



INSTITUT FÜR ENERGIE-  
UND UMWELTFORSCHUNG  
HEIDELBERG

---

## QGIS-Plugin „Lastprofile“

QGIS-Plugins zur Erstellung synthetischer, stundenscharfer Lastprofile des Wärmebedarfs von Gebäudebeständen aus gebäudescharfen jährlichen Verbrauchs-/Bedarfsdaten

Yanik Acker, Sebastian Blömer

Heidelberg, Januar 2024

---



Flurstücke: Stadt Krefeld (2020),  
Wärmebedarf Gebäude: Wärmeatlas Deutschland 2.0 (2023).

- Benutzungsfreundliches Plugin für QGIS,
- Flexible Auswahl der Ausgangsdaten auf GIS-Oberfläche,
- 15 Energetische Gebäudetypen analog zum Wärmeatlas Deutschland 2.0 (direkt kombinierbar),
- Stundenaufgelöste Jahreslastprofile basierend auf kleinräumigen Klimadaten 2016-2021,
- Ergebnis direkt im Browser und als Excel-Datei.

# Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Datenanforderungen</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Installation</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Anwendung und Ergebnis</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Methodik</b>	<b>12</b>
5.1	Grundlagen	12
5.2	Erstellung synthetischer Lastprofile	15
5.3	Darstellung gebäudetypspezifischer Profile	20
5.3.1	Einzelhandel	20
5.3.2	Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen	21
5.3.3	Gaststätten	22
5.3.4	Beherbergung	23
5.3.5	Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime	24
5.4	Temperaturdaten	24

# 1 Beschreibung

---

In dem Projekt [EnEff:Wärme: ENA – Energieleitplanung zur netzgebundenen Abwärmennutzung](#) wird die Abwärmennutzung anhand von zwei Industrieunternehmen als Praxispartner untersucht. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Tool zur automatischen Erstellung synthetischer, stundenscharfer Jahreslastprofile basierend auf Geodaten zum Jahreswärmebedarf-/verbrauch entwickelt, welches sich als Plugin in die freie Geoinformationssystemsoftware [QGIS](#) einbetten lässt.

Der Bedarf an Raumwärme ist nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt, sondern in erster Linie von der Außentemperatur (und dem Maß des baulichen Wärmeschutzes) abhängig. Der Warmwasserbedarf ist demgegenüber weitgehend unabhängig von der Außentemperatur und wird durch individuelle Nutzerprofile bestimmt. Durch die Konzentration des Raumwärmebedarfs auf die Heizperiode, inklusive Lastspitzen an besonders kalten Tagen, schwankt der stündliche Gesamtwärmebedarf von Gebäuden im Jahresverlauf sehr stark. Wärmeversorgungssysteme werden deshalb so ausgelegt, dass sie auch zum kältesten Zeitpunkt (Lastspitze) im Jahr die Wärmeversorgung gewährleisten können.

Für die Entwicklung von Wärmenetzkonzepten für größere, zusammenhängende Gebäudebestände werden Abschätzungen der Spitzenlast für die Netzdimensionierung und darüber hinaus mindestens stundenscharfe Lastprofile des Wärmebedarfs benötigt, um ein Erzeugereinsatzkonzept zu entwickeln. Dafür müssen stündliche Wärmebedarfsprofile einzelner Gebäude entsprechend skaliert werden. Durch die Erstellung eines synthetischen, stundenscharfen Lastprofils aus jährlichen Bedarfs-/Verbrauchsdaten für variabel selektierbare Gebäudebestände auf einer GIS-Oberfläche ermöglicht dieses Tool eine schnelle Generierung dieser Datengrundlage.

Das Tool benötigt Eingangsdaten zum gebäudescharfen jährlichen Wärmebedarf/-verbrauch, die an das Datenschema des [Wärmeatlas Deutschland 2.0](#) (WAD 2.0) angepasst sind. Die einzelnen Gebäude müssen einem von 15 energetische Gebäudetypen (vgl. [ifeu-Gebäudesimulationsmodell GEMOD](#), Wohn-/Nichtwohngebäudetypologien des IWU) zugeordnet sein, die im Tool mit typischen Heizprofilen verknüpft sind. Wenn vorhanden, kann das Baujahr von Wohngebäuden als Indikator für das Maß des baulichen Wärmeschutzes in die Berechnung mit einbezogen werden. Intern werden deutschlandweite Temperaturdaten des europäischen Erdbeobachtungsprogramm [Copernicus](#) verwendet. Diese liegen in einem flächendeckenden Raster mit der Seitenlänge 9 km für die Jahre 2016 bis 2021 vor. Der Jahreswärmebedarf wird stundenscharf auf das Jahr verteilt. Das Ergebnis wird als interaktive Grafik im Browser angezeigt und wird parallel als Excel-Datei ausgegeben.

Das Tool ermöglicht dem/der Benutzer\*in diverse Einstellungsmöglichkeiten, welche in Tabelle 1 dargestellt sind und in Kapitel 4 näher beschrieben werden.

Tabelle 1: Einstellungsmöglichkeiten im QGIS-Plugin Lastprofile.

Einstellung	Eingabemöglichkeit
Gebäudelayer	<b>Dropdown-Menü</b> – Auswahl des QGIS Layers, welches die Gebäudedaten enthält.
Q_heizung	<b>Dropdown-Menü</b> – Attribut des Layers wählen, welches Angaben zur Raumwärme in kWh enthält.
Q_warmwasser	<b>Dropdown-Menü</b> – Attribut des Layers wählen, welches Angaben zum Warmwasser in kWh enthält.
nur markierten Bereich verwenden	<b>ankreuzen, wenn zutreffend</b> – nur markierte Features im Layer verwenden.
Warmwasser ist der Heizungs-wärme enthalten	<b>ankreuzen, wenn zutreffend</b> – Der gesamte Wärmebedarf eines Gebäudes ist in dem in Q_heizung angegeben Attribut enthalten.
Baujahr nicht vorhanden oder ignorieren	<b>ankreuzen, wenn zutreffend</b>
Jahr	<b>Dropdown-Menü</b> – Zu betrachtendes Jahr wählen: 2016-2021 oder ein fiktives Jahr mit extremer Kälteperiode
Jahresnutzungsgrad	<b>Freifeld (Zahl)</b> - Hier kann der Jahresnutzungsgrad angegeben werden. Der Gesamt-Jahreswärmebedarf wird mit dieser Zahl multipliziert.
HTG-Faktor	<b>Freifeld (Zahl)</b> - Hier kann der Heizgradtag-Faktor angegeben werden. Der Gesamt-Jahreswärmebedarf wird mit dieser Zahl multipliziert.
Speicherpfad	<b>Freifeld (Text)</b> – Speicherpfad und Dateiname der Zieldatei angeben. Dieser muss mit „.xlsx“ enden.
Gebäudetyp wählen	<b>ankreuzen, wenn zutreffend</b> – Hier können die zu betrachteten Gebäudetypen ausgewählt werden.

## 2 Datenanforderungen

Das Plugin ist auf die Verwendung in Kombination mit dem [Wärmeatlas Deutschland 2.0](#) ausgelegt, kann jedoch mit jeder GIS-Datengrundlage verwendet werden, welche eine kompatible Struktur aufweist. Als Input zum Jahreswärmebedarf von Gebäuden benötigt das Plugin Vektordatensätze – üblicherweise Polygone von Gebäudegrundflächen oder Punkte von Hauskoordinaten – mit den nachfolgenden Attributen:

Tabelle 2: Schema Input-Daten Gebäude.

Parameter	Spaltentitel	Datentyp	Beschreibung
<b>Gebäude-ID</b>	gebid	Integer	Jedem Datenpunkt muss eine eindeutige ID zugeordnet werden. Diese muss in der Spalte „gebid“ eingetragen sein, muss jedoch nicht zwingend dem Primärschlüssel der Tabelle entsprechen.
<b>Energetischer Gebäudetyp GEMOD</b>	gebtyp_gemod	Text	Energetischer Gebäudetyp nach der Typologie des ifeu-Gebäudemodells GEMOD (basierend auf IWU-Gebäudetypologien Wohn- und Nichtwohngebäude)
<b>Jahreswärmebedarf/-verbrauch [kWh/a]</b>	beliebig	Numeric	Der Jahreswärmebedarf muss in kWh angegeben sein und kann aufgeteilt Warmwasser und Heizung in zwei Spalten oder als Gesamtgröße in einer Spalte eingetragen sein. Die Spaltennamen sind beliebig wählbar. Durch die Möglichkeit, in dem Tool den Jahresnutzungsgrad anzugeben, kann eine pauschale Umrechnung zwischen Nutz- und Endenergie mit Hilfe des Tools erfolgen. Auch eine Witterungskorrektur kann mit Hilfe des Tools angewendet werden (vgl. Kapitel <b>Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</b> )
<b>Wahrscheinlichkeit für Baualtersklasse (Optional)</b>	gebalter_vor1860	Numeric	Zuordnung einer Wahrscheinlichkeit über den Wertebereich 0.0 bis 1.0 (0% bis 100%), dass das betreffende Gebäude in einer bestimmten Baualtersklasse errichtet wurde. Dieses Datenschema orientiert sich an den flächendeckend verfügbaren Baualtersklassenanteilen von Wohngebäuden aus der Gebäude- und Wohnungszählung 2011, die bundesweit auf einem Hektarraster vorliegen.
	gebalter_1860_1918	Numeric	
	gebalter_1919_1948	Numeric	
	gebalter_1949_1957	Numeric	
	gebalter_1958_1968	Numeric	
	gebalter_1969_1978	Numeric	
	gebalter_1979_1983	Numeric	
	gebalter_1984_1994	Numeric	
gebalter_1995_2001	Numeric		
gebalter_2002_nach	Numeric		

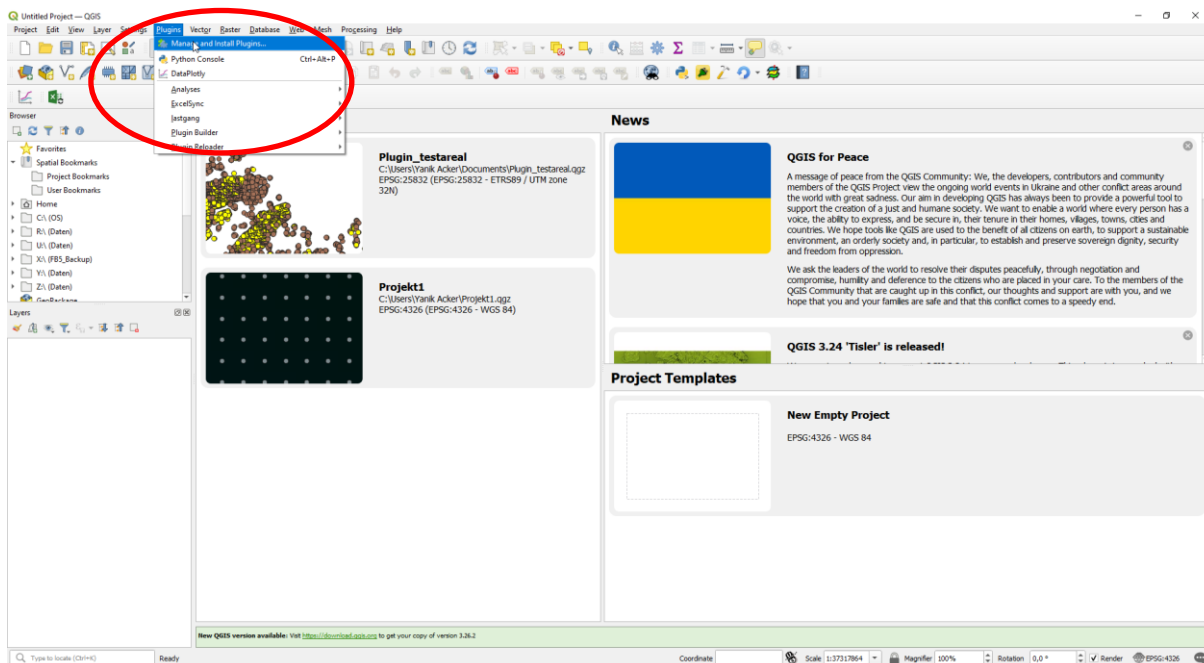
## 3 Installation

Das Plugin Lastprofile ist als Plugin für die kostenfreie [GIS-Software QGIS](#) verfügbar und ist kompatibel mit QGIS-Versionen ab 3.22.12.<sup>1</sup> Das Plugin wird über eine ZIP-Datei installiert, die auf folgender Website verlinkt ist:

<https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/waermeatlas/>.

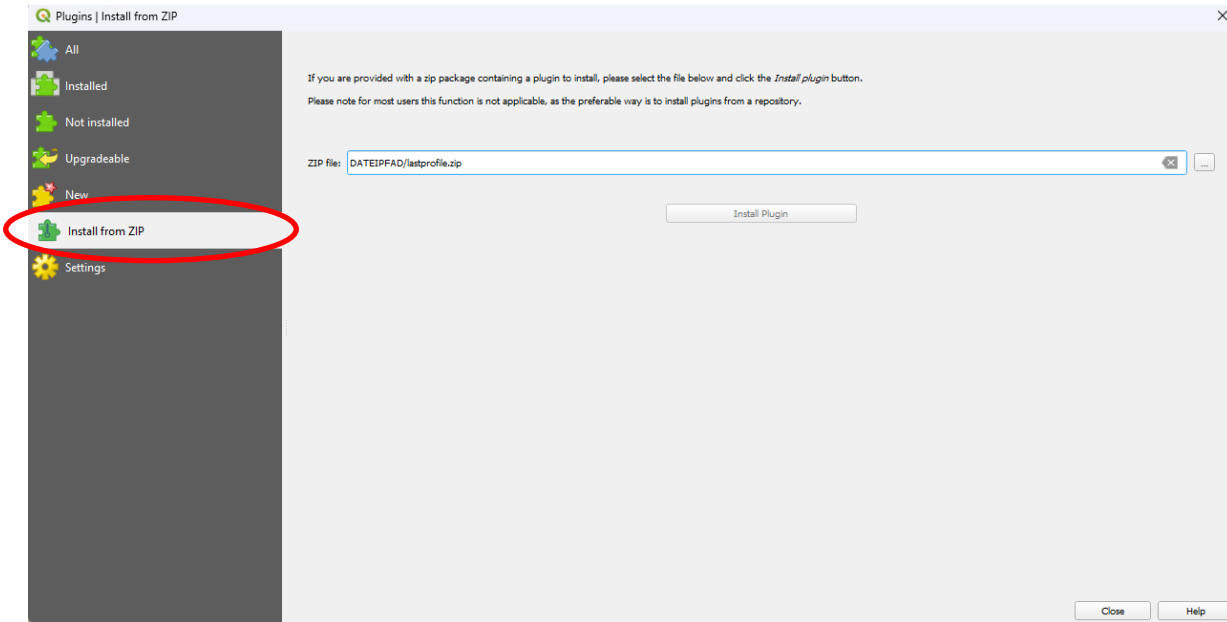
Die folgende, schrittweise Anleitung führt durch den Installationsprozess:

1. Öffnen Sie QGIS. Wählen Sie unter dem Reiter **Plugins** die Option **Manage and Install Plugins**

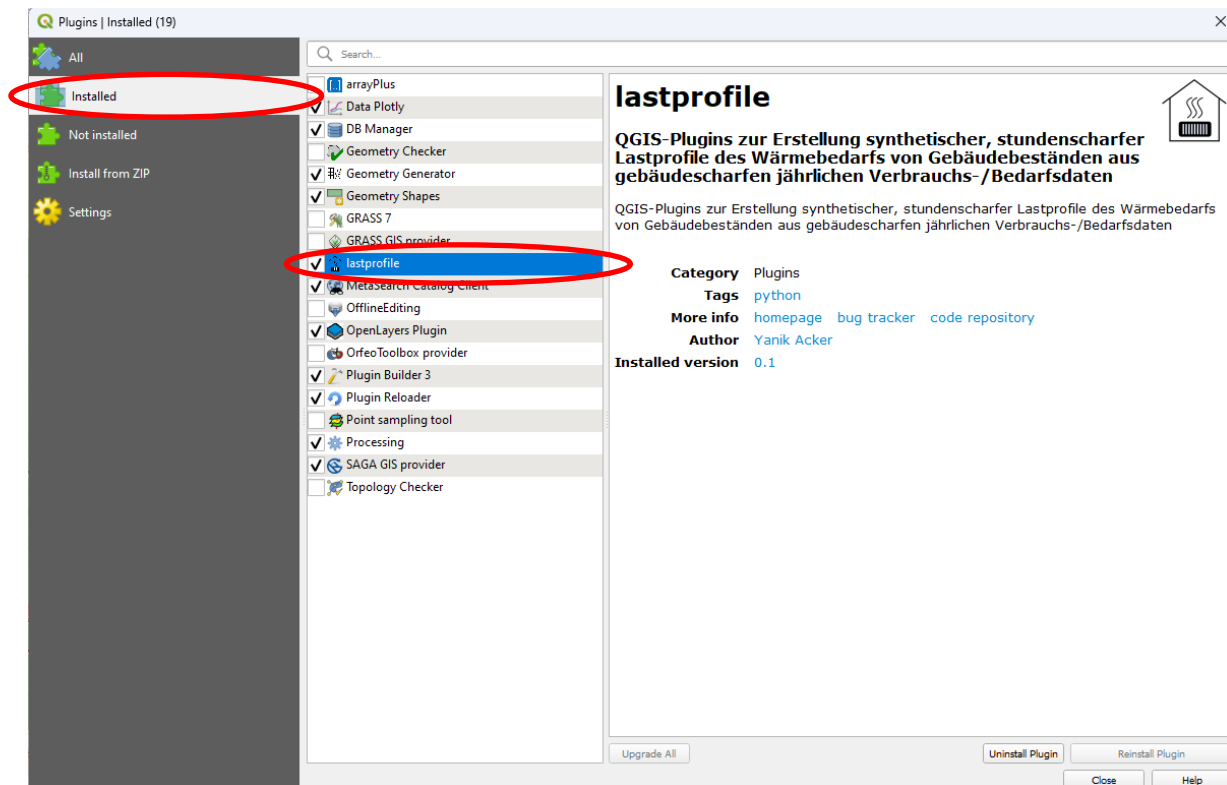


2. Es erscheint ein Popup-Fenster, in dem Sie die Option **Install from ZIP** wählen können.
3. Drücken Sie **Install Plugin** und bestätigen Sie die aufkommende Warnung.

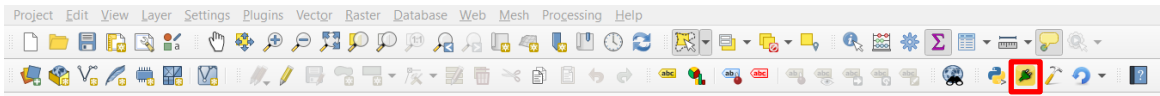
<sup>1</sup> <https://www.qgis.org/de/site/forusers/download.html> (Zugriff: 12.12.2023).



4. Nun ist das Plugin installiert. Sie können unter dem Reiter **Installed** ihre installierten Plugins sehen. "lastprofile" müsste nun in der Liste auftauchen und mit einem Haken markiert sein.

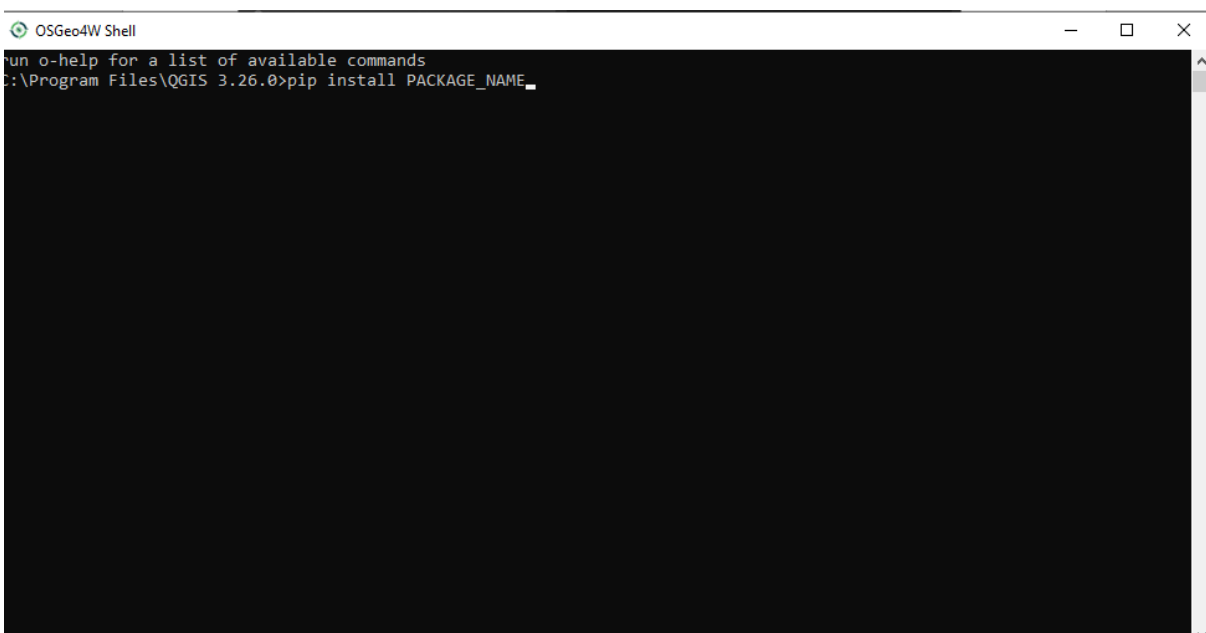
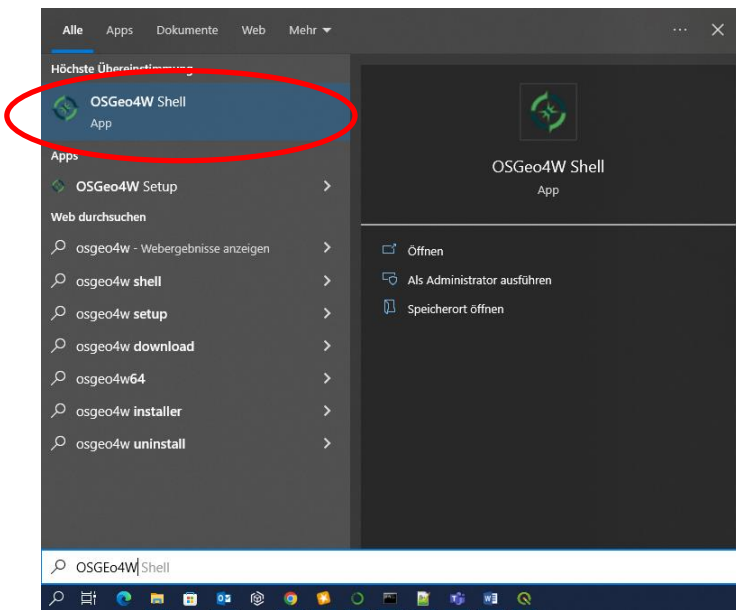


5. Sie können das Fenster nun wieder schließen. Das neu installierte Plugin erscheint nun auch in der Toolbar bei QGIS



6. Notwendige Python-Packages installieren:

Das Plugin greift auf verschiedene Packages zu, welche unter Umständen nicht in PYQGIS vorinstalliert sind. Um die notwendigen Packages zu installieren, nutzen Sie die **OSGeo4W-Shell**





Installieren Sie die Packages über den Standard-Manager:

**pip install *PACKAGE\_NAME***

zu installieren:

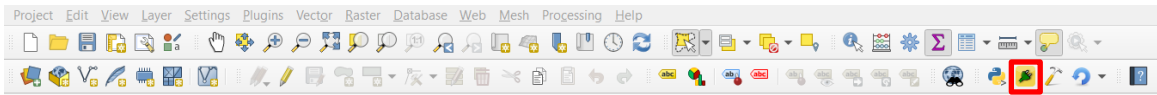
rioxarray

openpyxl

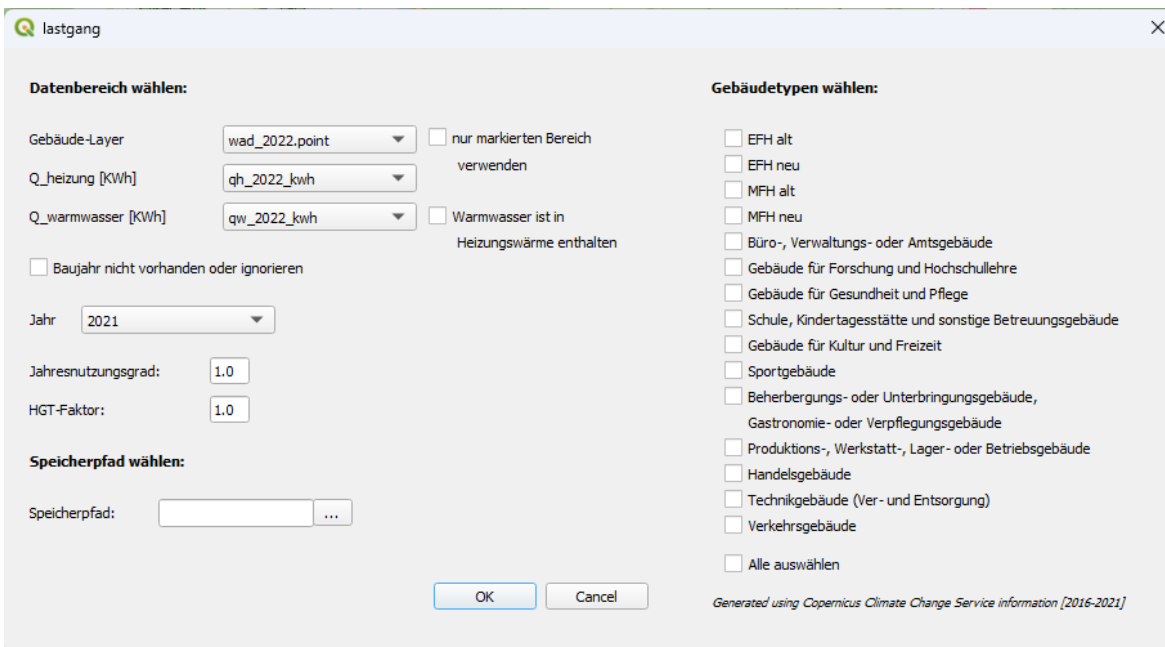
danach numpy upgraden mit *pip install --upgrade numpy*

## 4 Anwendung und Ergebnis

Nachdem das Plugin erfolgreich installiert worden ist, kann es in der Menüleiste über das unten rot markierte Symbol geöffnet werden.



Es öffnet sich ein Fenster, in dem verschiedene Einstellungen vorgenommen werden können.




Die Einstellmöglichkeiten werden nachfolgend beschrieben.

### Gebäude-Layer:

In dem Drop-Down-Menü werden alle in QGIS geladenen und aktiven Ebenen angezeigt. Hier kann die Ebene gewählt werden, welche die relevanten Inhalte (Jahreswärmebedarf, Gebäudetyp, Baujahr) enthält. Das ist in der Regel der Wärmetlas.

### Nur markierten Bereich verwenden:

Mit dem Markierten-Tool  kann der zu analysierende Bereich ausgewählt werden. Durch das Setzen des Hakens wird nur das Gebäude in diesem Bereich betrachtet. Ist kein Haken gesetzt, werden alle Gebäude in der ausgewählten Ebene betrachtet.

#### **Q\_heizung [kWh]:**

In dem Drop-Down-Menü werden alle Features der ausgewählten Ebene aufgelistet. Hier kann der Jahreswärmebedarf an Heizungswärme ausgewählt werden. Diese muss in kWh angegeben sein.

#### **Q\_warmwasser [kWh]:**

In dem Drop Down Menü werden alle Features der ausgewählten Ebene aufgelistet. Hier kann der Jahreswärmebedarf an Warmwasser ausgewählt werden. Diese muss in kWh angegeben sein.

#### **Warmwasser ist in Heizungswärme enthalten:**

Durch Setzen des Hakens wird nur der Jahreswärmebedarf betrachtet, welcher bei Q\_heizung ausgewählt ist. Das ist hilfreich, wenn der gesamte Wärmebedarf nicht in Heizung und Warmwasser getrennt vorliegt.

#### **Jahr:**

Hier kann ein Jahr zwischen 2016 und 2021 ausgewählt werden, zudem kann „extreme Kälteperiode“ gewählt werden. Bei dieser Einstellung wird der kälteste Tag in dem ausgewählten Gebiet zwischen 2016 und 2021 gesucht und bei den fünf Tagen davor sowie den 4 Tagen nach diesem Tag die Temperatur um 10 C reduziert, sodass eine 10-tägige extreme Kälte simuliert wird. Der restliche Temperaturverlauf ist gleich dem Verlauf des Jahres, in dem der kälteste Tag war.

#### **Jahresnutzungsgrad:**

Hier kann der Jahresnutzungsgrad angegeben werden. Der Gesamt-Jahreswärmebedarf wird mit dieser Zahl multipliziert.

#### **HGT-Faktor (Witterungskorrektur):**

Hier kann ein standortspezifischer Heizgradtag-Faktor für die Witterungskorrektur von Verbrauchsdaten angegeben werden. Der Gesamt-Jahreswärmeverbrauch wird mit dieser Zahl multipliziert. Als Heizgradtag wird ein Tag angenommen, wenn die mittlere Tagestemperatur unterhalb der Heizgrenze von 15 °C liegt. Standortspezifische HGT-Verhältnisse werden z.B. vom Institut Wohnen und Umwelt in einem Excel-Tool zur Verfügung gestellt.<sup>1</sup>

#### **Speicherpfad:**

<sup>1</sup> <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/#c205>, Datei „Gradtagszahlen-Deutschland.xlsx“ (Zugriff: 12.12.2023).

Hier kann der Speicherpfad und Name der Excel (.xlsx) Datei angegeben werden. Achtung: Dateinamen müssen mit .xlsx enden. Statt *DATEINAME* immer *DATEINAME.xlsx* eingeben

### Gebäudetypen wählen:

Hier können die zu analysierenden Gebäudetypen angegeben werden.

Nach Eingabe der gewünschten Parameter kann das synthetische Lastprofil erstellt werden, und das Ergebnis wird im Browser als interaktive Grafik angezeigt (Abbildung 1). Außerdem wird eine Excel-Datei erstellt.

### Ergebnis

In Abbildung 1 ist das Lastprofil eines Beispiel-Gebietes gezeigt, wie es sich im Browser als interaktiver Plot öffnet. Auf der Horizontalachse ist die Stunde und der Tag im Jahr angegeben, auf der Vertikalachse der Wärmebedarf in der jeweiligen Stunde in MWh/h bzw. MW. Im unteren rechten Teil der Grafik werden erste Analysen angezeigt. So ist der maximale, der minimale und der gesamte Wärmebedarf berechnet. Zudem ist angegeben, welcher Wärmebedarf des ausgewählten Bereichs dargestellt wurde und wie viele Gebäude davon betroffen sind. Dies ist der Fall, wenn Gebäudetypen nicht den Gebäudetypen des Plugins Lastprofile zugeordnet werden können. Diese werden in dem Lastprofil nicht beachtet. In der Jahresdarstellung ist durch die große Anzahl an Daten (8760 Stunden pro Jahr) die Farbgebung und somit die Unterteilung in die Gebäudetypen nicht zu erkennen. Erst durch eine Vergrößerung in dem rot markierten Bereich in Abbildung 1 ist die Farbgebung erkennbar (mittig-oben dargestellt). Die Legende zeigt die verschiedenen Gebäudetypen mit der jeweiligen Anzahl an Gebäuden im Betrachtungsgebiet und die jeweilige Farbe; die Allokation aller Gebäudetypen ergibt den Wärmebedarf im Gebiet und wird als gestapelter Balken angezeigt.

Zudem werden mehrere Tabellen in Excel erstellt. Die Tabellen stellen die folgenden Abhängigkeiten dar:

- $h(T)$  gibt den normierten Wärmebedarf in Abhängigkeit der Temperatur für alle ausgewählten Gebäudetypen wieder.
- $h(\text{day})$  gibt den normierten Wärmebedarf für jeden Tag im Kalenderjahr für alle ausgewählten Gebäudetypen wieder.
- $h(\text{hour})$  gibt stundengenau den normierten Wärmebedarf für alle ausgewählten Gebäudetypen wieder.
- $W(\text{hour})$  gibt stundengenau den Wärmebedarf für alle ausgewählten Gebäudetypen wieder.

Eine detaillierte Beschreibung der genannten Größen und der Berechnungsmethodik sind in Kapitel 5 zu finden.

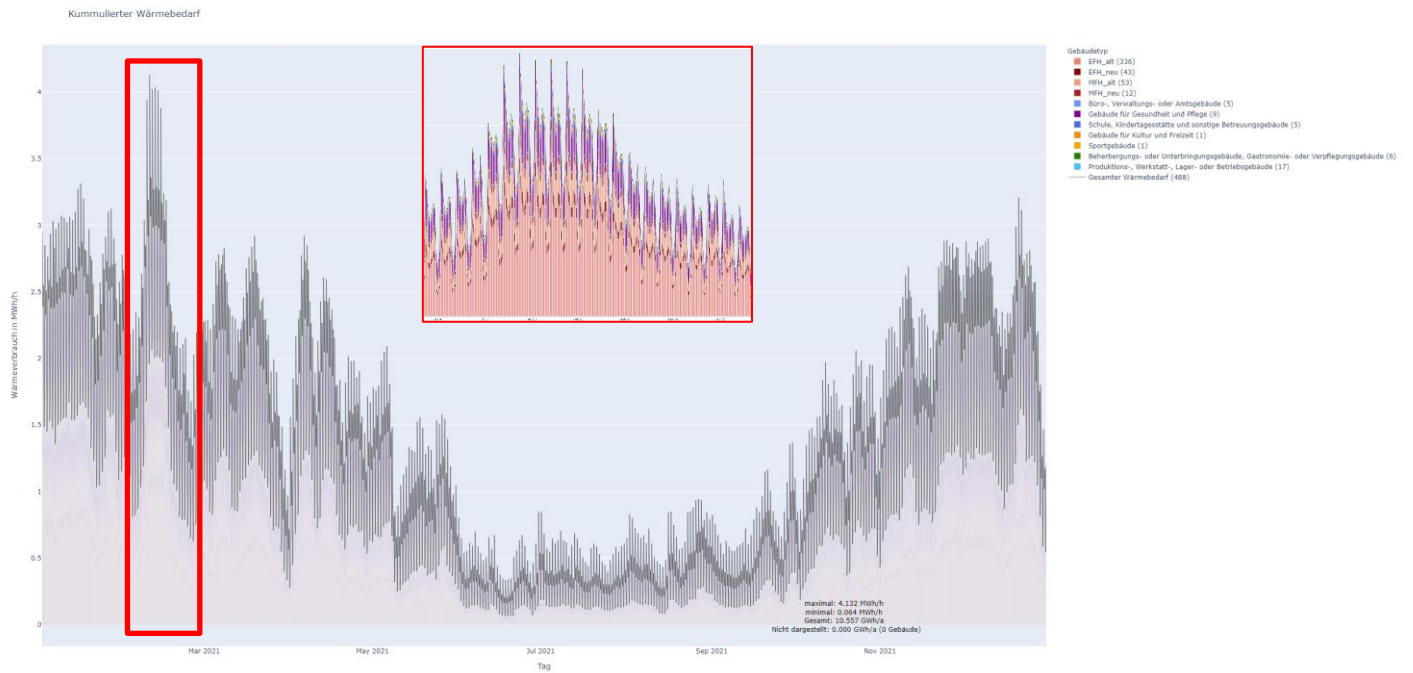


Abbildung 1: Synthetisches Lastprofil eines exemplarischen Quartiers.

# 5 Methodik

---

Der dem QGIS-Plugin zugrunde liegende theoretische Hintergrund ist in der Publikation „Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile“<sup>41</sup> beschrieben. Die wichtigsten Aspekte sollen im Folgenden gezeigt werden.

## 5.1 Grundlagen

Der Wärmeverbrauch lässt sich im Allgemeinen in drei Anwendungsbereiche aufteilen: Raumwärme, Warmwasseraufbereitung und Prozesswärme. Der Bereich Raumwärme bildet unter diesen den größten Anteil; er wird durch private Haushalte dominiert. Neben der Raumwärme wird zudem Energie für die Aufbereitung von Warmwasser benötigt. Im Vergleich zur Raumwärme, welche stark von der Außentemperatur abhängt, ist die Energie für Warmwasseraufbereitung zeitlich als eher konstant anzunehmen. Als dritte Kategorie für Wärme ist die Prozesswärme zu nennen. Letztere dominiert im Industriesektor und ist auch für gewerblichen Sektor relevant, jedoch vernachlässigbar für Wohngebäude. Prozesswärme liegt oftmals auf einem viel höherem Temperaturniveau über 100 °C und ist stark vom Prozess abhängig, für welchen sie eingesetzt wird.

Das hier vorgestellte Tool zielt auf die Größen Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten und Gebäude aus dem Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen kurz GHD ab. Diese können durch Kenngrößen anhand einiger Parameter hinreichend gut abgeschätzt werden. Prozesswärme wird in dem Tool nicht adressiert.

Die dominierenden Einflussgrößen auf den Verbrauch an Raumwärme und Warmwasser in Gebäuden sind zum einen das Verbrauchsverhalten, zum anderen klimatische Bedingungen wie die Umgebungstemperatur. Das Verbrauchsverhalten wird über den Gebäudetyp und im GHD-Sektor über den Wochentag abgebildet. Im Folgenden werden diese Parameter betrachtet:

### 1. Gebäudetyp

Zunächst kann man den Gebäudetyp in seine grundlegende Benutzung unterteilen, als Wohngebäude oder im Gegensatz dazu als Nicht-Wohngebäude.

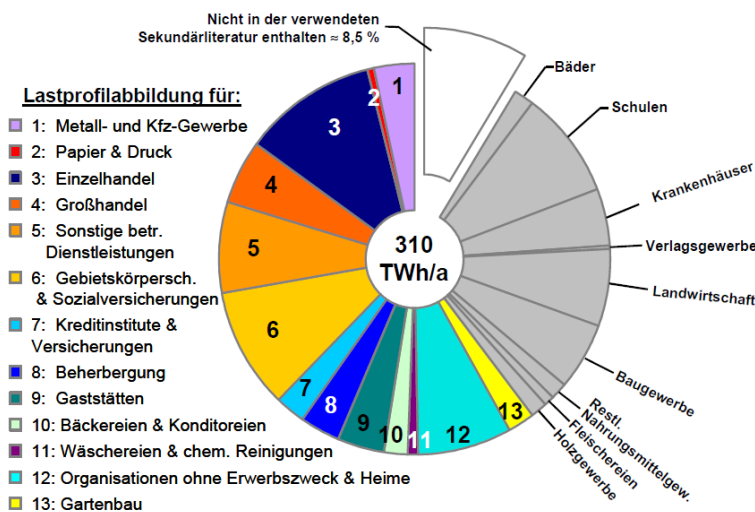
Wohngebäude können zunächst anhand ihrer energetischen Effizienz gegliedert werden. Da weder eine umfassende Datengrundlage zur energetischen Effizienz einzelner Gebäude noch standardisierte Lastprofile zu den einzelnen Effizienzklassen zur Verfügung steht, wird die einfache Gliederung in Altbau und Neubau verwendet. Hierbei wird Altbau und Neubau folgendermaßen definiert:

Baujahr ≤ 1978 (I. Wärmeschutzverordnung der BRD) → Altbau

Baujahr > 1978 → Neubau

Neben der Unterscheidung zwischen Neubau und Altbau ist aus energetischen Gesichtspunkten eine Unterscheidung in Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) sinnvoll. Somit werden Wohngebäude in 4 Kategorien unterteilt: EFH alt, EFH neu, MFH alt, MFH neu.

Nicht-Wohngebäude werden, wie in Abbildung 1 zu sehen, nach Verwendungszweck gegliedert. Für 13 verschiedene Gebäudeklassen wurden in der Dissertation von Hellwig<sup>1</sup> spezifische Lastprofile erstellt. Die anderen Gebäudeklassen eignen sich nicht für die Erstellung von synthetischen Lastprofilen, weil sie entweder in ihrem Wärmebedarf zu stark divergieren (z.B. Landwirtschaft, Baugewerbe,...), oder weil es sich um Großwärmeverbraucher handelt. Bei Großwärmeverbrauchern ist es sinnvoller, das Wärmelastprofil direkt zu messen und nicht über einen statischen Wert zu ermitteln. Die meisten Schulen oder Krankenhäusern haben einen Wärmebedarf, welcher über der Wirtschaftlichkeitsgrenze für eine Leistungsmessung liegt.



Quelle: Hellwig (2003)<sup>1</sup>

Abbildung 2: Auswahl der Kategorien nach energetischen Gesichtspunkten.

## 2. Klimatische Einflussgrößen

Während der Bedarf an Warmwasser in Haushalten als weitestgehend konstant über das Jahr angenommen werden kann, ist der Bedarf an Raumwärme von klimatischen Bedingungen abhängig. Dass im Winter der Heizbedarf in Deutschland steigt, ist intuitiv. Die Außentemperatur bildet die dominierende klimatische Einflussgröße, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit sind nachgelagert (Genauigkeit +/-1 %, da Einbeziehung auf Kosten der Genauigkeit von Außentemperatur [Hellwig 2003<sup>1</sup>]). Strahlung und Wind werden deshalb nicht berücksichtigt! Bei der Außentemperatur spielt nicht nur die momentane Temperatur eine Rolle, sondern auch die Temperatur der vorangegangenen Tage. Die Gebäudehülle dient als Wärmespeicher und kann die Wärme, je nach Effizienzniveau, über mehrere Tage halten. Eine geeignete Näherung der Tagesmitteltemperatur an Verbrauchswerte pro Tag ist durch die Reihe

$$T_{\text{gewichtet}} = \frac{8}{15} \cdot \left( T_{\text{heute}} + \frac{T_{\text{gestern}}}{2} + \frac{T_{\text{vorgestern}}}{4} + \frac{T_{\text{vorvorgestern}}}{8} \right)$$

gegeben.

## 3. Einfluss der Wochentage

Bei Wohngebäuden hängt der Wärmebedarf im Gegensatz zu GHD-Gebäuden nicht signifikant von den Wochentagen ab. Im Einzelhandel beispielsweise hängt der Wärmebedarf von den Öffnungszeiten ab und ist in der Regel Werktags höher als am

Wochenende. In der Dissertation von Hellwig<sup>i</sup> wird bei den GHD-Gebäudetypen zwischen jeden Wochentag unterschieden. Bei den meisten ist der Unterschied unter der Woche gering und zum Wochenende hin groß, weshalb im Lastprofil Plugin folgende Vereinfachung vorgenommen wurde: Im Falle von Gebietskörperschaften wurde beispielsweise für die Wochentage Montag bis Freitag das von Hellwig<sup>i</sup> für Dienstag berechnete Tageslastprofil verwendet und am Wochenende die Lastprofile für Samstag und Sonntag. Analog wurde bei anderen Gebäudetypen vorgegangen. Die Tabelle 3 zeigt für die jeweiligen Gebäudetypen, welcher Wochentag bei der Berechnung stellvertretenden verwendet wird.

Tabelle 3: Wochentags-Spezifizierung verschiedener Gebäudetypen des GHD-Sektors zur Auswahl der Wochentagsfaktoren.

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Gebietskörperschaften	Di	Di	Di	Di	Di	Sa	So
Organisation ohne Erwerbszweck und Heime	Di	Di	Di	Di	Di	Di	So
Gaststätten	Mo	Mi	Mi	Mi	Mi	Sa	So
Beherbergung	Di	Di	Di	Di	Di	Di	Di
Einzelhandel	Di	Di	Di	Di	Di	Sa	So

Quelle: Hellwig (2003)<sup>i</sup>

### Datengrundlage

Als Datengrundlage für die im nächsten Abschnitt beschriebene Berechnung der spezifischen Jahreslastprofile wurden eine große Anzahl verschiedener Datensätze deutschlandweit zusammengeführt. Hier soll eine kurze Zusammenfassung der statistischen Verteilung gezeigt werden. Weitere Informationen sind der Publikation von Hellwig<sup>i</sup> zu entnehmen.

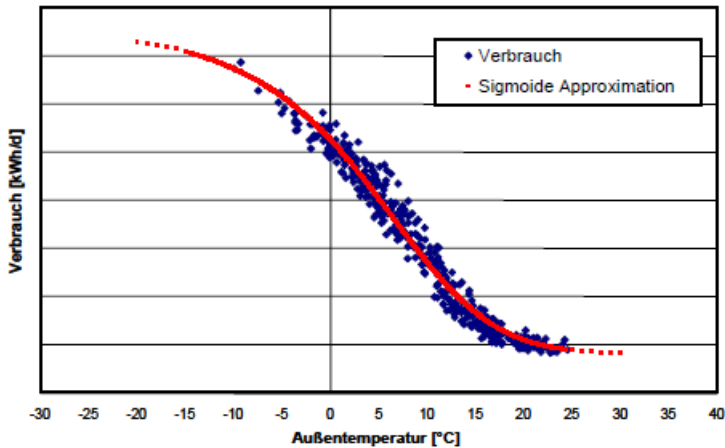
Statistische Verteilung der Daten:

- Daten regional und soziodemografisch gestreut
- Haushalte zu relevantem Anteil an Ausspeisepunkten kollektiv gemessen (beugt Gleichzeitigkeitseffekten vor). 20 Kollektivmessungen mit mind. 20 Einzelverbraucher und Einzelmessungen
- Bei GHD nur Einzelmessungen (mind. 130 mit verschiedenen Betriebsgrößen)



## 5.2 Erstellung synthetischer Lastprofile

Hellwig<sup>i</sup> zeigt, dass der Wärmeverbrauch in Abhängigkeit der (gewichteten) Außentemperatur gut durch eine Sigmoid-Approximation beschrieben werden kann.



Quelle: Hellwig (2003)<sup>i</sup>

Abbildung 3: Sigmoid-Approximation der Verbrauchsdaten in Abhängigkeit der gewichteten Außentemperatur.

Die verwendete Sigmoid-Funktion wird beschrieben durch:

$$h_{\text{Tag}} = F \cdot \frac{A}{1 + \left(\frac{B}{T - T_0}\right)^C} + D \quad \text{mit } T_0 = 40^\circ\text{C}$$

**F:** Wochentags-Faktor: wichtig bei GHD-Gebäuden

**A:** Faktor aus der Sigmoid-Funktion: Definiert Asymptote  $x \rightarrow -\infty$ .

**B:** Sinken des negativen B führt zur Streckung der Kurve in negative x-Richtung, Wendepunkt bleibt in Lage bzgl. A und D unverändert

**C:** Steigen von C führt zu flacherem Anstieg, Wendepunkt wandert aus seiner Lage bzgl. A und D

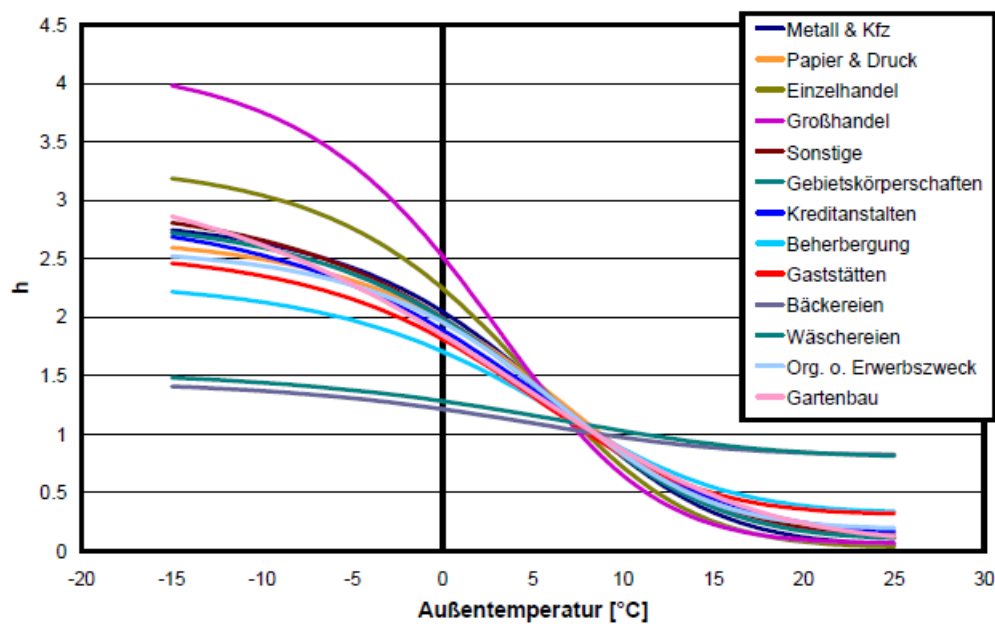
**T<sub>0</sub>:** Die Unstetigkeitsstelle bei  $x = 0$  auf  $+40^\circ\text{C}$  wird verschoben, sodass innerhalb des zu erwartenden Temperaturbereichs keine Unstetigkeit auftritt

**D:** Summand, der den temperaturunabhängigen Warmwasser-/ Prozessenergieverbrauch modelliert (D). Definiert Asymptote  $x \rightarrow +\infty$ .

**h:** Normierter Wärmebedarf  $h = W/W_{\text{mean}}$

mit **W<sub>mean</sub>**: Durchschnittlicher Tagesverbrauch am Referenzstandort [Würzburg  $9.1^\circ\text{C}$  Mehrjahresdurchschnitt ca. 1972-2002]

Die Parameter der Sigmoid-Funktion werden den verschiedenen Gebäude-Typen entsprechend gewählt. So entstehen für verschiedene Gebäude-Typen verschiedene Lastprofile, wie in A zu sehen ist. Auffällig in der Abbildung sind die Kurven für die Wäschereien und Bäckereien, welche sehr viel flacher verlaufen als andere Lastprofile. Ein flacher Verlauf weist auf eine schwache Temperaturabhängigkeit hin, bei Bäckereien und Wäschereien beansprucht die Prozesswärme einen deutlich größeren Anteil der Gesamtwärme, und die Raumwärme einen kleineren Anteil. Groß- und Einzelhandel sind hingegen stark temperaturabhängig. Ein Erklärungsversuch ist die große Verkaufsfläche, wodurch die Raumwärme einen großen Anteil der Gesamtwärme ausmacht.



Quelle: Hellwig (2003)  
 Abbildung 4: Standardlastprofile für verschiedene Gebäudetypen des GHD-Sektors.

Im QGIS-Plugin Lastprofile wurde eine Zuordnung der in Abbildung 4 gezeigten gebäudebezogenen Lastprofile mit den Gebäudetypen nach der im ifeu-Gebäudemodell GEMOD angewandten IWU-Systematik durchgeführt. Die Zuordnung ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Zuordnung der Gebäudetypen von Hellwig<sup>i</sup> zu der Kategorisierung von GEMOD.

Gebäudetyp Input-GIS-Daten (ifeu-GEMOD / IWU)	Zugeordnetes Profil Hellwig (2003)
EFH	EFH
RH	EFH
MFH	MFH
GMH	MFH
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude	Gebietskörperschaften
Gebäude für Forschung und Hochschullehre	Gebietskörperschaften
Gebäude für Gesundheit und Pflege	Organisation ohne Erwerbszweck und Heime
Schule, Kindertagesstätte und sonstige Betreuungsgebäude	Gebietskörperschaften
Gebäude für Kultur und Freizeit	Gaststätten
Sportgebäude	Gaststätten
Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude	Beherbergung
Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude	Gebietskörperschaften
Handelsgebäude	Einzelhandel
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)	Beherbergung
Verkehrsgebäude	Beherbergung

Quelle: eigene Darstellung

### Normierung des Wärmebedarfs

Die Lastprofile, die anhand der Sigmoid-Funktion berechnet werden, sollen standardisiert und unabhängig von Standort- und Witterungs- oder klimatischen Faktoren sein. Die Normierung auf eine sinnvolle Referenz ist daher unabdingbar für einen nutzbaren Standard. Die Faktoren A, B, C, D, F sind empirisch von Hellwig<sup>i</sup> bestimmt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Empirische Faktoren der Sigmoid-Funktion für Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser

	EFH		MFH	
	alt	neu	alt	neu
<b>A</b>	3,130	2,794	2,496	2,059
<b>B</b>	-37,2	-37,2	-34,7	-34,7
<b>C</b>	5,75	5,40	5,66	6,43
<b>D</b>	0,098295	0,171391	0,102064	0,280705

Quelle: Hellwig (2003)<sup>i</sup>

### Stundengenaue Auflösung

Für die stundengenaue Auflösung werden empirische Stundenfaktoren verwendet, die den Tagesbedarf gewichtet auf die jeweiligen Stunden verteilen. Diese sind gebäude- und temperaturabhängig. Sie beschreiben, welcher Anteil des Tagesbedarfs an Wärme pro Stunde verbraucht wird. Die Stundenfaktoren liegen zwischen 0 und 1 und haben die Form:

Tabelle 6: Anteile des Verbrauches der Gebäudewärme für den Gebäudetyp EFH Alt in Abhängigkeit der gewichteten Außentemperatur.

EFH Alt Rhbg. • WW	Anteil am Tagesverbrauch																													
	600 Uhr 700 Uhr	700 Uhr 800 Uhr	800 Uhr 900 Uhr	900 Uhr 1000 Uhr	1000 Uhr 1100 Uhr	1100 Uhr 1200 Uhr	1200 Uhr 1300 Uhr	1300 Uhr 1400 Uhr	1400 Uhr 1500 Uhr	1500 Uhr 1600 Uhr	1600 Uhr 1700 Uhr	1700 Uhr 1800 Uhr	1800 Uhr 1900 Uhr	1900 Uhr 2000 Uhr	2000 Uhr 2100 Uhr	2100 Uhr 2200 Uhr	2200 Uhr 2300 Uhr	2300 Uhr 2400 Uhr	000 Uhr 100 Uhr	100 Uhr 200 Uhr	200 Uhr 300 Uhr	300 Uhr 400 Uhr	400 Uhr 500 Uhr	500 Uhr 600 Uhr						
Temp. <= -15 °C	5,43%	5,25%	5,09%	4,83%	4,70%	4,40%	4,28%	4,26%	4,27%	4,51%	4,71%	4,82%	4,73%	4,71%	4,62%	4,22%	3,40%	2,89%	2,88%	2,90%	3,00%	3,04%	3,21%	3,84%						
-15 °C < Temp. <= -10 °C	5,67%	5,28%	5,11%	4,85%	4,71%	4,40%	4,27%	4,25%	4,26%	4,51%	4,72%	4,83%	4,74%	4,72%	4,63%	4,21%	3,37%	2,84%	2,83%	2,85%	2,95%	2,99%	3,17%	3,82%						
-10 °C < Temp. <= -5 °C	6,01%	5,35%	5,17%	4,89%	4,74%	4,40%	4,27%	4,25%	4,26%	4,52%	4,75%	4,87%	4,77%	4,75%	4,65%	4,21%	3,30%	2,73%	2,72%	2,75%	2,86%	2,90%	3,08%	3,79%						
-5 °C < Temp. <= 0 °C	5,39%	5,09%	5,08%	4,90%	4,68%	4,50%	4,43%	4,43%	4,56%	4,68%	4,86%	4,91%	4,92%	4,83%	4,59%	4,04%	3,01%	2,57%	2,52%	2,58%	2,69%	2,85%	3,43%	4,47%						
0 °C < Temp. <= 5 °C	5,74%	5,43%	5,20%	4,91%	4,63%	4,49%	4,39%	4,44%	4,53%	4,70%	4,84%	5,03%	5,08%	5,05%	4,78%	4,20%	2,92%	2,34%	2,23%	2,28%	2,37%	2,56%	3,22%	4,65%						
5 °C < Temp. <= 10 °C	6,27%	5,75%	5,25%	4,84%	4,47%	4,34%	4,25%	4,28%	4,43%	4,67%	4,86%	5,14%	5,28%	5,26%	4,95%	4,21%	2,76%	2,13%	1,93%	2,00%	2,11%	2,44%	3,40%	5,00%						
10 °C < Temp. <= 15 °C	7,10%	6,51%	5,70%	5,17%	4,59%	4,28%	4,18%	3,97%	3,97%	4,20%	4,47%	4,92%	5,36%	5,63%	5,40%	4,64%	2,84%	1,82%	1,49%	1,51%	1,59%	1,91%	3,12%	5,61%						
15 °C < Temp. <= 20 °C	8,89%	7,22%	5,98%	5,98%	4,77%	4,75%	4,41%	3,84%	3,63%	3,50%	3,88%	4,16%	4,76%	5,27%	5,30%	4,44%	2,93%	1,60%	1,01%	0,99%	1,09%	1,54%	3,10%	6,93%						
20 °C < Temp. <= 25 °C	10,43%	7,52%	6,09%	5,68%	4,72%	5,82%	5,38%	4,07%	3,89%	3,50%	4,03%	5,17%	5,04%	5,26%	5,31%	4,69%	2,44%	1,09%	0,36%	0,33%	0,34%	0,72%	1,94%	6,18%						
Temp. >25 °C	10,43%	7,52%	6,09%	5,68%	4,72%	5,82%	5,38%	4,07%	3,89%	3,50%	4,03%	5,17%	5,04%	5,26%	5,31%	4,69%	2,44%	1,09%	0,36%	0,33%	0,34%	0,72%	1,94%	6,18%						

Quelle: Hellwig (2003)<sup>i</sup>

$$h_{\text{Stunde}} = h_{\text{Tag}} \cdot F_{\text{Stunde}}$$

Um von der standardisierten Darstellung des Wärmebedarfs auf den tatsächlichen absoluten Wert des Wärmebedarfs *W* zu kommen, muss man den Wert mit dem Jahreswärmeverbrauch multiplizieren und durch die Anzahl der Stunden im Jahr teilen. Zudem kann man über den Jahresnutzungsgrad noch einen weiteren Parameter einführen.

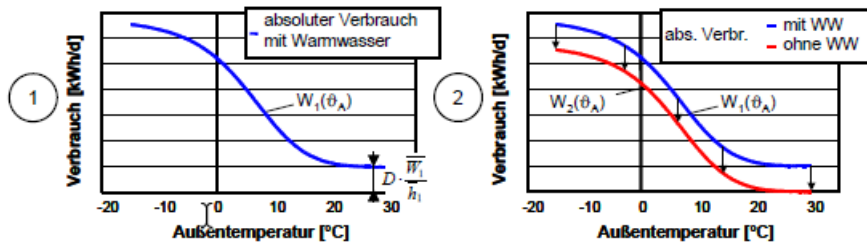
Wärmebedarfsberechnung:

$$W_{\text{Stunde}} = W_{\text{Jahresbedarf}} \cdot \frac{h_{\text{Stunde}}}{\sum_{i=0}^N h_{\text{Stunde},i}} \cdot \eta_{\text{Jahr}}$$

Mit  $\eta_{\text{Jahr}}$  = Jahresnutzungsgrad

### Warmwasserverbrauch

Bei den Lastprofilen wird die Annahme getroffen, dass der Wärmebedarf für Warmwasser und Prozesswärme zeitlich konstant ist und nicht von der Außentemperatur abhängt. Somit ist er durch die Konstante  $D$  in der Sigmoid-Funktion bestimmt.



Quelle: Hellwig (2003)<sup>i</sup>

Abbildung 5: Temperaturabhängiges Wärmeverbrauchslastprofil mit und ohne Warmwasseranteil.

Tabelle 7: Der Faktor  $D$  aus der Formel der Sigmoid-Funktion.

Gebäudetyp	$D$
EFH alt	0,10
EFH neu	0,17
MFH alt	0,10
MFH neu	0,28
Gebietskörperschaften	0,10
Organisation ohne Erwerbszweck und Heime	0,19
Gaststätten	0,32
Beherbergung	0,33
Einzelhandel	0,03

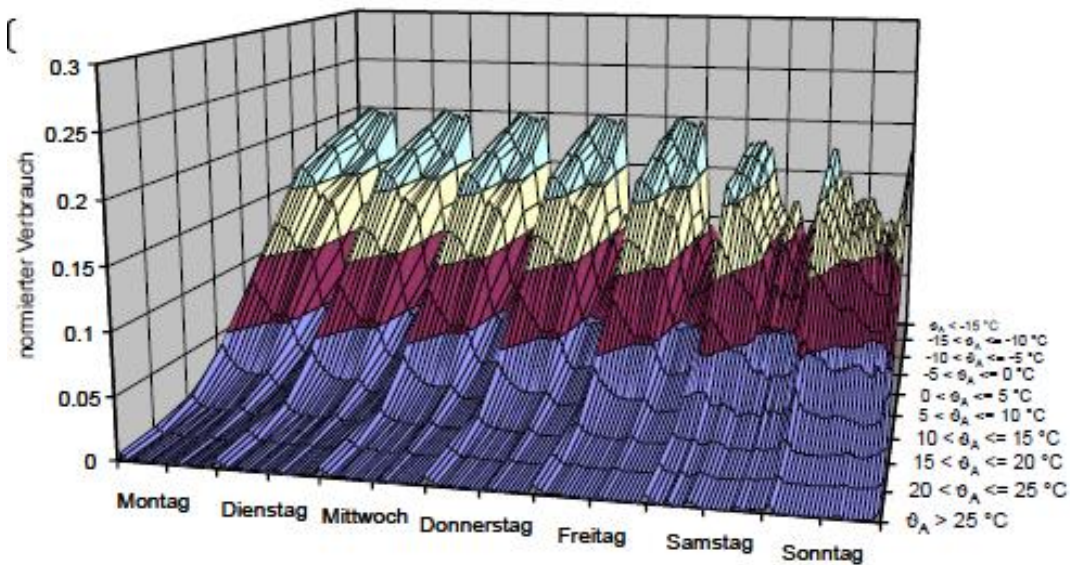
Quelle: Hellwig<sup>i</sup>

Die Konstante  $D$  kann als Anteil des Wärmebedarfs von Warmwasser an dem gesamten Wärmebedarf (Warmwasser+Raumwärme) im Referenzzeitraum [Würzburg 9,1 °C Mehrjahresdurchschnitt ca. 1972-2002] verstanden werden. Hierbei ist zu erkennen, dass der Warmwasseranteil beispielsweise bei Beherbergung und Gaststätten hoch ist, im Einzelhandel jedoch sehr gering. Bei neuen Wohngebäuden steigt der Anteil für Warmwasser ebenfalls an, da die Raumwärme durch Dämmung besser gehalten werden kann und somit der Raumwärmebedarf sinkt.

## 5.3 Darstellung gebäudetypspezifischer Profile

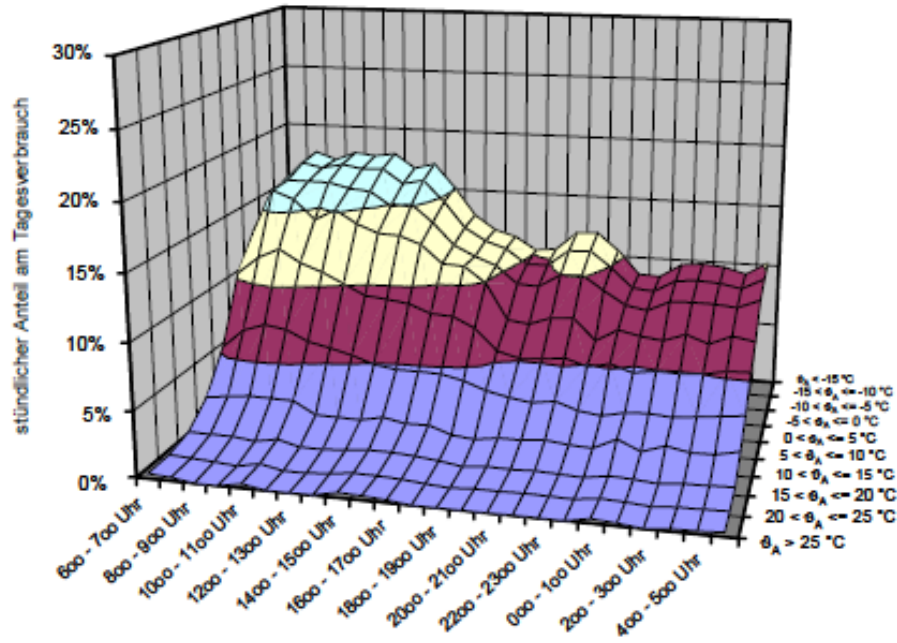
Der Energieverbrauch für Wärme in Abhängigkeit von der Temperatur und den Wochentagen ist für eine Auswahl von Gebäudetypen in den folgenden Abbildungen dargestellt. Aus den Abhängigkeiten werden jeweils stichpunktartig Charakteristika extrahiert, um die Zuordnung von den Gebäudetypen von Hellwig<sup>i</sup> mit den GEMOD-Gebäudetypen zu plausibilisieren.

### 5.3.1 Einzelhandel



Quelle: Hellwig (2003)<sup>i</sup>

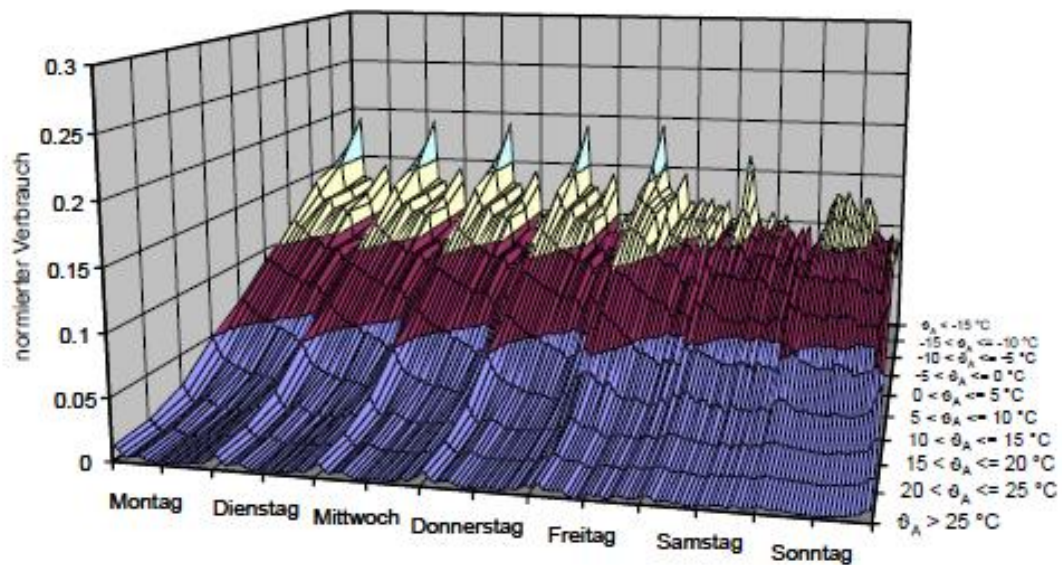
Abbildung 6: Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Einzelhandel.



Quelle: Hellwig (2003)  
Abbildung 7: Verlauf der stündlichen Anteile am Tagesverlauf/ Samstag – Einzelhandel.

- Hohe T-Abhängigkeit
- Werktags gleichbleibender Verlauf.
- Samstag: 6-16 Uhr annähernd konstanter Verbrauch, danach Absenkung (werktags Absenkung später)
- Sonntags geringer Verbrauch

### 5.3.2 Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen

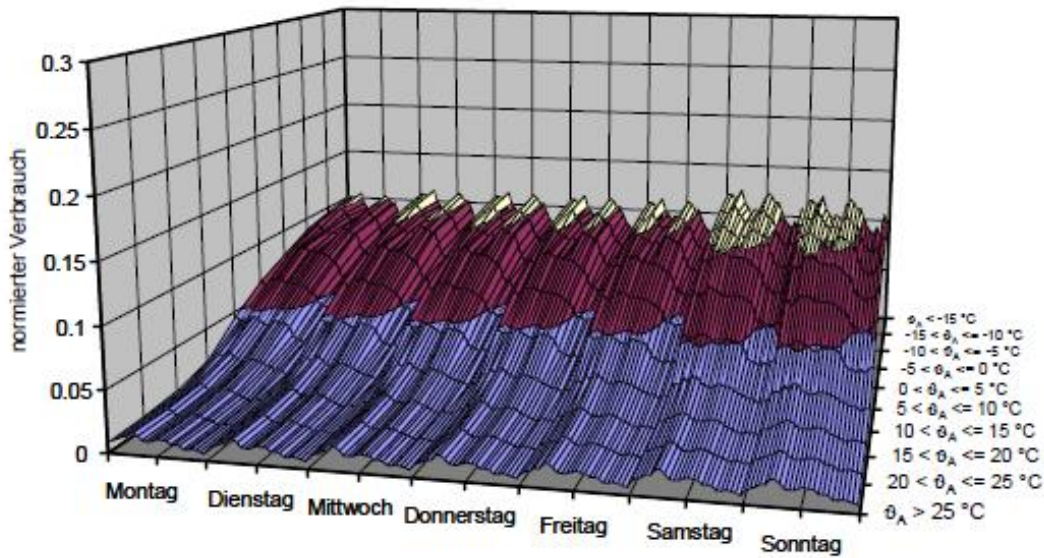


Quelle: Hellwig (2003)  
Abbildung 8: Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Übergangsbereich Gebietskörperschaften & Sozialversicherungen.



- Werktags gleicher Verlauf
- Starker Anstieg in den Morgenstunden bei Kälte, mittlerer Verlauf über den Tag, bei Kälte in der Nacht Absenkung des Verbrauchs
- Samstags kleiner Peak in den Morgenstunden bei Kälte
- Sonntags kein Peak, bei Kälte tagsüber erhöhter Verbrauch

### 5.3.3 Gaststätten



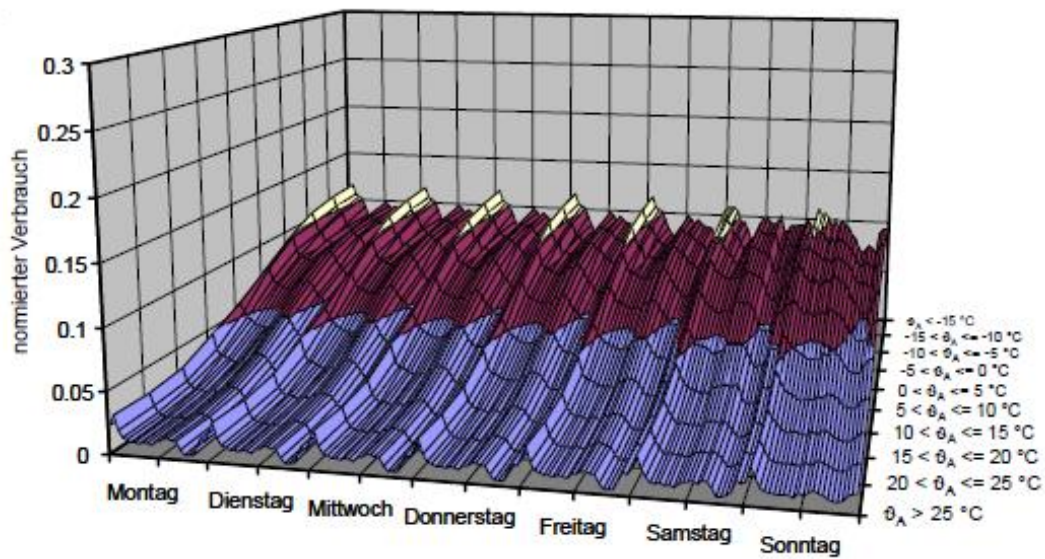
Quelle: Hellwig (2003)

Abbildung 9: Verlauf der normierten Stundeverbrauchswerte – Gaststätten.

- Vergleichsweise geringe Temperaturabhängigkeit
- Werktags gleicher Verlauf
- Wochenends höherer Verbrauch
- Morgens: Anstieg, mittags: Abfall, nachmittags: erneuter Anstieg, abends: Abfall



### 5.3.4 Beherbergung

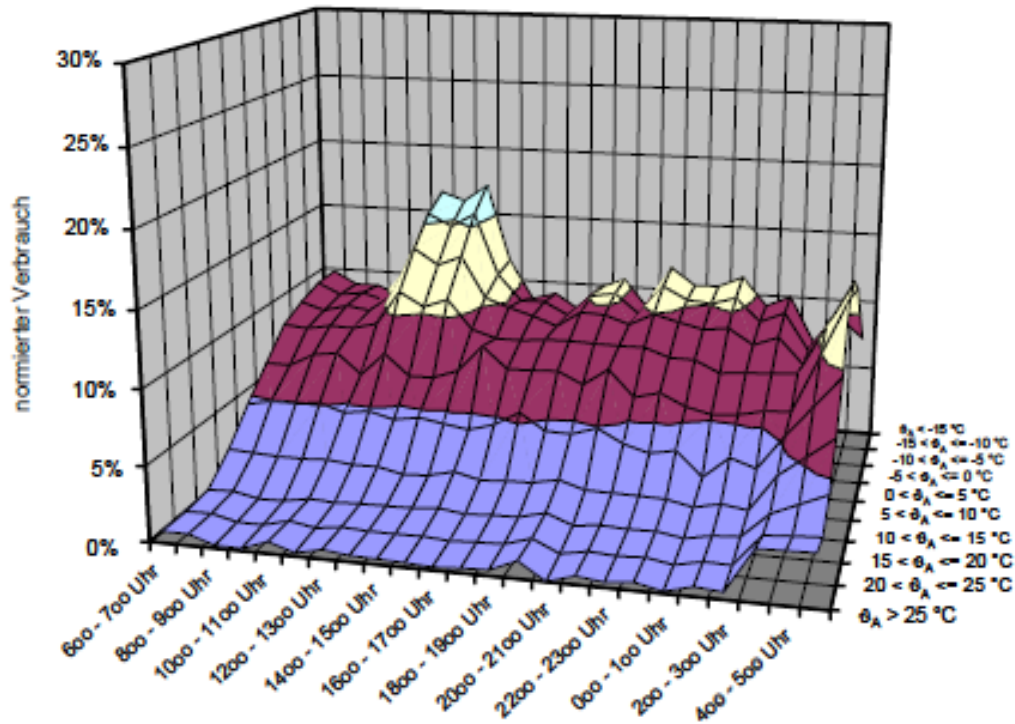


Quelle: Hellwig (2003)

Abbildung 10: Verlauf der normierten Stundenverbrauchswerte – Beherbergung.

- Ähnlicher Verlauf über die gesamte Woche
- Temperaturabhängigkeit eher gering
- Morgens ein Peak im Verbrauch

### 5.3.5 Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime



Quelle: Hellwig (2003)<sup>1</sup>

Abbildung 11: Verlauf der stündlichen Anteile am Tagesverlauf/ Sonntag – Organisationen ohne Erwerbszweck und Heime.

- Werktags unauffällig mit Spitzen am Morgen und Warmwasserverbrauch im Sommer.
- Geringerer Verbrauch am Wochenende
- Auffällig ist der Sonntag, welcher bei sonst geringem Verbrauch am Mittag einen erhöhten Verbrauch aufweist. Möglicher Grund: Heime, welche am Mittag einen hohen Verbrauch an Warmwasser und Prozesswärme für die Küche benötigen. (Zu beachten ist, dass Grundlage der Berechnung der Gasverbrauch ist.)

## 5.4 Temperaturdaten

Die Daten für die Außentemperaturen sind dem europäischen Erdbeobachtungsprogramm [Copernicus](#) entnommen. [Die ERA5-Land Datenbank](#) enthält stündlich aufbereitete und räumlich aufgelöste Werte für die Temperatur 2 Meter über der Oberfläche. Die räumliche Auflösung entspricht  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ , was einem Raster von 9 km gleichkommt. Ein Datensatz über die Fläche von Deutschland ist als TIF-Datei dem Plugin Lastprofile beigelegt und beinhaltet die Daten im Zeitraum von 2016 bis 2021 mit Tagesmittelwerten der Temperatur. Die Tagesmittelwerte wurden als Mittel der Stundenwerte berechnet.

---

## Literaturverzeichnis

---

<sup>i</sup> Hellwig, Mark (2003): Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile. München: Technische Universität München.