



# White Paper: Stand der Technik für die Erstellung von Lastprofilen für die Netzplanung

Noah Pflugradt, Urs Muntwyler, Stephan Koch, Andreas Ulbig, Hans-Rudolf Röthlisberger, Birgit Kurz, Benedict Wyss

Version 2.0, 01.05.2020

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung	3
3	Lastprofilerstellung im Projekt	3
4	Fazit	8
5	Versionskontrolle	8

# 1 Zusammenfassung

Dieses White Paper beschreibt die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Projekt «SimZukunft» für die Erstellung von Lastprofilen. Es soll als Diskussionsgrundlage für andere Netzbetreiber und Forschungsprojekte in diesem Bereich dienen.

## 2 Einleitung

Das Ziel des Projekts SimZukunft war, die Vorteile fortgeschrittener Planungsmethodik für die Stromnetzplanung zu demonstrieren. Die dafür verwendete Methode ist die detaillierte Modellierung der Stadt Burgdorf in einer Zusammenarbeit des Labors für Photovoltaiksysteme an der Berner Fachhochschule mit der Baudirektion Burgdorf, dem lokalen Energieversorger Localnet und der Netzplanungsfirma Adaptricity für den Zeitraum bis 2050. Dabei wird zum einen die Energiestrategie 2050 konkret auf eine schweizerische Kleinstadt angewandt. Zum anderen wird mit zusätzlichen Szenarien die Parametersensitivität der Ergebnisse geprüft.

Die Motivation ist der rapide, weltweite Umbruch der Energieversorgungssysteme und der drohende Klimawandel. Eine Fehlplanung kann hier bei den langen Investitionszeiträumen von 30-50 Jahren sehr teuer und langfristig sein.

Eine gute Simulation der Zukunft mit Berücksichtigung der sich abzeichnenden Entwicklungen ist essentiell, da viele Entwicklungen zum Teil gegenläufige Auswirkungen haben und einfache Abschätzungen von z.B. Spitzenlasten zu starken Überdimensionierungen oder die fehlende Berücksichtigung wichtiger Änderungen zu deutlichen Unterdimensionierungen führen können.

## 3 Lastprofilerstellung im Projekt

Es wurden im Projekt ein Bedarf an den folgenden Lastprofilen identifiziert:

- Haushaltslastprofile
- Wärmepumpenprofile
- Klimaanlageprofile
- Warmwasser-Profile
- Gewerbeprofile
- Photovoltaikprofile

Auf die Methodik für die Erstellung der einzelnen Lastprofile wird nun im Folgenden genauer eingegangen.

## 4 Haushaltslastprofile und Elektromobilität

Für die Erstellung der Haushaltslastprofile wurde im Projekt der LoadProfileGenerator verwendet. Allerdings ist anzumerken, dass hochdetaillierte Haushaltslastprofile nur notwendig sind, wenn die Lasten in jedem Leitungsabschnitt im Niederspannungsnetz bestimmt werden sollen. Für Berechnungen im Mittelspannungs- und Hochspannungsnetz sind keine detaillierten Haushaltslastprofile notwendig.

Der LoadProfileGenerator (LPG) ist eine kostenlos verfügbare Software für die Erstellung von Haushaltslastprofilen [1]. Er wird jährlich einige tausendmal heruntergeladen und eingesetzt in Forschungsprojekten aller Art. Er entstand im Rahmen einer Dissertation [2] und wird seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Ein Screenshot des Programms ist in **Abbildung 1 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gezeigt. Der LPG wurde in diesem Projekt für die Erzeugung der Haushalts- und Elektromobilitätsprofile eingesetzt.

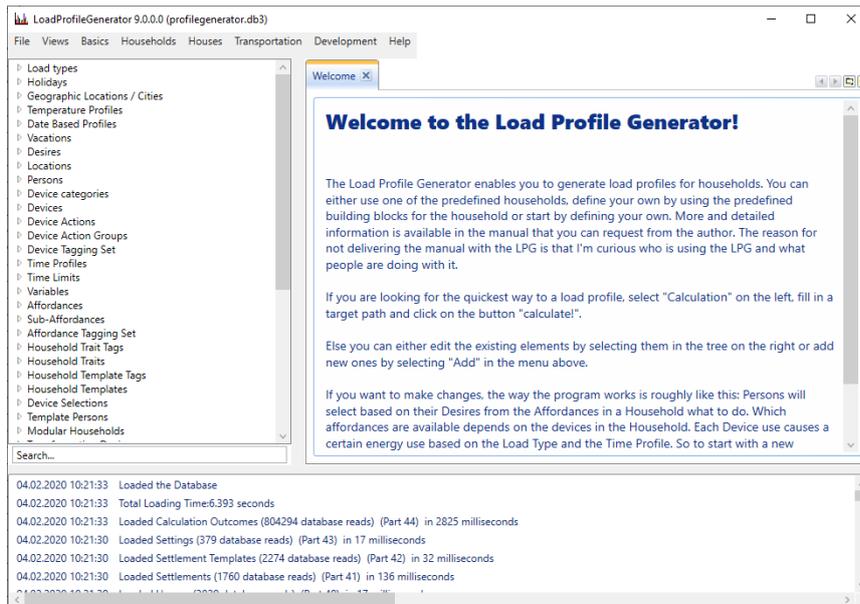


Abbildung 1: Screenshot des Startbildschirms des LoadProfileGenerator

Der LPG liefert Lastprofile für Haushaltsstromverbrauch, Warmwasserverbrauch, Ladestationen für E-Autos und optional Lastprofile für Klimatisierung und Heizung.

## 5 Wärmepumpenlastprofile

Nach gegenwärtigem Stand der Technik scheint die Beheizung mit Wärmepumpen die beste Option für eine klimaneutrale Gebäudeheizung zu sein. Für flächendeckende Biomasse-Heizungen reicht das Biomasse-Potential nicht aus und Brennstoffzellenheizungen und Power-To-Gas-Lösungen haben sehr hohe Energieverluste. Daher wurde angenommen, dass Wärmepumpen perspektivisch flächendeckend zum Einsatz kommen werden. Wärmepumpen haben signifikant anderes Profil als andere Verbraucher und müssen daher getrennt modelliert werden. Eine hochgenaue Wärmepumpenmodellierung ist sehr komplex und aufwändig und aufgrund rechentechnischer Beschränkungen nicht umsetzbar für tausende oder zehntausende von Häusern. Es gibt daher zwei Lösungsansätze:

1. Vereinfachung des Modells
2. Verwendung einer begrenzten Anzahl von hochgenau simulierten Typgebäuden

Im Projekt «SimZukunft» wurde Ansatz 1 gewählt, da die korrekte Modellierung der Gleichzeitigkeit im Typmodell-Ansatz nicht trivial ist: Wenn in einer Häuserreihe alle den Haustyp aufweisen, dann führt eine einfache Skalierung des Lastprofils zu enormen Einschaltspitzen, da alle Häuser das gleiche Lastprofil ausweisen. Es ist daher notwendig,

einen Pool von Lastprofilen für jeden Haustyp anzulegen, aus dem zufällig die Profile den konkreten Gebäuden zugewiesen werden. Da die Ergebnisse mit der Variante 1 allerdings bereits hinreichend gut waren, wurde auf den erhöhten Aufwand für Variante 2 verzichtet. Für den Einsatz von Variante 1 könnten typische Gebäudesimulationspakete wie EnergyPlus, Polysun, TRNSYS oder tsib zum Einsatz kommen.

Für die Erstellung der Wärmepumpen-Lastprofile wurde in SimZukunft ein einfaches RC1-Modell (1 Widerstand R, eine Kapazität C) verwendet. Dieses modelliert das Haus als Wärme-Reservoir, aus welchem bei niedrigen Aussentemperaturen Wärme abfließt, wobei die Wärmeverlust-Rate umso grösser wird, je niedriger die Temperaturen sind. Die Wärmepumpe füllt das Wärme-Reservoir wieder auf, sobald ein bestimmter Schwellenwert unterschritten wird. Aufgefüllt wird bis zu einem Soll-Niveau, das deutlich über dem Schwellenwert liegt. Somit ergibt sich eine Hysterese und ein ständiges Ein- und Ausschalten der Wärmepumpen wird vermieden. Implementiert wird das im Programm als eine Finite-State-Engine. Durch diese Modellierung ergibt sich somit eine realistische Modellierung einer Wärmepumpe im Intervallbetrieb.

Zur Bestimmung des Energieabflusses wird ein Gradtagszahl-Modell verwendet [3], mit einer Zimmertemperatur von 20°C und einer Heizgrenz-Temperatur von 15°C. Das bedeutet, dass nur Tage mit einer Durchschnittstemperatur von unter 15°C relevant sind und die Energiemenge pro Tag ist proportional zur Temperaturdifferenz zu 20°C.

Es wurde im Projekt auch mit der Möglichkeit zur Beschränkung der Einschaltzeiten experimentiert. Es erscheint schliesslich naheliegend, die Wärmepumpen primär nachts im Niedertarif zu betreiben, um die Netzbelastung zu minimieren. Allerdings stellte sich bei Tests heraus, dass diese Methode nur sinnvoll ist bis zu einer Wärmepumpendurchdringungen von 20-30% der gesamten Heizlast.

Dazu ein Beispiel aus dem Szenario Utopia 2050 für Burgdorf: Dort wird am kältesten Tag 215 MWh elektrische Energie für die Heizung benötigt. Umgerechnet auf 24h sind das ca. 9 MW. Falls nun die Heizzeit auf 8h eingeschränkt wird, bedeutet das eine erforderliche, kontinuierliche Leistung von 27 MW über diese 8h, zusätzlich zur normalen Grundlast. Diese Last übersteigt die Kapazität des Netzes deutlich und führt zu deutlich erhöhten Ausbauanforderungen. Dazu kommt, dass ohne zentrale Steuerung alle Wärmepumpen gleichzeitig zu Beginn des Niedertarifs einschalten und somit noch höhere Lastspitzen erzeugen. Daher wurde im Projekt auf die Beschränkung der Einschaltzeiten auf den Nachttarif verzichtet.

Es ist somit festzuhalten: Fixe Zeitbeschränkungen für Wärmepumpen sind nur bis zu einem Durchdringungsgrad von 20-30% eine gute Idee und danach deutlich kontraproduktiv. Fixe Zeitbeschränkungen ist mit zunehmenden Aufkommen von variabler Erzeugung keine sinnvolle Massnahme mehr. Idealerweise sollte eine dynamische, Netzzustands-abhängige Steuerung eingeführt werden, z.B. in der Form eines dynamischen Stromtarifs. Die Modellierung einer solchen Heizung erfordert allerdings einen grundlegend anderen Ansatz, da

## 5.1 Klimaanlagenlastprofile

Durch den Klimawandel wird voraussichtlich auch in Europa der Klimatisierungsbedarf immer weiter steigen. Das wird neue Lasten für das Netz bedeuten, die auch modelliert werden müssen. Erfahrungen aus Ländern wie den USA, Spanien oder auch China zeigen, dass der Energieverbrauch für die Klimatisierung erstaunlich hoch sein kann. In den USA z.B. liegen typische Verbräuche für Haushalte bei 2000-4000 kWh/Jahr. Übertragen auf die Schweiz bedeutet das eine Verdopplung des Haushaltsstromverbrauchs.

Für die Klimatisierung wurde im Projekt ein einfaches Kühlgradstunden-Modell verwendet. Dabei wird die vordefinierte Kühllast für das Haus ähnlich dem Heizgradtagemodell über alle Stunden des Jahres verteilt. Dabei wird die Kälteanforderung direkt als Strombedarf in das Profil übernommen, da Klimaanlage üblicherweise keine Kältespeicher aufweisen, sondern modulierend betrieben werden. Dies ist zugleich auch die netzfreundlichste Betriebsweise, da so die Last möglichst gleichmässig auf die Stunden im Jahr mit Kühlbedarf verteilt wird.

## 5.2 Warmwasser-Profile

Falls das Warmwasser elektrisch erwärmt wird, dann liegt der Stromverbrauch ungefähr auf dem Niveau des restlichen Haushaltsstromverbrauchs. Falls das Wasser mit einer Wärmepumpe erwärmt wird, dann ist der Stromverbrauch ungefähr 1/3 des restlichen Haushaltsstromverbrauchs. Der Energieaufwand für eine elektrische Warmwasserbereitung ist also keinesfalls zu vernachlässigen.

Insbesondere in der Schweiz existiert ein sehr grosser Bestand an Elektroboilern. Diese sind typischerweise über Rundsteuereinrichtungen gesteuert und liefern nachts sehr deutliche Lastspitzen.

Daher mussten die Elektroboiler als getrenntes Lastprofil modelliert werden. Dafür wurde analog zum Wärmepumpen-Modell wieder eine Finite-State-Maschine mit einem R1C1-Modell verwendet. Jeden Tag wird eine bestimmte (variable) Menge an Warmwasser verbraucht und der Boiler versucht dann im zulässigen Zeitraum die Energiemenge aufzufüllen.

## 5.3 Gewerbeprofile

In Burgdorf lagen zwei Arten von Gewerben vor: Für die Grossverbraucher liegen grösstenteils Lastgangmessungen vor. Für die kleineren Gewerbe lagen hingegen nur Verbrauchssummen vor.

Die kleineren Gewerbe wurde mit Hilfe von Internet-Recherchen in verschiedene Kategorien eingeordnet, um die korrekten Lastprofile zuordnen zu können. Als Lastprofile für die kleineren Gewerbe wurden dabei die Standard-Lastprofile des BDEW aus Deutschland verwendet [4].

Die relative Anzahl der Kunden und der relative Jahresverbrauch der Kundengruppen ist in **Abbildung 2 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bzw. **Abbildung 3 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Man sieht, dass Büros die grösste Anzahl der Gewerbekunden stellen, aber von den Industriegrosskunden bei weitem im Verbrauch übertroffen werden. Es ist zu berücksichtigen, dass die manuelle Zuordnung nur eine Annäherung bieten kann. Bei kleineren Gewerben ist es häufig sehr schwierig, zu beurteilen, ob es sich um ein Büro, einen Allgmeinanzähler einer Hausverwaltung, einen Handwerker oder etwas ganz anderes handelt, da es keine Anhaltspunkte ausser dem Namen der Rechnungsadresse gibt.

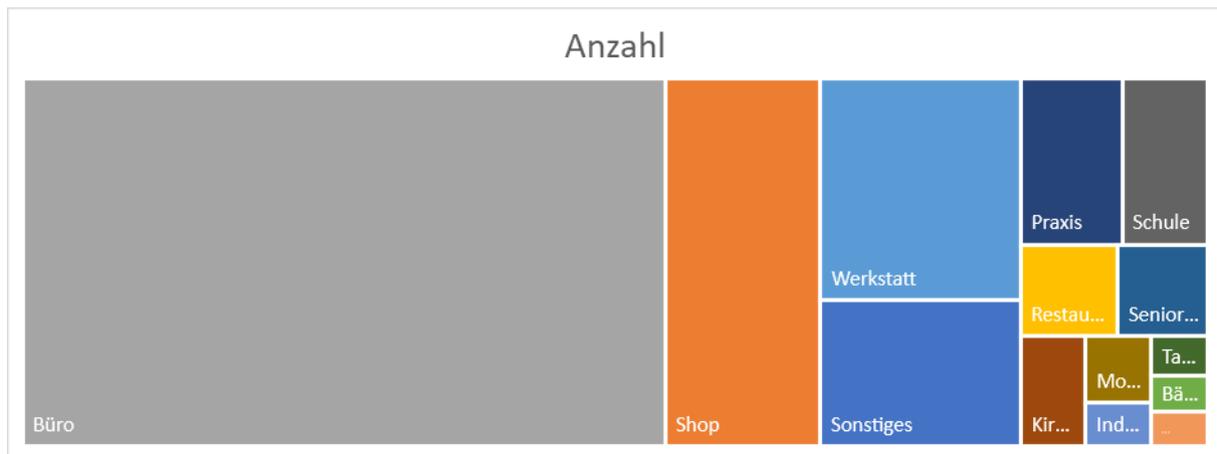


Abbildung 2: Relative Anzahl der Gewerbearten als Treemap

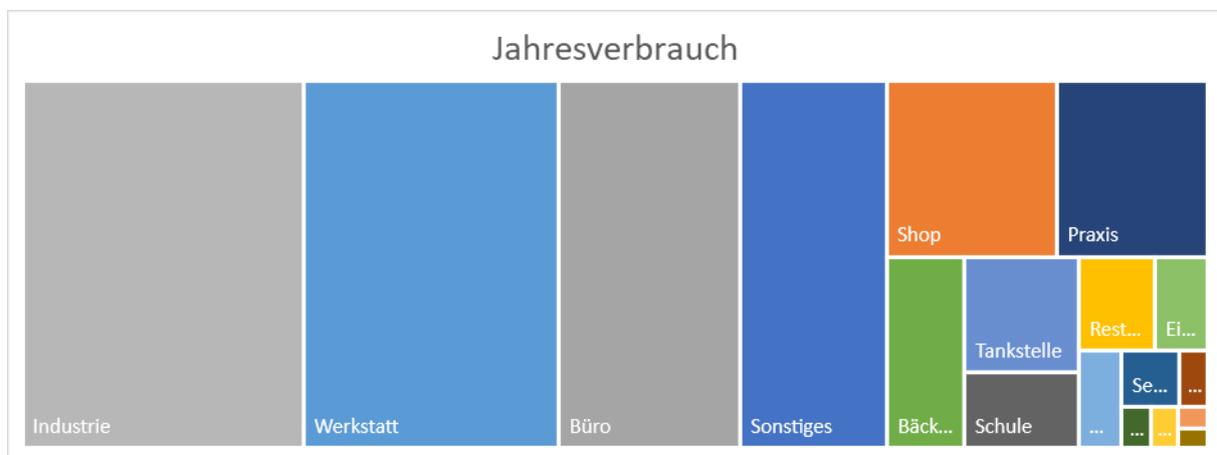


Abbildung 3: Relativer Jahresverbrauch der Kundengruppen.

Die Modellierung mit den Standardlastprofilen hatte den Vorteil, relativ leicht umsetzbar zu sein, allerdings den Nachteil, dass die Standardlastprofile aus den 80er Jahren in Deutschland stammen und seitdem nicht angepasst worden sind. Der grösste Unterschied zum gegenwärtigen Energieverbrauch zeigt sich in den erhöhten Samstagslasten, welche in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden**. sichtbar sind. Für eine noch bessere Modellierung der Last müssen die Gewerbelastprofile auf Schweizer Verhältnisse angepasst werden. Hierbei werden die Gewerbelastprofile am besten mit einem Residual-Last-Faktor skaliert.

## 5.4 Photovoltaik-Profile

Als Grundlage für die Photovoltaik-Berechnungen dienten die Daten von Sonnendach.ch [5]. Dort ist für jede Dachfläche in der Schweiz hinterlegt, welche Ausrichtung, welcher Anstellwinkel und wieviel Energie erwirtschaftet werden kann.

Für die Erstellung der Profile wurde im Projekt die Software «NREL System Advisor Model» [6] verwendet. Diese kann, basierend auf einer generischen PV-Anlagen-Konfiguration, Temperaturprofil und einem Solarstrahlungsprofil, ein Profil für die jeweilige Solaranlage erstellen.

Für die Erstellung der Strahlungsprofile haben sich die Daten aus Meteonorm bewährt. Meteonorm kann für jeden Ort der Schweiz (und der Welt) hochaufgelöste synthetische

Strahlungsprofile liefern, und zwar sowohl für die Gegenwart als auch für verschiedene Zukunftsszenarien.

## 6 Fazit

Im Projekt SimZukunft wurden für jedes Haus in Burgdorf synthetische Lastprofile erstellt. Dies hat sehr gut funktioniert und viele Erkenntnisse geliefert. Dieses Whitepaper gibt einen Überblick über die Methodik, mit welcher die Lastprofile für die einzelnen Verbrauchergruppen erstellt wurden.

## 7 Versionskontrolle

Version	Datum	Beschreibung	Autor
1.0	01.06.2020	Dokument erstellt	Noah Pflugradt

## 8 References

- [1] Pflugradt N. LoadProfileGenerator; Available from: <http://www.loadprofilegenerator.de>.
- [2] Pflugradt N. Modellierung von Wasser und Energieverbräuchen in Haushalten 2016.
- [3] Wikipedia. Gradtagzahl; Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gradtagzahl>.
- [4] Fünfgeld C, Tiedemann R. Anwendung der repräsentativen VDEW-Lastprofile: step-by-step: VDEW; 2000.
- [5] Bundesamt für Energie Schweiz. Sonnendach.ch; Available from: <http://www.sonnendach.ch>.
- [6] National Renewable Energy Laboratory. System Advisor Model Version.