, with work	Household Template
CHR04 Couple, 30 - 64 years, 1 at work, 1 at home	Household Template
CHR06 Jack Jobless 2	Household Template
CHR06 Jak Jobless	Household Template
CHR07 Single with work	Household Template
CHR07 Single with Work 1	Household Template
CHR09 Single woman, 30 - 64 years, with work	Household Template

Figure 9.14: Overview of the element 'Household Template Tag'

## 9.5 Combined Household

Combined households were already mentioned. They combine all the previously mentioned elements. Figure 9.15 shows the interface.

The screenshot displays the 'Combined Household' configuration interface with four main sections:

- General:** A combined household is used to combine household traits with a household. A combined household or a household can then be added to a house or calculated by itself.
 

Name	CHR01 Couple both at Work
Description	(no description yet)
Device Selection	No Selections
Source	Manually created
Vacation	March + September (30 days) [Ages 1 - 99]
Energy Intensity	Energy Saving
- Persons:** Contains a list of persons assigned to the household.
 

Person:	CHR01 Rubi (23/Female)
<b>Add Person</b> <b>Remove Person</b> <b>Swap Person in all Traits</b>	
Persons	Name CHR001 Rubi (23/Female) CHR01 Sami (25/Male)
- Household Tags:** Household Tag: Children - None.
 

Add Tag	Remove Tag	Create new tag and add it
Name Children - None		
Earners - Two		
Employment - Employed Office Hours		
Size - Couple		
- Traits:** Here you can add household traits. Traits are mostly hobbies or other things that influence strongly how a household behaves.
 

Assigning Type	Name									
Person to assign to	CHR01 Sami (25/Male)									
Household Trait	(Playstation Children Room) Playstation Children Room 1 (1.0h, 7x/Week)									
Add Trait	Remove Trait	Next Requirement								
Filter by text										
<input checked="" type="radio"/> By Tag	Child / Children Entertainment									
<table border="1"> <thead> <tr><th>Traits</th><th>AssignType</th><th>Person assigned to</th><th>Executable Affordances</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>(Playstation Children Room) Playstation Children Room 1 (1.0h, 7x/Week)</td><td>Name</td><td>CHR01 Sami (25/Male)</td><td>1/1</td></tr> </tbody> </table>			Traits	AssignType	Person assigned to	Executable Affordances	(Playstation Children Room) Playstation Children Room 1 (1.0h, 7x/Week)	Name	CHR01 Sami (25/Male)	1/1
Traits	AssignType	Person assigned to	Executable Affordances							
(Playstation Children Room) Playstation Children Room 1 (1.0h, 7x/Week)	Name	CHR01 Sami (25/Male)	1/1							

Figure 9.15: Overview of the element 'Combined Household'

### 9.5.1 General

The screenshot shows the 'General' section of the 'Combined Household' configuration interface:

A combined household is used to combine household traits with a household. A combined household or a household can then be added to a house or calculated by itself.

Name	CHR01 Couple both at Work
Description	(no description yet)
Device Selection	No Selections
Source	Manually created
Vacation	March + September (30 days) [Ages 1 - 99]
Energy Intensity	Energy Saving

**Create a new Combined Household that is an exact copy.**

Figure 9.16: Section 'General' of the element 'Combined Household'

- Name

This is the name for the combined households. The predefined households always begin with CH and a running number.

- **Description**

Put your notes about the household here.

- **Device Selection**

If you want to apply a *device selection*, select one here.

- **Source**

Enter the source for the household here. This is mostly used to distinguish the automatically created households and the manually created ones.

- **Vacation**

Select a vacation here.

- **Energy Intensity**

Select a default energy intensity here.

### 9.5.2 Persons

In this section you can select the persons that should be included in this household.

Persons	Name
	CHR01 Rubi (23/Female)
	CHR01 Sami (25/Male)

Figure 9.17: Section 'Persons' of the element 'Combined Household'

### 9.5.3 Household Tags

In this section you can add as many *household tags* as needed.



Figure 9.18: Section 'Household Tags' of the element 'Combined Household'

#### 9.5.4 Traits

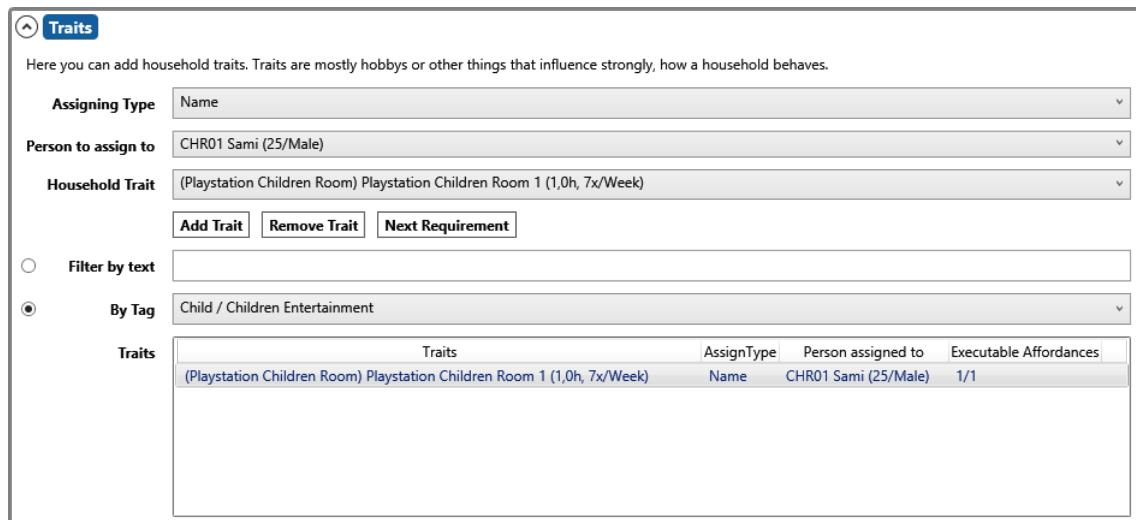


Figure 9.19: Section 'Traits' of the element 'Combined Household'

- **Assigning Type**

You can assign traits by age or by name. If you assign by age then the trait will be applied to every member of the household of the appropriate age, which can be a bit confusing.

- **Person to assign to**

If you assign by name, then you can select the person to assign to here.

- **Household Trait**

This is the trait to assign.

- **Filter by text**

Because it is often difficult to find the exact trait in the list of hundreds of traits,

you can apply a filter here to make it only show the traits that contain the entered string.

- **By Tag**

And this is another way to filter, this time by trait tag.

## 9.6 Household Template

The household templates are used to automatically create new combined households. Figure 9.20 shows an overview.

The screenshot displays the 'Household Template' configuration interface, which is a complex form with multiple tabs and sections. The tabs visible include:

- General:** Contains fields for 'Name' (CH01-Couple birth at home), 'Description' (Automatically created), 'Name for new households' (CH01-Couple birth at home), and 'Amount to generate' (1).
- Members:** Shows a table for adding members, with columns for 'Name', 'Children', 'House', and 'Role'. A note states: "You can import a template from an existing combined household. But since every one can have multiple tags, no clear assignment can be determined. So the result can only be a list of people which can definitely need a list of additional work." Buttons for 'Import' and 'Create' are present.
- Template Tag:** Shows a table for adding template tags, with columns for 'Name', 'Family', and 'Trait'. A note says: "You can insert a template from an existing combined household. But since every one can have multiple tags, no clear assignment can be determined. So the result can only be a list of people which can definitely need a list of additional work." Buttons for 'Add tag', 'Remove tag', and 'Create new tag and add it' are shown.
- Persons:** Shows a table for adding persons, with columns for 'Name' and 'Category'. A note says: "You can insert a template from an existing combined household. But since every one can have multiple tags, no clear assignment can be determined. So the result can only be a list of people which can definitely need a list of additional work." Buttons for 'Add entry', 'Remove entry', and 'Create new entry' are shown.
- Rules:** Shows a table for defining rules, with columns for 'Name', 'Age limit', 'Add entry', 'Remove entry', and 'Remove all entries exceeding the age limit'. A note says: "You can insert a template from an existing combined household. But since every one can have multiple tags, no clear assignment can be determined. So the result can only be a list of people which can definitely need a list of additional work." Buttons for 'Add entry', 'Remove entry', and 'Remove all entries' are shown.
- Events:** Shows a table for defining events, with columns for 'Name', 'Add entry', 'Remove entry', and 'Filter'. A note says: "You can insert a template from an existing combined household. But since every one can have multiple tags, no clear assignment can be determined. So the result can only be a list of people which can definitely need a list of additional work." Buttons for 'Add entry', 'Remove entry', and 'Remove all entries' are shown.
- Details:** Shows a table for defining details, with columns for 'Name', 'Add entry', 'Remove entry', and 'Generate household'. A note says: "You can insert a template from an existing combined household. But since every one can have multiple tags, no clear assignment can be determined. So the result can only be a list of people which can definitely need a list of additional work." Buttons for 'Add entry', 'Remove entry', and 'Generate household' are shown.
- Generated households:** Shows a table for generated households, with columns for 'Name' and 'Delete all'. A note says: "You list the households generated. If you find problems, you can delete them all at once." Buttons for 'Delete all' are shown.

Figure 9.20: Overview of the element 'Household Template'

### 9.6.1 General

- **Name**

This is the name for the household template.

- **Description**

Enter your description here.

- **Name for the new households**

This is the name that all newly created households should get. It is automatically extended with a number.

**General**

A household is the central element in the load profile generator. Here is where everything is put together. The people get united with the devices which are located in rooms and offer affordances to the people. Additionally there are autonomous devices which run independently of the people, for example a fridge. The energy intensity is for randomly selecting devices from device categories.

Name	CHR01 Couple both at Work
Description	Automatically created
Name for the new households	x CHR01 Couple both at Work
Amount to generate	10

Figure 9.21: Section 'General' of the element 'Household Template'

- **Amount to generate**

This is how many households should be generated.

### 9.6.2 Import

To make the process of creating a template easier, you can import a combined household here that will get turned into a template. Note that it will not be a perfect template and should probably be optimized a little. For example some activities like cleaning can be distributed randomly, while others like sleep are needed on every person, but there is currently no way to flag activities that should be distributed automatically. So you have to do that yourself.

**Import**

You can import a template from an existing combined household. But since every trait can have multiple tags, no clear assignment can be determined. So the result can only be a first approach which will definitely need a lot of additional work.

Household	CHR01 Couple both at Work
<b>Import</b>	

Figure 9.22: Section 'Import' of the element 'Household Template'

### 9.6.3 Template Tags

This section is for adding as many household tags as needed.

**Template Tags**

Template Tag	Earners - Two										
<input type="button" value="Add Tag"/> <input type="button" value="Remove Tag"/> <input type="button" value="Create new tag and add it"/>											
<table border="1"> <tr> <td>Name</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Earners - Two</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Children - None</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Employment - Employed Office Hours</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Size - Couple</td> </tr> </table>		Name		Earners - Two		Children - None		Employment - Employed Office Hours		Size - Couple	
Name											
Earners - Two											
Children - None											
Employment - Employed Office Hours											
Size - Couple											

Figure 9.23: Section 'Template Tags' of the element 'Household Template'

### 9.6.4 Persons

In this section you can add the persons for the newly created households. All households created by one template always have the same people in them.



Figure 9.24: Section 'Persons' of the element 'Household Template'

### 9.6.5 Vacations

In this section you can select the vacations that should be applied to the newly created households. This allows you to only create households where the vacation is one of the listed ones.



Figure 9.25: Section 'Vacations' of the element 'Household Template'

### 9.6.6 Entries

In this section you can add and edit the rules that determine which traits get added to the newly created households.

**Entries**

**Randomly add to the persons**

Name
<input type="checkbox"/> CHR01 Rubi (23/Female)
<input checked="" type="checkbox"/> CHR01 Sami (25/Male)

**between** 1

**and (max. 3 )** 1

**of the traits with the tag** Child / Children Entertainment

**Add Entry** **Remove Entry** **Remove all Entries**

**Filter**

Name
Add to CHR01 Sami (25/Male) between 1 and 1 traits with the tag Child / Children Entertainment
Add to CHR01 Sami (25/Male) between 1 and 1 traits with the tag Cleaning / All Kinds Cleaning
Add to CHR01 Rubi (23/Female) between 1 and 1 traits with the tag Cleaning / Bathroom Cleaning
Add to CHR01 Rubi (23/Female) between 1 and 1 traits with the tag Cleaning / Dishwasher
Add to CHR01 Rubi (23/Female) between 1 and 1 traits with the tag Cleaning / Dry Laundry
Add to CHR01 Sami (25/Male) between 1 and 1 traits with the tag Cleaning / House Dusting
Add to CHR01 Rubi (23/Female) between 1 and 1 traits with the tag Cleaning / Ironing
Add to CHR01 Rubi (23/Female) between 1 and 1 traits with the tag Cleaning / Laundry

Figure 9.26: Section 'Entries' of the element 'Household Template'

### 9.6.7 Generate

This is where the work happens: Click the button and all households will be generated. If you select the checkbox a new settlement will be created that contains just the newly created households. This will help with testing.

**Generate**

Generate settlement for testing all the new households

**Generate households!**

Figure 9.27: Section 'Generate' of the element 'Household Template'

### 9.6.8 Generated Households

Because it turns out that generating households is an iterative process, in this section all previously created households are displayed, together with a helpful button to get rid of them all in one go.

Generated Households	
This lists the households generated. If you find a problem, you can delete them all at once.	<input type="button" value="Refresh"/> <input type="button" value="Delete All"/>
Name	
x CHR01 Couple both at Work 03	
x CHR01 Couple both at Work 04	
x CHR01 Couple both at Work 05	
x CHR01 Couple both at Work 06	
x CHR01 Couple both at Work 07	
x CHR01 Couple both at Work 08	
x CHR01 Couple both at Work 09	
x CHR01 Couple both at Work 10	

Figure 9.28: Section 'Generated Households' of the element 'Household Template'

## 9.7 Settlement Template

The settlement templates are the next step up from the household templates. They provide a way to automatically generate entire settlements. For this you can set a number of rules to which the households should conform. Then the program performs the following steps:

1. Try to find households that conform to these rules.
2. If no households are found, create new ones using the matching household templates
3. Place the households into newly created houses.
4. Create a settlement that contains all the houses.

The program ensures that every household is used only once in the new settlement. The overview of the interface is shown in fig. 9.29.

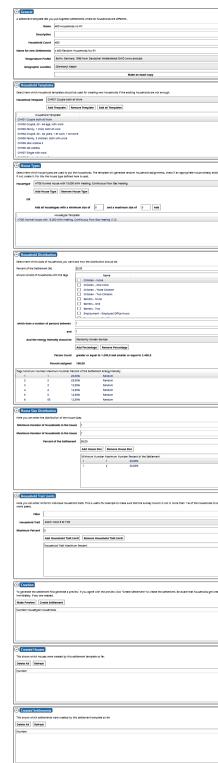


Figure 9.29: Overview of the element 'Settlement Template'

### 9.7.1 General

**General**

A settlement template lets you put together settlements where all households are different..

<b>Name</b>	400 Households no PV
<b>Description</b>	
<b>Household Count</b>	400
<b>Name for new Settlements</b>	x 400 Random Households No PV
<b>Temperature Profile</b>	Berlin, Germany 1996 from Deutscher Wetterdienst DWD ( <a href="http://www.dwd.de">www.dwd.de</a> )
<b>Geographic Location</b>	(Germany) Kassel
<b>Make an exact copy</b>	

Figure 9.30: Section 'General' of the element 'Settlement Template'

- **Name**

This is the name of the settlement.

- **Description**

Put your notes here.

- **Household Count**

This is how many households the new settlement should contain.

- **Name for new Settlements**

This is the name to be used for the new settlements.

- **Temperature Profile**

This is the temperature profile that will be assigned to the new settlements as default profile.

- **Geographic Location**

This geographic location will be assigned to new settlements as default location.

### 9.7.2 Household Templates

In this section you can select which of the household templates should be used when creating new households.

The screenshot shows a user interface for selecting household templates. At the top, there is a dropdown menu labeled "Household Template" containing the option "CHR01 Couple both at Work". Below the dropdown are three buttons: "Add Template", "Remove Template", and "Add all Templates". A scrollable list box displays a list of household templates:

- CHR01 Couple both at Work
- CHR02 Couple, 30 - 64 age, with work
- CHR03 Family, 1 child, both at work
- CHR04 Couple, 30 - 64 years, 1 at work, 1 at home
- CHR05 Family, 3 children, both with work
- CHR06 Jack Jobless 2
- CHR06 Jak Jobless
- CHR07 Single with work

Figure 9.31: Section 'Household Templates' of the element 'Settlement Template'

### 9.7.3 House Types

Add all housetypes that should be used when creating houses in this section.

**House Types**

Select here which house types are used to put the households. The template will generate random household assignments, check if an appropriate house already exists and if not, create it. For this the house type defined here is used.

Housetype: HT06 Normal house with 15.000 kWh Heating, Continuous Flow Gas Heating

Add House Type | Remove House Type

OR

Add all housetypes with a minimum size of  and a maximum size of  Add

Housetype Template
HT06 Normal house with 15.000 kWh Heating, Continuous Flow Gas Heating (1-2)

Figure 9.32: Section 'House Types' of the element 'Settlement Template'

#### 9.7.4 Household Distribution

In this section you can set the rules which will be used to generate or pick the households. Note the percentage of all assignments has to add up to 100 %. It is possible to create nonsensical rules, for example, requiring zero and one child at the same time. Such problems will be detected and brought to your attention when a preview is generated.

**Household Distribution**

Select here which sizes of households you want and how the distribution should be.

Percent of the Settlement [%]: 25,00

should consist of households with the tags:

Name
<input type="checkbox"/> Children - None
<input type="checkbox"/> Children - One Child
<input type="checkbox"/> Children - Three Children
<input type="checkbox"/> Children - Two Children
<input type="checkbox"/> Earners - None
<input type="checkbox"/> Earners - One
<input type="checkbox"/> Earners - Two
<input type="checkbox"/> Employment - Employed Office Hours

which have a number of persons between: 1

and: 1

And the energy intensity should be: Randomly chosen devices

Add Percentage | Remove Percentage

Person Count: greater or equal to 1.200,0 and smaller or equal to 3.400,0

Percent assigned: 100,00

Tags	Minimum Number	Maximum Number	Percent of the Settlement	EnergyIntensity
1	1	25,00%	Random	
2	2	25,00%	Random	
3	3	12,50%	Random	
4	4	12,50%	Random	
5	5	12,50%	Random	
6	50	12,50%	Random	

Figure 9.33: Section 'Household Distribution' of the element 'Settlement Template'

### 9.7.5 House Size Distribution

In this section you can set the household sizes. This makes it possible to, for example, generate a settlement that has 90 % single family houses and 10 % houses with 10 apartments (or any other mix desired). Of course this is only possible if you provided appropriate house types. Specifying single family houses here and only providing multi family house types will not lead to results.

Minimum Number	Maximum Number	Percent of the Settlement
1	1	50,00%
1	2	50,00%

Figure 9.34: Section 'House Size Distribution' of the element 'Settlement Template'

### 9.7.6 Household Trait Limits

During early tests of the settlement templates sometimes odd energy spikes occurred in the Sunday morning load profile. Investigation showed that the random number generator assigned the Sunday brunch trait to too many households, which led to very unrealistic energy uses. To stop such effects this section was added. Here you can limit any trait to a maximum number of households, for example ensuring that not more than 5 % of all households eat brunch on Sunday mornings.

**Household Trait Limits**

Here you can enter limits for individual household traits. This is useful for example to make sure that the sunday brunch is not in more than 1 % of the households to avoid weird peaks.

Filter	<input type="text"/>
Household Trait	Alarm clock B at 7:00
Maximum Percent	0
<b>Add Household Trait Limit</b> <b>Remove Household Trait Limit</b>	
Household Trait Maximum Percent	

Figure 9.35: Section 'Household Trait Limits' of the element 'Settlement Template'

### 9.7.7 Creation

This is the section where the work is performed. Click the preview button first to create a list of households. Note that this will also create any households needed. You can click the preview button as many times as desired until you hit a distribution that you are happy with. Then click on "Create Settlement" and the settlement will be created.

**Creation**

To generate the settlement first generate a preview. If you agree with the preview click "Create Settlement" to create the settlement. Be aware that households get created immediately, if any are needed.

<b>Make Preview</b>	<b>Create Settlement</b>
Number Housetype Households	

Figure 9.36: Section 'Creation' of the element 'Settlement Template'

### 9.7.8 Created Houses

This list shows the houses that were created together with an option to delete them all.

**Created Houses**

This shows which houses were created by this settlement template so far.

**Delete All** **Refresh**

Number
--------

Figure 9.37: Section 'Created Houses' of the element 'Settlement Template'

### 9.7.9 Created Settlements

This section shows the created settlements again with the option to delete them.

**Created Settlements**

This shows which settlements were created by this settlement template so far.

**Delete All** **Refresh**

Number
--------

Figure 9.38: Section 'Created Settlements' of the element 'Settlement Template'

# Chapter 10

## Results Improvements

The only remaining elements now are the types used to help with creating reports of the results. Due to the complexity of the creation process and the large number of households it became very important to have high quality reports about the results that allow for a quick iteration cycle when refining households. To help with this, the three types in this chapter were introduced.

### 10.1 Device Tagging Set

The first type is the *device tagging set*. The reason for this type is that every statistic defines their own categories to split the energy consumption into, which makes comparisons rather labour intensive. To compare, all devices need to be sorted into the appropriate categories after every calculation. To automate this task the device tagging sets let the user assign a tag to each device and then the LPG will automatically calculate statistics for each tag for each of the sets. Additionally the device tagging sets allow you to provide reference numbers per tag, load type and household size. The reference values are used after the calculation to create charts that show the difference of the freshly calculated household to the reference values. One example for such a reference value might be “In households with 2 people the average energy consumption for cooking is 800 kWh”.

There is no limit on the number of device tagging sets. Figure 10.1 shows the interface.

The screenshot displays the 'Device Tagging Set' configuration interface. It consists of several stacked sections:

- General:** A brief description of the tagging set's purpose and a form to enter the name ('Destatis Water Usage Statistics') and description ('(no description)').
- Tags:** A section to manage tags. It shows a list of tags: Hygiene, Toilet, Laundry, Business, Cleaning, Dishwashing, Food, and none. Buttons for 'Add tag' and 'Remove tag' are available.
- Reference Statistics:** A table showing the count of devices for each tag: Hygiene (7), Toilet (8), Laundry (0), Business (0), Cleaning (0), Dishwashing (3), Food (3), and none (312).
- Reference Values:** A table showing reference values for different load types (Warm Water, Cold Water) across various tags. For example, for Hygiene, there are 15899 cold water units.
- Statistics:** A table showing the number of persons for each tag: Hygiene (7), Toilet (8), Laundry (3), Business (0), Cleaning (0), Dishwashing (3), Food (3), and none (312).
- Entries:** A table listing various devices with their names, categories, and device IDs. Examples include 'Active Speaker System Canton Chrono 500 with Subwoofer Chrony AS 5250C', 'Active Speaker Trust Tytan 2.1', and 'AGM KM 2701 Premium'.

Figure 10.1: Overview of the element 'Device Tagging Set'

### 10.1.1 General

This screenshot shows the 'General' section of the configuration interface. It includes:

- Name:** Destatis Water Usage Statistics
- Description:** (no description)

A detailed description below the form states: 'An device tagging set is for assigning tags to devices and then getting a report of how the energy gets used their time. The idea is to make it easy to compare LPG data with different statistics. And since for some reason every statistical agency came up with their own categories for devices, multiple tagging sets are needed.'

Figure 10.2: Section 'General' of the element 'Device Tagging Set'

#### • Name

This is the name of the device tagging set.

#### • Description

Enter your notes here.

### 10.1.2 Tags

In this section you can define all the tags you want to use for this tagging set.

Tag name: Hygiene

Add tag Remove tag

Tags

Tags
Hygiene
Toilet
Laundry
Business
Cleaning
Dishwashing
Food
none

Figure 10.3: Section 'Tags' of the element 'Device Tagging Set'

### 10.1.3 Reference Statistics

These are the sums per household size for the reference values. The idea is to have an additional control to make sure no values were forgotten.

Persons	Sum
3	132491

Refresh

Figure 10.4: Section 'Reference Statistics' of the element 'Device Tagging Set'

### 10.1.4 Reference Values

- **Loadtype**

Select the load type for the reference value you want to enter here.

- **Tag**

Select the tag here that you want to reply the reference value for.

- **Number of Persons in Household**

This is the household size that this reference value is for.

- **Reference Value**

Enter the value here.

**Reference Values**

Loadtype	Warm Water																																
Tag	Hygiene																																
Number of Persons in Household	3																																
Reference Value	47698																																
<input type="button" value="Add Reference Value"/> <input type="button" value="Remove Reference Value"/> <input type="button" value="Find missing entries"/>																																	
Tags	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tag</th> <th>Number of Persons</th> <th>Value</th> <th>Loadtype</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hygiene</td> <td>3</td> <td>47698</td> <td>Warm Water</td> </tr> <tr> <td>Toilet</td> <td>3</td> <td>35773</td> <td>Cold Water</td> </tr> <tr> <td>Laundry</td> <td>3</td> <td>15899</td> <td>Cold Water</td> </tr> <tr> <td>Cleaning</td> <td>3</td> <td>7949</td> <td>Cold Water</td> </tr> <tr> <td>Business</td> <td>3</td> <td>11924</td> <td>Cold Water</td> </tr> <tr> <td>Dishwashing</td> <td>3</td> <td>7949</td> <td>Cold Water</td> </tr> <tr> <td>Food</td> <td>3</td> <td>5299</td> <td>Cold Water</td> </tr> </tbody> </table>	Tag	Number of Persons	Value	Loadtype	Hygiene	3	47698	Warm Water	Toilet	3	35773	Cold Water	Laundry	3	15899	Cold Water	Cleaning	3	7949	Cold Water	Business	3	11924	Cold Water	Dishwashing	3	7949	Cold Water	Food	3	5299	Cold Water
Tag	Number of Persons	Value	Loadtype																														
Hygiene	3	47698	Warm Water																														
Toilet	3	35773	Cold Water																														
Laundry	3	15899	Cold Water																														
Cleaning	3	7949	Cold Water																														
Business	3	11924	Cold Water																														
Dishwashing	3	7949	Cold Water																														
Food	3	5299	Cold Water																														

Figure 10.5: Section 'Reference Values' of the element 'Device Tagging Set'

### 10.1.5 Statistics

These statistics show how many devices are assigned to each of the tags.

**Statistics**

Name	Count
Hygiene	7
Toilet	2
Laundry	8
Business	0
Cleaning	0
Dishwashing	5
Food	3
none	312

Figure 10.6: Section 'Statistics' of the element 'Device Tagging Set'

### 10.1.6 Entries

In this section all the devices are listed. You have to go through and assign a tag to every single one.

Device Name	Device Category	Tags	none
Active Speaker System Canton Chrono 502 with Subwoofer Chrono AS 525SC	Education and Entertainment equipment / Hifi devices / Active speaker		
Active Speaker Trust Tytan 2.1	Education and Entertainment equipment / Hifi devices / Active speaker		
Active Speakers Creative Inspire P380	Education and Entertainment equipment / Hifi devices / Active speaker		
AEG NM 2701 Premium	Appliances / Sewing machine		
AEG PN 2200 RX 4935365097	Tools / Power drill / Hammer drill		
AEG pneumatic 2000 super MF 2	Tools / Power drill / Hammer drill		

Figure 10.7: Section 'Entries' of the element 'Device Tagging Set'

## 10.2 Affordance Tagging Set

Affordance tagging sets fill almost the purpose as the device tagging sets, with the difference being that they are for affordances instead of devices. Figure 10.8 shows an overview of the interface.

Figure 10.8: Overview of the element 'Affordance Tagging Set'

### 10.2.1 General

- **Name**

This is the name of the affordance tagging set.

**General**

An affordance tagging set is for assigning tags to affordances and then getting a report of how the people spend their time. The idea is to make it easy to compare LPG data with different statistics. And since for some reason every statistical agency came up with their own categories of activities, multiple tagging sets are needed.

Name	Basic Tagging
Description	(no description)
<input checked="" type="checkbox"/> Use this tagging set when making charts	

Figure 10.9: Section 'General' of the element 'Affordance Tagging Set'

- **Description**

Put your notes here.

### 10.2.2 Tags

This is the list of all tags in the set that you want to use. The colors are used to create a carpet plot for each tagging set that shows what the person is doing.

**Tags**

Tag name: cleaning

Tags	Red	Green	Blue	Color
cleaning	128	128	128	Pick Color
cooking	255	0	0	Pick Color
hygiene	255	255	0	Pick Color
none	255	255	255	Pick Color
recreation	255	128	255	Pick Color
shopping	128	255	255	Pick Color

Figure 10.10: Section 'Tags' of the element 'Affordance Tagging Set'

### 10.2.3 Reference Values

In this section you can once again set reference values which will be shown in the reports.

**Reference Values**

Tag	cleaning
Gender	Male
Minimum Age	
Maximum Age	
Percentage	
<b>Add reference value</b> <b>Remove reference value</b>	
Tags	Tags Gender Minimum Age Maximum Age Percentage

**Statistics**

Description	Sum
-------------	-----

**Refresh statistics**

Figure 10.11: Section 'Reference Values' of the element 'Affordance Tagging Set'

#### 10.2.4 Statistics

This section shows how many of each type of tag are assigned.

**Statistics**

**Refresh**

Name	Count
cleaning	26
cooking	42
hygiene	18
none	0
recreation	121
shopping	4
sleeping	28
work	44

Figure 10.12: Section 'Statistics' of the element 'Affordance Tagging Set'

#### 10.2.5 Entries

All the affordances are listed here. You need to assign one of the tags to every single one of them.

Name	Tag
bake a cake	cooking ▾
bake a cake (maid)	cooking ▾
bake bread	cooking ▾
clean the bath	cleaning ▾
clean the windows	cleaning ▾
cook a sunday feast and eat it	cooking ▾
cook a sunday feast with extractor hood and eat it	cooking ▾

Figure 10.13: Section 'Entries' of the element 'Affordance Tagging Set'

### 10.3 Household plans

One difficulty with all the modelling is that there is no way to really specify how often a given affordance should be executed per time period. This is system imminent, because how often an affordance gets chosen depends on how often other activities with higher priority are performed. But since surveys and normal planning tend to yield statements like "going to the fitness studio twice per week", a way to compare the simulation results with the survey was needed. For this the household plans were introduced.

In a household plan you enter all the desired activity frequencies and the LPG will generate a report for you after the calculation showing the difference between the simulation results and the target values. Figure 10.14 shows an overview of the interface.

As an additional convenience it is possible to assign new household traits right from the household plan. This can speed up the process of creating a new household significantly.

The screenshot displays the 'Household Plan' interface with five main sections:

- General:** A household plan helps with making a household. Due to the fluid concept of the LPG, modelling an exact household involves a lot of trial and error. A plan allows the user to specify what they have in mind. Then a result file is automatically created that compares the specification with the reality and helps with finding where to adjust the settings. This is done by assigning each affordance a designation and then defining for the designations how often they should be executed. The reason for this roundabout way is that the goal is to define something like "eat 1h every day", not specify every different dish separately. Please note that whatever you set here does not influence the households. It's just generates a report that will help you find problems.
 

Name	CHR01 Couple (both working, under 30)
Description	(no description)
Type of household	CombinedHousehold
Combined household	CHR01 Couple both at Work
Affordance Tagging Set	Tagging Set For Planning
Color Scheme	By Activations
- Traits without Affordances:** Here you can add traits without any affordances to people. This might be standby traits or traits for joining activities.
 

Person		
Trait		
Add	Remove	Refresh
Trait Person		
(Home Server) Home Server (CHR01 Sare (25/Male))		
- Household Creation:** To change an existing household or make a new one you can select a combined household here and then use the household plan to add traits to that household.
 

Combined Household	Apply
To assign the traits to the correct persons, chose your person assignment here.	
Listed Person Target Person	
- Statistics:**

Name	Value
lpgs	0000000
CHR01 Rubs	0000000
- Entries:** Entries
 

Sort by	By Person	sort again	Refresh Entries				
Person	Tag Name	Frequency	Category	Household Trait to add	Existing Traits	Add	Open
H99 (20/Male)	Office - use the running office computer (1 h)	0 times per 1 Day	Office			Add	Open
H99 (20/Male)	Office - use the running office computer (1-5 h)	0 times per 1 Day	Office			Add	Open
H99 (20/Male)	Office - use the running office computer (2 h)	0 times per 1 Day	Office			Add	Open
H99 (20/Male)	apply make up	0 times per 1 Day	Entertainment			Add	Open

Figure 10.14: Overview of the element 'Household Plan'

### 10.3.1 General

The screenshot shows the 'General' section of the Household Plan interface, which includes the following fields:

Name	CHR01 Couple (both working, under 30)
Description	(no description)
Type of household	CombinedHousehold
Combined household	CHR01 Couple both at Work
Affordance Tagging Set	Tagging Set For Planning
Color Scheme	By Activations

At the bottom of the section is a button: Refresh the plan for a combined household with the numbers from the traits

Figure 10.15: Section 'General' of the element 'Household Plan'

- **Name**

This is the name of the household plan.

- **Description**

Put your notes here.

- **Type of household**

Here you can select if you want to make a plan for a normal or a combined household.

- **Affordance Tagging Set**

Select here which affordance tagging set you want to use.

- **Color Scheme**

Here you can select how the lines in the list below should be coloured.

### 10.3.2 Traits without Affordances

With the interface below you can only add traits that have affordances to people. But some household traits don't have any affordances, such as the home server trait shown here. With this section you can add such traits to a combined household. Again this only exists as additional convenience and could just as easily be done from the combined household view.

Trait	Person
(Home Server)	Home Server CHR01 Sami (25/Male)

Figure 10.16: Section 'Traits without Affordances' of the element 'Household Plan'

### 10.3.3 Household Creation

Another convenience feature is to convert a conventional household to a combined household. This feature is not really relevant anymore since there are no conventional households left.

**Household Creation**

To change an existing household or make a new one you can select a combined household here and then use the household plan to add traits to that household.

**Combined Household**

To assign the traits to the correct persons, chose your person assignment here.

Listed Person	Target Person

Figure 10.17: Section 'Household Creation' of the element 'Household Plan'

#### 10.3.4 Statistics

These statistics show how much time per year is planned for each person and how much energy for each load type will approximately be consumed. Note that these are estimates. If you plan more activities per year than 8760 hours, some activities won't be performed. And if you plan activities for less than 8760 hours, some of the available activities will be executed more often. For things to work right, you should plan for approximately 8000–10000 hours. Slightly over-allocating is better than under-allocating.

Name	Value
H99	00:00:00
CHR01 Rubi	00:00:00

Figure 10.18: Section 'Statistics' of the element 'Household Plan'

#### 10.3.5 Entries

In this section you can enter the actual data and also add household traits if needed.

Person	Tag Name	Frequency	Category	Household Trait to add	Existing Traits	Fill
H99 (20/Male)	Office - use the running office computer (1 h)	0 times per 1 Day	Office		Add Open	
H99 (20/Male)	Office - use the running office computer (1.5 h)	0 times per 1 Day	Office		Add Open	
H99 (20/Male)	Office - use the running office computer (2 h)	0 times per 1 Day	Office		Add Open	
H99 (20/Male)	apply make up	0 times per 1 Day	Entertainment		Add Open	

Figure 10.19: Section 'Entries' of the element 'Household Plan'

# Chapter 11

## Menus

The next thing to introduce are the menus.

### 11.1 Menu File

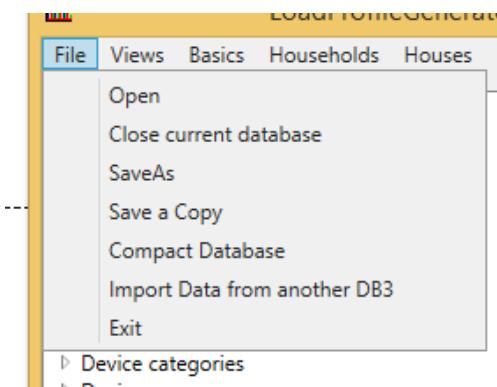


Figure 11.1: The File menu

The first menu is the file menu. It is shown in fig. 11.1. The options are:

- **Open**  
Opens a dialog to switch to a different database.
- **Close current database**  
Closes the current database.
- **Save As**  
Saves the current database under a new name and reopens it.
- **Save a Copy**  
Saves a copy of the current database, but keeps working with the old one.
- **Compact Database** Performs maintenance on the current database.

- **Import Data from another DB3**

Imports data from another database. This can also be an older version. The import looks for elements in the other database that are not contained in the current one and offers a list up for import. Note that it only checks by name, so if you change some option in a household trait for example, this would not be recognised and imported. This function is especially useful if a new version is released.

- **Exit**

Closes the program. Does the same thing as the X in the top right corner of the window.

## 11.2 Menu Views

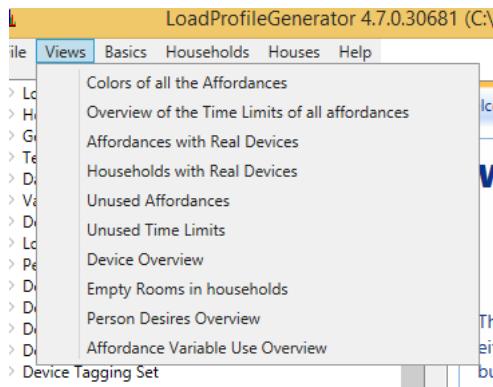


Figure 11.2: The Views menu

This menu contains the options to open various views to help with doing maintenance and making sure that all the settings are consistent. The names should be self-explanatory.

## 11.3 Menu Basics

The Basics menu shown in fig. 11.3 is for adding the new elements which are needed as foundation for the other elements.

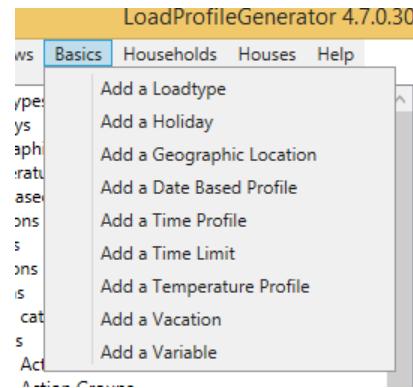


Figure 11.3: The Basics menu

## 11.4 Menu Households

The Households menu shown in fig. 11.4 is for adding all the elements to make a household.

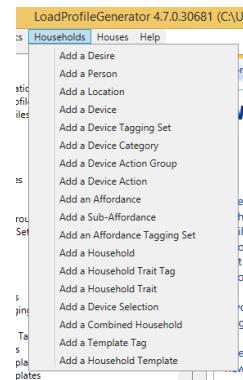


Figure 11.4: The Households menu

## 11.5 Menu Houses

The Houses menu shown in fig. 11.5 is for adding all the elements to make a house or settlement.

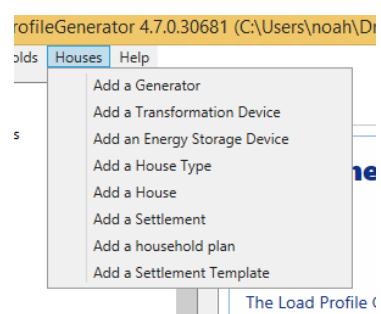


Figure 11.5: The Houses menu

# Chapter 12

## Other Screens

There are two more screens to discuss: The screen to start the calculations and the settings.

### 12.1 Calculation

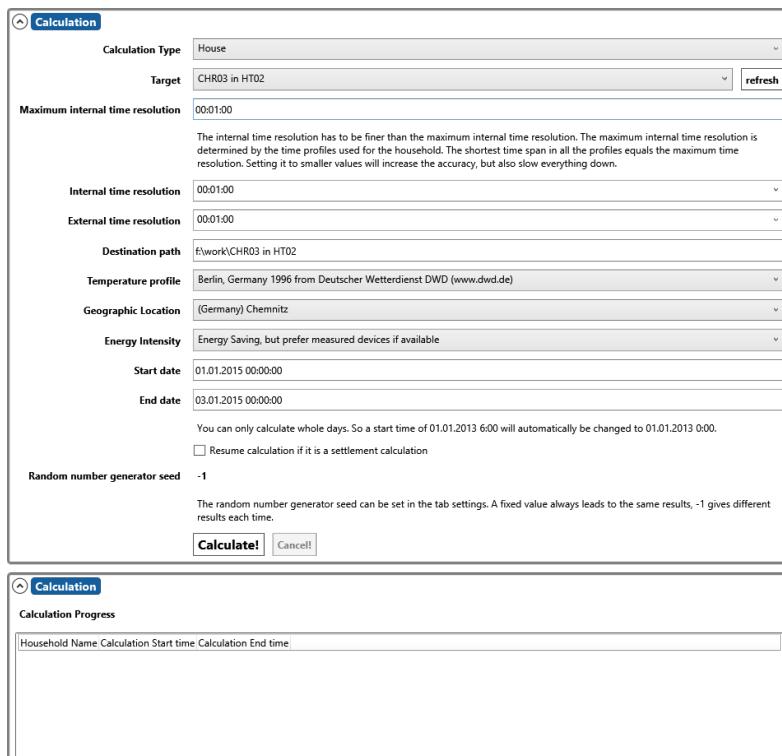


Figure 12.1: Overview of the 'Calculation'-Screen

#### • Calculation Type

Here you can select if you want to calculate a household, a combined household, a house or an entire settlement.

- **Target**

Select the target object here.

- **Maximum internal time resolution**

This is the coarsest possible internal time resolution.

- **Internal time resolution**

This is the internal time resolution that should be used. Putting in 1 min means that no action in the LPG can be shorter than 1 min.

- **External time resolution**

The external time resolution is used to generate additional result files for the user by condensing the more finely grained result files into whatever time resolution is needed here.

- **Destination path**

This is the path where all the result files should be placed. Make sure there is enough space.

- **Temperature profile**

Select the temperature profile here. This is automatically prefilled with the default from the selection.

- **Geographic Location**

Select the geographic location here. This is also automatically prefilled.

- **Energy Intensity**

The energy intensity determines which devices will be picked and if the fridge will be from 1980 or 2010.

- **Start date**

Start date of the simulation.

- **End date**

End date of the simulation. Due to memory and hard drive space consumption it is generally not advisable to simulate more than one year at a time.

- **Resume calculation if it is a settlement calculation**

If you run a settlement calculation and the LPG crashes at house 499 out of 500, it can be a bit frustrating. To make it less frustrating you can select here the option to resume and it will try to start over at the last household. Be aware that if the crash occurred in the middle of a calculation, you might have to delete the last household manually.

- **Random number generator seed**

This just displays the random number generator seed. The seed determines which numbers occur in which order. The basic consequence is that if you simulate the same household twice with the same seed, you get two identical results. If you use two different seeds, the results will differ. The seed can be set in the settings. -1 means a random seed every time.

## 12.2 Settings

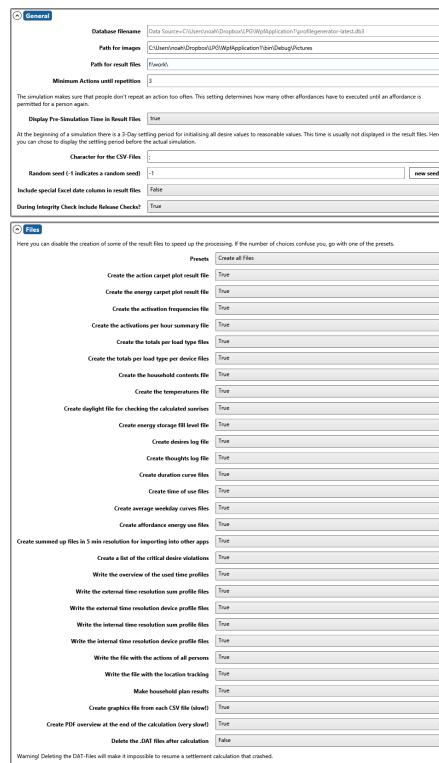


Figure 12.2: Overview of the element 'Settings'

- **Database filename**

This just displays again which database file is used.

- **Path for images**

If you have images that you would like to display, you can enter the path here.

- **Path for result files**

This is the default path for the result files.

- **Minimum Actions until repetition**

To make the results more realistic, one important thing is that direct repetitions of activities need to be avoided. This field sets how many other activities have to be performed before a given activity is allowed to be performed again. A number of 3 to 5 has worked out well.

- **Display Pre-Simulation Time in Result Files**

The LPG uses a 3-day settling period to initialise all the desires and reach a stable daily routine. Usually these three days are automatically hidden from the result files. With this option you can make them visible.

- **Character for the CSV-Files**

Here you can set if you want a “,”, “;” or something else as separator for the CSV files.

- **Random seed (-1 indicates a random seed)**

Set the random seed here.

- **Include special Excel date column in result files**

Excel has this weird bug where if you try to make a column chart with a datetime column and a value column, the graph is not what was intended. To make these charts a bit easier to create this option introduced an additional datetime column that includes the date and time as strings and which give the expected results. Because by now the reporting functionality of the LPG is so good that Excel is rarely needed anymore, this function is of limited use.

- **During Integrity Check include Release Checks?**

The LPG performs a complete integrity check before starting the simulation, making sure that there are no errors in the models. One part of this check is an analysis if the naming conventions are met and similar things that are optional for creating a model. If you want to use the program to model your own household you can set this to false and save yourself a lot of work.

The lower part of the screen is simply a list of all the different result files with the option to turn them all off.

# Chapter 13

## Result Files

One of the big challenges when creating load profiles for residential customers is measuring the quality of the simulation result, since the profile is just a series of short spikes with various delays in between. To help with this problem the LPG creates a large number of reports. The table below lists all the created files and their content.

Table 13.1: Overview for the result files in version 4.5,  
d = created while simulation, p = created in post processing

Name	Typ	Beschreibung
<b>Binary Files</b>		
OnlineDeviceEnergyUsage.<Load-type>.dat	d	Binary result file used by the postprocessing, split per load type.
<b>Result files</b>		
DeviceProfiles.<Loadtype>.csv	p	Table with energy use per device per time step.
SumProfiles.<Loadtype>.csv	p	Total profile of the household.
ImportProfiles.300s.<Loadtype>.csv	p	Total profile for the household / house without any column headers or time stamps in 5 min resolution for importing in other applications.
<b>Auswertungen</b>		
Actions.*.csv	d	List of the executed actions per person with the time of activation
ActionsEachStep.*.csv	d	List of executed actions for each time step to make it easier to create statistics
ActivationsPerHour.*.csv	p	Report per person, which activities are usually started at which hour.
ActivityFrequenciesPerMinute.*.csv	p	Report per person, which activities are performed during every minute of the day
ActivityPercentage.*.csv	p	Report per person by affordance category for the activities per year
AffordanceEnergyUse.*.csv	p	Consumption per affordance per load type

Table 13.1: Overview for the result files in version 4.5,  
d = created while simulation, p = created in post processing

Name	Typ	Beschreibung
AffordanceEnergyUsePerPerson.*.csv	p	Consumption per person per affordance per load type
AffordanceTaggingSet.*.csv	p	Time use per affordance tag per person per affordance tagging set
AffordanceTimeUse.*.csv	p	Time use per affordance per person
Desires.*.csv	d	Desire values per person for each time step
DeviceDurationCurves.*.csv	p	Duration curves per device per load type
DeviceSums.*.csv	p	Consumption per load type per device
DeviceSums_Monthly.*.csv	p	Consumption per load type per month per device
DeviceTaggingSet.*.csv	p	Consumption per load type per device tag for each device tagging set
DurationCurve.*.csv	p	Duration curve per household per load type
ExecutedActionsOverviewCount.*.csv	p	Number of executions per activity per person per weekday
HouseholdPlan.Times.*.csv	p	Results from comparing the household plan with the results
Locations.csv	d	List of the locations per person
LocationStatistics.csv	p	Statistics for the locations per person
Thoughts.*.csv	d	Log of the "thoughts" of the persons, especially the reasoning for the activity choices
TimeOfUseEnergyProfiles.*.csv	p	Average profiles per device per load type
TimeOfUseProfiles.*.csv	p	Average time consumption per season per person per weekday
TotalsPerLoadtype.csv	p	Sums per load type
Variablelogfile.csv	d	State of all variables for each time step
WeekdayProfiles	p	Average load profile per season per load type per weekday

## Chapter 14

# Command Line Interface

The LPG includes an additional command line interface to perform simulations. For this the file **SimulationEngine.Exe** has to be called from the command line. This is especially useful to automate the generation of bigger settlements. The options for this are shown below.

### 14.1 Database Content

First are the options to list the elements in the database. They are needed because the calculation refers to the database objects by number, not by name. So you need to find out the number here and then call the calculation with the number you want.

Table 14.1: Options to list the database content

Option	Effect
--List-Households	Lists all Households
--List-CombinedHouseholds	Lists all CombinedHouseholds
--List-Houses	Lists all Houses
--List-Settlements	Lists all Settlements
--List-TemperatureProfiles	Lists all Temperature Profiles
--List-GeographicLocations	Lists all Geographic Locations
--ListLoadTypes	Lists the load types

Example:

```
Simulationengine.exe --List-CombinedHouseholds
```

### 14.2 Batch File Creation

For some purposes it is useful to calculate, for example, one of each type of household or calculate all the households in a settlement individually. This is especially useful together with the parallel launcher function described below.

Table 14.2: Options to create batch files

Option	Effect
--Batch-Households	Creates a batch file to calculate one instance of all households
--Batch-CombinedHouseholds	Creates a batch file to calculate one instance of all combined households
--Batch-Houses	Creates a batch file to calculate one instance of all houses
--Batch-Settlements	Creates a batch file to calculate one instance of all settlements
--BatchFromSettlement -Settlement 3	Creates a batch file to calculate all the elements in the settlement with the number 3

## 14.3 Calculation

The options introduced here are the ones needed to run an actual calculation. There are three kind of options.

- The options in table 14.3 are the required options. They *have* to be there.
- The options in table 14.4 are the options to further specify the simulations. You probably want at least some of those options.
- The options in table 14.5 set which output files should be generated. Often *AllOutputs* is used.

Table 14.3: Parameters required for running an actual calculation

Option	Effect
--Calculate	Sets the calculation mode
--Household	Set the calculation type. One of those is required when performing a calculation.
-CombinedHousehold	
-House	
-Settlement	
--CalcObjectNumber <number>	Set the calculation object number from the list.

Table 14.4: Additional optional parameters which can be set for running an actual calculation

Option	Effect
[--StartDate 01.03.2016]	Sets a start date. No value means the first day of this year.
[--EndDate 01.04.2016]	Sets an end date. No value means the last day of this year.
[--Randomseed 5]	Set the random seed to 5.
[--LimitLoadTypes 3,4,6]	Limits the load types to #3, #4 and #6. Be careful not to put spaces between the numbers! This option can save a lot of time when running large amounts, since the other load types won't be calculated.
[--TemperatureProfile 10]	Set the temperature profile to use #10
[--GeographicLocation 10 ]	Set the geographic location to use #10
[--ExternalTimeResolution 00:15:00 ]	Set the external time resolution to use.
[--EnergyIntensive	Set the energy intensity to use
--EnergySaving	
--EnergyIntensivePreferMeasured	
--EnergySavingPreferMeasured]	
[--SkipExisting]	Skips this calculation if the directory already exists
[--OutputDirectory MyDirectory]	Puts all the outputs into MyDirectory

Table 14.5: Additional optional parameters for settings the outputs

Option	Effect
[--DeleteAllButPDF]	After calculation all files but the PDF are deleted
[--AllOutputs]	Enables all outputs
[--ActionCarpetPlot]	Enables the action carpet plots
[--EnergyCarpetPlot]	Enables the energy carpet plots
[--ActivationFrequencies]	Enables the activation frequency report
[--ActivationsPerHour]	Enables the activations per hour report
[--TotalsPerLoadtype]	Enables the totals per loadtype report
[--TotalsPerDevice]	Enables the totals per device report
[--HouseholdContents]	Enables the household contents report
[--TemperatureFile]	Enables the temperature report
[--DaylightTimesToCSV]	Enables the daylight report
[--EnergyStorageFile]	Enables the energy storage report. Only applicable to houses with energy storages.
[--DesiresLogFile]	Enables the desires report
[--ThoughtsLogFile]	Enables the thoughts report
[--DurationCurve]	Enables the duration curve report
[--TimeOfUse]	Enables the time of use report
[--Weekday]	Enables the weekday consumption report
[--AffordanceEnergyUse]	Enables the affordance energy use report
[--ImportFiles]	Enables the file for importing on other programs (5 min resolution)
[--CriticalViolations]	Enables the critical desire threshold violations report
[--TimeProfileFile]	Enables the time profile report
[--SumProfileExternal]	Enables the external time resolution sum profile report
[--DeviceProfileExternal]	Enables the external time resolution device profile report
[--SumProfile]	Enables the internal time resolution device profile report
[--DeviceProfile]	Enables the internal time resolution device profile report
[--Actions]	Enables the actions report
[--Locations]	Enables the Locations report
[--HouseholdPlan]	Enables the household plan report (only applicable if there is such a household plan)
[--Graphics]	Enables the creation of charts
[--PDF]	Enables the creation of the comprehensive PDF report report

Example:

```
SimulationEngine.exe --Calculate --Household --CalcObjectNumber 1
--AllOutputs --PDF --DeleteAllButPDF --OutputDirectory Household_PDF_1
```

## 14.4 Parallel Launcher

While using the LPG it became painfully obvious that it is very desirable to be able to parallelise a calculation for a settlement with hundreds of households across as many CPU-cores as possible. For this the parallel launcher options were introduced. So if you have a 48 core computing server, with this option you can run 48 calculations in parallel. Note that the program will automatically use as many cores as the computer has. Be careful when you launch it on a server where others are also running calculations. You might cause some unhappiness. To use the tool this first call the simulation engine with the *BatchFromSettlement* option, which will create a batch file. Then edit it until you are happy and then use this option to launch it. By the way, the launcher will automatically skip already finished houses, therefore you can start and stop at any time.

Table 14.7: Parameters required for running an actual calculation

Option	Effect
--LaunchParallel	Sets the parallel calculation mode
--Batchfile bla.cmd	Launches the calculation of all the commands contained in the bla.cmd.

Example:

```
SimulationEngine.exe --LaunchParallel --Batchfile bla.cmd
```

# **Chapter 15**

## **Conclusion**

This should explain the entire program. If there are any remaining questions, please don't hesitate to contact the author at:

Noah.Pflugradt@gmail.com



# Literaturverzeichnis

- [1] BP p.l.c.: *BP Statistical Review of World Energy June 2012*. 2012.
- [2] Nitsch, J.; Pregger, T.; Naegler, T.; Heide, D.; Tena, D. de; Trieb, F.; Scholz, Y.; Nienhaus, K.; Gerhardt, N.; Sterner, M. u. a.: *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*. In: *Schlussbericht im Auftrag des BMU*, bearbeitet von DLR (Stuttgart), Fraunhofer IWES (Kassel) und IfNE (Teltow) (2011). URL: [http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Politische\\_Papiere\\_anderer/12.03.29.BMU\\_Leitstudie2011/BMU\\_Leitstudie2011.pdf](http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Politische_Papiere_anderer/12.03.29.BMU_Leitstudie2011/BMU_Leitstudie2011.pdf).
- [3] Quaschning, V.; Weniger, J.; Bergner, J.; Tjaden, T.: *Die Bedeutung von dezentralen PV-Systemen für die deutsche Energiewende*. In: *30. Symposium Photovoltaische Solarenergie* (2015). URL: <http://www.volker-quaschning.de/downloads/Staffelstein-2015-Quaschning.pdf>.
- [4] Dorer, V.; Weber, A.: *Methodologies for the performance assessment of residential cogeneration systems*. In: *A Report of Subtask C of FC+COGEN-SIM: The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems* 42 (2007).
- [5] Binder, J.; Kelm, T.: *Dezentrale Photovoltaik: Autonomie, Eigenverbrauch und Netzentlastung durch lokale Strom-und Wärmespeicher*. In: *Proceedings of the 27th Photovoltaic and Solar energy conference*. 2012.
- [6] Fischer, D.; Härtl, A.; Wille-Haussmann, B.: *Model for electric load profiles with high time resolution for German households*. In: *Energy and Buildings* 92 (2015), Seiten 170–179.

- [7] Puch, K.: *Arbeiten, wenn andere schlafen*. Statistisches Bundesamt. 2010. URL: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/STATmagazin/Arbeitsmarkt/2010\\_04/2010\\_04Nachtarbeit.html;jsessionid=14DB67DFF43EAE444DFD145F59EC4487.cae1#Link1](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/STATmagazin/Arbeitsmarkt/2010_04/2010_04Nachtarbeit.html;jsessionid=14DB67DFF43EAE444DFD145F59EC4487.cae1#Link1).
- [8] N.N: *Energieverbrauch der privaten Haushalte*. Statistisches Bundesamt. 2008. URL: [https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressekonferenzen/2008/UGR/pressebroschuere\\_ugr.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressekonferenzen/2008/UGR/pressebroschuere_ugr.pdf?__blob=publicationFile).
- [9] Thermal Energy System Specialists, LLC: *TRNSYS : Transient System Simulation Tool*. 2015. URL: <http://www.trnsys.com/> (besucht am 29. 10. 2015).
- [10] EnergieAgentur.NRW: *Erhebung „Wo im Haushalt bleibt der Strom?“ Anteile, Verbrauchswerte und Kosten*. 2011. URL: [https://energietools.ea-nrw.de/\\_database/\\_data/datainfopool/erhebung\\_wo\\_bleibt\\_der\\_strom.pdf](https://energietools.ea-nrw.de/_database/_data/datainfopool/erhebung_wo_bleibt_der_strom.pdf).
- [11] Rhinehart, L.: *Dice Man*. Penguin, 1998. ISBN: 978-0006513902.
- [12] Pflugradt, N.; Teuscher, J.; Platzer, B.; Schufft, W.: *Analysing low-voltage grids using a behaviour based load profile generator*. In: *Renewable Energy and Power Quality Journal* (2013-03 2013). ISSN: 2172-038 X. URL: <http://www.icrepq.com/icrepq%2713/308-pflugradt.pdf>.
- [13] Füngeld, C.; Tiedermann, R.: *Anwendung der Repräsentativen VDEW-Lastprofile-step-by-step. VDEW Materialen M05/2000*. Brandenburgische Technische Universität, 2000.
- [14] Pflugradt, N.: *Verarbeitung von Daten aus dem Geographischen Informationssystem (GIS) zur strategischen Planung der Energieversorgung in Chemnitz*. Diplomarbeit. TU Chemnitz, 2010.
- [15] *VDI4655. Referenzlastprofile von Ein-und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen*. Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2008.
- [16] N.N.: *Leitfaden: Abwicklung von Standardlastprofilen Gas*. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V, 2013. URL: <https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3B34822652C91E0EC1257D04004F8E84/>

- \$file/13-06-28\_LF\_Abwicklung\_von\_Standardlastprofilen\_Gas\_final.pdf.
- [17] Armstrong, M.; Swinton, M. C.; Ribberink, H.; Beausoleil-Morrison, I.; Millette, J.: *Synthetically derived profiles for representing occupant-driven electric loads in Canadian housing*. In: *Journal of Building Performance Simulation* 2.1 (2009), Seiten 15–30.
  - [18] Swan, L.; Ugursal, I.: *Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques*. In: *Renewable and sustainable energy reviews* 13.8 (2009), Seiten 1819–1835.
  - [19] Grandjean, A.; Adnot, J.; Binet, G.: *A review and an analysis of the residential electric load curve models*. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.9 (2012), Seiten 6539–6565.
  - [20] Stokes, M.: *Removing barriers to embedded generation: a fine-grained load model to support low voltage network performance analysis*. Dissertation. De Montfort University, 2005.
  - [21] Knight, I.; Ribberink, H.: *European and Canadian Non-HVAC Electric and DHW Load Profiles for Use in Simulating the Performance of Residential Cogeneration Systems: A Report of Subtask A of FC+ COGEN-SIM, the Stimulation of Building-integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems: Annex 42 of the International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme*. Natural Resources Canada, 2007.
  - [22] Jordan, U.; Vajen, K.: *DHWcalc: Program to generate domestic hot water profiles with statistical means for user defined conditions*. In: *ISES Solar World Congress*. 2005.
  - [23] Hendron, R.; Burch, J.; Barker, G.: *Tool for generating realistic residential hot water event schedules*. In: *SimBuild 2010*. New York, 2010. URL: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/47685.pdf>.
  - [24] Walker, C.; Pokoski, J.: *Residential load shape modelling based on customer behavior*. In: *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* 7 (1985), Seiten 1703–1711.

- [25] Capasso, A.; Grattieri, W.; Lamedica, R.; Prudenzi, A.: *A bottom-up approach to residential load modeling*. In: *IEEE Transactions on Power Systems* 9.2 (1994), Seiten 957–964.
- [26] Capasso, A.; Grattieri, W.; Insinga, F.; Invernizzi, A.; Lamedica, R.; Prudenzi, A.: *Validation tests and applications of a model for demand-side management studies in residential load areas*. In: *Electricity Distribution, 1993. CIRED. 12th International Conference on*. IET. 1993, Seiten 5–25.
- [27] Widén, J.; Lundh, M.; Vassileva, I.; Dahlquist, E.; Ellegård, K.; Wäckelgård, E.: *Constructing load profiles for household electricity and hot water from time-use data—Modelling approach and validation*. In: *Energy and Buildings* 41.7 (2009), Seiten 753–768.
- [28] Widén, J.; Wäckelgård, E.: *A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand*. In: *Applied Energy* 87.6 (2010), Seiten 1880–1892.
- [29] Richardson, I.; Thomson, M.; Infield, D.; Clifford, C.: *Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model*. In: *Energy and Buildings* 42.10 (2010), Seiten 1878–1887.
- [30] Metz, M.: *Flexible Energieversorgung-Modellierung der Last- und Erzeugungssituation dezentraler Versorgungsgebiete zur Bestimmung der Systemflexibilität*. Dissertation. Technische Universität Dortmund. Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft, 2014.
- [31] N.N.: *Zeitbudgeterhebungen*. Statistisches Bundesamt. 2012. URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Zeitverwendung/Zeitverwendung.html>.
- [32] Fischer, D.; Scherer, J.; Flunk, A.; Kreifels, N.; Byskov-Lindberg, K.; Wille-Haussmann, B.: *Impact of HP, CHP, PV and EVs on households' electric load profiles*. In: *IEEE PowerTech*. IEEE. Eindhoven, 2015.
- [33] Reinhardt, A.; Baumann, P.; Burgstahler, D.; Hollick, M.; Chonov, H.; Werner, M.; Steinmetz, R.: *On the Accuracy of Appliance Identification Based on Distributed Load Metering Data*. In: *Proceedings of the 2nd*

- IFIP Conference on Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT).* 2012, Seiten 1–9.
- [34] Jackson, T.: *Motivating sustainable consumption: a review of evidence on consumer behaviour and behavioural change: a report to the Sustainable Development Research Network.* Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, 2005.
  - [35] Dörner, D.: *Die Mechanik des Seelenwagens. Eine neuronale Theorie der Handlungsregulation.* Huber, Bern, 2002. ISBN: 345683814X.
  - [36] Scott, J.: *Rational choice theory.* In: *Understanding contemporary society: Theories of the present* 129 (2000).
  - [37] Dörner, D.: *Bauplan für Eine Seele.* Rowohlt, 1999. ISBN: 978-3498012885.
  - [38] Dörner, D.; Gerdes, J.; Mayer, M.; Misra, S.: *A simulation of cognitive and emotional effects of overcrowding.* In: *Proceedings of the Seventh International Conference on Cognitive Modeling.* 2006.
  - [39] The MathWorks GmbH: *Simulink - Simulation and Model-Based Design.* 2015. URL: <http://de.mathworks.com/products/simulink/> (besucht am 29. 10. 2015).
  - [40] Energlogic: *eQUEST.* 2015. URL: <http://doe2.com/equest/index.html> (besucht am 29. 10. 2015).
  - [41] Teuscher, J.: *Leistungsflussoptimierendes Energiemanagement von dezentralen Energieversorgungssystemen in zukünftigen Niederspannungsnetzstrukturen.* Dissertation. Technische Universität Chemnitz, 2014.
  - [42] *VDI2067. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen — Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen.* Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 1983.
  - [43] The Board of Regents of the University of Wisconsin System: *TRNSYS - Features.* 2015. URL: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/features.html/> (besucht am 29. 10. 2015).
  - [44] TRANSSOLAR: *TRNSYS - Features.* 2015. URL: [http://trnsys.de/download/en/trnsys\\_shortinfo\\_en.pdf](http://trnsys.de/download/en/trnsys_shortinfo_en.pdf) (besucht am 29. 10. 2015).

- [45] Merriam Webster: *affordance / the qualities or properties of an object that define its possible uses or make clear how it can or should be used.* 2015. URL: <http://www.merriam-webster.com/dictionary/affordance> (besucht am 24. 10. 2015).
- [46] N.N.: *Wirtschaft und Statistik.* Statistisches Bundesamt. 2008. URL: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Monatsausgaben/WistaJuli08.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Monatsausgaben/WistaJuli08.pdf?__blob=publicationFile).
- [47] Patzig, L.; Loeck, V.; Vargas, C.; Su, Y.: *Verbraucherverhalten beim Stromverbrauch.* Fallstudie. TU Chemnitz, 2012.
- [48] Pickholz, Z.: *C# Class for Calculating Sunrise and Sunset Times.* URL: <http://www.codeproject.com/Articles/29306/C-Class-for-Calculating-Sunrise-and-Sunset-Times>.
- [49] *Oxyplot.* URL: <http://oxyplot.org/>.
- [50] *SQLite.* URL: <http://system.data.sqlite.org/index.html/doc/trunk/www/index.wiki>.
- [51] *Migradoc.* URL: <http://www.pdfsharp.net/>.
- [52] *Microsoft .NET home.* URL: <https://www.microsoft.com/net>.
- [53] Kun, F.: *Entwicklung einer Klassifizierungshierarchie für Energieverbräuche in deutschen Haushalten.* Projektarbeit. TU Chemnitz, 2012.
- [54] N.N.: *Wo bleibt die Zeit. Die Zeitverwendung der Bevölkerung in Deutschland 2001/02.* Statistisches Bundesamt. URL: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Zeitbudgeterhebung/Wobliebt die Zeit.html>.
- [55] N.N.: *Verwendung von Trinkwasser in deutschen Haushalten im Jahr 2014 nach Verwendungsart.* Statistisches Bundesamt. URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/12351/umfrage/trinkwasserverwendung-in-deutschen-haushalten/>.
- [56] Aschoff, J.: *Circadian control of body temperature.* In: *Journal of thermal Biology* 8.1 (1983), Seiten 143–147.

- [57] Tjaden, T.; Weniger, J.; Bergner, J.; Schnorr, F.; Quaschning, V.: *Einfluss des Standorts und des Nutzerverhaltens auf die energetische Bewertung von PV-Speichersystemen*. In: *Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein*. 2014.
- [58] Hoffman, P.; Frey, G.; Friedrich, M.; Kerber-Clasen, S.; Marschall, J.; Geiger, M.: *Praxistest "Moderne Energiesparsysteme im Haushalt"*. In: *Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken* (2012).
- [59] N.N.: *Wasserwirtschaft*. Statistisches Bundesamt. URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Wasserwirtschaft.html>.
- [60] Tjaden, T.; Bergner, J.; Weniger, J.; Quaschning, V.; Solarspeicher-systeme, F.: *Repräsentative elektrische Lastprofile für Wohngebäude in Deutschland auf 1-sekündiger Datenbasis*. URL: <http://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2016/01/HTW-Berlin-2015-Repr%C3%A4sentative-elektrische-Lastprofile-f%C3%BCr-Wohngeb%C3%A4ude-in-Deutschland-auf-1-sek%C3%BCndiger-Datenbasis.pdf>.
- [61] N.N.: *Bevölkerung und Erwerbstätigkeit - Haushalte und Familien - Ergebnisse des Mikrozensus*. Statistisches Bundesamt. 2014. URL: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/HaushalteMikrozensus/HaushalteFamilien2010300147004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/HaushalteMikrozensus/HaushalteFamilien2010300147004.pdf?__blob=publicationFile).