

Das Geheimnis des Lastgangs

Georg Benke

e7, Theresianumgasse 7, 1040 Wien, 0676-789 2157,
georg.benke@e-sieben.at; www.e-sieben.at

Kurzfassung: Seit Jahren werden standardmäßig durch den Strom-Netzbetreiber bei Kunden, die mehr als 100.000 kWh/a oder einen Leistungsbedarf größer 50 kW haben, das Lastprofil im Abstand von 15 Minuten erfasst (Sondervertragskunden). Diese Zeitreihen zeigen sehr gut auf, wie die Strom-Nachfragestruktur eines Objektes ist. Mit Hilfe einer standardisierten Analyse auf Basis von MS Excel ist es möglich, unter wirtschaftlichen Bedingungen die Auswertung des Lastverlaufes durchzuführen, und ein Energieeinsparpotenzial von rund 10% anzusprechen/zu erreichen. In den meisten Fällen ist es dabei nicht notwendig, eine Objektbegehung durchzuführen.

Durch die bisher rund 300 Analysen ist ein umfangreiches Wissen über die Nachfragestruktur von Strom vorhanden.

Keywords: Lastgang, Energieanalyse, Benchmarks, Standardisierung, Analysetool, Strom

1 Ausgangslage

Während in den letzten Jahren durchaus große relevante Erfolge im Bereich der Energieeinsparung und Effizienzsteigerung bei der Raumwärme erfolgt ist, kann diese Feststellung für den Bereich der Stromnachfrage nicht gemacht werden. Seit dem Jahr 2000 ist der Stromverbrauch in Österreich um 22,3% gestiegen. Besonders gestiegen ist dabei die Stromnachfrage in den Dienstleistungsgebäuden. Exemplarisch sei hier auf Krankenhäuser verwiesen: In den letzten 4 bis 5 Jahren ist bei vielen Anstalten eine jährliche Verbrauchssteigerung von 3 bis 4 Prozent festzustellen. Die Erfahrung zeigt, dass sowohl die Nutzungsart als auch die Ursachen für die Steigerung in den wenigsten Fällen detailliert bekannt sind.

Bei Dienstleistungsgebäuden mit einem jährlichen Stromverbrauch von weniger als 500.000 kWh/a steht man oft vor der Frage, wie man ohne viel Aufwand eine rasche wirtschaftliche Einschätzung über die Nachfragestruktur und somit über das Stromeinsparpotenzial abgeben kann. Wird hierzu ein Energieverbrauchsmonitoring installiert, erhält man ausgezeichnete Daten, die mit der Dauer der Messung zu qualitativen Aussagen führen. Für die Datenbereitstellung sind nicht nur (sinnvolle) Investitionen erforderlich, sondern es vergeht auch Zeit vom Entschluss bis zur Datenverfügbarkeit.

Um jedoch kurzfristig eine qualitative Analyse durchführen zu

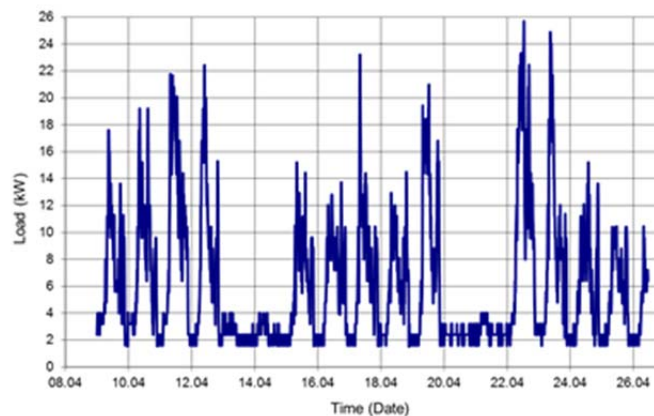
Tabelle 1: Tabellarische Darstellung einer Zeitreihe (Beispiel Hauptschule in Salzburg)

Zeit	Leistung
Datum & Zeit	[kW]
06.11.2012 05:15	3,2
06.11.2012 05:30	4,8
06.11.2012 05:45	4
06.11.2012 06:00	4,8
06.11.2012 06:15	5,6
06.11.2012 06:30	11,2
06.11.2012 06:45	14,4
06.11.2012 07:00	11,2
06.11.2012 07:15	12,8
06.11.2012 07:30	10,4
06.11.2012 07:45	15,2
06.11.2012 08:00	13,6
06.11.2012 08:15	11,2
06.11.2012 08:30	12

können, reichen vor allem bei Stromverbraucher mit weniger als 500 MWh die Daten des Gesamtstromverbrauchs (dh. Daten des Stomhauptzählers) aus. Bei Kunden mit einem Stromverbrauch größer als 100.000 kWh/a oder einer Maximalleistung von mehr als 50 kW wird die Stromnachfragestruktur seit Jahren vom jeweiligen Netzbetreiber erfasst. Alle 15 Minuten wird die durchschnittliche Leistungsaufnahme ermittelt und abgespeichert (Datenstruktur siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Den meisten Kunden und auch Energieberatern ist jedoch am Vortag der Einführung von Smart Meters nicht bekannt, dass diese Zeitreihen über den Stromverbrauch standardmäßig vorhanden sind und dadurch auf eine eigene Messung verzichtet werden kann.

Es stehen somit für kurzfristige Anwendungen Verbrauchskurven zur Verfügung, die die Gesamtnachfrage des Objektes vergleichbar einer Herzkurve abbilden. In der Abbildung 1 ist das „Ticken“ einer Schule für den Zeitraum von ca. 10 Tage dargestellt.

Abbildung 1: Graphische Darstellung des Lastverlaufes (10 Tage einer Hauptschule in Salzburg / Austria)



In Österreich - und auch in vielen anderen Mitgliedsstaaten der EU - muss der Netzbetreiber auf Anfrage, diese Daten mindestens einmal im Jahr seinem Kunden unentgeltlich zur Verfügung stellen. Einige EVUs bieten diese Zeitreihen gegen eine geringe Gebühr (ca. € 7,- /Monat) auch bereits online an. In diesem Fall sind meist – analog der geplanten Vorgangsweise - die Daten jeweils bis zum Vortag verfügbar. In der Regel werden die Daten im Excel-Format bereitgestellt.

Bildet die Zeitreihe ein ganzes Jahr ab, so stehen über 35.000 Einzelwerte mit Zeitinformationen zur Verfügung, die aufzeigen, wie sich ein Objekt „verhält“. In einem ersten Schritt kann man diese Daten mit der jeweiligen Außentemperatur (Tagesdurchschnittstemperatur) in Verbindung setzen, wodurch ein umfangreicher Datenstock für die Analyse zur Verfügung steht. Mit Hilfe einer Analyse können Empfehlungen für Energieeffizienzmaßnahmen abgeleitet werden. Auch wenn diese Datenreihe vor allem bei Objekten mit weniger als 500 MWh sehr gute Analyseergebnisse liefern, zeigt die Erfahrung von nunmehr bereits 300 Analysen, dass auch bei höherem Verbrauch, der Einsatz dieser Datenquelle zielführend ist. In einem Fall (Krankenhaus) von über 11 GWh konnte anhand der graphischen Auswertung, die Notwendigkeit eines Energieverbrauchsmonitoring aufgezeigt werden.

2 Lastganganalyse

Um eine standardisierte Analyse der Lastverläufe durchführen zu können, wurde in den letzten Jahren von e7 ein Analysetool basierend auf MS Excel entwickelt. Dieses ermöglicht es, in Form von rund 35 verschiedenen Abbildungen und ergänzend tabellarischen Darstellungen die Kurve in einer kurzen Zeit zu interpretieren. Es liegt in der Erfahrung und Expertise des Betrachters, welche Informationen aus den graphischen Darstellungen und den einzelnen Werten abgelesen werden kann. Und hier stellt natürlich die Standardisierung – die einen gleichen Blick auf alle Kurven ermöglicht – einen grundsätzlichen Zugang dar.

Obwohl für eine Analyse keine Objektbegehung vor Ort erforderlich ist, ist das auf die Analyse aufbauende Gespräch mit dem Objektbetreiber von entscheidender Bedeutung. Einerseits kennt er die Nutzungsstruktur seines Objektes besser, andererseits erfährt man wie die reale Verbrauchsstruktur von der Erwartung des Kunden abweicht.

Die graphische Aufbereitung der Nachfragestruktur hat den Vorteil, dass es leichter gelingt, die Situation dem Objektbetreiber aufzuzeigen. Die Erfahrung zeigt, dass durch diese Transparenz eine hohe Bereitschaft besteht, Energieeffizienzmaßnahmen umzusetzen.

3 Auswertung

Excel ist als Werkzeug für die Auswertungsroutine aufgrund der einfachen Handhabung und der bisherigen Erfahrungen sehr gut geeignet. Die Anpassung an ergänzende Fragestellungen ist zudem leichter möglich, als wenn ein fertiges Tool eingesetzt wird.

Die Stärke eines Analysetools kommt jedoch erst mit der mehrmaligen Nutzung zustande, weil Auffälligkeiten eher gesehen werden. Durch die Analysen und Vergleiche mehrerer Auswertungen („Standardisierung“) wird leichter erkannt, wie weit einzelne Verläufe den Erwartungen entsprechen und welche noch einer genaueren Beobachtung bedürfen.

Es wird bereits in einem eigenen Projekt an einer webbasierten Lösung gearbeitet.

3.1 Benchmarks

Standardmäßig werden derzeit folgende Benchmarks eingesetzt:

1. Spezifischer Verbrauch pro Bezugsgröße (m^2 , Betten, Mitarbeiter, ...), wobei bis zu 4 frei wählbare Bezugsgrößen ausgewählt werden können: zB.: kWh/ m^2 a
2. Spezifische Grundlast: Gibt an, wie groß die spezifische Leistungsaufnahme (zB: W/m^2) in dem Fall ist, wann die Grundlast (zB: „Stand By in den Nachtstunden oder am Wochenende) auftritt. Bei Lebensmitteldiskonter besteht über fast alle Ketten der gleich große Kennwert (21 $Watt/m^2$). Büros verfügen zumeist eine spezifische Grundlast von 6 $Watt/m^2$.
3. Bandverbrauch: Gibt an, wie viel Prozent des Jahresstromverbrauchs durch die Bandlast benötigt werden. Dieser Anteil ist nicht zu unterschätzen, denn bei Diskontlebensmittelmärkten liegt er bei rund 52%, bei Krankenhäusern kann er bis auf 78% steigen.
4. 4000 Stunden Verbrauch: Hier wird die Annahme getroffen, dass ein Dienstleistungsgebäude (zB.: Büro) maximal 4.000 Stunden genutzt wird. Der

Prozentsatz gibt an, welcher Anteil des Jahresstromverbrauchs außerhalb 4.000 Stunden liegt. Erfahrungen zeigen, dass bei Bürogebäuden dieser Wert bei 30% liegt. Das heißt, 30% des Stromverbrauchs eines Bürogebäudes wird dann verbraucht, wenn keiner das Gebäude nutzt.

5. Anteil Maximalleistung: Wie viel Prozent der Leistung machen die 25 Stunden mit der höchsten Leistung aus. Dieser Wert stellt dar, welche Leistungsreduktion infolge von Lastmanagement erreicht werden kann, bzw. wie ausgeprägt die Spitzenleistung ist.

3.2 Abbildungen

Für die Analyse werden derzeit rund 35 verschiedene graphische Darstellungsformen eingesetzt, die es ermöglichen eine fundierte Analyse des Verbrauchs in weniger als 1,2 Tagen durchzuführen,. Unter anderem werden folgende Darstellungen genutzt:

1. Geordnete Dauerlastganglinie: Die Leistungswerte der ¼ Stunden werden absteigend der Größe nach geordnet. Diese Abbildung ist gut geeignet, um dem Objektbetreiber aufzuzeigen, wie viel Energie das Objekt außerhalb der Kernnutzungszeiten benötigt (Abbildung 2). Zum Teil ist es möglich, alleine aufgrund dieser Kurvenform Rückschlüsse auf die Gebäudenutzung zu machen.

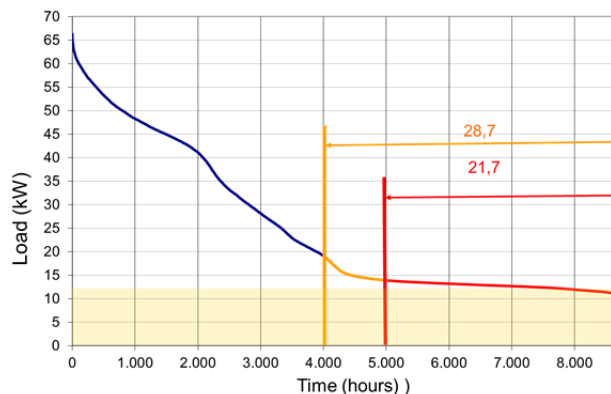
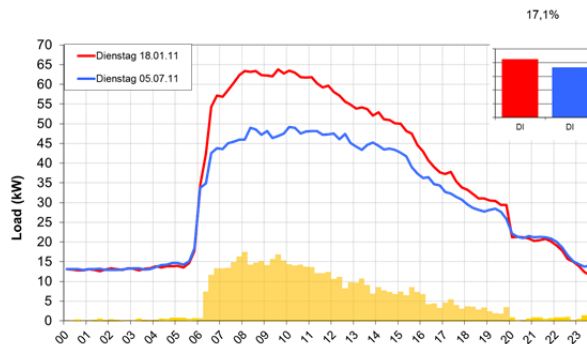


Abbildung 2: Geordnete Dauerlastganglinie eines Verwaltungsgebäudes. Der Bereich rechts der orangenen Linie stellt den Verbrauch (28,7%) dar, der außerhalb der Nutzungszeiten des Gebäudes benötigt wird.

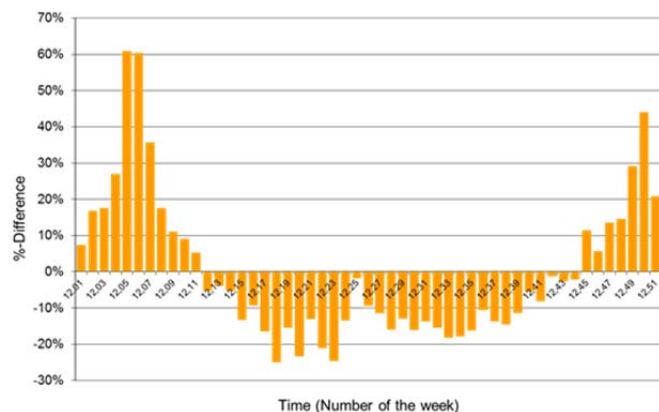
2. Vergleich zweier saisonaler Lastkurven bestimmter Wochentage (Abbildung 3)
 - a. Nimmt man den Mittelwert der gleichen Wochentage dreier aufeinanderfolgender Wochen so tritt eine Dämpfung von Einzelereignissen auf, und saisonale Ereignisse können besser dargestellt werden. Dadurch lassen sich saisonale Einflüsse (Heizung, Kühlen, Beleuchtung) besser sichtbar machen. Mit diesem Ansatz lässt sich z.B. sehr gut der erhöhte Verbrauch in den Nachtstunden durch Klimatisierung bzw. für die Heizung darstellen.

Abbildung 3: Vergleich zweier Tageslastgänge von einem Verwaltungsgebäude: Dienstag im Jänner (18. Jänner) und Juli (5. Juli). Der Verbrauchsunterschied beträgt 17,1 %, vermutlich aufgrund von Beleuchtung. In der Nacht weisen die Kurven keine Differenz auf (Umwälzpumpen??), jedoch liegt die Differenz am Tag bei fast 15 kW (Beleuchtung). Der Betrieb fängt bei diesem Objekt um ca. 5:45 Uhr an. Die maximale Nachfrage nach Strom erfolgt zwischen 8 und 12 Uhr.



3. Lastverlauf an Feiertagen (ohne Abbildung). Diese Darstellung zeigt auf, wie sich das Gebäude „verhält“, wenn z.B: ein Bürogebäude am Feiertag nicht genutzt wird und deswegen keine Nachfrage vorhanden ist. Die Erfahrung zeigt, dass an Feiertagen die Haustechnik durchaus arbeitet und dadurch man in der Lage ist, Betriebszeiten einzelner Gewerke in diesem Fall zu erkennen.
4. Darstellung der %-Abweichung/Prozentabweichung des Verbrauchs jeder Woche vom Durchschnittsverbrauch (Abbildung 4). Mit dieser Darstellung lassen sich saisonale Abhängigkeiten in konkreten Größenordnungen sehr gut darstellen.

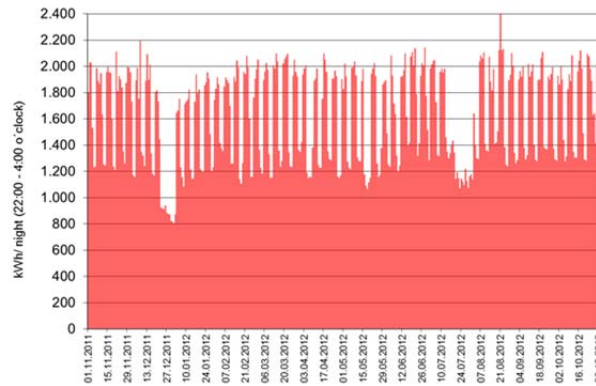
Abbildung 4: Prozentuale Abweichung jener Wochen vom Durchschnittsverbrauch bei einem Autohändler. Es zeigt auf, dass vor allem im Winter eine extrem zusätzliche Nachfrage vorherrscht (elektrische Zusatzheizung??). Warum die 25. Woche einen erhöhten Verbrauch hatte, sollte eruiert werden.



5. Verbrauch in den Nachtstunden (zB.: 22:00 bis 04:00 Uhr). In Abbildung 5 ist der Stromverbrauch eines Produktionsbetriebes während der Nachtstunden (22:00 bis 04:00 Uhr) dargestellt. Die Betriebsschließungen zu Weihnachten und im Sommer sind gut ersichtlich, wobei der Betrieb in den Nachtstunden noch immer über 800 kWh konsumiert. Ein leichter Leistungsanstieg ist über den Beobachtungszeitraum festzustellen. Eher typisch ist der Umstand, dass der Stromverbrauch an den Wochenendnächten geringer ist. Der Hinweis, dass der Betrieb selbst während den geschlossenen Tagen zu Weihnachten rund 150 kW benötigt, hat bei diesem Betrieb umfangreiche Aktivitäten ausgelöst. Es wurde u.a. der Reinluftbereich als Ursache erkannt, der während der Feiertage weiterhin auf Vollbetrieb war. Durch das Setzen von zahlreichen Kleinmaßnahmen (vor allem auf der Seite der Steuerung von

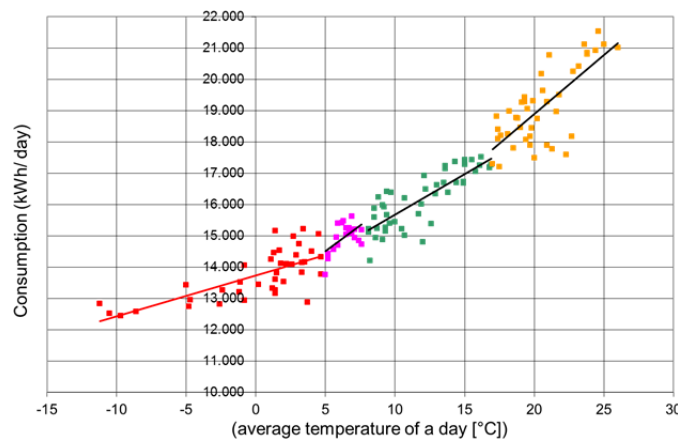
Lüftungsanlagen) konnten rund 11,2 % Strom eingespart werden. Die dadurch zusätzlich erfolgte Wärmeeinsparung ist nicht bekannt.

Abbildung 5: Stromverbrauch eines Produktionsbetriebes während der Nachtstunden (22:00 bis 04:00 Uhr).



6. Vergleich der einzelnen Tage einer Kalenderwoche (ohne Bild): Durch diese Darstellung wird aufgezeigt, ob die einzelnen Wochentage einen ähnlichen Verlauf haben, oder ob jeder Tag eine individuelle Nachfragestruktur hat.
7. Darstellung des Tagesverbrauchs in Abhängigkeit der Tagesdurchschnittstemperatur. Bei dieser Abbildung wird der Tagesverbrauch der jeweiligen Tagesdurchschnittstemperatur gegenübergestellt. Im Einzelfall kann es dabei erforderlich sein, dass u.a. Feiertage und Wochenende bei der Darstellung nicht mitberücksichtigt werden.

Abbildung 6: Abhängigkeit des Tagesverbrauchs von der Tagesdurchschnittstemperatur (°C) für einen Lebensmittelgroßhändler. Es zeigt sich, dass der Stromverbrauch über das gesamte Temperaturprofil von der Außentemperatur abhängig ist. Vermutlich erfolgt bei dem Objekt die Kühlung per Luftwärmepumpe.



8. Leistungsaufnahme an bestimmten Wochentagen zu bestimmten Uhrzeiten (ohne Bild): Durch die Darstellung wird aufgezeigt, ob sich die Leistungsaufnahme (z.B: 02:00 Uhr) über einen bestimmten Zeitraum nicht ändert, oder es sogar ein bestimmtes Datum gibt, an dem sich die Leistung sichtbar erhöht.
9. Verbrauchsabhängigkeit einzelner Wochentage
 - a. Diese Darstellung zeigt auf, ob bei dem Objekt bestimmte Wochentage einen höheren Verbrauch aufweisen. Unter anderem konnte bei einem Seniorenheim der Haupttag der Wäscherei erkannt werden. Aber auch in

Büros lassen sich Unterschiede feststellen, wobei hier nicht der Freitag gemeint ist, wo zumeist kürzer gearbeitet wird.

10. Vergleich geordneter Dauerlastganglinien über einen kurzen Zeitraum (zB.: 3 Wochen).

4 Bisherige Erfahrungen mit dem Tool

Bisher wurden rund 300 Lastgänge analysiert, die alle mit demselben Ansatz bearbeitet wurden, wobei es aufgrund der Erfahrungen immer wieder zu Erweiterungen der Auswertungsoptionen kommt. In der Zwischenzeit wird u.a. die Anzahl der Arbeitstage in einem Bürogebäude, in einer Schule standardmäßig automatisiert ermittelt.

Folgende Objektnutzungen wurden bisher analysiert:

Kindergärten	Lebensmittel – Einzelhandel
Volksschulen	Lebensmittel Großhandel
Hauptschulen	Baumärkte
Berufsschulen	Kleidermarkt
Ämter & Büros	Hotels
Altersheime	Verschiedene Produktionsgewerbe
Krankenhäuser	Metzgerei, Schotterwerk,
Fußballstadion	Autohändler, Sägewerke
Eisstadion	Tankstellen
Schilifte	

Beratungserfahrung

Der Mehrwert des Tools liegt nicht so sehr in der Angabe über Einsparpotenziale, sondern in der graphischen Aufbereitung der Verbrauchssituation. Durch die Darstellung ist es dem Objektnutzer leichter möglich, den realen Verlauf mit seinen Vorstellungen über den Verlauf zu hinterfragen. Zumeist reicht eine exakte Beschreibung der Situation, um Maßnahmen anzuregen. So kann zum Beispiel das Aufzeigen, wann es zu einer Änderung der Verbrauchsstruktur gekommen ist, ausreichend Information sein, weitere Schritte einzuleiten.

4.1 Zeitaufwand

Der Aufwand für das Erstellen einer standardisierten Analyse, samt 20 bis 25 seitigen Bericht, liegt bei ungefähr 1,5 Tagen.

4.2 Einsparpotenzial

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen ist davon auszugehen, dass durch eine standardisierte Analyse des Lastverlaufes ein Energieeinsparpotenzial von 10% ohne einer Vorort Begehung möglich ist. Im Einzelfall können Unklarheiten zumeist bei einer ein- bis zweistündigen Webkonferenz geklärt werden.

Die Erfahrung zeigt aber auch, dass das Analyseergebnis meist nur ein Zwischenergebnis ist. Beispielsweise wurde in einem Beratungsfall ein Einsparpotenzial von 8% ermittelt, der

Analysebericht erhielt aber weitere Informationen, so dass der Objektbetreiber Maßnahmen setzen konnte, die zu Energieeinsparungen von 18% führten.

Wie weit diese Erfahrungen über die Einsparpotenziale auf private Haushalte übertragbar sind (Smart Meters) kann derzeit nicht gesagt werden.

4.3 Zielgruppe

Die Lastganganalyse ist ideal für Objekte geeignet, die einen Verbrauch geringer als 500 MWh aufweisen. Als Relation dazu sei angeführt, dass ein Lebensmitteldiskonter einen Jahresstromverbrauch von 250.000 kWh aufweist. Dadurch kann aber auch ein Marktsegment bedient werden, bei dem es bisher wirtschaftlich eher schwierig war, Energieeffizienzberatungen durchzuführen (Kleinverbraucher).

Obwohl diese Analyse eher auf geringe Stromverbraucher abzielt, kommt es auch bei größeren Verbrauchern durchaus zum Einsatz, so wurden bisher über 20 Krankenhäuser (teilweise bis 11 GWh) auf Wunsch analysiert. Primär konnte dadurch die Sensibilisierung für Maßnahmen im Bereich der Grundlast unterstützt werden.

Ebenso konnte schon mehrmals der Nachweis für eine erfolgreiche Energieeffizienzmaßnahme erfolgen.

4.4 Grundlast

Die Bandlast kann im Allgemeinen als sehr hoch bezeichnet werden. Hier ist sicher noch Potenzial für Energieeinsparung enthalten. So weisen in Tabelle 2 u.a. folgende Objektnutzungen den jeweils anteiligen Grundverbrauch aufgrund der Bandlast auf:

Tabelle 2: Übliche Anteil am Jahresstromverbrauch aufgrund der Bandlast

Objektnutzung	Anteil der Bandlast am Gesamtverbrauch (%)	Anmerkungen
Krankenhäuser	62-78%	Hoher Wert (78%) obwohl kein Akuthaus!
Lebensmittelmärkte Diskonter	52%	Gleich hoher Benchmark über verschiedene Ketten
Ämter	48-70%	Zum Teil hohe Werte durch EDV Kühlung
Volksschulen	25%	Ferien mitberücksichtigt
Seniorenheime	52-57%	
Hotels	62%	
Kleidermarkt	7%	Spitzenwert (Wert ohne Klima- und Lüftungsanlage, weil Zentrale Anlage)

4.5 Zusammensetzung Nachfragestruktur

In Einzelfällen ist es möglich, anhand des Lastprofils die Nachfragestruktur gut zu bestimmen und einzelnen Verbrauchern zuzuordnen. Hier ist aber noch mehr Erfahrung gefragt, wobei derzeit in einem Forschungsprojekt ein parallel Top Down (Lastgang) / Bottom Up Ansatz erfolgt für dieselben 25 Objekte erfolgt, um so den Analyseansatz besser optimieren zu können.

- Beleuchtung: Bei Lebensmitteldiskonter war es nicht nur möglich, die Anschlussleistung für die Beleuchtung (ca. 23 W/m²) zu bestimmen, sondern auch den Jahresverbrauch daraus zu ermitteln. Während Energieberater hier einen

Anteil von 25% annehmen, ergab die Berechnung anhand des tatsächlichen Verlaufes, Werte im Bereich von 35%.

- Kühlung: Für Krankenhäuser konnte ein außenindizierten Kühlbedarf von 7% des Jahresgesamtverbrauchs ermittelt werden.
- Ursache für die hohe Grundlast im Geschäftsbereich sind u.a. Bankomatkassen und der Einbruchschutz.
- Ein bisher unterschätztes Problem dürfte die elektrische Warmwasserbereitung sein. Zum Teil ist dies über die gesteigerten Anforderungen aufgrund der Trinkwasserverordnung (Legionellen) erklärbar. Die Bestimmungen könnten eine Forcierung der Untertischwasserboiler aufgrund der Energieeffizienz zur Folge haben.

5 Wärmeanalyse

In der Zwischenzeit wurden auch einige Wärmelastverläufe analysiert, wobei es ungleich schwieriger ist, diese Kurven zu erhalten. Es ist ein eigener Analyseansatz erforderlich, der durchaus vom Ansatz der Stromanalyse abweicht. In einfacher Art und Weise ist es möglich, einerseits darzustellen, ob die Heizungssteuerung gut eingestellt wird, und andererseits wie groß der Anteil des Wärmeverbrauchs für Heizung und Warmwasser ist. Für ein Krankenhaus konnte hier aufgezeigt werden, dass von dem spezifischen Wärmeverbrauch ($138 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) 45% für das Warmwasser bzw. die Warmwasserzirkulation benötigt wird.