



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Fachbereich Bauingenieurwesen

Institut für Massivbau

Fachgebiet Massivbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Lena Kumpf

Entwicklung von Referenzlastprofilen für Schulen und Kitas anhand von Realdaten



Darmstadt 2016

Entwicklung von Referenzlastprofilen für Schulen und Kitas anhand von Realdaten

Masterarbeit: eingereicht am 15. April 2016

Verfasser: cand. M. Sc. Lena Kumpf
Matr.-Nr. 1746978
Anschrift:
Grüner Weg 9
64283 Darmstadt
Tel.: 06151 7877609
mobil: 0151 41251631
email: lena.kumpf@gmx.de

Betreuer: Claudia Weißmann, M. Sc.
Anschrift:
Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau
Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt
<http://www.massivbau.to>

Art der Arbeit: **Masterthesis WS15/16**

Fachgebiet: Massivbau

Bearbeiter: Lena Kumpf

Matrikelnummer: 1746978

Thema: Entwicklung von Referenzlastprofilen für Schulen und Kitas anhand von Realdaten

Development of standard load profiles for schools and day nurseries based on real data

Beschreibung: Ziel der Bundesregierung ist es bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu verwirklichen. Um dieses Ziel zu erreichen und Energiesparpotenziale zu identifizieren, ist es notwendig, den Energiebedarf von Gebäuden zu kennen. Durch die hohe Fluktuation von erneuerbaren Energiequellen sind dabei insbesondere Bedarfsprofile mit kleinen Zeitschrittweiten (mindestens Stundenwerte) nützlich. Der Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) stellt repräsentative Lastprofile mit kleinen Zeitschrittweiten für Haushalte, Landwirtschafts- und Gewerbebetriebe zur Verfügung, um Lastgänge eines Energieverbrauchers ohne registrierende Leistungsmessung zu prognostizieren. Für Bildungsbauten liegen solche Standardlastprofile bisher noch nicht vor. Auch hat das BMUB ein Förderprogramm für Bildungsbauten aufgelegt, um durch Forschung und Entwicklung Grundlagen für die Markteinführung des Effizienzhaus Plus-Standards für Bildungsbauten zu schaffen. Dies unterstreicht die Bedeutung von Bildungsbauten im Rahmen der Energiewende und betont den Bedarf nach einem Referenzlastprofil für diesen Gebäudetyp.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen anhand von Realdaten unterschiedlicher Schulen und Kitas solche Referenzlastprofile für die jeweiligen Schultypen entwickelt werden. Die kritische Würdigung der entwickelten Referenzlastprofile sowie die Ableitung von Empfehlungen zur Anwendung in der Praxis bilden den Abschluss der Ausarbeitung.

- Aufgabenstellung:**
- Literaturrecherche bezüglich etablierter Standardlastprofile in Deutschland
 - Literaturrecherche bezüglich der Energieversorgung von Bildungsbauten
 - Auswertung von Realdatensätzen zu Strom- und Wärmebedarf unterschiedlicher Schulen und Kitas
 - Entwicklung neuer Referenzlastprofile für Kitas, Grundschulen und weiterführende Schulen anhand von Realdaten
 - Kritische Würdigung der entwickelten Referenzlastprofile
 - Ableitung von Anwendungsempfehlungen in der Praxis

Beginn: 22.02.2016

Bearbeitungszeit: 3 Monate

Darmstadt 15.02.2016

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner

Betreuer: Claudia Weißmann, M.Sc.

Kurzfassung

Die Umsetzung der Energiewende stellt eines der wichtigsten Ziele für eine zuverlässige, umweltschonende und wirtschaftliche Energieversorgung in der Zukunft dar. Durch die hohe Fluktuation erneuerbarer Energiequellen, ist es notwendig den Energiebedarf von Gebäuden in kleinen Zeitschrittweiten zu kennen. Für Bildungsbauten liegen solche Referenzlastprofile, die das ermöglichen, noch nicht vor. Aus diesem Grund sollen ausgehend von Realdaten unterschiedlicher Schulen und Kitas solche Profile für unterschiedliche Schultypen entwickelt werden. Die Anwendbarkeit der Profile wurde exemplarisch an der Auslegung eines Quartiers überprüft, um daraus Anwendungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten.

Mit Hilfe der Realdaten konnten für die drei Schultypen Grundschulen, weiterführende Schulen und Kitas für unterschiedliche Typtagkategorien Referenzlastprofile entwickelt werden, die typische Charakteristika für diese Verbrauchergruppe in deren Tageslastgängen aufweisen. Die exemplarische Anwendung der Profile auf Quartiersebene hat gezeigt, dass diese sich eignen, die Energiebedarfe von Schulgebäuden und deren zeitliche Verteilung abzuschätzen.

Abstract

Realizing the turnaround in energy policy is one of the most important goals in achieving a reliable, environmentally friendly and economic energy supply in future. Because of high fluctuation of renewable energies, the energy demand of buildings has to be known in small distances. For educational facilities there are no standard load profiles, which make this possible. For this reason, standard load profiles of different school types should be developed based on real data of different schools and day nurseries. Applicability of the profiles was proven by the example of dimensioning a district in order to deduce recommendations for use in practice.

With the help of the real data standard load profiles for different typical-day categories of the three school types elementary school, secondary school and day nursery could be developed. They show typical characteristics for these consumer groups and their daily load course. The example usage of the profiles on district level showed the aptitude of the profiles to assess the energy demand and their temporal distribution of school buildings.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
TABELLENVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	VIII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Thematische Einordnung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	2
2 GRUNDLAGEN ZUR ENTWICKLUNG VON REFERENZLASTPROFILIEN ...	4
2.1 Thematische Einordnung in den Kontext der Energieeffizienz	4
2.2 Theoretische Grundlagen von Standard- und Referenzlastprofilen.....	5
2.3 Kenntnisstand bezüglich etablierter Standard- und Referenzlastprofile in Deutschland	6
2.3.1 Ursprung und Notwendigkeit von Standardlastprofilen	6
2.3.2 Standardlastprofile Strom.....	7
2.3.3 Standardlastprofile Gas	9
2.3.4 Referenzlastprofile nach VDI 4655.....	13
2.4 Vorgehensweise zur Erstellung von Referenzlastprofilen	15
2.4.1 Allgemeine Vorgehensweise	15
2.4.2 Definition von Typtagkategorien	16
2.4.3 Auswertung der Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes	18
2.4.4 Auswertung der repräsentativen Tageslastgänge einer Typtagkategorie aller Gebäude des gleichen Typs.....	19
3 ENERGIEVERSORGUNG VON BILDUNGSBAUTEN	20
3.1 Energiebedarf und Art der Versorgung von Bildungsbauten	20
3.2 Förderung der Bundesregierung von energieeffizienten Schulen	27

4	ERMITTLUNG VON REFERENZLASTPROFILIEN FÜR BILDUNGSBAUTEN	29
4.1	Datenmaterial und Eingrenzung des Betrachtungsrahmens.....	29
4.2	Darstellung der betrachteten Bildungsbauten	30
4.3	Kategorisierung der Bildungsbauten.....	34
4.4	Auswertung der Realdatensätze.....	35
4.4.1	Definition der Typtagkategorien	35
4.4.2	Wetterdaten und Zuordnung zu Typtagen.....	37
4.4.3	Allgemeine Vorgehensweise	38
4.5	Entwicklung und Auswertung der Referenzlastprofile.....	39
4.5.1	Entwicklung der Referenzlastprofile für Strom.....	40
4.5.1.1	Auswertung der Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes für Strom	40
4.5.1.2	Auswertung der repräsentativen Tageslastgänge aller Gebäude des gleichen Typs für Strom	47
4.5.2	Auswertung der Referenzlastprofile für Strom	50
4.5.3	Entwicklung der Referenzlastprofile für Gas	56
4.5.3.1	Auswertung der Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes für Gas.....	56
4.5.3.2	Auswertung der repräsentativen Tageslastgänge aller Gebäude des gleichen Typs für Gas	62
4.5.4	Auswertung der Referenzlastprofile für Gas	64
4.6	Kritische Würdigung der entwickelten Referenzlastprofile.....	71
5	ABLEITUNG VON ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN IN DER PRAXIS	75
5.1	Untersuchung der Korrelation zwischen Verbrauchsprofilen von Schulen und Photovoltaik- Einspeiseprofilen von Einfamilienhäusern auf Quartiersebene.....	75
5.1.1	Definition des betrachteten Szenarios	76
5.1.2	Gegenüberstellung der PV-Einspeisung und des Strombedarfs eines Einfamilienhauses mit dem Strombedarf einer Schule	79
5.2	Implikationen für die Praxis	83
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	85
6.1	Zusammenfassung.....	85
6.2	Ausblick.....	86

LITERATURVERZEICHNIS	XI
ANHANG A – ENERGIEAUSWEISE DER BETRACHTETEN SCHULEN.....	1
ANHANG B – E-MAIL-VERKEHR	7
ANHANG C – ZUORDNUNG ZU TYPTAGKATEGORIEN	8
ANHANG D – BEISPIEL ZUR VORGEHENSWEISE.....	14
ANHANG E – FEHLENDE UND AUSSORTIERTE DATEN.....	16
ANHANG F – DATENAUSWERTUNG.....	22
ANHANG G – REFERENZLASTPROFILE STROM	23
ANHANG H – REFERENZLASTPROFILE GAS.....	37
ANHANG I – GEGENÜBERSTELLUNG DER PV-EINSPEISUNG MIT DEM VERBRAUCH EINES EINFAMILIENHAUSES UND EINER SCHULE	51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einflussfaktoren auf die Lastprofile.....	9
Abbildung 2: Sigmoidale Approximation und Verbrauch eines Haushaltskollektivs	10
Abbildung 3: Entwicklungsschritte des SLP Verfahrens Gas.....	12
Abbildung 4: Referenzlastprofil EFH nach VDI 4655, Typtagkategorie ÜWH.....	14
Abbildung 5: Flussdiagramm zur Erstellung von Referenzlastprofilen.....	16
Abbildung 6: Hochgerechneter Endenergieverbrauch von Schulen nach Anwendungsarten und Energieträgern 2013	26
Abbildung 7: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie ÜS; Bettinaschule	40
Abbildung 8: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie SW; Gutenbergschule	41
Abbildung 9: Normierte, kumulierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie SW; Gutenbergschule.....	42
Abbildung 10: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WW; HLH	44
Abbildung 11: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WW; KiZ 7	45
Abbildung 12: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie SF; Bettinaschule	46
Abbildung 13: Anzahl der Tage in der Typtagkategorie ÜF für Kitas	47
Abbildung 14: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WS; Kitas	48
Abbildung 15: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WF; weiterführende Schulen.....	49
Abbildung 16: RLP Strom weiterführende Schulen, Typtagkategorie WS	51
Abbildung 17: RLP Strom weiterführende Schulen, Typtagkategorie WF	51
Abbildung 18: RLP Strom Grundschulen, Typtagkategorie WF	52
Abbildung 19: RLP Strom weiterführende Schulen, Typtagkategorie ÜW.....	53
Abbildung 20: RLP Strom Grundschulen, Typtagkategorie SW	54
Abbildung 21: RLP Strom Kitas, Typtagkategorie WW	55
Abbildung 22: RLP Strom Grundschulen, Typtagkategorie WS.....	56
Abbildung 23: Normierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie WW; HvG	60

Abbildung 24: Normierte, kumulierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie SS; ADS	61
Abbildung 25: Normierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie WW; Grundschulen.....	63
Abbildung 26: Normierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie SS; Grundschulen.....	64
Abbildung 27: RLP Gas Grundschulen; Typtagkategorie WS	66
Abbildung 28: RLP Gas Grundschulen; Typtagkategorie WW	67
Abbildung 29: RLP Gas Kitas; Typtagkategorie WW	68
Abbildung 30: RLP Gas weiterführende Schulen; Typtagkategorie WW	69
Abbildung 31: RLP Gas weiterführende Schulen; Typtagkategorie ÜW	70
Abbildung 32: RLP Gas weiterführende Schulen; Typtagkategorie SW	71
Abbildung 33: Beispiel eines Vergleichs der Tagesmessung mit dem dynamisierten Typtag	78
Abbildung 34: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs; Typtagkategorie SW	80
Abbildung 35: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SW	81
Abbildung 36: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WW	82
Abbildung 37: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜSo.....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standardlastprofile des BDEW	8
Tabelle 2: Systematik der Typtagkategorien nach VDI 4655	14
Tabelle 3: Endenergieverbrauch der Verbrauchergruppen in Deutschland	20
Tabelle 4: Baualtersklassen von Nichtwohngebäuden in Deutschland nach BMVBS	22
Tabelle 5: Anlagentechnik Bildungsgebäude.....	23
Tabelle 6: Strom- und Wärmeverbrauch für die Jahre 2006 bis 2013 in Schulen	24
Tabelle 7: Hochgerechneter Verbrauch an Energieträgern für Schulen von 2006 bis 2013 ...	25
Tabelle 8: Darstellung der betrachteten Bildungsbauten	31
Tabelle 9: Typtagkategorien.....	37
Tabelle 10: Anzahl an Typtagen je Typtagkategorie für Schulen.....	38
Tabelle 11: Anzahl an Typtagen je Typtagkategorie für Kitas	38
Tabelle 12: Anzahl der auswertbaren Tageslastgänge je Gebäude und Typtagkategorie für Strom	43
Tabelle 13: Anzahl der auswertbaren Tageslastgänge je Gebäude und Typtagkategorie für Gas.....	58
Tabelle 14: Ausschnitt der Tageslastgänge Typtagkategorie WS; ABS	59
Tabelle 15: Ausschnitt der Tageslastgänge Typtagkategorie SW; HvG	60
Tabelle 16: Durchschnittlicher Stromverbrauch der betrachteten Grundschulen je Typtagkategorie.....	78

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abs.	Absatz
ABS	Ackermann- und Bürgermeister-Grimm-Schule
ADS	Albrecht-Dürer-Schule
Apr	April
Aug	August
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
Bettina	Bettinaschule
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Boni	Bonifatiuschule
BZE	Bezugseinheit
bzw.	beziehungsweise
Dez	Dezember
EFH	Einfamilienhaus
Eichend	Eichendorffschule
EKS	Erich-Kästner-Schule
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
En:Eff Schule	Energieeffiziente Schule
e.V.	eingetragener Verein
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EZH	Einzelhandel
Feb	Februar
FfE	Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH
FFS	Friedrich-Fröbel-Schule
GasNZV	Gasnetzverordnung
GEODE	Groupment Européen des Organismes de Distribution d'Énergie, EWIV
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
Gutenberg	Gutenbergschule
GWh	Gigawattstunde

h	Stunde
HLH	Hermann-Luppe-Haus und -schule
HvG	Heinrich-von-Gagern-Gymnasium
HWTK	Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur
IuK	Informations- und Kommunikationstechnik
Jan	Januar
Jul	Juli
Jun	Juni
Kita	Kindertagesstätte
KiZ	Kinderzentrum
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Mrz	März
MFH	Mehrfamilienhaus
MWh	Megawattstunde
Muster	Musterschule
NGF	Nettogrundfläche
Nov	November
NOVAREF	Neue Referenzlastprofile für effizientere Hausenergiesysteme
Okt	Oktober
PJ	Petajoule
PV	Photovoltaik
RLP	Referenzlastprofil
Sep	September
SF	Sommerferien
SLP	Standardlastprofil
SS	Sommerwochenende
SSa	Sommersamstag
SSo	Sommersonntag
Stauf	Stauffenbergsschule
SW	Sommerwerktag
TU	Technische Universität
ÜF	Übergangsferien
ÜS	Übergangswochenende
ÜSa	Übergangssamstag

ÜSo	Übergangssonntag
ÜW	Übergangswerktag
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
VKU	Verband kommunaler Unternehmen e.V.
Weiterf. Schulen	Weiterführende Schulen
WF	Winterferien
WS	Winterwochenende
WSa	Wintersamstag
WSo	Wintersonntag
WW	Winterwerktag

1 Einleitung

1.1 Thematische Einordnung

„Die Sicherstellung einer zuverlässigen, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts.“¹

Die weltweit steigende Energienachfrage und die begrenzten Vorräte fossiler Energieträger zeigen die Notwendigkeit zum Umdenken in der Energieversorgung.

Mit dem im September 2010 beschlossenen Energiekonzept und den Beschlüssen zur Energiewende im Sommer 2011 will die deutsche Bundesregierung als eine der reichsten Industrienationen in dieser Entwicklung eine Vorreiterfunktion einnehmen. In Zukunft sollen erneuerbare Energien dabei den Hauptteil der Energieversorgung übernehmen.² Wobei der Anteil der erneuerbaren Energien bereits bis 2020 35% am Stromverbrauch und 18% am Endenergieverbrauch betragen soll.³

Um diese Ziele der Bundesregierung zu erreichen ist es von besonderer Bedeutung mögliche Energieeinsparpotenziale zu identifizieren und eine zuverlässige Abschätzung des Energieverbrauchs in allen Verbrauchssektoren zu ermöglichen.

Mit dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien in der Energieversorgung nimmt die Fluktuation in der Energieerzeugung zu. Aus diesem Grund ist es notwendig, den Energiebedarf von Gebäuden in kleinen Zeitschrittweiten zu kennen.

Im Zuge der Liberalisierung der Energiemärkte wurde ein Verfahren zur Bereitstellung von Verbrauchswerten in kleinen Zeitschrittweiten für nicht leistungsgemessene Kunden notwendig. Die TU München und der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) stellen zu diesem Zweck repräsentative Lastprofile mit kleinen Zeitschrittweiten für Haushalte, Gewerbe- und Landwirtschaftsbetriebe zur Verfügung.

Für Bildungsgebäude liegen solche Standardlastprofile bisher nicht vor. Bildungsbauten verbrauchen in Deutschland circa 20 Mio. MWh Endenergie pro Jahr. Davon entfallen etwa zwei Drittel auf Schulgebäude.⁴ Die Bedeutung von Bildungsbauten und der Bedarf nach einem Referenzlastprofil für diese Gebäudegruppe wird durch die Förderprogramme „Energieeffiziente Schule (EnEff:Schule)“ und „Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte hier Förderzweig: Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard“, welche der Bund speziell für Schulen aufgelegt hat, verdeutlicht. Neben den Energieeinspareffekten weisen Schulen ein hohes Potenzial auf als Vorreiter zu fungieren, gleichzeitig moderne Technologien zu demonstrieren sowie das Energiebewusstsein zukünftiger Generationen zu fördern.

¹ Bundesregierung (2010), S. 3.

² Vgl. Bundesregierung (2010), S.3.

³ Vgl. Schubert; Tschetschorke (2013), S. 26.

⁴ Vgl. Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Hochschule München; Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (2013), S.4.

1.2 Zielsetzung

Die Forderung nach einem effizienten Umgang mit den vorhandenen Energieressourcen erfordert eine genaue Kenntnis des Energieverbrauchs von Gebäuden und dessen optimale Planung. Zu diesem Zweck ist es notwendig die während des Tages anfallenden Lasten von Bildungsbauten in kleinen Zeitschrittweiten zu kennen.

Da im Rahmen dieser Arbeit nicht alle Bildungsbauten betrachtet und hinsichtlich ihres typischen Lastverhaltens analysiert werden können, beschränkt sich die Betrachtung auf unterschiedliche Schularten und Kitas. Hochschulgebäude werden dabei nicht berücksichtigt.

Für die Schularten sollen zunächst sinnvolle Kategorien entwickelt werden, welche die einzelnen Schularten voneinander abgrenzen. Ziel ist es, eine geringe Anzahl an Kategorien zu erhalten, um eine einfache und übersichtliche Handhabung und Anwendung der Referenzlastprofile zu gewährleisten. Dennoch muss die Kategorienanzahl ausreichend gewählt werden, um alle Schulformen repräsentativ abzubilden und nicht typische Charakteristika einer Schulform durch Vermischung zu verlieren.

Für die verschiedenen Kategorien sollen anschließend Referenzlastprofile entwickelt werden, welche die für diesen Schultyp typischen und charakteristischen Eigenschaften im Lastverhalten aufzeigen. Damit dies gelingt, ist es notwendig die einzelnen Tageslastgänge für die unterschiedlichen Schultypen und Typtagkategorien möglichst realitätsnah abzubilden. Hierfür ist es zunächst erforderlich die Realdaten auf fehlerhafte oder unvollständige Datensätze zu untersuchen. Mit Hilfe dieser neu entwickelten Profile und deren Auswertung und Analyse sollen schließlich Anwendungsempfehlungen abgeleitet werden, um mögliche Gebiete für eine zukünftige Anwendung der entwickelten Profile aufzuzeigen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zur Erstellung der Referenzlastprofile für Schulen und Kitas werden zunächst in Kapitel 2 die Grundlagen zur Entwicklung solcher Profile erläutert. Hierzu werden die begrifflichen Grundlagen zu Standard- und Referenzlastprofilen erläutert und die Thematik in den Kontext der Energieeffizienz eingeordnet.

Für die Entwicklung neuer Referenzlastprofile ist eine Analyse der bisher bestehenden und in der Praxis angewendeten Standard- und Referenzlastprofile notwendig. Zu diesem Zweck werden in Kapitel 2.3 die in Deutschland bisher bestehenden Standard- und Referenzlastprofile für Strom und Gas dargestellt und deren Ursprung erläutert. In Kapitel 2.4 werden die Grundlagen der Vorgehensweise zur Erstellung von Referenzlastprofilen erläutert. Dies beinhaltet die allgemeine Vorgehensweise, die Definition von Typtagkategorien und die Vorgehensweise zur Auswertung der Tageslastgänge für ein Gebäude wie auch für alle Gebäude der gleichen Kategorie.

Für die Beurteilung des Energiebedarfs von Bildungsbauten ist die Kenntnis bezüglich der Energieversorgung dieser notwendig. Zu diesem Zweck werden in Kapitel 3 die Energiebedarfe und die Art der Versorgung von Bildungsbauten analysiert. Anschließend werden die Förderprogramme der Bundesregierung für energieeffiziente Schulen dargestellt, um deren Bedeutung und Vorbildfunktion im Bereich des energieeffizienten Bauens darzustellen.

Zur Erstellung der Referenzlastprofile für Schulen und Kitas bedarf es einer Eingrenzung des Betrachtungsrahmens und der Kategorisierung der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Bildungsbauten. Diese wird in Kapitel 4.3 nach der Darstellung der Bildungsbauten vorgenommen. Um die vorliegenden Datensätze der Schul- und Kitagebäude auszuwerten, wird die in Kapitel 2.4 vorgestellte Methodik zur Erstellung von Referenzlastprofilen in Kapitel 4.4 entsprechend für die Anwendung bei Bildungsbauten modifiziert. Zu diesem Zweck werden Typtagkategorien definiert und die Datensätze den entsprechenden Typtagen zugeordnet. Ausgehend von der vorgestellten Vorgehensweise werden in Kapitel 4.5 die Referenzlastprofile getrennt für Strom und Gas und die jeweiligen Schultypen entwickelt. Die so entwickelten Referenzlastprofile werden anschließend ausgewertet und die charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Schultypen und Typtagkategorien erläutert. Das Kapitel schließt mit einer kritischen Betrachtung der entwickelten Referenzlastprofile, um deren Potenziale zur Weiterentwicklung aufzuzeigen.

Um Anwendungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten wird in Kapitel 5.1 beispielhaft eine Anwendungsmöglichkeit der entwickelten Referenzlastprofile aufgezeigt. Aus den Ergebnissen des Beispiels und der Auswertung der Referenzlastprofile werden anschließend Implikationen für die Praxis abgeleitet.

Kapitel 6 fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsgebiete.

2 Grundlagen zur Entwicklung von Referenzlastprofilen

Folgend werden die Grundlagen und Begrifflichkeiten, welche bei der Entwicklung von Referenzlastprofilen (RLP) für Schulen und Kitas verwendet werden, erläutert. Es wird zunächst eine thematische Einordnung von Referenzlastprofilen in den Kontext der Energieeffizienz vorgenommen. Daraufhin werden die Begriffe Lastgang, Standardlastprofil (SLP) und Referenzlastprofil definiert und etablierte Profile in der Praxis vorgestellt, um aufbauend die allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung von Referenzlastprofilen darzulegen.

2.1 Thematische Einordnung in den Kontext der Energieeffizienz

Aufgabe des „Energiekonzept[s] für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ ist die Sicherstellung einer wirtschaftlichen, zuverlässigen und umweltschonenden Energieversorgung für die Zukunft. Es wird angestrebt, dass Deutschland in Zukunft eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt wird, bei gleichzeitig wettbewerbsfähigem Energiepreisniveau und hohem Wohlstand. Um ein solcher nachhaltiger und wettbewerbsfähiger Industriestandort zu werden, sind ein hohes Maß an Versorgungssicherheit, ein wirksamer Klima- und Umweltschutz und die Wirtschaftlichkeit der Versorgung gleichermaßen von Bedeutung.⁵

Die weltweit steigende Energienachfrage zeigt die Notwendigkeit zum Umdenken in der Energieversorgung, um auch zukünftig das Ziel nach einer zuverlässigen, umweltverträglichen und wirtschaftlichen Versorgung zu gewährleisten. Dieses Ziel stellt gleichzeitig die größte Herausforderung in der Energiewende dar. In Zukunft sollen erneuerbare Energien die Energieversorgung zum großen Teil übernehmen, sodass vorhandene Energieressourcen geschont und die Abhängigkeit von anderen Nationen verringert werden. Um die Energiekosten auch weiterhin für Verbraucher bezahlbar zu halten, muss der Ausbau der erneuerbaren Energien kosteneffizient erfolgen.⁶ Bis 2020 soll der Anteil erneuerbarer Energien 18% am Bruttoendenergieverbrauch und 35% am Bruttostromverbrauch betragen.⁷ Für die Erreichung dieser Vorgaben ist das Energieversorgungssystem in Deutschland grundlegend umzubauen. Im Jahr 2014 betrug der Deckungsanteil der erneuerbaren Energien am Strombedarf ca. 26%, wovon über die Hälfte aus Wind- und Solarkraft erzeugt wurden. Diese Energiequellen weisen gleichzeitig das größte Ausbaupotenzial in Deutschland auf, weshalb der Anteil erneuerbarer Energien entsprechend den Vorgaben weiter steigen wird. Insbesondere der Anteil der Solar- und Windenergie wird dabei weiter zunehmen. Die Angabe des Anteils von 26% stellt lediglich einen Durchschnittswert über den Jahresverlauf dar. Zeitweise liegt der Wert deutlich höher, stundenweise sogar über 60%.⁸ Der zeitliche Verlauf der Einspeisung von Energie aus Wind- und Solarkraft ist durch starke Fluktuationen

⁵ Vgl. Bundesregierung (2010), S.1.

⁶ Vgl. Bundesregierung (2010), S. 1; BMWi (2015a).

⁷ Vgl. Bundesregierung (2010), S. 2.

⁸ Vgl. BMWi (2015a).

gekennzeichnet und wird durch Wetterbedingungen sowie Tages- und Jahreszeiten beeinflusst. Bei guten Wetterbedingungen kann eine Überproduktion entstehen. Bei ungünstigen Wetterbedingungen muss hingegen genügend Kapazität aus konventionellen Kraftwerken vorgehalten werden, da eine Speicherung der Überproduktion bisher noch nicht in wirtschaftlicher Form möglich ist.⁹

Um die Vorgabe der Versorgungssicherheit zu gewährleisten, muss der verfügbare Strom unter Einbeziehung von Netzverlusten und Stromimporten sowie Stromexporten zu jeder Zeit und an jedem Ort der Stromnachfrage entsprechen. Abweichungen von diesem Gleichgewicht führen zu Störungen der Systemsicherheit. Das zeitliche Gleichgewicht von Erzeugung und Nachfrage wird im Bilanzkreis hergestellt. „Bilanzkreise sind virtuelle Energiemengenkonten, um alle tatsächlichen Einspeisungen und Entnahmen (...) innerhalb einer Regelzone zu saldieren.“¹⁰ Basierend auf historischen Daten, aus Erfahrungswerten und vor allem durch den Einsatz von SLPs sowie einer registrierenden Leistungsmessung erstellen die Verantwortlichen eine Prognose für den Lastgang im Bilanzkreis. Entsprechend dieser Prognose erwerben sie anschließend Strom vom Energieversorgungsunternehmen (EVU). Weicht die Prognose vom tatsächlichen Verbrauch ab, muss die Abweichung durch zusätzliche Energie ausgeglichen werden.¹¹

Durch die zunehmende Fluktuation in der Energieerzeugung, die mit dem vermehrten Einsatz erneuerbarer Energiequellen einhergeht, ist es notwendig den Energiebedarf von Gebäuden in kleinen Zeitschrittweiten zu kennen. So kann der Bedarf möglichst genau prognostiziert werden. Standard- und Referenzlastprofile stellen neben der registrierenden Leistungsmessung eine gute Grundlage für diese Prognosen dar.

2.2 Theoretische Grundlagen von Standard- und Referenzlastprofilen

SLPs wie auch RLPs werden momentan vor allem von den Bilanzkreisverantwortlichen zur Prognose der voraussichtlich am nächsten Tag anfallenden Last durch die Endverbraucher genutzt. Ein SLP stellt dabei ein repräsentatives Lastprofil dar, mit dessen Hilfe der Lastgang eines Energieverbrauchers ohne registrierende Leistungsmessung prognostiziert werden kann. Es gibt den zeitlichen Verlauf der abgenommenen Leistung über eine bestimmte Periode in kleinen Zeitschrittweiten von meist fünfzehn Minuten an.¹² SLPs stellen somit eine Vereinfachung des tatsächlichen Energieverbrauchs von Verbrauchern dar und bilden einen Kompromiss zwischen notwendiger Genauigkeit und einer einfachen, wirtschaftlichen Handhabung. Die SLPs werden durch eine validierte Stichprobe der entsprechenden Kundengruppe erstellt. Zu diesem Zweck werden Bedarfslastgänge von Verbrauchern der entsprechenden Kundengruppe gemessen. Der sich daraus ergebende Tageslastgang charakterisiert den Bedarf an einem Kalendertag und gibt an, zu welchem Zeitpunkt des Tages wie viel Energie benötigt wird.¹³ Der Tageslastgang ist dabei stark geprägt von der Art der

⁹ Vgl. dena (2015).

¹⁰ Vgl. Tennet (2016).

¹¹ Vgl. dena (2015).

¹² Vgl. Dr. Paschotta, RP Photonics Consulting GmbH (2015).

¹³ Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 3.

Nutzung des Gebäudes und zeigt für eine bestimmte Nutzungsart den zeitlichen Anfall von Lastspitzen auf. Der Tagesbedarf gibt hingegen lediglich an, wie viel Energie pro Tag benötigt wird, ohne die zeitliche Verteilung des Bedarfs zu beleuchten. Mit Hilfe der Tagesbedarfe ist eine Darstellung der Verteilung über das Jahr möglich. Durch Summation der Tagesbedarfe ergibt sich schließlich der Jahresbedarf, der den Gesamtbedarf der jeweiligen Energieform über das Kalenderjahr ausweist.¹⁴

2.3 Kenntnisstand bezüglich etablierter Standard- und Referenzlastprofile in Deutschland

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die bereits bestehenden Standard- und Referenzlastprofile in der Praxis. Zunächst wird der Ursprung dieser Profile erläutert, um anschließend auf deren Erstellung und Anwendung einzugehen.

2.3.1 Ursprung und Notwendigkeit von Standardlastprofilen

Standard- oder Referenzlastprofile stehen bisher vor allem für den Wohngebäude-, Gewerbe- und Landwirtschaftssektor zur Verfügung. In diesen Bereichen wurde vor dem Hintergrund der Liberalisierung der Energiemärkte in Deutschland die Erstellung von SLPs notwendig. Für Strom wurde die freie Auswahl des Stromlieferanten durch den Verbraucher bereits 1998 im Ordnungsrahmen für die leitungsgebundene Stromversorgung geregelt.¹⁵ Für den Gasmarkt wurde die Liberalisierung 2005 in der Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) gesetzlich verankert.¹⁶ Um die freie Wahl des Energielieferanten für den Verbraucher zu ermöglichen, wurde eine Trennung des Netzbereichs von den übrigen Bereichen der Energieversorgung, wie der Erzeugung, Beschaffung und dem Vertrieb vorgenommen. Die klassischen Energieversorgungsunternehmen wurden somit durch Netzbetreiber und Energielieferanten ersetzt.¹⁷

Um den Kunden jederzeit zeitgerecht den notwendigen Energiebedarf zur Verfügung zu stellen und eine verursachungsgerechte Zuordnung der entstehenden Kosten zu ermöglichen, ist die genaue Kenntnis über den zeitlichen Verlauf der Bezugsleistungen der Verbraucher erforderlich. Bei Großkunden¹⁸ wird dies über eine Leistungsmessung der bezogenen Energiemenge gewährleistet. Der Lastgangzähler übermittelt dabei die konkreten Daten an den Verteilnetzbetreiber. Für Kleinkunden ist diese Form der Leistungsmessung jedoch nicht wirtschaftlich. Aus diesem Grund wurde für Kleinkunden ein alternatives, belastbares Verfahren notwendig, das die Aufteilung des Jahresverbrauchswertes in Tage und Stunden erlaubt und somit eine einfachere Form der Mengenermittlung und Abrechnung der Lieferung

¹⁴ Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 3.

¹⁵ Vgl. Meier et al. (1999), S. 5.

¹⁶ Vgl. FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S.4.

¹⁷ Vgl. Meier et al. (1999), S. 5; FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S.4.

¹⁸ Die Zuordnung der Endkunden in die Gruppe der Groß- und Kleinkunden ist gesetzlich verankert. Für Strom ist für einen Jahresverbrauch von weniger als 100.000 kWh/a und für Gas für eine Ausspeisemenge von weniger als 500 kWh/h oder einer maximalen jährlichen Bezugsleistung von 1,5 GWh die Anwendung von SLPs empfohlen. (Vgl. Meier et al (1999), S. 5; GasNZV, § 24 Abs. 1).

ermöglicht.¹⁹ SLPs stellen eine solche Alternative zur registrierenden Leistungsmessung dar und ermöglichen eine hinreichend genaue Prognose des Verbrauchsverhaltens durch den jeweiligen Endverbraucher bei Kleinkunden.

2.3.2 Standardlastprofile Strom

Nach der Liberalisierung des Strommarktes in Deutschland hat der Verband deutscher Elektrizitätswirtschaft (VDEW heute BDEW²⁰) die BTU Cottbus mit der Erstellung allgemein gültiger SLPs für den Stromverbrauch typischer Kundengruppen unterhalb der Verbrauchsgrenze von 100.000 kWh/a beauftragt. Aufgabe war, aus komplexen Lastdaten früherer Messungen der Lastgänge eine sinnvolle Anzahl typischer Lastprofile zu extrahieren, die den Einzelkunden in der Praxis einfach zuzuordnen sind. Die unterschiedlichen Lastprofile sollen die Charakteristika der einzelnen Kundengruppen so weit widerspiegeln, dass sie für Netzbetreiber und Zulieferer als Grundlage für die erforderlichen Transaktionen dienen können.²¹

Hierzu war es notwendig, die vorhandenen Messungen so auszuwerten, dass geeignete Kundengruppen identifiziert und zugehörige Lastprofile gebildet werden konnten. Zur Erstellung der SLPs lagen zunächst 1.500 Messungen der Lastgänge von Niederspannungskunden vor, die auf ihre Eignung für die Aufgabenstellung geprüft wurden. Lastgänge mit Messlücken wurden aussortiert, um das Ergebnis nicht zu verfälschen. In die Betrachtung wurden die Messwerte eines Jahres einbezogen, welche als Viertelstundenwerte für neuere und Stundenwerte für ältere Messdaten vorlagen.

In einem ersten Schritt wurden aus den Jahresganglinien mittlere einheitlich skalierte Lastprofile für jede Abnahmestelle errechnet und für jeden Kunden eine Übersichtsgrafik über den Lastgang erstellt. Aus dieser zunächst optischen Darstellung ergab sich, dass die Kurven an verschiedenen Werktagen hinreichend ähnlich sind, sodass eine Unterscheidung zwischen Werktag, Samstag und Sonntag für die Erstellung von SLPs ausreicht. Für die Prognose differenzierter Einspeisepläne war eine weitere Unterscheidung nach Jahreszeiten notwendig. Dabei wurde zwischen Winter-, Sommer und Übergangszeiten²², welche mit Hilfe fester Zeitpunkte im Jahr definiert wurden.

In einem zweiten Schritt wurden Kundengruppen nach Branche, Abnahmemenge, Verbrauchsgewohnheiten und Geräteausstattung aus den vorliegenden Daten abgeleitet und zu Gruppenlastgängen zusammengeführt.²³ Nach der Zuordnung zu einzelnen Gruppen wurden jeweils aus den zehn bis zwanzig eindeutigsten Verläufen, welche die Gruppencharakteristika besonders deutlich zeigen, Summenprofile gebildet. Die Stichprobenauswahl wurde nach Summenprofil und Merkmalsausprägung so optimiert, dass für einzelne Gruppen zuverlässige, eng abgrenzbare Profile zur Verfügung standen. Dabei wurden unterschiedliche Lastprofile für

¹⁹ Vgl. Meier et al. (1999), S. 5; FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S.5.

²⁰ Dachverband aller Energieversorgungsunternehmen

²¹ Vgl. Meier et al. (1999), S. 14.

²² Zuordnung zu Jahreszeit: Winter: 1.11.-20.3.; Übergang: 21.3.-14.5. und 15.9.-31.10.; Sommer: 15.5.-14.9. (Vgl. Meier et al. (1999), S. 30).

²³ Vgl. Meier et al. (1999), S. 15-18.

Haushalts-, Gewerbe- und Landwirtschaftskunden, abgegrenzt nach Sommer, Winter und Übergang sowie Werktag, Samstag und Sonntag, erstellt.²⁴ Aus der Auswertung entstanden elf allgemein gültige Lastprofile für Deutschland für die in Tabelle 1 aufgeführten Kundengruppen.

Tabelle 1: Standardlastprofile des BDEW²⁵

Profiltyp	Bezeichnung
H0	Haushalt
G0	Gewerbe allgemein
G1	Gewerbe werktags 8-18 Uhr
G2	Gewerbe mit starkem bis überwiegendem Verbrauch in den Abendstunden
G3	Gewerbe durchlaufend
G4	Laden/Friseur
G5	Bäckerei mit Backstube
G6	Wochenendbetrieb
L0	Landwirtschaftsbetriebe
L1	Landwirtschaftsbetriebe mit Milchwirtschaft/Nebenerwerbs-Tierzucht
L2	Übrige Landwirtschaftsbetriebe

Nach der Festlegung der Lastprofile wurden diese auf einen Verbrauch von 1.000 kWh/a normiert, um anhand des Vorjahresverbrauchs die kundenindividuellen Lastprofile in der Anwendung quantifizieren zu können. Die Viertelstundenwerte, die in den Lastprofiltabellen angegeben sind, sind mit dem Jahresverbrauch des Kunden zu multiplizieren, um das Jahresprofil des Einzelkunden zu erhalten.²⁶

Die Profile des BDEWs werden in der Praxis von den unterschiedlichen Netzbetreibern angewendet und bei Bedarf um neue Profile ergänzt. So wurden beispielsweise Lastprofile für die Straßenbeleuchtung und für Breitbandverstärker erstellt.

Die Profile des BDEWs weisen jedoch vertikale und horizontale Abweichungen zu den tatsächlich gemessenen Lastgängen auf (vgl. Abbildung 1), die vor allem aus regionalen Unterschieden resultieren. Aus diesem Grund haben Lübke et al. eine Vorgehensweise zur Entwicklung regional gültiger synthetischer Lastprofile in Anlehnung an das Verfahren des BDEWs entwickelt.

²⁴ Vgl. Meier et al. (1999), S. 24.

²⁵ Vgl. Meier et al. (1999), S. 26-30.

²⁶ Vgl. Meier et al. (1999), S. 33.

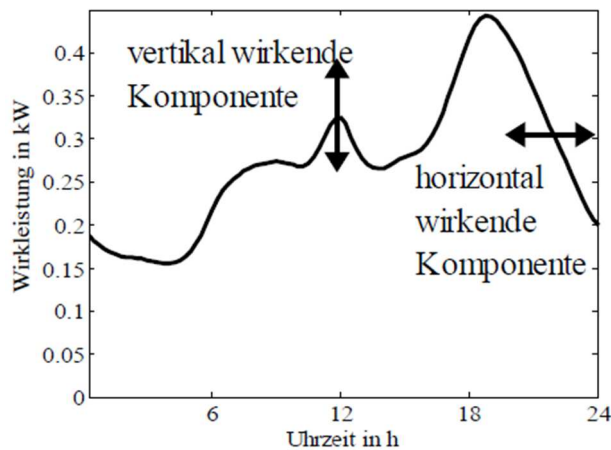


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf die Lastprofile²⁷

Die Abweichungen in vertikaler Richtung ergeben sich primär durch Temperaturunterschiede in Städten und Regionen und die in horizontaler Richtung durch die Alters- und Sozialstruktur der Verbraucher innerhalb der Region. Die lokalen synthetischen Profile werden aus gemessenen Lastgangdaten erstellt. Zu diesem Zweck ist eine Langzeitmessung von mindestens einem Jahr von einer repräsentativen Anzahl der Verbrauchergruppe notwendig. Die Auswahl muss dabei die Durchmischung der Verbraucher im Einzugsgebiet widerspiegeln. Anschließend werden die Messungen der verschiedenen Verbrauchergruppen entsprechend ihrer Gewichtung innerhalb der Region zusammengefasst. Das erfasste Verbrauchsjahr wird dann entsprechend der Vorgehensweise des BDEWs nach Perioden (Sommer, Winter, Übergang) und Wochentagen (Werktag, Samstag, Sonntag) in Typtage gegliedert. Die einzelnen Typtage werden durch polynomische Anpassung geglättet, um den Einfluss zufälliger Ereignisse zu minimieren.²⁸

Ziel bei der Anwendung von SLPs ist, die Abweichung zwischen dem prognostizierten und dem tatsächlichen Verbrauch möglichst gering zu halten. Aus diesem Grund sollte jeder Netzbetreiber überprüfen, ob die Anwendung der BDEW Profile sinnvoll ist oder ob besser eigene Profile angefertigt werden sollten. Dabei ist stets das Ziel der Einfachheit und Anwendbarkeit zu beachten.²⁹

2.3.3 Standardlastprofile Gas

Vor dem Hintergrund der GasNZV, welche die Einführung eines Standardverfahrens zur Prognose des Gasbezugs von nicht leistungsgemessenen Verbrauchern forderte, wurden an der TU München zwei Gutachten und eine Dissertation erstellt.³⁰ Mark Hellwig erstellte im Rahmen seiner Dissertation „Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile“ Lastprofile basierend auf einer Sigmoidfunktion zur Nachbildung des Bezugsgangs von Kleinkunden im liberalisierten Gasmarkt.³¹

²⁷ Lübke et al. (2007), S. 2.

²⁸ Vgl. Lübke et al. (2007), S. 1-5.

²⁹ Vgl. Lübke et al. (2007), S. 2.

³⁰ Vgl. FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S. 7.

³¹ Vgl. Hellwig (2003), Abstrakt.

Die Lastprofile wurden auf Basis der Verbrauchswerte von mehr als 250 Messstellen im gesamten Bundesgebiet erstellt und stellen Werte in stündlichen Abständen bereit, um die Verbrauchswerte nicht leistungsgemessener Kleinkunden zu prognostizieren.³² Die Belastbarkeit der Daten wurde mit unterschiedlichen statistischen Tests überprüft, um eine Prognosegenauigkeit der Lastprofile zu gewährleisten. Aus den vorhandenen Daten wurden 15 Verbrauchslastprofile unterschieden, zwölf für Gewerbe, zwei für Haushalte und ein Summenlastprofil, das alle Gewerbekunden umfasst.³³ Zur Annäherung an die tatsächlichen Verbrauchswerte eignet sich am besten eine Sigmoidfunktion. Diese bietet vor allem durch ihren S-förmigen Verlauf bei sehr geringen und hohen Temperaturen (vgl. Abbildung 2) Vorteile gegenüber einer linearen oder einer polynominalen Annäherung.³⁴

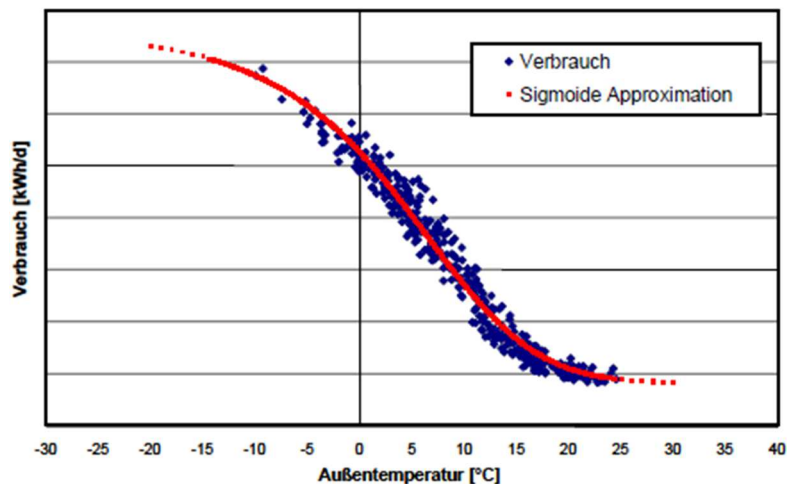


Abbildung 2: Sigmoide Approximation und Verbrauch eines Haushaltskollektivs³⁵

Die SLPs wurden zur Vermeidung von Temperatureinflüssen unterschiedlicher Regionen auf den Temperaturreferenzstandort Würzburg normiert. Die einzelnen Stundenwerte der Profile werden für einen Temperaturbereich von jeweils 5°C angegeben.³⁶ Der Leitfaden „Abwicklung von Standardlastprofilen Gas“ des BDEWs, des VKUs und der GEODE beschreibt das Verfahren zur ordnungsgemäßen Anwendung des SLP-Verfahrens beim Ausspeisenetzbetreiber. Mit der GasNZV 2010 wurden nach § 24 GasNZV neben der Anwendung von mindestens einem Heizgas- und einem Gewerbelastprofil auch die Anwendung eines Kochgaslastprofils gefordert, woraus sich ein Anpassungsbedarf des SLP-Verfahrens ergab. Durch den Leitfaden wird die Anwendung der an der TU München entwickelten SLPs empfohlen, da sich diese in der Praxis als Branchenstandard etabliert haben und von 90% der Anwender verwendet werden. Dabei wird zwischen zwei Verfahren der

³² Vgl. Hellwig (2003), S. 3; FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S. 7.

³³ Es werden folgende SLPs unterschieden: Haushalt: EFH, MFH; Gewerbe: Metall & KFZ, Papier & Druck, EZH, Großhandel, Gebietskörperschaften, Kreditanstalten, Beherbergung, Gaststätten, Bäckereien, Wäschereien, Organisationen ohne Erwerbszweck, Gartenbau, Sonstige. Vgl. Hellwig (2003), S. 17.

³⁴ Vgl. Hellwig (2003), S. 39.

³⁵ Hellwig (2003), S. 39.

³⁶ Vgl. Hellwig (2003), S. 43, 101-128.

Anwendung der Lastprofile unterschieden: dem synthetischen und dem analytischen Lastprofilverfahren.³⁷

Bei dem synthetischen Verfahren bilden die vom Betreiber festgelegten Lastprofile für Kleinkunden die Grundlage zur Ermittlung der bilanzkreisrelevanten Ausspeisemenge, der Allokation. Ausgehend von den Lastprofilen und deren Funktionskoeffizienten, dem Kundenwert und der prognostizierten Tagesmitteltemperatur wird die Allokation für jeden Kleinkunden abhängig vom Lastprofiltyp für den Tag der Belieferung ermittelt. Der Kundenwert stellt dabei einen individuellen Wert des Kunden dar, der sich aus dem letzten Ablesewert, dem SLP-Typ und der Temperaturzeitreihe ergibt.³⁸ Die Summe der Allokationen für das Netzgebiet setzt sich schließlich aus den auftretenden Häufigkeiten der einzelnen SLP-Typen im Netzgebiet zusammen. Am Ende einer Abrechnungsperiode wird der tatsächlich gemessene Verbrauch dem Allokationswert gegenübergestellt und durch die Mehr- und Mindermengenabrechnung ausgeglichen.³⁹

Beim analytischen Verfahren hingegen wird eine Aufteilung der Kundengruppen durch Zerlegungs- und Gewichtungsfaktoren in einzelne Transportkunden vorgenommen. Diese Methode berücksichtigt in der Umsetzung jedoch nicht die nach §24 GasNZV geforderte Unterscheidung der einzelnen Lastprofile und ist somit nicht verordnungskonform.⁴⁰ Aus diesem Grund wird an dieser Stelle nicht näher auf diese Methodik eingegangen.

Das im Rahmen der Dissertation entwickelte Verfahren weist einige Probleme auf, die im Rahmen der Dissertation und durch den Statusbericht zum Standardlastprofilverfahren Gas der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FfE) aufgedeckt wurden. Insbesondere bei besonders kalten und warmen Temperaturen ergibt sich eine zu niedrige Allokation. Auch die mit Hilfe des Verfahrens prognostizierte Grundlast ist zu niedrig und es ergeben sich saisonale Schwankungen, die zu einer erhöhten Abweichungsrate führten.⁴¹ Seit der ersten Entwicklung der SLPs 2002 durch die TU München wurde das Verfahren ständig weiterentwickelt. Einen zeitlichen Ablauf der wesentlichen Entwicklungsschritte zeigt Abbildung 3.

³⁷ Vgl. BDEW et al. (2011), S. 17.

³⁸ Vgl. BDEW et al. (2011), S. 18.

³⁹ Vgl. BDEW et al. (2011), S. 20.

⁴⁰ Vgl. BDEW et al. (2011), S. 22.

⁴¹ Vgl. FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S. 48.

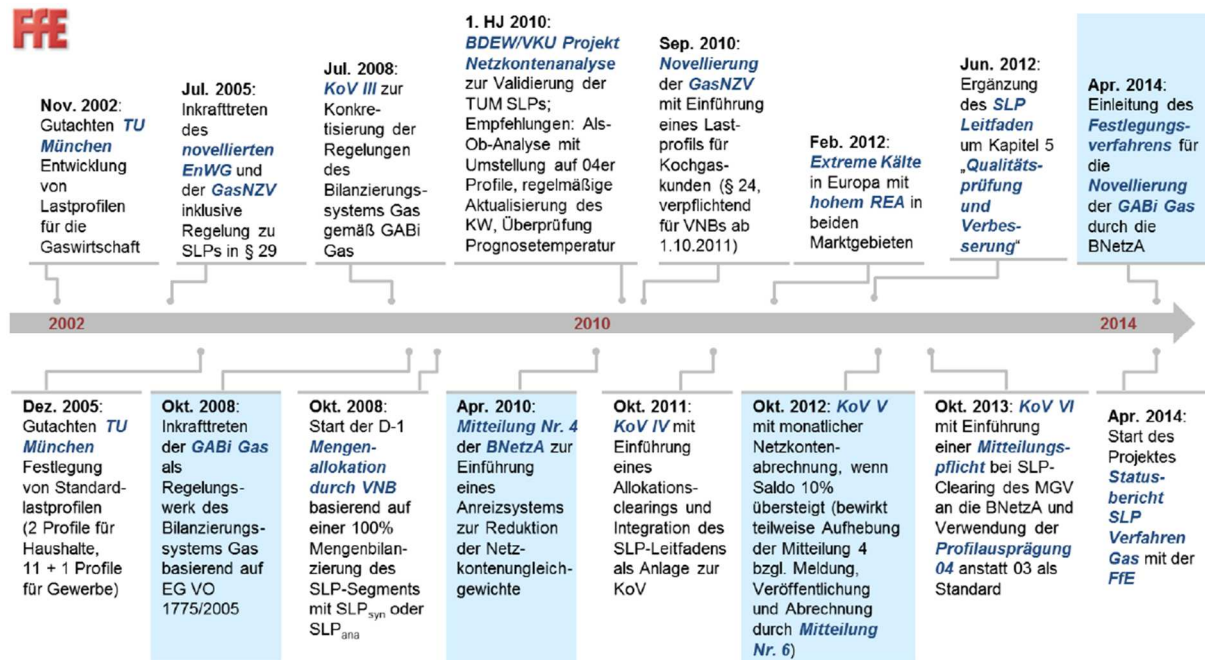


Abbildung 3: Entwicklungsschritte des SLP Verfahrens Gas⁴²

Um die derzeit auftretenden systematisch unvermeidbaren Ungenauigkeiten, die durch den Einsatz von SLPs auftreten zu analysieren und darauf aufbauend Ansätze zur Verbesserung der SLPs zu entwickeln, hat die FfE im Auftrag der BDEW 2014 einen Statusbericht zum SLP-Verfahren Gas erstellt. Dabei konnten das Kundenverhalten, Temperaturprognosefehler und die Anwendung des Profilverfahrens als Hauptursachen für Abweichungen zwischen der Allokation und den tatsächlichen Verbräuchen identifiziert werden. Im Zuge dessen wurden vor allem Verbesserungsansätze für das synthetische Lastprofilverfahren der TU München untersucht, da dieses in der Praxis am häufigsten zur Anwendung kommt und Verbesserungspotenziale bietet. Das Profilverfahren bietet vor allem im sehr kalten Bereich und im Bereich der Grundlast Möglichkeiten zur Optimierung. Dabei erfolgt durch eine lineare Fortsetzung der Funktion bei sehr geringen Temperaturen eine bessere Annäherung als durch die bisher verwendete Sigmoidfunktion. Eine weitere Verbesserung kann durch einen dynamischen Korrekturfaktor erreicht werden. Der Korrekturfaktor wird aus der Allokation des Vortages und der Ist-Temperatur am Vortag berechnet. Einige Netzbetreiber nutzen auch eine Reihe von Temperaturen mehrerer Vortage zur Ermittlung des Korrekturfaktors, um die Ergebnisse zu verbessern. Neben dem dynamischen Korrekturfaktor besteht weiterhin die Möglichkeit zur Anwendung eines saisonalen Korrekturfaktors. Dieser zeigt ähnliche Verbesserungen wie der dynamische Korrekturfaktor mit dem Vorteil einer standardisierten Anwendung für alle Netzbetreiber. Hierdurch wird die Notwendigkeit der täglichen Neuberechnung vermieden und die Transparenz für alle Marktbeteiligten erhöht. Zur Anwendung beider Korrekturfaktoren wird der dem jeweiligen Tag zugeordnete Faktor mit der nach dem SLP-Verfahren berechneten Allokation multipliziert.⁴³ Diese Vorschläge zur Verbesserung des SLP-Verfahrens Gas wurden im Rahmen des Folgeprojekts „Weiterentwicklung des SLP Verfahrens“ durch die FfE im Auftrag des BDEWs weiter

⁴² FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S. 14.

⁴³ Vgl. FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014), S. 48, 54-58.

ausgearbeitet. Die so ermittelte neue SLP Profilfunktion besteht aus einer Kombination der vorherigen Sigmoidfunktion mit linearen Anteilen im niedrigen Temperaturbereich und wird als SigLinDe bezeichnet. Der Untersuchung lagen aktuelle Datensätze aus den Jahren 2010-2014 zugrunde, aus denen basierend auf den SLPs der TU München neue SLPs für alle Profiltypen berechnet wurden. Die Überprüfung dieser neuen Profile zeigt deutliche Verbesserungen gegenüber den alten Profilen in der Prognose des Verbrauchs von nicht leistungsgemessenen Kunden.⁴⁴

Neben den SLPs der TU München gibt es auch weitere SLPs, die Anwendung finden. Im Jahr 2000 hat die HWTK Leipzig im Auftrag der fünf größten kommunalen Gasversorgungsunternehmen in Ostdeutschland Lastprofile für die Region erstellt. Dabei entstanden Profile für die Gruppen der Ein- und Zweifamilienhäuser, für Mehrfamilienhäuser, ein Büro- und Gewerbeprofil sowie ein Kochgasprofil. Bei den Profilen wird eine Unterscheidung zwischen Montag bis Donnerstag, Freitag, Samstag sowie Sonn- und Feiertagen vorgenommen. Bereitgestellt werden dabei Stundenwerte für unterschiedliche Temperaturbereiche.⁴⁵

Neben diesen beiden Profilen werden ebenfalls durch die Anwender selbst eigene Profile erstellt. Die Vorgehensweise ist dabei in der Regel an dem Verfahren der TU München ausgerichtet.

2.3.4 Referenzlastprofile nach VDI 4655

Die VDI 4655 „Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen“ wurde erstellt, um einen Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen kleinen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) zu ermöglichen. Die Richtlinie dient dabei der Ermittlung des Normnutzungsgrades der KWK-Anlage sowie deren Auslegung.

Zur Ermittlung der RLPs wurden Messdaten der Lastgänge von fünf Ein- und drei Mehrfamilienhäusern zum Strom-, Heizwärme- und Warmwasserbedarf ausgewertet. Diese lagen als Viertelstundenwerte für einen Zeitraum von ein bis zwei Jahren vor.

Ein RLP ist definiert als „die Auswahl desjenigen Profils aus der Menge der definierten Typtage, das dem typischen Verlauf der gemessenen Tage am nächsten kommt“⁴⁶. Es repräsentiert somit den typischen Verlauf des energetischen Tageslastgangs einer Typtagkategorie. Durch die Verwendung von RLPs wird der Erhalt der Charakteristika eines Profils gewährleistet, die sonst durch Glättung oder Mittelwertbildung verloren gehen.

Für die Erstellung der unterschiedlichen RLPs werden die gemessenen Tageslastgänge in zehn Typtagkategorien unterteilt. Dabei wird nach den Kriterien Werkzeuge, Sonn- und Feiertage; Übergang, Sommer und Winter sowie heiter oder bewölkt unterschieden. Für die Sommertage wird keine Unterscheidung nach dem Bewölkungsgrad vorgenommen. Bei den Winter- oder Übergangstagen gilt ein Tag als bewölkt, wenn das Tagesmittel des Bedeckungsgrades $> 5/8$ ist. Liegt das Tagesmittel des Bedeckungsgrades darunter, gilt der Tag als heiter.

⁴⁴ Vgl. FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2015), S. 21.

⁴⁵ Vgl. Kubessa (o.J.).

⁴⁶ VDI 4655 (2008), S. 3.

Die Zuordnung zu den Jahreszeiten ergibt sich nach der gemessenen Tagesmitteltemperatur. Liegt diese unter 5°C, wird der Tag als Wintertag definiert, zwischen 5°C und 15°C als Übergangstag und über 15°C als Sommertag.⁴⁷

Aus dieser Zuordnung ergibt sich die in Tabelle 2 dargestellte Systematik an Typtagkategorien.

Tabelle 2: Systematik der Typtagkategorien nach VDI 4655⁴⁸

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

Nach der Zuordnung der einzelnen Tageslastgänge zur jeweiligen Typtagkategorie werden die Werte normiert und anschließend kumuliert. Damit ist für jede der Typtagkategorien definiert, welcher Energiebedarf zu einer bestimmten Tageszeit gedeckt werden muss. Diese RLPs werden in der Norm sowohl als tabellarische Werte als auch grafisch für jeden Typtag für Ein- und Mehrfamilienhäuser angegeben. Abbildung 4 zeigt beispielhaft das ermittelte RLP des Einfamilienhauses für einen heiteren Übergangswerktag.

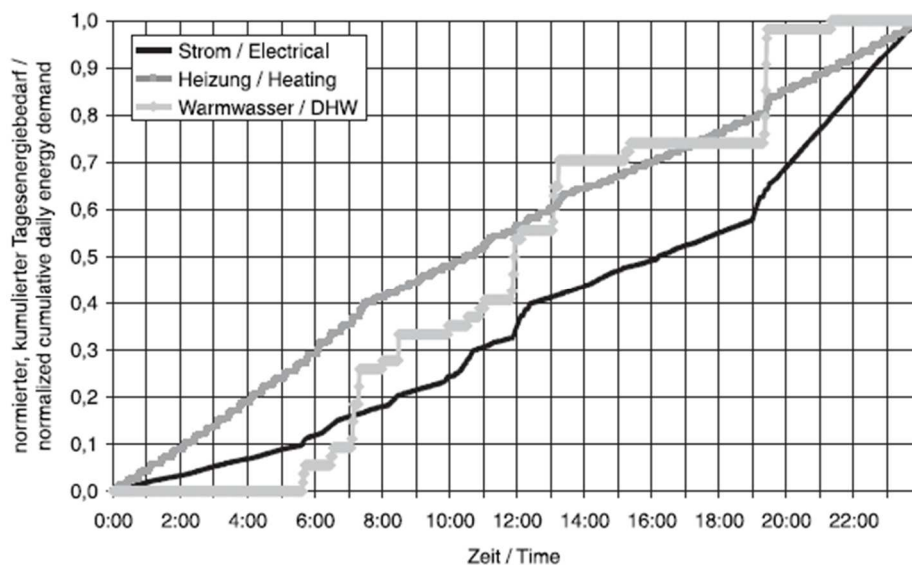


Abbildung 4: Referenzlastprofil EFH nach VDI 4655, Typtagkategorie ÜWH⁴⁹

Aus der Summe der Tagesenergiebedarfe ergibt sich schließlich der Jahresenergiebedarf für die jeweilige Energieform. Die einzelnen Tagesenergiebedarfe sind abhängig von den Einflussfaktoren Gebäudetyp, Personenanzahl im EFH, Anzahl der Wohneinheiten im MFH sowie dem Standort innerhalb Deutschlands, da diese Faktoren den Wärme- und Strombedarf erheblich beeinflussen.⁵⁰

⁴⁷ Vgl. VDI 4655 (2008), S. 6f.

⁴⁸ VDI 4655 (2008), S. 7.

⁴⁹ VDI 4655 (2008), S. 30.

⁵⁰ Vgl. VDI 4655 (2008), S. 17ff.

Das Projekt „Neue Referenzlastprofile für effizientere Hausenergiesysteme“ (NOVAREF) des EWE-Forschungszentrums für Energietechnologie e.V. hat zum Ziel, einheitliche, repräsentative RLPs zur Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung hybrider Hausenergiesysteme zu entwickeln. Zu diesem Zweck sollen die von der VDI 4655 zur Verfügung gestellten RLPs aktualisiert und erweitert werden, um einen transparenten Anlagenvergleich zu ermöglichen. Hierfür wurden aktuellere Datensätze mehrerer Referenzgebäude u.a. auch von Niedrigenergiehäusern verwendet, da die Daten der VDI 4655 mittlerweile nicht mehr dem heutigen Standard entsprechen.⁵¹

2.4 Vorgehensweise zur Erstellung von Referenzlastprofilen

Eine einheitliche Vorgehensweise oder Methodik zur Erstellung von Standard- oder Referenzlastprofilen hat sich in Deutschland bisher nicht etabliert. Stattdessen ergeben sich aus den in der Praxis am häufigsten angewendeten SLPs, die im vorhergehenden Kapitel erläutert wurden, unterschiedliche Ansätze zur Erstellung solcher Profile. Die neuesten Erkenntnisse zur Erstellung von RLPs fasst die VDI Richtlinie 4655 zusammen, weshalb die Methodik dieser Richtlinie im Rahmen dieser Arbeit Anwendung finden soll. Daher wird nach der Vorstellung der Richtlinie in Kapitel 2.3.4 folgend die genaue Vorgehensweise zur Erstellung von RLPs erläutert. Teilweise werden jedoch auch die Erkenntnisse der beiden anderen Profilverfahren einbezogen, um das Verfahren zur Erstellung umfassend zu erläutern.

2.4.1 Allgemeine Vorgehensweise

Das Verfahren der VDI 4655 zur Erstellung von Referenzlastprofilen gliedert sich grundsätzlich in zwei Stufen. In einem ersten Schritt werden dabei zwei repräsentative Tageslastgänge innerhalb jeder Typtagkategorie für jedes Gebäude bestimmt. Aus diesen den Gebäuden zuzuordnenden repräsentativen Tageslastgängen wird im zweiten Schritt ein repräsentativer Tageslastgang für alle Gebäude ermittelt. Durch diese Vorgehensweise wird verhindert, dass eine größere Anzahl an Typtagen für ein Gebäude das Profil für den Gebäudetyp beeinflusst. Je größer die Stichprobe ist, desto geringer ist der Einfluss eines einzelnen Objekts mit individuell streuendem Lastverhalten auf das Gesamtergebnis.⁵²

Abbildung 5 zeigt die allgemeine Vorgehensweise zur Erstellung eines RLPs anhand eines Flussdiagramms.

⁵¹ Vgl. EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie e.V. (2015).

⁵² Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 28.

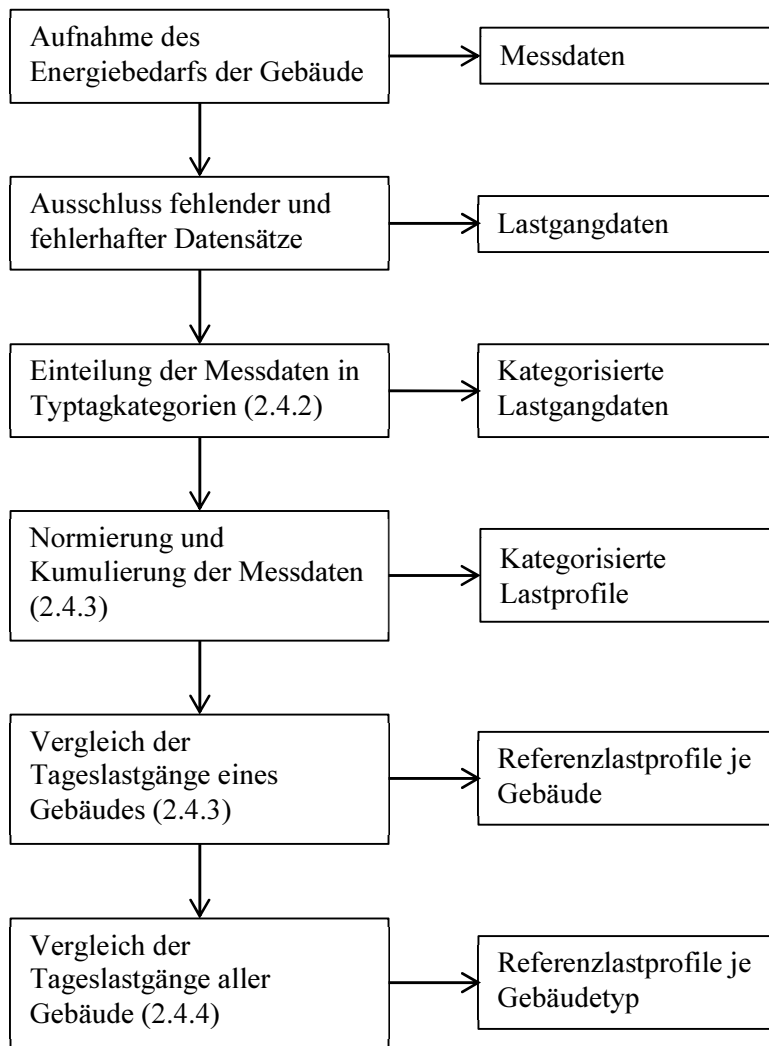


Abbildung 5: Flussdiagramm zur Erstellung von Referenzlastprofilen⁵³

Es werden zunächst die Lastgangdaten bezüglich des Energiebedarfs gemessener Gebäude in kleinen Zeitschrittweiten benötigt. Um repräsentative Lastprofile zu erhalten, werden anschließend fehlerhafte Daten aussortiert, die das Ergebnis negativ beeinflussen würden. Im nächsten Schritt erfolgt die Einteilung der bereinigten Messdaten in zuvor festgelegte Typtagkategorien. Die kategorisierten Messdaten werden daraufhin normiert und kumuliert, um sie untereinander zu vergleichen und die für ein einzelnes Gebäude repräsentativsten Lastprofile auszuwählen. Zum Schluss werden die repräsentativen Tageslastgänge aller Gebäude verglichen und ein RLP für den betrachteten Gebäudetyp bestimmt.

2.4.2 Definition von Typtagkategorien

Für die Zuordnung der gemessenen Lastgänge in Typtagkategorien, müssen diese zuvor nach relevanten Kriterien, welche den Energiebedarf eines Gebäudes beeinflussen, definiert werden. Eine Typtagkategorie beschreibt eine nach diesen Kriterien zusammengehörige Art von Typtagen. Dieser Schritt zur Kategorisierung der Lastgangdaten wird bei der Erstellung aller in Kapitel 2.3 vorgestellten SLPs vorgenommen. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle

⁵³ Eigene Darstellung in Anlehnung an Dubielzig et al. (2007), S. 40.

alle betrachteten Verfahren einbezogen, um die unterschiedlichen Möglichkeiten hinsichtlich der Kategorisierung der Lastgangdaten aufzuzeigen.

Der Verbrauch von Energie, vor allem der Heizwärme schwankt über den Verlauf des Jahres erheblich. Somit ergeben sich beim Heizwärmebedarf Unterschiede in Abhängigkeit von der Jahreszeit und der Außentemperatur. Um der Anforderung, den Bedarf möglichst genau abzubilden, nachzukommen, ist eine Unterscheidung nach Jahreszeiten notwendig. Dabei wird zwischen Sommer-, Winter-, und Übergangstagen unterschieden. Die Kriterien zur Einteilung nach Jahreszeiten variieren in der Literatur. Die VDI 4655 nimmt eine Einteilung nach der gemessenen Tagesmitteltemperatur vor. Ein Übergangstag ist definiert durch eine Tagesmitteltemperatur zwischen 5°C und 15°C, ein Sommertag durch eine Tagesmitteltemperatur über 15°C und ein Wintertag durch eine Tagesmitteltemperatur unter 5°C.⁵⁴

Für die in der Praxis am häufigsten vorkommenden SLPs des BDEWs sowie der TU München werden keine expliziten Typtagkategorien definiert, eine Gruppierung der Lastprofile nach Außentemperatur findet hingegen statt. Für die SLPs der TU München werden unterschiedliche Standardlastprofilwerte in Abhängigkeit der Außentemperatur in Fünferschritten angegeben.⁵⁵ Bei den SLPs des BDEWs wird hingegen eine kalendarische Unterteilung in Sommer, Winter und Übergangszeiten⁵⁶ vorgenommen.

Der Bewölkungsgrad hat ebenfalls Einfluss auf den Heizwärme- und Strombedarf. Hierbei unterscheidet die VDI Richtlinie nach heiteren und bewölkten Tagen in Abhängigkeit von einem 24-stündigen Mittelwert der Bewölkung⁵⁷. Bei den SLPs der TU München und des BDEW findet eine entsprechende Berücksichtigung des Bewölkungsgrades nicht statt.

Ein weiteres Kriterium, das insbesondere den Strombedarf beeinflusst, ist das Nutzerverhalten. Dieses unterscheidet sich an den Werktagen gegenüber Samstagen und Sonntagen. In der VDI Richtlinie wird dabei zwischen Werktagen inklusive Samstagen sowie Sonntagen unterschieden.⁵⁸ Der BDEW betrachtet Werktage, Samstage und Sonntage getrennt.⁵⁹ In beiden Fällen wird eine kalendarische Zuordnung vorgenommen.

Entsprechend dieser Kriterien werden unterschiedliche Typtagkategorien definiert, denen anschließend die Tageslastgänge der jeweiligen Typtage zugeordnet und somit Aussagen bezüglich des typischen Energiebedarfsverlaufs für jede Typtagkategorie getroffen werden können.

⁵⁴ Vgl. VDI 4655 (2008), S. 7.

⁵⁵ Vgl. Hellwig (2003), S. 25.

⁵⁶ Winter: 1. Montag im Dezember und die folgenden drei Wochen und erster Montag nach Neujahr und die folgenden acht Wochen; Sommer: 1. Montag im Juni und die folgenden 16 Wochen; 1. Montag im April und die folgenden 8 Wochen und 1. Montag im Oktober und die folgenden vier Wochen. (vgl. Meier et al. (1999), S. 17).

⁵⁷ Bewölkt: Mittelwert der Bewölkung $> 5/8$; heiter: Mittelwert der Bewölkung $< 5/8$ (vgl. VDI 4655 (2008), S. 6).

⁵⁸ Vgl. VDI 4655 (2008), S. 7.

⁵⁹ Vgl. Meier et al. (1999), S. 17.

2.4.3 Auswertung der Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes

Nach der Definition der Typtagkategorien können die einzelnen gemessenen Tageslastgänge, welche in die entsprechende Typtagkategorie fallen, dieser zugeordnet werden. Somit liegen nach der Zuordnung für jede Typtagkategorie mehrere Tageslastgänge eines Gebäudes vor.

Diese werden normiert und kumuliert, um eine Vergleichbarkeit zu schaffen. Die Normierung erfolgt durch Division des jeweiligen Viertelstundenwertes durch den Tagesbedarf. Durch die Normierung wird der Anteil des Viertelstundenwertes am Tagesbedarf bestimmt und die Höhe des Tagesbedarfs wird gleichzeitig relativiert. Bei der anschließenden Kumulierung werden die normierten Werte aufaddiert. Die normierten, kumulierten Werte verdeutlichen, welcher Anteil des Tagesbedarfs bis zu einer bestimmten Uhrzeit benötigt wird. Am Tagesanfang beträgt dieser Wert Null und am Tagesende Eins.

Um aus den normierten, kumulierten Tageslastgängen einen repräsentativen Lastgang für die jeweilige Typtagkategorie auszuwählen, wird der Mittelwert aller Tageslastgänge gebildet. Dies stellt die beste Näherung dar, um den repräsentativen Tageslastgang auszuwählen. Dieser ist jedoch durch die Mittelwertbildung so geglättet, dass die charakteristischen Verläufe und Sprünge, die ein einzelner Lastgang eines Referenztages aufweist, nicht mehr erkennbar sind. Aus diesem Grund soll durch die Vorgehensweise der Referenzlastgang herausgefiltert werden, der repräsentativ für die jeweilige Typtagkategorie ist.

Der repräsentative Lastgang wird durch die Berechnung der quadratischen Abweichung jedes einzelnen Tageslastgangs vom Mittelwert nach Formel (1) ermittelt.

$$\Delta_{TL} = \sum_{t=0.00 \text{ Uhr}}^{t=24.00 \text{ Uhr}} (\hat{q}_{TL}(t) - \hat{q}_M(t))^2 \quad (1)$$

mit:

TL Tageslastgang

M Mittelwert aller Tageslastgänge der Typtagkategorie

Δ quadratische Abweichung

*q̂ normierter, kumulierter Energiebedarf zum Zeitpunkt t.*⁶⁰

Durch diese Berechnung wird die Abweichung jedes Tageslastgangs vom Mittelwert quantifiziert. Die quadratische Abweichung eignet sich zur Quantifizierung der Abweichungen der einzelnen Tageslastgänge vom Mittelwert besonders, da sowohl negative als auch positive Abweichungen durch die Quadrierung berücksichtigt werden. Zudem werden größere Werte stärker gewichtet als kleine.

Nach Aufsummierung der quadratischen Abweichungen über den gesamten Tag sind die beiden kleinsten Werte zu ermitteln. Diese stellen die beiden RLPs dar, die repräsentativ für die entsprechende Typtagkategorie und das Gebäude sind.⁶¹

⁶⁰ Dubielzig et al. (2007), S. 31.

⁶¹ Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 29-35.

2.4.4 Auswertung der repräsentativen Tageslastgänge einer Typtagkategorie aller Gebäude des gleichen Typs

Nach der Auswertung der Tageslastgänge für jedes Gebäude stehen jeweils zwei repräsentative Tageslastgänge für jede Typtagkategorie zur Verfügung. Die zwei repräsentativen Tageslastgänge einer Typtagkategorie der Einzelgebäude werden anschließend für jeden Gebäudetyp miteinander verglichen. In analoger Vorgehensweise zur Auswahl der repräsentativen Tageslastgänge je Typtagkategorie und Einzelgebäude werden die RLPs für alle Gebäude eines Gebäudetyps ermittelt. Die Werte werden den Typtagkategorien zugeordnet sowie normiert und kumuliert. Anschließend wird der Mittelwert der kumulierten repräsentativen Tageslastgänge bestimmt und die quadratische Abweichung nach oben genannter Formel ermittelt und das Profil mit der kleinsten quadratischen Abweichung in der Tagessumme gewählt. Dieses stellt das RLP, das für die jeweilige Gebäudegruppe und den jeweiligen Typtag repräsentativ ist, dar. Als RLP gilt dabei der Lastgang der normierten Werte, wodurch die RLPs dimensionslos sind.⁶²

⁶² Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 29-35.

3 Energieversorgung von Bildungsbauten

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über den Energiebedarf und die Art der Versorgung von Bildungsbauten. Dabei wird der Fokus auf die am häufigsten eingesetzten Energieträger und deren Anwendungsart gelegt. Weiterhin wird dargestellt, welche Versorgungstechnik im Bereich der Bildungsbauten am häufigsten in der Praxis vorzufinden ist. Abschließend werden Förderprogramme zur Energieeffizienz in Schulen vorgestellt, um die Relevanz und das Potenzial von Schulen auf diesem Gebiet aufzuzeigen.

3.1 Energiebedarf und Art der Versorgung von Bildungsbauten

Bildungsbauten umfassen alle Gebäude, die der Aus- und Fortbildung sowie der Lehre und Forschung dienen.⁶³ Das bedeutet, es werden alle Gebäude erfasst, „in deren Räumen schulisch und wissenschaftlich gelehrt wird und die Vermittlung von Wissen zum Zwecke der Bildung stattfindet. Hierunter fallen allgemeinbildende Schulen, Hochschulen, Kindertagesstätten, Weiterbildungsstätten und berufsbildende Schulen.“⁶⁴

Insgesamt entfallen 40% des Endenergieverbrauchs in Deutschland auf den gesamten Bausektor. Durch die hohen Einsparpotenziale, die dieser Sektor bietet, steht der Baubereich im Fokus der Energieeinsparung. Tabelle 3 zeigt den Endenergieverbrauch der einzelnen Verbrauchergruppen in Deutschland.

Tabelle 3: Endenergieverbrauch der Verbrauchergruppen in Deutschland⁶⁵

Verbraucher	2000 [PJ]	2014 [PJ]
Industrie	2.421	2.508
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	1.478	1.298
Haushalte	2.584	2.212
Verkehr	2.751	2.629
Gesamt	9.234	8.647

Dabei entfielen im Jahr 2014 rund 15% des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland auf den Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD). Bildungsbauten werden hierbei nicht gesondert aufgeführt und fallen in den GHD Sektor, da ihr Verbrauch im Verhältnis zu anderen Verbrauchergruppen mit 5% an der gesamten beheizten Fläche in Deutschland relativ gering ist.⁶⁶ Dennoch ist es wichtig auch diesen Verbrauch zu kennen, da Kommunen im Bereich der öffentlichen Gebäude eine Vorreiterrolle und Vorbildfunktion für

⁶³ Vgl. BMUB (2015), S. 1.

⁶⁴ BMVBS (2011), S. 24.

⁶⁵ AGEb (2015), S. 18-22.

⁶⁶ Vgl. Hausladen et al. (2014), S. 32.

weitere Städte und Kommunen sowie vor allem für ihre Bürger übernehmen. Sie können ihre Bürger durch Prestigeprojekte animieren ebenfalls energetische Maßnahmen durchzuführen.

Insgesamt ist das Neubauvolumen in Deutschland rückläufig. Dennoch soll das Ziel der Bundesregierung, bis 2020 den Primärenergiebedarf um 20% gegenüber 2008 zu senken, erreicht werden.⁶⁷ Aus diesem Grund ist es notwendig, den Gebäudebestand im öffentlichen Bereich zu kennen und die Potenziale zur Energieeinsparung zu nutzen.

Das statistische Bundesamt stellt für den Bereich der Bildungsgebäude an Daten lediglich die Anzahl an Bestandsgebäuden bereit. Demnach gibt es im Jahr 2015 34.239 allgemeinbildende Schulen, 8.851 Berufsschulen und 423 Hochschulen.⁶⁸

Auch andere Behörden definieren für den GHD Sektor keine einheitliche Typologie der Gebäudearten, des Gebäudebestands, der Baualtersklassen und der gebäudetechnischen Ausstattung, wie diese bereits seit Jahren für den Wohnbereich vorliegt.⁶⁹ Auch das statistische Bundesamt stellt diesbezüglich einzig Daten für den Wohnbereich zur Verfügung und nimmt keine genauere Untergliederung der Nichtwohngebäude vor.⁷⁰ Es liegen weiterhin Angaben zur Heizungstechnik im Bestand vor. Diese werden jedoch nicht nach Wohn- und Nichtwohngebäuden unterteilt. Aufgrund der hohen Gebäudevielfalt bei den Nichtwohngebäuden ist der Aufbau einer solchen Systematik schwierig. Besonders im Bereich der vorhandenen Anlagentechnik im Bestand der Nichtwohngebäude ist die Datengrundlage unzureichend.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) hat im Rahmen des Projekts „Typologie und Bestand beheizter Wohngebäude in Deutschland“ eine erste Typologie für den Nichtwohngebäudebestand in Deutschland vorgenommen. Hierbei wird sowohl eine Typologie nach der Art der Nutzung als auch nach den Baualtersklassen vorgenommen. In einem zweiten Schritt werden die Mengen des Bestandes an beheizten Nichtwohngebäuden in Deutschland abgeschätzt.⁷¹

Die Unterteilung nach der Baukonstruktion erfolgt in vier Baualtersklassen. Für jede Baualtersklasse werden U-Werte der äußeren Hüllflächen angegeben (siehe Tabelle 4).

⁶⁷ Vgl. Bundesregierung (2010), S. 5.

⁶⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt (2014), S. 83, 87, 91.

⁶⁹ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 202.

⁷⁰ Vgl. BMVBS (2011), S. 36.

⁷¹ Vgl. BMVBS (2011), S. 9ff.

Tabelle 4: Baualtersklassen von Nichtwohngebäuden in Deutschland nach BMVBS⁷²

	Baualtersklasse 1	Baualtersklasse 2	Baualtersklasse 3	Baualtersklasse 4
U-Werte	bis 1976	1977-1983	1984- 1994	ab 1995
Außenwände [W/m ² K]	1,50	1,20	0,85	0,35
Fenster [W/m ² K]	2,90	2,90	1,90	1,30
Oberer Abschluss [W/m ² K]	1,00	0,45	0,30	0,30
Unterer Abschluss [W/m ² K]	1,20	0,85	0,40	0,40

Die Typologie nach der Nutzung der Nichtwohngebäude erfolgt in acht Hauptkategorien, denen jeweils Unterkategorien zugeordnet werden. Hierbei wird auch die Kategorie Bildung betrachtet, welche allgemeinbildende Schulen, Hochschulen, Kindertagesstätten (Kitas) und Weiterbildungsstätten umfasst.⁷³ Die weiteren Kategorien werden aufgrund fehlender Relevanz im Zuge dieser Arbeit nicht dargestellt.

Im Zusammenhang mit der Abschätzung des Primärenergiebedarfes ist vor allem die unzureichende Datenbasis bezüglich der vorhandenen Anlagentechnik als problematisch anzusehen, da der Primärenergiebedarf stark von der Energietechnik abhängt. Aufgrund der mangelhaften Datenlage werden im Rahmen des Projekts lediglich Abschätzungen getroffen. Diese basieren auf der Erhebung von rund 215 Energieausweisen von Nichtwohngebäuden. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Abschätzung des BMVBS bezüglich der vorhandenen Anlagentechnik in Bildungsgebäuden dargestellt.

⁷² BMVBS (2011), S. 34f.

⁷³ Vgl. BMVBS (2011), S. 21.

Tabelle 5: Anlagentechnik Bildungsgebäude⁷⁴

Wärmeerzeugung	
Heizkessel Öl/Gas	Überwiegend
Fernwärme	Selten
Feste Biomasse	Sehr selten
BHKW	Sehr selten
Wärmeübergabe	
Statische Heizflächen	Überwiegend
Flächenheizung	Selten
Luftheizung	Gar nicht
Trinkwarmwassererzeugung	
Zentral	Überwiegend
Dezentral elektrisch	Oft
Kein Warmwasser	Gelegentlich
Beleuchtung	
Leuchtstoffröhre	Immer
Mechanische Lüftung	
Anlage vorhanden	Sehr selten
Klimatisierung	
Anlage vorhanden	Gar nicht

Abstufung: immer, überwiegend, oft, gelegentlich, selten, sehr selten, gar nicht.

Um den Energiebedarf von Bildungsbauten abzuschätzen, wurden 38 synthetische Gebäude konstruiert, die den Gebäudebestand bei Bildungsbauten widerspiegeln. Diese wurden jeweils mit der für die Baualtersklasse geltenden energetischen Qualität der Hüllfläche und der entsprechenden Anlagentechnik ausgestattet, um den Endenergiebedarf nach DIN 18599 zu ermitteln. Für die Baualtersklasse 1 liegt dieser zwischen 250-450 kWh/m²a, für die Baualtersklasse 2 zwischen 200-400 kWh/m²K, für die Baualtersklasse 3 zwischen 200-300 kWh/m²K und für die Baualtersklasse 4 zwischen 150-250 kWh/m²K.⁷⁵

Neben dem BMVBS hat auch das BMWi ein Projektteam beauftragt, den Energieverbrauch des GHD Sektors in Deutschland zu untersuchen. Hierfür wurde dieser in 14 Gruppen unterteilt, für die der Energieverbrauch analysiert wurde. Eine dieser Gruppen stellen Schulen dar. Dieser Bereich wird jedoch nicht weiter untergliedert und umfasst alle Schulformen inklusive der Hochschulen.⁷⁶ Um den Energieverbrauch zu erfassen, wurde eine Breitenerhebung mit mehr als 2.000 Gebäuden für den GHD Sektor durchgeführt und

⁷⁴ BMVBS (2011), S. 38.

⁷⁵ Vgl. BMVBS (2011), S. 47-50.

⁷⁶ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 3.

anschließend die Ergebnisse nach Energieträgern und Nutzungsgruppe hochgerechnet.⁷⁷ Für den Bereich der Schulen wurden 87 Teilnehmer befragt, davon 23 Grund- und Hauptschulen, 6 Behindertenschulen, 22 Realschulen und Gymnasien, 16 Berufsschulen und 20 Hochschulen. Bundesweit sind Grund- und Hauptschulen am häufigsten vertreten, gefolgt von Realschulen und Gymnasien. Diese Verteilung zeigt sich ebenfalls in der Stichprobe, weshalb diese als repräsentativ angesehen werden kann.⁷⁸ Tabelle 6 zeigt den Strom- und Brennstoffverbrauch von Schulen, der sich aus der Breitenerhebung und der Hochrechnung im Rahmen des Projekts ergeben hat. Für den insgesamt sehr heterogenen Bereich der Kategorie Schulen werden als Bezugseinheit (BZE) Schüler bzw. Studenten herangezogen.⁷⁹

Tabelle 6: Strom- und Wärmeverbrauch für die Jahre 2006 bis 2013 in Schulen⁸⁰

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Spez. Stromverbrauch [kWh/BZE]	265,0	252,0	242,0	269,0	299,0	285,0	280,0	281,0
Stromverbrauch [TWh/a]	3,8	3,6	3,4	3,8	4,2	3,9	3,9	3,9
Brennstoff- Fernwärmeverbrauch [TWh/a]	19,3	19,0	19,8	19,0	19,7	15,9	16,0	16,6
Hochgerechneter Endenergieverbrauch [TWh/a]	23,1	22,6	23,2	22,7	23,9	19,8	19,8	20,4

Der Verbrauch von Brenn- und Kraftstoffen, sowie Fernwärme ist in Tabelle 7 nach Energieträgern getrennt dargestellt. Dabei zeigt sich, dass vor allem Gas und Öl sowie Fernwärme als Energieträger bei Schulen verwendet werden. Dies bestätigt die Erhebung der Studie des BMVBS, in der ebenfalls Heizkessel mit Gas oder Öl als überwiegende Wärmeerzeuger identifiziert wurden. An zweiter Stelle steht dort ebenfalls die Versorgung über Fernwärme. Somit weisen beide Erhebungen, die jeweils nur eine Abschätzung des Bestandes der Bildungsgebäude darstellen, ähnliche Ergebnisse auf.

⁷⁷ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 7, 10.

⁷⁸ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 163.

⁷⁹ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 163.

⁸⁰ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 42, 43, 45, 47.

Tabelle 7: Hochgerechneter Verbrauch an Energieträgern für Schulen von 2006 bis 2013⁸¹

		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Brenn- Kraftstoff- und Fernwärmeverbrauch	Kohle [TWh/a]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Gas [TWh/a]	12,5	12,3	10,8	10,1	10,0	7,8	10,5	9,7
	Holz [TWh/a]	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,8	0,3
	Öl [TWh/a]	2,0	2,0	2,8	2,1	1,6	1,2	0,3	1,3
	Kraftstoffe [TWh/a]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Fernwärme [TWh/a]	4,8	4,8	6,1	6,7	8,0	6,7	4,4	5,3
Summe		19,3	19,0	19,8	19,0	19,7	15,9	16,0	16,6
Strom		3,8	3,6	3,4	3,8	4,2	3,9	3,9	3,9
Endenergie		23,1	22,6	23,2	22,7	23,9	19,8	19,8	20,4

Der größte Teil der benötigten Brenn- und Kraftstoffe entfällt bei Bildungsbauten auf die Raumheizung. Weiterer Bedarf entsteht durch die Warmwassererzeugung sowie die Prozesswärme. Beim Strombedarf entsteht der größte Anteil durch die Beleuchtung der Bildungsgebäude sowie durch die Informations- und Kommunikationstechnik (IuK).⁸² Abbildung 6 zeigt den nach BMWi hochgerechneten Endenergieverbrauch von Schulen nach Anwendungsarten und Energieträgern für das Jahr 2013.

⁸¹ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 53-56.

⁸² Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 83f.

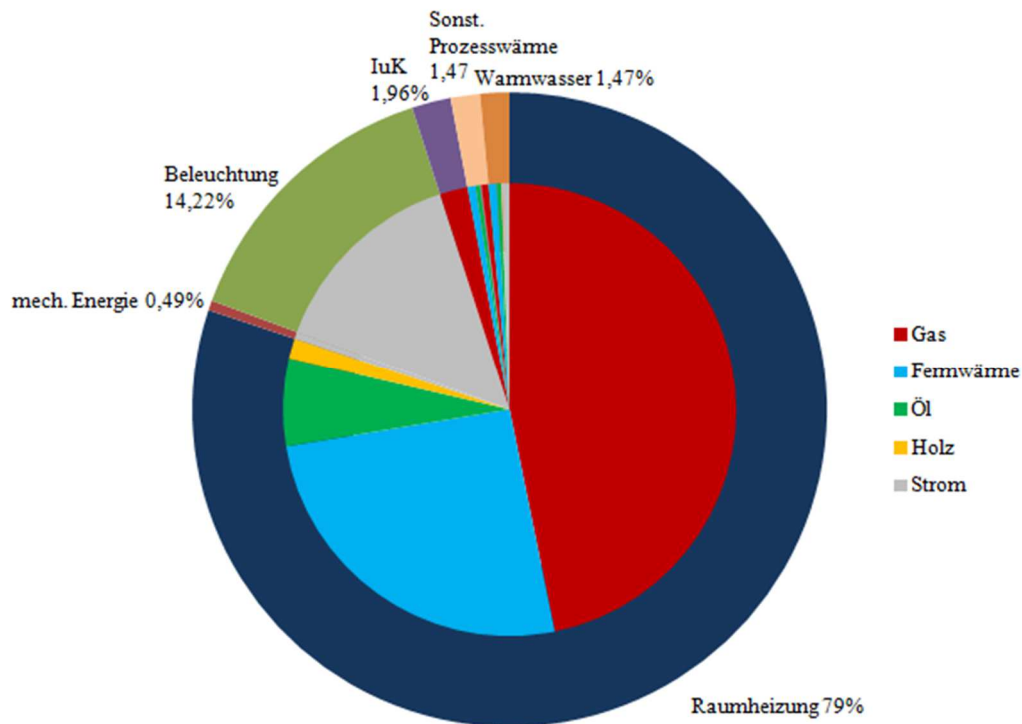


Abbildung 6: Hochgerechneter Endenergieverbrauch von Schulen nach Anwendungsarten und Energieträgern 2013⁸³

Mit Hilfe der beiden Forschungsprojekte des BMVBS und des BMWi können erste Aussagen bezüglich des Bestandes von Bildungsgebäuden getroffen werden. Eine zuverlässige und statistisch belastbare Aussage ist jedoch bisher nicht möglich. Viele Städte und Kommunen erstellen eigene Untersuchungen bezüglich des Energieverbrauchs und Lastgangs der öffentlichen Liegenschaften. Da diese Daten jedoch in der Regel nicht an offizielle Stellen weitergeleitet werden, liegen keine belastbaren Erhebungen bezüglich der vorhandenen Versorgungstechnik, dem Verbrauch und den Lastgängen vor.

Bezüglich des typischen Lastgangs an Schulen lässt sich jedoch die Vermutung anstellen, dass der Energieverbrauch bei Schulen überwiegend vormittags stattfindet. Vor allem beim Strom ergibt sich morgens zum Schulbeginn ein starker Verbrauchsanstieg, da alle Klassenräume genutzt werden und es beispielsweise im Winter draußen noch dunkel ist. Der Stromverbrauch sinkt bis zum Mittag hin wenig ab, wobei vor allem in den großen Pausen ein deutlicher Rückgang des Stromverbrauchs erkennbar sein müsste, da das Licht, das den größten Anteil des Strombedarfs ausmacht, in den Klassenräumen nicht benötigt wird. Nachmittags findet in der Regel eine geringere Nutzung der Schulgebäude statt, vor allem bei Grundschulen sollte sich hier ein Unterschied zum Vormittag abzeichnen. Abends steigt der Verbrauch erneut an, da durch externe Nutzung oder Sportkurse in den Sporthallen ein erneuter Bedarf an Beleuchtung entsteht. Nach Nutzungsende und über Nacht sinkt der Verbrauch schließlich auf die Grundlast ab, bis am nächsten Morgen erneut der Unterricht beginnt. Weiterhin müsste ein deutlicher Unterschied im Stromverbrauch zwischen den Werktagen und den Wochenenden

⁸³ Eigene Darstellung in Anlehnung an Schlomann et al. (2015), S. 83-87.

erkennbar sein. Ob diese Vermutungen bezüglich des Stromverlaufs tatsächlich zutreffen, wird in Kapitel 4.5.2 analysiert.

3.2 Förderung der Bundesregierung von energieeffizienten Schulen

In Deutschland gibt es kaum größere Vorkommen an Energierohstoffen, weshalb die Bundesrepublik zur Deckung ihres Energiebedarfs auf den Import von Primärenergieträgern angewiesen ist. Die Bedeutung der heimischen erneuerbaren Energien hat in den letzten Jahren ebenfalls zugenommen und wird sich zukünftig noch weiter verstärken.

Seit den 1990er Jahren ist der Energieverbrauch in Deutschland stagnierend oder sogar rückläufig bei gleichzeitiger Steigerung des Wirtschaftswachstums. Ursache für diese Entkopplung von Wachstum und Energieverbrauch ist die Steigerung der Energieeffizienz durch den technischen Fortschritt in der Energiewirtschaft und der sparsamere Umgang mit Energiere Ressourcen.⁸⁴ Daran ist erkennbar, dass in Deutschland die Energiewende umgesetzt und die Effizienz gesteigert wird.

Die Kommunen haben hinsichtlich der Energiewende eine besondere Funktion, um andere Kommunen sowie die Bevölkerung zu animieren, ebenfalls energetische Maßnahmen durchzuführen.

Dass die Kommunen dieser Anforderung gerecht werden, zeigt sich darin, dass in 33% der Schulen ein Energiemanagement durchgeführt wird, was innerhalb des GHD Sektors den höchsten Anteil darstellt. In Schulen werden auch verglichen mit dem restlichen GHD Sektor am häufigsten Energieverbrauchskontrollen durchgeführt. 45% der Schulen nehmen das Angebot einer Energieberatung wahr und von 58% werden erarbeitete Energiesparmaßnahmen umgesetzt.⁸⁵

Die Relevanz von Bildungsbauten als Vorbildobjekte zeigt sich ebenfalls in den Förderprogrammen, die vom Bund speziell für Schulen aufgelegt wurden.

Das vom Bund geförderte Forschungsvorhaben „Energieeffiziente Schule (EnEff:Schule)“ hat zum Ziel, sämtliche energieeffizienten Sanierungsaktivitäten von Schulgebäuden zusammenzustellen und zu veröffentlichen. Einen Schwerpunkt bildet dabei die wissenschaftliche Begleitung der durchgeführten Vorzeigeprojekte. Diese Prestigeprojekte von Plusenergie-, Drei-Liter- oder Passivhausschulen zeigen die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Senkung des Primärenergiebedarfs bei Heizung, Trinkwarmwassererzeugung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung. Weiterhin wurden auch „Best Practice“-Beispiele aufgenommen, die außerhalb des Projekts durchgeführt wurden.

Neben der Durchführung von energetischen Verbesserungsmaßnahmen wird auch die Integration der Thematik in den Schulunterricht gefördert. So werden die Schüler in den Sanierungsprozess einbezogen sowie Wissen und Bewusstsein für das Thema Energieeffizienz erhöht. Somit können drei Ziele durch die energetische Sanierung erreicht werden. Die

⁸⁴ Vgl. BMWi (2015b).

⁸⁵ Vgl. Schlomann et al. (2015), S. 106-117.

Betriebskosten werden gesenkt, die Behaglichkeit erhöht und ein verantwortungsvoller Umgang mit Energie wird an die Schüler vermittelt.⁸⁶

Teil der nationalen Klimaschutzinitiative ist auch das Förderprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) „Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte hier Förderzweig: Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard“. Der Bund gewährt für dieses Projekt Zuwendungen für die Antragsforschung im Baubereich, um durch Forschung und Entwicklung Grundlagen für die Markteinführung des Effizienzhaus Plus-Standards zu schaffen. Die geförderten Modellprojekte sollen informieren und zum Nachahmen animieren. Mit dem Förderprogramm soll innerhalb der Baubranche ein Wandel angestoßen werden. Die bisher „nur“ als Energieverbraucher in Erscheinung tretenden Gebäude sollen zu Energieerzeugern werden. Dies geschieht mit entsprechender Technik, Planung und Sanierung auf den Effizienzhaus Plus-Standard.⁸⁷ Das Förderprogramm richtet sich an alle Bauherren, die energetische Sanierungen oder die Erstellung eines Bildungsgebäudes im Effizienzhaus Plus-Standard planen. Zusätzlich zur bestimmungsgemäßen Verwendung der zur Verfügung gestellten Mittel ist eine wissenschaftliche Begleitforschung durch eine unabhängige Einrichtung und ein anschließendes Monitoring des Energieverbrauchs für zwei Jahre durchzuführen.⁸⁸ Hierdurch soll zukünftig das Defizit an verlässlichen Daten bezüglich des Energiebedarfs von Bildungsbauten reduziert werden.

Durch die Förderung der Bundesregierung insbesondere im Bereich der Schulen wird die Notwendigkeit zur Durchführung von Energieeinsparmaßnahmen und die Vorbildfunktion, die öffentliche Gebäude dabei einnehmen können, deutlich.

⁸⁶ Vgl. Hilgers et al. (2015); Fraunhofer Institut für Bauphysik (2015).

⁸⁷ Gebäude im Effizienzhaus Plus-Standard erzeugen in der Jahresbilanz mindestens so viel Energie wie für den Betrieb des Gebäudes notwendig ist, sowie einen zusätzlichen Energieüberschuss, der zur weiteren Verwendung bereitgestellt werden kann.

⁸⁸ Vgl. BMUB (2015), S. 1-3.

4 Ermittlung von Referenzlastprofilen für Bildungsbauten

In diesem Abschnitt wird die Vorgehensweise beschrieben, nach der aus den zur Verfügung gestellten Realdatensätzen unterschiedlicher Schulen und Kitas der Stadt Frankfurt a.M. RLPs für die Schulkategorien und Typtagkategorien erstellt werden. Um allgemeingültige Profile zu erhalten, werden die Daten zunächst kategorisiert und fehlerhafte Daten aussortiert. Durch die entwickelten RLPs werden typische Charakteristika des Energieverbrauchs von Schulen aufgezeigt und hervorgehoben. Abschließend werden die entwickelten Profile kritisch analysiert und Empfehlungen für die Praxis abgeleitet.

4.1 Datenmaterial und Eingrenzung des Betrachtungsrahmens

Die Stadt Frankfurt a.M. besitzt seit 25 Jahren die Bauabteilung „Energiemanagement“, deren Aufgabe es ist, die Strom-, Energie- und Wasserkosten der städtischen Liegenschaften zu minimieren. Für das Energiecontrolling dieser Liegenschaften wird unter anderem die automatische Verbrauchserfassung verwendet. Hierbei werden etwa 270 der städtischen Liegenschaften mit automatischen Zählern ausgestattet, welche die Energieverbräuche der Gebäude im Abstand von 15 Minuten erfassen.

Für die Ermittlung der RLPs für Bildungsbauten im Rahmen dieser Arbeit wurden diese Lastgangdaten mit kleinen Zeitschrittweiten unterschiedlicher Bildungsgebäude der Stadt Frankfurt a.M. zur Auswertung zur Verfügung gestellt. In die Betrachtung und Erstellung der RLPs fließen somit lediglich Daten der Stadt Frankfurt a.M. und damit der Klimazone 12⁸⁹ (Frankfurt a.M.) ein.

Die Sparte der Bildungsbauten ist sehr heterogen und reicht von Kitas bis zu Hochschulen. Der Energiebedarf innerhalb der Gruppe der Hochschulgebäude unterliegt je nach Art der Nutzung des Gebäudes starken Schwankungen. Hochschulgebäude mit Laboren weisen einen wesentlich höheren Energiebedarf auf als solche ohne besondere Nutzung. Innerhalb der Kategorie der Hochschulgebäude wäre somit eine Unterteilung nach der Art der Nutzung der einzelnen Gebäude notwendig. Aufgrund der hohen Heterogenität innerhalb dieser Gruppe werden im Rahmen dieser Arbeit keine Hochschulgebäude betrachtet, auch wenn diese normalerweise zur Kategorie der Bildungsbauten gezählt werden.

Die durch das Energiemanagement der Stadt Frankfurt a.M. zur Verfügung gestellten Daten umfassen gemessene Lastgangdaten von 15 Schulen und Kitas. Die Daten beschränken sich auf das Jahr 2014 und umfassen einen zusammenhängenden Zeitraum von 12 Monaten vom 1.1.-31.12.2014. Da sie aus der gleichen Quelle stammen und durch die Art der Erfassung aller Lastgangdaten sind die zur Verfügung gestellten Daten sehr gut miteinander vergleichbar.

Für jedes der betrachteten Bildungsgebäude wurden der Heizwärmebedarf sowie der Strombedarf getrennt erfasst. Aufgrund der großen Schwankungen des Energiebedarfs und dem Wunsch auch die großen Schulpausen abzubilden, wird eine hohe zeitliche Auflösung der Daten gefordert. Die zur Verfügung gestellten Daten mit Zeitschrittweiten von 15 Minuten

⁸⁹ Vgl. VDI 4655 (2008), S. 11.

erfüllen diese Anforderung und ermöglichen eine genaue Abbildung des Lastgangs über den Tag.

Die gemessenen Werte werden als Gesamtbedarf des Objekts erfasst und schließen beim Heizwärmebedarf somit auch Leitungs- und Verteilungsverluste und beim Strombedarf den Strombedarf der Heizung und Trinkwassererwärmung ein.

4.2 Darstellung der betrachteten Bildungsbauten

Die Schulen und Kitas, deren Daten zur Erstellung von RLPs zur Verfügung gestellt wurden sind in Tabelle 8 dargestellt. Darunter befinden sich sechs Grundschulen, drei Gymnasien, zwei Berufsschulen, drei Kitas und eine Förderschule mit Ganztagsbetreuung.

Die Energieverbräuche der einzelnen Schulen wurden aus den jeweiligen Energieausweisen des Gebäudes entnommen (siehe Anhang A). Bei den Grundschulen weisen alle der betrachteten Schulgebäude einen ähnlichen Heizenergieverbrauch auf. Auffällig ist dabei der Wert der Albrecht-Dürer-Schule, der mit 297 kWh/m²a fast doppelt so hoch ist wie bei den übrigen Grundschulen. Der Stromverbrauch ist in allen Kategorien nach den Angaben im Energieausweis sehr ähnlich.

Bei drei der in die Betrachtung einbezogenen Schulen wurde innerhalb der letzten Jahre eine neue Turnhalle errichtet. Die Bonifatiuschule erhielt Ende 2009 eine neue Turnhalle, die Friedrich-Fröbel-Schule Anfang 2009 und bei der Albrecht-Dürer-Schule wurde die Turnhalle Ende 2011 fertiggestellt. Alle drei Turnhallen wurden im Passivhausstandard erstellt und weisen somit sehr gute Energiewerte auf.⁹⁰

⁹⁰ Vgl. Stadt Frankfurt a.M. (2015).

Tabelle 8: Darstellung der betrachteten Bildungsbauten⁹¹

Name	Albrecht-Dürer-Schule (ADS)	Ackermann- und Bürgermeister-Grimm-Schule (ABS)	Bonifatiuschule (Boni)	Eichendorffschule (Eichend)	Erich-Kästner-Schule (EKS)
					
Art der Schule	Grundschule	Grundschule	Grundschule	Grundschule	Grundschule
Anzahl Schüler	415	132	203	289	400
Baujahr	1912	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
NGF [m²]	3.170	6.832	3.686	3.540	4.633
Davon Sporthalle [m²]	570	1.400	534	480	806
Heizenergieverbrauch [kWh/m²a]	297	149	144	188	119
Stromverbrauch [kWh/m²a]	24	28	12	14	23
Energieträger	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Keine Angabe

⁹¹ Energieverbräuche; Energieträger: vgl. Stadt Frankfurt a.M. (2015); Anzahl der Schüler: vgl. Frankfurt.de (2015).

4 Ermittlung von Referenzlastprofilen für Bildungsbauten

Name	Friedrich-Fröbel-Schule (FFS)	Stauffenberg-schule (Stauf)	Bettinaschule (Bettina)	Gutenbergschule (Gutenberg)	Heinrich-von-Gagern-Gymnasium (HvG)
					
Art der Schule	Grundschule	Berufsschule	Gymnasium	Berufsschule	Gymnasium
Anzahl Schüler	286	1.600	974	997	906
Baujahr	Keine Angabe	1981	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
NGF [m²]	4.218	5.129	7.341	9.819	7.441
Davon Sporthalle [m²]	670	388	601		2.091
Heizenergieverbrauch [kWh/m²a]	141	181	118	111	147
Stromverbrauch [kWh/m²a]	8	29	15	43	13
Energieträger	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Erdgas

Name	Musterschule (Muster)	Kinderzentrum Eichhörnchenpfad (KiZ 120)	Kinderzentrum Rendeler Straße (KiZ 126)	Kinderzentrum Bolongarostraße (KiZ 7)	Hermann-Luppe-Haus und -schule (HLH)
					
Art der Schule	Gymnasium	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Förderschule mit Ganztagsbetreuung
Anzahl Schüler	900	105	78	60	60; 39
Baujahr	1901	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
NGF [m²]	9.982	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	3601 (Ganztagsbetreuung: 1495; Förderschule: 1668)
Davon Sporthalle [m²]	589	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	439
Heizenergieverbrauch [kWh/m²a]	142	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	182
Stromverbrauch [kWh/m²a]	29	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	19
Energieträger	Erdgas	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Erdgas

4.3 Kategorisierung der Bildungsbauten

Die Bauart des jeweiligen Gebäudes legt dessen Nutzung fest, sodass bereits hier eine Unterscheidung nach der Art der Nutzung der Bildungsgebäude erfolgen muss. Welche Schulformen sich dabei in eine Kategorie zusammenfassen lassen, wird nachfolgend untersucht. Ziel ist es, möglichst wenige Kategorien zu erhalten, um eine einfache und übersichtliche Handhabung und Anwendung der RLPs zu gewährleisten. Zugleich müssen ausreichend viele Kategorien gewählt werden, um alle Schulformen repräsentativ abzubilden und nicht durch Vermischung typische Charakteristika einer Schulform zu verlieren.

Die betrachteten Kitas haben in der Regel von 7.30-17.30 Uhr geöffnet und weisen unterschiedliche Betreuungsformen auf, wobei zwischen einer Halbtags-, Dreiviertel- und Ganztagsbetreuung gewählt werden kann.⁹² Durch die unterschiedlichen Betreuungsformen lässt sich die Vermutung anstellen, dass die Nutzungsintensität nachmittags geringer als vormittags ist. Dennoch findet eine ganztägige Nutzung der Gebäude statt. Während dieser Zeit finden, anders als bei den Grund- und Berufsschulen sowie den Gymnasien, keine zeitlich festgelegten Pausen und Schulstunden statt. Hieraus ergibt sich ein erheblicher Unterschied in der Nutzung der Kitas gegenüber den anderen Schulformen, weshalb diese Gruppe der Bildungsbauten gesondert betrachtet wird. Kitas stellen somit die erste Kategorie innerhalb der in dieser Arbeit betrachteten Bildungsbauten dar. Dieser Kategorie wird ebenfalls das HLH zugeordnet. Dieses ist eine Förderschule mit Ganztagsbetreuung für die Förderkinder.⁹³ Die gemessenen Lastgangdaten liegen bei diesem Objekt für die gesamte Liegenschaft vor. Durch die Betreuung der Förderkinder entspricht dieses Konzept dem Betreuungsformat einer Kita, was sich auch in den Datensätzen zeigt.

Die übrigen Schulen weisen alle den typischen Schulablauf mit Schulstunden und großen Pausen auf, die auch in den RLPs abgebildet werden sollen. Eine Unterscheidung ergibt sich hierbei allerdings durch die Dauer des Schultages. Bei Grundschulen findet in der Regel der Unterricht nur vormittags statt, wohingegen bei den Gymnasien und Berufsschulen auch nachmittags unterrichtet wird. Hier findet der Unterricht zwar nicht in der gleichen Intensität wie vormittags statt, dennoch ergibt sich daraus eine Abgrenzung zwischen den Grundschulen zu den Gymnasien und Berufsschulen. Die zweite Kategorie, die somit im Rahmen dieser Arbeit gesondert betrachtet werden soll, stellen die Grundschulen dar.

Die Gymnasien und Berufsschulen haben ihren Schwerpunkt in der Nutzung ebenfalls vormittags, dennoch findet auch nachmittags eine Nutzung der Gebäude statt. Die Art der Nutzung der beiden Schulformen zeigt somit Parallelen auf, weshalb hier keine weitere Unterscheidung zwischen den beiden Schulformen vorgenommen wird. Die Gymnasien und Berufsschulen werden zur dritten Kategorie zusammengefasst und nachfolgend als weiterführende Schulen bezeichnet.

Ein weiterer Aspekt, der sich auf die RLPs auswirkt, stellen die vorhandenen Turn- und Sporthallen bei den Schulen dar. Durch die Nutzung dieser von Vereinen lässt sich vermuten, dass abends nochmals eine Spitze im Energieverbrauch auftritt. Jedoch besitzen alle der

⁹² Vgl. Kita Frankfurt (2016).

⁹³ Vgl. Petersen (2016).

betrachteten Schulen, sowohl bei den Grund- als auch bei den weiterführenden Schulen eine Sporthalle. Somit ist an dieser Stelle keine weitere Unterscheidung zwischen Schulen mit und ohne Sporthalle notwendig. Die Betrachtung findet jeweils für Schulgebäude mit Sporthalle statt. Eine Schwierigkeit in der Differenzierung ergäbe sich bei der Abendspitze auch durch die sonstige Nutzung von Schulgebäuden am Abend, wie beispielsweise bei Volkshochschulkursen oder Elternabenden. Eine Unterscheidung innerhalb der Abendspitze bezüglich der Herkunft der Last wäre somit nur schwer möglich, weshalb diese in den Lastprofilen enthalten bleibt und zu einem typischen Lastgang einer Schule mit Sporthalle und sonstiger Nutzung am Abend gehört.

Aus der vorgenommenen Kategorisierung der betrachteten Bildungsbauten ergeben sich für die weitere Betrachtung drei Kategorien: Kitas, Grundschulen und weiterführende Schulen. Für jede der gewählten Kategorien sollen schließlich getrennte RLPs sowohl für den Gas- als auch für den Stromverbrauch erstellt werden. In der Kategorie der Grundschulen werden dabei sechs, bei den weiterführenden Schulen fünf und bei den Kitas vier Gebäude betrachtet.

4.4 Auswertung der Realdatensätze

Um die vorhandenen Lastgangdaten der einzelnen Schulgebäude auswerten zu können, werden zunächst die Typtagkategorien definiert und die Tageslastgänge entsprechend zugeordnet. Anschließend wird die verwendete Methodik zur Erstellung der RLPs sowie die Kriterien, nach denen die Daten auf ihre Vollständigkeit und Korrektheit überprüft werden, beleuchtet.

4.4.1 Definition der Typtagkategorien

Um die Einteilung der jeweiligen Lastgänge in Typtagkategorien vornehmen zu können, müssen diese zunächst definiert werden. Dabei wird auf diejenigen Faktoren eingegangen, die sich auf den Tageslastgang auswirken und somit eine Unterscheidung in unterschiedliche Kategorien notwendig machen.

Die einzelnen Kriterien, welche bereits in Kapitel 2.4.2 erläutert wurden, werden an dieser Stelle nochmals kurz aufgegriffen, um ihre Bedeutung für Schulgebäude und Kitas aufzuzeigen.

Die Außentemperatur wirkt sich primär auf den Heizenergiebedarf aus, hat jedoch auch Einfluss auf den Strombedarf. Eine kalendarische Einordnung in die drei Jahreszeiten Sommer, Winter und Übergang kann den Zusammenhang zwischen der Außentemperatur und dem Heizwärmebedarf nur annähernd abbilden, da der Umschwung der Außentemperatur nicht zwingend an den gewählten Daten stattfindet. Eine Zuordnung nach Temperaturen ermöglicht eine genauere Abbildung der Abhängigkeit des Energiebedarfs von der Außentemperatur. Aus diesem Grund wird die Einteilung des VDIs übernommen und die Jahreszeiten wie folgt definiert:

Sommer:	Tagesmittel der Außentemperatur $> 15^{\circ}\text{C}$
Winter:	Tagesmittel der Außentemperatur $< 5^{\circ}\text{C}$
Übergangszeit:	Tagesmittel der Außentemperatur $5^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$.

Für die Einteilung der Jahreszeiten bei Gebäuden im Passivhaus-Standard liegen die Temperaturschwellen in der Regel bei niedrigeren Werten, da die Heizung erst bei geringeren Temperaturen anspringt. Jedoch sind nur drei der Sporthallen im Passivhaus-Standard errichtet und es liegt keine getrennte Erfassung der Energieverbrauchswerte nach Schulgebäude und Sporthalle vor, sodass bei den Schulen mit Passivhaus-Standard Sporthallen der Anteil des Schulgebäudes am Gesamtenergieverbrauch überwiegt. Da dieses jeweils keinen Passivhaus-Standard aufweist, werden auch für diese Schulen die definierten Temperaturschwellen beibehalten.

In der VDI Richtlinie erfolgt weiterhin in Abhängigkeit vom Wetter eine Unterteilung nach dem Grad der Bewölkung (siehe Kapitel 2.4.2). Auf eine Unterscheidung nach diesem Kriterium wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet.

Neben der Außentemperatur hat das Nutzerverhalten einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch.⁹⁴ Vor allem der Strombedarf ist dabei unmittelbar vom Verhalten des Nutzers abhängig. Dabei ergibt sich ein grundsätzlicher Unterschied im Nutzerverhalten an den verschiedenen Wochentagen. Schulen und Kitas werden dabei hauptsächlich unter der Woche genutzt, abgesehen von vereinzelten, außerordentlichen Veranstaltungen an den Wochenenden. Dies ist jedoch nicht der Regelfall. Aus diesem Grund wird zunächst zur Erstellung der Typtagkategorien eine Unterteilung zwischen den Werktagen (Montag-Freitag) und den Wochenenden (Samstag und Sonntag) vorgenommen. Feiertage werden dabei den Wochenenden zugeordnet.

Eine weitere Besonderheit bei der Nutzung von Schulen stellen die Schulferien dar. Im Gegensatz zu Betrieben, in denen nur einzelne Arbeitnehmer Urlaub haben, was somit keine Auswirkung auf die Lastgänge hat, finden die Schulferien für alle Nutzer der Schulen gleichzeitig statt. Eine regelmäßige Nutzung der Gebäude findet während dieser Zeit nicht statt, weshalb auch diese von den Wochen mit Unterrichtsbetrieb zu unterscheiden sind. Die Zuordnung erfolgt kalendarisch für den Messzeitraum (Januar-Dezember 2014). Die Zuordnung der Ferientage entspricht den hessischen Schulferien,⁹⁵ da alle betrachteten Gebäude den Standort Frankfurt a. M. aufweisen. Für die betrachteten Kitas gelten die Schulferien nicht. Diese werden lediglich für drei Wochen innerhalb der Sommerferien und den Zeitraum zwischen Weihnachten und Neujahr geschlossen.⁹⁶ Die Zuordnung der Typtage in die Typtagkategorie erfolgt deshalb bei den Kitas gesondert nach den entsprechenden Daten.⁹⁷ Für das HLH innerhalb der Kategorie der Kitas sind die hessischen Schulferien für die Zuordnung zu Typtagen anzuwenden. Wochenendtage wurden für den Zeitraum der Ferien weiterhin den Wochenenden zugeordnet.

⁹⁴ Vgl. Hellwig (2003), S. 25.

⁹⁵ Hessische Schulferien 2014: 1.-10.1.2014; 14.-25.4.2014; 28.7.-5.9.2014; 20.10.-31.10.2014; 22.12.-31.12.2014. (vgl. Schulferien.org (2016)).

⁹⁶ Kitas: Sommerferien: 18.8.-5.9.2014; Weihnachtsferien: 24.12.-31.12.2014.; Fachtag: 7.3.2014 (vgl. Fehse (2016): AW: Ihre Anfrage vom 15.01.2016 zu den Schließungszeiten unserer Kinderzentren [E-Mail]. Judith.Fehse@stadt-frankfurt.de; 18.01.2016).

Mit der Unterscheidung nach den oben genannten Kriterien sind neun Gruppen von Tageslastgängen zu differenzieren, die als Typtagkategorien definiert werden. Die Nomenklatur ergibt sich daraus wie folgt:

1. Stelle: Charakterisierung der Jahreszeit

Ü: Übergangszeit

S: Sommer

W: Winter

2. Stelle: Charakterisierung des Nutzungsverhaltens

W: Werktag

S: Wochenende

F: Ferientag

Daraus ergibt sich die in Tabelle 9 angegebene Systematik zur Unterscheidung der Typtagkategorien.

Tabelle 9: Typtagkategorien

		2. Stelle		
		Werktag (W)	Wochenende (S)	Ferientag (F)
1. Stelle	Übergang (Ü)	ÜW	ÜS	ÜF
	Sommer (S)	SW	SS	SF
	Winter (W)	WW	WS	WF

Da innerhalb der Ferienzeit keine geregelte Nutzung stattfindet, lässt sich die Vermutung aufstellen, dass die Lastgänge während dieser Zeit denen der Wochenendtage ähneln. Aus diesem Grund soll nach der Zuordnung der einzelnen Tageslastgänge zu den Typtagkategorien überprüft werden, ob dies zutrifft. Ist dies der Fall, können diese beiden Kriterien zur Unterscheidung der Typtagkategorien zusammengefasst werden, wodurch die Anzahl der Typtagkategorien von neun auf sechs reduziert werden kann.

4.4.2 Wetterdaten und Zuordnung zu Typtagen

Als Datenbasis für die Tagesmitteltemperatur wurden die Daten des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. Ausgewertet wurde das Tagesmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe über dem Erdboden an der Wetterstation Frankfurter Flughafen.⁹⁸ Dies ist die nächstgelegene Wetterstation zu den Standorten der Schulen und Kitas und liegt in der gleichen Klimazone. Die Tagesmitteltemperaturen für den Messzeitraum sowie die Zuordnung zu den Typtagkategorien sind in Anhang C getrennt für die Schulen und Kitas angegeben. Nach der Zuordnung der einzelnen Daten zu den Typtagen ergibt sich die in Tabelle 10 dargestellte Anzahl an Typtagen je Typtagkategorie für Schulen, für Kitas ist die Zuordnung in Tabelle 11 dargestellt.

⁹⁸ Vgl. DWD (2016).

Tabelle 10: Anzahl an Typtagen je Typtagkategorie für Schulen

WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
20	36	3	52	90	31	42	61	30

Für die Kategorie der Kitas trifft diese Zuordnung nicht vollständig zu, da diese nur drei der sechs Wochen Sommerferien geschlossen werden und in den Herbst- und Osterferien komplett geöffnet haben.

Tabelle 11: Anzahl an Typtagen je Typtagkategorie für Kitas

WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
20	36	3	52	114	7	42	81	10

Es fällt auf, dass besonders bei den Winterferientagen nur eine sehr begrenzte Anzahl an Daten zur Verfügung steht. Diese machen jedoch auch nur einen kleinen Anteil des Jahres aus, wohingegen für die Tage, die am häufigsten vorkommen, ausreichend Daten zur Verfügung stehen. Bei den Kitas liegen für alle Ferienkategorien nur wenige Daten vor.

4.4.3 Allgemeine Vorgehensweise

Zur Erstellung der RLPs für Grundschulen, weiterführende Schulen und Kitas wird die in Kapitel 2.4 dargestellte Vorgehensweise nach DIN 4655 verwendet und entsprechend für die Anwendung bei Bildungsbauten modifiziert. Die grundlegende Vorgehensweise bleibt dabei bestehen, sodass im ersten Schritt repräsentative Lastgänge innerhalb einer Typtagkategorie getrennt nach Strom und Gas für jedes Gebäude bestimmt werden, um im zweiten Schritt das repräsentative Lastprofil für jede Schulkategorie zu bestimmen. Durch die Auswahl eines repräsentativen RLPs kommt dies dem typischen Verlauf der gemessenen Tage am nächsten und gewährleistet, dass die typischen Charakteristika des Profils innerhalb einer Typtagkategorie erhalten bleiben und nicht durch Mittelwertbildung und die damit verbundene Glättung verloren gehen.

Um die repräsentativen Tageslastgänge innerhalb einer Typtagkategorie für jedes Gebäude auszuwählen, werden zunächst die durch das Energiemanagement der Stadt Frankfurt a.M. zur Verfügung gestellten Lastgangdaten auf ihre Vollständigkeit und Fehlerhaftigkeit überprüft. Fehlerhafte oder unvollständige Daten können in der Regel durch fehlende oder nicht plausible Datensätze identifiziert werden. Teilweise treten in den Datensätzen kleinere Lücken auf. Aber auch größere Lücken, bei denen ganze Tage in der Messung fehlen, sind vorzufinden. Vollständig fehlende Datensätze oder unplausible Daten, wie beispielsweise der Fall, dass für mehrere Tage hintereinander der Wert Null ausgewiesen wird, werden aus der Betrachtung herausgenommen. Bei Lücken innerhalb eines Tages wird je nach Größe dieser Lücke differenziert. Ist die Lücke größer als zwei Stunden, wird der ganze Tag aus der Betrachtung entfernt. Ist die Lücke kleiner als zwei Stunden, wird diese mit dem Mittelwert der vorherigen Stunde gefüllt. Welche Tage dabei komplett ausgeschlossen wurden, ist in Anhang E für Strom und Gas dargestellt.

Nach dem Ausschluss fehlerhafter und unvollständiger Lastgangdaten, stehen diejenigen Datenreihen zur Verfügung, die in die Betrachtung zur Erstellung der RLPs einbezogen werden. Diese Lastgangdaten werden entsprechend ihrer Eigenschaften den entsprechenden in

Kapitel 4.4.1 definierten Typtagkategorien zugeordnet. Nach der Zuordnung der Lastgangdaten zu den entsprechenden Typtagkategorien liegen somit die kategorisierten Lastgänge für jedes Schulgebäude getrennt vor und es können die jeweils repräsentativen Lastgänge je Typtagkategorie und Gebäude getrennt für Strom und Gas bestimmt werden. Um die jeweils repräsentativen Lastgänge zu bestimmen und auszuwählen, werden die Viertelstundenwerte der kategorisierten Lastgangdaten zunächst normiert und anschließend kumuliert.

Als Bezugsgröße für die Normierung dient die Tagessumme des Energiebedarfs für die jeweilige Energieform. Die beiden Energieformen werden dabei getrennt betrachtet. Durch die Normierung werden die Lastgangdaten verschiedener Gebäude und verschiedener Tage trotz unterschiedlicher Tagessummen untereinander qualitativ vergleichbar und dimensionslos. Anschließend werden die normierten Werte über den Zeitraum von je einem Tag kumuliert. Somit kann zu jedem Zeitpunkt abgelesen werden, wie viel Prozent des Tagesbedarfs bis zu einer bestimmten Uhrzeit verbraucht worden sind. Am Tagesanfang weist der kumulierte Energiebedarf den Wert Null auf und am Tagesende den Wert Eins, was 100% entspricht. Um aus den normierten, kumulierten Tageslastgängen die repräsentativen für die jeweilige Typtagkategorie auszuwählen, wird wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben, die quadratische Abweichung jedes Tageslastgangs zum Durchschnittsprofil nach Formel 1 berechnet und die beiden Tageslastgänge mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil gewählt. In Tabelle A - 3 bis Tabelle A - 6 in Anhang D sind diese Schritte exemplarisch am Beispiel der Typtagkategorie ÜF des KiZ 7 dargestellt. Die übrigen Datensätze befinden sich auf der beigefügten Daten-CD⁹⁹.

Nach dieser Auswertung stehen für jedes der betrachteten Schulgebäude zwei repräsentative Tageslastgänge je Typtagkategorie und je Energieform für die weitere Betrachtung zur Verfügung. Daraus ergeben sich im Idealfall für Kitas acht, für Grundschulen zwölf und für weiterführende Schulen zehn Datensätze je Typtagkategorie und Energieform.

Analog zu der beschriebenen Vorgehensweise für die einzelnen Bildungsgebäude werden die repräsentativen Tageslastgänge innerhalb jeder Schulkategorie verglichen und nach der Berechnung der quadratischen Abweichung derjenige Tageslastgang mit der kleinsten quadratischen Abweichung je Typtagkategorie ausgewählt. Der normierte Tageslastgang dieses Messwerts stellt schließlich das RLP für eine Typtagkategorie einer der drei Schulkategorien dar, sodass am Ende getrennt für Strom und Gas und jede der Kategorien Kitas, Grundschulen und weiterführende Schulen je ein RLP für jede Typtagkategorie vorliegt.

4.5 Entwicklung und Auswertung der Referenzlastprofile

Zur Entwicklung der RLPs wurden die Tageslastgänge zunächst entsprechend der in Kapitel 4.4.3 beschriebenen Methodik nach dem Tagesmittel der Außentemperatur und der kalendarischen Zuordnung der entsprechenden Typtagkategorie zugeordnet und fehlerhafte sowie lückenhafte Werte ausgeschlossen, um sie anschließend wie nachfolgend beschrieben auszuwerten.

⁹⁹ Rechnungen/Entwicklung RLP.

4.5.1 Entwicklung der Referenzlastprofile für Strom

4.5.1.1 Auswertung der Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes für Strom

Nach der Auswertung der Datensätze nach offensichtlichen Fehlern und lückenhaften Werten, wird eine genaue Betrachtung der vorliegenden Datensätze für jedes Gebäude getrennt innerhalb einer Typtagkategorie vorgenommen.

Um repräsentative Lastgänge zu erhalten, welche die typischen Charakteristika einer Typtagkategorie aufzeigen, wurden solche Datensätze ausgeschlossen, die nicht in die jeweilige Kategorie passen und innerhalb dieser deutliche Ausreißer darstellen, sodass das Durchschnittsprofil durch diese Werte erheblich beeinflusst wird. Tageslastgänge mit derart auffälligen Werten können nicht als repräsentativ für die jeweilige Typtagkategorie angesehen werden und würden das Ergebnis negativ beeinflussen, sodass die beiden Lastgänge mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil nicht mehr die repräsentativsten innerhalb der Typtagkategorie darstellen.

Zur Identifikation solcher Ausreißer wird die Kurvenschar der normierten Werte für jede Typtagkategorie für jedes der Schulgebäude getrennt analysiert. Bei Auffälligkeiten werden anschließend die absoluten Werte des Tageslastgangs betrachtet, um auch hier Auffälligkeiten zu identifizieren. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für einen solchen Ausreißer, der in diesem Schritt der Entwicklung der RLPs für Grundschulen, weiterführende Schulen und Kitas aussortiert wird.

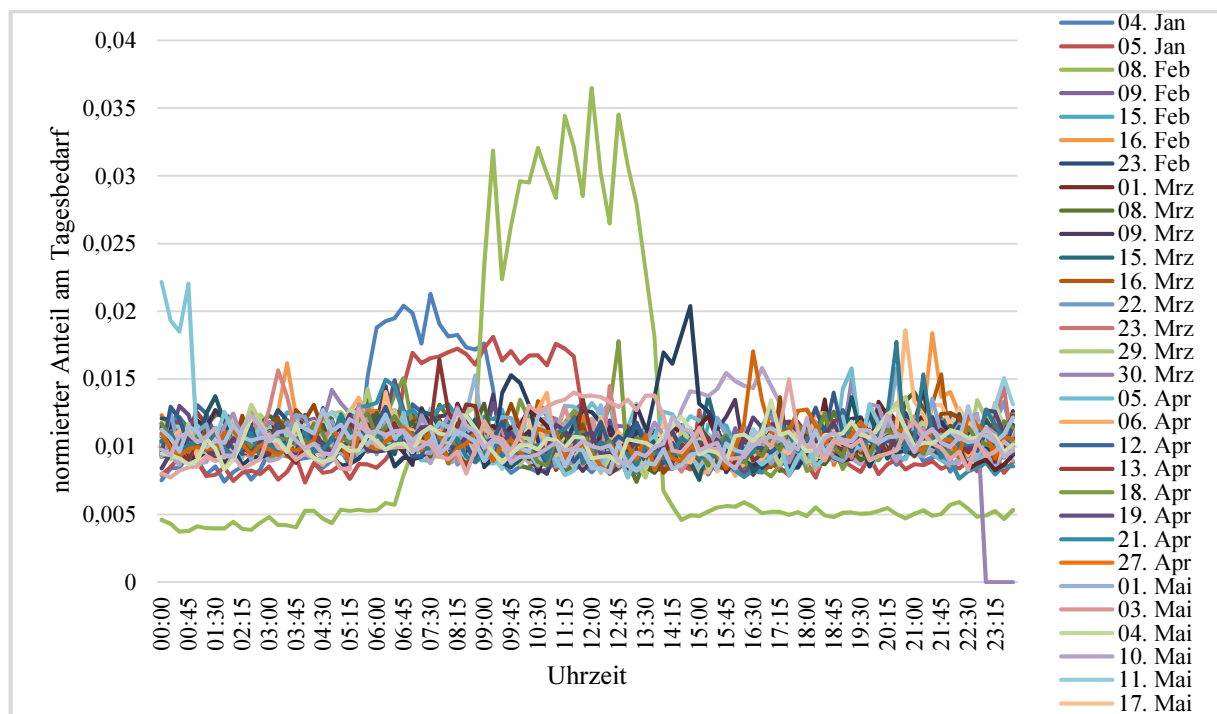


Abbildung 7: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie ÜS; Bettinaschule

Durch das Aussortieren solcher Werte ergibt sich in der Regel eine Veränderung der Werte, welche die kleinste und zweitkleinste Summe der quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil aufweisen.

Nicht in allen Fällen können Ausreißer so eindeutig wie in dem dargestellten Beispiel identifiziert werden. Es ist jeweils eine Einzelfallentscheidung in Abhängigkeit davon notwendig, wie stark die auffälligen Werte das Durchschnittsprofil und somit die Auswahl der repräsentativen Lastgänge beeinflussen und inwiefern sie nicht die für die Typtagkategorie typischen Charakteristika, welche die anderen Werte aufweisen, zeigen.

Im Idealfall liegen die Tageslastgänge innerhalb einer Typtagkategorie dicht beieinander und zeigen einen ähnlichen Verlauf mit gleichen Eigenschaften, woraus sich typische Charakteristika für die Typtagkategorie ableiten lassen.

Abbildung 8 zeigt eine solche Kurvenschar für den Stromverbrauch an Sommerwerktagen der Gutenbergschule.

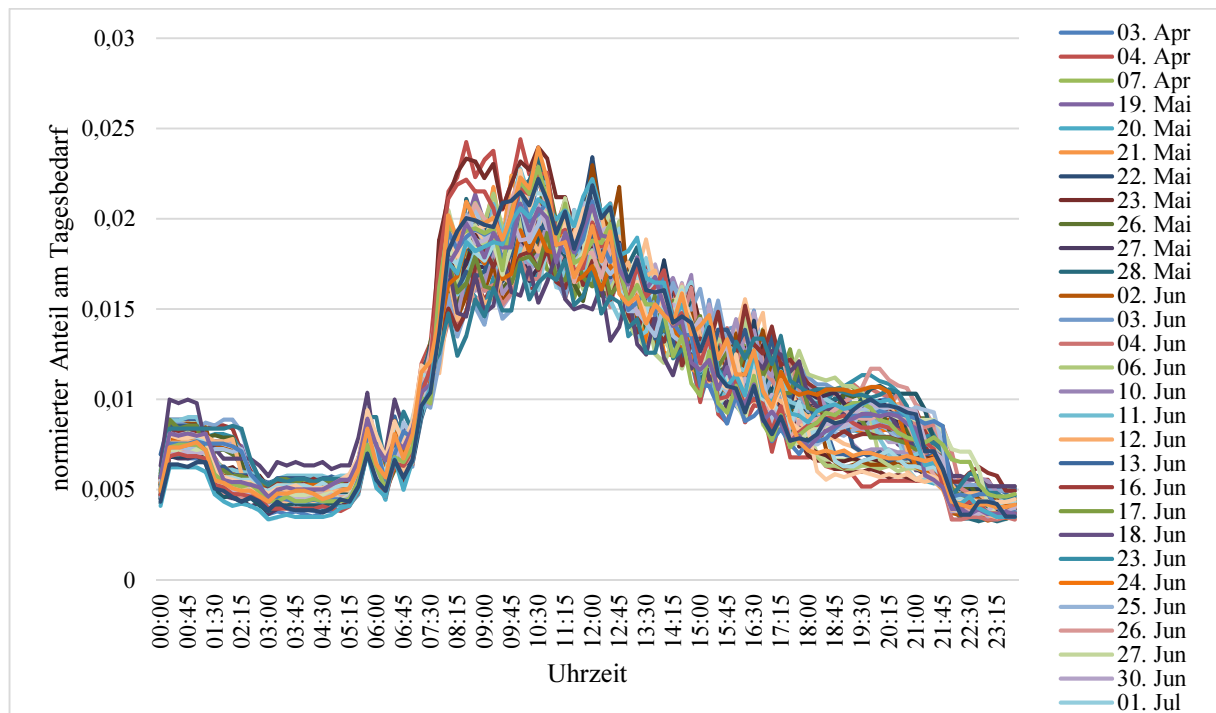


Abbildung 8: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie SW; Gutenbergschule

Dabei ist am Morgen der Schulbeginn deutlich erkennbar. Auch Absenkungen in den großen Pausen sowie etwas kleinere zwischen den einzelnen Schulstunden lassen sich aus den Profilen ablesen. Am Nachmittag ist der Verbrauch geringer als am Vormittag, da in diesem Zeitraum in der Regel weniger Unterricht stattfindet. Am Abend ist nach dem tiefsten Punkt am späten Nachmittag nochmals ein Anstieg erkennbar. Dieser ergibt sich durch die Nutzung der Sporthallen durch Sportvereine oder der Räumlichkeiten für sonstige Nutzungen wie Elternabende, über Nacht sinkt der Strombedarf schließlich auf die Grundlast ab.

Auch die Darstellung der normierten, kumulierten Werte in Abbildung 9 zeigt, dass die verschiedenen Tageslastgänge innerhalb einer Typtagkategorie im Idealfall kaum voneinander unterscheidbar sind und ähnlich einer Kurvenschar eng um den arithmetischen Mittelwert verteilt sind.

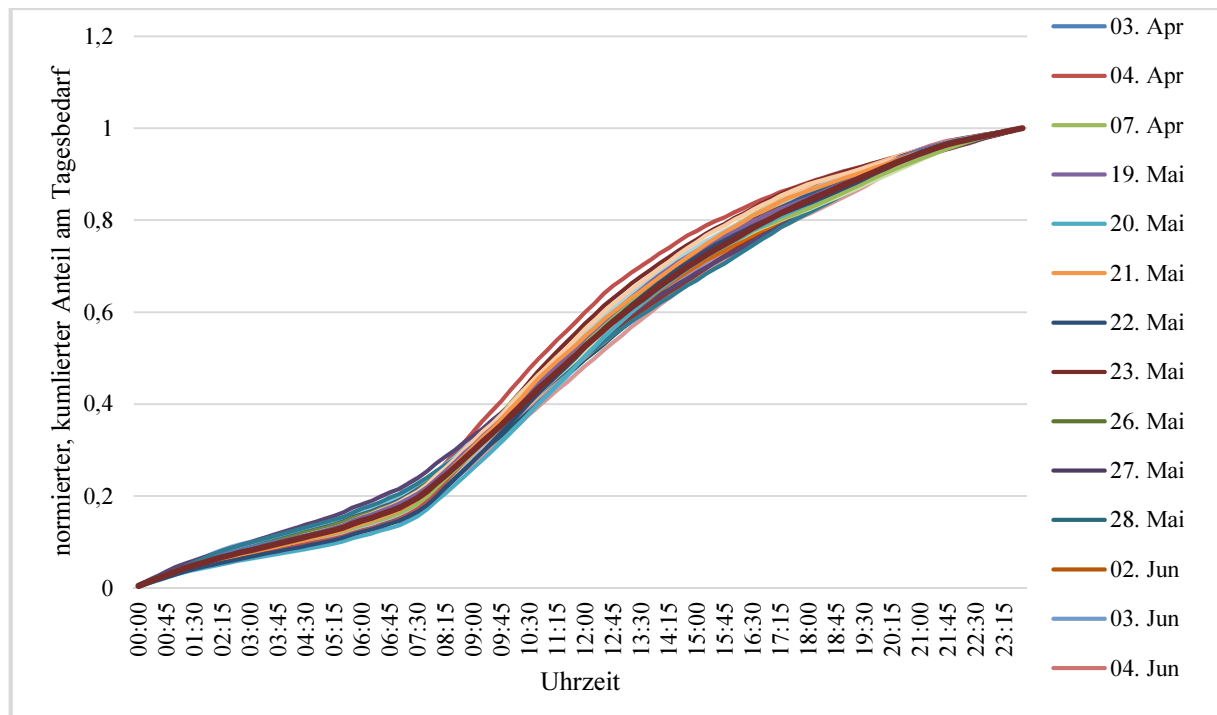


Abbildung 9: Normierte, kumulierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie SW; Gutenbergschule

Die Tabellen im Anhang E zeigen für die zur Verfügung stehenden Datensätze des Jahres 2014 für jeden Schultyp und jede Schule, welche Daten fehler- oder lückenhaft sind und deshalb aussortiert wurden und welche Datensätze im Zuge der Betrachtung auf Ausreißer aussortiert wurden.

Die Datensätze und deren Zuordnung zu den Typtagkategorien sowie die Normierung, Kumulierung und Auswertung dieser sind auf der beigefügten Daten-CD¹⁰⁰ dargestellt.

Tabelle 12 zeigt die Anzahl der nach beiden Schritten der Datenkorrektur verbleibenden Tageslastgänge je Typtagkategorie und Schule, die für die Auswertung des repräsentativen Tageslastgangs zur Verfügung stehen.

¹⁰⁰ Siehe dazu Daten-CD/ Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom. Der Unterordner „Ausgangssituation“ zeigt für jede Schule getrennt die Daten vor dem Auswerten nach Ausreißern, der Unterordner „aussortiert“ nach der Auswertung und somit die Daten die für die weitere Betrachtung Verwendung finden.

Tabelle 12: Anzahl der auswertbaren Tageslastgänge je Gebäude und Typtagkategorie für Strom

Schule		Typtagkategorie								
		WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
Grundschulen	ABS	20	35	3	50	90	30	40	61	29
	ADS	20	35	3	52	90	31	42	61	28
	Boni	10	23	0	27	48	12	1	3	0
	Eichend	11	23	0	30	53	17	33	56	22
	EKS	19	33	3	42	77	29	37	60	26
	FFS	9	16	1	26	40	14	25	30	18
Weiterf. Schulen	Stauf	20	36	3	52	90	31	42	61	30
	Bettina	20	35	3	51	90	31	42	61	30
	Gutenberg	20	35	3	52	90	31	42	61	30
	HvG Altbau	14	36	3	47	90	31	42	61	30
	HvG Neubau	20	36	3	51	90	31	42	61	30
	Muster	20	35	3	51	90	30	42	61	30
Kitas	HLH	20	36	3	52	90	30	42	61	30
	KiZ 7	16	36	3	52	113	6	42	81	10
	KiZ 120	19	36	3	51	114	7	42	80	10
	KiZ 126	0	1	0	2	5	0	0	2	0

Dabei fällt auf, dass besonders innerhalb der Typtagkategorie WF nur eine begrenzte Anzahl an Daten zur Verfügung steht. Dadurch wird die statistische Belastbarkeit der vorliegenden Daten innerhalb dieser Typtagkategorie reduziert. Diese Tage machen aber auch nur einen kleinen Teil des Jahres aus, während die am häufigsten vorkommenden Tage mehrere Datensätze von Lastgängen enthalten, sodass diese sehr gut belegt sind.

Weiterhin fallen die Daten des KiZ 126 und der Bonifatiuschule auf. Bei beiden Einrichtungen ergibt sich die Problematik, dass teilweise keine Werte für eine Typtagkategorie oder nur ein bis zwei Lastgänge vorliegen. Diese stellen dann automatisch die Lastgänge mit der kleinsten quadratischen Abweichung dar und gehen in die weitere Auswertung ein. Es bleibt jedoch fraglich, ob diese auch tatsächlich die repräsentativsten für die Typtagkategorie darstellen. Aus diesem Grund werden diese Lastgänge bei der Auswertung der Tageslastgänge für einen Schultyp (siehe Kapitel 4.5.1.2) kritisch betrachtet und gegebenenfalls aussortiert.

Innerhalb des Schultyps Kitas liegen ebenfalls nur wenige Daten vor, da in dieser Kategorie mit vier Kitas die geringste Anzahl an Gebäuden vorliegt und zudem die Daten des KiZ 126 nur wenige Datensätze liefern. Weiterhin muss an dieser Stelle nochmals das HLH besonders betrachtet werden, da dieses innerhalb der Kategorie der Kitas eine Sonderstellung einnimmt. Nicht nur, dass dieses keine Kita im klassischen Sinne, sondern eine Betreuungseinrichtung für Kinder mit Förderschwerpunkt von drei bis sechs Jahren darstellt, zeigen auch die Werte der Tageslastgänge im Vergleich zu den übrigen Werten Auffälligkeiten. Dabei fällt besonders auf, dass die Tageslastgänge am Jahresanfang und am Jahresende viele Nullen aufweisen und somit der Strombedarf im Winter wesentlich geringer ist als im Sommer, obwohl in diesen Zeiten die Viertelstundenwerte in der Regel größer Null sind (siehe Daten-CD¹⁰¹). Dies ist üblicherweise anders. Der Strombedarf ist normalerweise durch die Dunkelheit und das

¹⁰¹ Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Kitas/Ausgangssituation/RLP HLH_Strom_Ausgangssituation.xlsx.

dadurch häufiger benötigte elektrische Licht sowie den zusätzlichen Strombedarf für die Heizungsanlage höher. Dass dies beim HLH nicht der Fall ist und der Stromverbrauch im Sommer wesentlich höher ist als im Winter, könnte möglicherweise durch das Vorhandensein einer Klimaanlage erklärt werden.

Bei Betrachtung der normierten Tagesverläufe des HLHs zeigen diese, abgesehen von höheren Schwankungen und einem bei niedrigeren Werten verlaufenden Lastgang, einen ähnlichen Verlauf und die charakteristischen Anstiege zu den gleichen Zeitpunkten, wie die übrigen Kitas (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11).

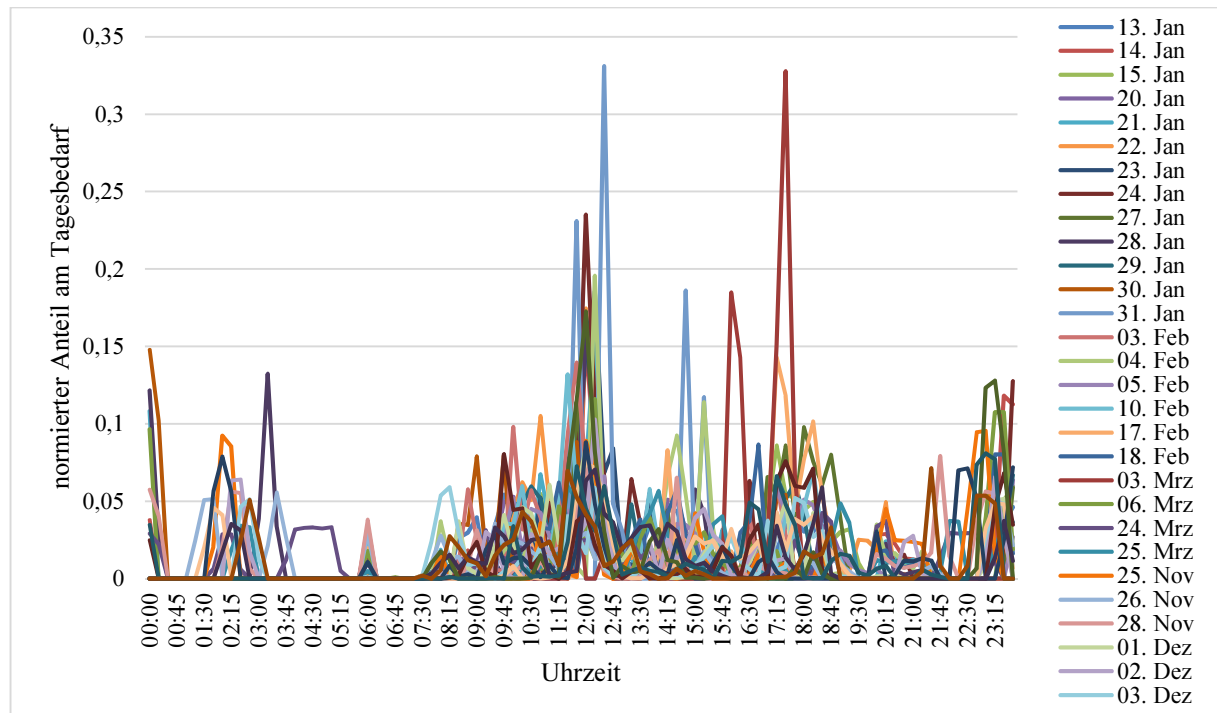


Abbildung 10: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WW; HLH

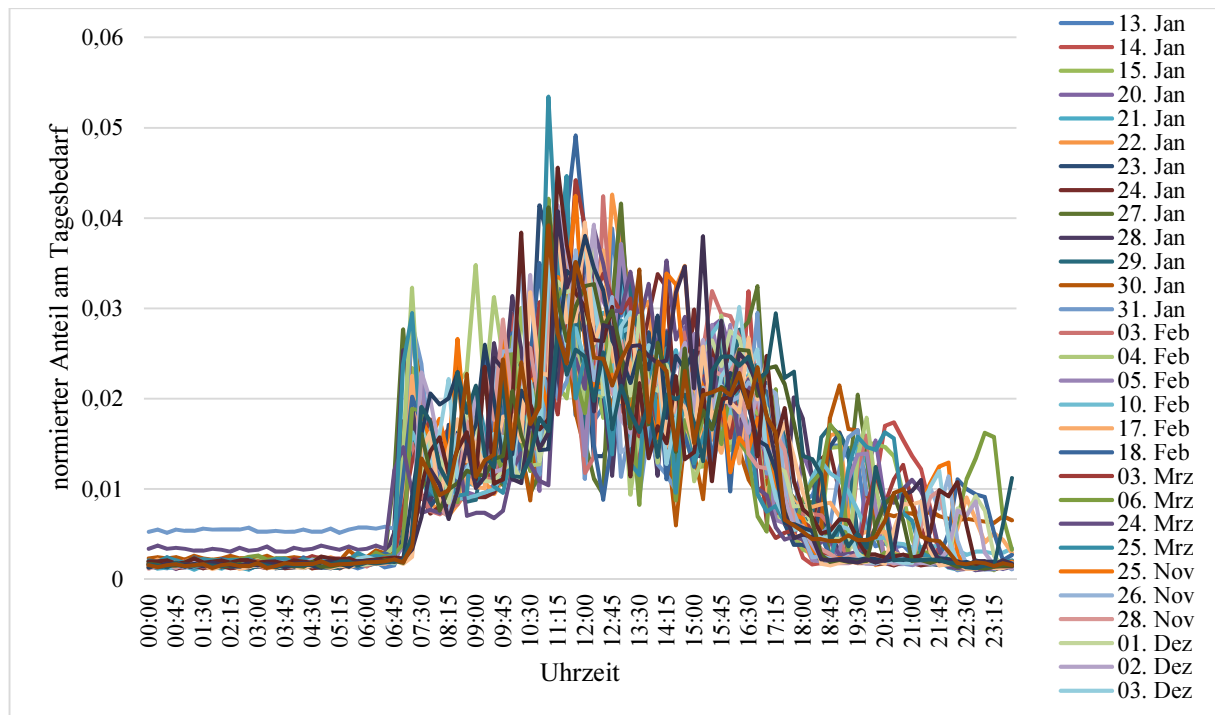


Abbildung 11: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WW; KiZ 7

Beide Abbildungen zeigen einen Anstieg des Bedarfs während der Nutzungszeit von morgens bis in die frühen Abendstunden, wobei der Verbrauch nachmittags gegenüber den Vormittagen absinkt.

Aus diesem Grund und der Tatsache, dass für den Schultyp Kitas nur wenige Datensätze unterschiedlicher Kitas vorliegen, werden die Daten des HLHs zunächst in die weitere Auswertung einbezogen. Bei dem in Kapitel 4.5.1.2 folgenden Vergleich zwischen den unterschiedlichen Kitas und der Auswahl des endgültigen RLPs je Typtagkategorie für Kitas werden die Werte des HLHs kritisch betrachtet. Treten diese als Ausreißer in Erscheinung und nehmen somit Einfluss auf das Durchschnittsprofil, werden sie aussortiert.

Eine weitere Besonderheit bei der Analyse der Tageslastgänge für jede Typtagkategorie und Schule zeigt sich innerhalb der Kategorie der Ferien. Ein Teil der Werte zeigt hier den typischen Verlauf für einen Werktag mit dem charakteristischen Anstieg am Morgen, der sich nachmittags verringert und am Abend das Ende der Nutzung zeigt und auf die Grundlast zurückfällt. Der zweite Teil der Werte zeigt den für Wochenenden oder Feiertage typischen Verlauf, der konstant über den Tag bei der Grundlast verläuft (siehe Abbildung 12).

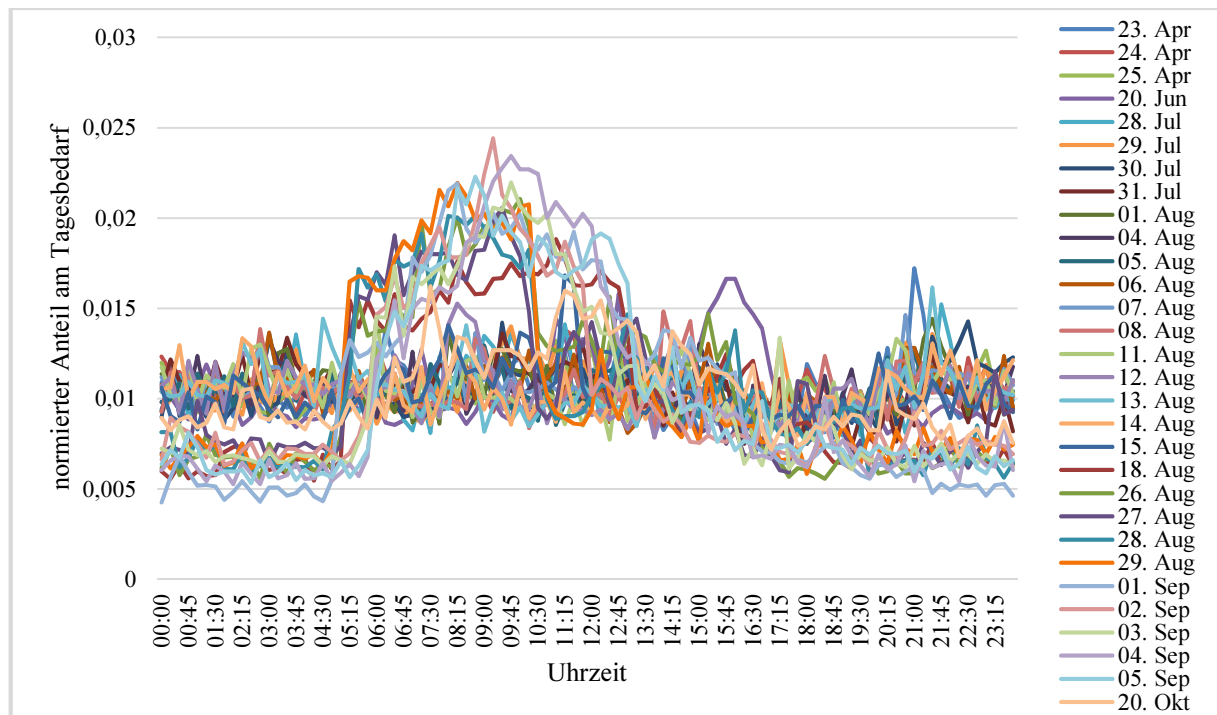


Abbildung 12: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie SF; Bettinaschule

Dies zeigt, dass Schulen und Kitas auch an manchen Tagen innerhalb der Ferien genutzt werden und nicht zwingend einen konstanten Strombedarf aufweisen. Somit können die als Ferien kategorisierten Lastgänge teilweise den Werktagen und teilweise den Wochenenden zugeordnet werden. Es gibt jedoch auch Fälle, bei denen die Ferien komplett den für Wochenenden typischen, konstanten Verlauf zeigen. Somit ist eine pauschale Aussage bezüglich der Ferientage und der in Kapitel 4.4.1 aufgeworfenen Frage, ob diese der Wochenendkategorie zugeordnet werden können, nicht möglich. Die Ferientage können zwar im Nachgang je nach charakteristischen Merkmalen der jeweiligen Kategorie zugeordnet werden, eine Zuordnung von Beginn an und damit der Wegfall der drei Ferienkategorien ist jedoch nicht möglich.

Aus diesem Grund werden die Ferientyptagkategorien beibehalten und es werden alle Werte in der Kategorie belassen. Abhängig davon, welche der beiden Gruppen an Werten innerhalb der Typtagkategorie überwiegt, werden als repräsentative Lastgänge mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil Lastgänge aus der einen oder der anderen Datengruppe ermittelt. Diese Besonderheit ergibt sich ebenfalls bei der Auswertung in Kapitel 4.5.1.2 und somit bei der Wahl des für den jeweiligen Schultyp repräsentativen Tageslastgangs. Wie damit umgegangen wird, wird in Kapitel 4.5.1.2 erläutert.

Nach der Analyse der Lastgänge und dem Aussortieren der Ausreißer werden jeweils die beiden Tageslastgänge mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil je Gebäude und Typtagkategorie bestimmt. Durch dieses Vorgehen wird vermieden, dass einzelne Gebäude das Gesamtergebn besonders beeinflussen. Wie Abbildung 13 zeigt, würde ohne diese Vorgehensweise beispielsweise das HLH in der Kategorie ÜF bei den Kitas stark dominieren.

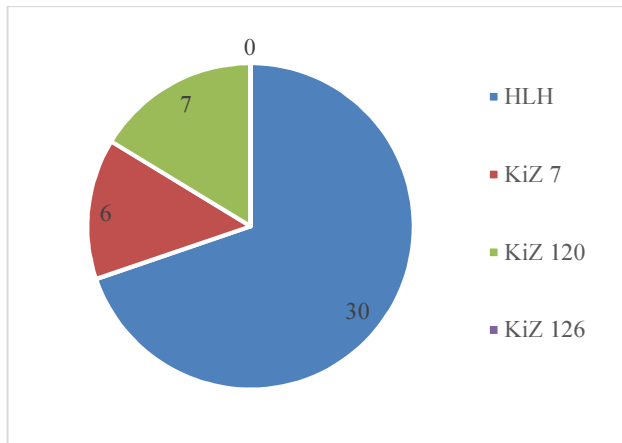


Abbildung 13: Anzahl der Tage in der Typtagkategorie ÜF für Kitas

4.5.1.2 Auswertung der repräsentativen Tageslastgänge aller Gebäude des gleichen Typs für Strom

Nach der Auswertung in Kapitel 4.5.1.1 stehen für jedes der Gebäude bis auf einige Ausnahmen zwei repräsentative Tageslastgänge zur Verfügung. Dadurch ergeben sich in der Regel bei den Grundschulen zwölf, bei den weiterführenden Schulen zehn und bei den Kitas acht Datensätze je Typtagkategorie.

Die Tagessumme der Strombedarfe variiert dabei stark von Schule zu Schule innerhalb einer Typtagkategorie (siehe Daten-CD¹⁰²). Durch die Normierung der Datensätze sind die Unterschiede in der Höhe der Tagessummen jedoch nicht relevant, da nur die relativen Werte betrachtet werden und somit die Daten der unterschiedlichen Schulen untereinander vergleichbar sind.

Als endgültiges RLP für einen Schultyp und eine Typtagkategorie wird schließlich ebenfalls der Tageslastgang der normierten Werte herangezogen, um zu zeigen welcher prozentuale Anteil des Tagesbedarfs zu welcher Tageszeit anfällt.

Bei der Auswertung der Tageslastgänge der unterschiedlichen Schulen eines Schultyps zeigt sich generell eine stärkere Streuung der Werte als innerhalb einer Typtagkategorie einer Schule. Dies ergibt sich daraus, dass bei den Schulen nicht zwingend zur gleichen Zeit der Schulbeginn, die Pausen und das Schulschluss stattfinden. Trotzdem zeigen die meisten Tageslastgänge einen ähnlichen Verlauf, da diese Ereignisse an allen Schulen stattfinden und sich charakteristisch im Tageslastgang zeigen.

Analog der in Kapitel 4.5.1.1 beschriebenen Vorgehensweise für ein Gebäude werden nun die Tageslastgänge der verschiedenen Schulen eines Schultyps miteinander verglichen und ebenfalls hinsichtlich Ausreißern untersucht.

Bei diesem Schritt fallen besonders die Unterschiede zwischen den Gebäuden ins Gewicht. Da das Ziel dieser Arbeit die Herausstellung charakteristischer Merkmale eines bestimmten Schultyps ist, werden diese Ausreißer identifiziert und solche Datensätze, die lediglich

¹⁰² Z.B. Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Grundschulen/RLP Grundschulen Strom.xlsx.

charakteristisch für ein bestimmtes Gebäude sind, aussortiert, sodass sie das Gesamtergebnis nicht beeinflussen.

Dabei fallen erneut die Werte der Kitas aufgrund des darin erhaltenen HLHs auf (siehe Kapitel 4.5.1.1). Abbildung 14 zeigt die normierten Tageslastgänge der Kitas für Winterwochenendtage.

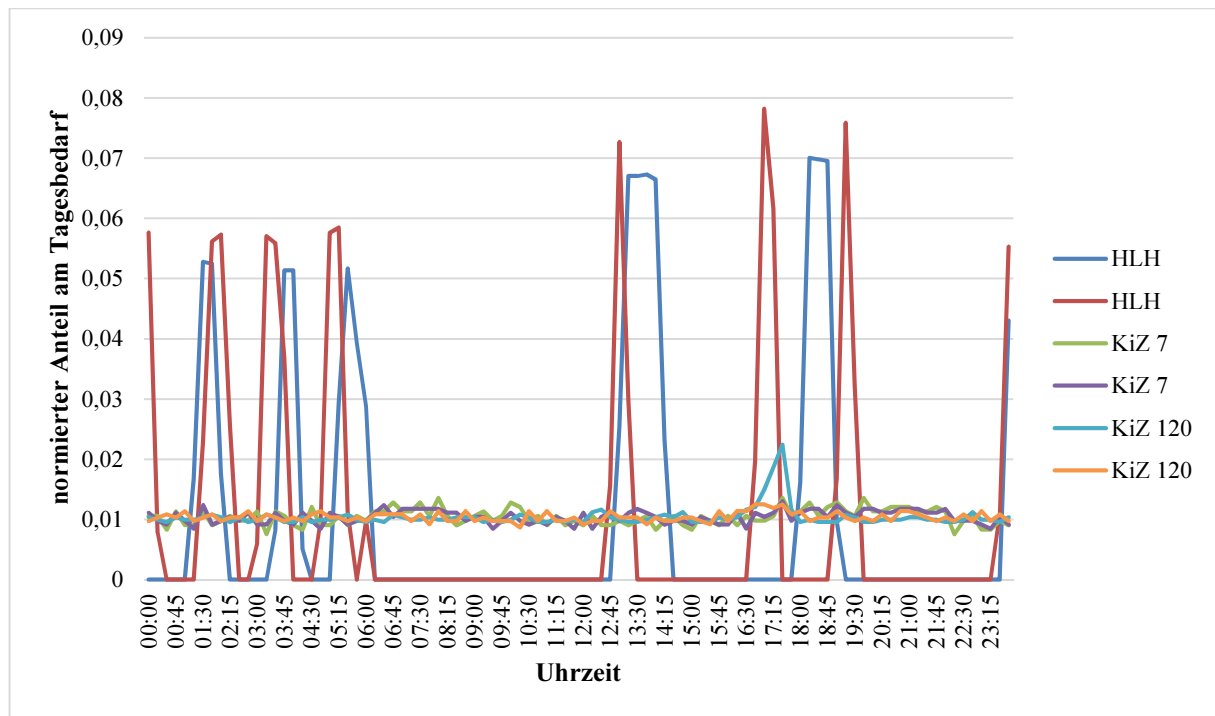


Abbildung 14: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WS; Kitas

In dem dargestellten Beispiel schwanken die Werte des HLHs am stärksten, weisen jedoch grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf wie die übrigen Werte auf, da sie ebenfalls um einen konstanten Wert schwanken. In diesem Fall werden die Werte in der Auswertung belassen, da das repräsentative Profil letztendlich ein Lastgang einer anderen Schule ist.

Auch in der Kategorie WW der Kitas fällt das HLH deutlich auf (siehe Daten-CD¹⁰³). Durch die Normierung der Werte haben die häufig auftretenden Nullwerte nicht mehr einen so großen Einfluss auf die übrigen Werte und es sind bei Betrachtung der normierten Kurvenschar keine Ausreißer ersichtlich. Doch die Werte des HLH zeigen deutliche Abendspitzen, die die übrigen Kitas nicht aufweisen (siehe Daten-CD¹⁰⁴). Somit wird dieses Charakteristikum nicht als repräsentativ für Kitas angesehen und die Werte der HLH aus der weiteren Auswertung genommen.

Auch hier wird, wie die beiden Beispiele zeigen und wie bereits in Kapitel 4.5.1.1 beschrieben, eine Einzelfallentscheidung je nach Art der Auffälligkeit der Tageslastgänge einzelner Schulen vorgenommen.

Eine weitere bereits erläuterte Besonderheit zeigt sich wieder innerhalb der Ferienkategorie (siehe Abbildung 15). In diesem Fall wurde kein Lastgang aussortiert, da beide Arten von

¹⁰³ Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Kitas/RLP Kitas Strom Ausgangssituation.xlsx/Arbeitsblatt „WW“.

¹⁰⁴ Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Kitas/RLP Kitas Strom.xlsx/Arbeitsblatt „WW“.

Lastgängen innerhalb der Ferien zutreffen können. Bei der Ermittlung desjenigen mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil wird in diesem Fall ein konstanter Lastgang ausgewählt, da diese Gruppe an Lastgängen zahlenmäßig innerhalb der Auswertung überwiegt. Generell wäre jedoch auch ein Tageslastgang mit einem werktagtypischen Verlauf denkbar.

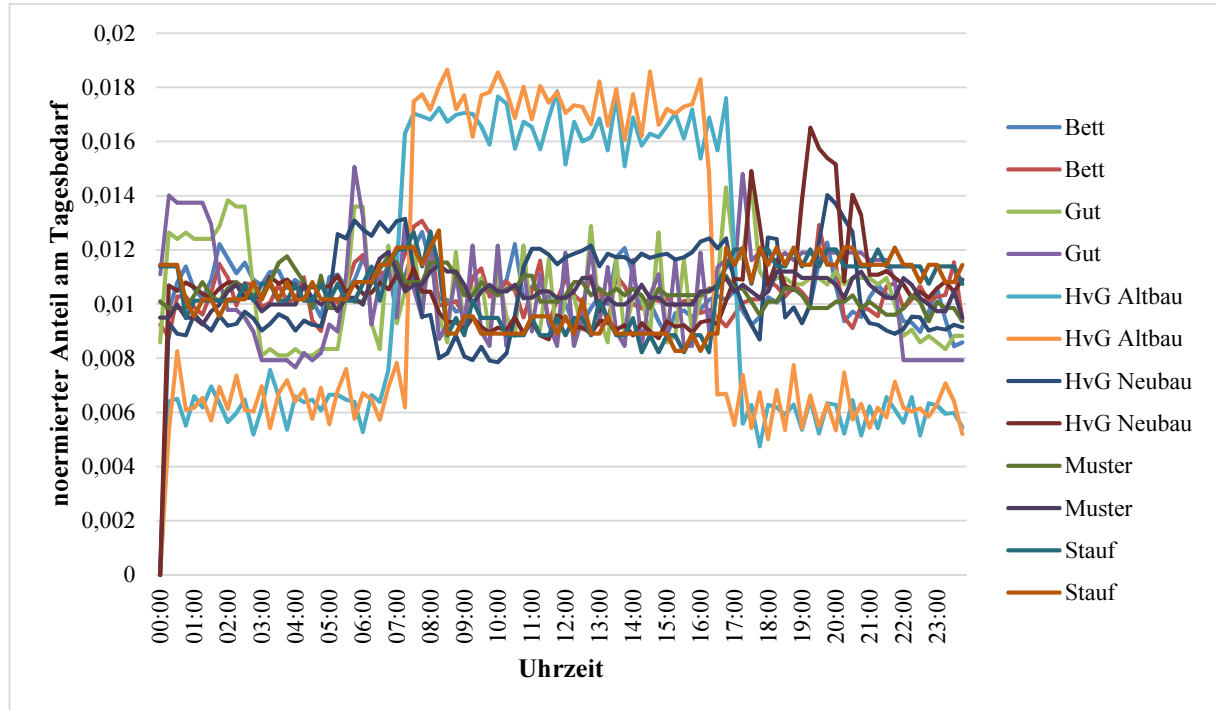


Abbildung 15: Normierte Tageslastgänge des Strombedarfs der Typtagkategorie WF; weiterführende Schulen

Bei allen Schulformen bedeutet die Auswahl des repräsentativsten Lastgangs über die beste Annäherung an den Mittelwert tendenziell eine Bevorzugung von Tageslastgängen mit geringeren Sprüngen. Schulgebäude mit besonders schwankenden Lastgängen werden somit weniger berücksichtigt.

Nach der an dieser Stelle der Arbeit nochmals ausführlich dargelegten Vorgehensweise zur Ermittlung und Auswahl der repräsentativen Tageslastgänge werden für jeden der Schultypen und jede Typtagkategorie die RLPs ermittelt und zusammengefasst (siehe Daten-CD¹⁰⁵).

Als RLP gilt dabei der Tageslastgang der normierten Werte ohne Berücksichtigung der Tagessumme des Strombedarfs. Die RLPs lassen somit keine Aussage über die Höhe der Tagessumme zu, sondern zeigen lediglich die charakteristische Verteilung der benötigten Strommenge über den Tag. Diese Art der Darstellung ist für die Arbeit zielführend, da die Tagessumme in Abhängigkeit der Art und Größe der Schule und der vorhandenen elektrischen Geräte stark variiert und in Bezug auf die Höhe der Tagessumme keine pauschale Aussage möglich ist.

¹⁰⁵ Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Kitas/RLP Kitas Strom.xlsx; Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Grundschulen/RLP Grundschulen Strom.xlsx; Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/weiterführende Schulen/RLP weiterf. Schulen Strom.xlsx.

4.5.2 Auswertung der Referenzlastprofile für Strom

Bei den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten RLPs handelt es sich um typische Lastgänge, die Merkmale enthalten, welche für die betreffenden Schultypen und die jeweilige Typtagkategorie charakteristisch sind.

Die RLPs lassen aufgrund der Normierung der Datensätze keine Aussage über die absolute Höhe des Stromverbrauchs am Tag zu. Diese unterscheidet sich von Schule zu Schule erheblich und eine Vergleichbarkeit ohne Normierung der Daten wäre nicht möglich. Die normierten Viertelstundenwerte geben an, welcher prozentuale Anteil der Tagessumme zu diesem Zeitpunkt des Tages anfällt.

Dennoch werden an dieser Stelle einige Aussagen bezüglich der Höhe der Tagessummen getroffen, die sich aus der Analyse der Daten ergeben haben, jedoch nicht direkt aus den RLPs ablesbar sind.

Bei allen untersuchten Schulgebäuden und Kitas ist der Stromverbrauch im Winter deutlich höher als im Sommer (siehe Anhang F). Die Tagessumme im Winter beträgt in den meisten Fällen das 1,1 bis 1,5-fache der Tagessumme im Sommer. Bei der EKS und dem HvG verdreifacht sich der Stromverbrauch sogar im Winter gegenüber den Sommermonaten. Die einzige Ausnahme stellt hierbei das HLH dar. Hier ist der Wert im Sommer deutlich höher als im Winter, was, wie bereits in Kapitel 4.5.1.1 erläutert, auf eine Klimaanlage zurückzuführen sein könnte.

In den übrigen Fällen bestätigen die untersuchten Daten die Vermutung, dass der Stromverbrauch im Winter höher ist als im Sommer. Dies ist vor allem auf die Dunkelheit und das dadurch im Winter vermehrt benötigte elektrische Licht zurückzuführen, welches den Hauptanteil am Stromverbrauch ausmacht (siehe Kapitel 3.1). Die vermehrte Nutzung lässt sich somit direkt in der Tagessumme erkennen.

Weiterhin zeigt der Vergleich zwischen dem durchschnittlichen Stromverbrauch je Typtagkategorie (siehe Anhang F), dass der Stromverbrauch an Werktagen deutlich höher ist als an den Wochenenden und in den Ferien. An Werktagen mit gewöhnlicher Nutzung der Schulgebäude wird durchschnittlich das 2,5-fache an Strom verbraucht wie an Wochenendtagen, wo in der Regel lediglich die Grundlast anfällt. Der Verbrauch ist an Ferientagen durchschnittlich höher als an Wochenendtagen, da während dieser, wie auch die Auswertung der Tageslastgänge gezeigt hat (siehe Kapitel 4.5.1.1), teilweise eine Nutzung der Schulgebäude stattfindet. Dies bestätigen auch die Verläufe der ausgewählten RLPs je Typtagkategorie für die unterschiedlichen Schultypen.

Die unterschiedlichen Tagesverläufe des Strombedarfs von typischen Werktagen, Wochenendtagen sowie Ferientagen werden beispielhaft anhand des Schultyps weiterführende Schulen erläutert (siehe Abbildung 19, Abbildung 17, Abbildung 19). Die übrigen ermittelten RLPs für jede Typtagkategorie eines jeden Schultyps sind in Anhang G dargestellt. Die RLPs erheben keinen Anspruch, dass der Verlauf des Strombedarfs jeder Schule dem entwickelten Profil entspricht. Sie bieten vielmehr eine Hilfe zur Abschätzung des Bedarfs sowie zum Aufzeigen typischer Charakteristika und sind repräsentativ für den Durchschnitt des jeweiligen Schultyps.

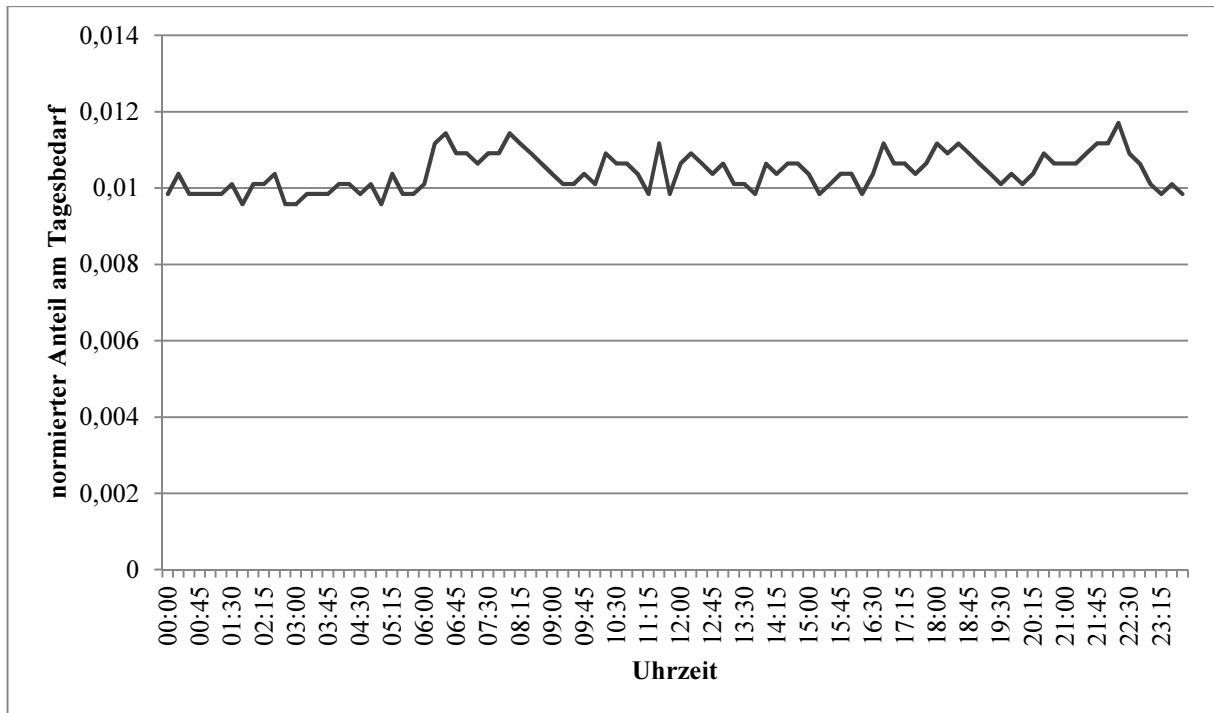


Abbildung 16: RLP Strom weiterführende Schulen, Typtagkategorie WS

An Wochenend- und Feiertagen verteilt sich die Tagessumme konstant über den gesamten Tag und es treten in der Regel keine Lastspitzen auf. Zu jeder Tageszeit wird circa 1% des Tagesbedarfs benötigt (siehe Abbildung 16). Diese konstante Belastung ergibt sich durch die Grundlast, die durch dauerhaft an das Stromnetz angeschlossene elektrische Geräte erzeugt wird. Wie hoch diese Grundlast ist, hängt von der Anzahl und Art der Geräte sowie der Jahreszeit ab und variiert von Schule zu Schule.

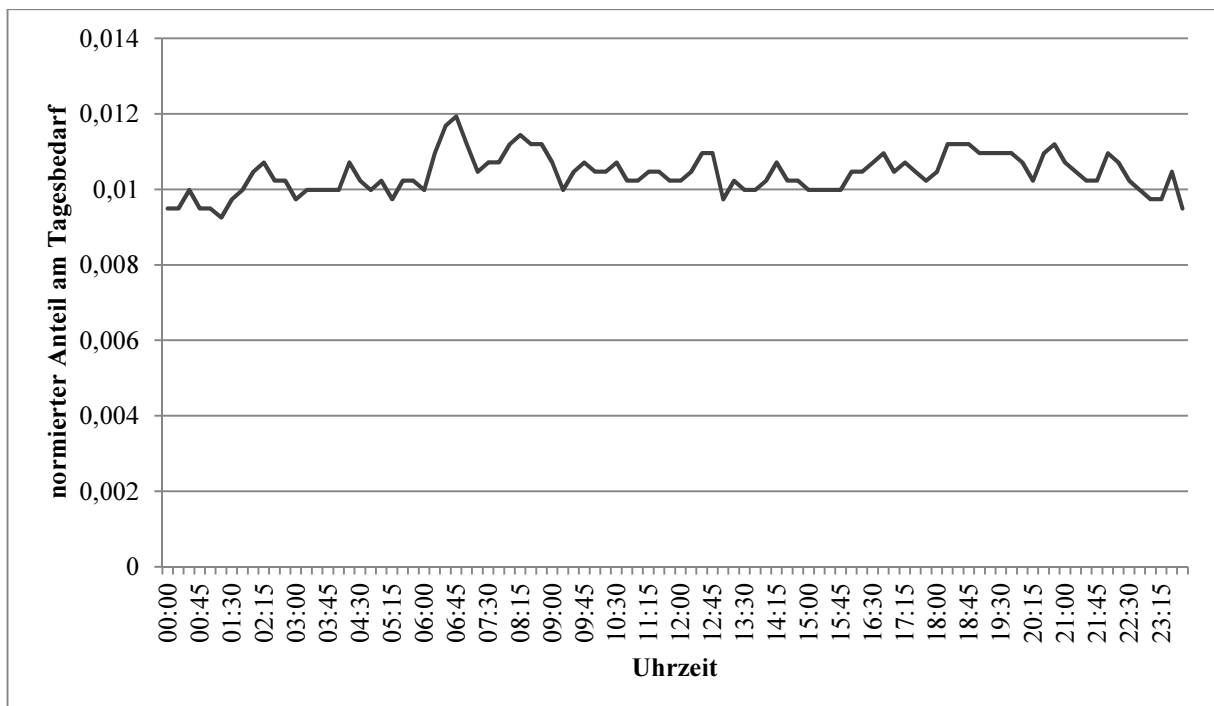


Abbildung 17: RLP Strom weiterführende Schulen, Typtagkategorie WF

Auch in den Ferien ergibt sich in der Regel der gleiche konstante Verlauf der Bedarfe wie an den Wochenenden, welcher als repräsentativ für die Grundlast des Schulgebäudes angesehen wird (siehe Abbildung 17). Dennoch ergibt sich in den Ferien im Durchschnitt ein erhöhter Verbrauch gegenüber den Wochenenden. Wie bereits bei der Auswertung der Tageslastgänge für die einzelnen Schulgebäude erläutert, weisen einige Tage innerhalb der Ferien auch ein nicht konstantes Profil auf, das dem Verlauf von Werktagen ähnelt (siehe Abbildung 18).

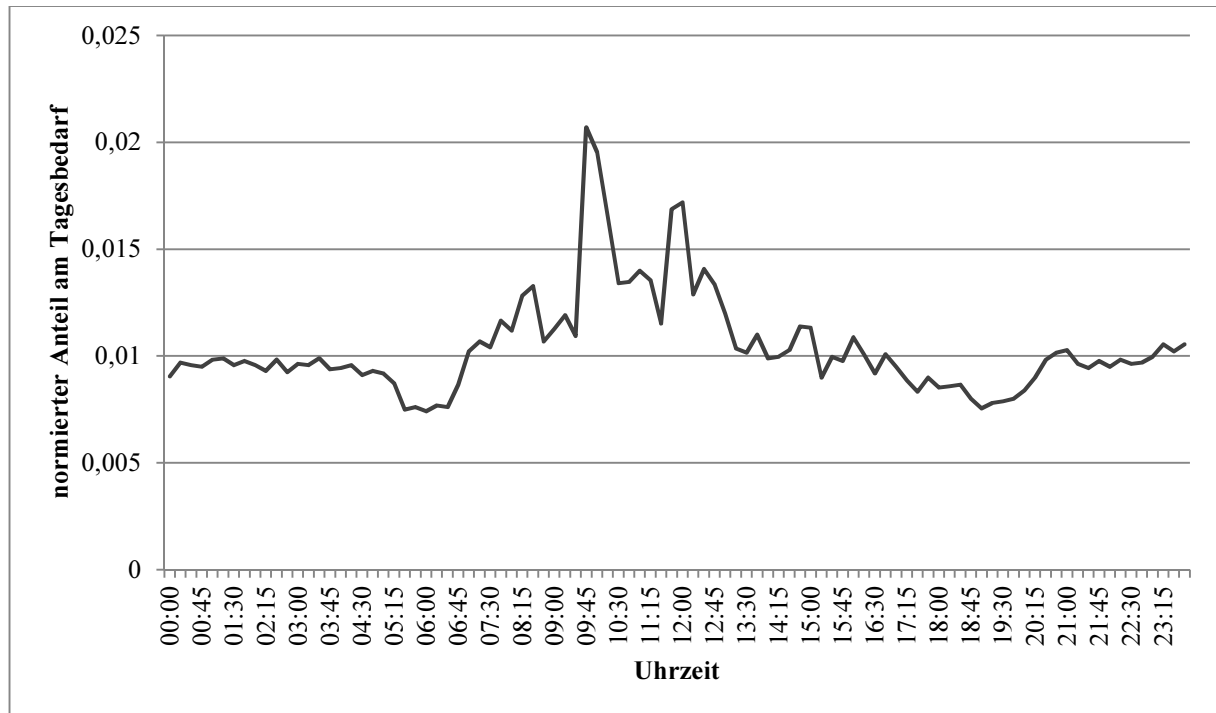


Abbildung 18: RLP Strom Grundschulen, Typtagkategorie WF

An wie vielen Tagen innerhalb der Ferien eine Nutzung stattfindet, variiert ebenfalls von Schule zu Schule, weshalb keine pauschale Aussage in Bezug auf den prozentualen Anteil an Tagen mit und ohne Nutzung getroffen werden kann. In manchen Schulen findet gar keine Nutzung während der Ferien statt und es verlaufen alle Tageslastgänge konstant (siehe Daten-CD¹⁰⁶). Um den Strombedarf in den Ferien abzuschätzen, muss von dem Anwender der Profile individuell bestimmt werden, an wie vielen Tagen in der Ferienzeit eine Nutzung stattfindet, um für diese Tage das nicht konstante RLP heranzuziehen.

In den Typtagkategorien für Werktage zeichnet sich, wie bereits in Kapitel 4.5.1.1 erläutert, der Verlauf des Schultages ab (siehe Abbildung 19).

¹⁰⁶ Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Kitas/aussortiert/RLP KiZ 7_Strom.xlsx/Arbeitsblätter „WF“; „ÜF“; „SF“.

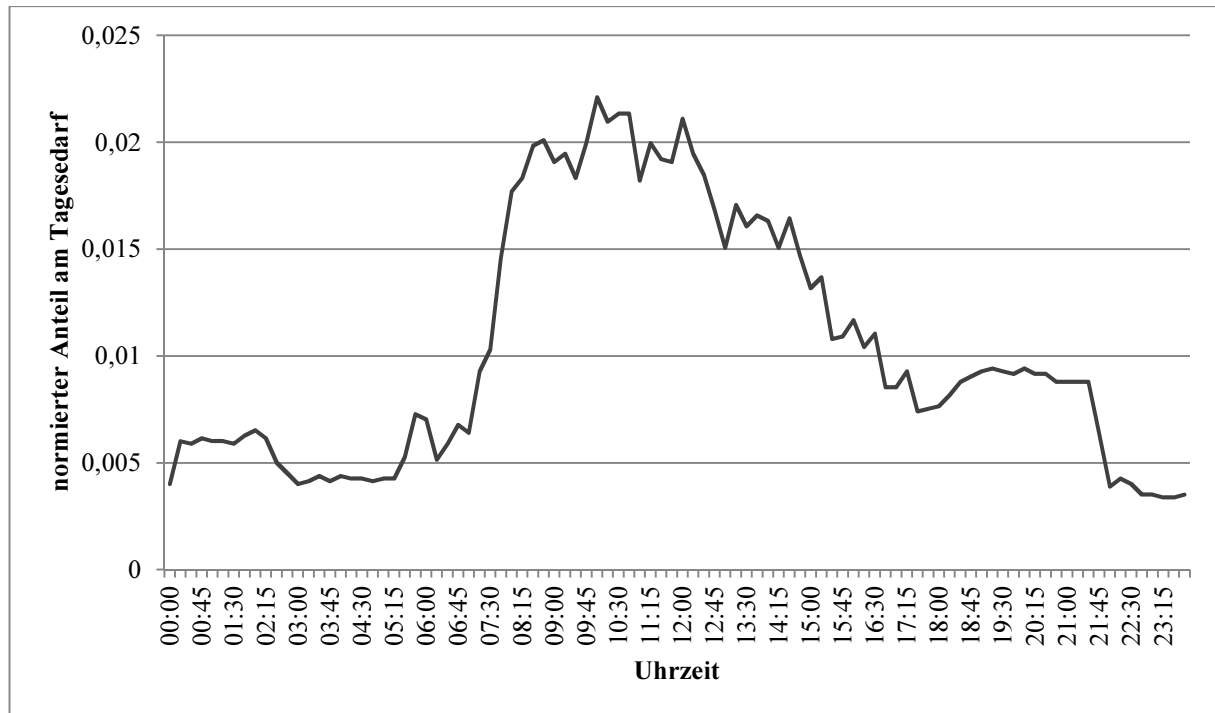


Abbildung 19: RLP Strom weiterführende Schulen, Typtagkategorie ÜW

Aussagen bezüglich der genauen Uhrzeit der charakteristischen Ereignisse werden an dieser Stelle vernachlässigt, da nicht alle Schulen die gleichen Uhrzeiten für Pausen sowie Schulbeginn und -ende aufweisen. Pauschale Aussagen, die sich aus den RLPs ableiten lassen, können jedoch getroffen werden und sind vom Anwender, entsprechend den Zeiten seiner Schule, zeitlich einzuordnen.

Morgens zu Schulbeginn steigt der Wert von der Grundlast zur Spitzenlast an, die über den Vormittag mit kleineren Schwankungen verläuft. Nach dem ermittelten RLP für weiterführende Schulen beträgt die Spitzenlast für Übergangswerktage circa das Vierfache der Grundlast.

Nach den ersten beiden Schulstunden sowie nach der vierten Schulstunde zeigen sich im Verlauf deutlich die großen Pausen, in denen der Strombedarf gegenüber den Schulstunden abfällt. Auch die kleinen Pausen sind im Tagesverlauf erkennbar, jedoch ergeben sich hierbei geringere Einbrüche im Verlauf als bei den großen Pausen, in denen der Strombedarf deutlich zurückgeht. Da sich der Großteil des Strombedarfs durch die Beleuchtung ergibt, ist dieser Verlauf sehr gut nachvollziehbar. Am Morgen, zu Schulbeginn, kommen die Nutzer in die Gebäude und schalten Lichter und sonstige Geräte wie Drucker, Computer und Kopierer ein, weshalb hier ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen ist. In den großen Pausen kann in den Klassenräumen das Licht ausgeschaltet werden, wodurch der Strombedarf deutlich zurückgeht.

Nach der sechsten Schulstunde gegen Mittag, ist ein deutlicher Rückgang von 2% auf 1,5% zu verzeichnen, da zu dieser Zeit das Schulleben für einen Teil der Schüler stattfindet und somit nicht mehr alle Klassenräume benötigt werden. Am Nachmittag fällt der Strombedarf ab und beträgt noch etwas mehr als die Hälfte des Bedarfs am Vormittag. Auch hier lassen sich deutlich die einzelnen Schulstunden erkennen und durch den stetigen Rückgang des Bedarfs auch die immer geringere Nutzung am Nachmittag bis schließlich gegen Abend nach Schullende der geringste Strombedarf während der gesamten Nutzungszeit am Tag auftritt.

Dieser liegt nur geringfügig über der Grundlast. Später am Abend tritt nochmals eine Spitze auf, die ungefähr doppelt so hoch ist wie die Grundlast. Diese ergibt sich durch die Nutzung der Turnhalle für Sportkurse, oder der Klassenräume für Elternabende oder andere Kurse. Da alle der untersuchten Schulgebäude, außer den Kitas, eine Turnhalle besitzen, wurde die Abendspitze als repräsentativ für die untersuchten Schultypen Grundschulen und weiterführende Schulen angesehen. Besitzt eine Schule keine Turnhalle, darf die Abendspitze keine Berücksichtigung finden. Stattdessen ist ein konstant fallender Verlauf vom Schulende bis zur Grundlast am späten Abend anzunehmen. Nach dieser zweiten Tagesspitze fällt der Strombedarf am späten Abend nach Nutzungsende auf die Grundlast zurück, wo er über Nacht konstant verläuft.

Im vorherigen Abschnitt wurden zunächst die generellen Charakteristika erläutert, die sich aus den RLPs ergeben. Im nächsten Schritt werden die Werktage der unterschiedlichen Schultypen miteinander verglichen, um diese gegeneinander abzugrenzen und die Einteilung in die drei Kategorien Grundschulen, weiterführende Schulen und Kitas zu überprüfen.

Bei den Grundschulen zeigt sich, wie auch bei den weiterführenden Schulen, zu Schulbeginn ein deutlicher Anstieg von der Grundlast zur ersten Spitze (siehe Abbildung 20).

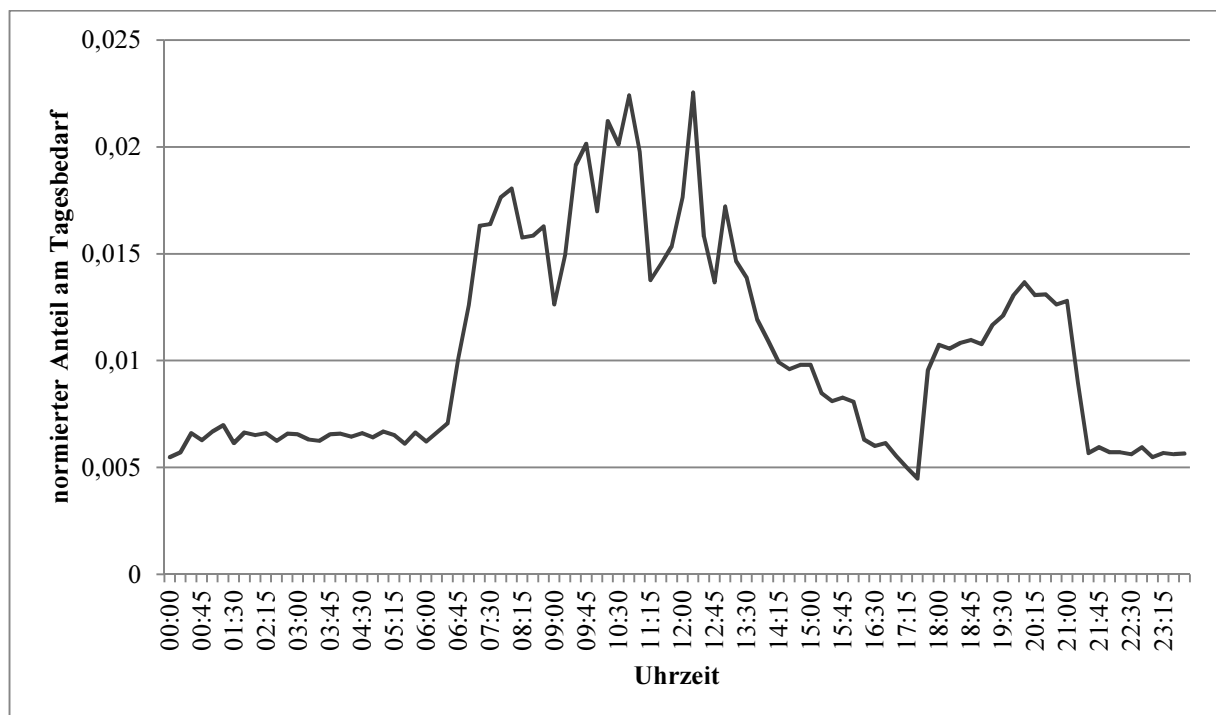


Abbildung 20: RLP Strom Grundschulen, Typtagkategorie SW

Auch hier zeichnen sich die einzelnen Schulstunden mit den kleinen und großen Pausen durch deutliche Rückgänge im Strombedarf ab. Im Gegensatz zu den weiterführenden Schulen zeigt sich bei den Grundschulen das Schulende nach der sechsten Stunde um die Mittagszeit deutlicher, durch einen stärkeren Rückgang des Strombedarfs. Dies entspricht der Annahme bei der Kategorisierung der Daten, dass bei Grundschulen die hauptsächliche Nutzung vormittags stattfindet und in der Regel nachmittags kein Unterricht gehalten wird. Nach dem Schulende gegen 13 Uhr sinkt der Strombedarf über den Nachmittag bis auf die Grundlast zurück. Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Grundschulen besitzen alle eine Turnhalle, deren Nutzung am Abend zu einer weiteren Spitze im RLP führt. Ist an einer Grundschule

keine Turnhalle vorhanden, muss stattdessen ein konstanter Strombedarf in Höhe der Grundlast angenommen werden.

Somit weist das Profil der Grundschulen gegenüber dem der weiterführenden Schulen Ähnlichkeiten am Vormittag sowie am Abend auf. Am Nachmittag unterscheiden sich die beiden Schultypen aufgrund der Nichtnutzung von Grundschulen.

Auch bei den Kitas zeichnet sich am Morgen, wie bei den beiden anderen Schultypen, deutlich der Beginn der Nutzungszeit ab (siehe Abbildung 21).

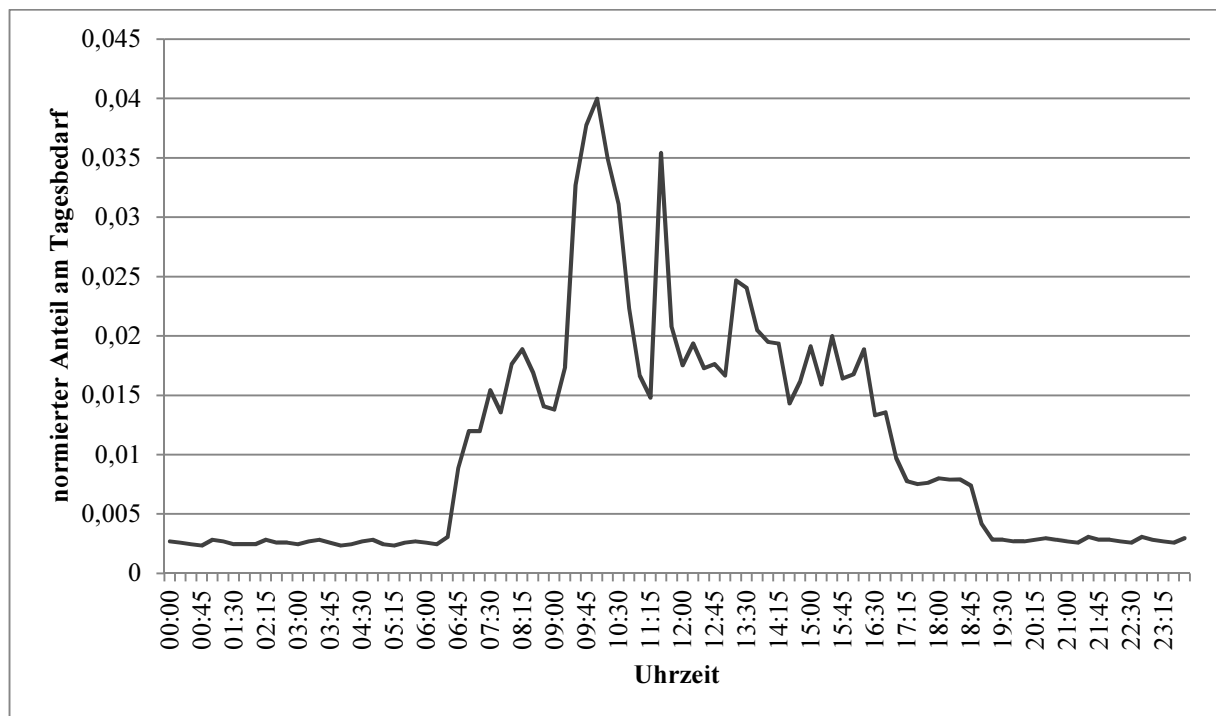


Abbildung 21: RLP Strom Kitas, Typtagkategorie WW

Am späteren Vormittag, gegen 9.30 Uhr, steigt der Stromverbrauch noch einmal erheblich zu seiner Spitzenlast an. Dies ist bei Kitas plausibel, da nicht alle Kinder zur selben Zeit kommen und am frühen Morgen weniger Kinder anwesend sind. Feste Zeiten, wie beispielsweise Schulstunden sind in Kitas nicht gegeben, dennoch ergeben sich Schwankungen im Strombedarf über den Vormittag hinweg, da der Strombedarf während der Nutzung nicht konstant ist. Ab der Mittagszeit ist der Strombedarf geringer als vormittags und schwankt über den gesamten Nachmittag relativ konstant um 1,7 % des Tagesbedarfs. Dies repräsentiert die Betreuungsformen der Kitas in Frankfurt a.M., die eine Betreuung nur vormittags oder ganztags anbieten.¹⁰⁷ Somit sind am Vormittag mehr Kinder in der Betreuungseinrichtung als am Nachmittag, weshalb sich der Strombedarf verringert. Am Abend, nach Nutzungsende, sinkt der Strombedarf auf die Grundlast zurück.

Die Kitas grenzen sich gegenüber den beiden anderen Schulformen ab. Während der Nutzungszeit, die länger andauert als bei den Schulen, besteht hier ein schwankend konstanter Bedarf. Eine Abendnutzung findet bei diesen Gebäuden in der Regel nicht statt.

¹⁰⁷ Vgl. Kita Frankfurt (2016).

Eine Besonderheit bei den ermittelten RLPs ergibt sich bei den Grundschulen in allen Wochenendtyp Tagen (siehe Abbildung 22 und Anhang G).

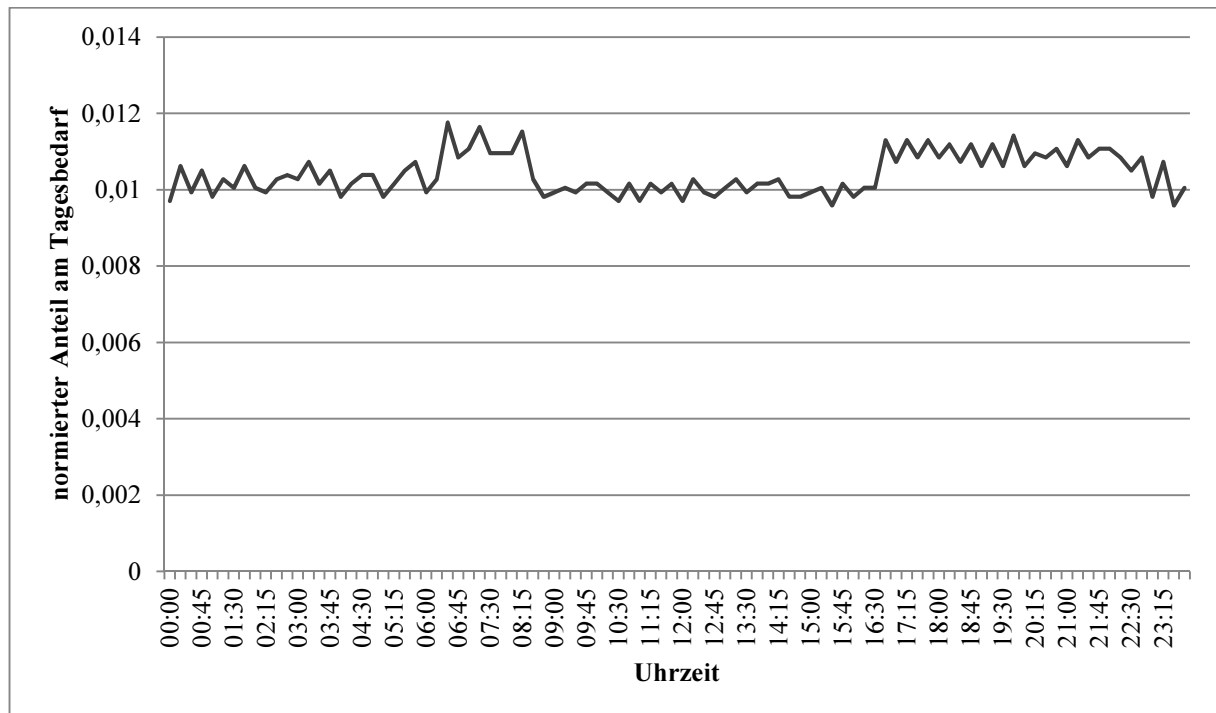


Abbildung 22: RLP Strom Grundschulen, Typtagkategorie WS

Das RLP verläuft, wie bei den beiden anderen Schultypen, ebenfalls konstant bei der Grundlast am späten Abend und über Nacht. Tagsüber, zu der Zeit zu der an Werktagen eine Nutzung stattfindet, sinkt der Strombedarf jedoch auf eine niedrigere aber ebenfalls konstant verlaufende Last ab, die ähnlich der Grundlast nur auf niedrigerem Niveau verläuft. Dies ist bei allen betrachteten Grundschulen der Fall (siehe Daten-CD¹⁰⁸), weshalb auch das RLP diese Eigenschaft aufweist. Eine mögliche Erklärung hierfür ist ein elektrisches Gerät, das nur nachts oder in Abwesenheit von Nutzern in Betrieb ist. Beispiel hierfür könnten eine nächtliche Beleuchtung der Gebäude oder eine Alarmanlage sein. Weisen die Gebäude, für die der Strombedarf durch Anwender der Profile abgeschätzt werden soll, solche Eigenschaften nicht auf, ist von einer konstanten Last über den gesamten Tag auszugehen. Diese Eigenschaft zeigt sich auch bei einigen anderen betrachteten Schulen (siehe Daten-CD¹⁰⁹). Da innerhalb einer Schulkategorie andere Schulen diese Eigenschaft nicht besitzen, ergibt sich dieser Tageslastgang durch die angewendete Methodik nicht als repräsentatives Profil.

4.5.3 Entwicklung der Referenzlastprofile für Gas

4.5.3.1 Auswertung der Tageslastgänge einer Typtagkategorie eines Gebäudes für Gas

Wie bereits bei der Entwicklung der RLPs für Strom erläutert, wird auch für die vorliegenden Tageslastgänge zum Heizwärmebedarf eine genaue Betrachtung der Datensätze innerhalb einer Typtagkategorie für jedes Gebäude getrennt vorgenommen.

¹⁰⁸ Rechnungen/Entwicklung RLP/Strom/Grundschulen/aussortiert.

¹⁰⁹ Z.B. Rechnungen /Entwicklung RLP/Strom/weiterführende Schulen/aussortiert/RLP EKS_Strom.xlsx.

Dabei werden die vorliegenden Lastgänge hinsichtlich auffälliger Daten analysiert. Wie auch bei den Stromdaten, werden Datensätze ausgeschlossen, die nicht in eine Typtagkategorie passen und innerhalb dieser deutliche Ausreißer darstellen (siehe Kapitel 4.5.1.1). Durch dieses Vorgehen können RLPs entwickelt werden, welche die typischen Charakteristika einer Typtagkategorie aufweisen und repräsentativ für diese und den jeweiligen Gebäudetyp sind.

Um solche Ausreißer zu identifizieren, werden die normierten Tageslastgänge innerhalb einer Typtagkategorie betrachtet. Ein Beispiel für einen solchen Ausreißer und das genaue Vorgehen wurden bereits in Kapitel 4.5.1.1 erläutert, weshalb an dieser Stelle darauf verzichtet wird.

Wie bereits in Kapitel 4.5.1.1, wird auch bei den Lastgängen des Heizwärmebedarfs jeweils eine Einzelfallentscheidung in Abhängigkeit davon getroffen, inwiefern die auffälligen Tageslastgänge das Durchschnittsprofil und damit die Auswahl des repräsentativen Tageslastgangs mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil beeinflussen. Weiterhin wird dabei berücksichtigt, inwiefern ein solcher, auffälliger Tageslastgang nicht die für diese Typtagkategorie typischen Charakteristika aufweist, welche die anderen Lastgänge in ihrem Verlauf zeigen.

Die Datensätze und deren Zuordnung zu den Typtagkategorien sowie die Normierung, Kumulierung und Auswertung dieser Lastgänge sind auf der Daten-CD¹¹⁰ beigefügt.

Im Gegensatz zu den Datensätzen für Strom kann bei den Daten für den Heizwärmebedarf nicht pauschal davon ausgegangen werden, dass es sich bei Tageslastgängen oder einer Periode über mehrere Tage, die komplett den Wert Null aufweisen, um einen Messfehler handelt. In solchen Fällen muss für den Einzelfall analysiert werden, ob es sich um einen Messfehler oder den tatsächlichen Heizwärmebedarf handelt, da diesbezüglich keine Angaben vorliegen. Weisen ein oder mehrere Tage im Winter einen Heizwärmebedarf von Null auf, wird in der Regel von einem Messfehler ausgegangen, da im Normalfall zu dieser Zeit ein Heizwärmebedarf besteht. Im Sommer, insbesondere in den Ferien und an den Wochenenden ist hingegen nicht von einem Heizwärmebedarf bzw. nur von einem sehr geringen auszugehen. Wird ein solcher Tageslastgang durch die Zuordnung nach der Außentemperatur, einer der Übergangskategorien zugeordnet, wird er in der Regel aussortiert. Innerhalb der Übergangskategorien fällt ein solcher Tageslastgang auf und wird als nicht repräsentativ für diese Kategorie angesehen.

Wie im jeweiligen Fall entschieden wird und welche Werte gefehlt haben bzw. als Ausreißer identifiziert und aussortiert wurden, ist in Tabelle A - 10 bis Tabelle A - 12 Anhang E dargestellt.

Tabelle 13 zeigt die Anzahl der Tage, die nach der Korrektur der Daten in die weitere Betrachtung eingehen und für die Auswahl des repräsentativen Tageslastgangs je Gebäude und Typtagkategorie zur Verfügung stehen.

¹¹⁰ Siehe dazu Daten-CD/ Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme. Der Unterordner „Ausgangssituation“ zeigt für jede Schule getrennt die Daten vor dem Auswerten nach Ausreißern, der Unterordner „aussortiert“ nach der Auswertung und somit die Daten, die für die weitere Betrachtung Verwendung finden.

Tabelle 13: Anzahl der auswertbaren Tageslastgänge je Gebäude und Typtagkategorie für Gas

Schule		Typtagkategorie								
		WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
Grundschulen	ABS	20	36	3	51	90	30	41	61	29
	ADS	19	34	3	41	77	24	33	51	26
	Boni	10	17	3	42	70	18	41	61	27
	Eichend	19	31	3	40	74	25	38	55	25
	EKS	19	33	3	42	78	29	38	60	26
	FFS	17	29	3	52	90	31	52	61	30
Weiterf. Schulen	Stauf	19	34	3	31	78	29	36	60	26
	Bettina	19	36	3	52	90	29	42	61	30
	Gutenberg	20	36	3	47	82	25	42	61	30
	HvG	19	36	3	52	90	31	42	61	30
	Muster	20	36	3	35	82	21	41	61	30
Kitas	HLH	20	36	3	51	90	31	42	61	30
	KiZ 7	20	36	3	36	114	7	42	81	10
	KiZ 120	2	0	0	2	5	0	1	0	0
	KiZ 126	Keine Werte vorhanden								

Dabei fällt besonders auf, dass wie auch schon bei den Tageslastgängen für Strom innerhalb der Kategorie WF, nur begrenzt Daten vorliegen, wodurch die statistische Belastbarkeit innerhalb dieser Typtagkategorie reduziert wird. Diese Kategorie macht nur einen kleinen Teil des Jahres aus, wohingegen die am häufigsten vorkommenden Kategorien ausreichend Tageslastgänge enthalten, sodass diese sehr gut belegt sind.

Weiterhin fallen die Daten des KiZ 120 auf. Für dieses liegen kaum Daten vor, sodass innerhalb einer Typtagkategorie teilweise keine oder nur ein oder zwei Tageslastgänge verbleiben. Diese werden durch die gewählte Vorgehensweise automatisch als die beiden repräsentativen Tageslastgänge für diese Typtagkategorie und dieses Gebäude bestimmt. Dabei ist jedoch fraglich, ob sie auch tatsächlich repräsentativ sind. Dennoch werden sie in der weiteren Betrachtung hinzugezogen. Bei der Auswertung aller Gebäude eines Typs (siehe Kapitel 4.5.3.2) werden sie kritisch betrachtet und bei Auffälligkeiten aussortiert und somit nicht weiter für die Ermittlung der RLPs berücksichtigt.

Durch die vollständig fehlenden Daten des KiZ 126 und die geringe Anzahl der Daten des KiZ 120 liegen für den Schultyp Kitas insgesamt sehr wenige Daten vor. Für die weitere Auswertung zur Bestimmung der RLPs für diesen Schultyp liegen dadurch in mehreren Typtagkategorien lediglich die Werte des HLHs und des KiZ 7 vor. Zusätzlich stellt das HLH, wie bereits erläutert, keine Kita im eigentlichen Sinne dar, wodurch die Qualität der RLPs weiter reduziert wird.

Bei der Auswertung und genaueren Betrachtung der Daten der einzelnen Schulen fällt auf, dass mehrere Schulen immer wieder die gleichen Werte bis auf die Nachkommastellen aufweisen. Dies erscheint für Messwerte, wie im vorliegenden Fall, zunächst eher ungewöhnlich.

Tabelle 14 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Werte der Tageslastgänge der ABS aus der Typtagkategorie WS, um dies zu verdeutlichen.

Tabelle 14: Ausschnitt der Tageslastgänge Typtagkategorie WS; ABS¹¹¹

Uhrzeit	19. Jan	25. Jan	26. Jan	01. Feb	02. Feb	22. Feb	02. Mrz
...	...	...	...	...	...	...	...
08:00	32,13	64,26	53,55	42,84	53,55	42,84	53,55
08:15	42,84	53,55	32,13	21,42	42,84	42,84	21,42
08:30	42,84	53,55	21,42	53,55	42,84	10,71	32,13
08:45	53,55	42,84	64,26	53,55	32,13	42,84	42,84
09:00	10,71	42,84	42,84	21,42	42,84	32,13	42,84
09:15	53,55	10,71	32,13	64,26	42,84	32,13	21,42
09:30	53,55	53,55	32,13	53,55	42,84	21,42	21,42
09:45	21,42	64,26	53,55	32,13	42,84	32,13	32,13
10:00	32,13	32,13	53,55	53,55	32,13	42,84	42,84
10:15	42,84	32,13	53,55	32,13	21,42	42,84	21,42
10:30	32,13	53,55	53,55	53,55	53,55	42,84	10,71
10:45	21,42	42,84	53,55	53,55	32,13	42,84	42,84
...	...	...	...	...	...	...	...

Neben der ABS weisen auch die Daten des HvG, der Eichendorffschule, der Musterschule, der Stauffenbergsschule sowie der Gutenbergschule (siehe Daten-CD¹¹²) diese Struktur auf.

Eine mögliche Erklärung für diese Auffälligkeit innerhalb der Daten könnte die Art der Datenerfassung darstellen. Werden die Wärmebedarfe mit Wärmemengenzählern erfasst, die eine Impulswertigkeit aufweisen, so werden lediglich Impulse an den Wärmemengenzähler weitergegeben, wenn der Heizwärmebedarf über dem Grenzwert für einen Impuls liegt.¹¹³

Die gemessenen Tageslastgänge bei diesen Schulen verlaufen jedoch trotzdem wie erwartet. An Werktagen findet während der Nutzungszeit ein Anstieg des Heizwärmebedarfs statt, während in der Nacht ein konstant niedrigerer Bedarf besteht (siehe Abbildung 23). An Wochenend- oder Ferientagen bleibt der Verlauf konstant und die Tagessumme ist geringer als an Werktagen (siehe Anhang F). Somit können die Daten in die weitere Bewertung einbezogen werden.

¹¹¹ Für die übrigen Daten, siehe Daten-CD/Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/aussortiert/RLP ABS_Wärme.xlsx.

¹¹² Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/aussortiert/RLP Eichend_Wärme.xlsx;
Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/aussortiert/RLP Gut_Wärme.xlsx;
Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/aussortiert/RLP HvG_Wärme.xlsx;
Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/aussortiert/RLP Muster_Wärme.xlsx;
Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/aussortiert/RLP Stauf_Wärme.xlsx.

¹¹³ Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 61.

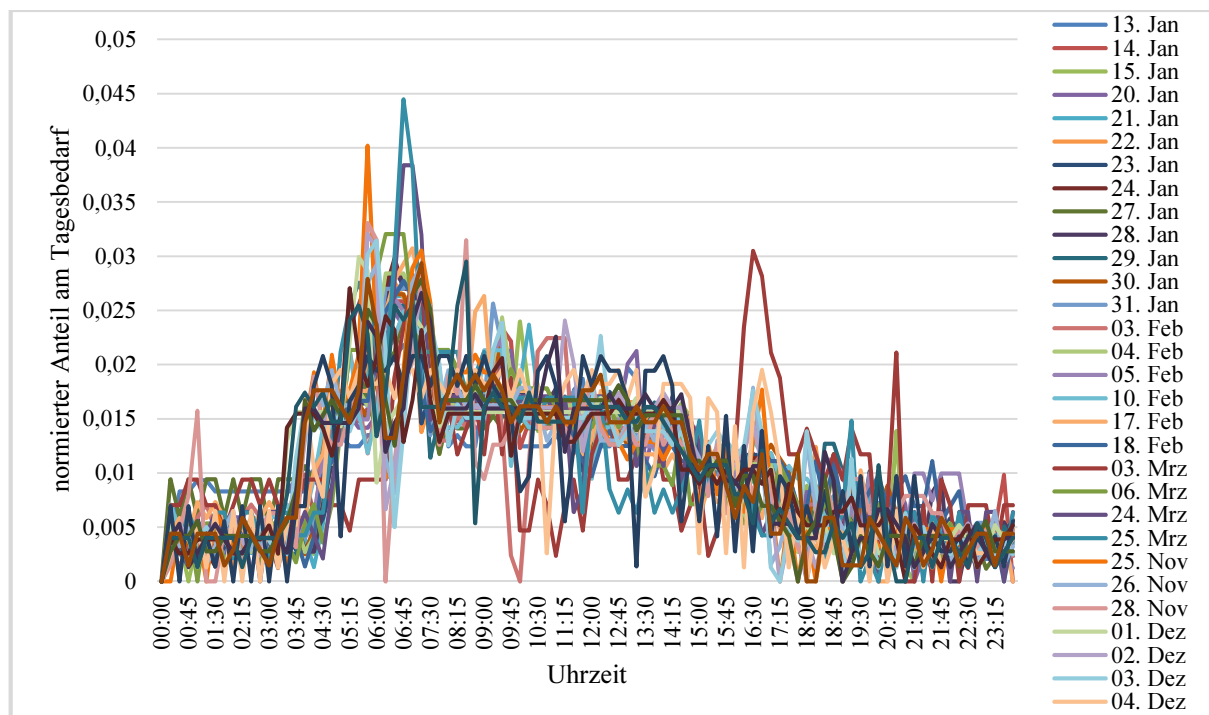


Abbildung 23: Normierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie WW; HvG

Der Hauptanteil des Heizwärmebedarfs fällt in den Wintermonaten an, wenn die Außentemperatur gering ist. In den Sommermonaten bei hoher Außentemperatur wird in der Regel keine Heizwärme benötigt. Dennoch entstehen bei mehreren Schulen vereinzelt Werte in den Sommermonaten (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Ausschnitt der Tageslastgänge Typtagkategorie SW; HvG¹¹⁴

Uhrzeit	26. Mai	27. Mai	28. Mai	02. Jun	03. Jun	04. Jun	06. Jun
...	...	...	...	...	...	...	...
04:45	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0	0
05:15	0	0	10,71	0	10,71	10,71	0
05:30	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	10,71	0	0	0	0	10,71
06:15	0	0	0	0	0	0	0
06:30	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	0	0
07:00	0	0	0	10,71	0	0	0
07:15	0	0	0	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...

Bei anderen Schulen hingegen fällt während der Sommermonate kein Heizwärmebedarf an und alle Viertelstundenwerte des Tageslastgangs besitzen den Wert Null. Dieser Unterschied zwischen den einzelnen Schulen in den Sommermonaten könnte sich nach Vermutung der

¹¹⁴ Für die übrigen Daten siehe Daten-CD/Rechnungen Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/aussortiert/RLP HvG_Wärme.xlsx.

Autorin aus der unterschiedlichen Erfassung des Trinkwarmwasserbedarfs in den gemessenen Heizwärmebedarfen ergeben. Wird das Trinkwarmwasser im gemessenen Heizwärmebedarf berücksichtigt, entstehen auch im Sommer Messwerte, andernfalls nicht.

Diese Vermutung wird bestärkt, indem vor allem an Werktagen während der Nutzungszeit vermehrt Werte gemessen wurden, wohingegen an Wochenend- oder Ferientagen meist nur ein- oder zweimal täglich ein Wert in den Tageslastgängen vorhanden ist (siehe Daten-CD¹¹⁵). Diese vereinzelt auftretenden Werte an Tagen der Nichtnutzung können durch die ein- oder zweimal tägliche Erhitzung des Trinkwassers aus Hygienegründen entstehen.

Durch die im Sommer sehr unregelmäßig auftretenden Werte sind die kumulierten Werte nicht mehr so eng wie eine Kurvenschar, wie in Kapitel 4.5.1.1 erläutert, um den Mittelwert verteilt (siehe Abbildung 24).

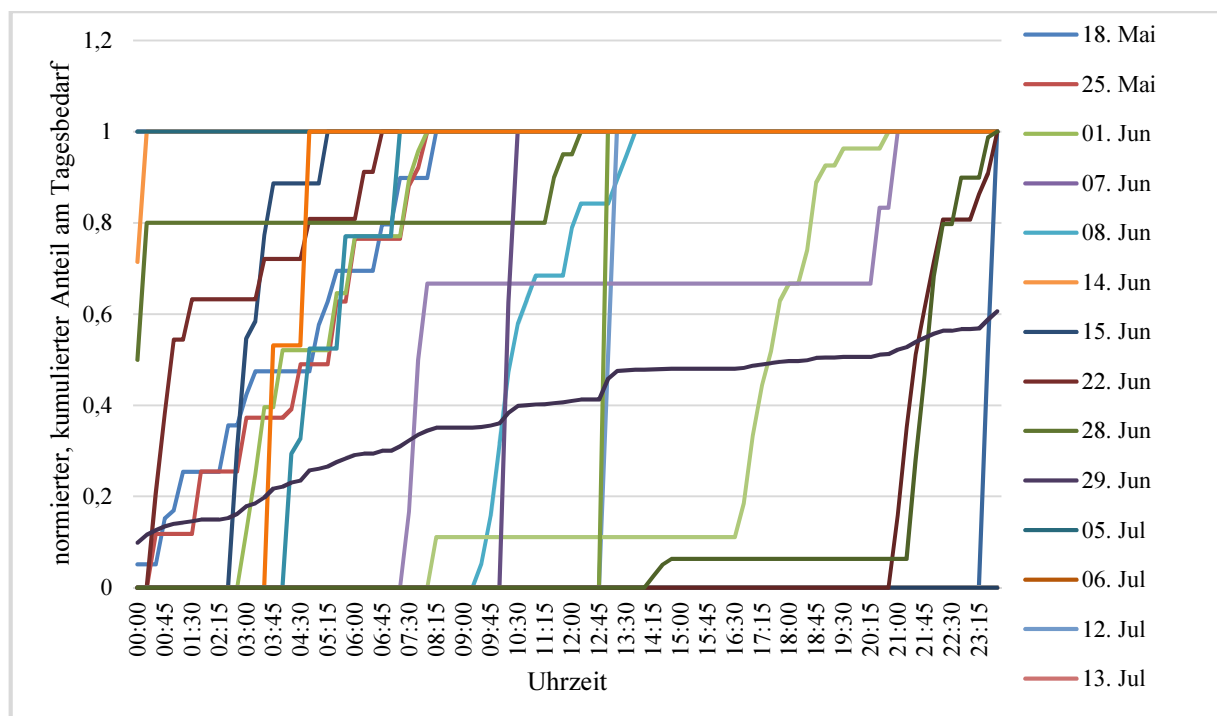


Abbildung 24: Normierte, kumulierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie SS; ADS

Durch den im Sommer sehr geringen Tagesverbrauch haben kleinere Abweichungen einen größeren Einfluss und zeichnen sich direkt in den Tageslastgängen ab. Die zu unterschiedlichen Zeitpunkten am Tag vereinzelt auftretenden Werte stellen somit einen großen Anteil am Tagesbedarf dar. Dies erschwert die Auswertung der Datensätze und die Analyse nach Ausreißern. Aufgrund der unregelmäßig auftretenden Werte ist es innerhalb der Sommerkategorien besonders schwierig, typische Charakteristika für diese Typtagkategorien zu identifizieren und die Tageslastgänge auszuwerten.

Weiterhin ist bei den Heizwärmebedarfen die unterschiedliche Nachtabenkung zu beachten. Bei Anlagen mit langer Nachtabenkung erfolgt ein erhöhter Heizwärmebedarf in den Morgenstunden, bei Anlagen ohne Nachtabenkung wird hingegen ein annähernd konstanter

¹¹⁵ Z.B. Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/aussortiert/RLP Muster_Wärme.xlsx/Arbeitsblatt „SS“, „SW“, „SF“.

Bedarf über den Tag festgestellt. Genaue Angaben bezüglich der Zeiten der Nachtabenkung liegen für die betrachteten Schulgebäude nicht vor, weshalb hierzu lediglich Vermutungen aus den Verläufen der Tageslastgänge der einzelnen Schulen möglich sind.

Die Tageslastgänge der FFS zeigen diesbezüglich deutliche Unterschiede gegenüber denen der anderen Schulen (siehe Daten-CD¹¹⁶). Die Werte gehen dabei bereits in den Wintermonaten vor allem nachts und an den Wochenenden sowie in den Ferien bis auf einen Heizwärmebedarf von Null zurück, was bei den anderen Schulen, vor allem im Winter, nicht der Fall ist. Tagsüber ist der Heizwärmebedarf vergleichsweise sehr hoch. Besonderheiten ergeben sich aus der Heizungsanlage und der Regelung dieser. Diese können aber zunächst nicht in den Lastgängen unterschieden werden. Maßgeblich ist vielmehr, dass für die meisten der Lastgänge die Charakteristika eines verminderten Heizwärmebedarfs in den Nachtstunden und ein erhöhter Bedarf tagsüber, während der Nutzungszeit, festgestellt werden kann. Da die Werte der FFS diese Eigenschaften ebenfalls aufweisen, werden sie trotz der Unterschiede gegenüber den Lastgängen anderer Schulen, weiter in der Auswertung berücksichtigt.

Nach der Analyse der Lastgänge der einzelnen Schulen und dem Aussortieren dieser nach Ausreißern, werden, wie auch bei der Entwicklung der RLPs für Strom, für jedes der betrachteten Schulgebäude die beiden Tageslastgänge mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil je Typtagkategorie bestimmt.

4.5.3.2 Auswertung der repräsentativen Tageslastgänge aller Gebäude des gleichen Typs für Gas

Nach der Auswertung der Lastgänge in Kapitel 4.5.3.1 stehen für jedes der betrachteten Schulgebäude bis auf das KiZ 120 zwei repräsentative Tageslastgänge je Typtagkategorie zur Verfügung.

Analog der im vorherigen Kapitel beschriebenen Vorgehensweise für ein Gebäude werden schließlich die repräsentativen Tageslastgänge der unterschiedlichen Schulen eines Schultyps je Typtagkategorie miteinander verglichen (siehe Daten-CD¹¹⁷).

Hierbei zeigen sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Gebäuden. Dem Ziel der Arbeit folgend, repräsentative Profile für einen Schultyp zu entwickeln, welche die für diesen Schultyp typischen Charakteristika aufweisen, werden solche Datensätze, die lediglich charakteristisch für ein Gebäude sind, aussortiert.

Dabei fällt der Schultyp Grundschulen mit der darin enthaltenen FFS auf (siehe Daten-CD¹¹⁸). Abbildung 25 zeigt die normierten Tageslastgänge der Grundschulen an Winterwerktagen.

¹¹⁶ Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/aussortiert/RLP FFS_Wärme.xlsx.

¹¹⁷ Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/RLP Grundschulen Wärme; Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Kitas/RLP Kitas Wärme.xlsx; Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/RLP weiterf. Schulen Wärme.xlsx.

¹¹⁸ Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/RLP Grundschulen Wärme Ausgangssituation.xlsx.

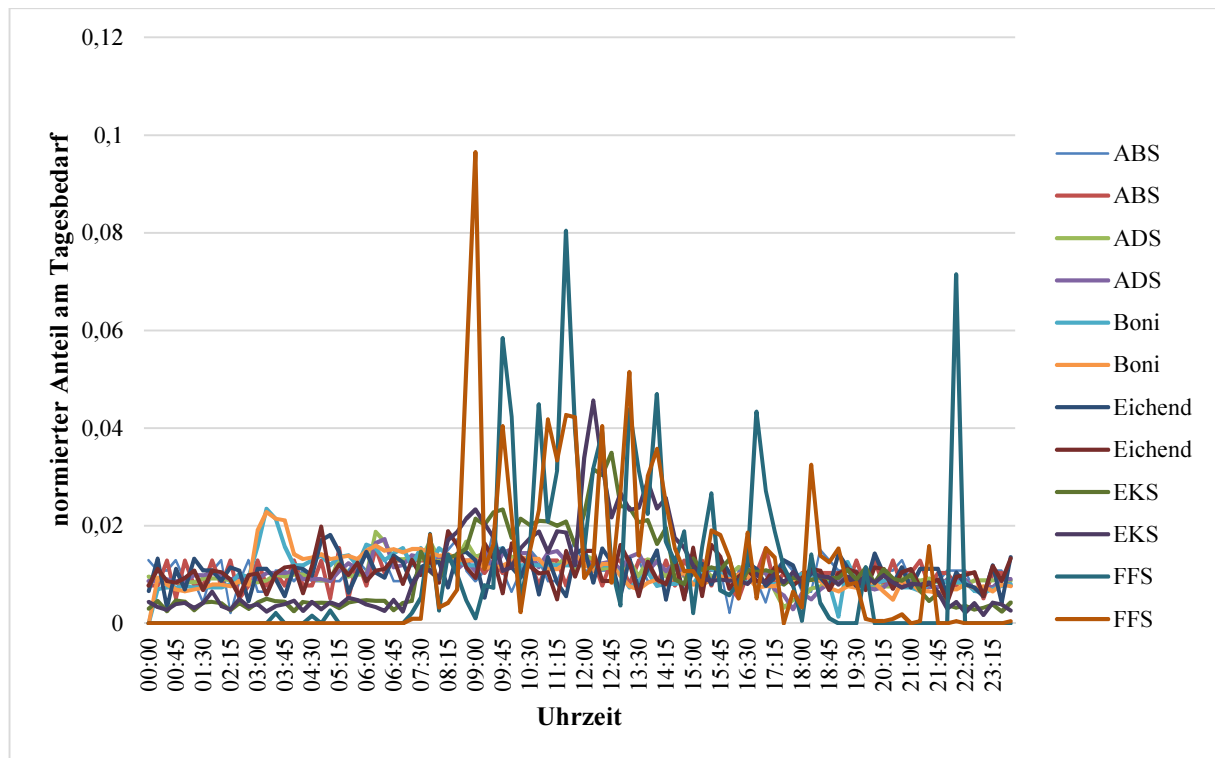


Abbildung 25: Normierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie WW; Grundschulen

In dem dargestellten Beispiel unterscheiden sich die Tageslastgänge der FFS deutlich von denen der übrigen Grundschulen. Nach der Nutzungszeit am Abend sinkt der Heizwärmebedarf bis auf Null ab, wo er die ganze Nacht bleibt. Die Werte der übrigen Schulen weisen hingegen auch nachts einen konstanten Heizwärmebedarf auf. Da innerhalb dieser Typtagkategorie der Tagesverlauf jedoch die gleichen Charakteristika aufweist wie bei den übrigen Schulen und einen Anstieg während der Nutzungszeit zeigt, während der Heizwärmebedarf nach der Nutzungszeit deutlich abfällt und sich das repräsentative Profil mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil nicht ändert, wurden die Werte der FFS in der Auswertung belassen. In den Typtagkategorien WS, WF, ÜS und ÜW verändert sich durch die Werte der FFS die Auswahl des repräsentativen Profils, weshalb die Tageslastgänge der FFS ausgeschlossen wurden (siehe Daten-CD¹¹⁹).

Innerhalb der Sommerkategorien bei allen Schultypen können auch Tageslastgänge auftreten, die keinen Heizwärmebedarf aufzeigen (siehe Daten-CD¹²⁰). Abbildung 26 zeigt dies exemplarisch an der Typtagkategorie SS der Grundschulen.

¹¹⁹ Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/RLP Grundschulen Wärme.xlsx.

¹²⁰ Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/RLP Grundschulen Wärme.xlsx; Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Kitas/RLP Kitas Wärme.xlsx; Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/RLP weiterf. Schulen Wärme.xlsx.

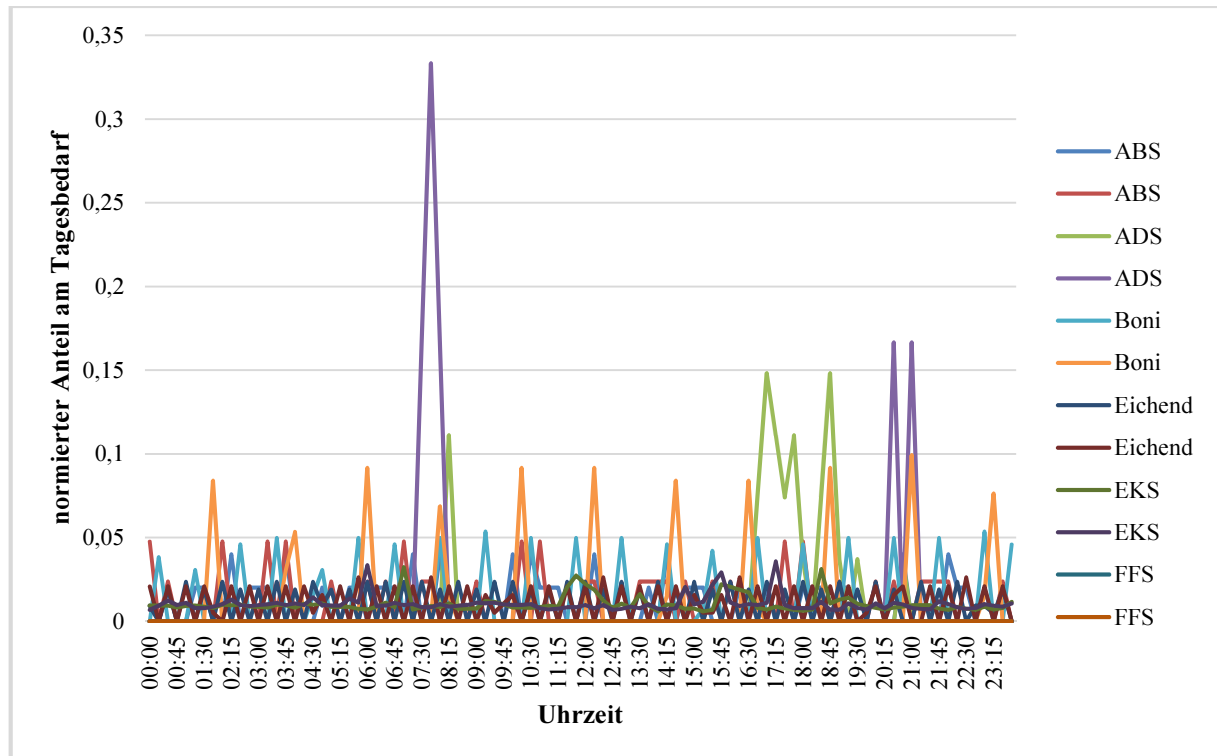


Abbildung 26: Normierte Tageslastgänge des Heizwärmebedarfs der Typtagkategorie SS; Grundschulen

Da im Sommer, wie bereits im vorherigen Kapitel erläutert, sowohl Tageslastgänge mit Heizwärmebedarf als auch Tageslastgänge ohne Heizwärmebedarf an den verschiedenen Schulen auftreten, werden beide in der Auswertung belassen.

Nach der Auswertung der Tageslastgänge aller Schulgebäude eines Typs für jede Typtagkategorie, werden die RLPs über die beste Näherung zum Durchschnittsprofil ermittelt und zusammengefasst (siehe Daten-CD¹²¹).

Als RLP gilt dabei, wie auch bei den Profilen für Strom, der Tageslastgang der normierten Werte.

4.5.4 Auswertung der Referenzlastprofile für Gas

Die entwickelten RLPs zeigen typische, charakteristische Merkmale, die für den jeweiligen Schultyp und die jeweilige Typtagkategorie bezeichnend sind.

Die absolute Höhe des Heizwärmebedarfs variiert von Schule zu Schule, bedingt durch die unterschiedlichen Heizsysteme, deren Alter und Regelung sowie die Größe der Schule, erheblich. Dennoch lassen sich einige allgemeingültige Aussagen bezüglich des Heizwärmebedarfs der Schulen aus der Analyse der Lastgangdaten ableiten. Der Hauptanteil des Jahresheizwärmebedarfs fällt aufgrund der geringen Außentemperaturen in den Wintermonaten an (siehe Anhang F). Gegenüber der Übergangszeit ist der Heizwärmebedarf

¹²¹ Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/RLP Grundschulen Wärme.xlsx/Arbeitsblatt „RLPs“; Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Kitas/RLP Kitas Wärme.xlsx/Arbeitsblatt „RLPs“; Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/RLP weiterf. Schulen Wärme.xlsx/Arbeitsblatt „RLPs“.

im Winter bei fast allen Schulen doppelt so hoch. Der Heizwärmebedarf in den Sommermonaten ist verglichen mit dem Jahresbedarf relativ gering.

Unabhängig von der Jahreszeit ist der Heizwärmebedarf an den Werktagen deutlich höher als an den Wochenenden und in den Ferien. Dies bestätigt die Einteilung der Typtagkategorien nach der unterschiedlichen Nutzung. In den Wintermonaten übersteigt der Heizwärmebedarf der Werktage den an den Wochenenden im Durchschnitt um das 1,5-fache.

Die unterschiedlichen Verläufe des Heizwärmebedarfs von typischen Werktagen in Abgrenzung zu den Wochenendtagen und Ferientagen und die Unterschiede zwischen den einzelnen Schultypen, werden anhand der Wintertyptage erläutert, da dies aufgrund des hohen Anteils am Jahresheizwärmebedarf, die für den Heizwärmebedarf maßgebliche Periode ist.

Zunächst werden dabei die Unterschiede in der Nutzung, zwischen Werktagen, Wochenenden und Ferien, anhand des Schultyps Grundschulen beispielhaft erläutert (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28). Die übrigen RLPs für jede Typtagkategorie jedes Schultyps sind in Anhang H dargestellt, die zugehörigen Viertelstundenwerte sind der Daten-CD¹²² zu entnehmen.

Wie die Profile für Strom, erheben auch die Profile für den Gasverbrauch keinen Anspruch darauf, dass der Tagesverlauf des Heizwärmebedarfs jeder Schule dem entwickelten Profil entspricht. Sie bieten vielmehr eine Hilfe zur Abschätzung des Bedarfs und zeigen typische Charakteristika des Tagesverlaufs auf, wodurch sie repräsentativ für den Durchschnitt des jeweiligen Schultyps sind.

Abbildung 27 zeigt das RLP der Typtagkategorie WS bei Grundschulen.

¹²² Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Grundschulen/RLP Grundschulen Wärme.xlsx/Arbeitsblatt „RLPs“;
Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/Kitas/RLP Kitas Wärme.xlsx/Arbeitsblatt „RLPs“;
Rechnungen/Entwicklung RLP/Wärme/weiterführende Schulen/RLP weiterf. Schulen Wärme.xlsx/Arbeitsblatt „RLPs“.

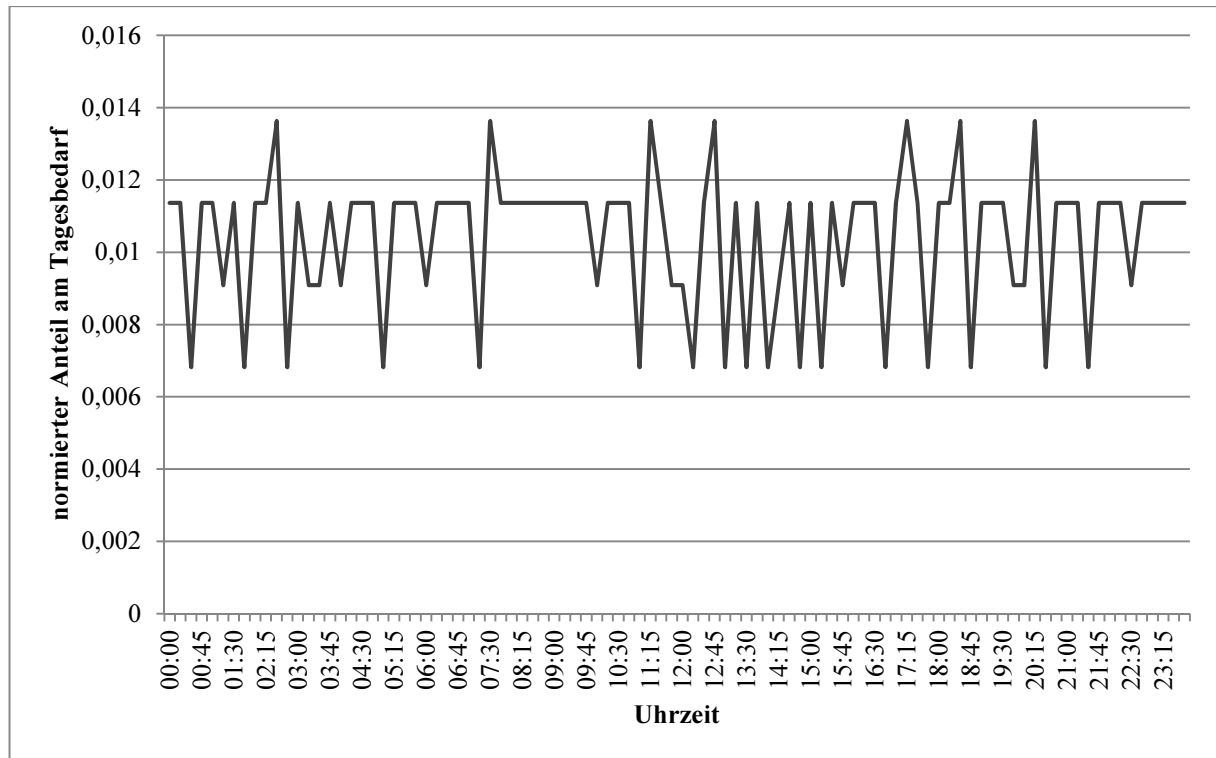


Abbildung 27: RLP Gas Grundschulen; Typtagkategorie WS

An den Wochenend- und Feiertagen verteilt sich die Tagessumme im Winter konstant über den Tag und es treten in der Regel keine Lastspitzen auf. Zu jeder Tageszeit wird ungefähr 1% des Tagesbedarfs benötigt, wobei der Wert zwischen 0,7-1,2% oszilliert. Diese konstante Belastung ergibt sich durch eine konstante Heizlast. Die Heizung wird auch zu Zeiten der Nichtnutzung, wie an den Wochenenden, auf abgesenktem Niveau betrieben, um ein vollständiges Auskühlen des Gebäudes zu verhindern. Dadurch kann der Heizwärmebedarf insgesamt reduziert werden. Würde die Heizung in diesen Phasen komplett abgestellt, entstünden extreme Heizlasten, um das Gebäude wieder für die Nutzung aufzuwärmen. Der Tageslastgang der RLPs in den Ferien entspricht dem an den Wochenenden, da auch in dieser Zeit kaum eine Nutzung stattfindet und somit keine Lastspitzen durch einen erhöhten Heizwärmebedarf auftreten (siehe Abbildung A - 30 Anhang H).

An den Werktagen zeichnet sich im Tagesverlauf die Nutzungsdauer der Schule ab (siehe Abbildung 28).

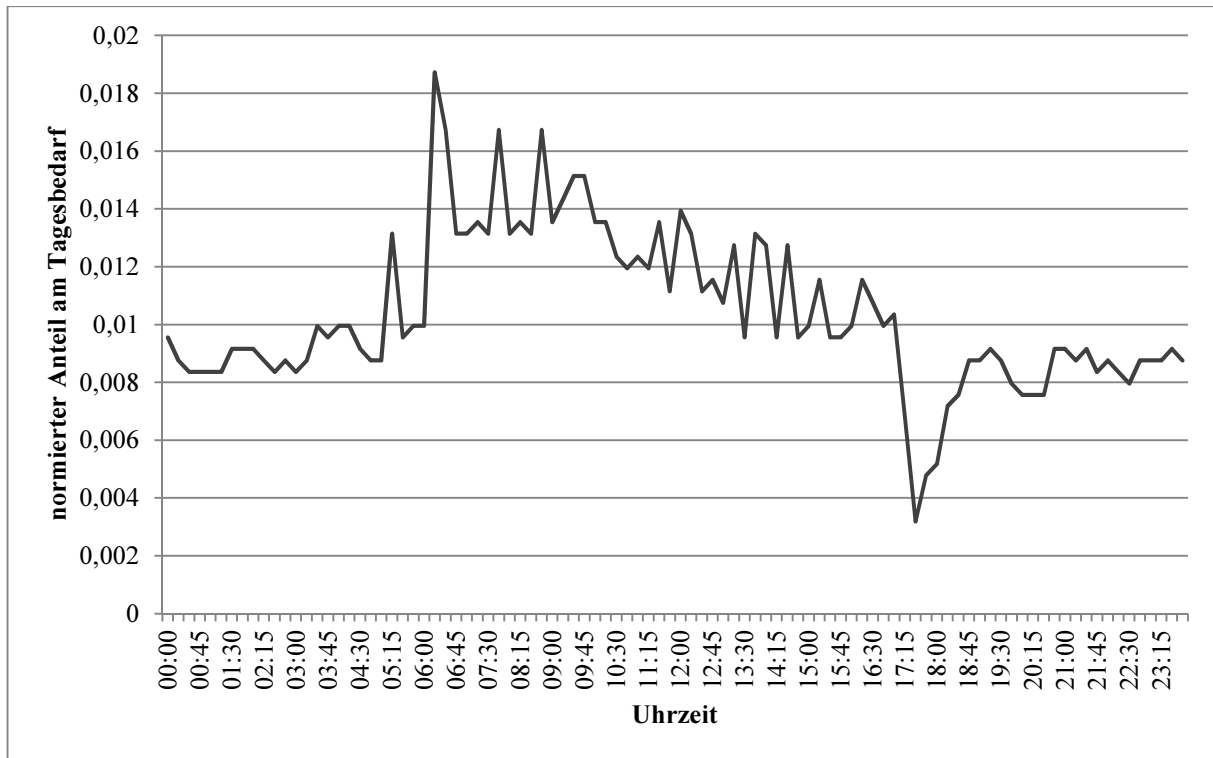


Abbildung 28: RLP Gas Grundschulen; Typtagkategorie WW

Aussagen bezüglich der genauen Uhrzeit der Ereignisse werden an dieser Stelle vernachlässigt, da nicht alle Schulen die gleichen Nutzungszeiten und Zeiten der Nachtabenkung aufweisen. Diese sind entsprechend bei der Anwendung der RLPs zeitlich einzuordnen.

Morgens zu Beginn der Nutzungszeit, nach der Nachtabenkung, steigt der Heizwärmebedarf zur Spitzenlast an. Die Spitzenlast entsteht am frühen Morgen, da zunächst die Tagessolltemperatur erreicht werden muss, wodurch der höchste Heizwärmebedarf im Tagesverlauf entsteht. Diese ist ungefähr doppelt so hoch wie die Heizlast in der Nacht. Nachdem die Tagessolltemperatur erreicht wurde, wird während der Nutzungszeit am Vormittag ein konstanter Heizwärmebedarf benötigt, um ein angenehmes Raumklima während der Unterrichtszeit zu schaffen. Im Gegensatz zu den Profilen für den Strombedarf zeichnen sich beim Wärmebedarf nicht die einzelnen Schulstunden bzw. Pausen ab, da die Heizung als träges System nicht direkt auf Änderungen reagiert und während der Pausen vermutlich auch nicht ausgestellt wird. Am Nachmittag sinkt der Heizwärmebedarf leicht gegenüber den Vormittagen ab, da hier bei Grundschulen in der Regel keine oder sehr wenig Nutzung stattfindet. Gegen Abend ist im Tageslastgang deutlich der Beginn der Nachtabenkung zu erkennen. Die Heizung wird über Nacht auf eine geringere Solltemperatur als tagsüber abgesenkt. Dadurch entsteht zu Beginn dieser Absenkung ein sehr geringer Heizwärmebedarf, um die niedrigere Temperatur zu erreichen. Dieser zeichnet sich im Lastgang durch eine deutliche Senke ab. Am Abend und über Nacht verläuft der Heizwärmebedarf konstant auf dem Niveau der Heizlast, das für die niedrigere Solltemperatur während der Nachtabenkung benötigt wird.

Folgend werden die Winterwerktage der unterschiedlichen Schultypen miteinander verglichen, um diese gegeneinander abzugrenzen und typische Charakteristika für den jeweiligen Schultyp zu identifizieren.

Wie auch bei den Grundschulen zeigt, sich bei den Kitas am Morgen nach der Nachtabenkung die Spitzenlast (Abbildung 29).

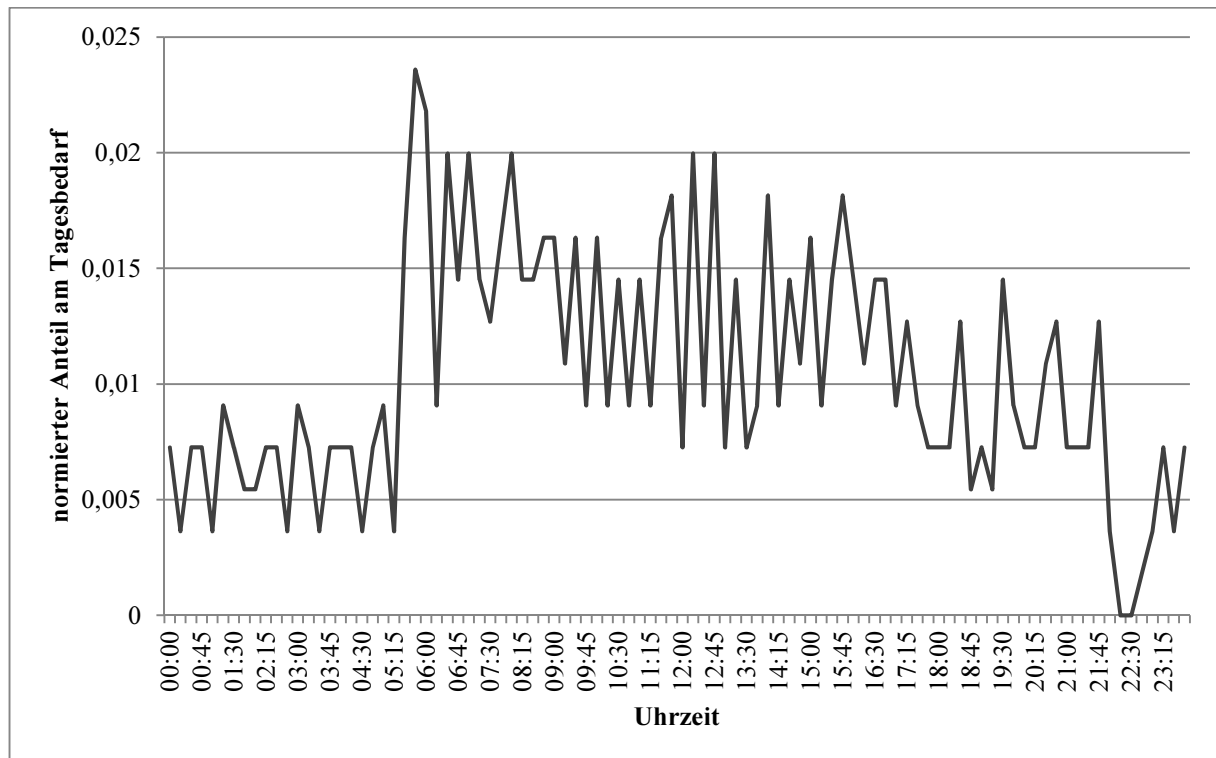


Abbildung 29: RLP Gas Kitas; Typtagkategorie WW

Während der Nutzungszeit bleibt der Heizwärmebedarf auf einem konstanten Niveau. Nach dem Ende der Nutzungszeit, gegen 18 Uhr, sinkt der Heizwärmebedarf auf ein etwas geringeres Niveau ab. Hier zeigt sich gegenüber den Grundschulen die deutlich längere Nutzung der Kitas am Nachmittag. Wie auch bei den Grundschulen, ist bei den Kitas der Beginn der Nachtabenkung deutlich erkennbar. Allerdings findet diese aufgrund der längeren Nutzungsdauer wesentlich später statt. Zu Beginn der Phase der Nachtabenkung zeigt sich auch in diesem Verlauf eine deutliche Senke.

Die weiterführenden Schulen weisen ebenfalls diese typischen Charakteristika in ihrem Verlauf auf (siehe Abbildung 30).

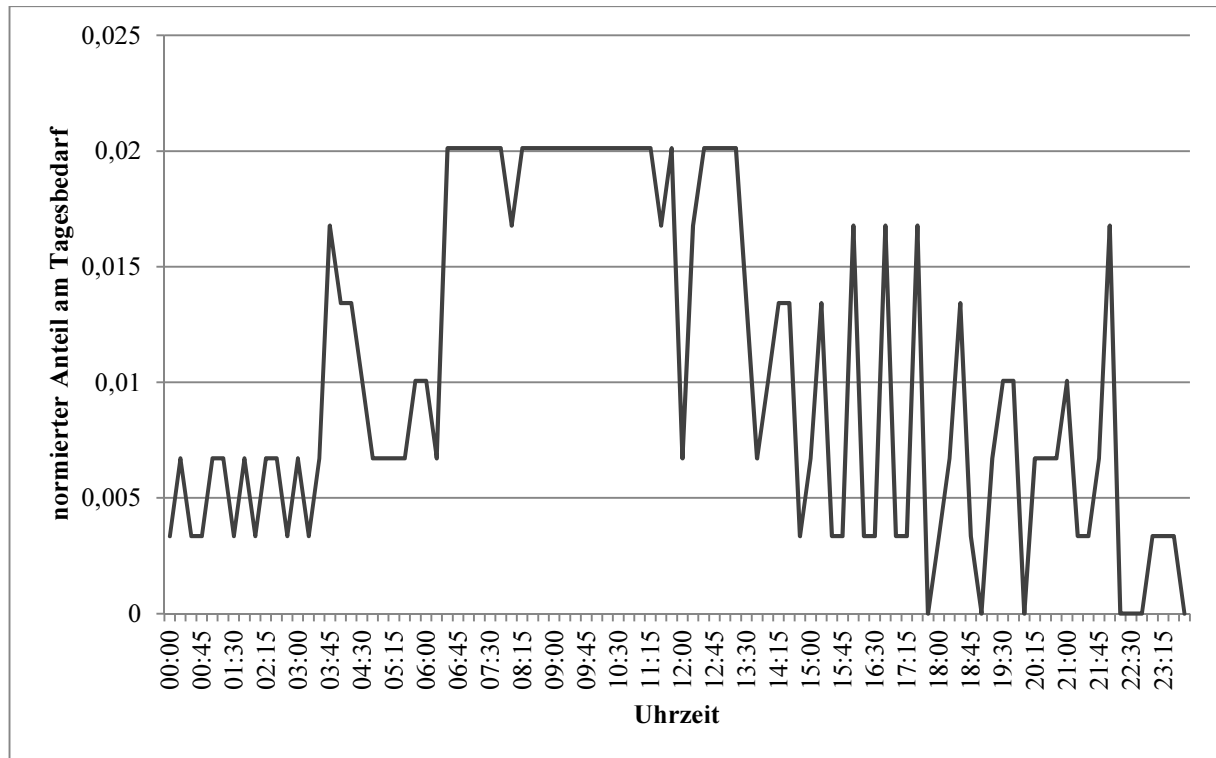


Abbildung 30: RLP Gas weiterführende Schulen; Typtagkategorie WW

Verglichen mit den Grundschulen ist die längere Nutzungsdauer am Nachmittag erkennbar. Jedoch geht auch hier der Heizwärmebedarf durch die geringere Nutzung am Nachmittag gegenüber den Vormittagen zurück. Am Ende der Nutzungszeit, gegen 18 Uhr, vermindert sich der Heizwärmebedarf nochmals gegenüber dem am Nachmittag. Wie auch bei beiden anderen Schultypen, zeichnet sich der Beginn der Nachtabenkung durch einen deutlichen Rückgang der Heizlast ab.

Wie bereits erläutert tritt im Winter der größte Heizwärmebedarf auf, weshalb sich hier die Charakteristika für die Heizperiode ableiten lassen. Der Heizwärmebedarf hängt dabei stark von der Außentemperatur ab. Aus diesem Grund sinkt der Heizwärmebedarf mit steigender Außentemperatur deutlich und die Lastgänge weisen zu anderen Jahreszeiten unterschiedliche Charakteristika auf.

Während der Übergangszeit weisen die RLPs ähnliche Verläufe wie im Winter auf, da in dieser Zeit noch regelmäßig Heizwärme benötigt wird (siehe Abbildung 31 und Anhang H).

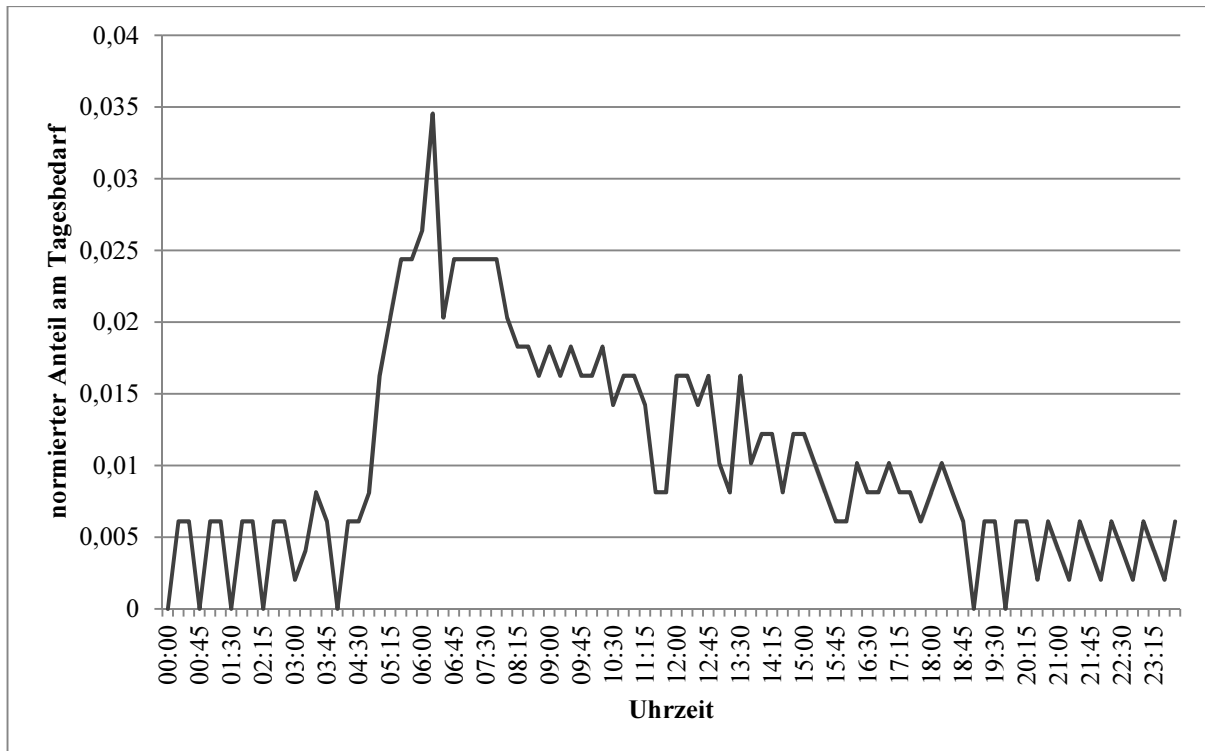


Abbildung 31: RLP Gas weiterführende Schulen; Typtagkategorie ÜW

Der Heizwärmebedarf ist jedoch bereits wesentlich geringer als in den Wintermonaten, was durch die Normierung der Werte in den Profilen nicht ersichtlich ist. Erkennbar ist jedoch, dass der Heizwärmebedarf, im Gegensatz zu den Wintermonaten, an manchen Tageszeiten bis auf Null absinkt. Dies ist vor allem an den Wochenenden, in den Ferien oder während der Nachtabenkung der Fall, wohingegen an Werktagen in der Regel auch während der Übergangszeit ein Heizwärmebedarf größer Null entsteht, der den charakteristischen Verlauf wie im Winter aufweist (siehe Anhang H).

Im Sommer unterscheidet sich der Verlauf der Profile hingegen deutlich gegenüber dem im Winter (siehe Abbildung 32 und Anhang H).

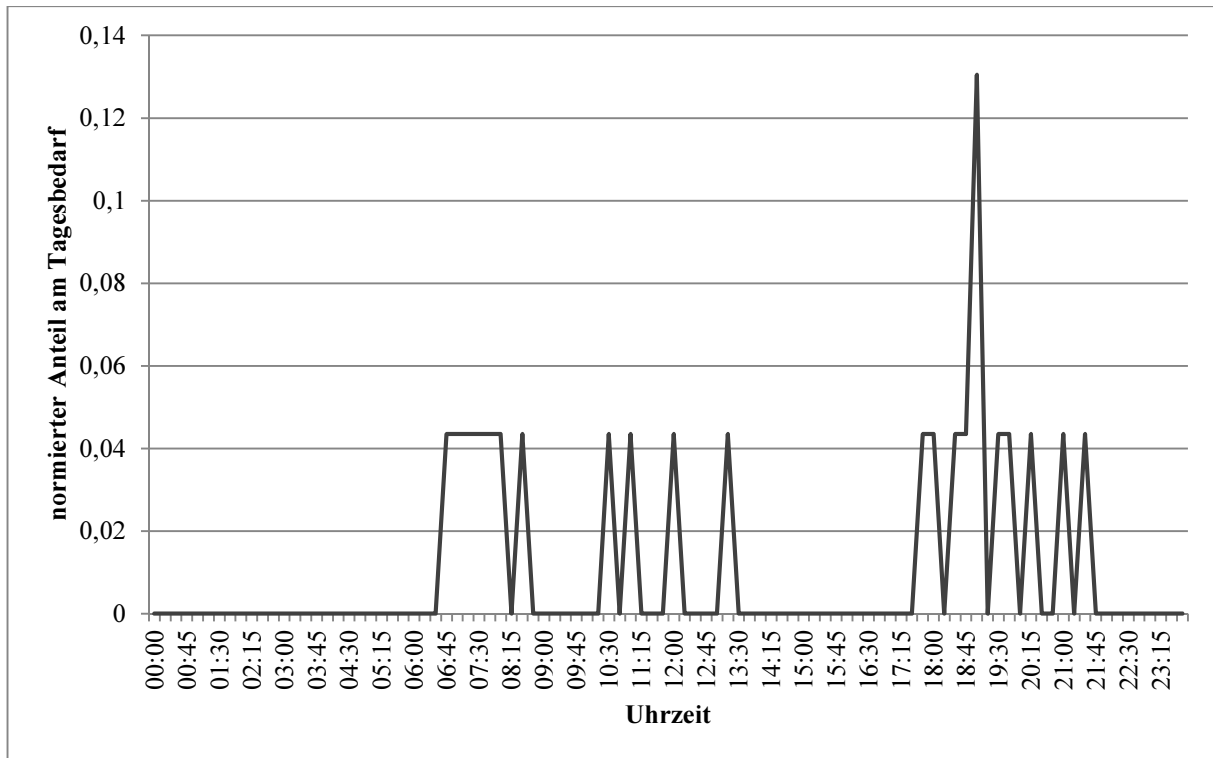


Abbildung 32: RLP Gas weiterführende Schulen; Typtagkategorie SW

Der Heizwärmebedarf ist während der meisten Zeit des Tages Null und es treten lediglich vereinzelt davon abweichende Werte auf.

Dabei ist zu unterscheiden, ob der Trinkwarmwasserbedarf über das Profil ebenfalls erfasst wird oder nicht. Ist dies nicht der Fall, entsteht im Sommer in der Regel kein Heizwärmebedarf. Wird das Trinkwarmwasser erfasst, entstehen vor allem während der Nutzungszeit Bedarfe, wie Abbildung 32 zeigt. Durch die unterschiedlichen Werte und den geringen Heizwärmebedarf sind typische Charakteristika für diese Jahreszeit nur schwer abzuleiten.

4.6 Kritische Würdigung der entwickelten Referenzlastprofile

Bei der Entwicklung und Auswertung der Referenzlastprofile wurden einige Randbedingungen aufgedeckt, welche im Zuge der weiteren Forschung zu untersuchen und zu verbessern sind, um die entwickelten RLPs zu verifizieren und weiterzuentwickeln und so möglichst repräsentative Profile für den entsprechenden Schultyp und die entsprechende Typtagkategorie zu erhalten.

Der Standort eines Gebäudes, d.h. die Klimazone, in der sich das Gebäude befindet, wirkt sich in erster Linie auf den Jahresheizwärmebedarf sowie die Verteilung über das Jahr aus. Somit ist die Klimazone für die Ermittlung der RLPs, die den typischen Tagesverlauf innerhalb einer Typtagkategorie repräsentieren, zunächst unerheblich. Für die Entwicklung der RLPs wurden lediglich Schulen und Kitas aus Frankfurt a.M. herangezogen. Wie gerade erläutert sind die entwickelten RLPs dennoch für alle Klimazonen in Deutschland gültig. Durch veränderte klimatische Bedingungen ändert sich lediglich die Anzahl der Typtage je Typtagkategorie. Weiterhin kann es zu einer Änderung der mittleren Außentemperatur innerhalb einer Typtagkategorie kommen. Durch die einheitlich festgelegte Temperaturgrenze zur

Abgrenzung der Typtagkategorien bleiben die entwickelten RLPs jedoch repräsentativ für die jeweilige Typtagkategorie unabhängig von der Klimazone.

Die festgelegten Temperaturgrenzen gilt es jedoch in Zukunft durch weitere Untersuchung der RLPs zu überprüfen. Diese wurden entsprechend den Vorgaben der VDI 4655 übernommen, wo sie zur Entwicklung von Referenzlastprofilen für Ein- und Mehrfamilienhäuser festgelegt wurden.¹²³ Ob diese Temperaturgrenzen auch für Schulgebäude zutreffen und ob an diesen Grenztemperaturen Änderungen im Heizwärmebedarf entstehen, wie das bei den analysierten Wohngebäuden der VDI 4655 der Fall ist, gilt es weiter zu analysieren.¹²⁴ Die Heizgrenztemperaturen sind insbesondere bei Neubauten mit Niedrigenergiestandard zu verifizieren. Diese weisen in der Regel niedrigere Heizgrenzen auf, wohingegen schlecht isolierte Altbauten deutliche höhere Grenzen aufweisen können.

Unter den betrachteten Gebäuden ist kein Schulgebäude im Passivhausstandard enthalten, lediglich bei drei Schulen ist die Turnhalle im Passivhausstandard errichtet. In der zukünftigen Entwicklung von Neubauten oder Sanierungen im Bestand sollen, wie die zahlreichen Förderprojekte bezüglich energieeffizienter Schulen zeigen, diese Niedrigenergiestandards gefördert werden. Aus diesem Grund wäre es zukünftig sinnvoll, weitere RLPs für niedrige Energiestandards wie den Passivhausstandard zu entwickeln und dementsprechend neue Festlegungen bezüglich der Heizgrenztemperaturen und der typischen Charakteristika zu treffen.

Weiterhin wäre eine Trennung der RLPs nach dem Energiebedarf des Schulgebäudes und dem der Turnhalle denkbar. Um solche getrennten Profile zu entwickeln, müssten die Messwerte für beide Gebäude einer Schule getrennt vorliegen. Bei den für diese Arbeit zur Verfügung stehenden Daten liegen jeweils lediglich die Messwerte für die gesamte Liegenschaft vor, sodass eine Trennung nach Schulgebäude und zugehöriger Turnhalle nicht möglich ist. Jedoch besitzen die meisten der betrachteten Schulgebäude, abgesehen von den Kitas, eine Turnhalle, sodass die entwickelten Profile für Schulen mit Turnhalle gültig sind und für Schulen ohne Turnhalle nur bedingt Anwendung finden können (siehe Kapitel 4.5.2). Generell gilt für die entwickelten RLPs, dass sie den realen Bedarf eines beliebigen Gebäudes besser abbilden, wenn eine größere Ähnlichkeit zu den untersuchten Gebäuden zur Erstellung der RLPs innerhalb eines Schultyps gegeben ist.

Die RLPs stellen tatsächlich gemessene Daten einzelner Gebäude dar, die normiert aber sonst nicht weiter bearbeitet wurden. Einige Charakteristika der Messung und der Gebäude finden sich somit in den entwickelten RLPs wieder, obwohl diese möglicherweise nicht charakteristisch für den Energiebedarf des Gebäudetyps sind. Diese Besonderheiten sind je nach Anwendung der Daten zu berücksichtigen. Generell gilt für die Entwicklung von RLPs: Je größer die Stichprobe, desto geringer ist der Einfluss individuell streuenden Verhaltens eines Objekts.¹²⁵ Teilweise lagen für die Entwicklung der RLPs für einen Schultyp nur begrenzt Daten vor. Insbesondere für den Schultyp Kitas konnten bei manchen Typtagkategorien lediglich die Lastgänge von zwei oder drei Gebäuden in die Auswertung einbezogen werden.

¹²³ Vgl. VDI 4655 (2008), S. 7.

¹²⁴ Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 6.

¹²⁵ Vgl. Dubielzig et al. (2007), S. 36ff.

Aus diesem Grund ist eine Überprüfung der entwickelten RLPs auf Plausibilität mit den Messdaten anderer Schulen für die Zukunft vorzusehen. Durch diesen Vergleich könnten die RLPs verifiziert und gegebenenfalls weiterentwickelt werden, um möglichst repräsentative Profile für die entsprechenden Schultypen zu erhalten.

Weiterhin sollte dabei die Gruppierung der Bildungsgebäude in die Gruppen Kitas, Grundschulen und weiterführende Schulen überprüft werden. Für die in dieser Arbeit untersuchten Bildungsgebäude konnte die Gruppierung durch die Ergebnisse bestätigt werden. In der Gruppe der weiterführenden Schulen sind jedoch keine Real- und Hauptschulen enthalten. Diese sollten ebenfalls in die Kategorie aufgenommen und überprüft werden, ob die Einordnung in diese Gruppe zutreffend ist. Gegebenenfalls ist eine Unterteilung dieser Kategorie in weitere Schultypen notwendig.

Ein weiterer Aspekt, der eine Überprüfung der RLPs mit Hilfe weiterer Messdaten notwendig macht, sind die Auffälligkeiten, welche die Messwerte, insbesondere bei den Heizwärmebedarfen, aufzeigen. Eine mögliche Erklärung für das Auftreten der wiederkehrenden Werte konnte in Kapitel 4.5.3.1 gegeben werden. Ob diese auch tatsächlich zutrifft und die Messwerte ohne Bedenken verwendet werden können, konnte im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht abschließend geklärt werden. Hier ist eine weitere Recherche notwendig, um die Richtigkeit der Daten zu verifizieren. Andernfalls ist die Erstellung neuer Profile mit Hilfe neuer Daten von anderen Schulgebäuden notwendig. Für die Werte des Heizwärmebedarfs wurde ebenfalls angenommen, dass bei den meisten Schulen aufgrund der Lastgangdaten das Trinkwarmwasser im gemessenen Heizwärmebedarf miteingefasst wurde. Somit enthalten die erstellten RLPs für den Gasverbrauch in der Regel die Energie zur Warmwasserbereitstellung. Um den Heizwärmebedarf genauer abschätzen zu können und eine Vermischung des Bedarfs von Trinkwarmwasser und Heizwärme zu vermeiden, würden getrennte Profile für Heizwärme und Trinkwarmwasser eine präzisere Abbildung der Bedarfe ermöglichen. Bei den zur Verfügung stehenden Daten liegen jedoch keine getrennten Werte für den Trinkwarmwasserbedarf und den reinen Heizwärmebedarf vor, weshalb die Erstellung getrennter Profile nicht möglich war.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Profile ermöglichen eine Abschätzung der Verteilung der Energiebedarfe von Strom und Heizwärme über den Tag für die unterschiedlichen Typtagkategorien. Nach einigen Jahren ist es notwendig zu überprüfen, ob die entwickelten Profile noch den tatsächlichen Messwerten entsprechen, um dem Ziel möglichst repräsentative und charakteristische Profile zur Verfügung zu stellen auch zukünftig gerecht zu werden.

Die entwickelten Profile ermöglichen lediglich die Abschätzung der Verteilung der anfallenden Last über den gesamten Tag. Um die absolute anfallende Last der Viertelstundenwerte zu berechnen, wird jeweils die Tagessumme des Energiebedarfs innerhalb einer Typtagkategorie benötigt. Wie sich der Jahresenergiebedarf auf die unterschiedlichen Typtagkategorien verteilt, wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend betrachtet. Zu diesem Zweck könnten die Durchschnittswerte der unterschiedlichen Schulen innerhalb eines Schultyps herangezogen werden (siehe Anhang F). Die Energieverbräuche der Schulen variieren jedoch stark in Abhängigkeit von der Größe, des energetischen Standards und der technischen Ausstattung der Schule, sodass aufgrund der vorliegenden Daten diesbezüglich

Aussagen nur schwer möglich sind. Die Daten können somit nur herangezogen werden, wenn das zu bewertende Gebäude dem Durchschnitt der in dieser Arbeit zur Erstellung der RLPs betrachteten Schulgebäude innerhalb der Kategorie entspricht. Um zuverlässige Aussagen bezüglich der Verteilung der Jahressumme und deren Verteilung auf die einzelnen Typtagkategorien treffen zu können, sind weitere Analysen des Energieverbrauchs von Schulgebäuden notwendig. Die in Kapitel 3.1 genannten Studien bieten hierzu erste Ansätze. Hieraus wäre eine Abschätzung des Jahresstrombedarfs in Abhängigkeit der Anzahl der Schüler und somit der Größe der Schule möglich. Für den Heizwärmebedarf liegen solche Angaben bisher in der Literatur nicht vor. Insbesondere in Bezug auf die Verteilung der Jahressumme auf die einzelnen Typtagkategorien besteht weiterer Forschungsbedarf, sodass, ähnlich der VDI 4655, Faktoren zur Verteilung der Jahresenergiebedarfe auf die einzelnen Typtagkategorien entwickelt werden können.¹²⁶

Die in dieser Arbeit entwickelten Profile dienen somit nur begrenzt dazu den tatsächlich anfallenden Energiebedarf in absoluten Werten zu berechnen. Sie stellen vielmehr einen typischen Lastgang innerhalb einer Typtagkategorie dar, der die Charakteristika und deren zeitliches Auftreten am Tag abbildet.

¹²⁶ Vgl. VDI 4655 (2008), S. 22-28.

5 Ableitung von Anwendungsempfehlungen in der Praxis

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten RLPs weisen mehrere Möglichkeiten zur Anwendung in der Praxis auf. Anhand eines Beispiels soll aufgezeigt werden, wie eine solche Anwendung aussehen könnte. Abschließend werden daraus weitere Implikationen für die Praxis abgeleitet.

5.1 Untersuchung der Korrelation zwischen Verbrauchsprofilen von Schulen und Photovoltaik-Einspeiseprofilen von Einfamilienhäusern auf Quartiersebene

Ein effizienter Umgang mit Energie wird zukünftig immer wichtiger (siehe Kapitel 2.1). Hierbei nimmt die Bedeutung der Kommunen zur Sicherstellung einer nachhaltigen Versorgung zu. Über Einzelmaßnahmen hinaus ist die Energieversorgung im Quartier zu berücksichtigen. Ein Quartier bezeichnet dabei „mehrere flächenmäßig zusammenhängende Gebäude inklusive der öffentlichen Infrastruktur“¹²⁷. Diese Definition umfasst kommunale Einrichtungen und private Wohnhäuser ebenso wie Bauten von Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.¹²⁸ Auf Quartiersebene können im Hinblick auf die Energiewende wesentlich größere Wirkungen erzeugt werden. Quartiere stellen dabei die Verbindung zwischen der Handlungsebene der Stadt und den Hauseigentümern dar und bilden somit im heutigen Zeitalter den Rahmen, in dem eine nachhaltige Entwicklung funktioniert.¹²⁹ Der auf ein Quartier bezogene Einsatz erneuerbarer Energien bildet die entscheidende Grundlage nachhaltiger Energieeffizienzkonzepte.¹³⁰ Nah- und Fernwärmenetze, die Haushalte mit regenerativen Energien versorgen, innovative Insellösungen mit Kraft-Wärme-Kopplung oder die energetische Kompensation zwischen Alt- und Neubauten können dabei den Energiebedarf der Gebäude im Quartier reduzieren.¹³¹

Durch die zunehmenden Aktivitäten in der energetischen Gebäudesanierung und der dadurch bedingten Einsparung von Heizenergie, steigt der Anteil des Strombedarfs am Energiebedarf von Haushalten und die Anforderungen an die Art der Energieversorgung verändern sich.¹³² Es stellt sich somit die Frage, mit welchen Systemen der Energiebedarf eines Quartiers ökologisch und wirtschaftlich gedeckt werden kann.

Bedingt durch die Energiewende steigt der Anteil der erneuerbaren Energien am Strom in der deutschen Energieversorgung stark an. Wie bereits in Kapitel 2.1 erläutert, nehmen dabei vorwiegend der Anteil an Wind- und Solarkraft zu. Dabei gewinnt vor allem der Anteil des Stroms aus Photovoltaik (PV) an Bedeutung. Die Stromerzeugung durch PV übersteigt teilweise, speziell in ländlichen Regionen, den Verbrauch und es erfolgt eine Rückspeisung,

¹²⁷ Vgl. KfW (2016).

¹²⁸ Vgl. KfW (2016).

¹²⁹ Vgl. Schuberth; Tschetschorke (2013), S. 25.

¹³⁰ Vgl. BBSR (2016).

¹³¹ Vgl. Hegger et al. (2012), S. 19.

¹³² Vgl. Schuberth; Tschetschorke (2013), S. 25.

weshalb die PV-Einspeisung zukünftig bei der Dimensionierung der Netze zu berücksichtigen ist.¹³³ Diese Überschüsse durch PV-Erzeugung können auf Quartiersebene durch Vernetzung der Energieversorgung direkt genutzt werden.

Um zu vergleichen, inwiefern sich der Strombedarf von Schulen mit der Einspeisung des Stroms aus PV von Einfamilienhäusern (EFH) deckt, soll ein Modellquartier entwickelt werden. Dabei wird weiterhin analysiert, inwiefern eine autarke Stromversorgung des Quartiers und insbesondere der Schule durch die Stromerzeugung aus PV möglich ist.

5.1.1 Definition des betrachteten Szenarios

Vereinfachend wird ein Quartier angenommen, das lediglich aus Einfamilienhäusern und einer Schule besteht. In diesem für den Zweck der Betrachtung „idealen“ Quartier besitzt jedes der Einfamilienhäuser eine auf dem Dach installierte PV-Anlage. Anhand dieses Modellquartiers soll überprüft werden, inwiefern die erzeugte Leistung durch die Bewohner des Einfamilienhauses selbst genutzt wird und welche Überschüsse entstehen. Anschließend soll analysiert werden, inwiefern diese Überschüsse dazu dienen können, den anfallenden Bedarf der Schule zu decken und wie viele Einfamilienhäuser benötigt würden, um die Schule mit Energie mitzuversorgen.

Dieses Szenario stellt ein mögliches Beispiel für die zukünftige Anwendung der entwickelten RLPs dar. Um einen Vergleich der erzeugten Leistung durch die PV-Anlagen und dem Verbrauch der Bewohner der EFHs sowie dem Bedarf der Schule vorzunehmen, wird der Untersuchungsrahmen weiter definiert.

Bei PV-Anlagen wird unter Normbedingungen¹³⁴ davon ausgegangen, dass 1 kW_p installierte Leistung einer Erzeugung von 1.000 kWh pro Jahr entspricht.¹³⁵ In Deutschland liegt die Einstrahlungsleistung in der Regel jedoch unter den Standardbedingungen und beträgt 80-100% dessen. Für den Raum Frankfurt wird von einer Einstrahlungsleistung von 90% und somit 900 W/m² ausgegangen.¹³⁶ Demnach entspricht 1 kW_p installierte Leistung einer Stromerzeugung von 900 kWh pro Jahr.

Eine durchschnittliche, auf dem Dach eines Einfamilienhauses installierte PV-Anlage weist in Deutschland eine Leistung von 10 kW_p auf.¹³⁷ Die Anlagengröße bis 10kW_p wird auch durch die Einspeisevergütung mit 12,7 ct pro kWh am stärksten gefördert.¹³⁸ Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass Einfamilienhausbesitzer in der Regel keine Anlage größer als 10 kW_p installieren. Da das untersuchte Modellquartier ideal sein soll, wird dieses Maximum ausgeschöpft und die Annahme getroffen, dass jedes der Einfamilienhäuser eine PV-Anlage mit einer installierten Leistung von 10 kW_p aufweist. Dies entspricht einer Erzeugung von 9.000 kWh pro Jahr.

¹³³ Vgl. Spring et al. (o.J.), S.1.

¹³⁴ Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m² Einstrahlung; 25°C Umgebungstemperatur; 1,5 Air Mass.

¹³⁵ Vgl. Münch GmbH (2016).

¹³⁶ Vgl. Renewable Energy Concepts (2016).

¹³⁷ Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016).

¹³⁸ 12,7 ct für Januar bis März 2016. Vgl. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2016).

Um die Einspeisung der PV-Anlage mit den RLPs und dem Verbrauch der Einfamilienhäuser zu vergleichen, wird das Einspeiseprofil (ES0) der EWE NETZ GmbH herangezogen.¹³⁹

Dieses stellt normierte Werte in 15-Minuten Zeitschrittweiten für ein Jahr zur Verfügung (siehe Daten-CD¹⁴⁰). Die Leistung ist dabei auf 1 Mio. kWh pro Jahr normiert. Um die Viertelstundenwerte für die definierten Einfamilienhäuser zu erhalten, wird die normierte Energiemenge von 1 Mio. kWh zu der tatsächlichen Energiemenge von 9.000 kWh ins Verhältnis gesetzt. Anschließend werden die Viertelstundenwerte der normierten Leistung durch dieses Verhältnis dividiert, um so die tatsächlich eingespeiste Leistung einer PV-Anlage in Viertelstundenwerten zu erhalten (siehe Daten-CD¹⁴¹).

Als Verbrauchsprofil des Einfamilienhauses wird ebenfalls das SLP für Haushalte (H0) der EWE NETZ GmbH herangezogen.¹⁴² Dieses basiert auf den Profilen des BDEWs und stellt ebenfalls Verbrauchswerte in 15-Minuten Zeitschrittweiten für ein Jahr zur Verfügung (siehe Daten-CD¹⁴³). Auch dieses Profil ist auf einen Jahresverbrauch von 1 Mio. kWh normiert. Für ein EFH mit vier Personen fällt in der Regel ein Stromverbrauch von 4.750 kWh jährlich an.¹⁴⁴ Auch für dieses Profil wird das Verhältnis zwischen dem tatsächlichen Jahresverbrauch und dem normierten Verbrauch gebildet und die Viertelstundenwerte durch dieses dividiert, um den tatsächlichen Verbrauch in 15-Minuten Zeitschrittweiten zu erhalten (siehe Daten-CD¹⁴⁵).

Bei beiden verwendeten Profilen handelt es sich um dynamisierte Werte, d.h. die Messwerte wurden mit einer Dynamisierungsfunktion belegt, um jahreszeitliche Differenzen auszugleichen. Weiterhin sind die Werte auf Mittelwerte der Viertelstunde geglättet, sodass eine Kurve ohne den für Messwerte charakteristischen gezackten Verlauf entsteht (siehe Abbildung 33).¹⁴⁶

¹³⁹ Vgl. EWE NETZ GmbH (2016).

¹⁴⁰ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/SLP EWE NETZ GmbH.xlsx/Arbeitsblatt „H0“.

¹⁴¹ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/SLP EWE NETZ GmbH bezogen auf tatsächliche Jahressumme.xlsx/Arbeitsblatt „H0“.

¹⁴² Vgl. EWE NETZ GmbH (2016).

¹⁴³ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/SLP EWE NETZ GmbH.xlsx/Arbeitsblatt „ES0“.

¹⁴⁴ Vgl. BDEW (2013), S.6.

¹⁴⁵ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/SLP EWE NETZ GmbH bezogen auf tatsächliche Jahressumme.xlsx/Arbeitsblatt „ES0“.

¹⁴⁶ Vgl. Lübke et al. (2007), S. 4.

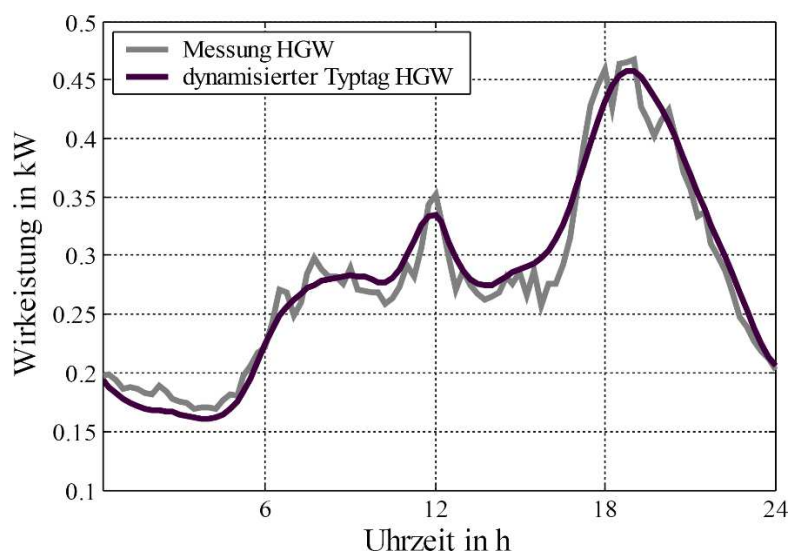


Abbildung 33: Beispiel eines Vergleichs der Tagesmessung mit dem dynamisierten Typtag¹⁴⁷

Durch die zuvor getroffenen Annahmen und Rechnungen ergeben sich für die Einfamilienhäuser im Modellquartier ein Einspeiseprofil der PV-Anlage und ein Verbrauchsprofil für Strom mit absoluten Werten in kWh in 15-Minuten Zeitschrittweiten.

Um diese mit dem Strombedarf einer Schule zu vergleichen, muss der Jahresbedarf dieser festgelegt werden, um auch hier absolute Verbrauchswerte zu erhalten. Wie bereits in Kapitel 4.5.2 erläutert, variiert dieser von Schule zu Schule stark und kann nicht pauschal festgelegt werden.

Als Schule für das Modellquartier wird beispielhaft eine Grundschule ausgewählt. Als Tagesstrombedarf wird der Mittelwert der in Kapitel 4.2 betrachteten Schulen je Typtagkategorie angenommen (siehe Tabelle 16 und Anhang F).

Tabelle 16: Durchschnittlicher Stromverbrauch der betrachteten Grundschulen je Typtagkategorie

Typtagkategorie	WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
Durchschn. Stromverbrauch [kWh]	210	478	325	190	402	226	135	285	183

Um den Jahresverbrauch abzuschätzen, wird die Anzahl der Typtage je Typtagkategorie (siehe Kapitel 4.4.2) mit dem durchschnittlichen Tagesverbrauch multipliziert. Der Jahresverbrauch der Grundschule ergibt sich somit zu 103.994 kWh. Um auch für die Grundschule absolute Verbrauchswerte in 15-Minuten Zeitschrittweiten zu erhalten, wird der jeweilige normierte Wert der entwickelten RLPs mit der angenommenen Tagessumme je Typtagkategorie multipliziert (siehe Daten-CD¹⁴⁸).

Wie bereits erläutert, liegen für die von der EWE NETZ GmbH zur Verfügung gestellten Daten Verläufe über das ganze Jahr vor. Um diese mit dem Bedarfsprofil der Schule vergleichen zu können, muss ein Tagesprofil ausgewählt werden. Dabei wird bei den Profilen der EWE NETZ GmbH basierend auf den Annahmen der BDEW zwischen Samstag, Sonntag und Werktagen

¹⁴⁷ Lübke et al. (2007), S. 3.

¹⁴⁸ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/Berechnung der absoluten Verbrauchswerte Schule.xlsx.

unterschieden. Die Einteilung nach Jahreszeiten erfolgt nach festgelegten Stichtagen.¹⁴⁹ Um für jede der so definierten Typtagkategorien¹⁵⁰ ein repräsentatives Lastprofil auszuwählen, wird analog zu der in Kapitel 4.4.3 beschriebenen Vorgehensweise verfahren. Die Tageslastgänge werden der entsprechenden Typtagkategorie zugeordnet und anschließend normiert und kumuliert. Als repräsentativ wird der Tageslastgang mit der kleinsten quadratischen Abweichung zum Durchschnittsprofil ausgewählt (siehe Daten-CD¹⁵¹).

Anschließend werden die so erhaltenen Tageslastgänge des Einfamilienhauses und das Erzeugungsprofil der PV-Anlage den Tageslastgängen der Schule gegenübergestellt, um diese entsprechend der Fragestellung des Anwendungsbeispiels miteinander zu vergleichen (siehe Daten-CD¹⁵²).

5.1.2 Gegenüberstellung der PV-Einspeisung und des Strombedarfs eines Einfamilienhauses mit dem Strombedarf einer Schule

Um die einzelnen Profile vergleichen zu können, wurden diese für jede Typtagkategorie gegenübergestellt und grafisch ausgewertet. Es wurden dabei sowohl die absoluten Viertelstundenwerte als auch die normierten Werte betrachtet (siehe Daten-CD¹⁵³).

Durch den Vergleich soll gezeigt werden, zu welchen Zeiten die Einfamilienhäuser sich selbst mit dem von der PV-Anlage produzierten Strom versorgen können und zu welchen Zeiten Überschüsse entstehen und ob diese dazu dienen können, den Strombedarf der Schule zu decken.

Dabei werden die Ferienkategorien der Schule nicht gesondert berücksichtigt, da diese weitestgehend den Verläufen am Wochenende entsprechen (siehe Kapitel 4.5.2). Somit entstehen neun Typtagkategorien, für die jeweils die Profile gegenübergestellt werden.

Der Vergleich der Profile wird in diesem Abschnitt exemplarisch an einzelnen Typtagkategorien dargestellt und erläutert. Die hier nicht genauer beschriebenen Gegenüberstellungen der Profile sind in Anhang I dargestellt.

Bei der PV-Anlage entstehen im Juni und Anfang Juli die höchsten Einspeisungen. Zu dieser Jahreszeit liegt bereits ein hoher Sonnenstand und damit eine hohe Einstrahlung vor. Vorteilhaft gegenüber August sind dabei die geringeren Temperaturen. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Leistungsfähigkeit der PV-Module ab.¹⁵⁴ Als repräsentativ wird durch die verwendete Methodik jedoch ein Lastgang im August ausgewählt, mit einem mittleren

¹⁴⁹ Winter: 1.11-20.3; Übergang: 21.3-14.5 und 15.9-31.10; Sommer: 15.5-14.9. (vgl. Lübke et al (2007), S. 3).

¹⁵⁰ Typtagkategorien: Wintersamstag (WSa); Wintersonntag (WSo); Winterwerktag (WW); Übergangssamstag (ÜSa); Übergangssonntag (ÜSo); Übergangswerktag (ÜW); Sommersamstag (SSa); Sommersonntag (SSo); Sommerwerktag (SW).

¹⁵¹ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/Auswahl repräsentativer Tageslastgänge EFH.xlsx; Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/Auswahl repräsentativer Tageslastgänge PV.xlsx.

¹⁵² Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/Vergleich PV EFH Schule.xlsx.

¹⁵³ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/Vergleich PV EFH Schule.xlsx.

¹⁵⁴ Vgl. Spring et al. (o.J.), S. 2.

Wert innerhalb der Sommerkategorie (siehe Daten-CD¹⁵⁵), da dieser die Kategorie am besten repräsentiert.

Im Sommer wird durch den hohen Sonnenstand und die lange Sonneneinstrahlungsdauer der meiste Strom durch die PV-Anlage produziert. Der Vergleich der Erzeugung aus der PV-Anlage mit dem Verbrauch des Einfamilienhauses zeigt tagsüber eine deutliche Überproduktion, die den Bedarf des Einfamilienhauses deutlich übersteigt (siehe Abbildung 34).

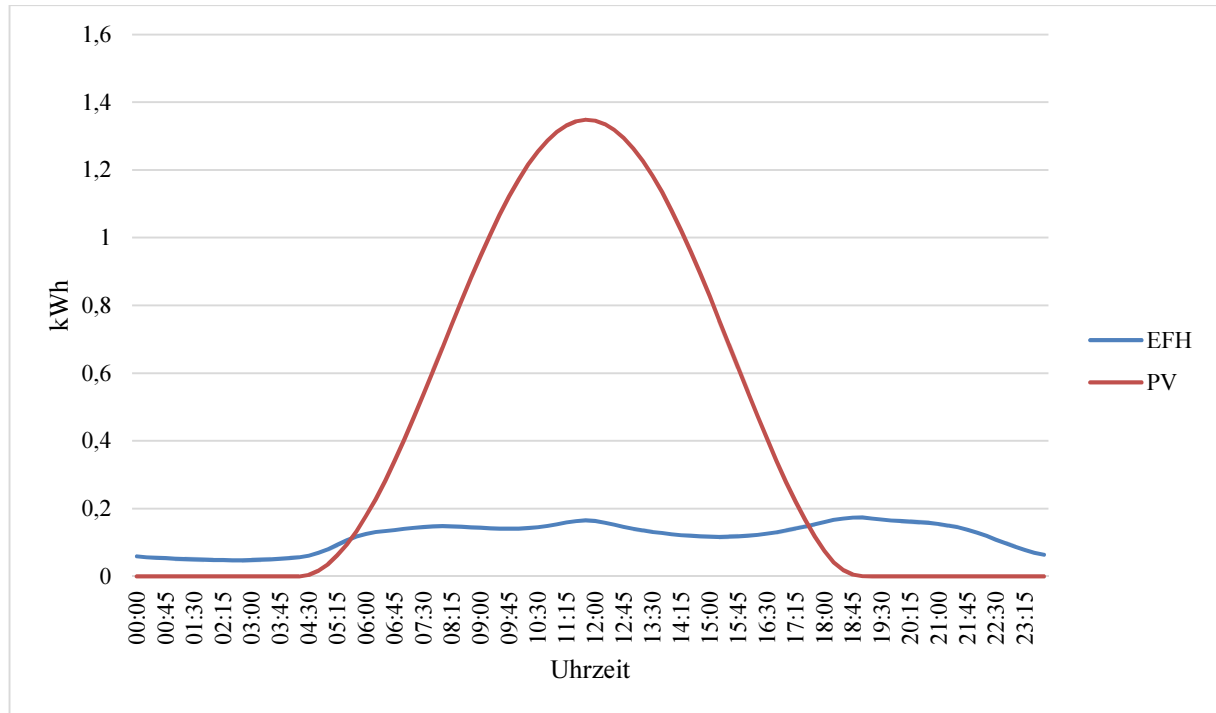


Abbildung 34: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs; Typtagkategorie SW

Dieser Überschuss wird in der Regel in das Stromnetz eingespeist. Auf Quartiersebene könnte dieser Überschuss zur Stromversorgung anderer Gebäude dienen. Durch die geringeren Transportstrecken wären dabei die Leitungsverluste geringer.

Der Vergleich mit dem Lastprofil der Schule zeigt, dass der von der PV-Anlage produzierte Überschuss zeitlich mit dem höchsten Strombedarf der Schule übereinstimmt (siehe Abbildung 35).

¹⁵⁵ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/Auswahl repräsentativer Tageslastgänge
PV.xlsx/Arbeitsblätter „SSa“; „SSo“; „SW“.

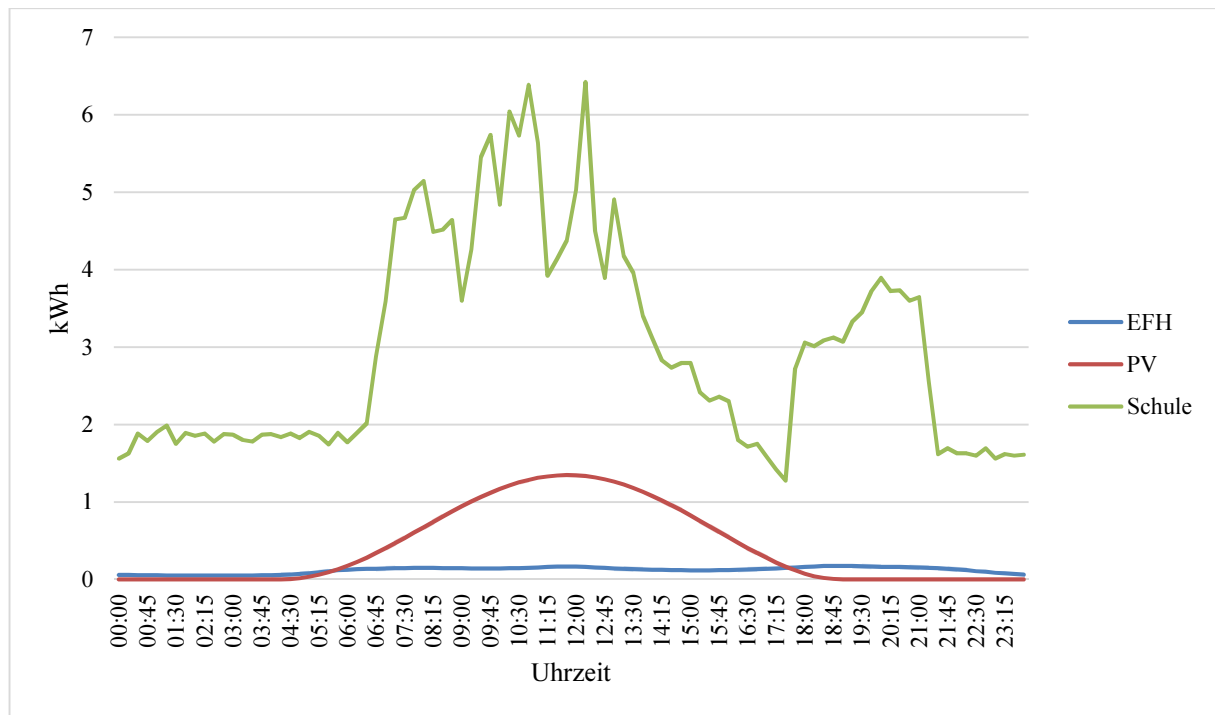


Abbildung 35: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SW

Im Gegensatz zum Verbrauchsprofil des Einfamilienhauses weist das der Schule zu der Zeit der größten Produktion an Strom aus der PV-Anlage den größten Strombedarf auf. Somit eignen sich Schulen besonders zur Abnahme des Überschusses an PV-Strom auf Quartiersebene.

Wird der Eigenverbrauch des Einfamilienhauses außer Betracht gelassen, würden in der Mittagszeit im Sommer, während der höchsten Produktion des PV-Stroms, bereits vier Einfamilienhäuser mit einer PV-Anlage ausreichen, um den Strombedarf der Schule zu decken. In den Morgenstunden und am Abend wären zehn Häuser notwendig. Da der Eigenbedarf des Einfamilienhauses verhältnismäßig gering zur erzeugten Leistung ist, wären unter Berücksichtigung dieses tagsüber fünf Einfamilienhäuser ausreichend (siehe Daten-CD¹⁵⁶). In den Morgen- und Abendstunden hingegen circa zwölf. Nachts wird durch die PV-Anlage kein Strom produziert. Zu dieser Zeit müssten der Strombedarf des Einfamilienhauses und der der Schule weiterhin über das öffentliche Stromnetz gedeckt werden.

Im Winter wird durch die PV-Anlage weniger Strom produziert, da der Sonnenstand und somit die Einstrahlungsleistung geringer ist und insgesamt weniger Sonnenstunden am Tag vorliegen. Dies zeigt sich auch in Abbildung 36.

¹⁵⁶ Rechnungen/Vergleich der RLP mit PV und EFH/Vergleich PV EFH Schule.xlsx/Arbeitsblatt „Sommer“, Spalte „SW“

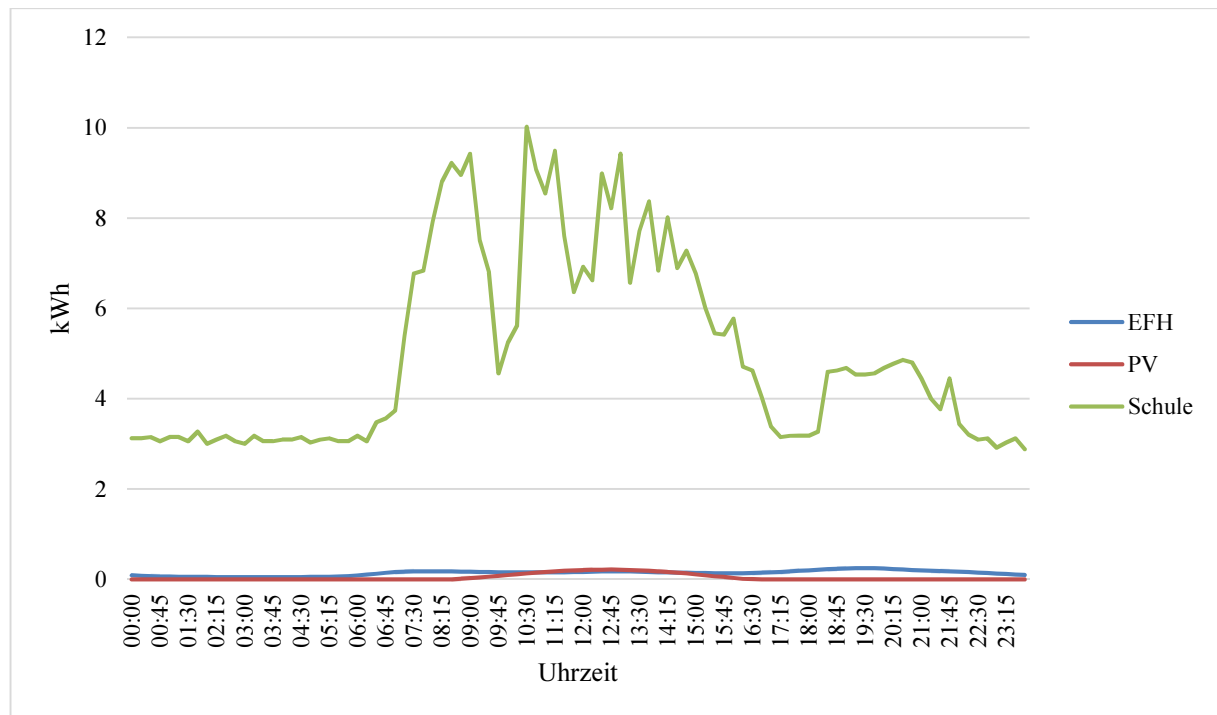


Abbildung 36: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WW

Hier übersteigt der Strombedarf der Schule, der im Winter höher als im Sommer ist, die Stromproduktion durch die PV-Anlage, die im Winter geringer ist als im Sommer, deutlich. Durch die kürzere Sonnenscheindauer tagsüber decken sich die Zeiten der Nutzung der Schule und die der Stromproduktion nicht mehr exakt (siehe dazu auch Abbildung A - 60 Anhang I). In den Morgenstunden und am Abend weist die Schule durch ihre Nutzung einen erhöhten Strombedarf auf, während kaum Strom durch die PV-Anlagen der Einfamilienhäuser eingespeist wird. Dennoch stimmen die Zeiten mit der größten Einspeisung um die Mittagszeit mit denen des größten Strombedarfs der Schule überein. Um hier den Bedarf der Schule durch die PV-Anlagen der Einfamilienhäuser im Quartier zu decken sind circa 40 Einfamilienhäuser notwendig. In den Morgenstunden und am Abend mehr als hundert. Nachts wird kein Strom aus PV erzeugt, sodass hier wie auch am frühen Morgen und späten Abend eine zusätzliche Versorgung aus dem Stromnetz notwendig wäre.

An den Wochenenden weist die Schule in der Regel einen konstanten Strombedarf in Höhe der Grundlast auf (siehe Abbildung 37).

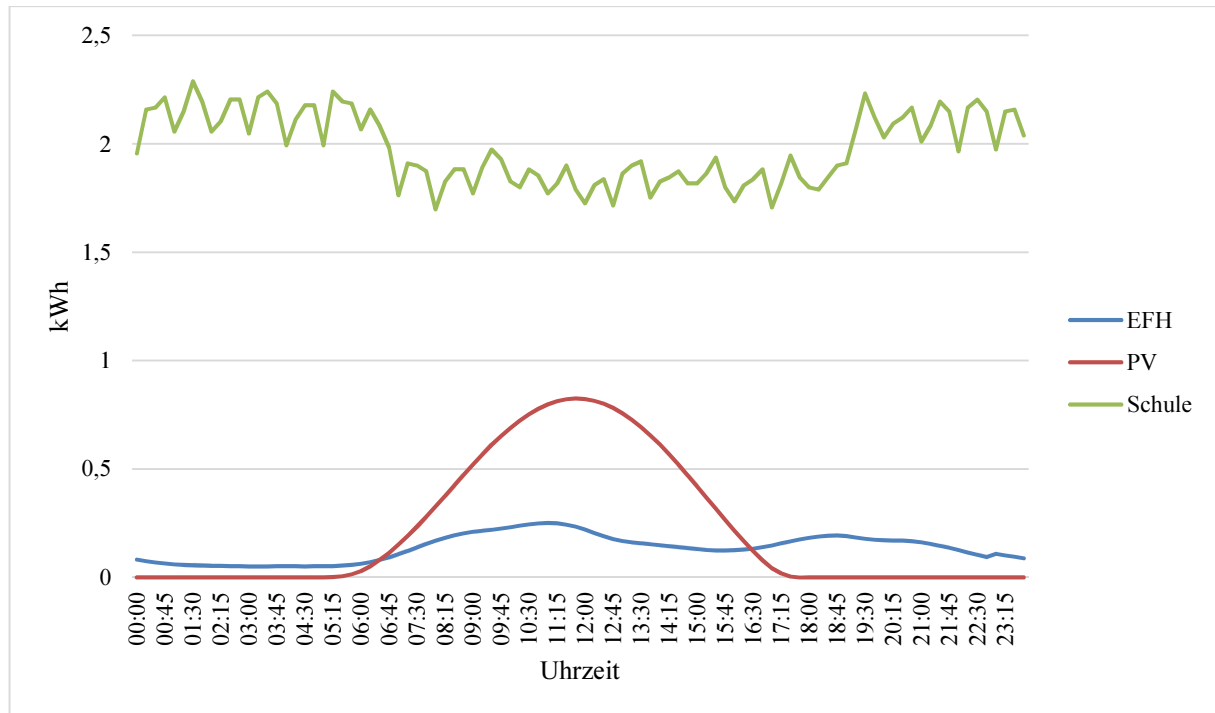


Abbildung 37: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜSo

Hier decken sich der Bedarf der Schule und die Erzeugung aus PV nicht mehr so gut. Dennoch kann tagsüber der Grundbedarf der Schule aus dem Überschuss der PV-Anlage gedeckt werden. Hierzu sind wesentlich weniger Einfamilienhäuser notwendig als an den Werktagen. An den Wochenenden hingegen ist der Eigenverbrauch der Einfamilienhäuser höher, da die Bewohner gegenüber den Werktagen häufiger zu Hause sind. Somit ist dies optimal für die Betrachtung auf Quartiersebene. Steigt der Eigenbedarf der Einfamilienhäuser, so sinkt der Bedarf der Schulgebäude. Zu Zeiten eines relativ niedrigen Eigenbedarfs der Einfamilienhäuser ist der Strombedarf an Schulen am höchsten. Dies gleicht sich jedoch nicht vollständig aus, sodass bei einer Auslegung des Quartiers für die Deckung des Strombedarfs der Schule an den Werktagen, am Wochenende ein Überschuss auf Quartiersebene entsteht, der in das Netz eingespeist werden kann.

Eine Einspeisung ins Netz wäre ebenfalls im Sommer der Fall, wenn das Quartier für den Bedarf der Schule im Winter ausgelegt wird, da hier der Strombedarf der Schule am höchsten und der Ertrag aus der Stromerzeugung am niedrigsten ist. Wird das Quartier für den Sommerfall ausgelegt, kann der Strombedarf der Schule im Winter nicht vollständig über die PV-Erzeugung gedeckt werden und es ist eine zusätzliche Versorgung über das öffentliche Stromnetz notwendig.

Durch das Beispiel konnte gezeigt werden, dass die entwickelten RLPs eine Planung auf Quartiersebene ermöglichen.

5.2 Implikationen für die Praxis

Das gezeigte Beispiel stellt eine mögliche Anwendung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Referenzlastprofile dar. Diese könnten somit zur Planung und Auslegung von Quartieren dienen. Wie sich durch die Analyse der PV-Einspeisepprofile im Vergleich zu dem

Strombedarf der Schulen gezeigt hat, eignen sich Schulen besonders gut, um über Strom aus PV-Erzeugung versorgt zu werden. Aus diesem Grund wäre als weiteres Anwendungsfeld eine Auslegung einer PV-Anlage auf dem Dach einer Schule denkbar.

Generell dienen die entwickelten RLPs dazu, den Energiebedarf sowohl für Strom als auch für Gas während der Planung abzuschätzen, um so die optimale Art der Energieversorgung auszuwählen. Dabei ist jedoch von den Anwendern zu berücksichtigen, dass die entwickelten RLPs lediglich Durchschnittswerte angeben. Sie eignen sich umso besser zur Abschätzung des Energiebedarfs, je mehr das Gebäude, für das der Energiebedarf abgeschätzt werden soll, dem Durchschnitt der betrachteten Bildungsbauten innerhalb eines Schultyps entspricht. Die Nutzung der RLPs zur Planung der Energieversorgung ersetzt jedoch in keinem Fall die Dimensionierung nach den einschlägigen hierfür vorgesehenen Normen.

Weiterhin könnten die RLPs dazu dienen, Energieeinsparpotenziale aufzudecken, indem sie aufzeigen, zu welchen Zeiten die größten Lasten und Bedarfe an Energie anfallen. Weicht eine Schule stark von den als Vergleich dienenden RLPs ab, können Ursachen für diese Abweichung identifiziert und behoben werden. Somit dienen die RLPs als Vergleichsbasis, ob der Energieverbrauch einer Schule dem Durchschnitt des Schultyps entspricht oder ob dieser stark unter- oder überschritten wird.

Generell ist bei der Anwendung der RLPs zu beachten, dass diese aus tatsächlichen Messwerten bestehen und lediglich normiert und nicht weiter verändert wurden. Somit enthalten sie die Charakteristika der Gebäude, von denen der repräsentative Lastgang stammt. Dies spiegelt sich vor allem in den Uhrzeiten des Auftretens der charakteristischen Eigenschaften wider. Nicht alle Schulen beginnen zur gleichen Uhrzeit mit dem Unterricht und haben parallele Pausen, Schulstunden und Schulschluss, wie die RLPs für Strom zeigen. Beim Heizwärmebedarf variieren die Zeiten der Nachtabsenkung je nach installierter Heizungsanlage und deren Regelung. Somit muss bei der Anwendung der RLPs die Uhrzeit des Auftretens dieser Ereignisse, die sich in den RLPs charakteristisch abbilden, bei der Anwendung berücksichtigt werden, wodurch sich eine Verschiebung der Profile entlang der Zeitachse ergibt.

Bei der Verwendung der RLPs in anderen Klimazonen innerhalb Deutschlands ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der veränderten klimatischen Bedingungen die Anzahl der Typtage innerhalb einer Typtagkategorie variiert.

Somit ergeben sich mehrere Faktoren, die bei der Anwendung der RLPs Berücksichtigung finden müssen, um den Tagesverlauf der Energiebedarfe möglichst genau abzubilden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Die Zielsetzung der Arbeit bestand darin, Referenzlastprofile für unterschiedliche Schultypen und Kitas zu entwickeln, welche die typischen Charakteristika dieser Gebäudetypen sowohl für den Strom- als auch für den Gasverbrauch aufzeigen und für diese Profile Anwendungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten.

Zu diesem Zweck wurde in Kapitel 2 die Thematik der Referenzlastprofile in den Kontext der Energieeffizienz eingeordnet und die in Deutschland etablierten Referenzlastprofile vorgestellt. Die gesetzten Ziele der Bundesregierung, im Zuge der Energiewende zukünftig den Hauptteil des Energiebedarfs durch erneuerbare Energien zu decken, führen zu höheren Fluktuationen in der Energieversorgung. Hierdurch wird es zukünftig notwendig, den Energieverbrauch aller Gebäudetypen in kleinen Zeitschrittweiten zu kennen.

Ein SLP stellt ein repräsentatives Lastprofil dar, das den zeitlichen Verlauf der abgenommenen Leistung über eine bestimmte Periode in kleinen Zeitschrittweiten angibt. Für die Prognose des Bedarfs von Energieverbrauchern ohne registrierende Leistungsmessung haben sich in der Praxis die Profile des BDEWs für Strom und die der TU München für Gas etabliert. Für die Erstellung solcher Profile besteht dennoch keine einheitliche Regelung zur Vorgehensweise. Zur Erstellung der Referenzlastprofile im Rahmen dieser Arbeit wurde die Vorgehensweise, welche in der VDI 4655 zur Erstellung von Referenzlastprofilen von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen entwickelt wurde, ausgewählt.

Um den Energiebedarf von Bildungsbauten besser einschätzen zu können, wurden in Kapitel 3 der Energiebedarf und die Art der Versorgung von Bildungsbauten erläutert und die Förderungen der Bundesregierung bezüglich energieeffizienter Schulen dargestellt. Der größte Teil der benötigten Brenn- und Kraftstoffe entfällt bei Bildungsbauten auf die Raumheizung. Beim Strombedarf entfällt der größte Anteil auf die Beleuchtung. Die Bedeutung von Bildungsbauten bezüglich der Energieeffizienz zeigen die Förderprogramme, die durch die Bundesregierung speziell für Schulen aufgelegt wurden. Neben der Verbesserung der energetischen Qualität der Schulgebäude dienen diese gleichzeitig als Vorzeigeobjekte und können dazu beitragen, einen verantwortungsvollen Umgang mit Energie pädagogisch zu vermitteln.

Für die Erstellung der Referenzlastprofile lagen die gemessenen Lastgangdaten des Strom- und Heizwärmebedarfs von fünfzehn Schul- und Kitagebäuden für das Jahr 2014 in Viertelstundenwerten vor. Diese Schul- und Kitagebäude wurden in Kapitel 4 zunächst vorgestellt und anschließend in die drei Schultypen Kitas, Grundschulen und weiterführende Schulen eingeteilt.

Zur Erstellung der Referenzlastprofile wurde die Methodik entsprechend den Gegebenheiten bei Schulgebäuden angepasst und neun Typtagkategorien definiert. Um möglichst repräsentative Referenzlastprofile für jeden der Schultypen sowie jede Typtagkategorie zu erhalten, wurden fehlerhafte oder unvollständige Daten aus den Datensätzen aussortiert.

Ausgehend von diesen bereinigten und den Typtagkategorien zugeordneten Lastgangdaten wurden in Kapitel 4.5 für jeden der Schultypen und jede Typtagkategorie jeweils Referenzlastprofile für Strom und Gas entwickelt. Hierbei konnten typische Charakteristika für die unterschiedlichen Schultypen für Strom und Gas aufgezeigt werden. Der Strombedarf hängt dabei im Wesentlichen vom Nutzerverhalten ab, wodurch die größten Lasten während der Nutzungszeiten der Schulen entstehen. Auf den Lastgang des Heizwärmebedarfs hat die Außentemperatur und das Nutzerverhalten den größten Einfluss, wodurch sich typische Charakteristika vor allem für die Typtagkategorien im Winter ableiten lassen.

Durch die anschließende kritische Würdigung der entwickelten Referenzlastprofile in Kapitel 4.6 konnten Defizite in der Datengrundlage aufgedeckt und Potenziale zur Weiterentwicklung der Profile aufgezeigt werden. Durch die Förderung der Bundesregierung sollen zukünftig mehr Schulen mit niedrigen Energiestandards entstehen. Hierfür wäre die Ausweitung der Profile auf Passivschulen erstrebenswert.

Die entwickelten Lastprofile können für unterschiedliche Zwecke Anwendung finden. Ein Beispiel hierfür stellt die in Kapitel 5 dargestellte Auslegung eines Quartiers dar. Hierzu wurde die Korrelation zwischen den Verbrauchsprofilen von Schulen und Photovoltaik-Einspeiseprofilen von Einfamilienhäusern und deren Eigenverbrauch untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass Schulen an Werktagen zu Zeiten der größten Photovoltaik-Einspeisung den höchsten Strombedarf aufweisen und sich somit besonders gut als Abnehmer des so produzierten Stroms eignen.

6.2 Ausblick

Referenzlastprofile bedürfen einer ständigen Weiterentwicklung, sodass diese den Bedarf der unterschiedlichen Verbrauchergruppen möglichst realitätsnah abbilden. Die bisher bestehenden Standardlastprofile haben diese Notwendigkeit der stetigen Fortentwicklung zur Verbesserung der Profile bestätigt. Die energetischen Standards und damit der Energiebedarf der Gebäude verändern sich im Laufe der Zeit. Aus diesem Grund ist eine Ausweitung der Referenzlastprofile auf niedrigere Energiestandards für die zukünftige Entwicklung notwendig. Zur Entwicklung solcher Profile bedarf es neuer Messwerte von unterschiedlichen Schulen mit Niedrigenergie- oder Passivhausstandard. Zur Erstellung dieser Profile ist die Festlegung neuer Temperaturgrenzwerte zur Unterscheidung der Jahreszeiten notwendig.

Weiterer Bedarf zur Verifizierung der Ergebnisse besteht auf dem Gebiet der Datenbasis. Vor allem die Messwerte des Heizwärmebedarfs zeigen einige Auffälligkeiten. Die Ursache für diese sollte durch weitere Recherche aufgeklärt werden und gegebenenfalls sollten die bestehenden Daten durch neue Daten ersetzt werden. Um die Profile zu überprüfen und deren Praxistauglichkeit zu verifizieren, sollten diese mit gemessenen Realdaten weiterer Schulen verglichen werden. Bisher stehen solche Datensätze nur begrenzt zur Verfügung, sodass hier weiterer Erhebungsbedarf besteht.

Generell besteht zur Art der Energieversorgung und der vorhandenen Versorgungstechnik bei Bildungsbauten weiterer Forschungsbedarf. Durch Erhebung und Messung in repräsentativen Städten sowie einer umfassenden Analyse der vorhandenen Gebäudetechnik können

Energieeinsparpotenziale aufgedeckt werden. Zu diesem Zweck sowie zur Verifizierung der entwickelten Referenzlastprofile ist der Aufbau einer umfassenden Datenbasis notwendig.

Der Mangel einer einheitlichen Regelung zur Vorgehensweise in der Erstellung von Referenzlastprofilen führt zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die unterschiedlichen dabei angewendeten Verfahren führen zu heterogenen Profilen, die differierende Eigenschaften aufweisen. Diese Differenzen führen auch für Anwender zu einer unterschiedlichen Handhabung der Profile. Eine einheitliche Regelung dieser Methodik würde die Voraussetzung für eine einheitliche Vorgehensweise in der Erstellung und somit eine einheitliche Art von Profilen und der daraus resultierenden Art der Anwendung schaffen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die entwickelten Referenzlastprofile einen ersten Ansatz darstellen, den Energiebedarf von Schulen und Kitas in kleinen Zeitschrittweiten zu prognostizieren. Es konnten jedoch auch einige Defizite bezüglich der Datengrundlage und der Profile aufgezeigt werden, welche durch Fortentwicklung der Profile zu beheben sind. Mit den entwickelten Referenzlastprofilen ist es möglich, typische Charakteristika der unterschiedlichen Schultypen aufzuzeigen und die zeitliche Verteilung der anfallenden Last über den Tag für die unterschiedlichen Typtagkategorien zu prognostizieren.

Literaturverzeichnis

- AGEB (2015):** Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2014. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016):** Energie-Atlas Bayern. Daten und Fakten. URL: https://www.energieatlas.bayern.de/thema_sonne/photovoltaik/daten.html [zuletzt abgerufen am 15.02.2016].
- BBSR (2016):** Pilotprojekte Energetische Stadtsanierung. URL: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/Weitere/KfW/PilotprojekteEnSa/01_Start.html [zuletzt abgerufen am 14.02.2016].
- BDEW (2013):** Energie-Info. Stromverbrauch im Haushalt. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Berlin, Oktober 2013.
- BDEW, VKU, GEODE (2011):** Leitfaden. Abwicklung von Standardlastprofilen Gas. Herausgegeben vom BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), GEODE – Groupment Européen des entreprises et Organismes de Distribution d'Énergie, EWIV.
- BMUB (2015):** Richtlinie Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte hier Förderzweig: Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- BMVBS (2011):** Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- BMWi (2015a):** Systemintegration erneuerbarer Energien. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Strommarkt-der-Zukunft/systemintegration.html> [zuletzt abgerufen am 08.01.2015].
- BMWi (2015b):** Energiegewinnung und Energieverbrauch. URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/energiegewinnung-energieverbrauch.html> [zuletzt abgerufen am 31.12.2015].
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post, Eisenbahnen (2016):** Datenmeldungen und EEG-Vergütungssätze für Photovoltaikanlagen. URL: http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1431/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik/DatenMeldgn_EEG-VergSaetze/DatenMeldgn_EEG-VergSaetze_node.html;jsessionid=E880B89D4CFC3AEFB2FF601BB24E5EF0#doc405794bodyText4 [zuletzt abgerufen am 15.02.2016].
- Bundesregierung (2010):** Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Die Bundesregierung. URL: http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/e

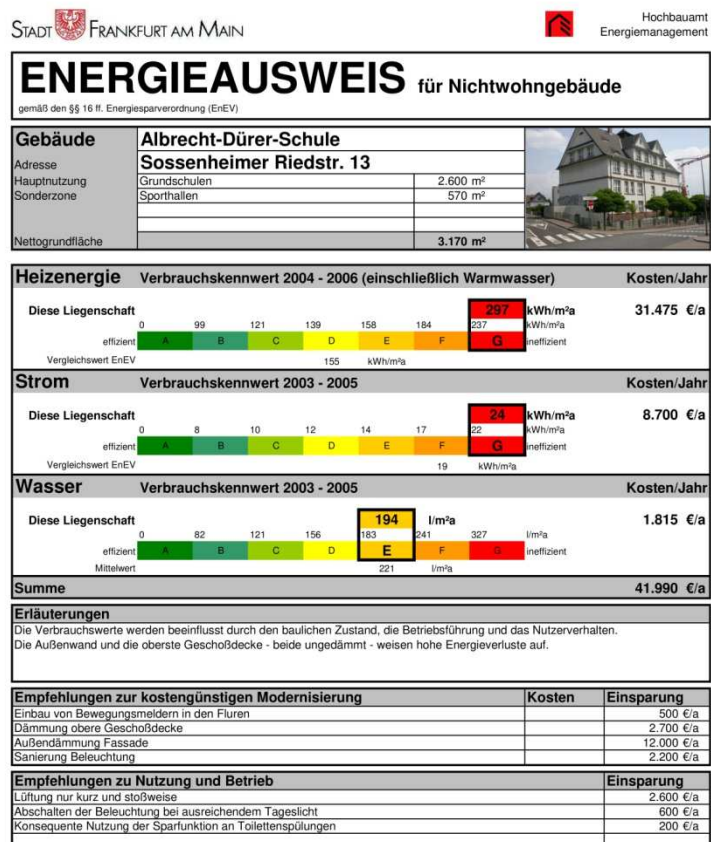
- nergiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [zuletzt abgerufen am 08.01.2015].
- Christian Münch GmbH (2016):** Photovoltaik.org – Unabhängige Beratung. kWp – Kilowatt Peak. URL: <http://www.photovoltaik.org/wissen/kwp> [zuletzt abgerufen am 15.02.2016].
- dena (2015):** Effiziente Energiesysteme. Stromnetze – Herausforderungen im deutschen Stromversorgungssystem. URL: <http://www.effiziente-energiesysteme.de/themen/intelligente-stromnetze/herausforderungen.html> [zuletzt abgerufen am 08.01.2015].
- Dr. Paschotta, RP Photonics Consulting GmbH (2015):** RP-Energie-Lexikon. Lastprofil. URL: <https://www.energie-lexikon.info/lastprofil.html> [abgerufen am 05.12.2015].
- DWD (2016):** Deutscher Wetterdienst – Wetter und Klima aus einer Hand. Frankfurt (Flugh.). URL: http://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/hessen/frankfurt/_node.html [zuletzt abgerufen am 03.02.2016].
- Dubielzig, G.; Frey H.; Heikrodt, K.; Ksinn K.; Nunn, A.; Scholz, W.-H.; Winkelmann, Th. (2007):** Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz in KWK-Anlagen. In: Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 6: Energietechnik, Nr. 560, VDI Verlag, Düsseldorf, 2007.
- EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie e.V. (2015):** Projekt NOVAREF – neue Referenzlastprofile für effizientere Hausenergiesysteme. URL: <http://www.next-energy.de/projekt-novaref.html> [zuletzt abgerufen am 16.12.2015].
- EWE NETZ GmbH (2016):** Lastprofile. URL: <https://www.ewe-netz.de/strom/1988.php> [zuletzt abgerufen am 15.02.2016].
- Fehse, J. (2016):** AW: Ihre Anfrage vom 15.01.2016 zu den Schließungszeiten unserer Kinderzentren [E-Mail]. Judith.Fehse@stadt-frankfurt.de; 18.01.2016.
- FfE Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (2014):** Statusbericht zum Standardlastprofilverfahren Gas. Im Auftrag von: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
- Frankfurt.de (2015):** Leben in Frankfurt. Bildung und Wissenschaft. URL: [http://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2807&_ffmpar\[_id_eltern\]=4095](http://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2807&_ffmpar[_id_eltern]=4095) [zuletzt abgerufen am 05.01.2016].
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik; Hochschule München; Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (2013):** EnEff:Schule – Energieeffiziente Schulen, Begleitforschungsvorhaben.
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2015):** Energieeffiziente Schulen. URL: <http://www.eneff-schule.de/> [zuletzt abgerufen am 31.12.2015].
- GasNZV (2010):** Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen (Gasnetzzugangsverordnung – GasNZV). In Kraft getreten am 09.09.2010.
- Hausladen, G.; Auer, T.; Schneegans, J.; Klimke, K.; Riemer, H. (2014):** Lastverhalten von Gebäuden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bauweisen und technischer

- Systeme. Endbericht. Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik. München, Juni 2014.
- Hegger, M.; Dettmar, J.; Martin, A. (2012):** UrbanReNet. EnEff:Stadt – Verbundprojekt Netzoptimierung – Teilprojekt: Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum. Schlussbericht. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. TU Darmstadt.
- Hellwig, M. (2003):** Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile. Diss. betreut von Univ.-Prof. Dr.- Ing. J. S. Kinderberger. TU München: Institut für Energietechnik.
- Hilgers, C.; Strauß, R. P.; Theiß, E. (2015):** Baunetz Wissen Heizung. Energieeffiziente Schulen. URL: http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Heizung-Energieeffiziente-Schulen_1534821.html [zuletzt abgerufen am 31.12.2015].
- KfW (2016):** Mehr Energieeffizienz in städtischen Quartieren. URL: <https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Newsroom/Pressematerial/KfW-Themendienst/Energetische-Stadtsanierung/Mehr-Energieeffizienz-in-st%C3%A4dtischen-Quartieren/> [zuletzt abgerufen am 14.02.2016].
- Kita Frankfurt (2016):** Die städtischen Kinderzentren. Gemeinsam leben lernen. Unsere Angebote. Von Anfang an und für alle. URL: <http://www.kitafrankfurt.de/angebote/> [zuletzt abgerufen am 03.02.2016].
- Kubessa, M. (o.J.):** Forschungskomplex „Lastprofile für Gasverbraucher“. Tafel 1 und 2. HWTK Leipzig, Fachbereich Maschinen- und Energietechnik.
- Lübke, N.; Holst, A.; Tolzmann, R. (2007):** Entwicklung eines synthetischen Jahreslastprofils für Haushaltsabnahme aus Elt.-Versorgungsnetzen. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektrotechnik und Informationstechnik, 08.-10.10.2007, Rostock.
- Meier, H.; Fünfgeld, C.; Adam, Th.; Schieferdecker, B. (1999):** Repräsentative VDEW-Lastprofile. Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Lehrstuhl Energiewirtschaft. Herausgegeben von VDEW Frankfurt a.M.
- Petersen, K. (2016):** Hermann-Luppe-Schule. Förderschwerpunkt emotionale und soziale Entwicklung. Zusammenarbeit mit dem Hermann-Luppe-Haus. URL: <http://www.hermann-luppe-schule.de/impressum.html> [zuletzt abgerufen am: 03.02.2016].
- Renewable Energy Concepts (2016):** Sonnenkarte – Geografische Lage. URL: <http://www.renewable-energy-concepts.com/german/sonnenenergie/basiswissen-solarenergie/geografische-lage-kwhm2.html> [zuletzt abgerufen am 15.02.2016].
- Schlomann, B.; Wohlfarth, K.; Kleeberger, H.; Hardi, L.; Geiger, B.; Pich, A.; Gruber, E.; Gerspacher, A.; Holländer, E.; Roser, A. (2015):** Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013. Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Anschlussauftrag des Forschungsvorhabens 53/09.

- Schulferien.org (2016):** Kalender 2014 + Ferien, Ferientage Hessen. URL: http://www.schulferien.org/Kalender_mit_Ferien/kalender_2014_ferien_Hessen.html [zuletzt abgerufen am 03.02.2016].
- Spring, A.; Wirth, G.; Becker, G.; Pardatscher, R.; Witzmann, R.; Brantl, J.; Schmidt, S. (o.J.):** Untersuchung der Korrelation aus Tageslastgängen und PV-Einspeisung zur Bestimmung der maximalen Netzbelastung. Hochschule München, Technische Universität München, E.ON Bayern AG. URL: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1185433/1185433.pdf> [zuletzt abgerufen am 15.02.2016].
- Stadt Frankfurt a.M. (2015):** Hochbauamt – Energiemanagement. URL: <http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de/> [zuletzt abgerufen am 05.01.2016].
- Statistisches Bundesamt (2014):** Statistisches Jahrbuch Deutschland und Internationales 2014. Statistisches Bundesamt.
- Tennet (2016):** Bilanzkreise. URL: <http://www.tennet.eu/de/kunden/bilanzkreise.html> [zuletzt abgerufen am 02.02.2016].
- Schubert, J.; Tschetschorke, K. (2013):** Strom- und Wärmeversorgung einer Siedlung bei unterschiedlichen Energieeffizienz-Standards. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Juli 2013.
- VDI 4655 (2008):** Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen.

Anhang

Anhang A – Energieausweise der betrachteten Schulen

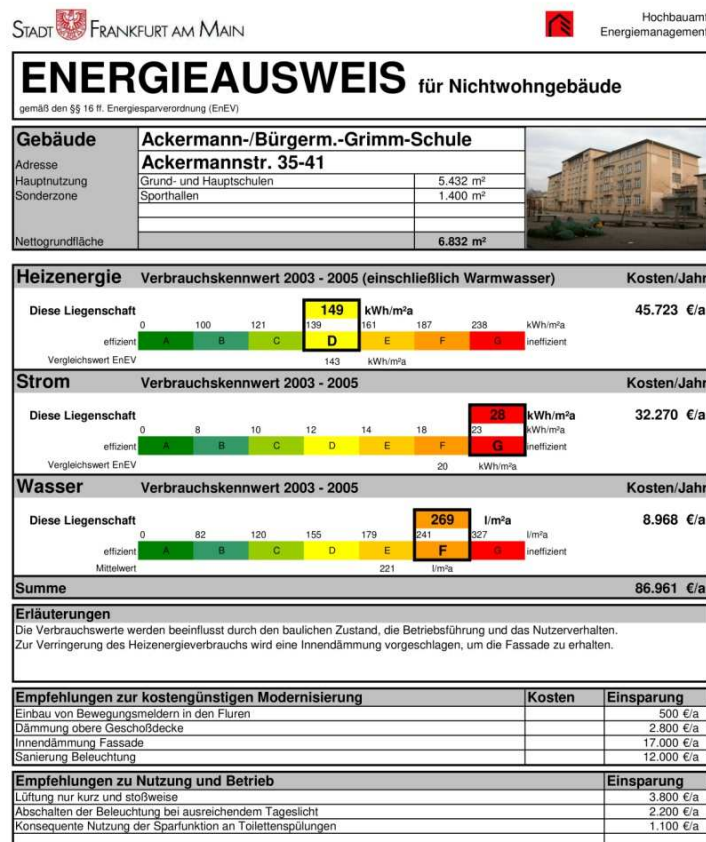


gesehen:
13.11.2007 Dipl.-Ing. Matthias Linder

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt:
25.07.2007 Dipl.-Ing. H. Jürgen Pergmann

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de



gesehen:
13.11.2007 Dipl.-Ing. Matthias Linder

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt:
13.11.2007 Dipl.-Ing. H. Jürgen Pergmann

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energiesparverordnung (EnEV)

Gebäude	Bonifatiuschule	
Adresse	Hamburger Allee 43	
Hauptnutzung	Grundschulen	3.152 m²
Sonderzone	Sporthallen	534 m²
Nettogrundfläche		3.686 m²



Heizenergie	Verbrauchskennwert 2003 - 2005 (einschließlich Warmwasser)	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	144 kWh/m²a	25.670 €/a
Vergleichswert EnEV	155 kWh/m²a	
Strom	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	12 kWh/m²a	7.703 €/a
Vergleichswert EnEV	19 kWh/m²a	
Wasser	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	294 l/m²a	4.683 €/a
Mittelwert	218 l/m²a	
Summe		38.056 €/a

Erläuterungen
Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten. Der hohe Wasserverbrauch wird durch die intensive Nutzung der Turnhalle durch Sportvereine verursacht.

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren		500 €/a
Dämmung obere Geschoßdecke		1.000 €/a
Innendämmung Fassade		22.000 €/a

Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung
Lüftung nur kurz und stoßweise	2.100 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht	500 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen	600 €/a

gesehen: *Mathias Linder*
12.11.2007 Dipl.-Ing. Mathias Linder

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt: *H. Jürgen Pargmann*
27.07.2007 Dipl.-Ing. H. Jürgen Pargmann

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energiesparverordnung (EnEV)

Gebäude	Eichendorff-Schule	
Adresse	Waldschulstraße 83	
Hauptnutzung	Grundschulen	3.060 m²
Sonderzone	Sporthallen	480 m²
Summe		3.540 m²



Heizenergie	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	188 kWh/m²a	26.934 €/a
Vergleichswert EnEV	155 kWh/m²a	
Strom	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	14 kWh/m²a	8.043 €/a
Vergleichswert EnEV	18 kWh/m²a	
Wasser	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	385 l/m²a	4.910 €/a
Mittelwert	218 l/m²a	
Summe		39.887 €/a

Erläuterungen
Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten. Hoher Heizenergieverbrauch durch Einfachverglasung in Teilbereichen, ungedämmte Außenwand und oberste Geschoßdecke. Wasserverbrauch sollte auch nach Einbau neuer Spararmaturen beobachtet werden (deutlich zu hoch). Empfohlen wird die Teilnahme am Programm "Erfolgsbeteiligung für Nutzer" (Info im Hochbauamt/Energiemanagement u. Internet).

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren		500 €/a
Dämmung obere Geschoßdecke		7.000 €/a
Fenstersanierung (3-fach-Wärmeschutz-Verglasung)		7.000 €/a
Einbau von Wasserspararmaturen		1.000 €/a

Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung
Lüftung nur kurz und stoßweise	2.200 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht	500 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen	600 €/a

gesehen: *Mathias Linder*
13.11.2007 Dipl.-Ing. Mathias Linder

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt: *H. Jürgen Pargmann*
31.08.2007 Dipl.-Ing. H. Jürgen Pargmann

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energiesparverordnung (EnEV)

Gebäude	Erich-Kästner-Schule	
Adresse	Praunheimer Weg 44	
Hauptnutzung	Grundschulen	3.827 m²
Sonderzone	Sporthallen	806 m²
Nettogrundfläche	4.633 m²	



Heizenergie	Verbrauchskennwert 2003 - 2005 (einschließlich Warmwasser)	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 99 119 121 138 158 183 237 kWh/m²a effizient B ineffizient Vergleichswert EnEV 143 kWh/m²a	40.352 €/a
Strom	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 8 10 12 14 17 22 23 kWh/m²a effizient G ineffizient Vergleichswert EnEV 19 kWh/m²a	14.860 €/a
Wasser	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 82 121 156 180 183 240 327 l/m²a effizient D ineffizient Mittelwert 221 l/m²a	3.013 €/a
Summe		58.225 €/a

Erläuterungen

Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten.
Die Verbrauchswerte für Strom können noch erheblich durch optimierten Betrieb gesenkt werden.

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren		500 €/a
Dämmung der Außenwand durch ein Wärmedämmverbundsystem (18 cm, WLG 040)		17.000 €/a
Beleuchtungssanierung		4.000 €/a
Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung	
Lüftung nur kurz und stoßweise		3.400 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht		2.000 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen		400 €/a

gesehen:

Mathias Linder
Dipl.-Ing. Mathias Linder

13.11.2007

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt:

H. Jürgen Pargmann
Dipl.-Ing. H. Jürgen Pargmann

12.09.2007

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energiesparverordnung (EnEV)

Gebäude	Stauffenbergsschule	
Adresse	Arnsburger Strasse 44	
Hauptnutzung	Berufsfachschulen	4.741 m²
Sonderzone	Sporthallen	388 m²
Nettogrundfläche	5.129 m²	



Heizenergie	Verbrauchskennwert 2003 - 2005 (einschließlich Warmwasser)	Kosten 2005
Diese Liegenschaft	0 87 102 117 122 146 158 181 kWh/m²a effizient G ineffizient Vergleichswert EnEV 118 kWh/m²a	48.949 €/a
Strom	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten 2005
Diese Liegenschaft	0 8 9 13 16 18 29 29 kWh/m²a effizient F ineffizient Vergleichswert EnEV 26 kWh/m²a	23.751 €/a
Wasser	Verbrauchskennwert 2002 - 2004	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 138 166 176 177 278 374 419 l/m²a effizient G ineffizient Mittelwert 241 l/m²a	8.041 €/a
Summe		80.741 €/a

Erläuterungen

Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten.
Der hohe Heizenergieverbrauch wird verursacht durch veraltete überdimensionierte Heizkessel (Sanierung in Planung), durch die zentrale schlecht wärmegeämmte Warmwasserversorgung der Turnhalle sowie durch die nicht ausreichende Wärmedämmung der Fassade und des Daches. Empfehlung: Erstellung eines Energiekonzeptes.
Hohes Einsparpotential bei optimiertem Betrieb (Empfehlung: Teilnahme am Programm "Erfolgsbeteiligung für Nutzer").

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren		500 €/a
Dämmung obere Geschoßdecke		8.000 €/a
Innendämmung Altbau		5.000 €/a
Beleuchtungssanierung		8.000 €/a
Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung	
Lüftung nur kurz und stoßweise		4.100 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht		1.600 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen		1.000 €/a
Anpassung der Warmwasserversorgung an die Nutzungszeiten		2.000 €/a

gesehen:

Mathias Linder
Dipl.-Ing. Mathias Linder

03.01.2008

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt:

H. Jürgen Pargmann
Dipl.-Ing. H. Jürgen Pargmann

03.05.2007

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS

Gebäude	Bettinaschule		
Adresse	Feuerbachstraße 37-47		
Hauptnutzung	Gymnasien	6.740 m²	
Sonderzone	Sporthallen	601 m²	
Summe		7.341 m²	

Heizenergie	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 92 111 125 148 173 225 kWh/m²a	39.050 €/a
Vergleichswert EnEV	127 kWh/m²a	
Strom	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 10 12 14 16 22 26 kWh/m²a	15.707 €/a
Vergleichswert EnEV	17 kWh/m²a	
Wasser	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 65 122 140 154 178 208 309 l/m²a	4.711 €/a
Mittelwert	188 l/m²a	
Summe		59.468 €/a

Erläuterungen
Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten.

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren		500 €/a
Außenwanddämmung Schulgebäude und Sporthalle (Sporthalle auch von unten) 5.700 m²		18.000 €/a
Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung	
Lüftung nur kurz und stoßweise		3.300 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht		1.000 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen		600 €/a

gesehen: *Mathias Linder*
13.11.2007 Dipl.-Ing. Mathias Linder

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt: *Heidrun Scheutlich*
10.09.2007 Dipl.-Ing. Heidrun Scheutlich

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energiesparverordnung (EnEV)

Gebäude	Gutenbergerschule		
Adresse	Hamburger Allee 23		
Hauptnutzung	Berufliche Schulen	9.819 m²	
Nettogrundfläche		9.819 m²	

Heizenergie	Verbrauchskennwert 2004 - 2006 (einschließlich Warmwasser)	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 82 97 111 114 127 149 193 kWh/m²a	51.928 €/a
Vergleichswert EnEV	115 kWh/m²a	5,29 €/m²a
Strom	Verbrauchskennwert 2004 - 2006	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 11 14 18 21 25 33 43 kWh/m²a	44.221 €/a
Vergleichswert EnEV	25 kWh/m²a	4,50 €/m²a
Wasser	Verbrauchskennwert 2004 - 2006	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 78 122 158 192 244 266 318 l/m²a	9.820 €/a
Mittelwert	225 l/m²a	1,00 €/m²a
Summe		105.968 €/a

Erläuterungen
Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten. Die Schule wurde 2002 generalsaniert. Die Gebäude der Varrentrappstraße werden von hier aus mit beheizt. Die hohen Werte für Strom ergeben sich einerseits durch eine überdimensionierte Beleuchtungsanierung und untypisch hohen Maschineneinsatz während des Ausbildungsbetriebes. Durch gezieltes Energiemanagement lassen sich die Verbrauchswerte weiter reduzieren.

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren		500 €/a
Spararmaturen für alle Waschbecken (ca. 120 Stck.)		2.600 €/a
derzeit können keine weiteren Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung gegeben werden da die Schule komplett saniert wurde (Fenster, oberste Geschosßdecke, Heizungsanlage einschl. GLT, sowie Armaturen für WC's und Beleuchtungsanierung)		
Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung	
Lüftung nur kurz und stoßweise		4.300 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht		2.900 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen		1.200 €/a

gesehen: *Mathias Linder*
29.07.2008 Dipl.-Ing. Mathias Linder

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

aufgestellt: *Heidrun Scheutlich*
07.07.2008 Dipl.-Ing. Heidrun Scheutlich

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energiesparverordnung (EnEV)

Gebäude	Heinrich-von-Gagern-Gymnasium	
Adresse	Bernhard-Grzimek-Allee 6-8	
Hauptnutzung	Gymnasien	5.350 m²
Sonderzone	Sportbauten	2.091 m²
Nettogrundfläche		7.441 m²



Heizenergie	Verbrauchskennwert 2004 - 2006 (einschließlich Warmwasser)	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 92 116 130 147 155 187 231 kWh/m²a	46.484 €/a
effizient	A B C D E F G ineffizient	
Vergleichswert EnEV	135 kWh/m²a	6,25 €/m²a
Strom	Verbrauchskennwert 2005 - 2007	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 11 13 17 21 31 44 kWh/m²a	13.906 €/a
effizient	A B C D E F G ineffizient	
Vergleichswert EnEV	22 kWh/m²a	1,87 €/m²a
Wasser	Verbrauchskennwert 2004 - 2006	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 80 132 133 150 201 293 789 l/m²a	2.907 €/a
effizient	A B C D E F G ineffizient	
Mittelwert	416 l/m²a	0,39 €/m²a
Summe		63.298 €/a

Erläuterungen

Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten. Die Außenstelle wird von der Heizzentrale des Hauptgebäudes mitversorgt, der Heizenergiekennwert ist daher ein Mittelwert zwischen Hauptgebäude und Außenstelle. Der Altbau stammt aus dem Jahr 1889 und der Neubau aus dem Jahr 1960. Hohe Heizenergieverbräuche entstehen durch ungedämmte Außenwände und eine Einfachverglasung im Hauptgebäude.

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren-Altbau Schule		300 €/a
Außenwanddämmung (Alt- und Neubau)		20.000 €/a
Sanierung Fenster zur Hofseite des Altbaus		6.000 €/a

Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung
Lüftung nur kurz und stoßweise	3.900 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht	900 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen	400 €/a

gesehen: *Mathias Linder*
09.10.2008 Dipl.-Ing. Mathias Linder

aufgestellt: *Mathias Linder*
20.07.2008 Dipl.-Ing. Shahab Mesri

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energiesparverordnung (EnEV)

Gebäude	Musterschule	
Adresse	Oberweg 5-9	
Hauptnutzung	Gymnasien	9.393 m²
Sonderzone	Sporthallen	589 m²
Nettogrundfläche		9.982 m²



Heizenergie	Verbrauchskennwert 2003 - 2005 (einschließlich Warmwasser)	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 92 110 124 142 147 173 224 kWh/m²a	43.379 €/a
effizient	A B C D E F G ineffizient	
Vergleichswert EnEV	127 kWh/m²a	4,35 €/m²a
Strom	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 10 12 14 16 22 28 29 kWh/m²a	38.622 €/a
effizient	A B C D E F G ineffizient	
Vergleichswert EnEV	16 kWh/m²a	3,87 €/m²a
Wasser	Verbrauchskennwert 2003 - 2005	Kosten/Jahr
Diese Liegenschaft	0 64 122 139 154 214 207 307 l/m²a	8.388 €/a
effizient	A B C D E F G ineffizient	
Mittelwert	186 l/m²a	0,84 €/m²a
Summe		90.389 €/a

Erläuterungen

Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten. Im Zuge des Neubaus der Kantine wurden umfangreiche Maßnahmen im Bereich vorbeugender Brandschutz und Sanierung der Beleuchtung vorgenommen, die positiven Einfluss auf den Verbrauch haben werden. Bei der Begehung in den Weihnachtsferien waren Heizung und Lüftung im normalen Tagesbetrieb und nicht reduziert.

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung	Kosten	Einsparung
Einbau von Bewegungsmeldern in den Fluren		500 €/a
Dämmung oberste Geschossdecke		6.500 €/a
Beleuchtungssanierung im Neubau (im Altbau wurde bereits im Zuge des Neubaus saniert)		5.500 €/a

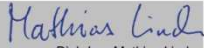
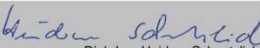
Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb	Einsparung
Lüftung nur kurz und stoßweise	3.600 €/a
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht	2.600 €/a
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen	1.000 €/a
Nacht-Wochenend- und Ferienabsenkung der Heizung und Abschalten der Lüftung	8.000 €/a

gesehen: *Mathias Linder*
31.07.2008 Dipl.-Ing. Mathias Linder

aufgestellt: *H. Jürgen Pargmann*
09.01.2008 Dipl.-Ing. H. Jürgen Pargmann

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement

Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an:
energiemanagement@stadt-frankfurt.de

			
ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude			
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)		Gültig bis: 08.02.2021	
Gebäude Adresse Hauptnutzung Sonderzone Sonderzone Nettogrundfläche		Hermann-Luppe-Haus und -Schule An der Praunheimer Mühle 7-9 Kindertagesstätten 1.495 m² Sonderschulen 1.668 m² Sporthallen 439 m² 3.601 m²	
			
Heizenergie Verbrauchskennwert 2007 - 2009 (einschließlich Warmwasser) Kosten/Jahr			
Diese Liegenschaft 0 97 119 139 182 kWh/m²a 162 191 244 kWh/m²a 40.485 €/a effizient A B C D E F G ineffizient 11,24 €/m²a Vergleichswert EnEV 2009 109 kWh/m²a			
Strom Verbrauchskennwert 2006 - 2009 Kosten/Jahr			
Diese Liegenschaft 0 10 14 19 kWh/m²a 17 20 25 34 kWh/m²a 13.725 €/a effizient A B C D E F G ineffizient 3,81 €/m²a Vergleichswert EnEV 2009 20 kWh/m²a			
Wasser Verbrauchskennwert 2009 - 2009 Kosten/Jahr			
Diese Liegenschaft 0 172 l/m²a 126 218 288 357 445 605 l/m²a 2.383 €/a effizient A B C D E F G ineffizient 0,96 €/m²a Mittelwert 437 l/m²a			
Summe 56.592 €/a			
Erläuterungen Die Verbrauchswerte werden beeinflusst durch den baulichen Zustand, die Betriebsführung und das Nutzerverhalten. Zur Liegenschaft gehören die Sonderschule mit Turnhalle (seit 2007 in Betrieb) und die Betreuungseinrichtung (seit 3/2010 in Betrieb). Abrechnungstechnisch wird eine Trennung angestrebt. Aufgrund eines Wasserrohrbruchs 2007 wurde der Durchschnittsverbrauch für Wasser auf das Jahr 2009 bezogen. Der Pauschalanteil zur Löschwasserbereitstellung ist abgezogen. Eine generelle Einstufung der Liegenschaft in Effizienzklassen ist erst nach 3 jährigem Normalbetrieb möglich.			
Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung			
Trennung der Energieerfassung - Schule/Betreuung (Unterzähler für Heizung, Strom, Wasser)	Kosten 6.500 €	Einsparung 2.500 €/a	
Dämmung von Innenwand Dachraum - beheiztes Treppenhaus - ca. 25 m²	1.250 €	300 €/a	
fehlende Rohrleitungsdämmung in Einzelbereichen	300 €	300 €/a	
Anschluß des BHKW - Bereitstellung des NT-Kessels für Spitzenlasten (Drosselung um 30 %)		4.000 €/a	
Empfehlungen zu Nutzung und Betrieb			
Lüftung nur kurz und stoßweise		3.400 €/a	
Abschalten der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht		900 €/a	
Konsequente Nutzung der Sparfunktion an Toilettenspülungen		600 €/a	
gesehen:  09.02.2011 Dipl.-Ing. Mathias Linder			
aufgestellt:  13.12.2010 Dipl.-Ing. Heide Schütz			
Weitere Informationen erhalten Sie unter: www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement		Ihre Ideen zur Energieeinsparung bitte an: energiemanagement@stadt-frankfurt.de	

Anhang B – E-Mail-Verkehr

Sehr geehrte Frau Kumpf,

hiermit beziehen wir uns auf Ihre Anfrage vom 15.01.2016 zu den Schließungszeiten unserer Kinderzentren 7, 120 und 126 im Jahre 2014 für Ihre Masterarbeit.

Nachfolgend finden Sie eine Übersicht der Zeiten, in denen unsere Kinderzentren geschlossen waren.

Bitte beachten Sie, dass wir zum Hermann-Luppe-Haus und –Schule leider keine Angaben machen können, da dieses Haus nicht zu unseren Einrichtungen gehört.

Für eventuelle Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Kinderzentrum	Betriebs- ausflug	Fachtag	Weih- nachten	Gesamte Einrichtung Sommerferien
7 Höchst 65929, Bolongarostr. 137	30.05.2014	07.03.2014	24.12.2014- 02.01.2015	18.08.-05.09.2014
120 Griesheim 65933, Eichhörnchenpfad 2	27.06.2014	07.03.2014	24.12.2014- 01.01.2015	18.08.-05.09.2014
126 Bornheim 60385, Rendeler Str. 9	02.07.2014	07.03.2014	24.12.2014- 01.01.2015	18.08.-05.09.2014

Mit freundlichen Grüßen,

Im Auftrag

Judith Fehse

Kita Frankfurt

48.21- Regionenübergreifende Sachbearbeitung

Zeil 5, 60313 Frankfurt am Main

Tel.: (069) 212-38289

Fax: (069) 212-39011

Email: Judith.fehse@stadt-frankfurt.de

Internet: www.kitafrankfurt.de

Eigenbetrieb der Stadt Frankfurt am Main

Amtsgericht Frankfurt am Main HRA 44957

Steuernummer FA Frankfurt am Main V-Höchst 47 226 41003

Anhang C – Zuordnung zu Typtagkategorien

Tabelle A - 1: Zuordnung zu Typtagkategorien nach mittlerer Außentemperatur und Kalendertagen für Schulen

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie	Datum	t [°C]	Typtag-kategorie	Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
01. Jan	4.6	WS	10. Feb	2.6	WW	22. Mrz	8.7	ÜS
02. Jan	7.4	ÜF	11. Feb	5.3	ÜW	23. Mrz	6.5	ÜS
03. Jan	7.7	ÜF	12. Feb	5.0	ÜW	24. Mrz	4.8	WW
04. Jan	7.3	ÜS	13. Feb	5.4	ÜW	25. Mrz	3.6	WW
05. Jan	5.8	ÜS	14. Feb	6.0	ÜW	26. Mrz	6.1	ÜW
06. Jan	6.4	ÜF	15. Feb	7.8	ÜS	27. Mrz	9.9	ÜW
07. Jan	10.1	ÜF	16. Feb	6.6	ÜS	28. Mrz	11.7	ÜW
08. Jan	10.5	ÜF	17. Feb	4.1	WW	29. Mrz	12.0	ÜS
09. Jan	9.1	ÜF	18. Feb	4.6	WW	30. Mrz	12.8	ÜS
10. Jan	5.4	ÜF	19. Feb	7.8	ÜW	31. Mrz	12.3	ÜW
11. Jan	2.0	WS	20. Feb	8.1	ÜW	01. Apr	14.5	ÜW
12. Jan	1.2	WS	21. Feb	7.9	ÜW	02. Apr	14.6	ÜW
13. Jan	2.1	WW	22. Feb	4.9	WS	03. Apr	15.8	SW
14. Jan	4.3	WW	23. Feb	6.3	ÜS	04. Apr	16.6	SW
15. Jan	4.2	WW	24. Feb	6.1	ÜW	05. Apr	14.0	ÜS
16. Jan	6.1	ÜW	25. Feb	7.4	ÜW	06. Apr	14.6	ÜS
17. Jan	6.8	ÜW	26. Feb	8.4	ÜW	07. Apr	16.3	SW
18. Jan	3.0	WS	27. Feb	6.6	ÜW	08. Apr	13.1	ÜW
19. Jan	3.6	WS	28. Feb	6.7	ÜW	09. Apr	10.0	ÜW
20. Jan	3.8	WW	01. Mrz	6.3	ÜS	10. Apr	12.6	ÜW
21. Jan	3.7	WW	02. Mrz	4.3	WS	11. Apr	14.3	ÜW
22. Jan	4.4	WW	03. Mrz	4.3	WW	12. Apr	14.4	ÜS
23. Jan	4.1	WW	04. Mrz	5.8	ÜW	13. Apr	12.8	ÜS
24. Jan	3.7	WW	05. Mrz	6.0	ÜW	14. Apr	9.9	ÜF
25. Jan	1.7	WS	06. Mrz	4.5	WW	15. Apr	7.3	ÜF
26. Jan	4.4	WS	07. Mrz	6.9	ÜW	16. Apr	8.0	ÜF
27. Jan	4.1	WW	08. Mrz	7.7	ÜS	17. Apr	9.9	ÜF
28. Jan	3.8	WW	09. Mrz	9.9	ÜS	18. Apr	10.4	ÜS
29. Jan	1.8	WW	10. Mrz	9.6	ÜW	19. Apr	10.8	ÜS
30. Jan	0.8	WW	11. Mrz	11.3	ÜW	20. Apr	15.7	SS
31. Jan	1.2	WW	12. Mrz	11.3	ÜW	21. Apr	13.9	ÜS
01. Feb	2.1	WS	13. Mrz	10.4	ÜW	22. Apr	13.7	ÜF
02. Feb	4.7	WS	14. Mrz	9.8	ÜW	23. Apr	15.4	SF
03. Feb	2.5	WW	15. Mrz	9.2	ÜS	24. Apr	17.9	SF
04. Feb	3.0	WW	16. Mrz	11.3	ÜS	25. Apr	18.9	SF
05. Feb	2.3	WW	17. Mrz	10.4	ÜW	26. Apr	17.0	SS
06. Feb	7.6	ÜW	18. Mrz	9.6	ÜW	27. Apr	12.9	ÜS
07. Feb	8.2	ÜW	19. Mrz	11.6	ÜW	28. Apr	13.3	ÜW
08. Feb	6.7	ÜS	20. Mrz	13.3	ÜW	29. Apr	14.6	ÜW
09. Feb	5.4	ÜS	21. Mrz	13.7	ÜW	30. Apr	14.7	ÜW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
01. Mai	13.8;	ÜS
02. Mai	13.0;	ÜF
03. Mai	8.9;	ÜS
04. Mai	9.7;	ÜS
05. Mai	12.6;	ÜW
06. Mai	14.7;	ÜW
07. Mai	14.4;	ÜW
08. Mai	13.6;	ÜW
09. Mai	14.9;	ÜW
10. Mai	12.2;	ÜS
11. Mai	11.5;	ÜS
12. Mai	10.9;	ÜW
13. Mai	11.6;	ÜW
14. Mai	11.5;	ÜW
15. Mai	10.6;	ÜW
16. Mai	14.2;	ÜW
17. Mai	14.7;	ÜS
18. Mai	15.9;	SS
19. Mai	18.0;	SW
20. Mai	20.8;	SW
21. Mai	21.3;	SW
22. Mai	20.5;	SW
23. Mai	16.2;	SW
24. Mai	14.5;	ÜS
25. Mai	16.3;	SS
26. Mai	16.3;	SW
27. Mai	16.5;	SW
28. Mai	15.6;	SW
29. Mai	13.6;	ÜS
30. Mai	11.4;	ÜF
31. Mai	14.4;	ÜS
01. Jun	15.9;	SS
02. Jun	17.2;	SW
03. Jun	16.7;	SW
04. Jun	16.1;	SW
05. Jun	14.7;	ÜW
06. Jun	18.4;	SW
07. Jun	22.9;	SS
08. Jun	25.7;	SS
09. Jun	26.8;	SS
10. Jun	25.4;	SW
11. Jun	22.4;	SW
12. Jun	21.4;	SW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
13. Jun	19.7;	SW
14. Jun	16.4;	SS
15. Jun	17.5;	SS
16. Jun	17.4;	SW
17. Jun	17.5;	SW
18. Jun	19.8;	SW
19. Jun	17.5;	SS
20. Jun	16.3;	SF
21. Jun	17.1;	SS
22. Jun	17.2;	SS
23. Jun	17.0;	SW
24. Jun	18.0;	SW
25. Jun	16.0;	SW
26. Jun	15.8;	SW
27. Jun	18.7;	SW
28. Jun	18.0;	SS
29. Jun	16.3;	SS
30. Jun	17.1;	SW
01. Jul	16.8;	SW
02. Jul	18.8;	SW
03. Jul	20.9;	SW
04. Jul	23.2;	SW
05. Jul	20.4;	SS
06. Jul	23.6;	SS
07. Jul	20.2;	SW
08. Jul	16.2;	SW
09. Jul	13.1;	ÜW
10. Jul	16.6;	SW
11. Jul	19.0;	SW
12. Jul	20.9;	SS
13. Jul	18.7;	SS
14. Jul	20.9;	SW
15. Jul	21.6;	SW
16. Jul	22.3;	SW
17. Jul	23.1;	SW
18. Jul	25.4;	SW
19. Jul	26.4;	SS
20. Jul	24.1;	SS
21. Jul	20.9;	SW
22. Jul	24.3;	SW
23. Jul	24.7;	SW
24. Jul	22.0;	SW
25. Jul	20.5;	SW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
26. Jul	21.8;	SS
27. Jul	23.4;	SS
28. Jul	22.3;	SF
29. Jul	21.2;	SF
30. Jul	21.0;	SF
31. Jul	21.3;	SF
01. Aug	21.2;	SF
02. Aug	21.3;	SS
03. Aug	21.6;	SS
04. Aug	20.2;	SF
05. Aug	19.3;	SF
06. Aug	19.9;	SF
07. Aug	20.3;	SF
08. Aug	21.6;	SF
09. Aug	21.6;	SS
10. Aug	20.0;	SS
11. Aug	18.7;	SF
12. Aug	18.4;	SF
13. Aug	16.5;	SF
14. Aug	16.4;	SF
15. Aug	14.6;	SF
16. Aug	16.0;	SS
17. Aug	17.3;	SS
18. Aug	15.5;	SF
19. Aug	14.8;	ÜF
20. Aug	14.1;	ÜF
21. Aug	14.2;	ÜF
22. Aug	14.8;	ÜF
23. Aug	14.7;	ÜS
24. Aug	13.1;	ÜS
25. Aug	13.5;	ÜF
26. Aug	15.1;	SF
27. Aug	15.7;	SF
28. Aug	17.3;	SF
29. Aug	19.8;	SF
30. Aug	18.7;	SS
31. Aug	16.0;	SS
01. Sep	15.8;	SF
02. Sep	16.5;	SF
03. Sep	15.9;	SF
04. Sep	18.0;	SF
05. Sep	20.0;	SF
06. Sep	20.0;	SS

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
07. Sep	19.9;	SS
08. Sep	19.2;	SW
09. Sep	17.2;	SW
10. Sep	14.3;	ÜW
11. Sep	13.3;	ÜW
12. Sep	15.0;	ÜW
13. Sep	17.2;	SS
14. Sep	17.4;	SS
15. Sep	17.5;	SW
16. Sep	18.3;	SW
17. Sep	18.2;	SW
18. Sep	19.0;	SW
19. Sep	19.7;	SW
20. Sep	18.2;	SS
21. Sep	15.9;	SS
22. Sep	11.8;	ÜW
23. Sep	10.4;	ÜW
24. Sep	11.1;	ÜW
25. Sep	14.0;	ÜW
26. Sep	15.9;	SW
27. Sep	16.5;	SS
28. Sep	15.7;	SS
29. Sep	17.5;	SW
30. Sep	18.1;	SW
01. Okt	16.0;	SW
02. Okt	15.7;	SW
03. Okt	15.3;	SS
04. Okt	14.0;	ÜS
05. Okt	11.5;	ÜS
06. Okt	12.7;	ÜW
07. Okt	13.9;	ÜW
08. Okt	14.2;	ÜW
09. Okt	16.6;	SW
10. Okt	15.5;	SW
11. Okt	15.5;	SS
12. Okt	12.7;	ÜS
13. Okt	15.0;	ÜW
14. Okt	14.5;	ÜW
15. Okt	14.4;	ÜW
16. Okt	15.5;	SW
17. Okt	14.9;	ÜW
18. Okt	13.7;	ÜS
19. Okt	15.8;	SS

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
20. Okt	16.1;	SF
21. Okt	11.1;	ÜF
22. Okt	8.8;	ÜF
23. Okt	9.3;	ÜF
24. Okt	8.0;	ÜF
25. Okt	10.6;	ÜS
26. Okt	12.6;	ÜS
27. Okt	9.1;	ÜF
28. Okt	7.4;	ÜF
29. Okt	8.6;	ÜF
30. Okt	10.9;	ÜF
31. Okt	10.8;	ÜF
01. Nov	9.3;	ÜS
02. Nov	10.2;	ÜS
03. Nov	12.9;	ÜW
04. Nov	12.3;	ÜW
05. Nov	9.3;	ÜW
06. Nov	6.6;	ÜW
07. Nov	5.8;	ÜW
08. Nov	8.9;	ÜS
09. Nov	7.5;	ÜS
10. Nov	8.2;	ÜW
11. Nov	8.0;	ÜW
12. Nov	8.6;	ÜW
13. Nov	10.0;	ÜW
14. Nov	10.0;	ÜW
15. Nov	9.6;	ÜS
16. Nov	9.1;	ÜS
17. Nov	9.1;	ÜW
18. Nov	8.7;	ÜW
19. Nov	8.1;	ÜW
20. Nov	6.6;	ÜW
21. Nov	5.3;	ÜW
22. Nov	5.1;	ÜS
23. Nov	5.5;	ÜS
24. Nov	5.7;	ÜW
25. Nov	3.6;	WW
26. Nov	4.3;	WW
27. Nov	5.3;	ÜW
28. Nov	4.4;	WW
29. Nov	4.0;	WS
30. Nov	3.6;	WS
01. Dez	3.1;	WW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
02. Dez	1.3;	WW
03. Dez	1.2;	WW
04. Dez	2.2;	WW
05. Dez	3.4;	WW
06. Dez	4.3;	WS
07. Dez	2.9;	WS
08. Dez	2.4;	WW
09. Dez	1.4;	WW
10. Dez	1.9;	WW
11. Dez	5.4;	ÜW
12. Dez	8.9;	ÜW
13. Dez	5.6;	ÜS
14. Dez	4.1;	WS
15. Dez	4.9;	WW
16. Dez	5.3;	ÜW
17. Dez	3.6;	WW
18. Dez	10.0;	ÜW
19. Dez	10.5;	ÜW
20. Dez	5.4;	ÜS
21. Dez	5.5;	ÜS
22. Dez	7.9;	ÜF
23. Dez	8.6;	ÜF
24. Dez	7.4;	ÜF
25. Dez	4.9;	WS
26. Dez	1.9;	WS
27. Dez	0.2;	WS
28. Dez	-3.3;	WS
29. Dez	-1.9;	WF
30. Dez	0.7;	WF
31. Dez	1.3;	WF

Tabelle A - 2: Zuordnung zu Typtagkategorien nach mittlerer Außentemperatur und Kalendertagen für Kitas

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
01. Jan	4.6	WS
02. Jan	7.4	ÜW
03. Jan	7.7	ÜW
04. Jan	7.3	ÜS
05. Jan	5.8	ÜS
06. Jan	6.4	ÜW
07. Jan	10.1	ÜW
08. Jan	10.5	ÜW
09. Jan	9.1	ÜW
10. Jan	5.4	ÜW
11. Jan	2.0	WS
12. Jan	1.2	WS
13. Jan	2.1	WW
14. Jan	4.3	WW
15. Jan	4.2	WW
16. Jan	6.1	ÜW
17. Jan	6.8	ÜW
18. Jan	3.0	WS
19. Jan	3.6	WS
20. Jan	3.8	WW
21. Jan	3.7	WW
22. Jan	4.4	WW
23. Jan	4.1	WW
24. Jan	3.7	WW
25. Jan	1.7	WS
26. Jan	4.4	WS
27. Jan	4.1	WW
28. Jan	3.8	WW
29. Jan	1.8	WW
30. Jan	0.8	WW
31. Jan	1.2	WW
01. Feb	2.1	WS
02. Feb	4.7	WS
03. Feb	2.5	WW
04. Feb	3.0	WW
05. Feb	2.3	WW
06. Feb	7.6	ÜW
07. Feb	8.2	ÜW
08. Feb	6.7	ÜS
09. Feb	5.4	ÜS

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
10. Feb	2.6	WW
11. Feb	5.3	ÜW
12. Feb	5.0	ÜW
13. Feb	5.4	ÜW
14. Feb	6.0	ÜW
15. Feb	7.8	ÜS
16. Feb	6.6	ÜS
17. Feb	4.1	WW
18. Feb	4.6	WW
19. Feb	7.8	ÜW
20. Feb	8.1	ÜW
21. Feb	7.9	ÜW
22. Feb	4.9	WS
23. Feb	6.3	ÜS
24. Feb	6.1	ÜW
25. Feb	7.4	ÜW
26. Feb	8.4	ÜW
27. Feb	6.6	ÜW
28. Feb	6.7	ÜW
01. Mrz	6.3	ÜS
02. Mrz	4.3	WS
03. Mrz	4.3	WW
04. Mrz	5.8	ÜW
05. Mrz	6.0	ÜW
06. Mrz	4.5	WW
07. Mrz	6.9	ÜF
08. Mrz	7.7	ÜS
09. Mrz	9.9	ÜS
10. Mrz	9.6	ÜW
11. Mrz	11.3	ÜW
12. Mrz	11.3	ÜW
13. Mrz	10.4	ÜW
14. Mrz	9.8	ÜW
15. Mrz	9.2	ÜS
16. Mrz	11.3	ÜS
17. Mrz	10.4	ÜW
18. Mrz	9.6	ÜW
19. Mrz	11.6	ÜW
20. Mrz	13.3	ÜW
21. Mrz	13.7	ÜW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
22. Mrz	8.7	ÜS
23. Mrz	6.5	ÜS
24. Mrz	4.8	WW
25. Mrz	3.6	WW
26. Mrz	6.1	ÜW
27. Mrz	9.9	ÜW
28. Mrz	11.7	ÜW
29. Mrz	12.0	ÜS
30. Mrz	12.8	ÜS
31. Mrz	12.3	ÜW
01. Apr	14.5	ÜW
02. Apr	14.6	ÜW
03. Apr	15.8	SW
04. Apr	16.6	SW
05. Apr	14.0	ÜS
06. Apr	14.6	ÜS
07. Apr	16.3	SW
08. Apr	13.1	ÜW
09. Apr	10.0	ÜW
10. Apr	12.6	ÜW
11. Apr	14.3	ÜW
12. Apr	14.4	ÜS
13. Apr	12.8	ÜS
14. Apr	9.9	ÜW
15. Apr	7.3	ÜW
16. Apr	8.0	ÜW
17. Apr	9.9	ÜW
18. Apr	10.4	ÜS
19. Apr	10.8	ÜS
20. Apr	15.7	SS
21. Apr	13.9	ÜS
22. Apr	13.7	ÜW
23. Apr	15.4	SW
24. Apr	17.9	SW
25. Apr	18.9	SW
26. Apr	17.0	SS
27. Apr	12.9	ÜS
28. Apr	13.3	ÜW
29. Apr	14.6	ÜW
30. Apr	14.7	ÜW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
01. Mai	13.8;	ÜS
02. Mai	13.0;	ÜW
03. Mai	8.9;	ÜS
04. Mai	9.7;	ÜS
05. Mai	12.6;	ÜW
06. Mai	14.7;	ÜW
07. Mai	14.4;	ÜW
08. Mai	13.6;	ÜW
09. Mai	14.9;	ÜW
10. Mai	12.2;	ÜS
11. Mai	11.5;	ÜS
12. Mai	10.9;	ÜW
13. Mai	11.6;	ÜW
14. Mai	11.5;	ÜW
15. Mai	10.6;	ÜW
16. Mai	14.2;	ÜW
17. Mai	14.7;	ÜS
18. Mai	15.9;	SS
19. Mai	18.0;	SW
20. Mai	20.8;	SW
21. Mai	21.3;	SW
22. Mai	20.5;	SW
23. Mai	16.2;	SW
24. Mai	14.5;	ÜS
25. Mai	16.3;	SS
26. Mai	16.3;	SW
27. Mai	16.5;	SW
28. Mai	15.6;	SW
29. Mai	13.6;	ÜS
30. Mai	11.4;	ÜW
31. Mai	14.4;	ÜS
01. Jun	15.9;	SS
02. Jun	17.2;	SW
03. Jun	16.7;	SW
04. Jun	16.1;	SW
05. Jun	14.7;	ÜW
06. Jun	18.4;	SW
07. Jun	22.9;	SS
08. Jun	25.7;	SS
09. Jun	26.8;	SS
10. Jun	25.4;	SW
11. Jun	22.4;	SW
12. Jun	21.4;	SW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
13. Jun	19.7;	SW
14. Jun	16.4;	SS
15. Jun	17.5;	SS
16. Jun	17.4;	SW
17. Jun	17.5;	SW
18. Jun	19.8;	SW
19. Jun	17.5;	SS
20. Jun	16.3;	SW
21. Jun	17.1;	SS
22. Jun	17.2;	SS
23. Jun	17.0;	SW
24. Jun	18.0;	SW
25. Jun	16.0;	SW
26. Jun	15.8;	SW
27. Jun	18.7;	SW
28. Jun	18.0;	SS
29. Jun	16.3;	SS
30. Jun	17.1;	SW
01. Jul	16.8;	SW
02. Jul	18.8;	SW
03. Jul	20.9;	SW
04. Jul	23.2;	SW
05. Jul	20.4;	SS
06. Jul	23.6;	SS
07. Jul	20.2;	SW
08. Jul	16.2;	SW
09. Jul	13.1;	ÜW
10. Jul	16.6;	SW
11. Jul	19.0;	SW
12. Jul	20.9;	SS
13. Jul	18.7;	SS
14. Jul	20.9;	SW
15. Jul	21.6;	SW
16. Jul	22.3;	SW
17. Jul	23.1;	SW
18. Jul	25.4;	SW
19. Jul	26.4;	SS
20. Jul	24.1;	SS
21. Jul	20.9;	SW
22. Jul	24.3;	SW
23. Jul	24.7;	SW
24. Jul	22.0;	SW
25. Jul	20.5;	SW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
26. Jul	21.8;	SS
27. Jul	23.4;	SS
28. Jul	22.3;	SW
29. Jul	21.2;	SW
30. Jul	21.0;	SW
31. Jul	21.3;	SW
01. Aug	21.2;	SW
02. Aug	21.3;	SS
03. Aug	21.6;	SS
04. Aug	20.2;	SW
05. Aug	19.3;	SW
06. Aug	19.9;	SW
07. Aug	20.3;	SW
08. Aug	21.6;	SW
09. Aug	21.6;	SS
10. Aug	20.0;	SS
11. Aug	18.7;	SW
12. Aug	18.4;	SW
13. Aug	16.5;	SW
14. Aug	16.4;	SW
15. Aug	14.6;	SW
16. Aug	16.0;	SS
17. Aug	17.3;	SS
18. Aug	15.5;	SF
19. Aug	14.8;	ÜF
20. Aug	14.1;	ÜF
21. Aug	14.2;	ÜF
22. Aug	14.8;	ÜF
23. Aug	14.7;	ÜS
24. Aug	13.1;	ÜS
25. Aug	13.5;	ÜF
26. Aug	15.1;	SF
27. Aug	15.7;	SF
28. Aug	17.3;	SF
29. Aug	19.8;	SF
30. Aug	18.7;	SS
31. Aug	16.0;	SS
01. Sep	15.8;	SF
02. Sep	16.5;	SF
03. Sep	15.9;	SF
04. Sep	18.0;	SF
05. Sep	20.0;	SF
06. Sep	20.0;	SS

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
07. Sep	19.9;	SS
08. Sep	19.2;	SW
09. Sep	17.2;	SW
10. Sep	14.3;	ÜW
11. Sep	13.3;	ÜW
12. Sep	15.0;	ÜW
13. Sep	17.2;	SS
14. Sep	17.4;	SS
15. Sep	17.5;	SW
16. Sep	18.3;	SW
17. Sep	18.2;	SW
18. Sep	19.0;	SW
19. Sep	19.7;	SW
20. Sep	18.2;	SS
21. Sep	15.9;	SS
22. Sep	11.8;	ÜW
23. Sep	10.4;	ÜW
24. Sep	11.1;	ÜW
25. Sep	14.0;	ÜW
26. Sep	15.9;	SW
27. Sep	16.5;	SS
28. Sep	15.7;	SS
29. Sep	17.5;	SW
30. Sep	18.1;	SW
01. Okt	16.0;	SW
02. Okt	15.7;	SW
03. Okt	15.3;	SS
04. Okt	14.0;	ÜS
05. Okt	11.5;	ÜS
06. Okt	12.7;	ÜW
07. Okt	13.9;	ÜW
08. Okt	14.2;	ÜW
09. Okt	16.6;	SW
10. Okt	15.5;	SW
11. Okt	15.5;	SS
12. Okt	12.7;	ÜS
13. Okt	15.0;	ÜW
14. Okt	14.5;	ÜW
15. Okt	14.4;	ÜW
16. Okt	15.5;	SW
17. Okt	14.9;	ÜW
18. Okt	13.7;	ÜS
19. Okt	15.8;	SS

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
20. Okt	16.1;	SF
21. Okt	11.1;	ÜW
22. Okt	8.8;	ÜW
23. Okt	9.3;	ÜW
24. Okt	8.0;	ÜW
25. Okt	10.6;	ÜS
26. Okt	12.6;	ÜS
27. Okt	9.1;	ÜW
28. Okt	7.4;	ÜW
29. Okt	8.6;	ÜW
30. Okt	10.9;	ÜW
31. Okt	10.8;	ÜW
01. Nov	9.3;	ÜS
02. Nov	10.2;	ÜS
03. Nov	12.9;	ÜW
04. Nov	12.3;	ÜW
05. Nov	9.3;	ÜW
06. Nov	6.6;	ÜW
07. Nov	5.8;	ÜW
08. Nov	8.9;	ÜS
09. Nov	7.5;	ÜS
10. Nov	8.2;	ÜW
11. Nov	8.0;	ÜW
12. Nov	8.6;	ÜW
13. Nov	10.0;	ÜW
14. Nov	10.0;	ÜW
15. Nov	9.6;	ÜS
16. Nov	9.1;	ÜS
17. Nov	9.1;	ÜW
18. Nov	8.7;	ÜW
19. Nov	8.1;	ÜW
20. Nov	6.6;	ÜW
21. Nov	5.3;	ÜW
22. Nov	5.1;	ÜS
23. Nov	5.5;	ÜS
24. Nov	5.7;	ÜW
25. Nov	3.6;	WW
26. Nov	4.3;	WW
27. Nov	5.3;	ÜW
28. Nov	4.4;	WW
29. Nov	4.0;	WS
30. Nov	3.6;	WS
01. Dez	3.1;	WW

Datum	t [°C]	Typtag-kategorie
02. Dez	1.3;	WW
03. Dez	1.2;	WW
04. Dez	2.2;	WW
05. Dez	3.4;	WW
06. Dez	4.3;	WS
07. Dez	2.9;	WS
08. Dez	2.4;	WW
09. Dez	1.4;	WW
10. Dez	1.9;	WW
11. Dez	5.4;	ÜW
12. Dez	8.9;	ÜW
13. Dez	5.6;	ÜS
14. Dez	4.1;	WS
15. Dez	4.9;	WW
16. Dez	5.3;	ÜW
17. Dez	3.6;	WW
18. Dez	10.0;	ÜW
19. Dez	10.5;	ÜW
20. Dez	5.4;	ÜS
21. Dez	5.5;	ÜS
22. Dez	7.9;	ÜW
23. Dez	8.6;	ÜW
24. Dez	7.4;	ÜF
25. Dez	4.9;	WS
26. Dez	1.9;	WS
27. Dez	0.2;	WS
28. Dez	-3.3;	WS
29. Dez	-1.9;	WF
30. Dez	0.7;	WF
31. Dez	1.3;	WF

Anhang D – Beispiel zur Vorgehensweise

Tabelle A - 3: Tageslastgänge der Typtagkategorie ÜF; KiZ 7

Zeit	19. Aug	20. Aug	21. Aug	22. Aug	25. Aug	24. Dez
00:00	0,17	0,19	0,16	0,19	0,17	0,15
00:15	0,18	0,18	0,2	0,18	0,16	0,14
00:30	0,21	0,18	0,18	0,17	0,19	0,13
00:45	0,18	0,19	0,17	0,19	0,19	0,16
01:00	0,18	0,18	0,19	0,17	0,16	0,13
01:15	0,21	0,18	0,19	0,18	0,19	0,13
01:30	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
22:00	...	...	...	...	...	...
22:15	0,18	0,17	0,17	0,18	0,17	0,19
22:30	0,2	0,16	0,18	0,16	0,16	0,15
22:45	0,15	0,18	0,17	0,17	0,18	0,13
23:00	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,13
23:15	0,18	0,16	0,18	0,16	0,17	0,13
23:30	0,17	0,18	0,16	0,18	0,17	0,15
23:45	0,17	0,18	0,16	0,17	0,17	0,12
Summe	19	20,07	18,44	18,43	18,8	14,89

Tabelle A - 4: Normierte Tageslastgänge der Typtagkategorie ÜF; KiZ 7

Zeit	19. Aug	20. Aug	21. Aug	22. Aug	25. Aug	24. Dez
00:00	0,00894737	0,00946687	0,00867679	0,01030928	0,00904255	0,01007388
00:15	0,00947368	0,00896861	0,01084599	0,00976668	0,00851064	0,00940228
00:30	0,01105263	0,00896861	0,00976139	0,00922409	0,01010638	0,00873069
00:45	0,00947368	0,00946687	0,00921909	0,01030928	0,01010638	0,01074547
01:00	0,00947368	0,00896861	0,01030369	0,00922409	0,00851064	0,00873069
01:15	0,01105263	0,00896861	0,01030369	0,00976668	0,01010638	0,00873069
01:30	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
22:00	...	...	...	...	...	...
22:15	0,00947368	0,00847035	0,00921909	0,00976668	0,00904255	0,01276024
22:30	0,01052632	0,0079721	0,00976139	0,0086815	0,00851064	0,01007388
22:45	0,00789474	0,00896861	0,00921909	0,00922409	0,00957447	0,00873069
23:00	0,00947368	0,00847035	0,00921909	0,00922409	0,00851064	0,00873069
23:15	0,00947368	0,0079721	0,00976139	0,0086815	0,00904255	0,00873069
23:30	0,00894737	0,00896861	0,00867679	0,00976668	0,00904255	0,01007388
23:45	0,00894737	0,00896861	0,00867679	0,00922409	0,00904255	0,0080591

Tabelle A - 5: Normierte, kumulierte Tageslastgänge und Durchschnittsprofil der Typtagkategorie ÜF; KiZ 7

Zeit	19. Aug	20. Aug	21. Aug	22. Aug	25. Aug	24. Dez	Durch- Schnitts- profil
00:00	0,00894737	0,00946687	0,00867679	0,01030928	0,00904255	0,01007388	0,00941946
00:15	0,01842105	0,01843548	0,01952278	0,02007596	0,01755319	0,01947616	0,0189141
00:30	0,02947368	0,02740409	0,02928416	0,02930005	0,02765957	0,02820685	0,02855474
00:45	0,03894737	0,03687095	0,03850325	0,03960933	0,03776596	0,03895232	0,03844153
01:00	0,04842105	0,04583956	0,04880694	0,04883342	0,0462766	0,04768301	0,04764343
01:15	0,05947368	0,05480817	0,05911063	0,05860011	0,05638298	0,0564137	0,05746488
01:30	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
22:00	...	...	...	...	...	...	...
22:15	0,94473684	0,94867962	0,94468547	0,94519805	0,9462766	0,94560107	0,94586294
22:30	0,95526316	0,95665172	0,95444685	0,95387954	0,95478723	0,95567495	0,95511724
22:45	0,96315789	0,96562033	0,96366594	0,96310364	0,9643617	0,96440564	0,96405252
23:00	0,97263158	0,97409068	0,97288503	0,97232773	0,97287234	0,97313633	0,97299062
23:15	0,98210526	0,98206278	0,98264642	0,98100922	0,98191489	0,98186702	0,98193427
23:30	0,99105263	0,99103139	0,99132321	0,99077591	0,99095745	0,9919409	0,99118025
23:45	1	1	1	1	1	1	1

Tabelle A - 6: Quadratische Abweichung zum Durchschnittsprofil Typtagkategorie ÜF; KiZ 7

Zeit	19. Aug	20. Aug	21. Aug	22. Aug	25. Aug	24. Dez
00:00	2,2287E-07	2,2478E-09	5,5155E-07	7,9179E-07	1,4206E-07	4,2827E-07
00:15	2,431E-07	2,2908E-07	3,7048E-07	1,3499E-06	1,8521E-06	3,1591E-07
00:30	8,4447E-07	1,324E-06	5,3207E-07	5,555E-07	8,0131E-07	1,2102E-07
00:45	2,5587E-07	2,4667E-06	3,8098E-09	1,3638E-06	4,564E-07	2,609E-07
01:00	6,047E-07	3,2539E-06	1,3538E-06	1,4161E-06	1,8682E-06	1,5664E-09
01:15	4,0353E-06	7,0581E-06	2,7085E-06	1,2887E-06	1,1705E-06	1,105E-06
01:30	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
22:00	...	...	...	...	...	...
22:15	1,2681E-06	7,9337E-06	1,3864E-06	4,4208E-07	1,7111E-07	6,8574E-08
22:30	2,1291E-08	2,3546E-06	4,4942E-07	1,5319E-06	1,0891E-07	3,1104E-07
22:45	8,0036E-07	2,458E-06	1,4944E-07	9,0039E-07	9,5591E-08	1,2469E-07
23:00	1,2891E-07	1,2101E-06	1,1148E-08	4,3942E-07	1,3989E-08	2,1234E-08
23:15	2,9239E-08	1,6515E-08	5,0716E-07	8,5571E-07	3,7536E-10	4,5216E-09
23:30	1,6286E-08	2,2159E-08	2,0438E-08	1,6349E-07	4,964E-08	5,7859E-07
23:45	3,0815E-31	1,1093E-31	3,0815E-31	6,0397E-31	1,9722E-31	1,1093E-31
Summe	0,0021416	0,0194952	0,00140081	0,00134068	0,00358115	0,00930398

Anhang E – Fehlende und aussortierte Daten

Tabelle A - 7: fehlende und aussortierte Daten weiterführende Schulen; Strom

Schule	WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
Bettina	Fehlende Daten								
	Aussortierte Daten		3.3.		8.2.				
	Begründung		Konstanter Verlauf		Ausreißer				
Guten-berg	Fehlende Daten								
	Aussortierte Daten		3.3.						
	Begründung		Konstanter Verlauf						
HvG Altbau	Fehlende Daten								
	Aussortierte Daten	11.1.; 18.1.; 25.1.; 1.2.; 2.2.; 22.2.			8.2.; 15.2.; 29.3.; 30.3.; 10.5.				
	Begründung	Zeigen Anstieg, den übrige Werte nicht aufweisen			Auffällige Verläufe				
HvG Neubau	Fehlende Daten								
	Aussortierte Daten				15.2.				
	Begründung				Auffälliger Verlauf				

Muster	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten		3.3.		15.2.		2.5.			
	Begründung		Konstanter Verlauf		Auffälliger Verlauf		Auffälliger Verlauf			
Stauf	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten									
	Begründung									

Tabelle A - 8: Fehlende und aussortierte Daten Grundschulen; Strom

Schule		WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
ABS	Fehlende Daten	20.4.-23.4.								
	Aussortierte Daten		3.3.					13.9.		
	Begründung		Konstanter Verlauf					Auffälliger Verlauf		
ADS	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten		3.3.							
	Begründung		Konstanter Verlauf							
Boni	Fehlende Daten	19.4-25-4. Mitte 14.5.-31.12.: komplett Null								
	Aussortierte Daten	22.2.								
	Begründung	Auffälliger Verlauf								
Eichend	Fehlende Daten	20.4.-12.5.; 18.-21.6.; 24.7.; 28.7.; 8.8.; 7.9.; 1.11.; 3.12.; 9.12.; 12.-21.12. Mitte 6.10.-31.12.: komplett Null								
	Aussortierte Daten							13.9.; 3.10.		5.9.
	Begründung							Starke Spitzen		Starke Spitze
EKS	Fehlende Daten	20.4-11.5; 18.-21.6; 12.-21.12								
	Aussortierte Daten		3.3.			11.11.		3.10.		
	Begründung		Konstanter Verlauf			Auffälliger Verlauf		Auffälliger Verlauf		

FFS	Fehlende Daten	1.1.; 5.-6.1.; 8.-10.1.; 12.-16.1.; 20.-26.1.; 28.1.; 31.1.-4.2.; 6.-8.2.; 10.-11.2.; 14.2.; 16.2.; 19.-20.2.; 22.-25.2.; 28.2.-3.3.; 5.-13.3.; 15.-16.3.; 18.-23.3.; 25.-26.3.; 28.3.;30.3.; 1.-2.4.; 4.-5.4.; 9.-10.4.; 14.-15.4.; 20.-22.4.; 24.-25.4.; 29.4.; 2.5.; 4.5.; 6.5.; 9.5.; 11.-15.5.; 19.-20.5.; 23.-25.5.; 29.-30.5.; 1.-2.6.; 4.-6.6.; 11.6.; 13.6.; 17.6.; 19.-20.6.; 22.-26.6.; 28.-29.6.; 1.-2.7.; 6.-7.7.; 10.-11.7.; 13.-14.7.; 16.-17.7.; 20.7.; 22.7.; 28.7.; 30.7.; 1.-5.8.; 9.8.; 12.8.; 14.8.; 17.8.; 21.8.; 21.8.; 29.8.; 2.9.; 10.-12.9.; 14.-16.9.; 18.-20.9.; 22.9.; 24.9.; 26.9.; 29.9.; 1.10.; 5.-6.10.; 10.-14.10.; 18.10.; 21.-22.10.; 24.-27.10.; 30.10.; 2.11.; 4.1.1.; 13.-14.11.; 16.11.; 19.-21.11.; 23.11.; 8.12.; 10.12.; 12.12.; 14.-15.12.; 17.12.; 22.-23.12.; 27.-30.12.									
	Aussortierte Daten										
	Begründung										

Tabelle A - 9: Fehlende und aussortierte Daten Kitas; Strom

Kita		WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
HLH	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten						6.1.			
	Begründung						Starke Spitze			
KiZ 7	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten	2.3.; 29.11.; 7.12.; 14.12.				30.5.	7.3.			
	Begründung	Starke Spitzen				Konstanter Verlauf	Starke Spitze			
KiZ 120	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten	14.12.			21.4.				27.6.	
	Begründung	Starke Spitze			Starke Spitze				Konstanter Verlauf	
KiZ 126	Fehlende Daten	1.-26.1.; 28.1- 7.2.; 9.-25.2.; 27.2.; 2.-20.3.; 22.3.-9.4.; 11.-13.4.; 15.-23.4.; 26.4.-31.12.								
	Aussortierte Daten									
	Begründung									

Tabelle A - 10: Fehlende und aussortierte Daten weiterf. Schulen; Gas

Weiterf. Schulen		WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
Bettina	Fehlende Daten	25.7-18.8 komplett 0; wird drin gelassen, da es Hochsommer ist								
	Aussortierte Daten	22.2					20.8; 21.8			
	Begründung	Deutlicher Ausreißer mit starker Spitze					Starke Spitzen, fallen deutlich auf			
Guten-berg	Fehlende Daten	19.5.-23.9. komplett 0; wird nicht als Messfahler angenommen, da es Sommermonate umfasst. Tage, die in Übergangskategorien fallen, werden aussortiert; Tage in Sommerkategorien nicht.								
	Aussortierte Daten									
	Begründung									
HvG	Fehlende Daten	1.1								
	Aussortierte Daten									
	Begründung									
Muster	Fehlende Daten	25.7.-3.9.; 5.-29.9. komplett 0; wird nicht als Messfehlern angenommen, da es Sommermonate umfasst. Tage, die in Übergangskategorien fallen, werden aussortiert; Tage in Sommerkategorien nicht.								
	Aussortierte Daten				12.-13.4.; 18.4.; 3.5.; 17.5.; 24.5.; 31.5.; 23.8.; 24.8.; 4.10.		15.4.; 17.4.	9.6.		
	Begründung				Starke Spitzen		Starke Spitze	Starke Spitze		
Stauf	Fehlende Daten	20.4.-22.5.; 17.-20.6.; 11.-21.12 11.5 komplett 0, aussortiert								
	Aussortierte Daten				24.5.					
	Begründung				Starke Spitze					

Tabelle A - 11: Fehlende und aussortierte Daten Grundschulen; Gas

Grundschulen		WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
ABS	Fehlende Daten	20.-23.4								
	Aussortierte Daten									
	Begründung									

ADS	Fehlende Daten	19.4-11.5; 18.6-21.6; 11.-21.12								
	Aussortierte Daten						19-22.8; 25.8.	28.9; 3.10.; 11.10.;19.10	23.5; 6.6; 13.6; 27.6; 4.7; 18.7; 25.7; 19.-26.9	
	Begründung						Sehr hohe Spitzen	Weisen sehr hohen Bedarf auf, passt nicht in Sommer	Sehr hohe Abendspitzen	
Boni	Fehlende Daten	1.-27.1; 19.-25.4.								
	Aussortierte Daten	28.1-24.2.; 21.7-24.9 komplett 0								
	Begründung	Am Jahresanfang wird von Messfehler ausgegangen und die Daten aussortiert. In der Jahresmitte umfasst der Zeitraum die Sommerferien und einige Tage davor und danach, deshalb wurden alle Werte drin gelassen; sind Tage in die Übergangskategorien gefallen, wurden sie aussortiert.								
Eichend	Fehlende Daten	24.2.; 6.3.; 16.-18.4.; 20.4.-11.5.; 18.6.-21.6.; 21.7.; 23.7.; 21.8.; 1.9.; 10.9.; 23.9.; 30.9.; 18.11.; 5.12.; 8.12.; 12.-21.12.								
	Aussortierte Daten						25.8			
	Begründung						Starke Spritze			
EKS	Fehlende Daten	20.4.-11.5.; 18.6.-21.6.; 12.-21.12.								
	Aussortierte Daten		3.3.							
	Begründung		Konstanter Verlauf							
FFS	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten		25.3							
	Begründung		Starke Spitze							

Tabelle A - 12: Fehlende und aussortierte Daten Kitas; Gas

Kitas		WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
HLH	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten									
	Begründung									
KiZ 7	Fehlende Daten									
	Aussortierte Daten				31.5.; 27.4					
	Begründung				Starke Spitze; Komplett 0					
KiZ 120	Fehlende Daten	1.-31.1.; 1.-31.1.; 3.2-7.2; 9.2-10.2; 12.2-4.3; 6.3-14.3; 16.3-19.3; 20.3- 10.4; 12.4-19.4; 21.4.-31.12 fehlt								
	Aussortierte Daten									
	Begründung									
KiZ 126	Fehlende Daten	Keine Werte vorhanden								
	Aussortierte Daten									
	Begründung									

Anhang F – Datenauswertung

Tabelle A - 13: Durchschnittlicher Stromverbrauch in kWh je Typtagkategorie und Schule

Schultyp	Schule	WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
Grundschulen	ABS	218	728	520	266	606	320	196	424	218
	ADS	104	355	102	106	307	166	110	240	142
	Boni	92	203	0	75	157	101	45	162	0
	Eichend	103	213	0	102	190	114	79	147	85
	EKS	174	220	277	91	152	95	58	92	65
	FFS	571	1150	401	502	1004	563	325	645	408
Durchschnitt		210	478	325	190	402	226	135	285	183
Weiterf. Schulen	Bettina	213	727	193	170	627	204	156	510	170
	Gut	700	1618	780	646	1496	784	637	1332	776
	HvG Altbau	70	125	130	46	92	57	26	47	30
	HvG Neubau	84	222	125	60	188	67	37	104	30
	Muster	214	641	207	189	551	201	221	491	238
	Stauf	294	466	158	263	423	262	209	357	210
Durchschnitt		262	633	265	229	562	262	214	473	242
Kitas	HLH	12	27	12	132	196	170	187	296	220
	KiZ 7	14	84	14	14	75	18	19	66	19
	KiZ 120	29	114	32	29	103	37	27	87	26
	KiZ 126	-	83	-	27	75	-	-	52	-
Durchschnitt		18	77	19	50	112	75	77	125	88

Tabelle A - 14: Durchschnittlicher Gasverbrauch in kWh je Typtagkategorie und Schule

Schultyp	Schule	WS	WW	WF	ÜS	ÜW	ÜF	SS	SW	SF
Grundschulen	ABS	3767	4397	4819	1865	2267	2227	486	523	403
	ADS	1750	2327	1298	808	1178	1036	22	122	57
	Boni	2279	2789	2510	765	1417	763	159	318	29
	Eichend	3036	3209	3495	1618	1730	1605	216	278	198
	EKS	62	166	122	27	111	42	19	65	25
	FFS	905	13696	25	201	2516	1258	2	1	1
Durchschnitt		1966,5	4430,7	2045	880,67	1537	1155,2	150,7	217,83	118,8
Weiterf. Schulen	Bettina	4084	6068	6774	965	2985	1682	259	683	257
	Gut	5615	6758	9325	2827	4126	4663	127	192	114
	HvG	3718	7766	5123	1459	3796	1408	105	259	17
	Muster	1966	4077	4023	800	1843	1015	25	147	31
	Stauf	2293	3052	3138	1158	1610	1164	120	287	276
Durchschnitt		3535,2	5544,2	5677	1441,8	2872	1986,4	127,2	313,6	139
Kitas	HLH	174	233	225	90	125	118	29	35	35
	KiZ 7	382	614	600	179	333	128	3	70	31
	KiZ 120	1020	-	-	720	707	-	305	-	-
Durchschnitt		525,33	423,5	412,5	329,67	388,3	123	112,3	52,5	33

Anhang G – Referenzlastprofile Strom

Referenzlastprofile Grundschulen

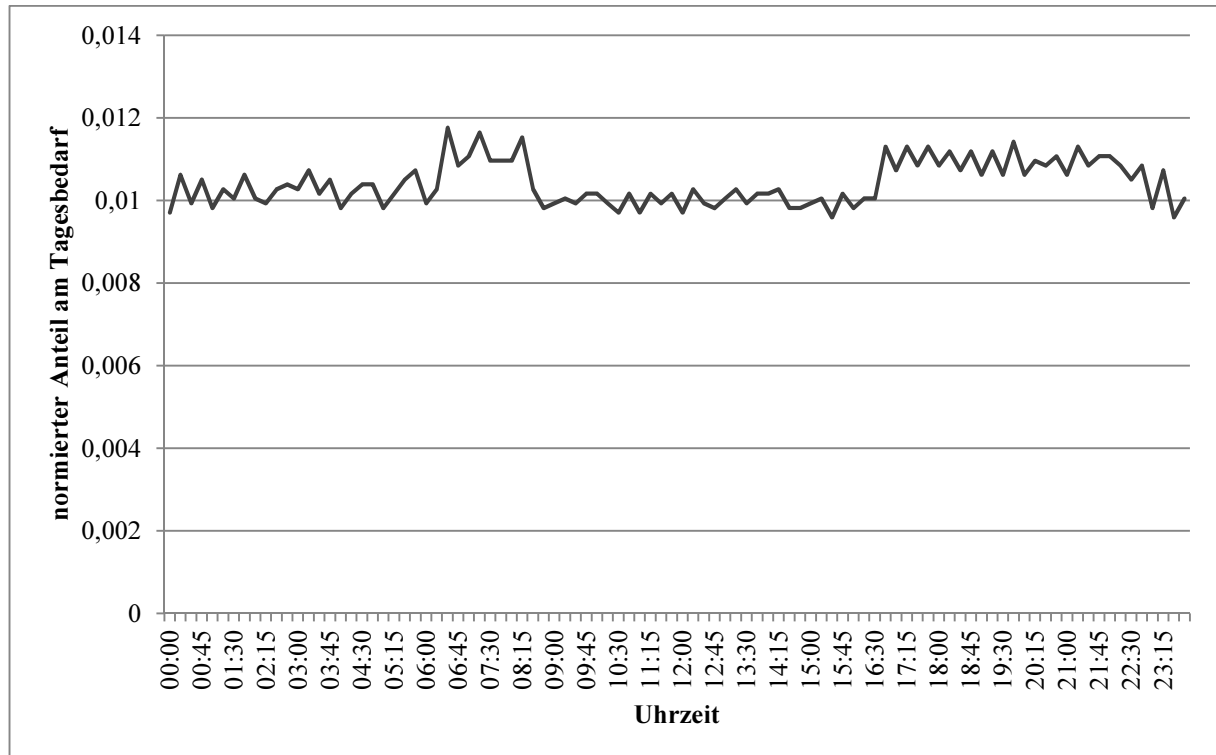


Abbildung A - 1: RLP Strom Typtagkategorie WS; Grundschulen

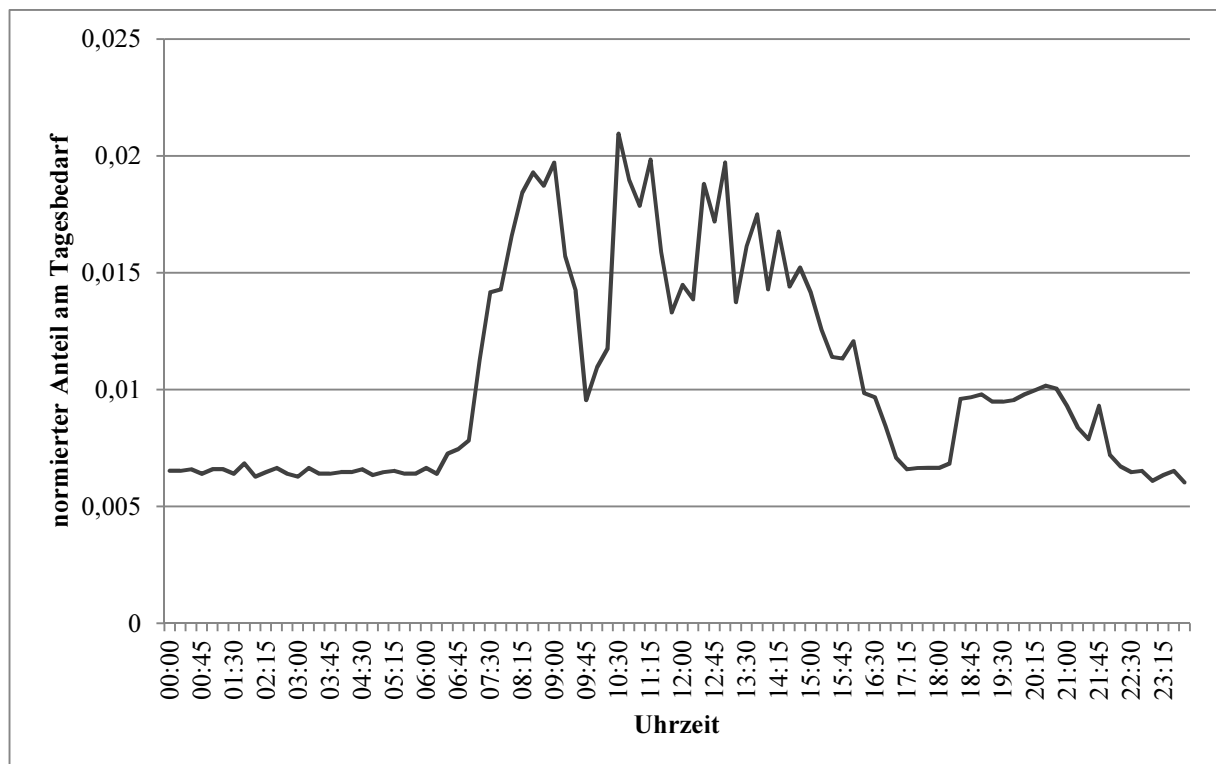


Abbildung A - 2: RLP Strom Typtagkategorie WW; Grundschulen

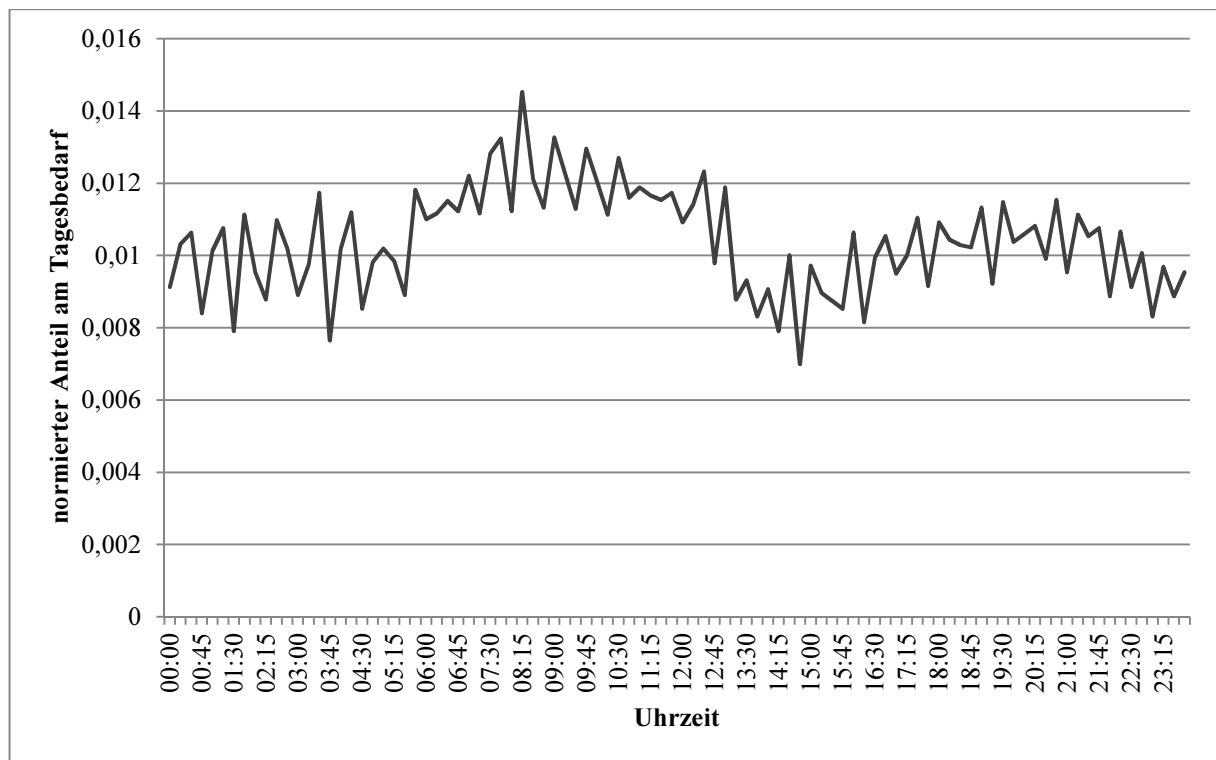


Abbildung A - 3: RLP Strom Typtagkategorie WF; Grundschulen

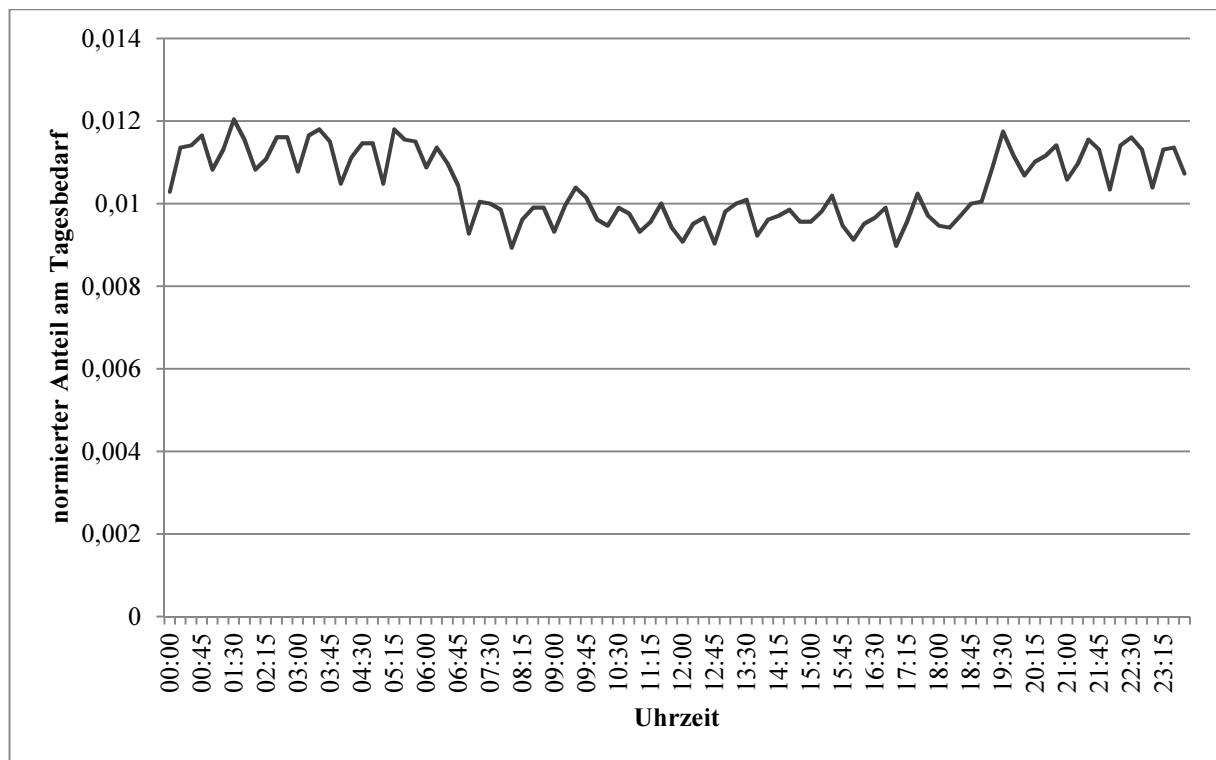


Abbildung A - 4: RLP Strom Typtagkategorie ÜS; Grundschulen

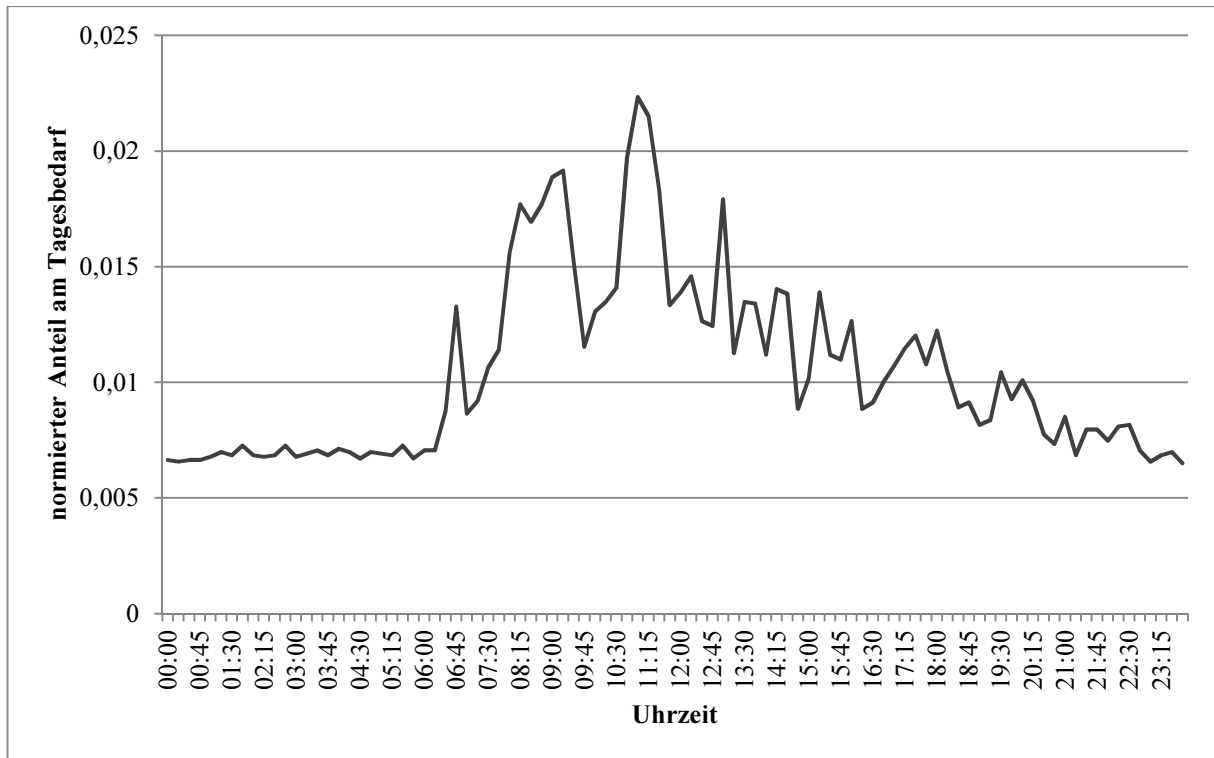


Abbildung A - 5: RLP Strom Typtagkategorie ÜW; Grundschulen

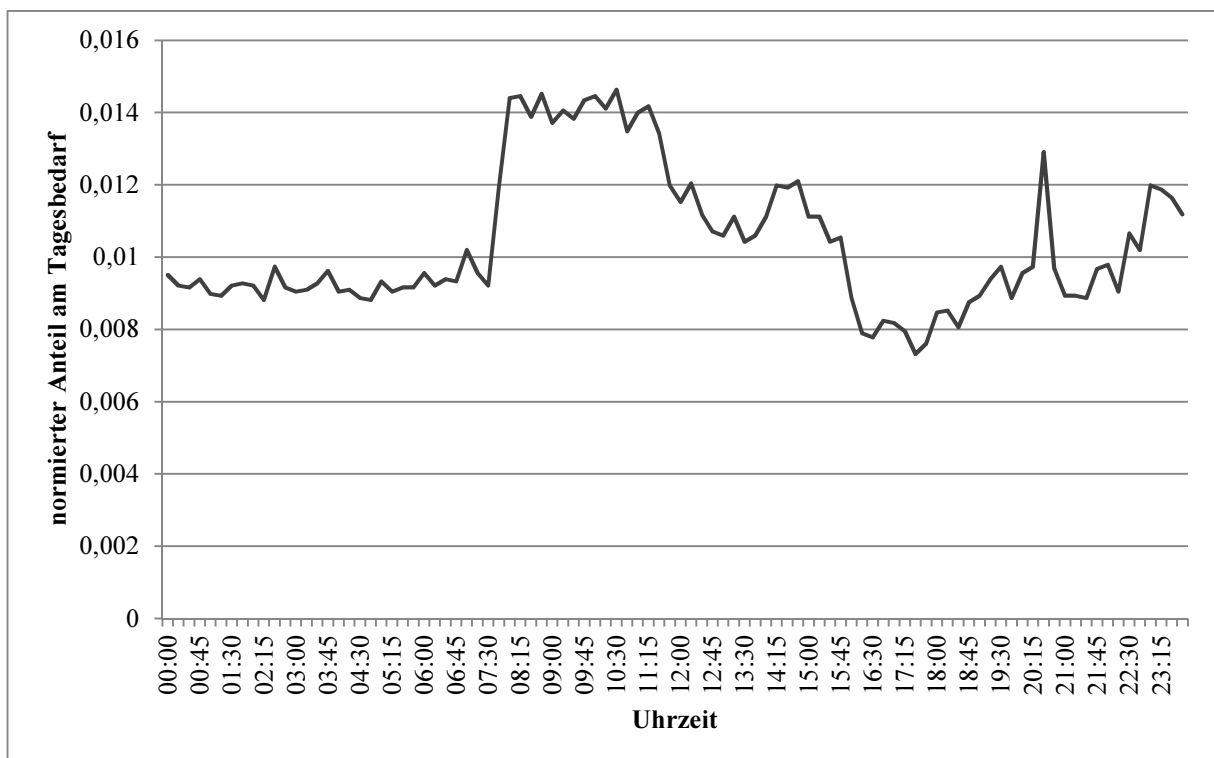


Abbildung A - 6: RLP Strom Typtagkategorie ÜF; Grundschulen

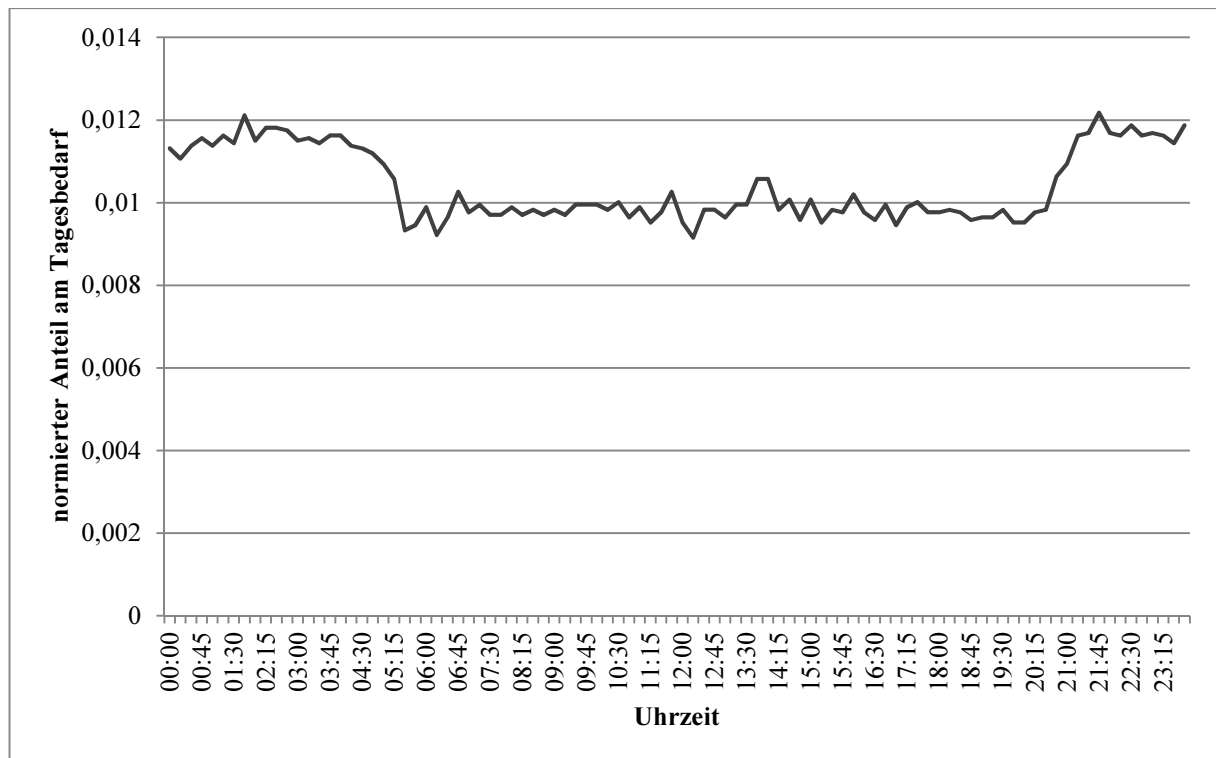


Abbildung A - 7: RLP Strom Typtagkategorie SS; Grundschulen

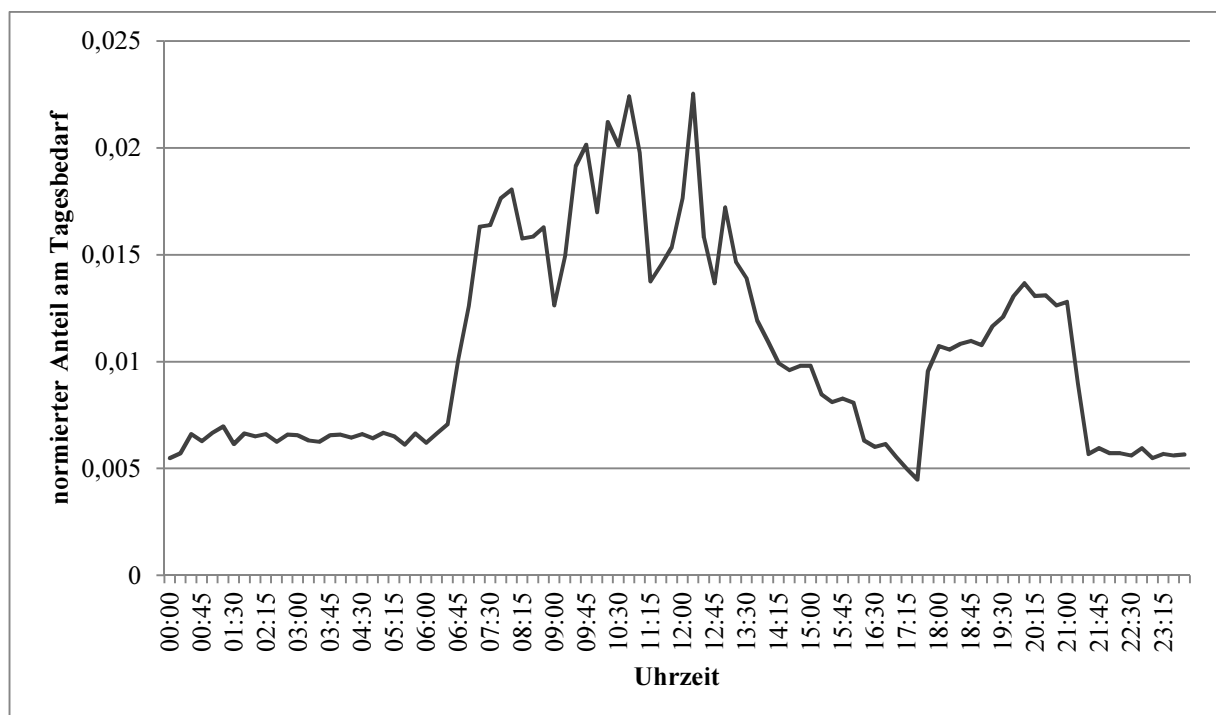


Abbildung A - 8: RLP Strom Typtagkategorie SW; Grundschulen

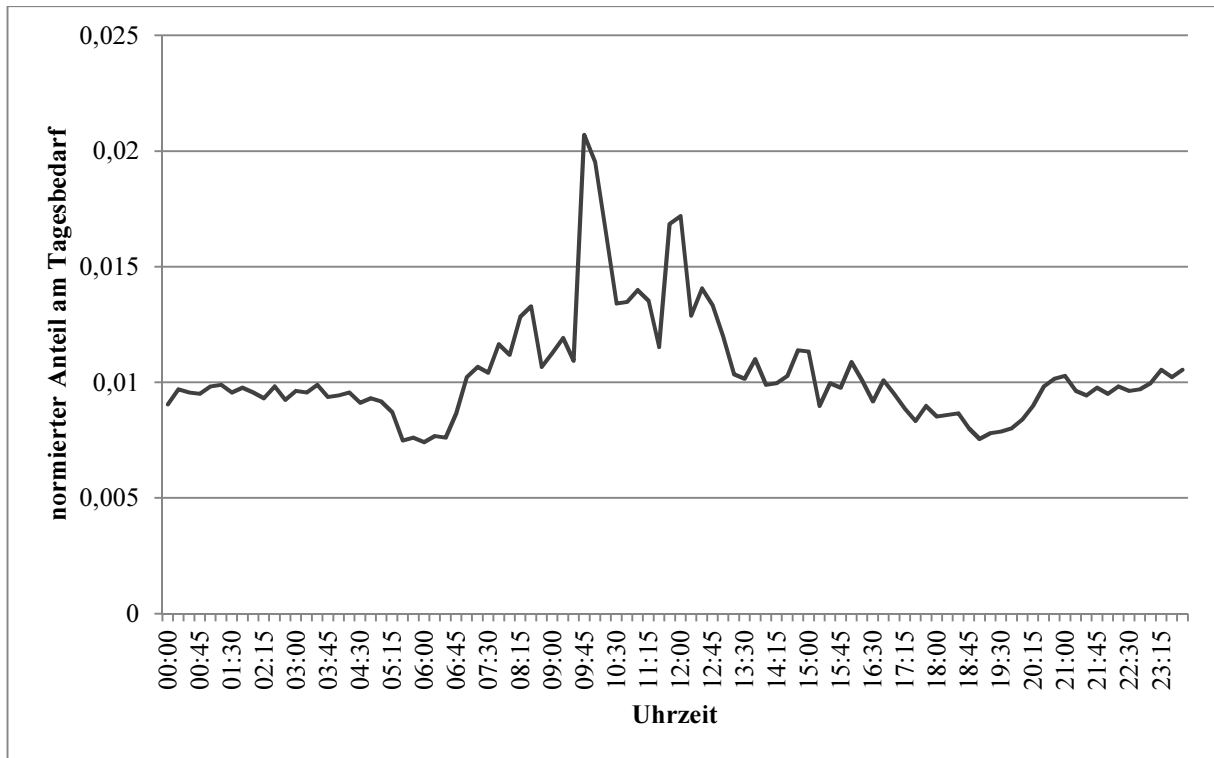


Abbildung A - 9: RLP Strom Typtagkategorie SF; Grundschulen

Referenzlastprofile weiterführende Schulen

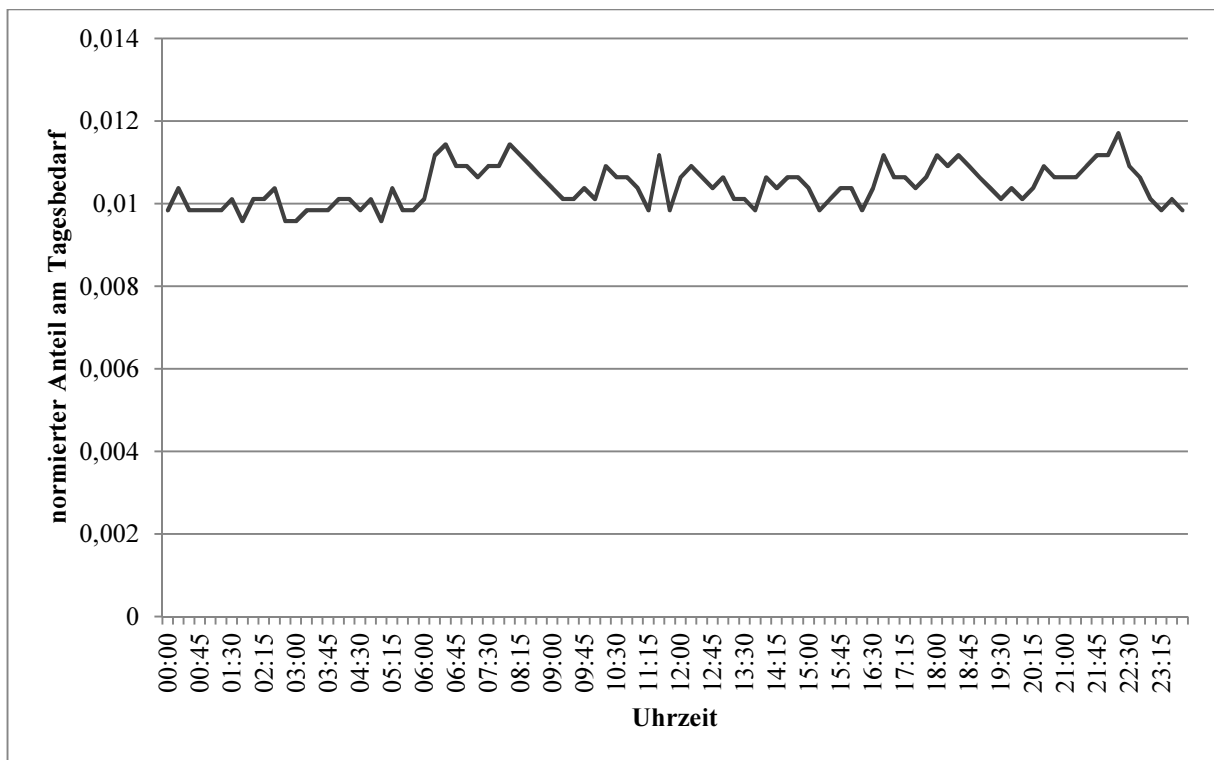


Abbildung A - 10: RLP Strom Typtagkategorie WS; weiterführende Schulen

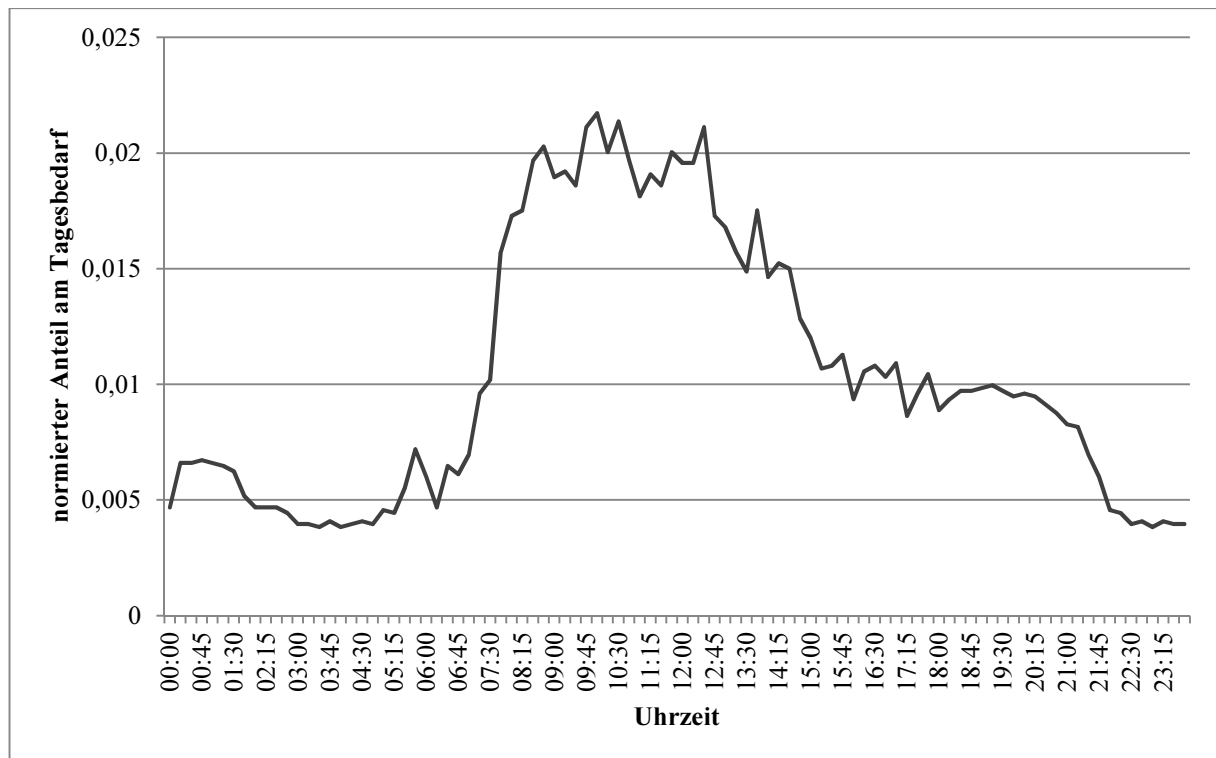


Abbildung A - 11: RLP Strom Typtagkategorie WW; weiterführende Schulen

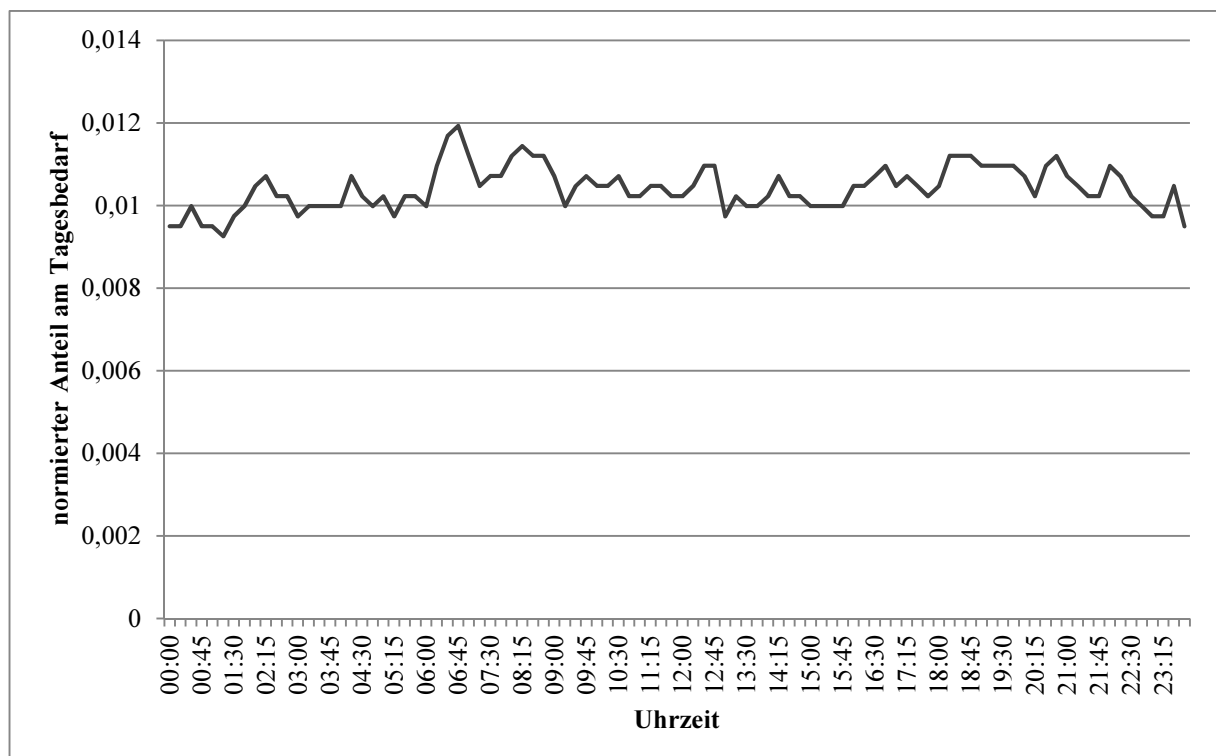


Abbildung A - 12: RLP Strom Typtagkategorie WF; weiterführende Schulen

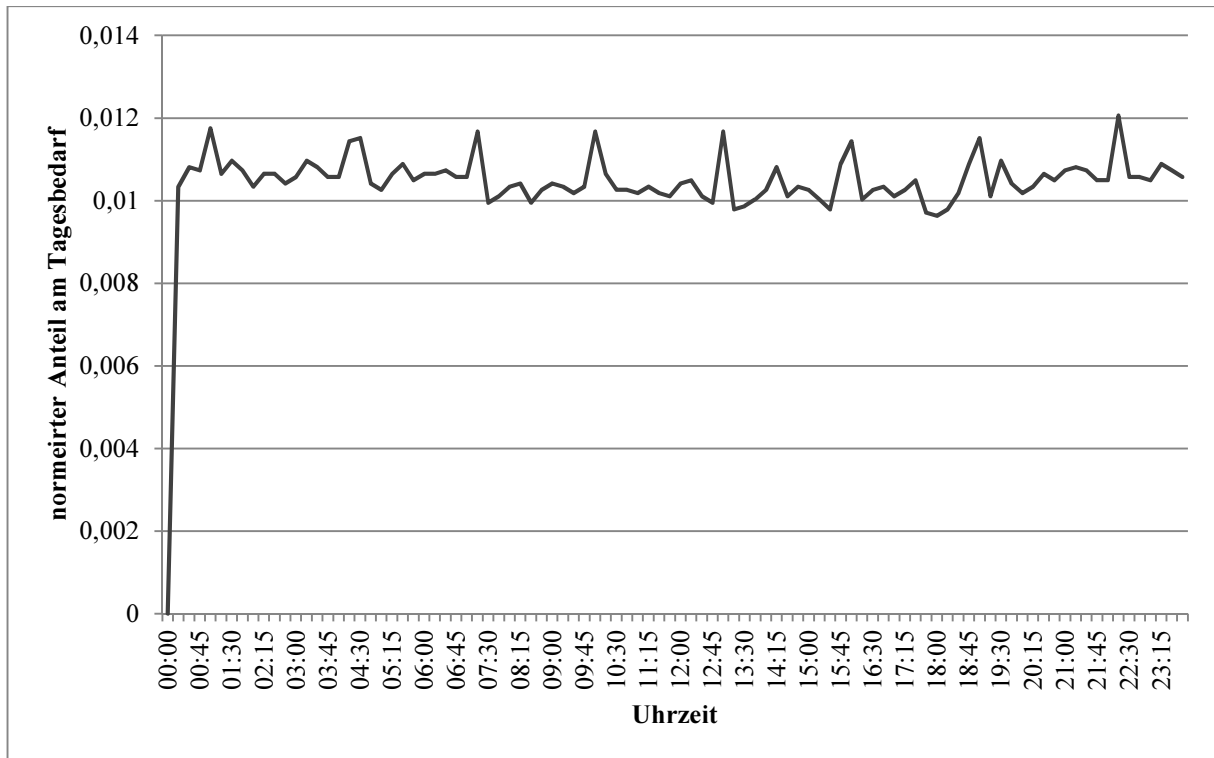


Abbildung A - 13: RLP Strom Typtagkategorie ÜS; weiterführende Schulen

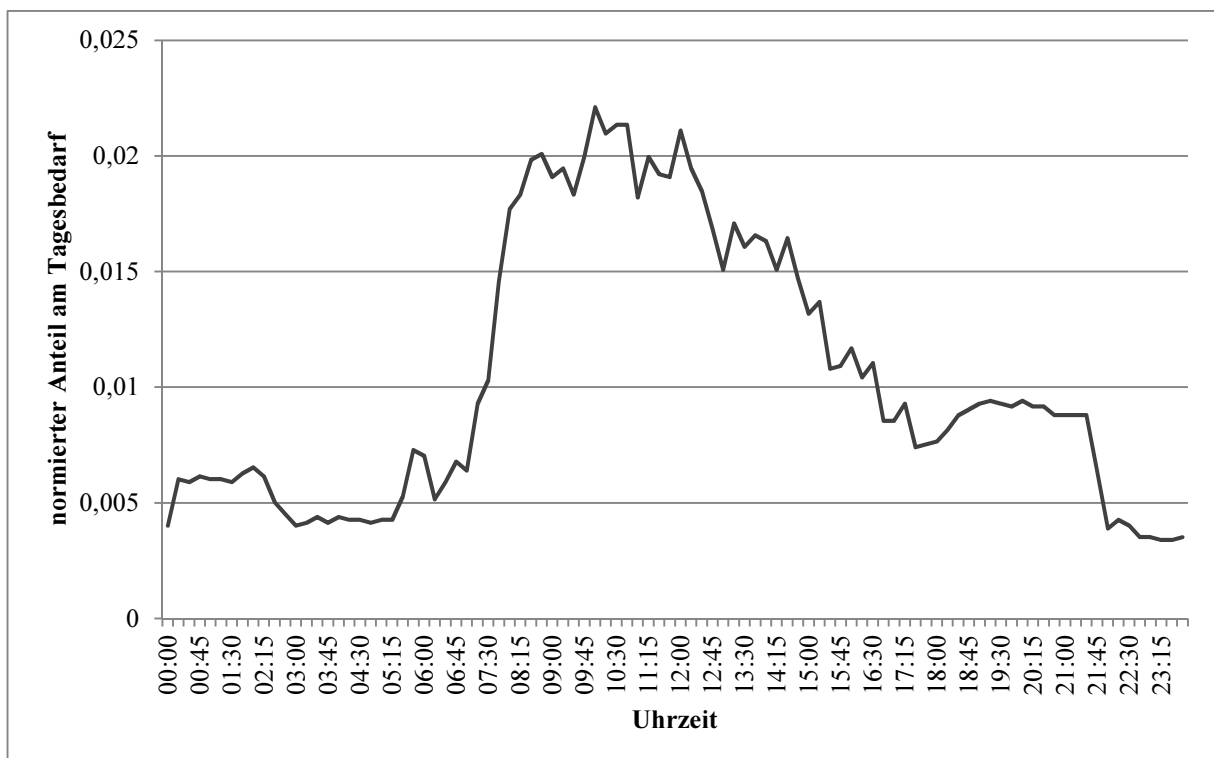


Abbildung A - 14: RLP Strom Typtagkategorie ÜW; weiterführende Schulen

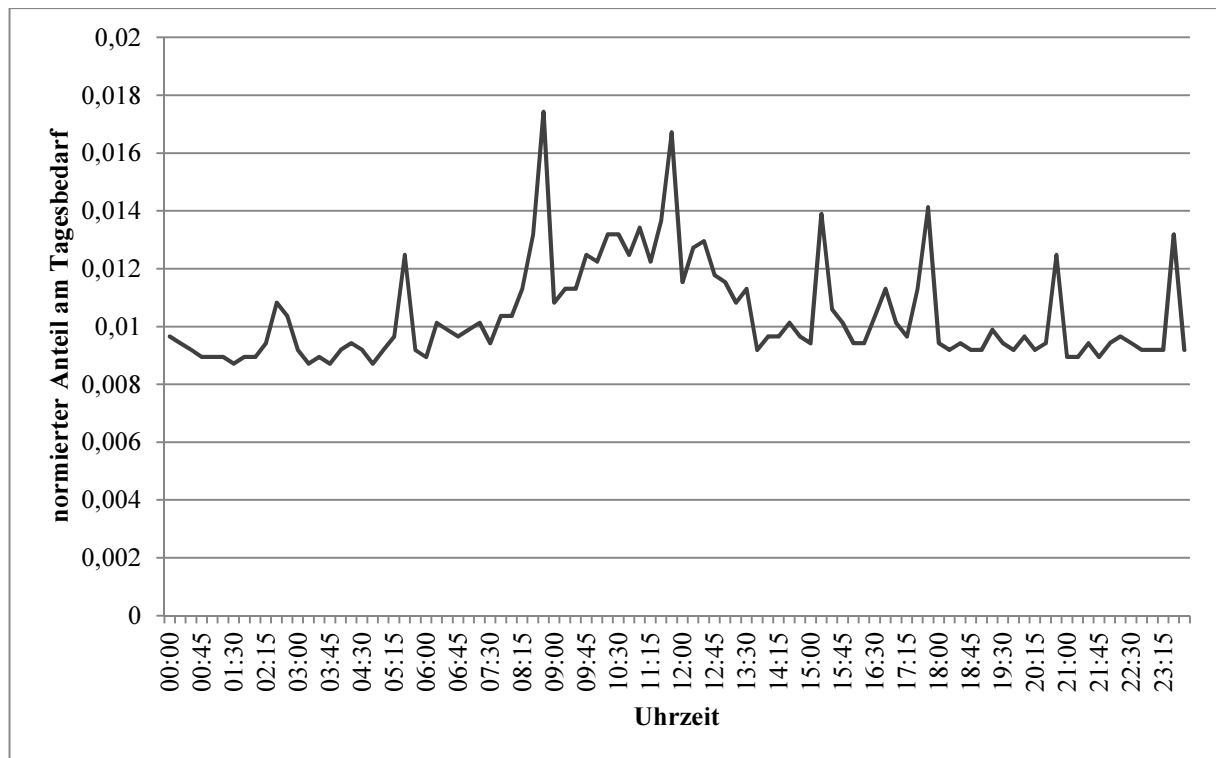


Abbildung A - 15: RLP Strom Typtagkategorie ÜF; weiterführende Schulen

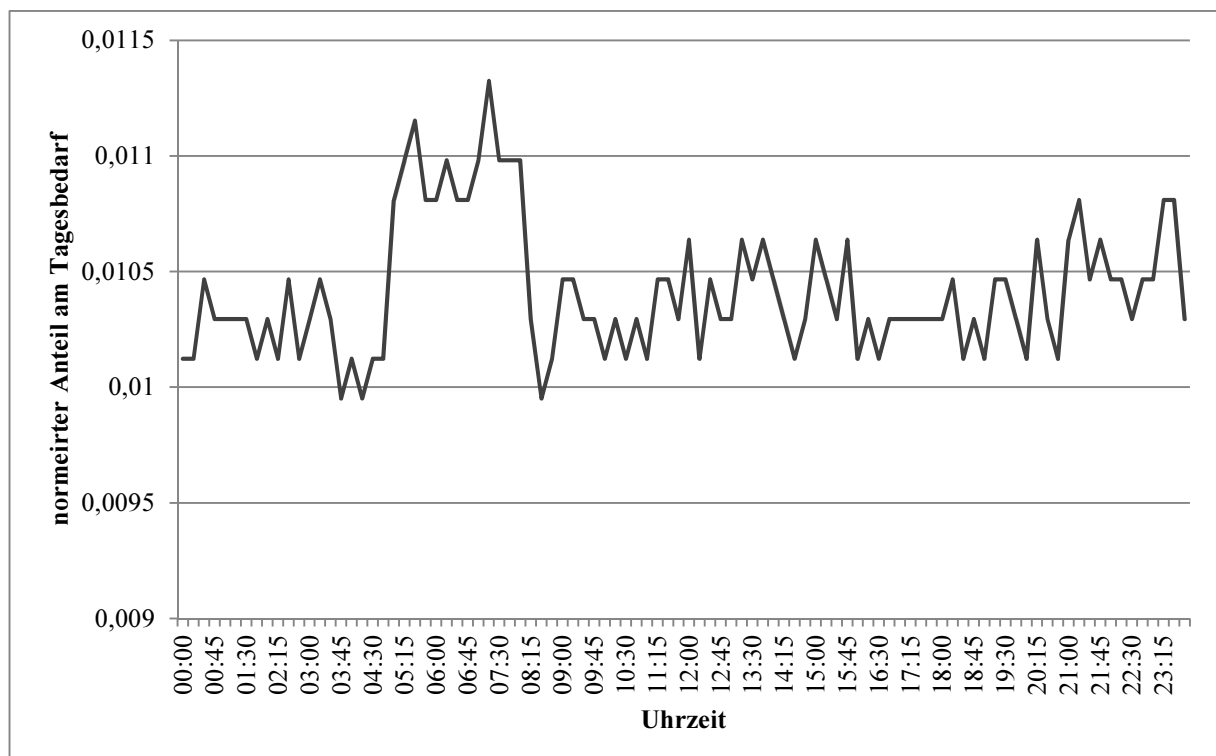


Abbildung A - 16: RLP Strom Typtagkategorie SS; weiterführende Schulen

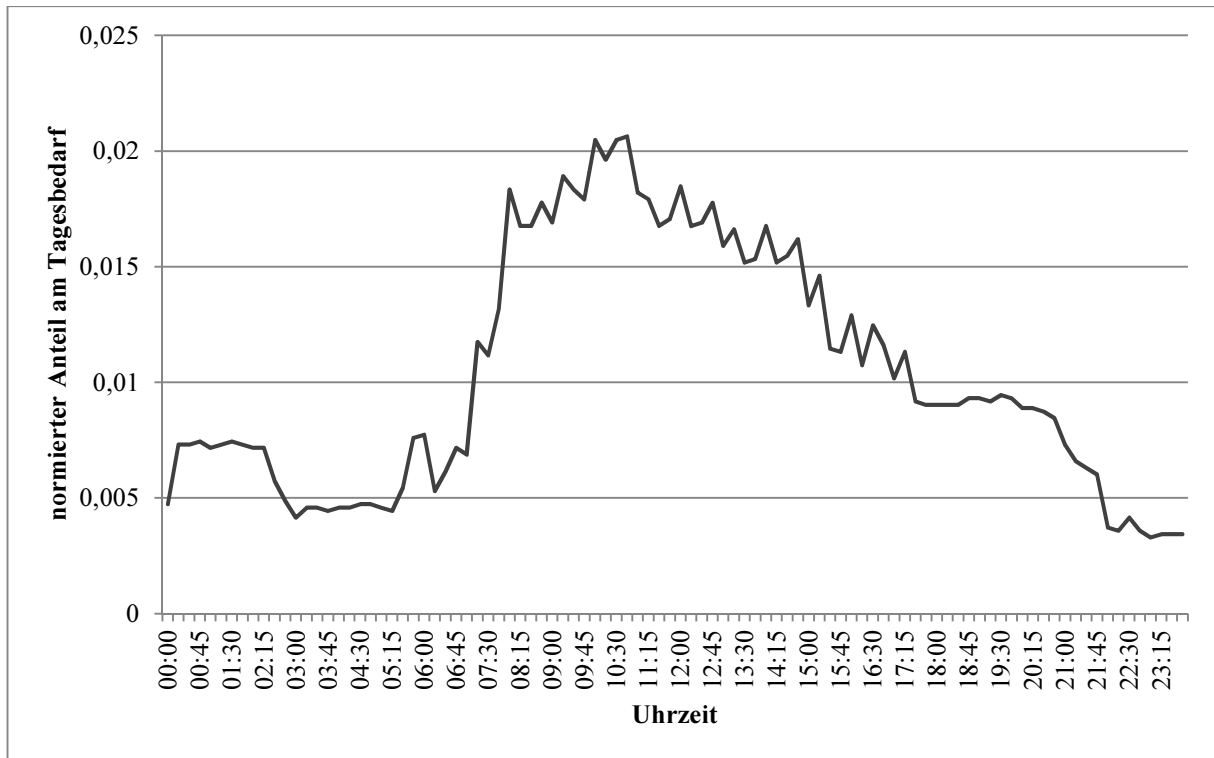


Abbildung A - 17: RLP Strom Typtagkategorie SW; weiterführende Schulen

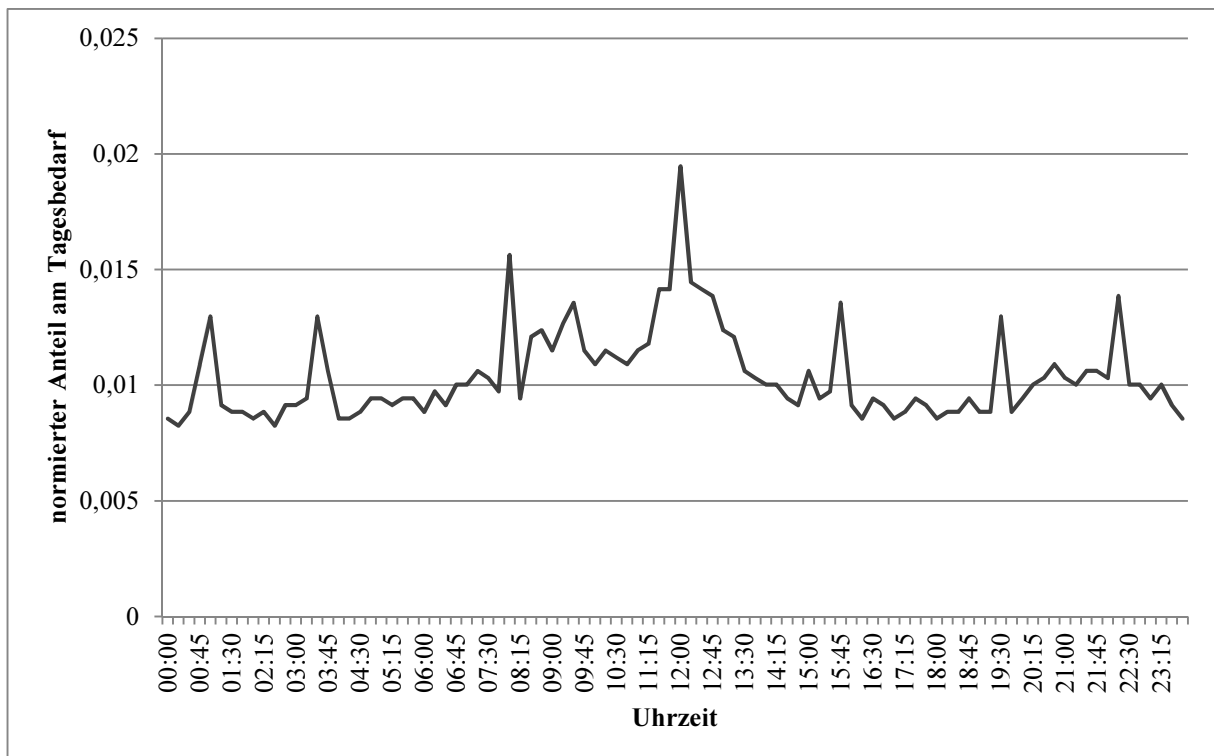


Abbildung A - 18: RLP Strom Typtagkategorie SF; weiterführende Schulen

Referenzlastprofile Kitas

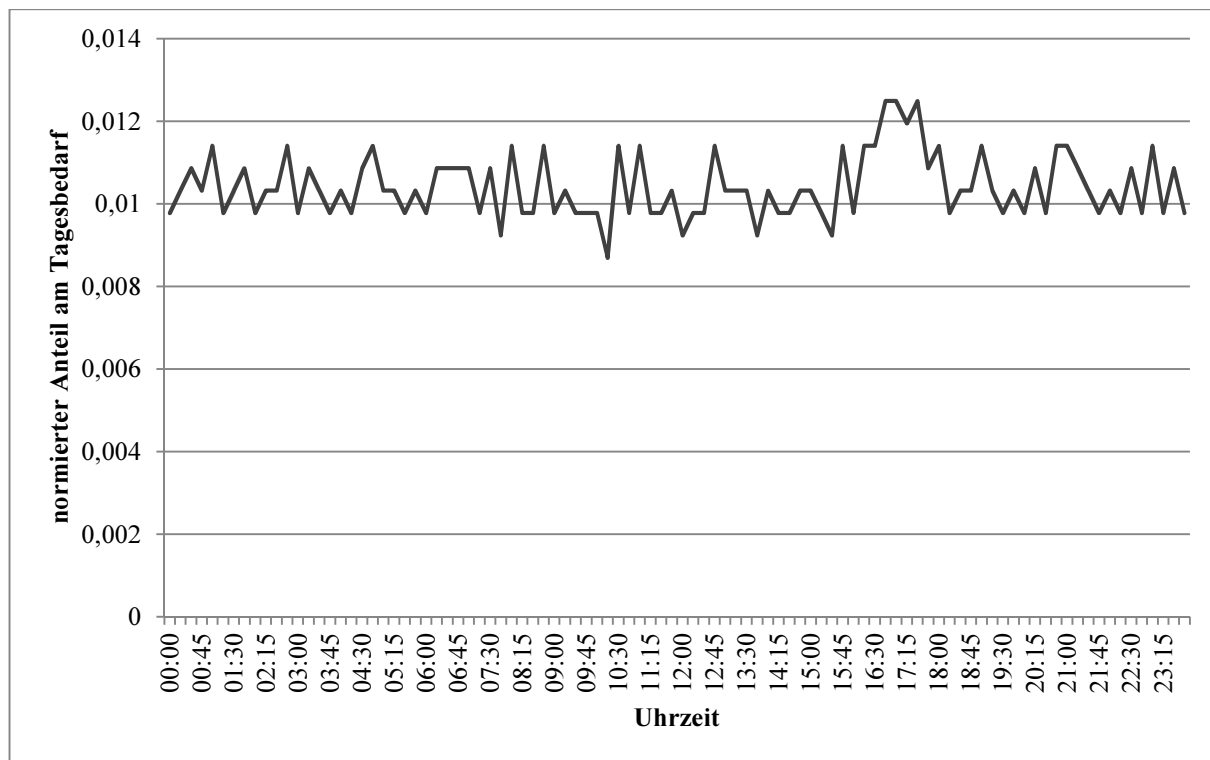


Abbildung A - 19: RLP Strom Typtagkategorie WS; Kitas

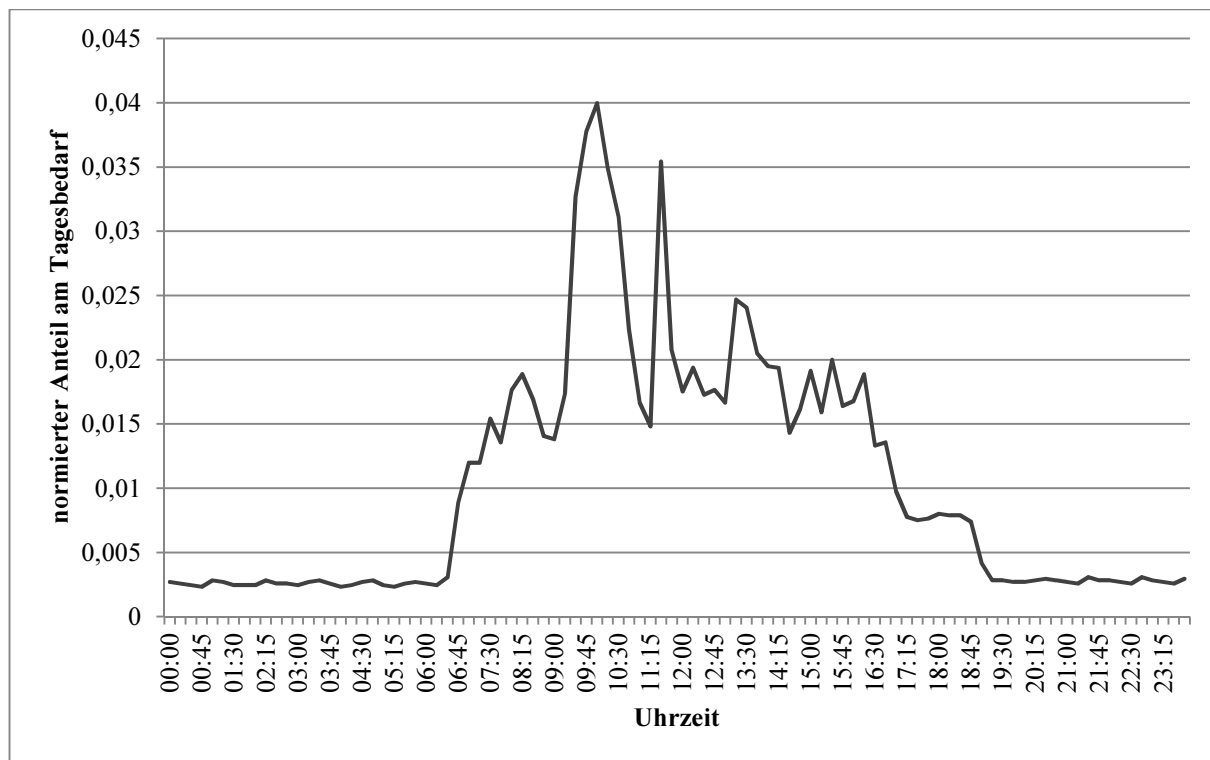


Abbildung A - 20: RLP Strom Typtagkategorie WW; Kitas

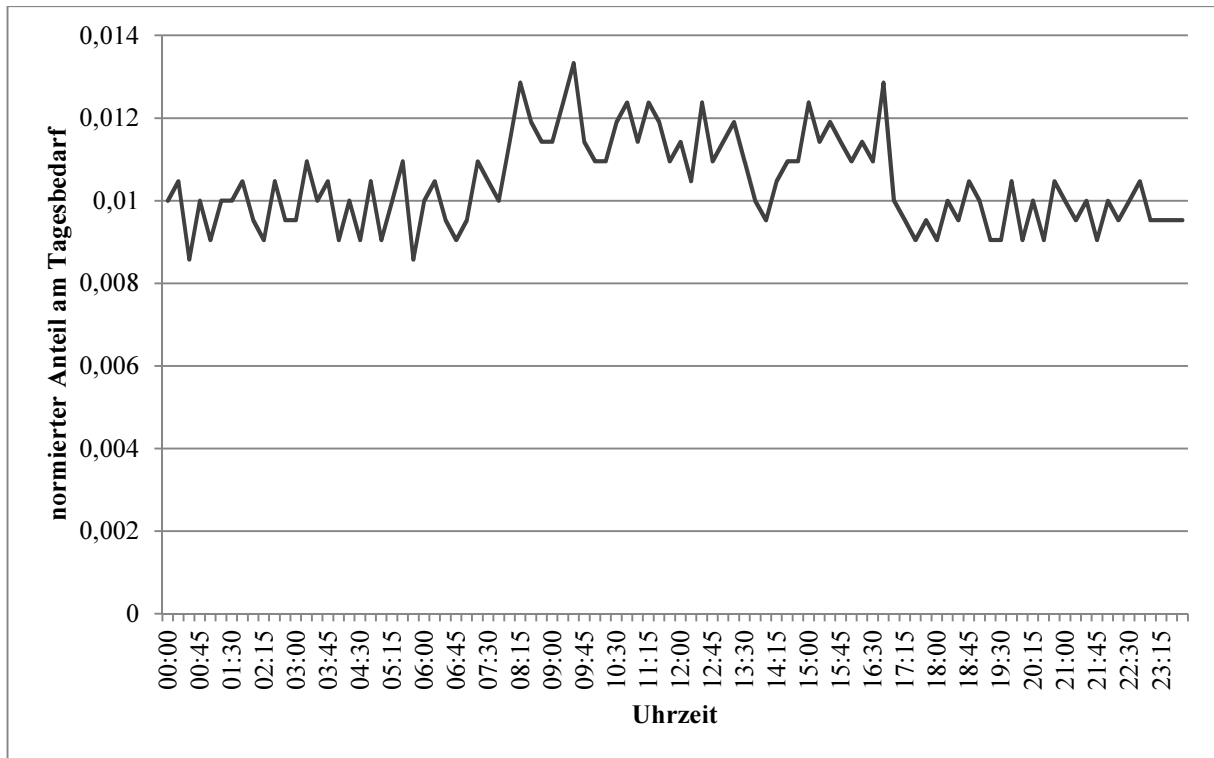


Abbildung A - 21: RLP Strom Typtagkategorie WF; KITAS

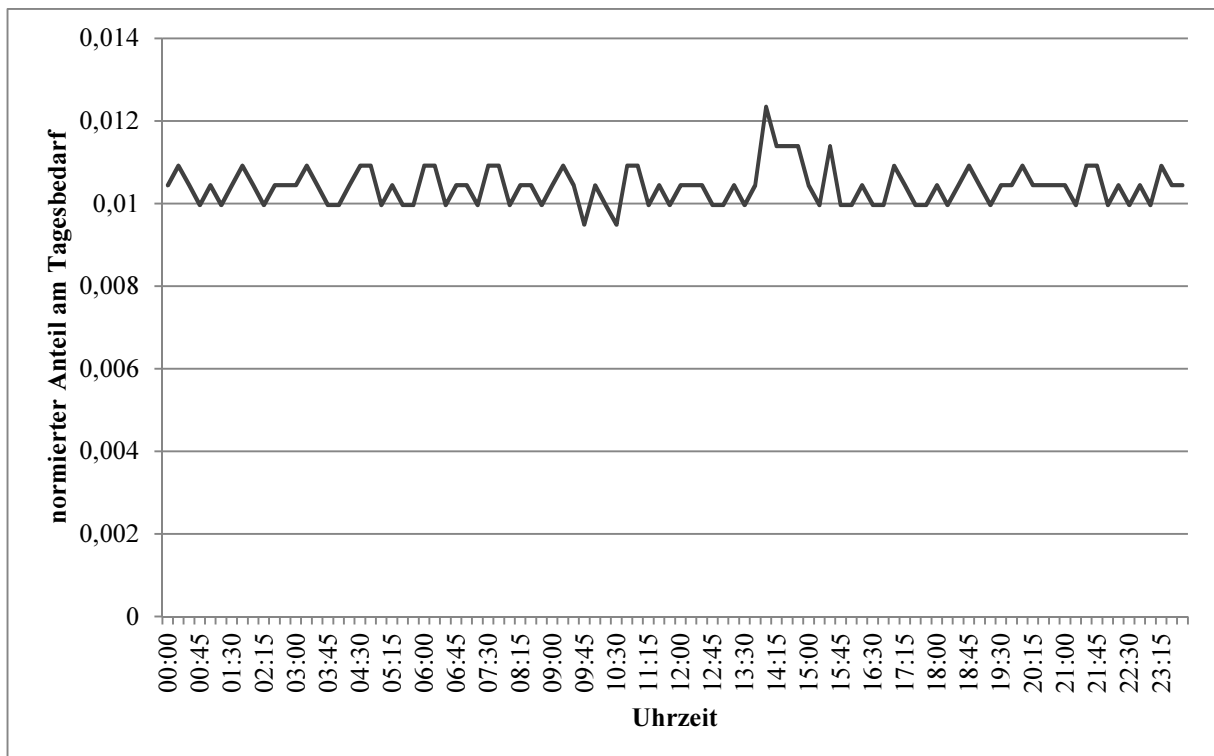


Abbildung A - 22: RLP Strom Typtagkategorie ÜS; KITAS

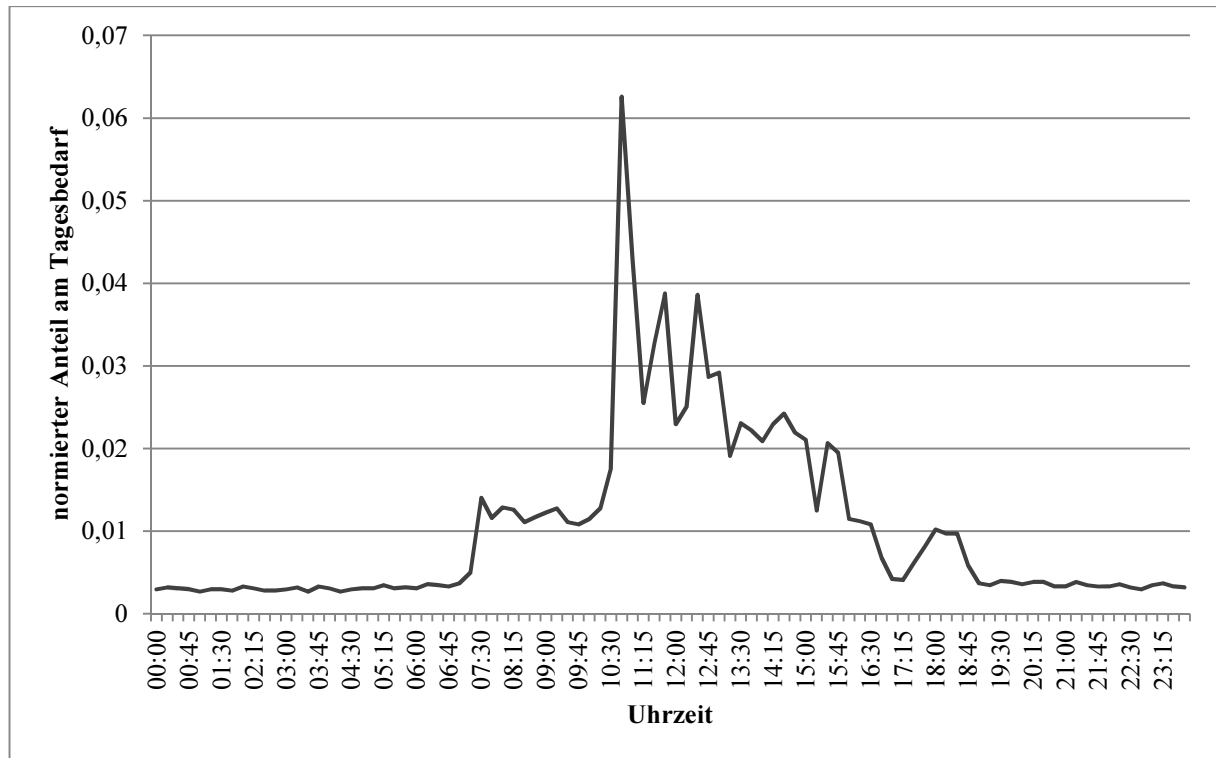


Abbildung A - 23: RLP Strom Typtagkategorie ÜW; Kitas

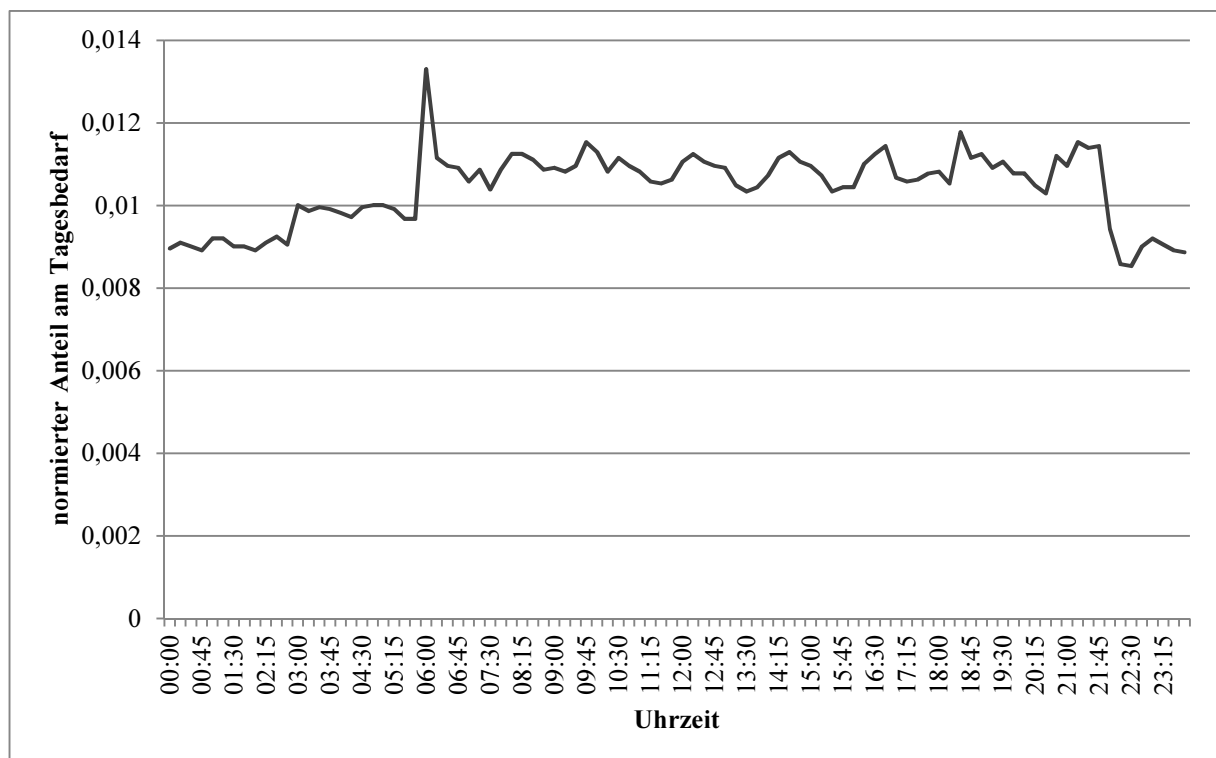


Abbildung A - 24: RLP Strom Typtagkategorie ÜF; Kitas

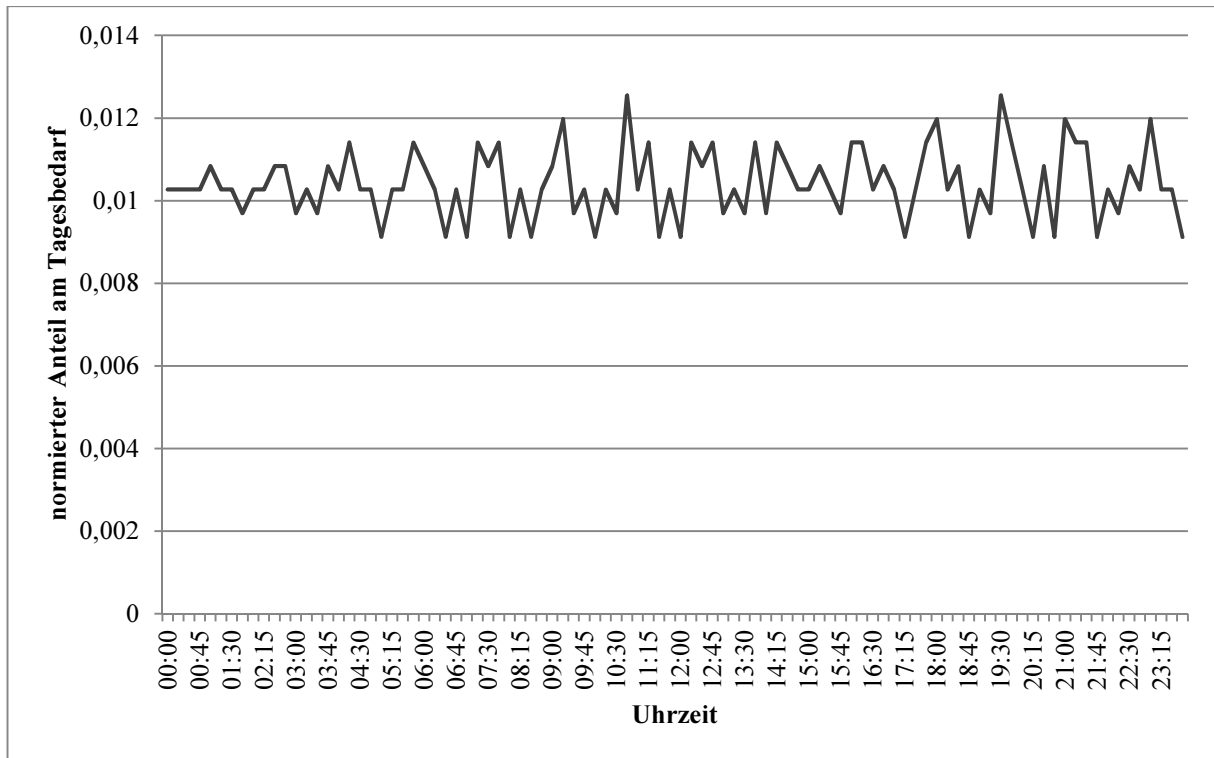


Abbildung A - 25: RLP Strom Typtagkategorie SS; KITAS

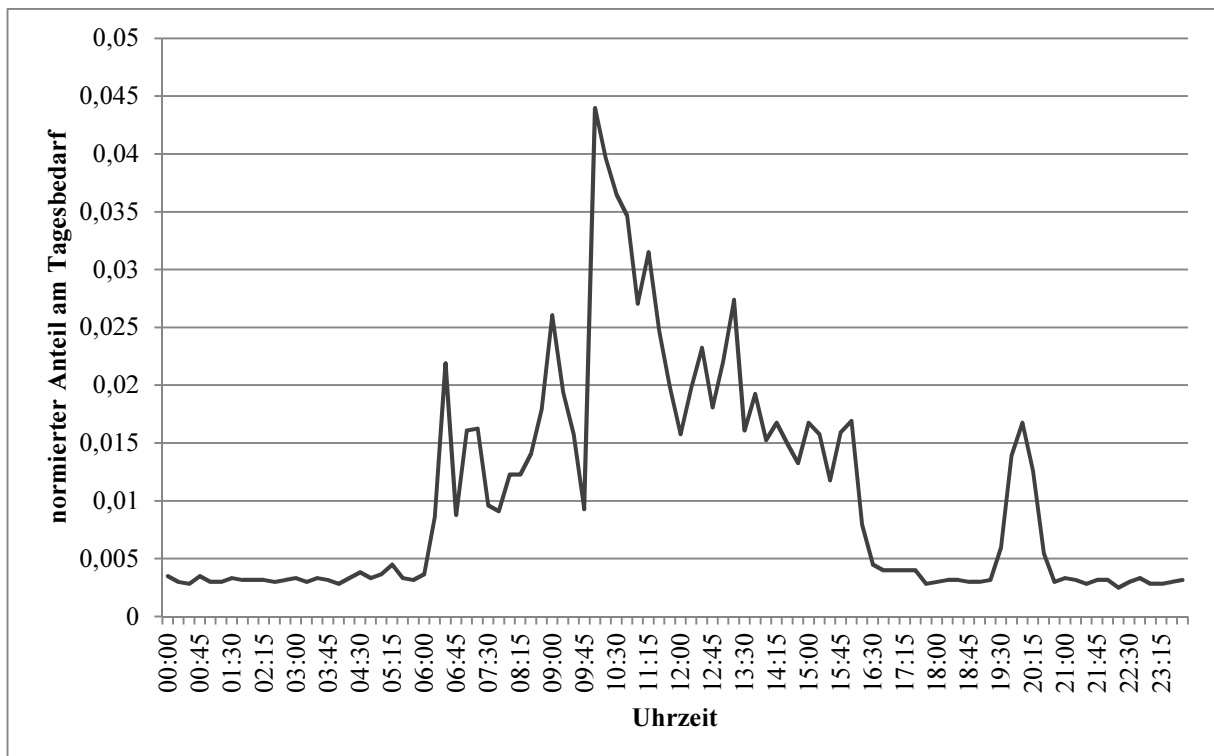


Abbildung A - 26: RLP Strom Typtagkategorie SW; KITAS

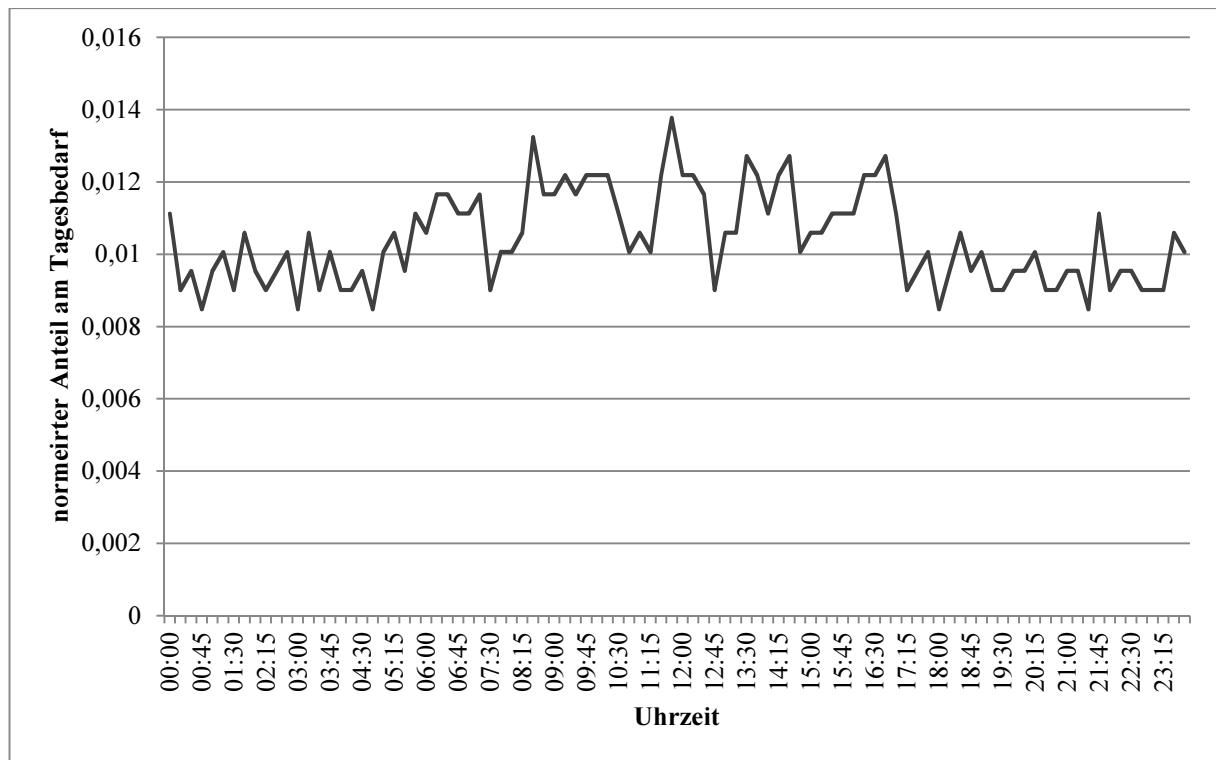


Abbildung A - 27: RLP Strom Typtagkategorie SF; Kitas

Anhang H – Referenzlastprofile Gas

Referenzlastprofile Grundschulen

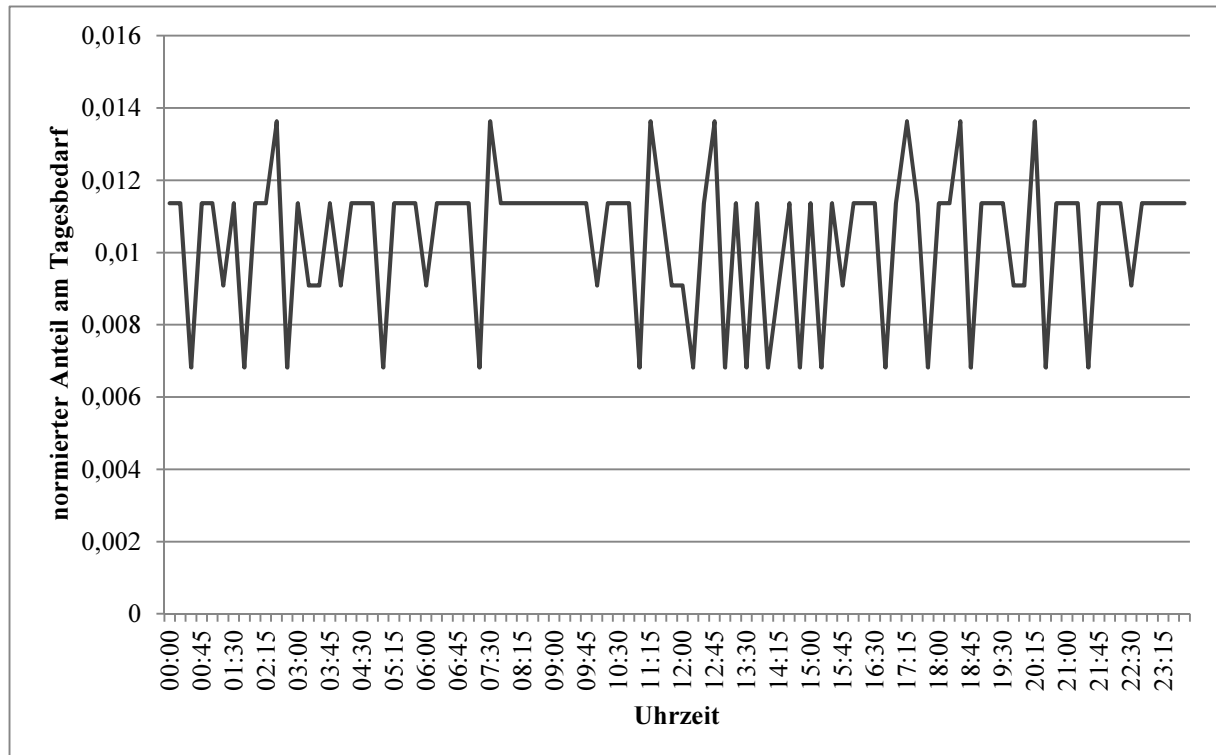


Abbildung A - 28: RLP Gas Typtagkategorie WS; Grundschulen

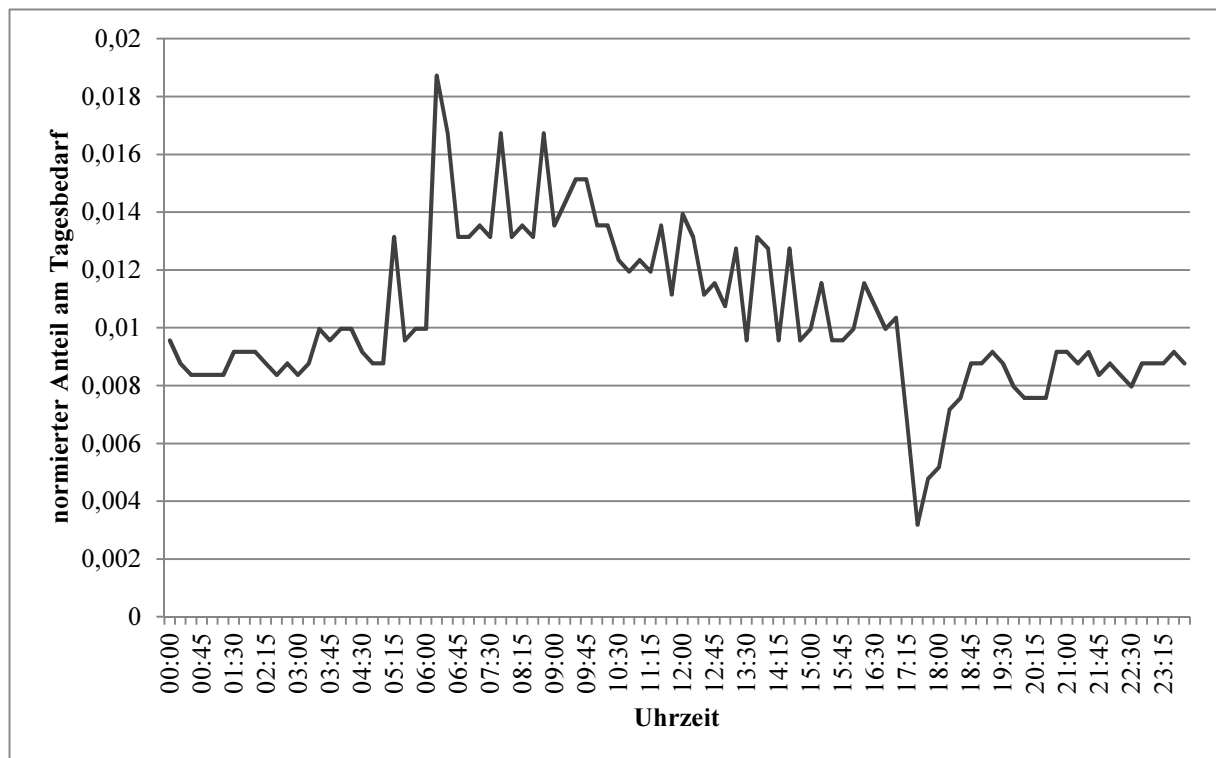


Abbildung A - 29: RLP Gas Typtagkategorie WW; Grundschulen

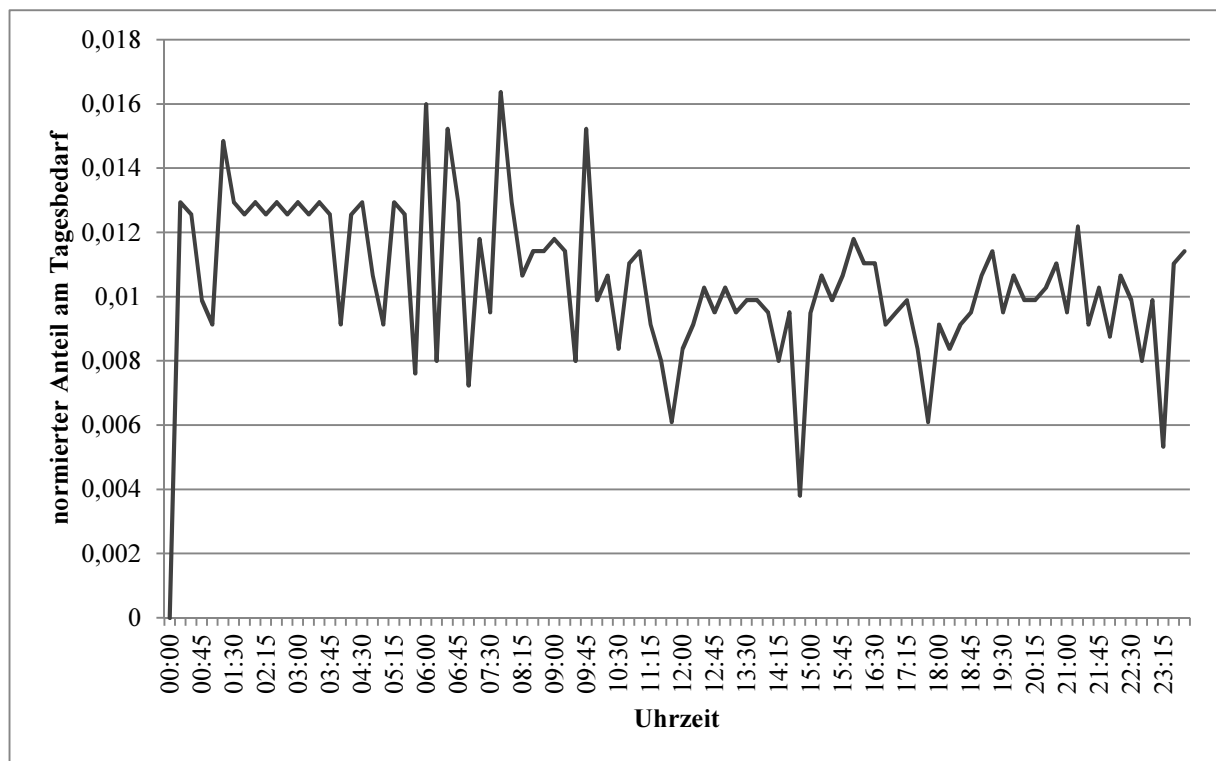


Abbildung A - 30: RLP Gas Typtagkategorie WF; Grundschulen

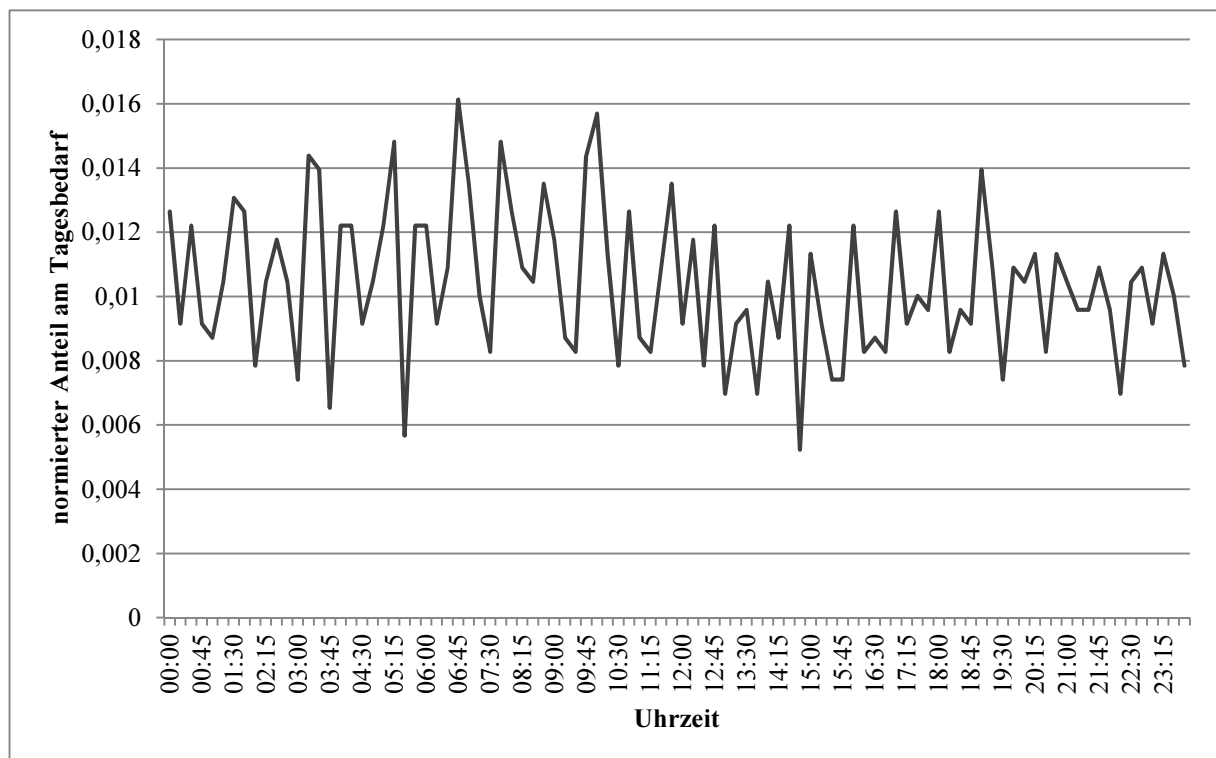


Abbildung A - 31: RLP Gas Typtagkategorie ÜS; Grundschulen

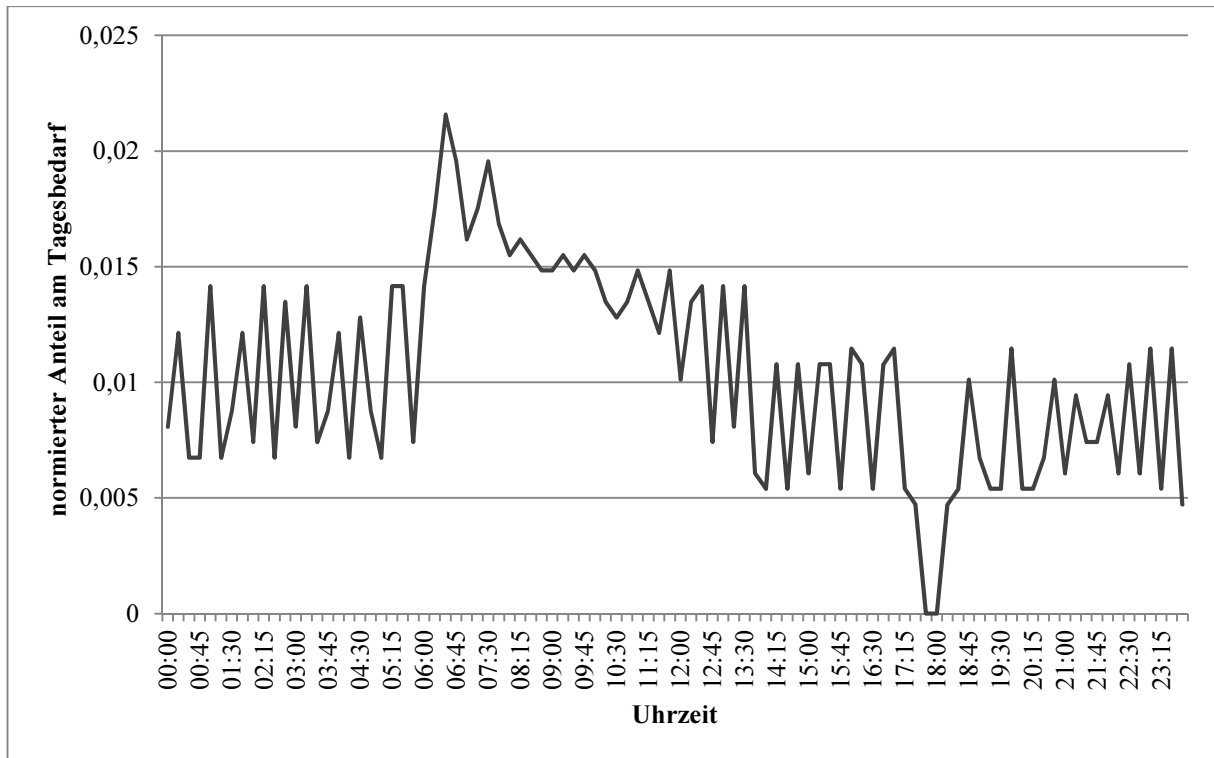


Abbildung A - 32: RLP Gas Typtagcategory ÜW; Grundschulen

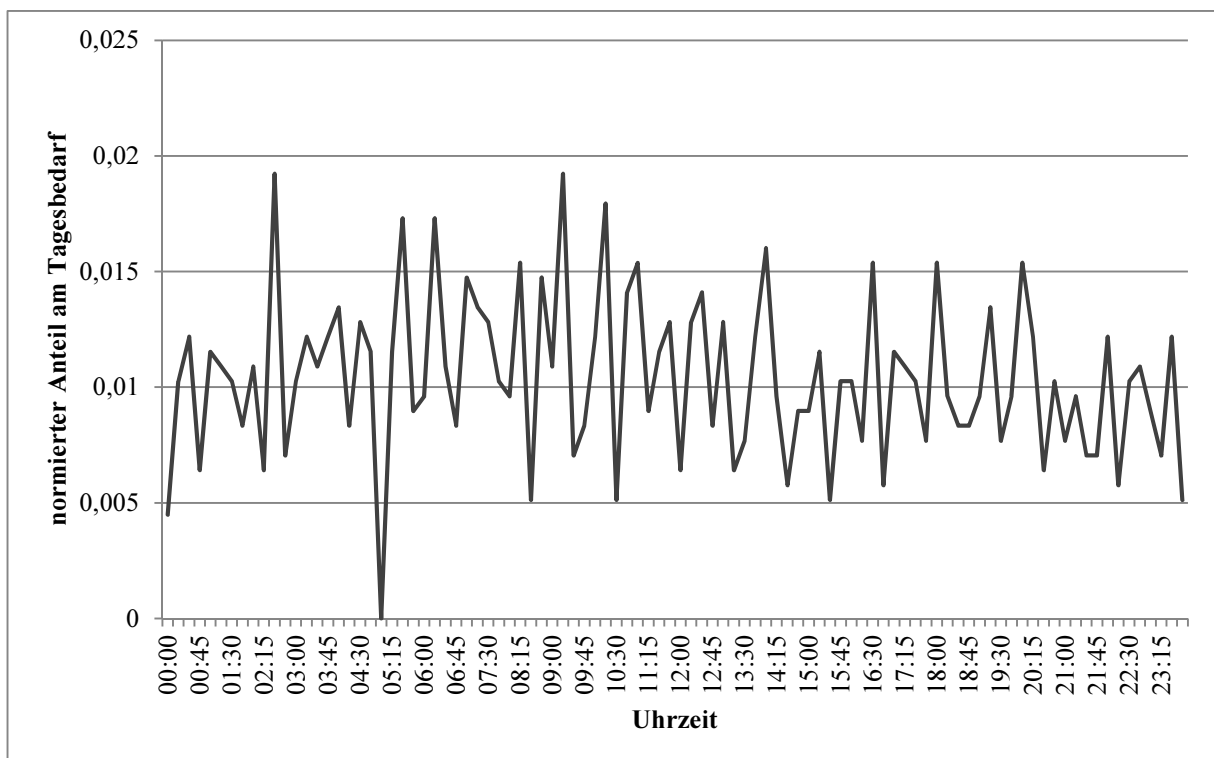


Abbildung A - 33: RLP Gas Typtagcategory ÜF; Grundschulen

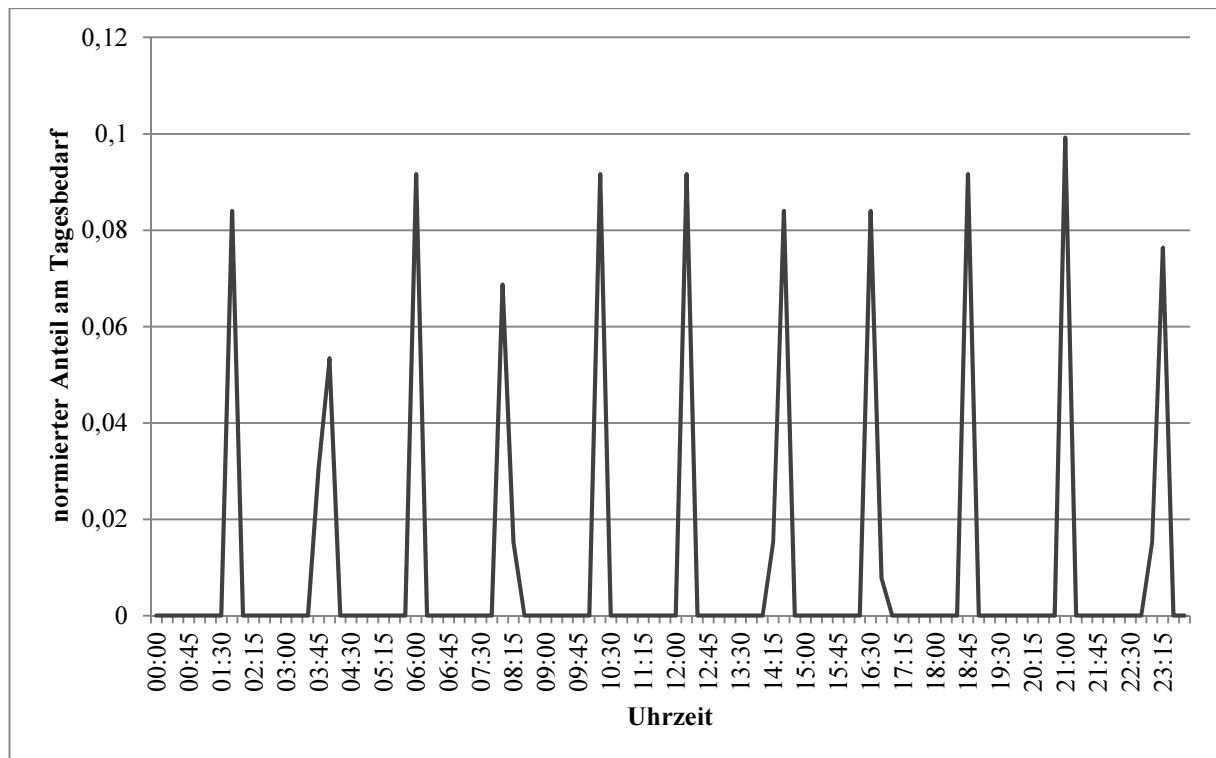


Abbildung A - 34: RLP Gas Typtagcategory SS; Grundschulen

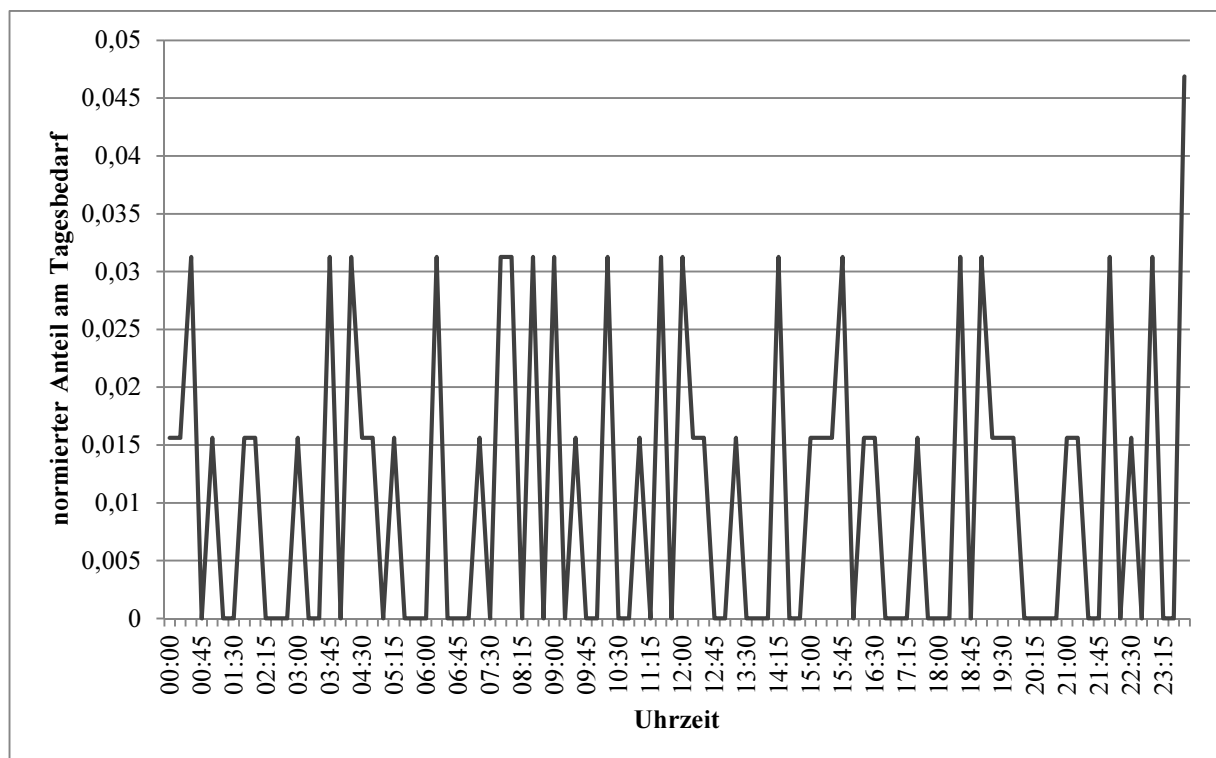


Abbildung A - 35: RLP Gas Typtagcategory SW; Grundschulen

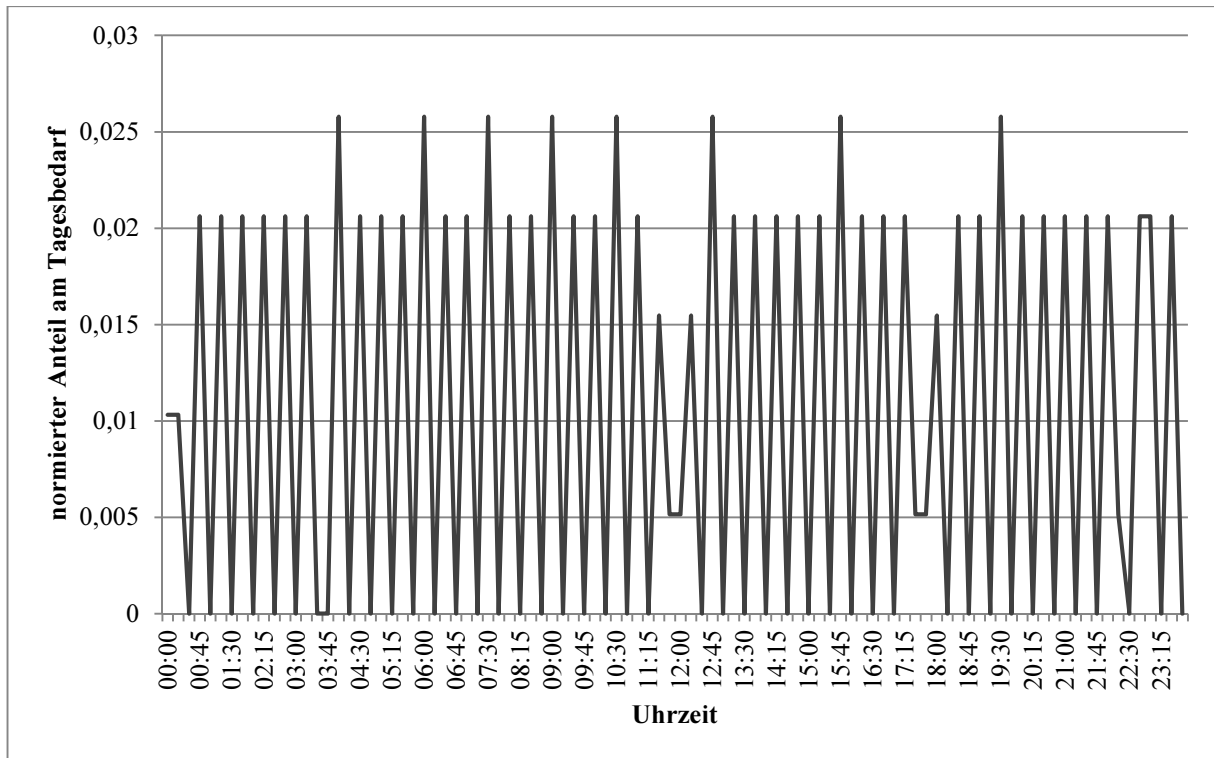


Abbildung A - 36: RLP Gas Typtagkategorie SF; Grundschulen

Referenzlastprofile weiterführende Schulen

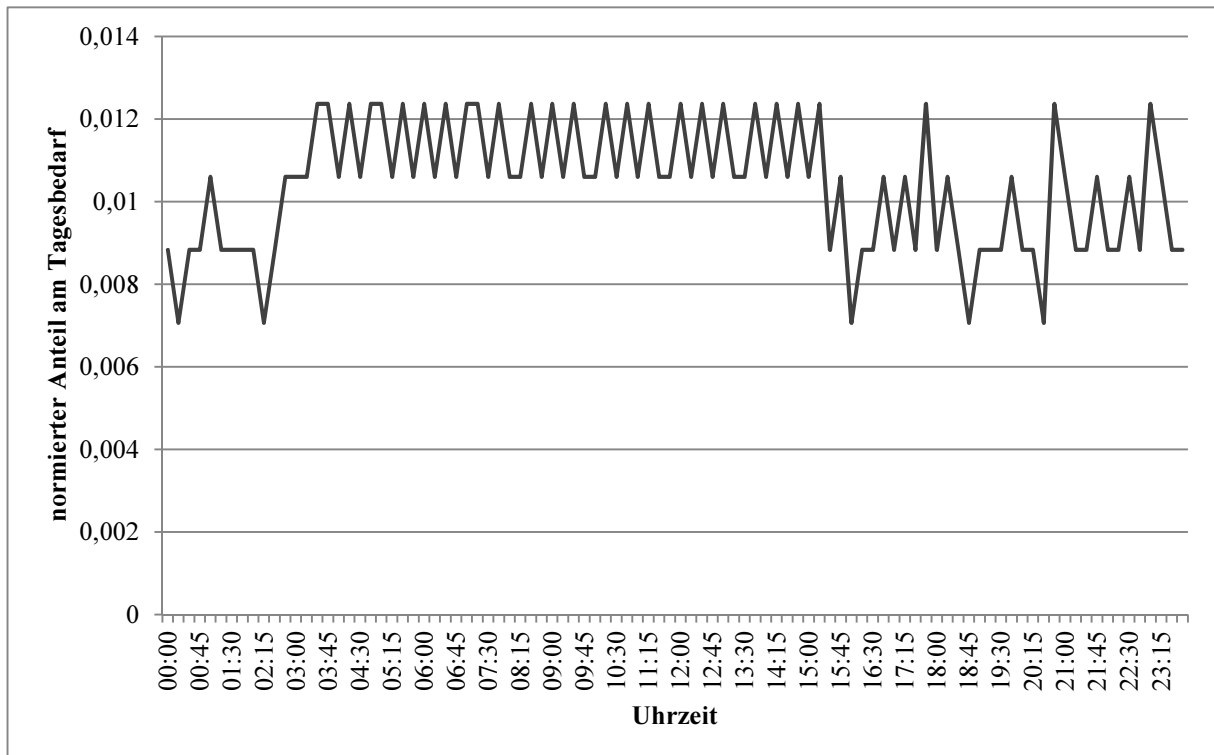


Abbildung A - 37: RLP Gas Typtagkategorie WS; weiterf. Schulen

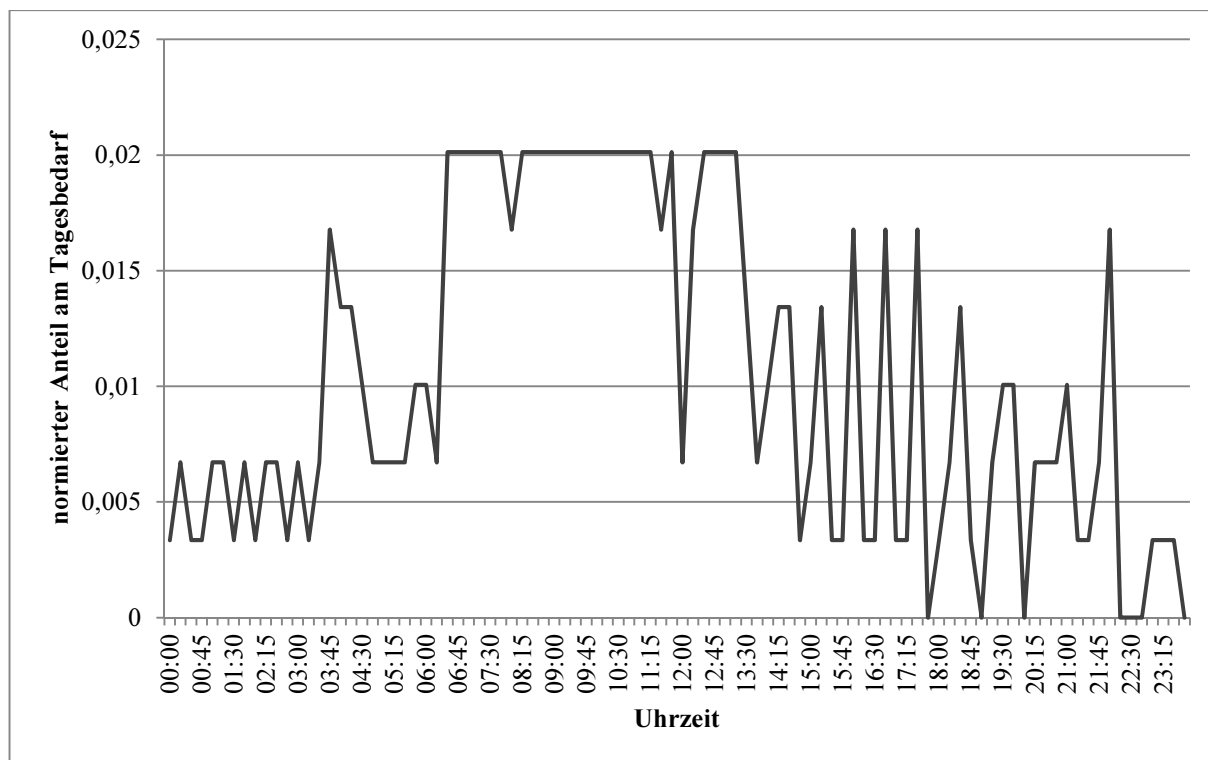


Abbildung A - 38: RLP Gas Typtagkategorie WW; weiterf. Schulen

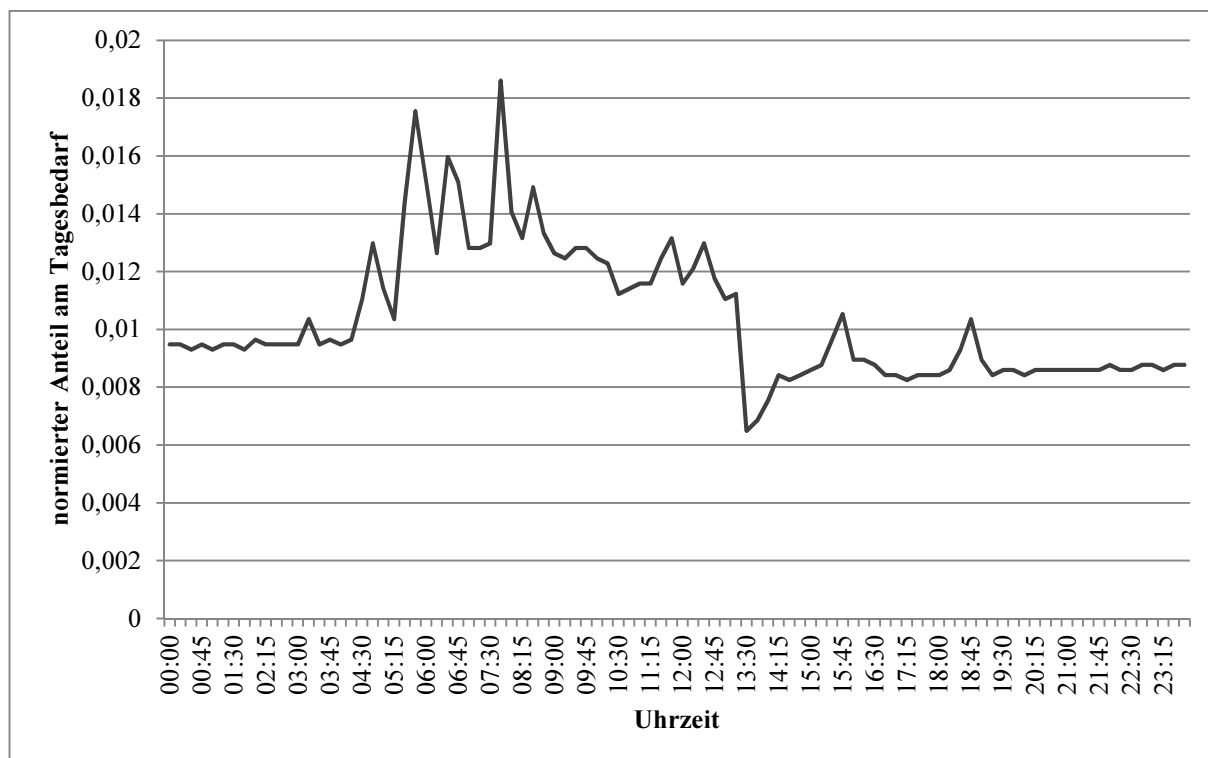


Abbildung A - 39: RLP Gas Typtagkategorie WF; weiterf. Schulen

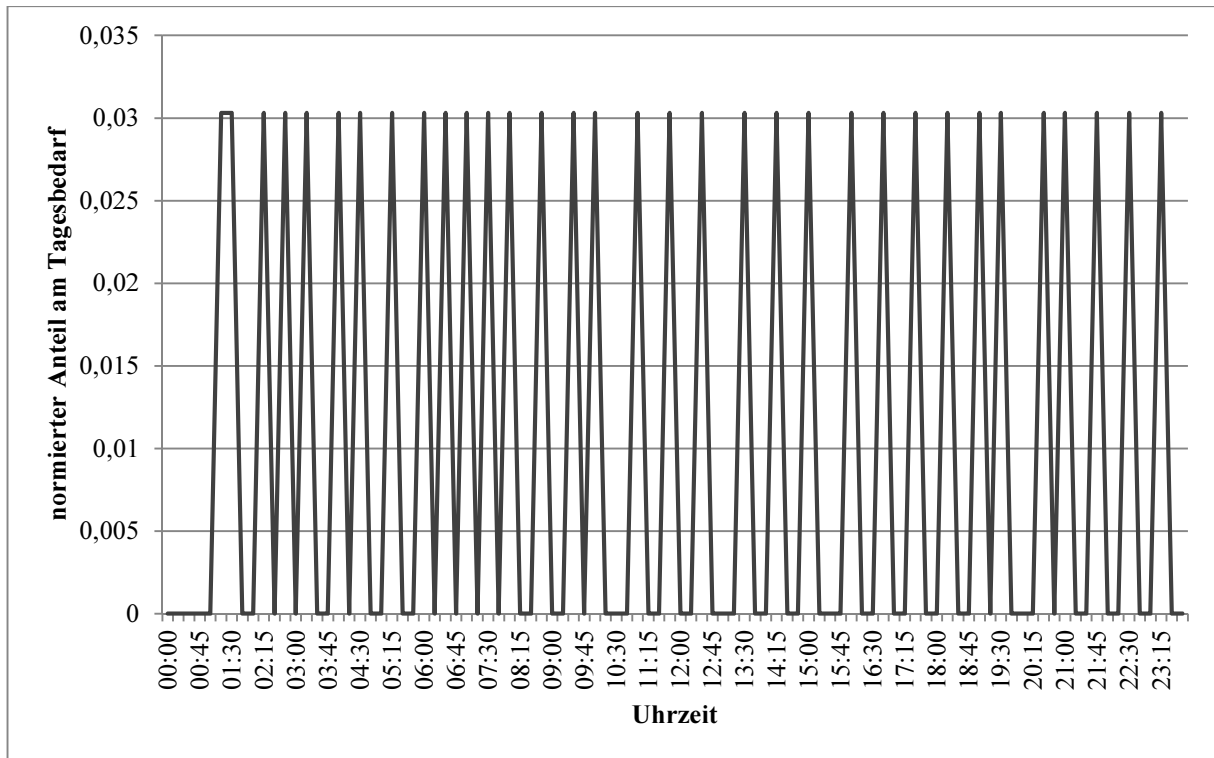


Abbildung A - 40: RLP Gas Typtagcategory ÜS; weiterf. Schulen

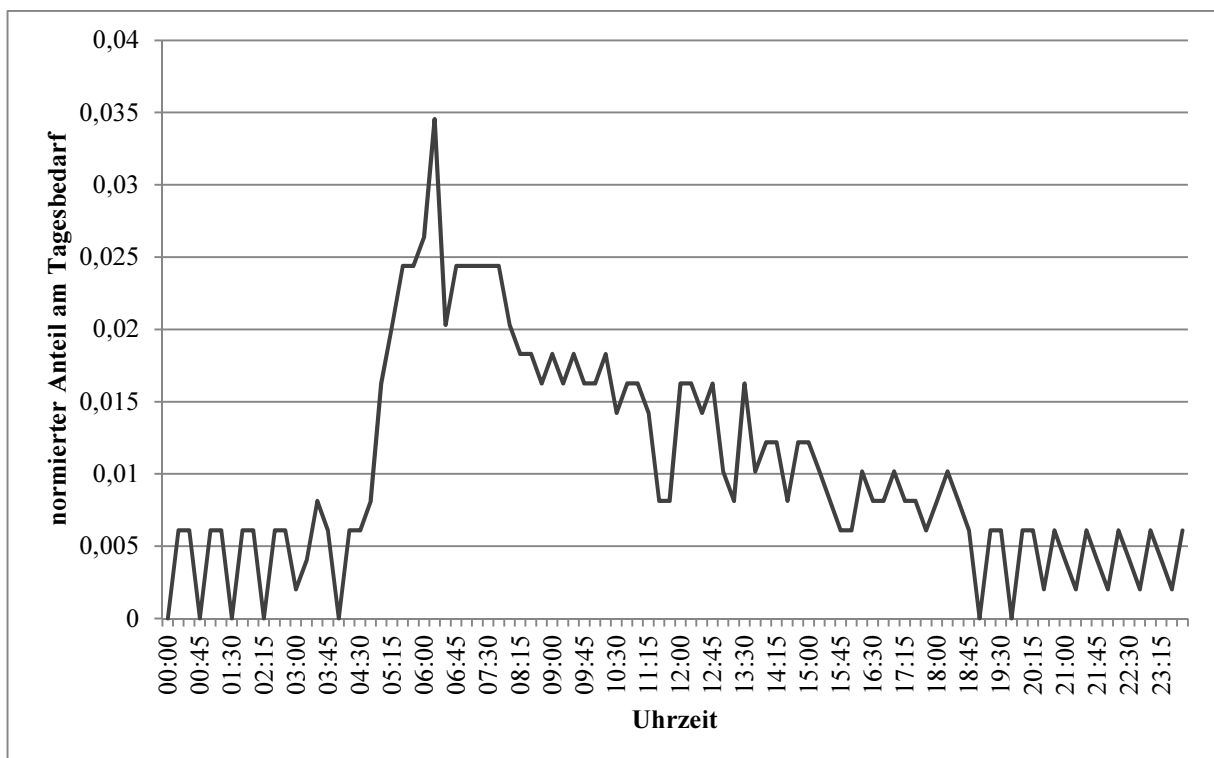


Abbildung A - 41: RLP Gas Typtagcategory ÜW; weiterf. Schulen

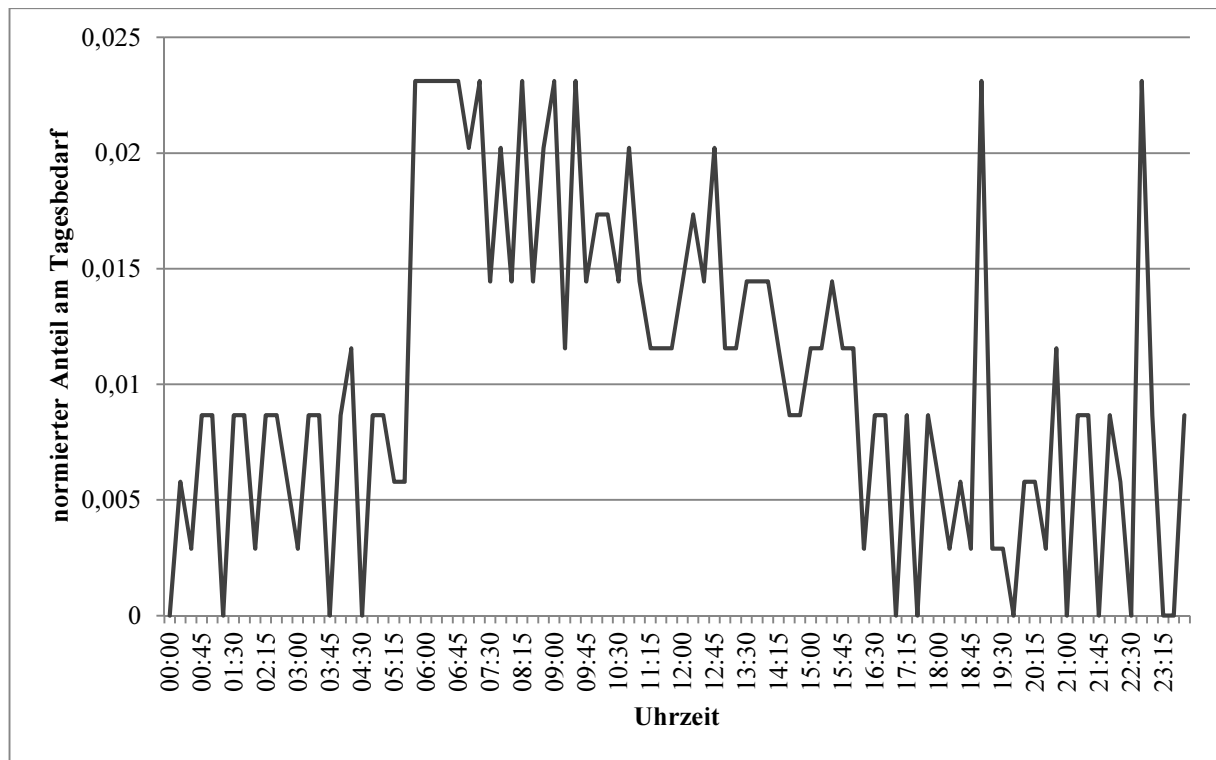


Abbildung A - 42: RLP Gas Typtagcategory ÜF; weiterf. Schulen

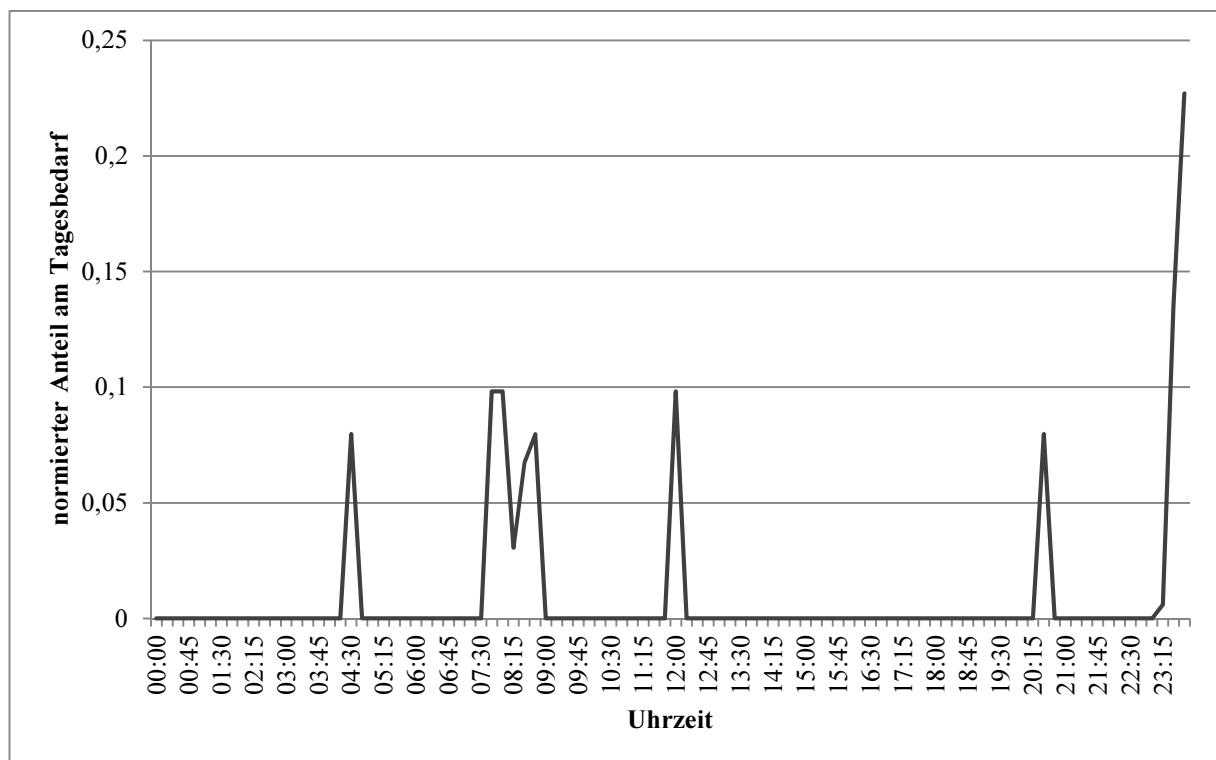


Abbildung A - 43: RLP Gas Typtagcategory SS; weiterf. Schulen

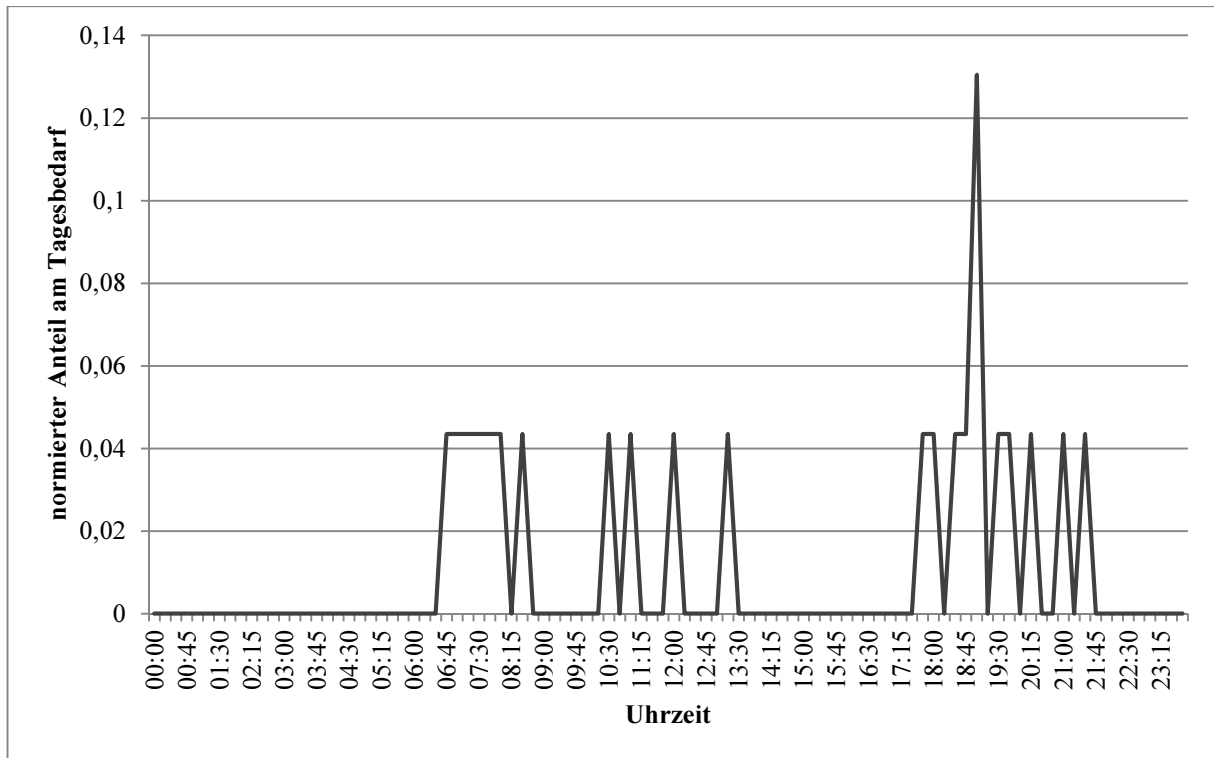


Abbildung A - 44: RLP Gas Typtagcategory SW; weiterf. Schulen

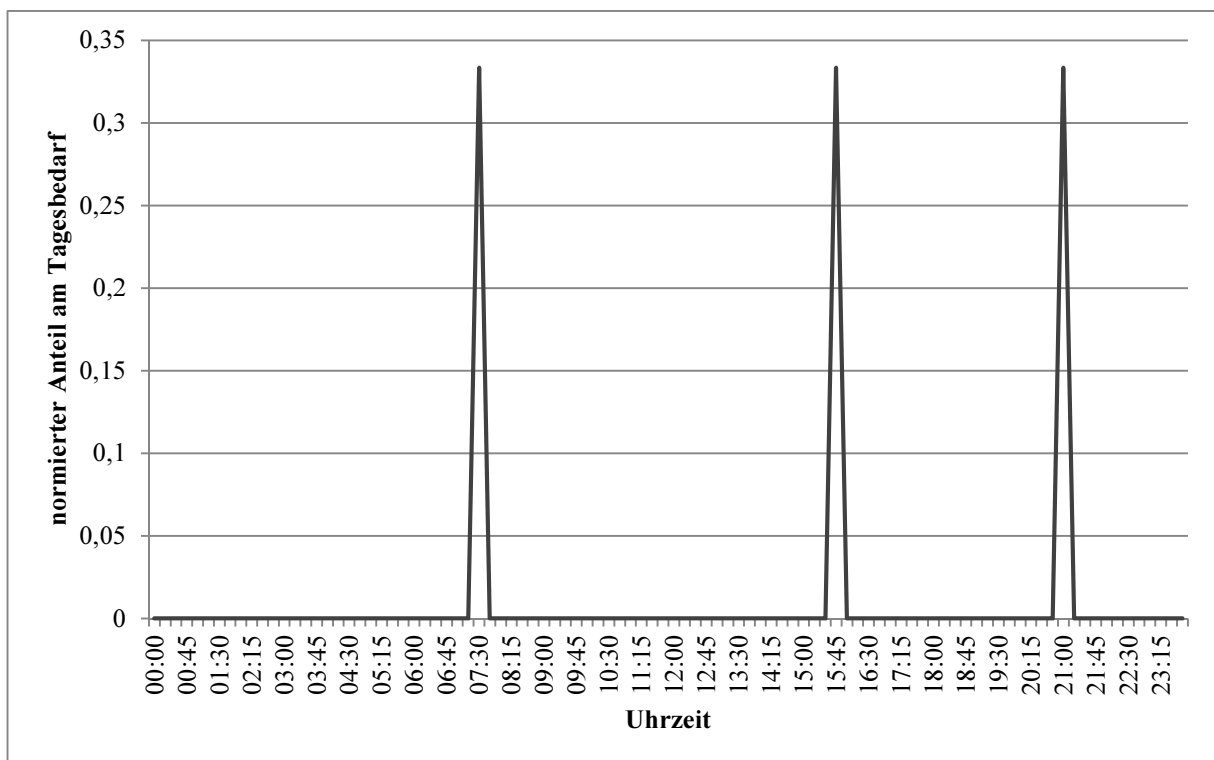


Abbildung A - 45: RLP Gas Typtagcategory SF; weiterf. Schulen

Referenzlastprofile Kitas

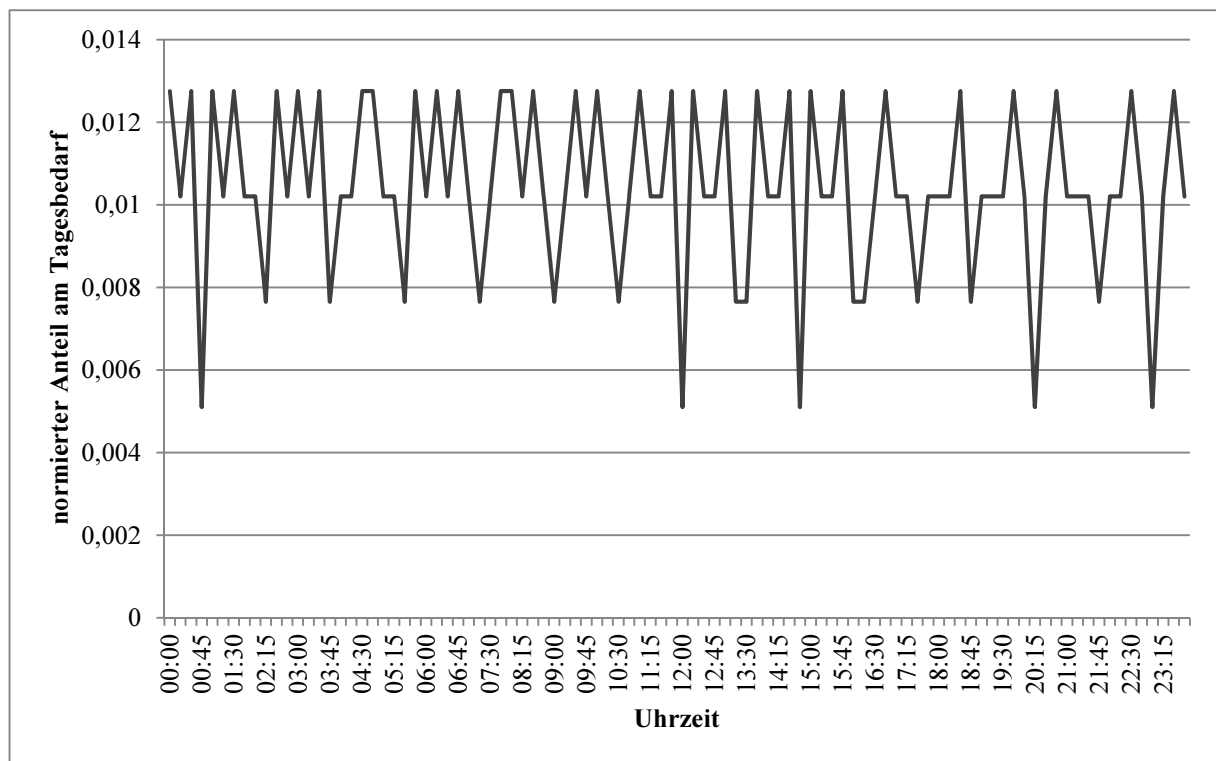


Abbildung A - 46: RLP Gas Typtagkategorie WS; Kitas

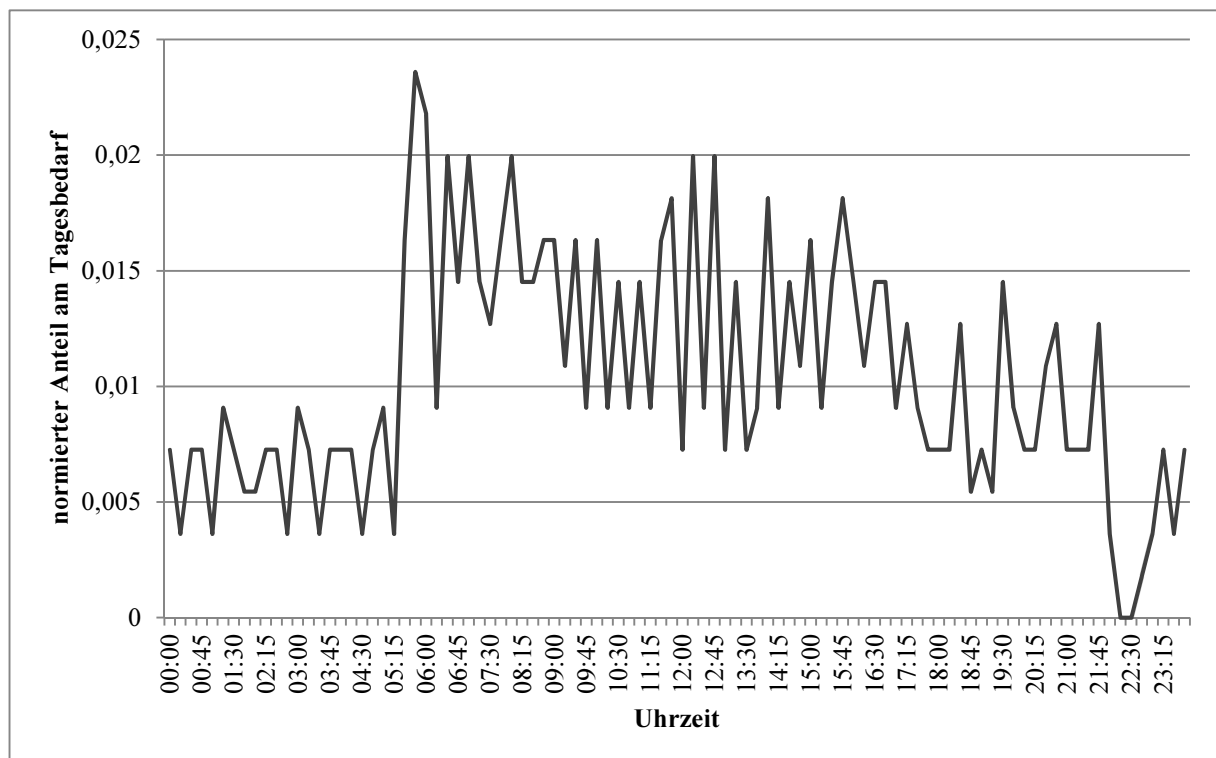


Abbildung A - 47: RLP Gas Typtagkategorie WW; Kitas

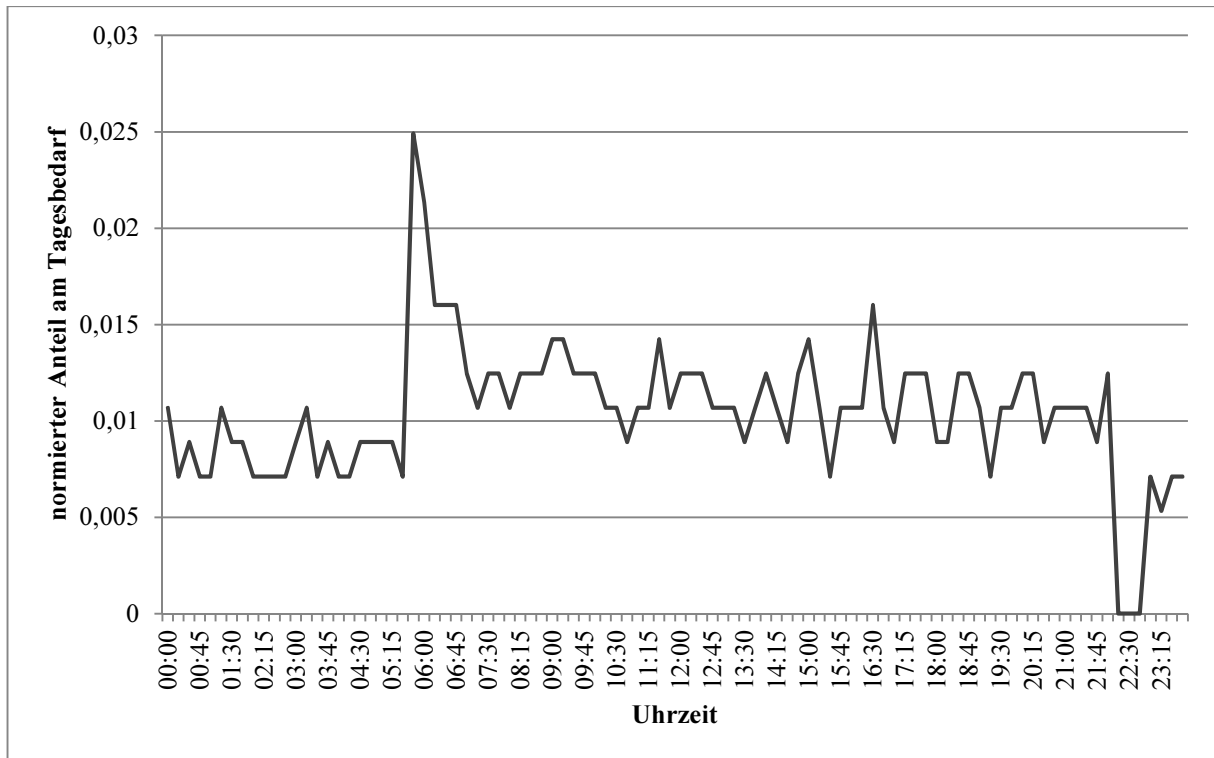


Abbildung A - 48: RLP Gas Typtagcategory WF; KITAS

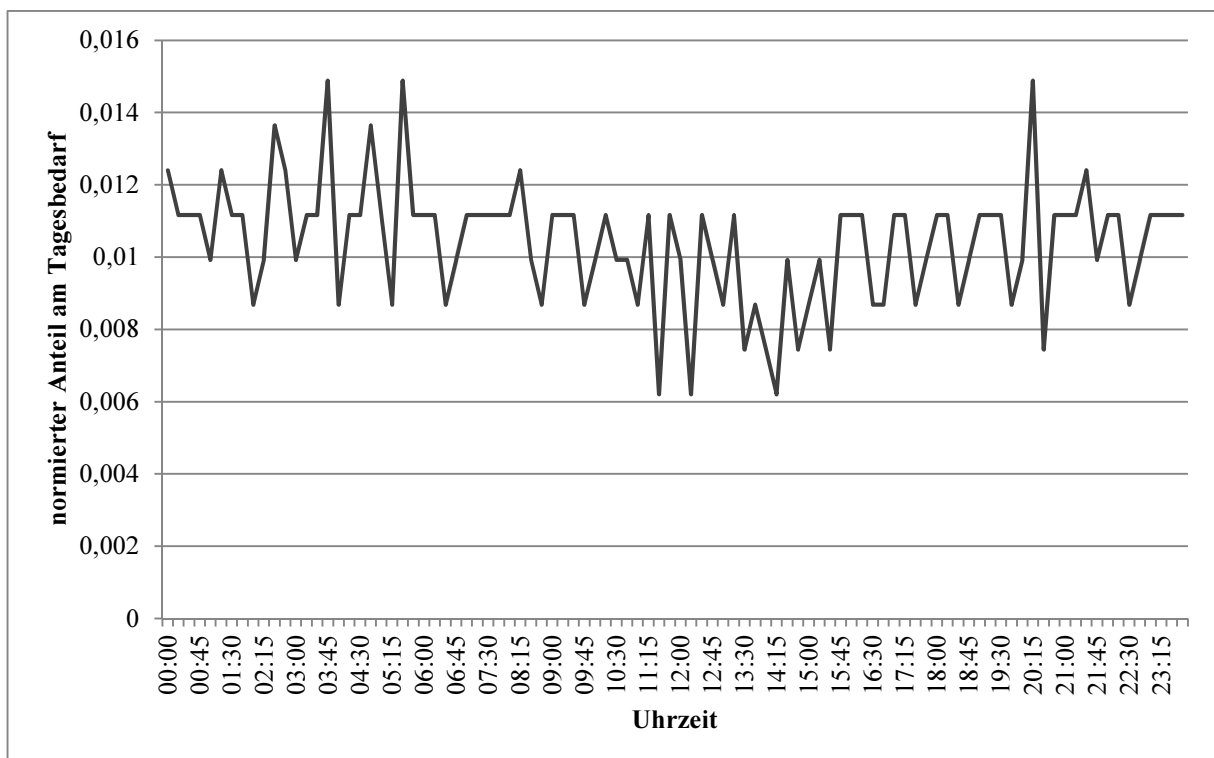


Abbildung A - 49: RLP Gas Typtagcategory ÜS; KITAS

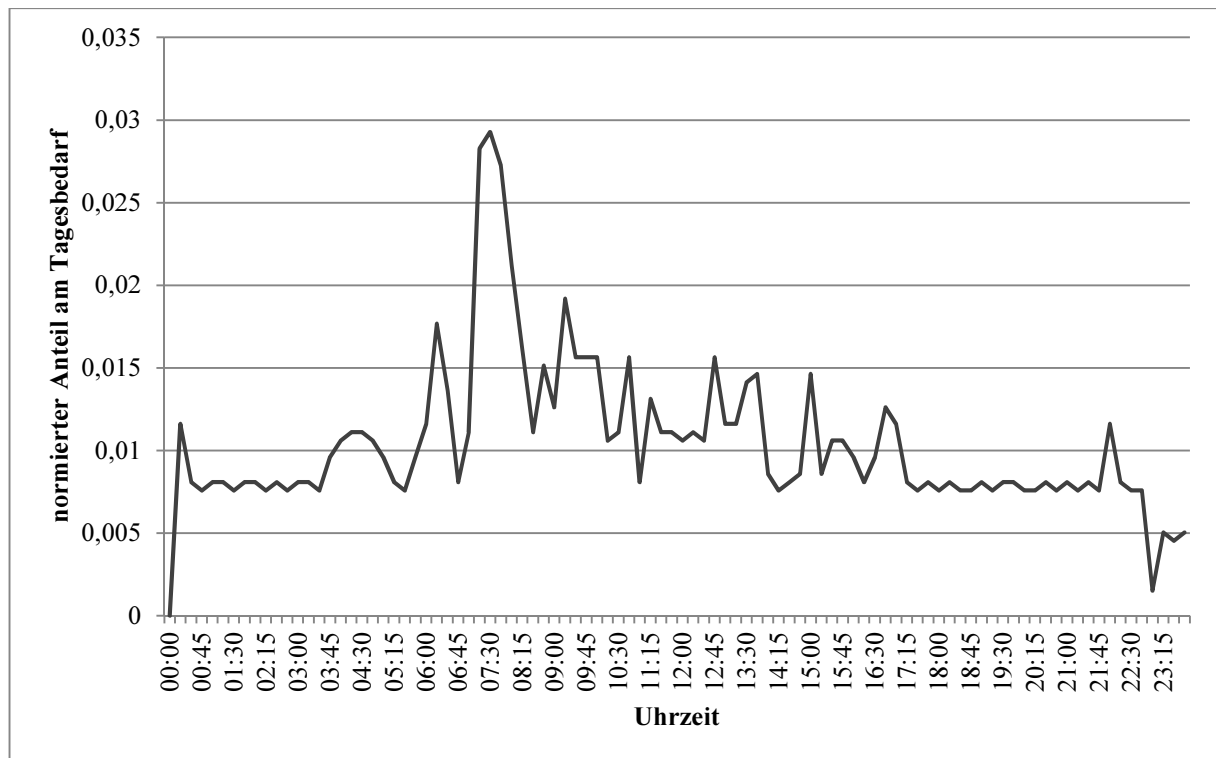


Abbildung A - 50: RLP Gas Typtagcategory ÜW; Kitas

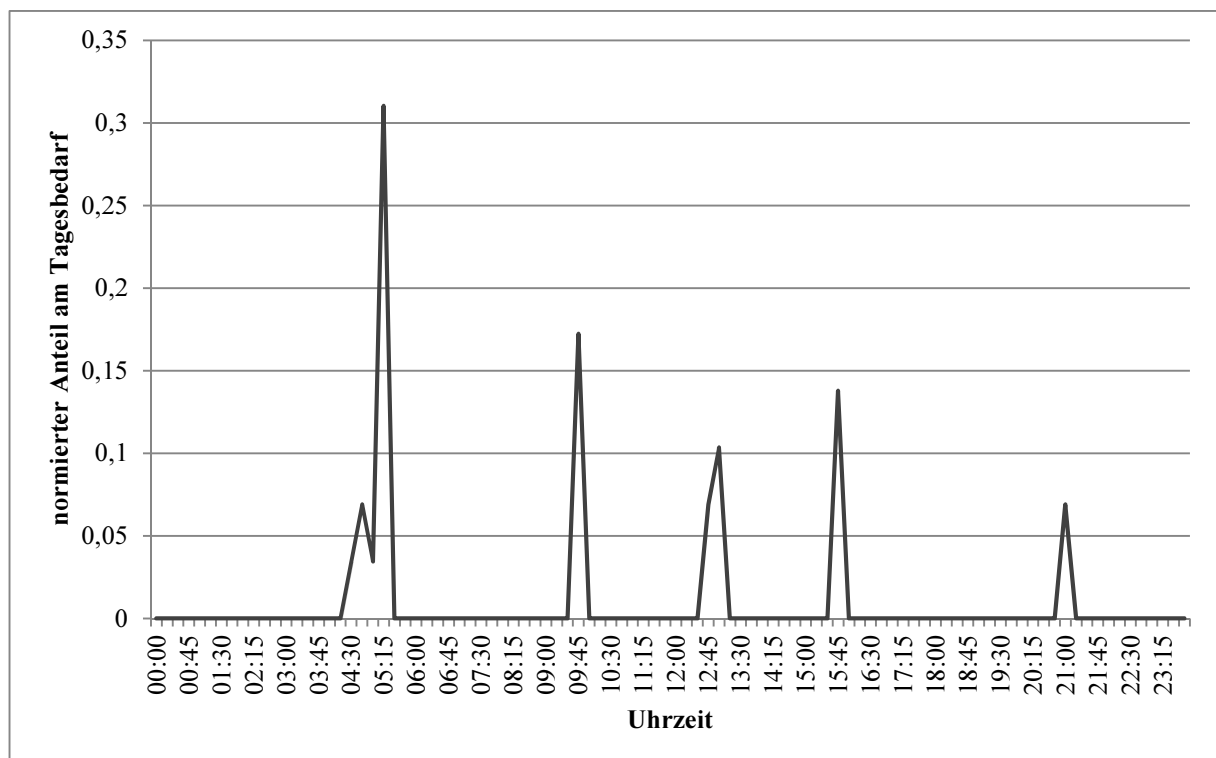


Abbildung A - 51: RLP Gas Typtagcategory ÜF; Kitas

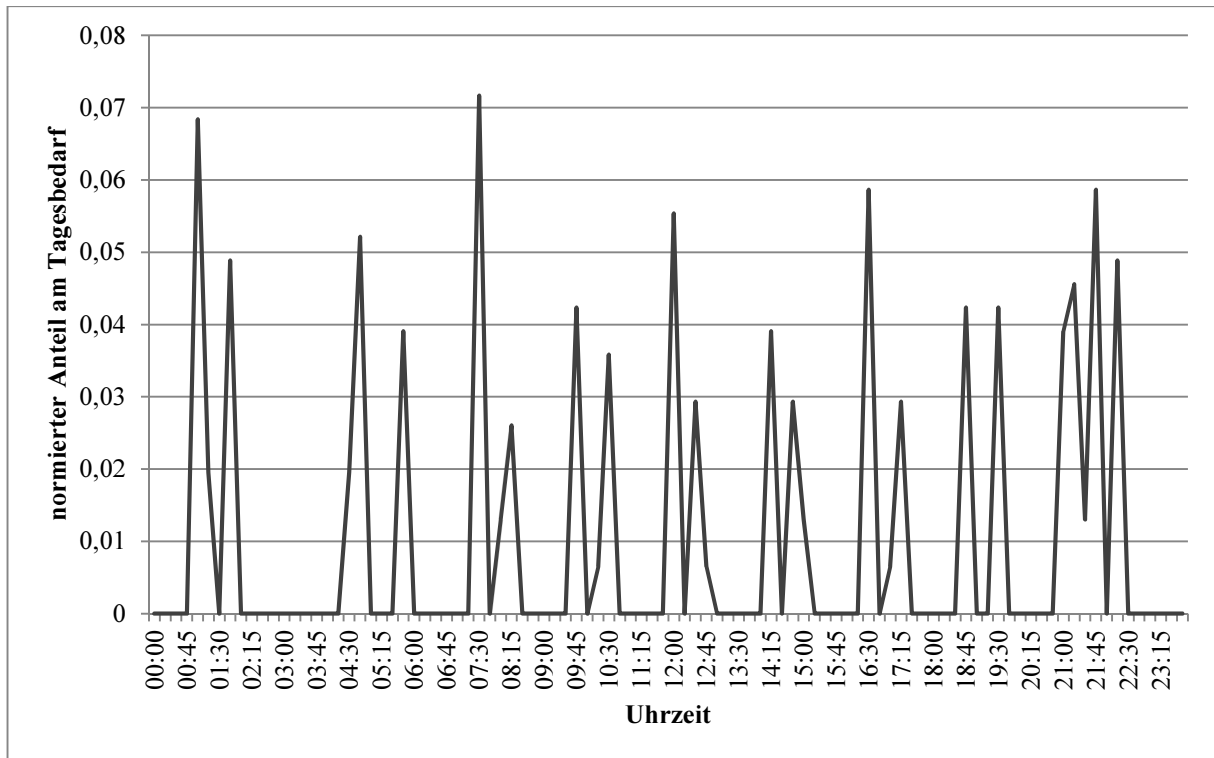


Abbildung A - 52: RLP Gas Typtagcategory SS; KITAS

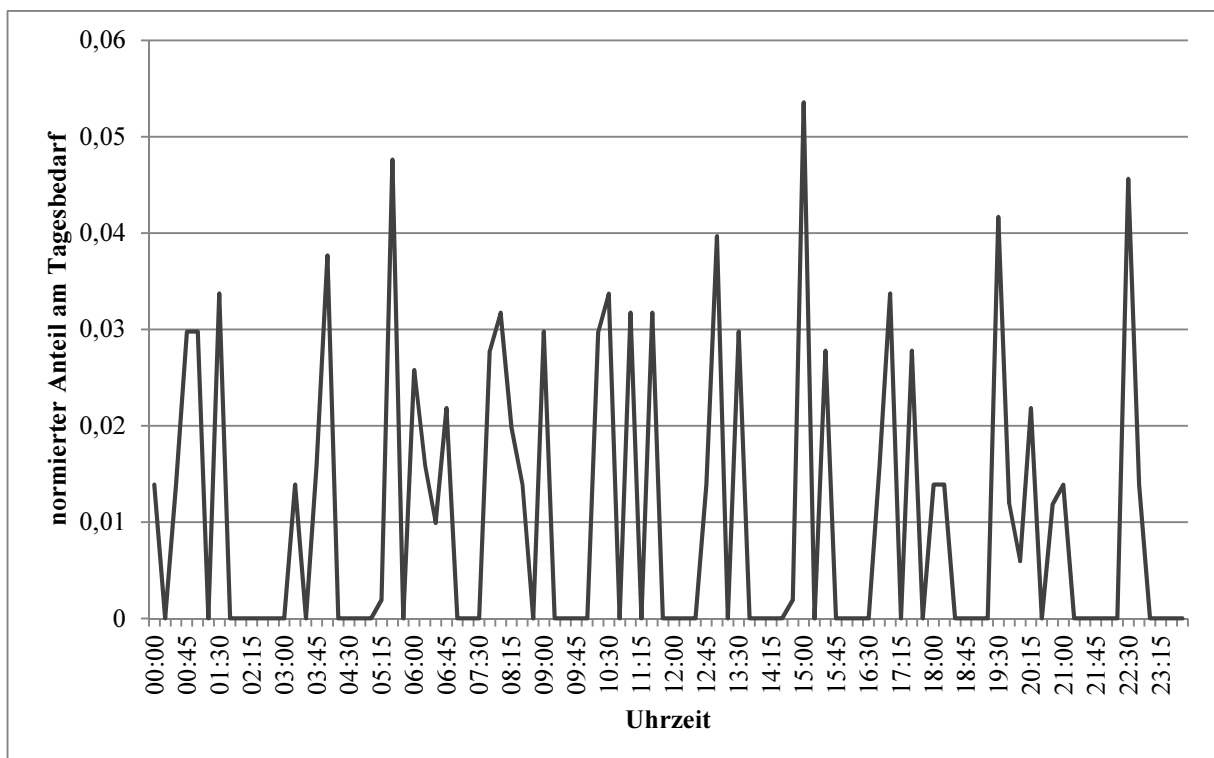


Abbildung A - 53: RLP Gas Typtagcategory SW; KITAS

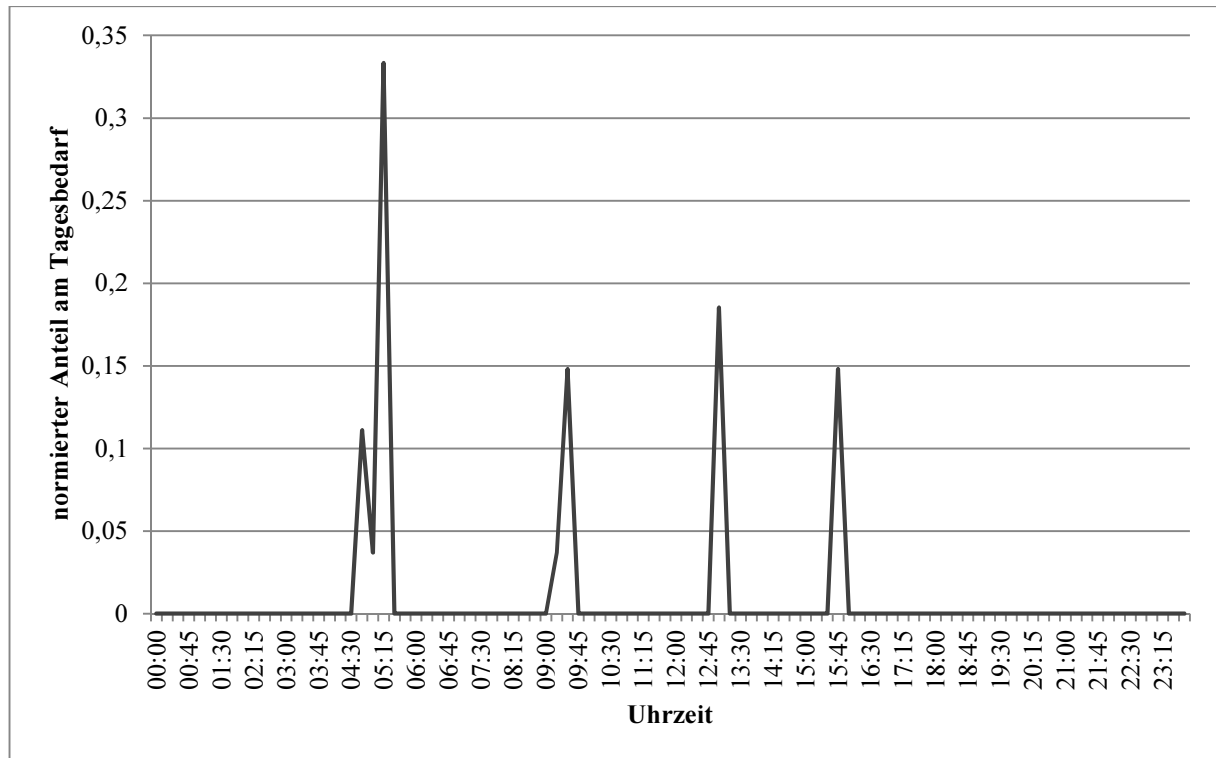


Abbildung A - 54: RLP Gas Typtagkategorie SF; Kitas

Anhang I – Gegenüberstellung der PV-Einspeisung mit dem Verbrauch eines Einfamilienhauses und einer Schule

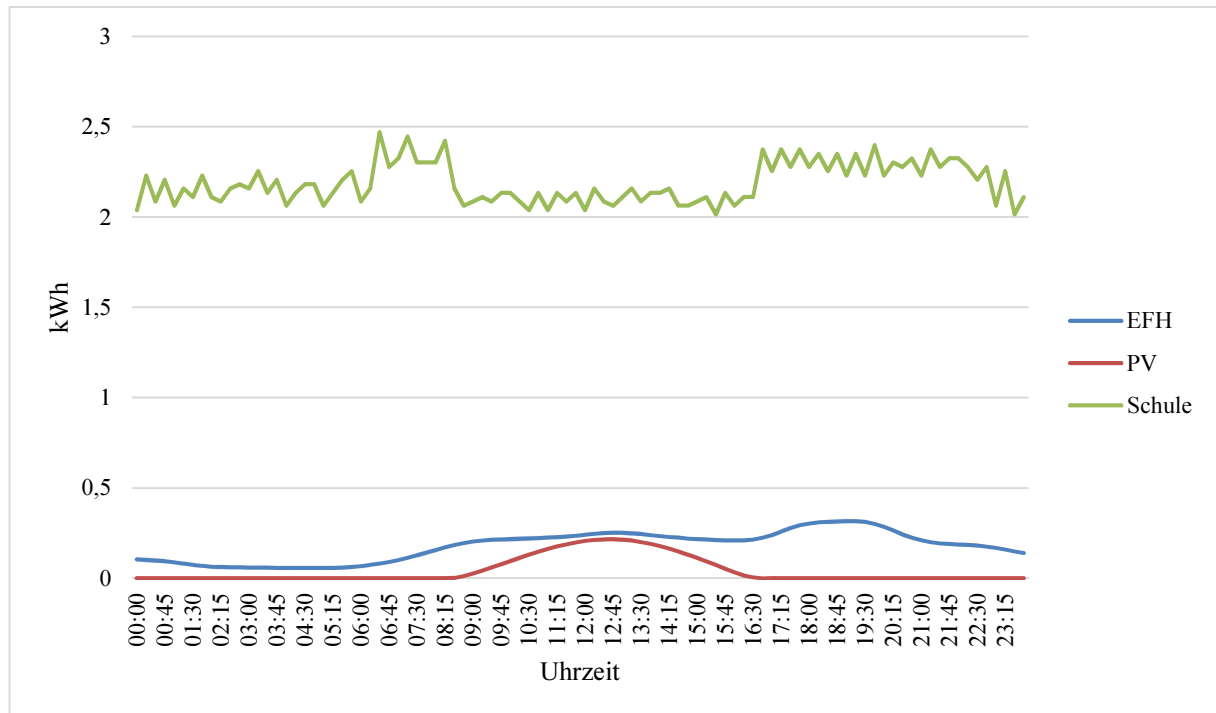


Abbildung A - 55: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WSa

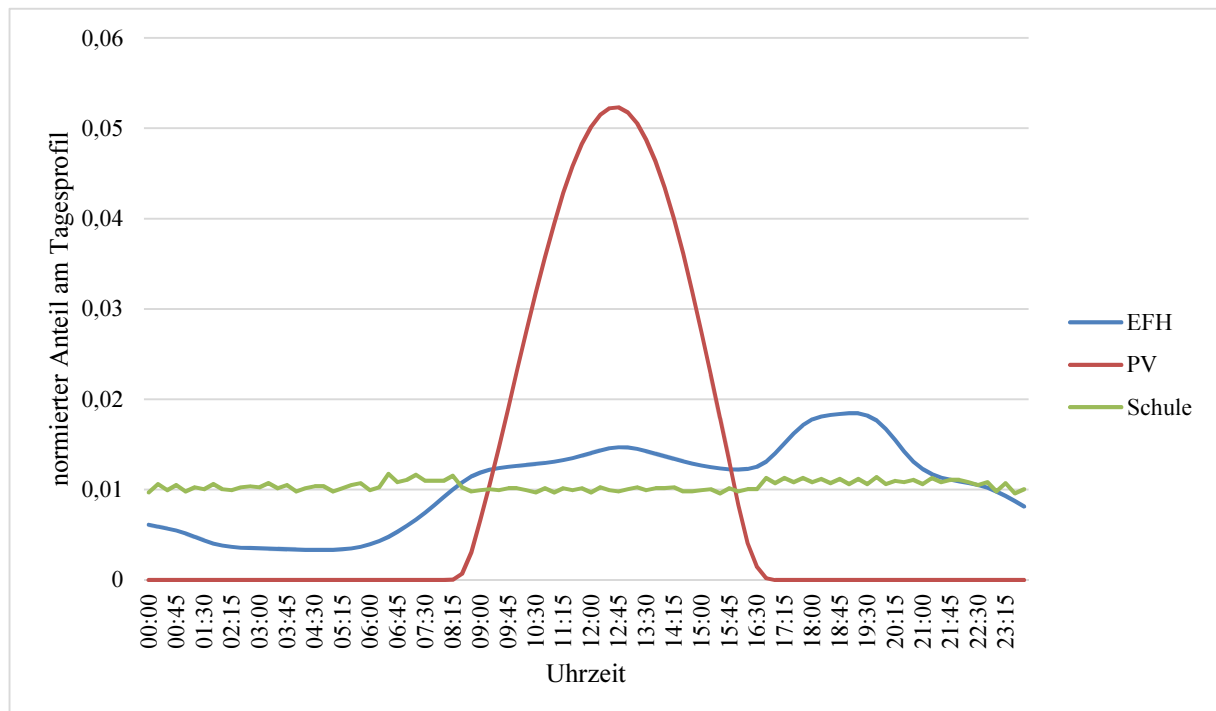


Abbildung A - 56: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WSa

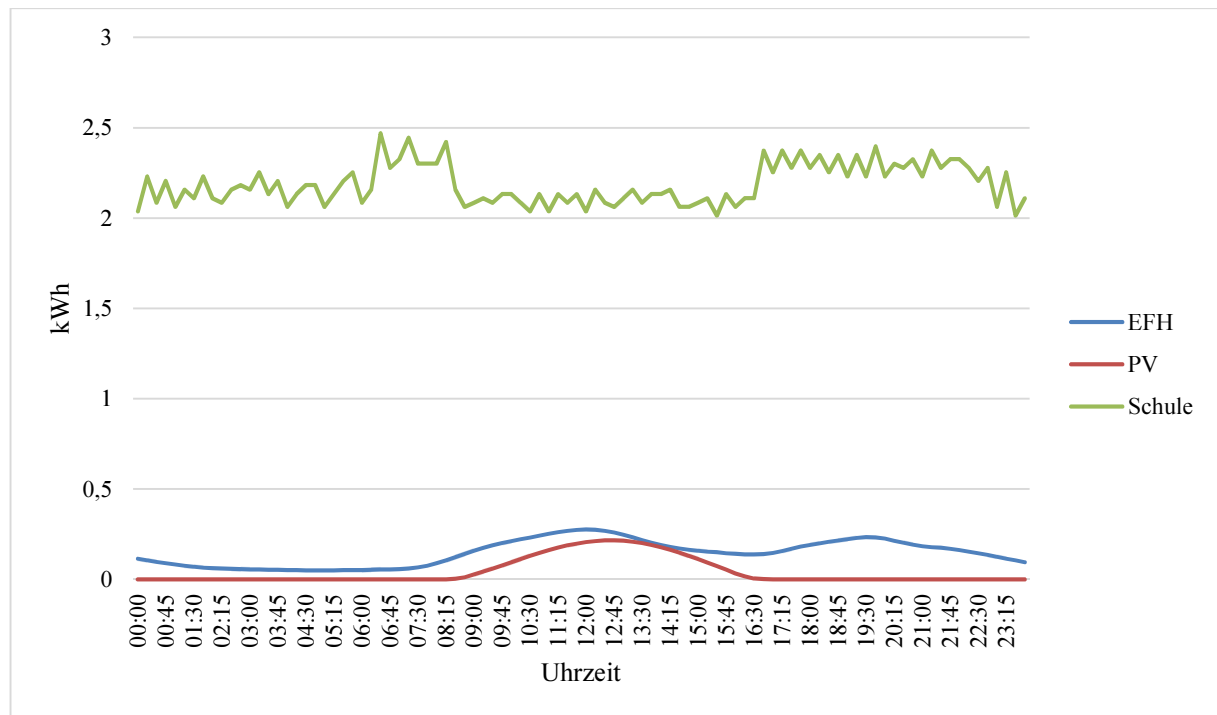


Abbildung A - 57: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WSo

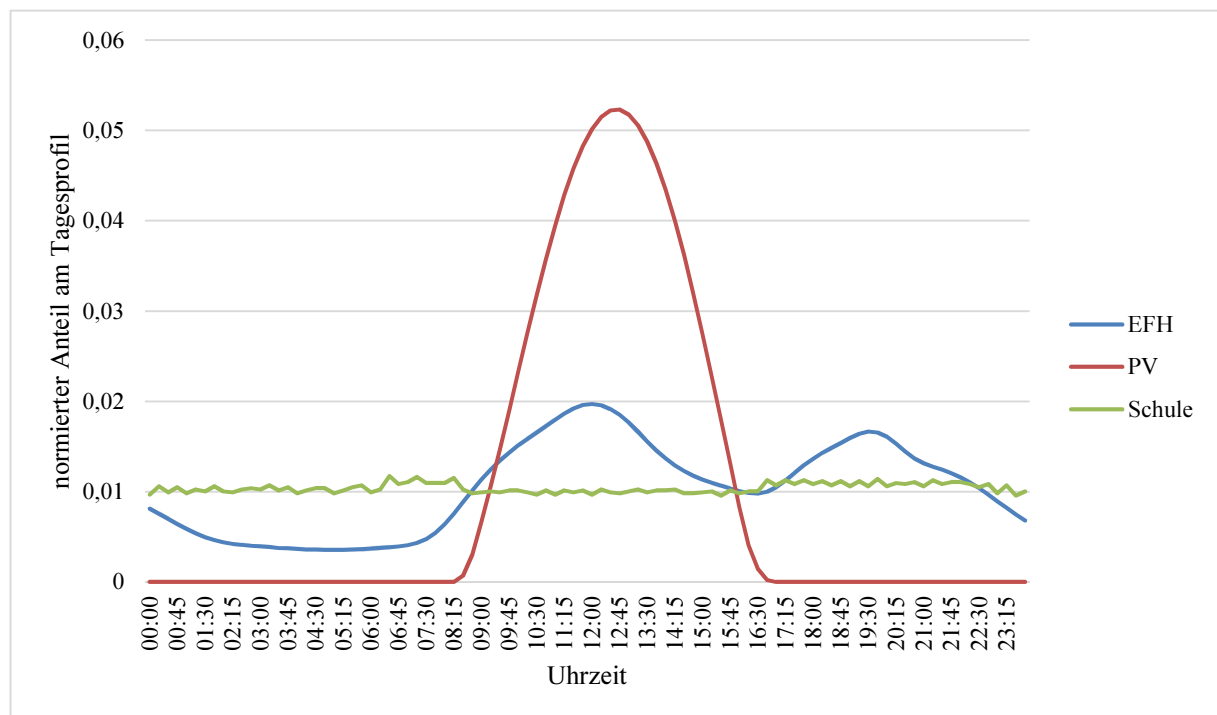


Abbildung A - 58: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WSo

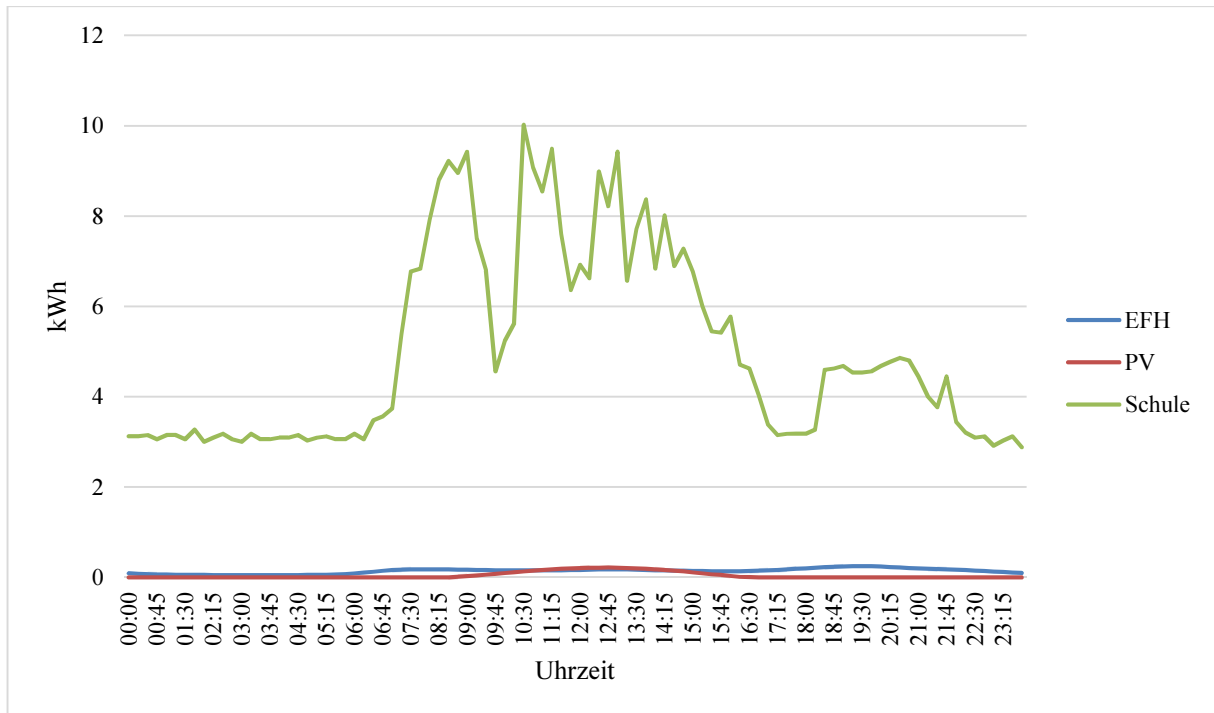


Abbildung A - 59: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WW

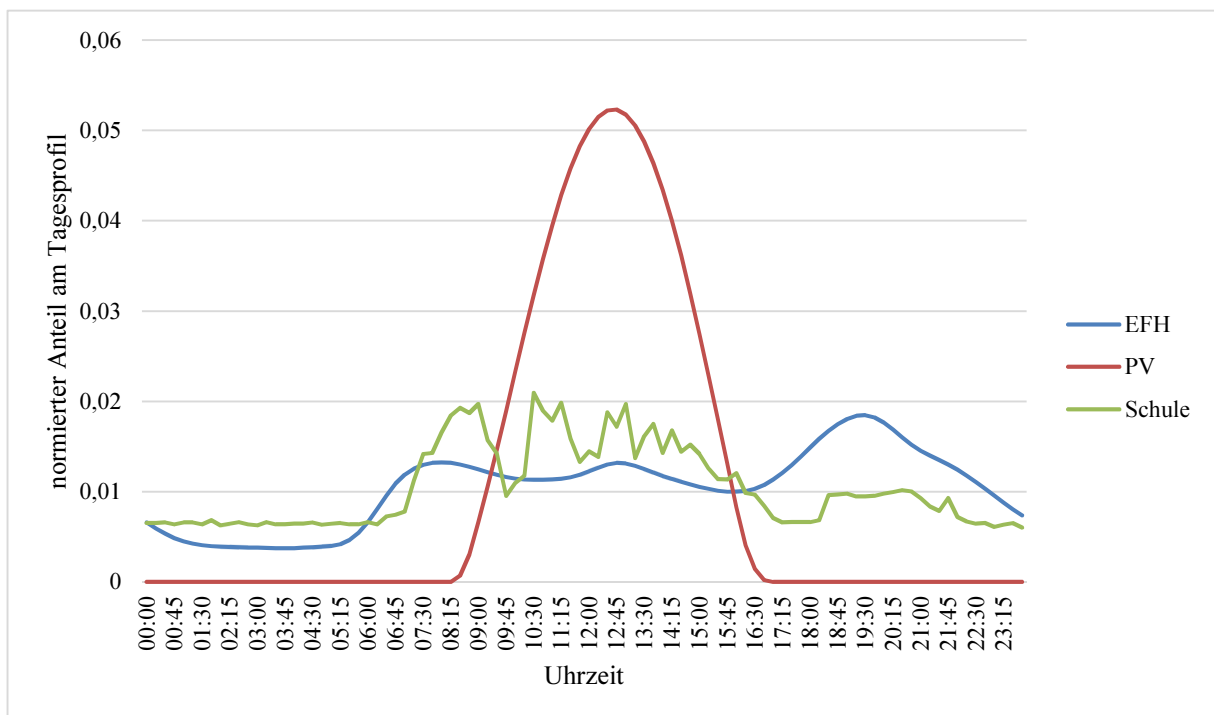


Abbildung A - 60: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie WW

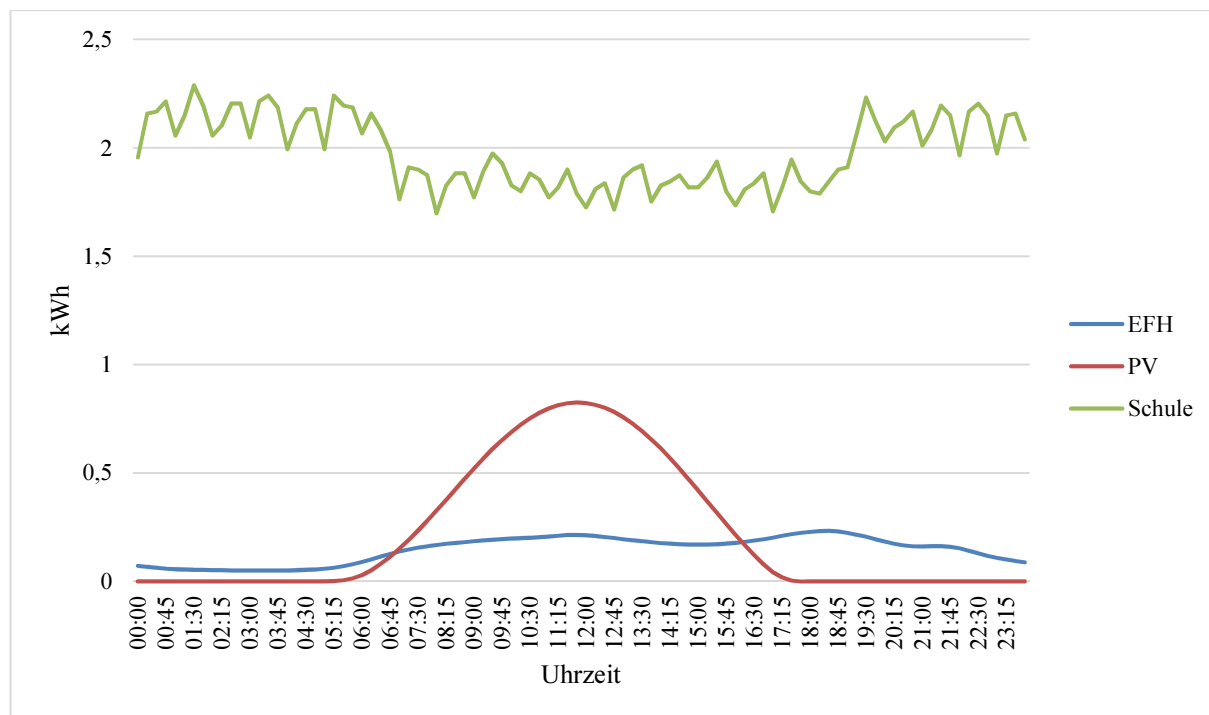


Abbildung A - 61: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜSa

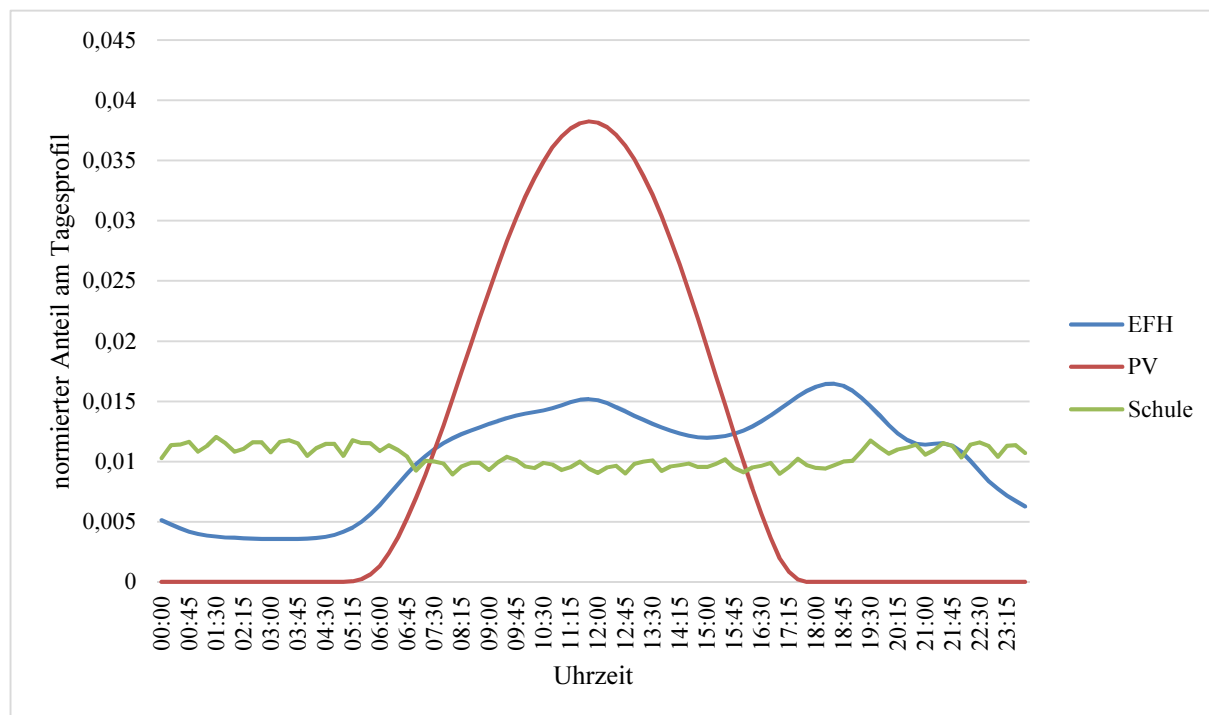


Abbildung A - 62: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜSa

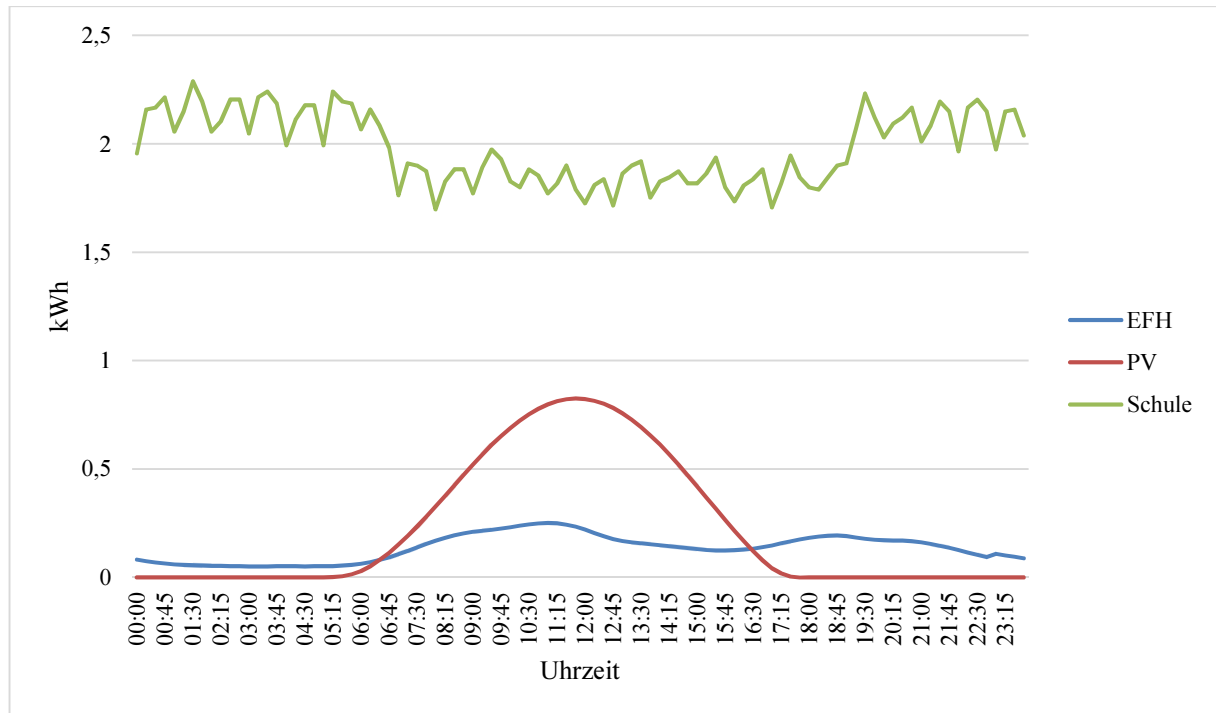


Abbildung A - 63: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜSo

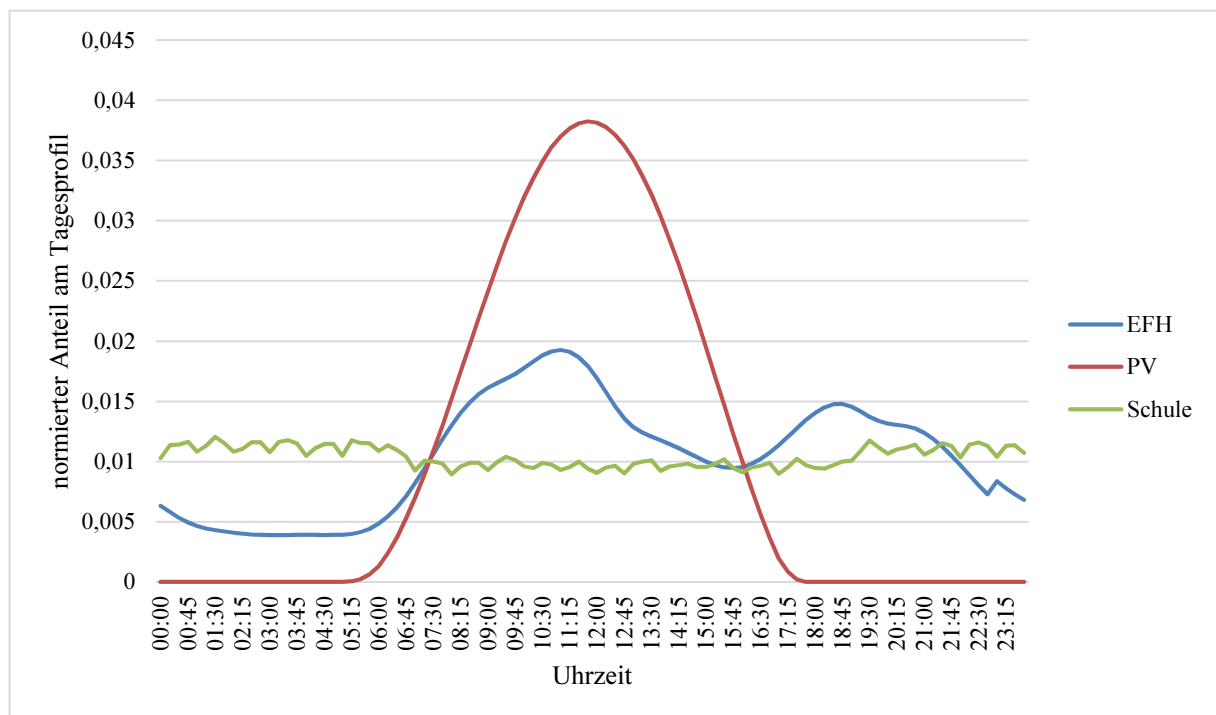


Abbildung A - 64: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜSo

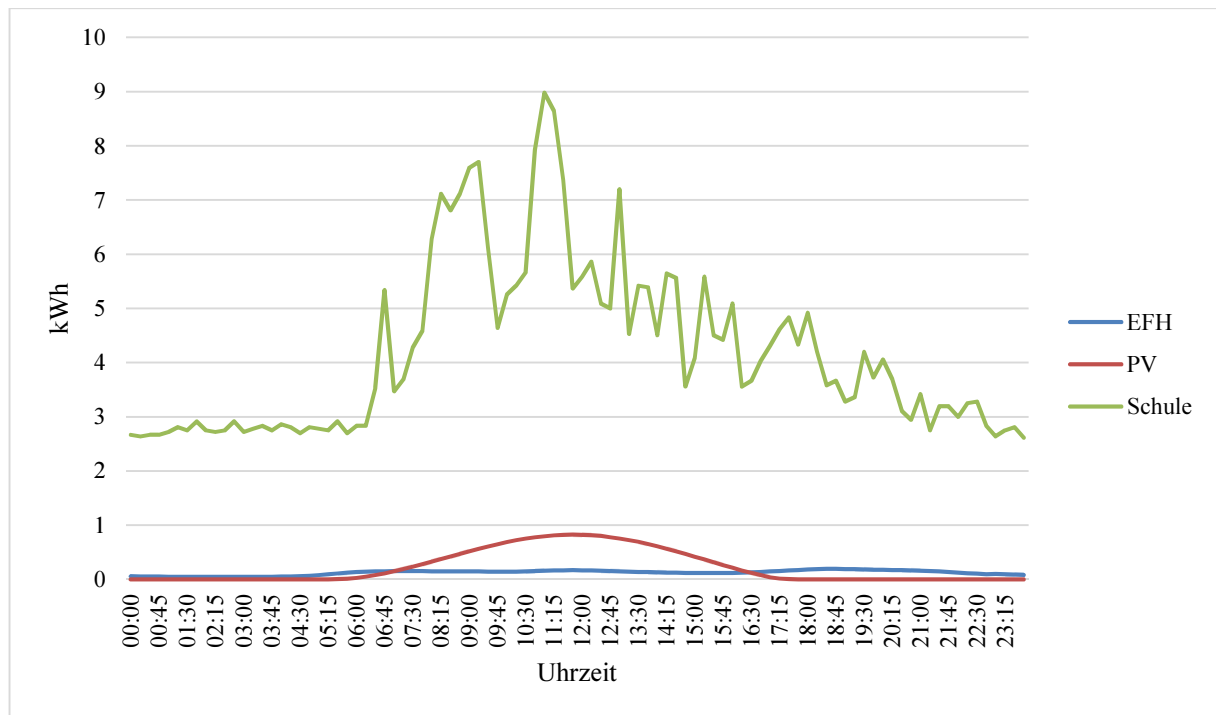


Abbildung A - 65: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜW

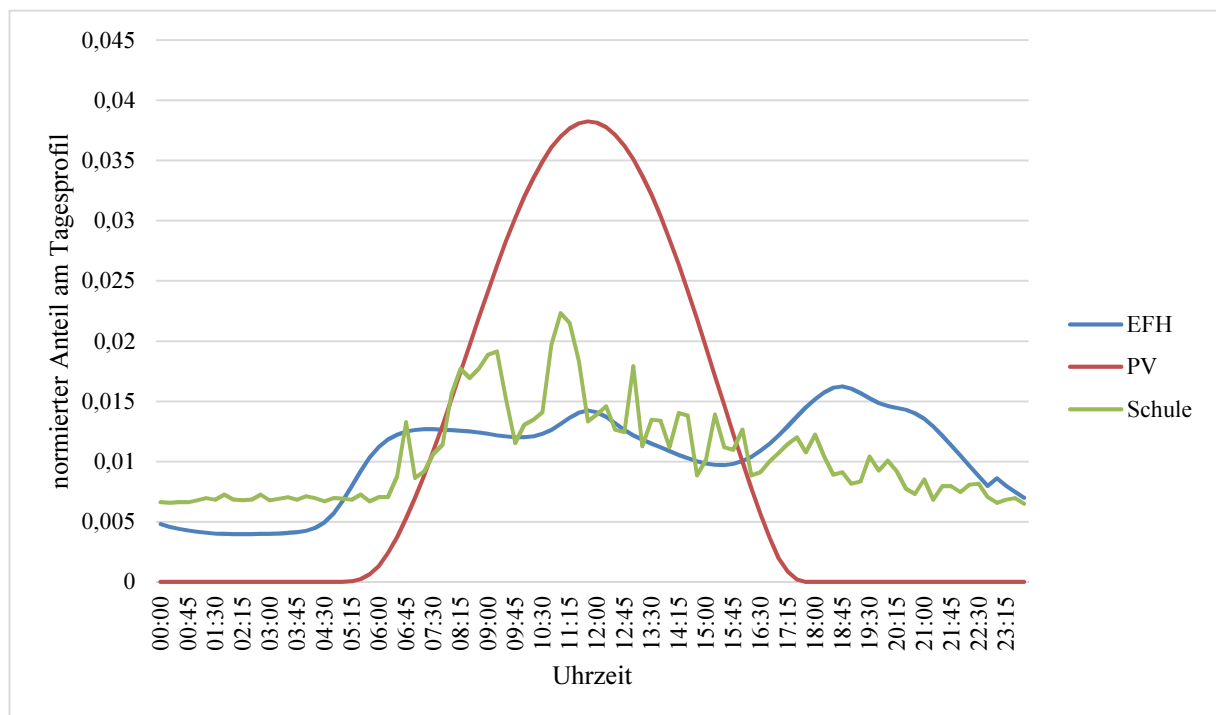


Abbildung A - 66: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie ÜW

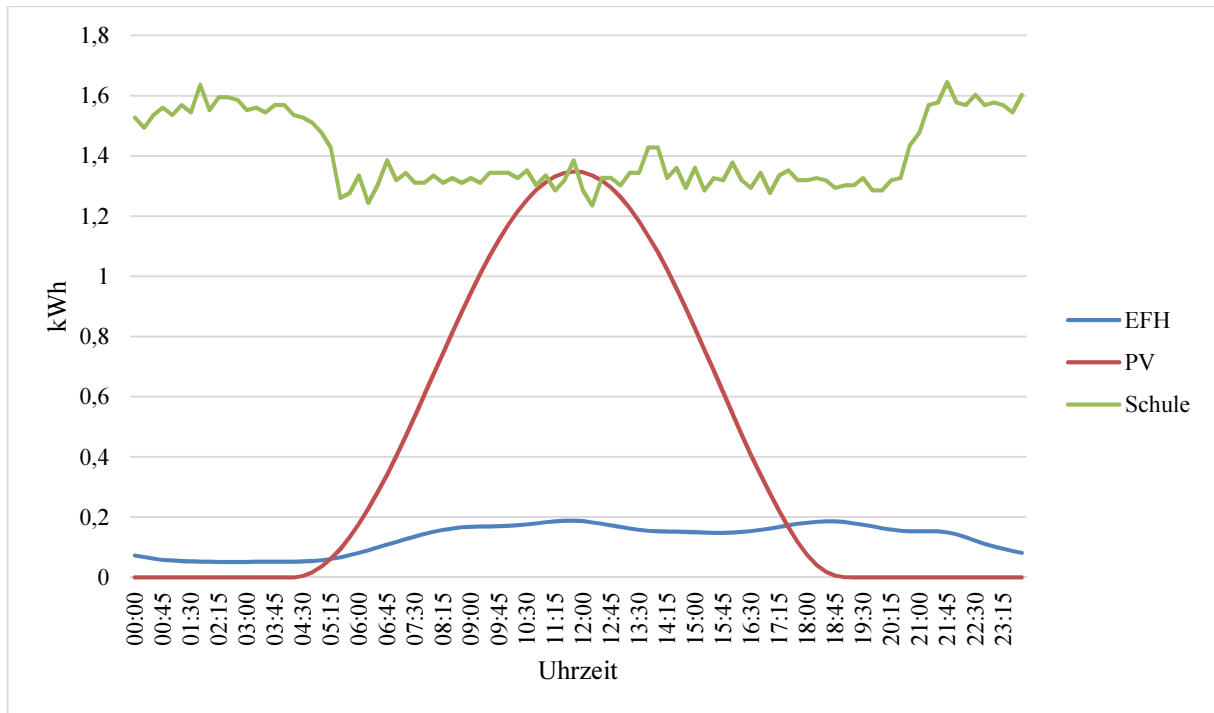


Abbildung A - 67: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SSa

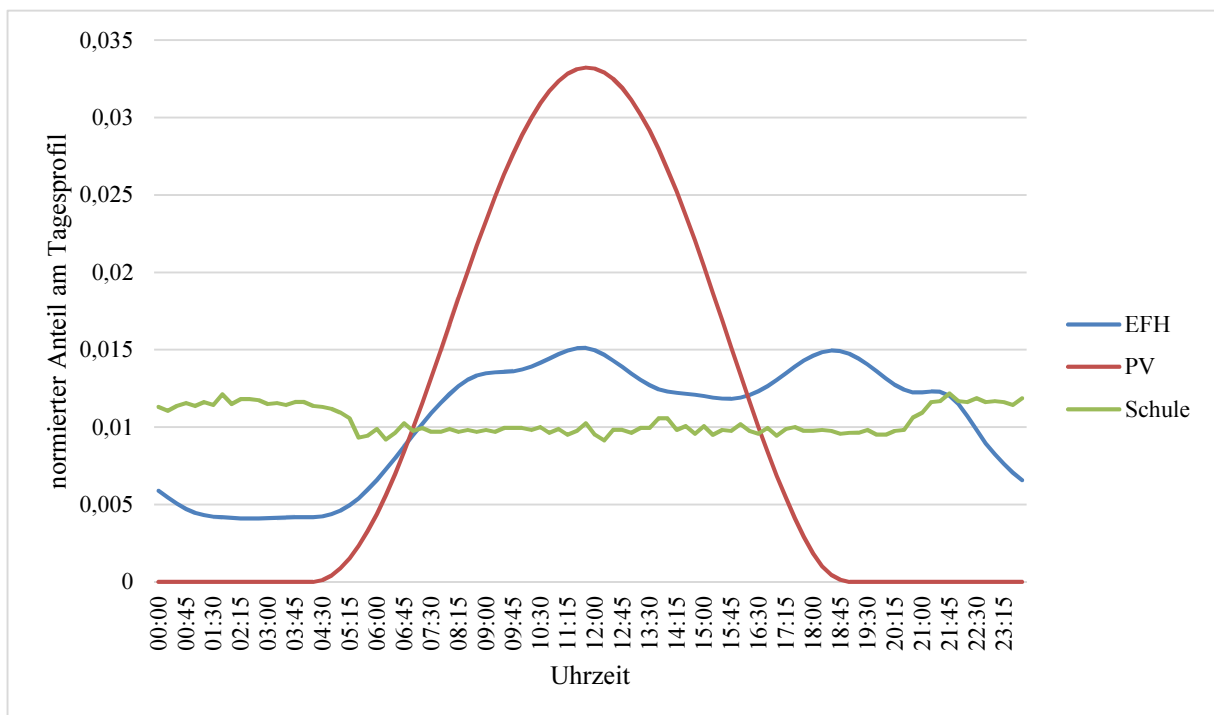


Abbildung A - 68: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SSa

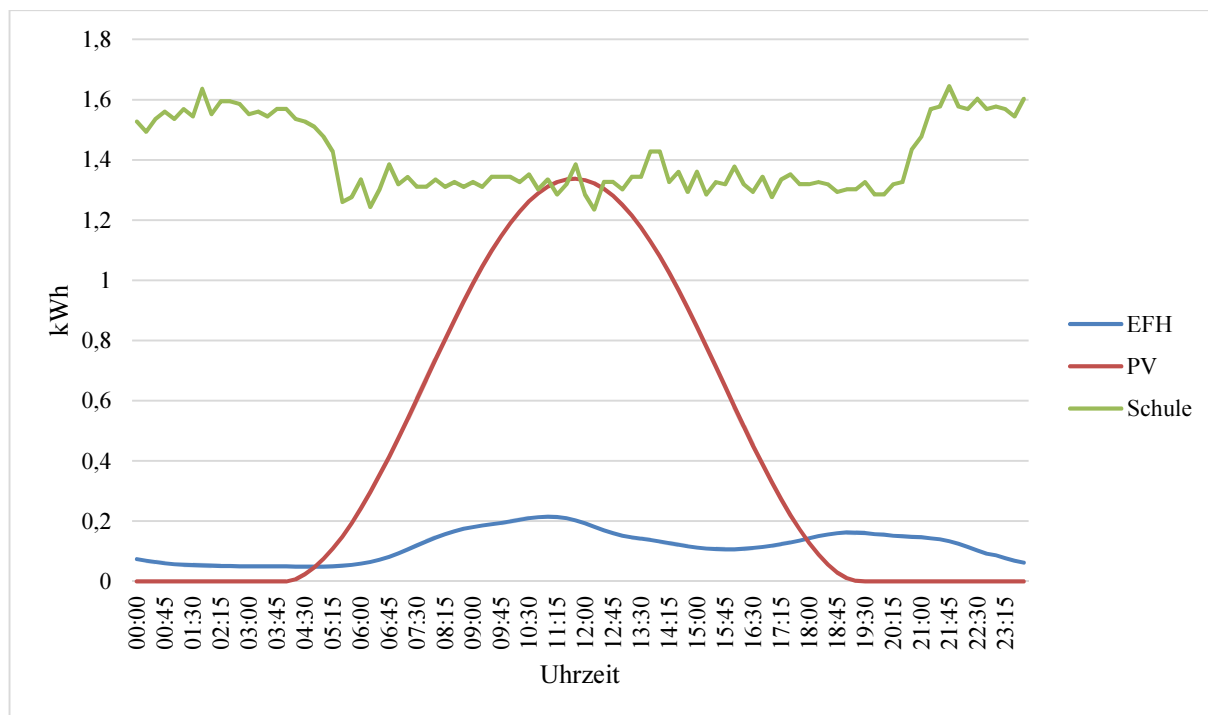


Abbildung A - 69: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SSo

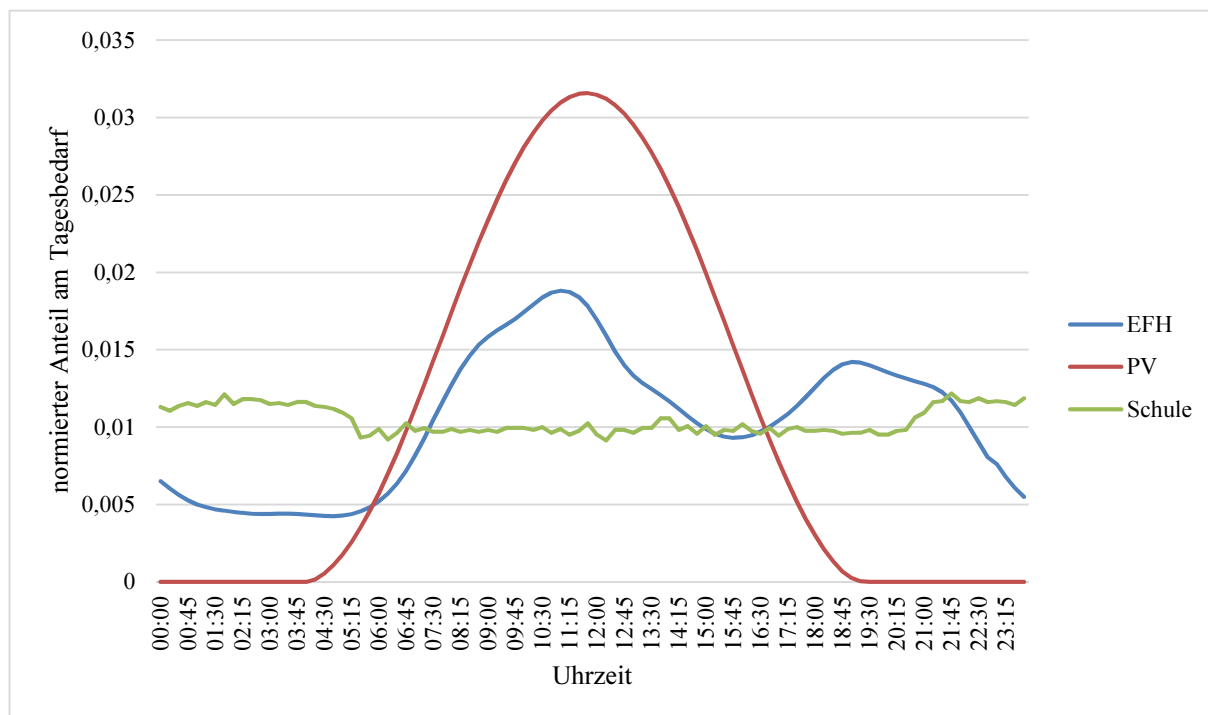


Abbildung A - 70: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SSo

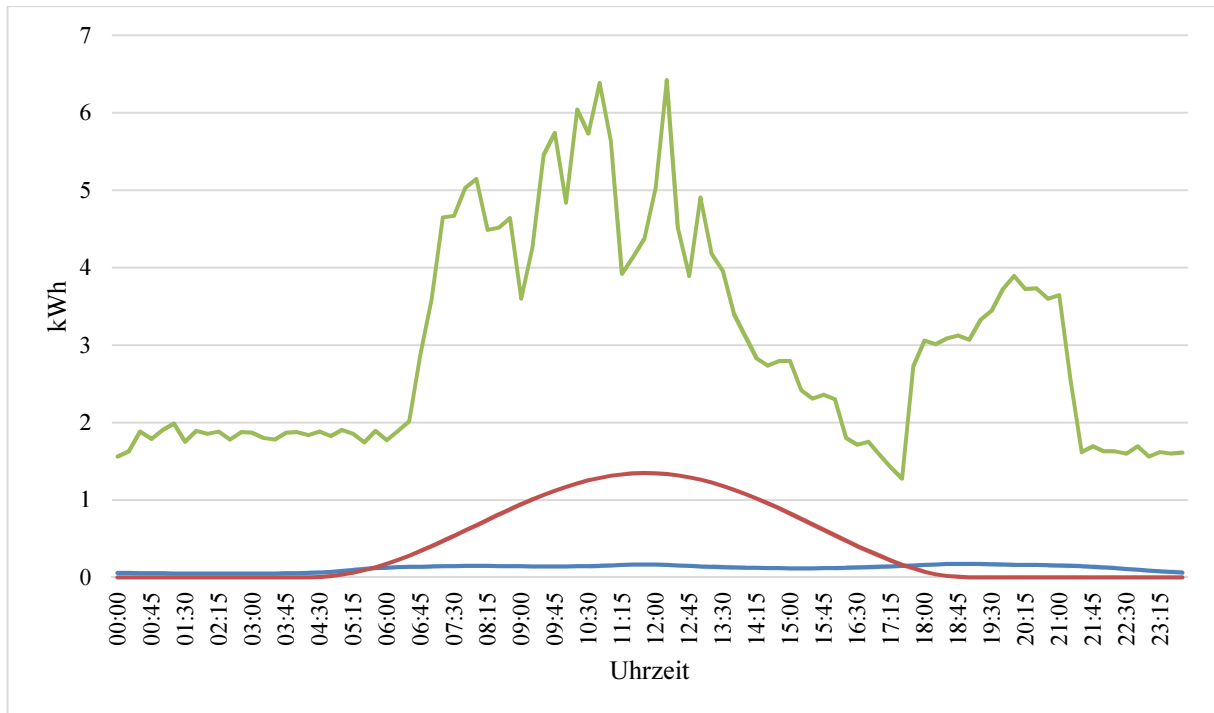


Abbildung A - 71: Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SW

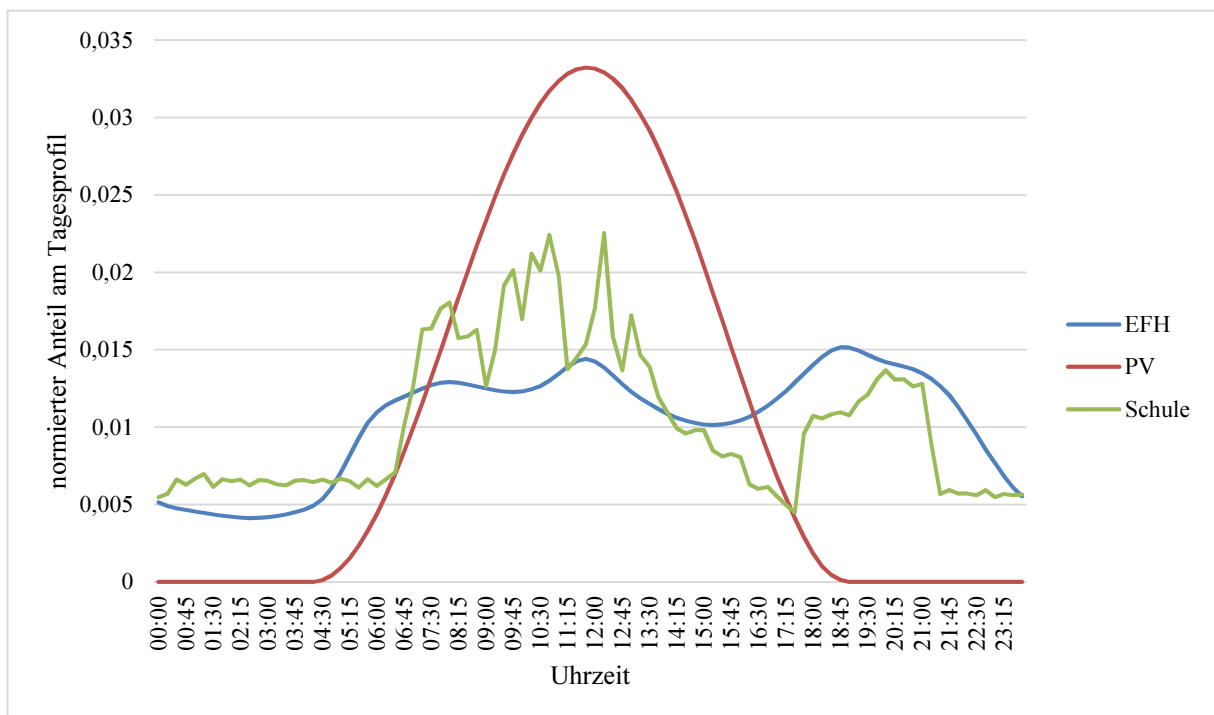


Abbildung A - 72: Normierter Tagesverlauf der Einspeisung und des Verbrauchs eines EFHs und einer Schule; Typtagkategorie SW

Erklärung zur Masterarbeit in Anlehnung an §19 Abs. 6 DPO/AT

Hiermit versichere ich, die vorliegende Masterarbeit ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den

(Unterschrift Student / Studentin)

Vereinbarung

zwischen dem

Fachgebiet Massivbau
Technische Universität Darmstadt
(nachfolgend „IfM“ genannt)

und

Frau Lena Kumpf
Matr.-Nr. 1746978

Frau Lena Kumpf wird von Frau Weißmann, Mitarbeiterin des IfM der TU Darmstadt, bei der Bearbeitung einer Masterarbeit mit dem Titel

Entwicklung von Referenzlastprofilen für Schulen und Kitas anhand von Realdaten

fachlich unterstützt.

Frau Lena Kumpf ist damit einverstanden, dass die Masterarbeit und deren Ergebnisse für den internen Gebrauch im IfM verwendet werden können. Dazu zählt u.a. die auszugsweise oder vollständige Veröffentlichung der Arbeit in nationalen oder internationalen Fachmedien. Hierzu wird Frau Lena Kumpf die Masterarbeit nach Fertigstellung nicht nur in einer gedruckten, sondern auch in digitaler, verwendbarer Form zur Verfügung stellen.

Des Weiteren wird vereinbart, dass eine Veröffentlichung oder Weitergabe der Masterarbeit durch Frau Lena Kumpf an Dritte nur unter vorheriger Erlaubnis des IfM gestattet ist.

Darmstadt, den

(Unterschrift Student / Studentin)

