



BETRIEB OHNE NUTZEN BON IM DIENSTLEISTUNGSSEKTOR

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Conrad U. Brunner, S.A.F.E.

Gessnerallee 38a 8001 Zürich, cub@cub.ch, www.energieeffizienz.ch

Bernhard Brechbühl, Universität Zürich

Universitätstrasse 25, 8033 Zürich

Heini Glauser, ea si

Dohlenweg 2, 5210 Windisch

Jürg Nipkow, S.A.F.E.

Schaffhauserstrasse 34, 8006 Zürich

Urs Steinemann, Ingenieurbüro US

Schwalbenbodenstrasse 15, 8832 Wollerau

Impressum

Datum: 23. Januar 2009

Im Auftrag des Bundesamts für Energie

Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter, michael.moser@bfe.admin.ch

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 152 955 / 102 345

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch / www.electricity-research.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Résumé	4
Abstract	4
1. Ausgangslage.....	5
Definition und Abgrenzung	5
Ziel.....	6
Vorgehen und Methode.....	6
2. Umfang von BoN: Top-down Analyse	7
Tageslastgänge Schweiz	7
Arbeit Nacht & Wochenende	8
Elektrischer Energieverbrauch im Dienstleistungssektor	8
Nachlasten	8
Nachtschalter: Leistung & Energie	10
3. Gebäudeuntersuchung: Bottom-up Analyse	12
Pilotobjekt 1: Universität Zürich.....	12
Pilotobjekte 2: Dienstleistungs-Gebäude im Kanton Bern	18
Pilotobjekt 3: Bürogebäude Brugg	19
Pilotobjekte 4: Mittelschulen im Kanton Zürich	20
Zusammenfassung Gebäudeuntersuchungen	21
4. Vergleich und Synthese Bottom-up und Top-down	24
BoN Nacht	24
BoN Tag	24
BoN Tag und Nacht.....	25
5. Weitere Untersuchungen.....	26
Referenzen	26
Literatur	26
Dank	27

Zusammenfassung

Das Projekt „Betrieb ohne Nutzen“ (BoN) hat als Voruntersuchung in einer Top-down-Analyse den Nachtsockel des gesamten elektrischen Endverbrauches der Schweiz auf die wichtigsten Verbrauchskategorien aufgeteilt und versucht, BoN-Elemente speziell im Dienstleistungssektor zu identifizieren. Parallel dazu wurden sieben typische Dienstleistungsgebäude Bottom-up grob analysiert, ein grosses Objekt wurde auch fein analysiert und der Nachtsockel auf einzelne Verbrauchskategorien aufgeteilt. Damit ist eine erste grobe Quantifizierung des BoN-Anteils am elektrischen Energieverbrauch möglich. Davon ist der Dienstleistungssektor mit ungefähr 2.4 TWh/a BoN betroffen. In einer zweiten Projektphase sollen vertiefte Untersuchungen zur Verminderung des BoN in geeigneten Pilotobjekten angestellt werden, wobei dann auch BoN-Anteile am Tag identifiziert werden müssen. Ziel ist eine deutliche Reduktion des BoN, wodurch ein Teil des gesamten elektrischen Nachtsockels und ein entsprechender Teil des gesamten BoN im elektrischen Verbrauch der Schweiz vermindert werden könnte.

Résumé

Le projet BoN (Opération Inutile) a analysé comme étude préliminaire la puissance électrique du réseau Suisse pendant la nuit et a essayé d'identifier des fractions respectives des diverses catégories des secteurs d'utilisation qui sont probablement dans un état d'opération inutile BoN. Dans un second volet sept bâtiments dans le secteur des services étaient analysés dont un objet en détail où on pourrait identifier les sources de leur puissance électrique de base dans la nuit. Ensemble avec les deux approches Top-down et Bottom-up une première estimation du BoN en Suisse était faite. Le secteur des services participe dans ce potentiel de BoN avec environ 2.4 TWh/a. Dans une seconde étude approfondie la diminution du BoN serait analysée et aussi les composants du BoN pendant le jour devraient être analysés. Le but global est de réduire le BoN fortement et d'économiser une partie de la consommation électrique de nuit et aussi une partie de la consommation électrique totale de la Suisse.

Abstract

The Project BoN (Operation without Use) analyzes in a preliminary study Top-down the electrical grid loads at night in Switzerland and tries to identify not necessary BoN loads. Subsequently an analysis of seven buildings in the service sector has been made Bottom-up of which one large complex was used to identify the sources of their night loads. Together the two approaches allow a first appreciation and a rough quantification of the BoN part in the Swiss electric grid. The service sector has an estimated share of BoN of some 2.4 TWh/a. In a Follow-up project the reduction of unnecessary BoN loads will be studied in more detail. This second analysis will also have to include BoN components during the day time. The goal is to eventually reduce any BoN electric night load and also the entire electricity demand of Switzerland.

1. Ausgangslage

DEFINITION UND ABGRENZUNG

Elektrische Energie ist kostbar und wird ständig teurer, zwischen 2000 und 2008 stieg der mittlere nominelle Preis des auf Höchstspannungsstufe in der Schweiz gehandelten Stroms jährlich um 17.7% p.a. von 3.9 auf 14.6 Rappen pro kWh (Bild 1).

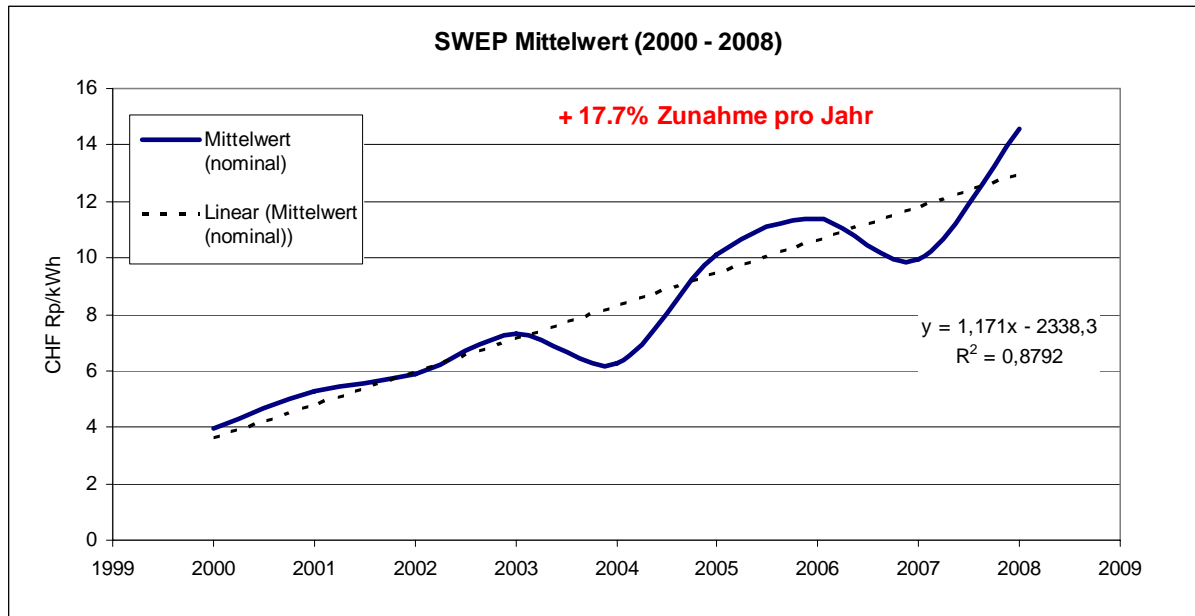


Bild 1: Entwicklung mittlerer Elektrizitätspreis Schweiz: Handel an der SWEP-Börse (Quelle: SWEP [1])

Nicht jedes laufende elektrische Gerät erbringt einen tatsächlichen Nutzen. Im Gegensatz zum Bereitschaftsmodus (Stand-by), wo ein Gerät bei relativ tiefer elektrischer Leistung „wartet“ und nur untergeordnete Funktionen ausführt, um später eine Nutzleistung erbringen zu können, werden im Projekt **„Betrieb ohne Nutzen“ (BoN) mehr oder weniger voll laufende Geräte im Dienstleistungssektor untersucht, die ihre Hauptfunktion erfüllen, für die aber örtlich und zeitlich kein effektiver Nutzen vorhanden ist.**

Während bisherige Untersuchungen sich intensiv mit dem Ausmass und der möglichen Verminderung des Stand-by in der Schweiz befasst haben [2], sind noch keine Untersuchungen zu BoN bekannt. Aus energetischen Gründen sind Effizienzmassnahmen sowohl im Betrieb MIT wie auch OHNE Nutzen angebracht. Häufig sind dabei Massnahmen im Betrieb mit Nutzen schwieriger umsetzbar und durchsetzbar, weil berechnete Nutzeranliegen mindestens tangiert werden. Im BoN-Bereich ist das meistens nicht der Fall. Die Elimination von BoN schadet niemandem, wird nicht einmal bemerkt.

Der Betrieb mit Nutzen kann sich graduell einem Betrieb ohne Nutzen annähern, nämlich bei sehr kleiner Auslastung bzw. Teillast. Definitiv ist immer noch ein Nutzen vorhanden, also kein BoN-Zustand, jedoch ist in der Regel der Wirkungsgrad bei sehr kleiner Teillast ungünstig. Die Effizienz des Prozesses rückt dabei in die Nähe von Null bei BoN. Neben der bei kleiner Auslastung primär sinnvollen Leistungsverminderung sind u.U. ähnliche Massnahmen wie zur Eliminierung von BoN angebracht: Zusammenfassung oder zeitliche Verschiebung von Nutzungen, um die Auslastung zu erhöhen. Schliesslich gibt es den weniger genau definierten Betriebszustand "Bereitschaft" (keine nutzbare Leistung wird erbracht), der im vorliegenden Projekt nicht weiter untersucht wird.

Die Leistungsaufnahme von Geräten im Betrieb mit Nutzen kann in einem grossen Bereich veränderlich sein (Teillast-Regelung); daraus lässt sich nicht eindeutig auf den Betriebszustand schliessen.

Somit ergeben sich folgende Kurz-Definitionen der Betriebszustände:

Betrieb mit Nutzen (BmN): Gerät läuft und erbringt eine Leistung (auch Teillast), die tatsächlich genutzt wird.

Betrieb ohne Nutzen (BoN): Gerät läuft und erbringt eine Leistung (auch Teillast), die nicht genutzt wird.

Stand-by: Gerät erbringt keine nutzbare Leistung (ausser ggf. Zustandsanzeige), ist aber am Netz und kann u.U. Signale annehmen, z.B. zum Start in den Bereitschafts- oder Betriebsmodus.

Im vorliegenden Bericht werden die Situationen mit Betrieb ohne Nutzen erstmals systematisch erfasst und grob quantifiziert. In einer zweiten Phase sollen diese Erhebungen erweitert und verfeinert und das Effizienzpotential genauer geprüft werden. In einer separaten Phase erscheint es zweckmässig, die Verhältnisse im Teillastbetrieb genauer zu analysieren, um weitere Sparpotentiale zu erkennen. Wenn nämlich ein Betrieb den bestehenden (Teillast-) Bedarf unnötig stark überdeckt, ist der Überschuss auch eine Art von BoN. Für eine Abschätzung der insgesamt vorhandenen Effizienzpotentiale müssten schliesslich energieeffiziente Vergleichslösungen definiert und mit den tatsächlich ausgeführten Anlagen und deren Betriebsweise verglichen werden.

ZIEL

Das Ziel der vom BFE im Rahmen des Forschungsprogramms „Elektrizitätstechnologien und -anwendungen“ geförderten Voruntersuchung ist es, die elektrischen BoN-Verbraucher im Dienstleistungssektor der Schweiz zu erfassen und quantitativ zu beschreiben.

VORGEHEN UND METHODE

Als Arbeitshypothese dient die Annahme, dass BoN am deutlichsten (aber nicht nur) nachts, an Wochenenden und in Zeiten von Nutzungs- resp. Betriebsunterbrüchen feststellbar ist, weil in dieser Zeit der Betrieb mit Nutzen BmN nur sehr geringe elektrische Leistungen erfordert.

Methodisch werden in dieser Voruntersuchung zwei Arbeitsschritte parallel ausgeführt (Bild 2):

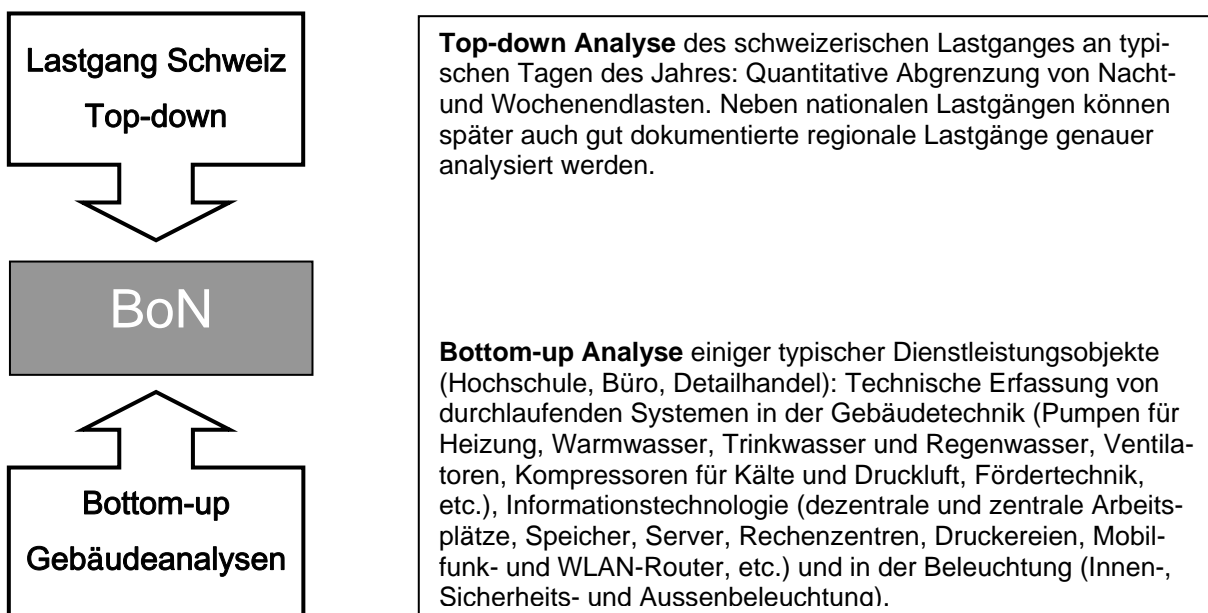


Bild 2: Schema Vorgehensmethode BoN

Am Tag (schematisch 06 bis 22 Uhr) ist der relative BoN-Anteil des Verbrauchs sicher kleiner als in der Nacht (schematisch 22 bis 06 Uhr) und am Wochenende (Samstag und Sonntag).

Die Top-down Analyse hilft, die Grössenordnung des Nacht- und Wochenendsockels zu bestimmen, andere und verzerrende Nutzer- und Netz-relevante Anwendungen und Verbraucher (elektrische Speicherheizung und Wassererwärmer, Pumpspeicherkraftwerke, etc.) herauszurechnen und damit einen Abgleich mit dem Bottom-up (Haushalt, Industrie, Dienstleistungen und Verkehr) Verbrauch zu bewerkstelligen.

Die so gefundenen Erklärungen für die Verbrauchskategorien im Nacht- und Wochenendsockel sind auch hilfreich, um BoN-Verbraucher im Tagesgang eines einzelnen Gebäudes (Bild 19) oder im gesamten Tagesgang des Versorgungsgebietes (Bild 3) zu identifizieren.

2. Umfang von BoN: Top-down Analyse

TAGESLASTGÄNGE SCHWEIZ

Das Ausmass des BoN kann durch die Analyse der Tageslastgänge im Schweizer Stromverbundnetz grob erfasst werden. Im hydrologischen Jahr 2007/08 erreichten die Monatswerte (jeweils 3. Mittwoch gemäss UCTE [3]) folgende Extremwerte (siehe Bild 3):

- Tagesmaximum: höchster Wert von 9.9 GWe (Mittwoch 19. Dezember 2007, 18 Uhr),
- Tagesmaximum: tiefster Wert von 7.8 GWe (15. August 2007, 11 Uhr),
- Tagesminimum: höchster Wert von 7.7 GWe (Mittwoch 19. Dezember 2007, 04 Uhr),
- Tagesminimum: tiefster Wert von 4.9 GWe (Mittwoch 15. August 2007, 04 Uhr).

Die Differenz dieser beiden Tagesmaxima von 2.1 GWe ist durch tages- und jahreszeitliche Phänomene der Nutzungsseite (elektrische Raumheizung und Prozesswärme im Winter) relativ gut erklärbar. Ebenso ist die Differenz der Tagesminima von 2.9 GWe durch die Nachtaufladung von Speichereheizungen, Wassererwärmer, etc. relativ genau erklärbar. Der Inhalt des nächtlichen Sockelverbrauches um 04 Uhr von 4.9 GWe im August (Bandbreite bis 7.7 GWe im Dezember) ist jedoch nicht einfach erklärbar; er umfasst z.B. Warmwasser, Beleuchtung, Rechenzentren und weitere industrielle Nutzungen.

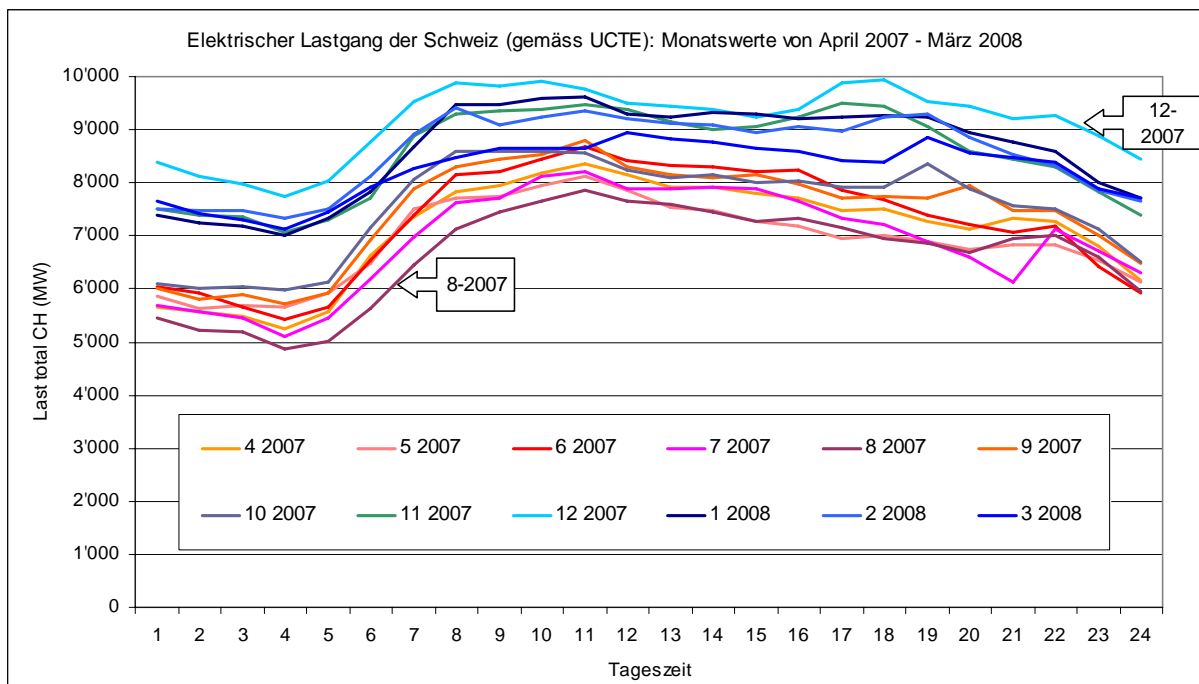


Bild 3: Monatliche Lastgänge in der Schweiz 2007/08 (UCTE [2])

Die jahreszeitliche Auswirkung von kalten Nachttemperaturen im Winter (elektrische Heizleistung, Nachtspeicherheizung, Wasser-Erwärmung und Speicheraufladung, [4] und [5]) und warmen Nachttemperaturen im Sommer (elektrische Kälte- und Lüftungsleistung, [6], sowie Rechenzentren, Nachtarbeit, Beleuchtung, durchlaufende industrielle Prozesse, etc.) sowie Pumpspeicherleistung in Wasserkraftwerken müssen sauber abgegrenzt werden. Die mögliche Auswirkung von Pumpspeichern muss für die Ermittlung von BoN ausgeklammert werden.

ARBEIT NACHT & WOCHENENDE

Zur Identifikation von BmN in der Nacht werden die Arbeitsplätze untersucht, bei denen nachts und/oder am Wochenende gearbeitet wird. Die Schweiz hat (im Gegensatz zum nahen europäischen Ausland) relativ wenige Betriebe in der Schwerindustrie, im Personen- & Güterverkehr und im Dienstleistungssektor, die 3-schichtig arbeiten. Diese 3-Schichtbetriebe stehen nachts und am Wochenende im Betrieb und haben demgemäss einen hohen elektrischen Leistungsbedarf in dieser Zeit.

Nacht-, Sonntags- und Feiertagsarbeit sind gemäss Arbeitsgesetz Art. 17 und Art. 19 bewilligungspflichtig. Die Gesuche um Erteilung von Arbeitszeitbewilligungen für Nacht-, Sonntags-, Feiertagsarbeit, resp. ununterbrochene Arbeit, Pikettdienst, etc. werden jeweils im Bundesblatt mit Begründung publiziert. Dies bedeutet, dass es sich nur um eine überschaubare Anzahl von Industrie-, Bau- und Dienstleistungsbetrieben handelt. Gemäss SAKE [7] (siehe Tabelle 1) waren 2005 von den total 2,98 Millionen Beschäftigten in der Schweiz nur rund 17% abends, 23% samstags, 11% sonntags und sogar nur 5% regelmässig nachts tätig. Die Daten sind nur in aggregierter Form veröffentlicht, d.h. es ist nicht möglich den Dienstleistungssektor separat auszuwerten.

Gemäss der schweizerischen Arbeitsmarkterhebung SAKE [7] arbeiteten im Jahr 2005 folgende Anteile der Beschäftigten mit einem „atypischen Stundenplan“.

1000	Schweizer	Ausländer	Total	Anteil
Beschäftigte	2'980	795	3'775	100%
Samstag	682	184	866	22,9%
Sonntag	313	86	399	10,6%
Abend	496	148	644	17,1%
Nacht	145	45	190	5,0%
Schicht	308	142	450	11,9%

Tabelle 1: Erwerbstätige 2005 mit „normalerweise“ atypischem Stundenplan in allen Sektoren [7]

Die relativ geringe Anzahl nächtlicher Beschäftigter darf allerdings nicht dazu verleiten, den nächtlichen elektrischen Energiebedarf „pro Kopf“ zu interpretieren. Viele Nachtarbeitsplätze überwachen teilweise automatisierte Anlagen, die tagsüber mit zusätzlichem Personal betrieben werden.

ELEKTRISCHER ENERGIEVERBRAUCH IM DIENSTLEISTUNGSSEKTOR

Der elektrische Energieverbrauch des Dienstleistungssektors ist in den BFE-Energieperspektiven 2000 - 2035 detailliert untersucht worden [8]. Er macht gemäss der schweizerischen Elektrizitätsstatistik im Jahr 2007 [9] 15.2 TWh/a aus (26.5% des gesamten elektrischen Endverbrauches von 57.4 TWh/a).

Gemäss der Umfrage von Helbling/BFE [10] beträgt der Dienstleistungs-Verbrauch 2006 16.0 TWh/a (siehe Tabelle 2). Die mittlere Arbeitsstätte hat 6.5 Beschäftigte und einen elektrischen Verbrauch von 61'247 kWh/a (9'390 kWh/Beschäftigte).

Nr.	Dienstleistungen (2006)	Arbeitsstätten	Vollzeit Beschäftigte	Beschäftigte pro Arbeitsstätte	Elektrizitätsverbrauch TWh/a	Elektrizität pro Arbeitsstätte kWh/Arb.stätte	Elektrizität pro Beschäftigtem kWh/Person
	Branchengruppen						
13	Handel	76'899	408'065	5,3	4,2	54'592	10'288
14	Gastgewerbe	25'886	143'057	5,5	2,3	88'368	15'990
15	Kredit, Versicherungen	10'016	165'106	16,5	1,2	122'110	7'408
16	Verwaltung	7'930	118'651	15,0	0,9	108'659	7'262
17	Unterricht	12'394	97'831	7,9	1,1	85'368	10'815
18	Gesundheits- und Sozialwesen	20'353	194'052	9,5	1,6	77'725	8'152
19	andere	107'524	575'560	5,4	4,8	44'411	8'297
	Total (Mittelwert)	261'002	1'702'322	6,5	16,0	61'247	9'390

Tabelle 2: Elektrizitätsverbrauch der hauptsächlichen Branchengruppen des Dienstleistungssektors [7]

NACHTLASTEN

Aus diesen Zahlen (Tabelle 1) kann vorläufig abgeleitet werden, dass der Anteil der Wochenendarbeitenden (10,6% bis 22,9%) und der Abend- und Nachtarbeitenden (5,0% bis 17,1%) noch kein hinrei-

chender Grund für den hohen Nacht- und Wochenendanteil des elektrischen Energieverbrauches sind. Der Nachtsockelanteil des Elektrizitätsverbrauches ist in der Schweiz insgesamt sehr hoch (Bilder 4 und 5). Bei winterlichen Temperaturen ist das Verhältnis Tagesminimum zu -maximum (durch den zusätzlichen elektrischen Wärmebedarf) 73% bis 80%, bei sommerlichen Temperaturen immer noch 62% bis 65%. Die lineare Kurvenanpassung in der Regressionsanalyse ist dabei erwartungsgemäss für die 12 Mittwoche eines Jahres (Werktage) in Bild 4 mit $R^2 = 0.814$ besser als bei Einbezug aller Werktage Januar bis Mai mit $R^2 = 0.616$ in Bild 5.

Das analoge Verhältnis der mittleren Nachtlasten der Bottom-up untersuchten Gebäude im Dienstleistungsbereich (siehe hinten: Zusammenfassung Gebäudeuntersuchung) liegen bei 15% bis 50% (nur ein Gebäudekomplex über 50%) der mittleren Tageswerte, also weit unter dem gefundenen Top-down Verhältnis.

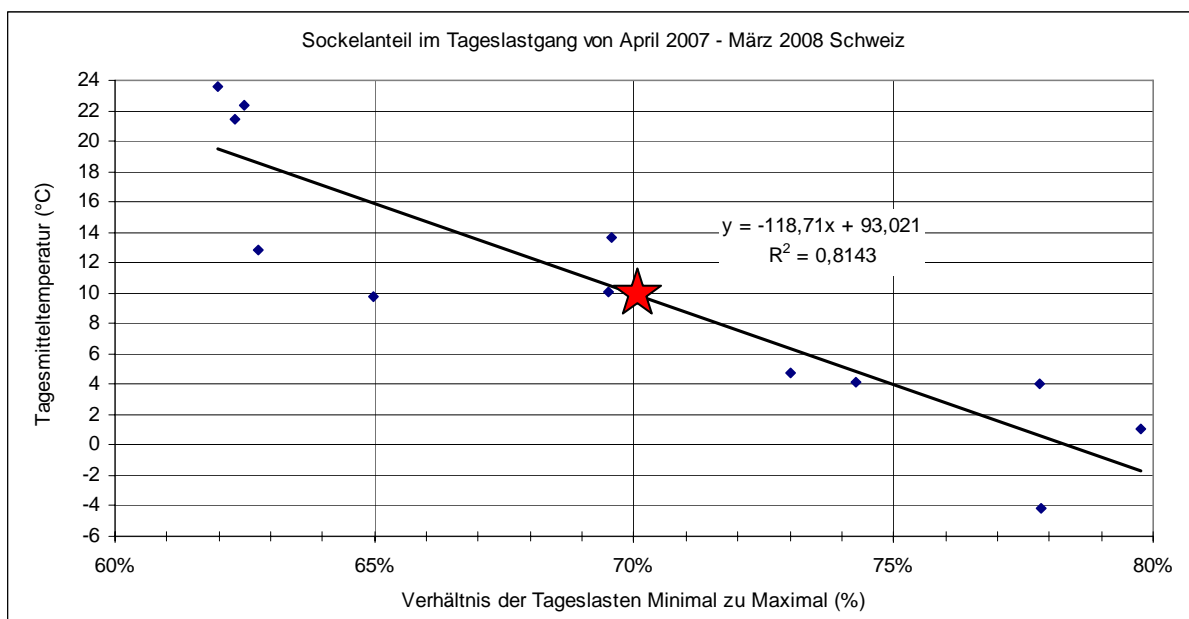


Bild 4: Verhältnis des gesamten Nachtsockels zur Tageshöchstlast, 12 Mittwoche 2007/08, Mittelwert (Stern) 70% (UCTE [3])

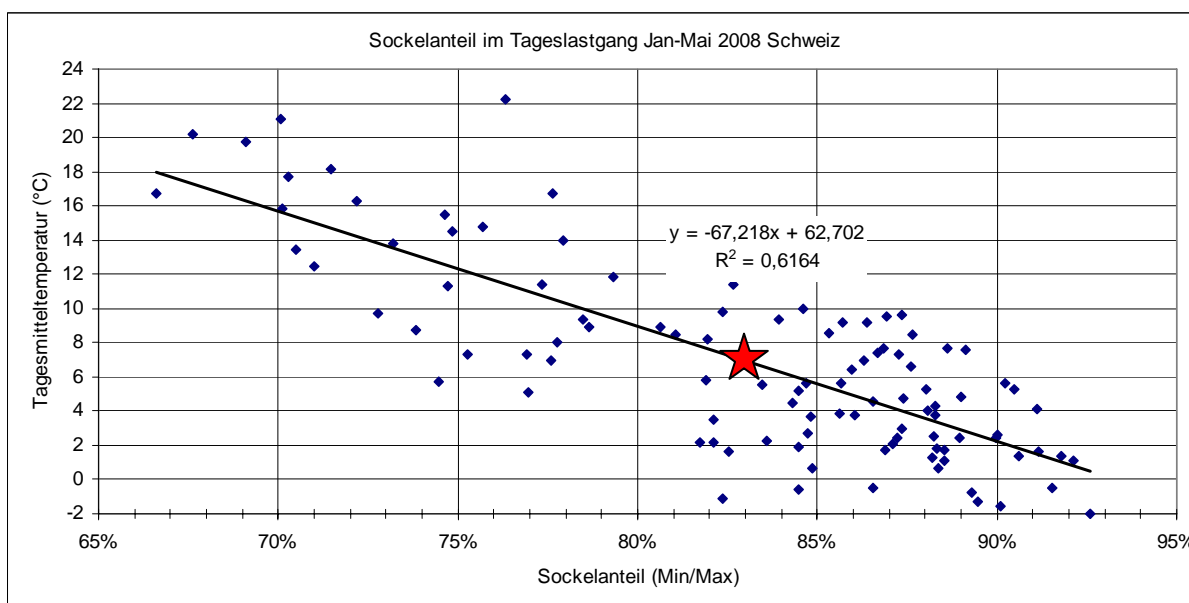


Bild 5: Verhältnis des gesamten Nachtsockels zur Tageshöchstlast, alle Werktage Januar - Mai 2008, Mittelwert (Stern) 83% (UCTE [3])

In Bild 6 wurde versucht, eine erste grobe Schätzung der mittleren Lastverteilung auf die einzelnen Sektoren (Stufe Endverbrauch, ohne Pumpspeicherung und Übertragungsverluste) für das Jahr 2007

vorzunehmen. Dabei wurden die elektrische Raumwärme und die Wassererwärmung separat behandelt. Zu berücksichtigen ist auch, dass wesentliche Teile des Wohnens (inkl. Freizeitverhaltens) regelmässig bei nächtlichen Stunden (20 bis 24 Uhr) stattfinden. Die elektrische Dauerleistung des untersuchten Jahres beträgt im Tagesmittel 6.55 GW, der Nachtsockel von 22 bis 06 Uhr während 8 h/Tag 5.24 GW (73%), der Tageswert während 16 h/Tag 7.21 GW (100%).

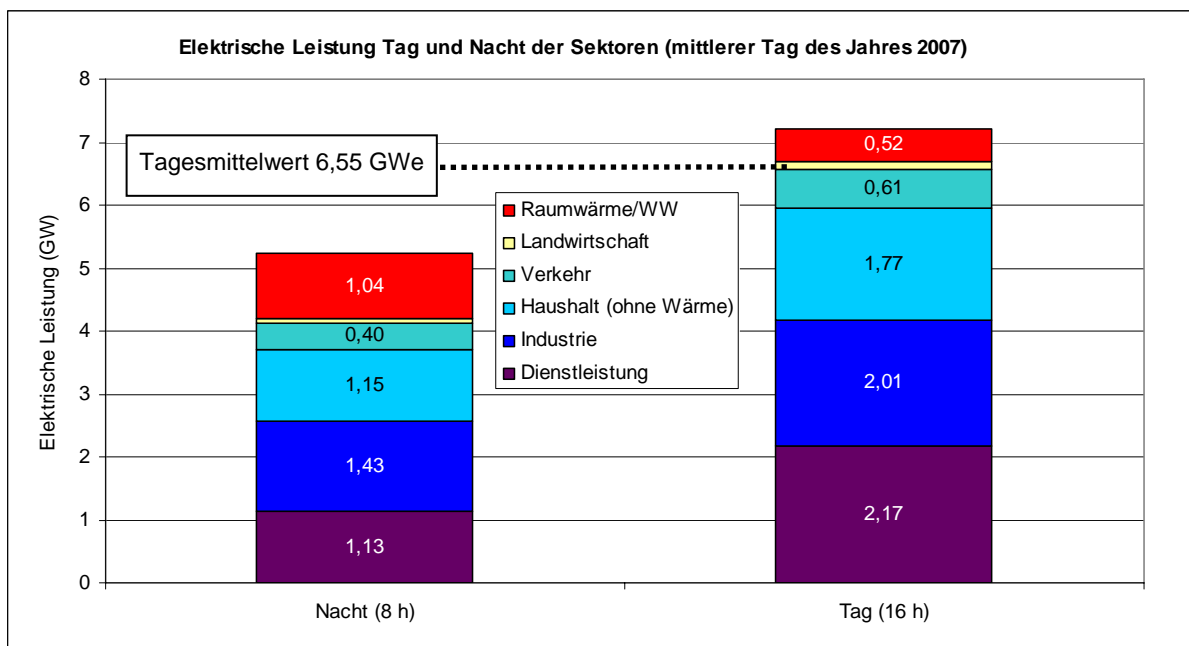


Bild 6: Erste grobe Schätzung der Sektoranteile im Tag- und Nachtlastprofil

NACHTSOCKEL: LEISTUNG & ENERGIE

Eine aktualisierte Abschätzung des Nachtsockels des Endverbrauchs an Elektrizität in der Schweiz erfolgt hier mit folgenden Annahmen:

- Der gesamte **Nachtsockel** ist (gemäss den erwähnten Monatsdiagrammen der UCTE und den 4 Mittwoch-Diagrammen der Elektrizitäts-Statistik 2007) gross: $365 \text{ d/a} * 5.24 \text{ GWe (Mittel der 4 Quartale)} * 8 \text{ h/d} = \mathbf{15.3 \text{ TWh/a}}$. Das ist rund ein Viertel des Endverbrauches.
- Etwa **1.7 TWh/a** davon sind Pumpspeicher (2.1 TWh/a total, etwa 80% nachts).
- Die nächtliche Ladung der Elektrospeicherheizung im Haushalt ist im Dez./März-Diagramm gut sichtbar: zusätzlich 1 bis 1,5 GW, Mittelwert der Heizperiode über 8 Nachtstunden etwa $0.9 \text{ GWe} * 270 \text{ d/a} * 8 \text{ h/d} = \mathbf{2.0 \text{ TWh/a}}$ (gemäss Prognos 2007 total 2.9 TWh/a, etwa davon 2/3 nachts).
- Das Laden der elektrischen Warmwasserspeicher ist gemäss Prognos 2007 total 2,3 TWh/a, davon vielleicht auch 2/3 nachts ($365 * 0.5 \text{ GWe} * 8 \text{ h/d}$), also **1.5 TWh/a**.
- Im Nachtsockel sind ca. **0.7 TWh/a** Stand-by ein Drittel des gesamten Stand-by von 2 TWh/a.
- Der Netto-Nachtsockel (ohne Pumpen, Elektrowärme und Stand-by) macht damit also $15.3 - 1.7 - 2.0 - 1.5 - 0.7 = \mathbf{9.4 \text{ TWh/a}}$.

Wir schätzen damit den Netto-Nachtsockel (ohne Pumpspeicherung, elektrisches Warmwasser und Speicherheizung) auf rund 9.4 TWh/a; dieser wird nun auf dem BoN-Prüfstand genauer untersucht (Kapitel 3, und Tabelle 7, Bild 20).

In dieser ersten Projektphase untersuchen wir nur den Dienstleistungssektor. Basierend auf dem gesamten elektrischen Endverbrauchsanteil beansprucht dieser ungefähr 28% im Tagesmittel, wobei wir den Nachtanteil auf 22% und den Taganteil auf 30% schätzen.

Im Nachtsockel inbegriffen sind u.a. folgende BmN-Elemente in Gebäuden und Anlagen mit Nachtbetrieb:

- Notwendige Pumpen (Nachtbetrieb Wärme-, Kältesysteme, Infrastrukturanlagen),
- Notwendige Lüftungsanlagen (nachts benutzte Räume, Tierräume, Geruchsemissions-Räume, nachts durchlaufende industrielle Gebläse)
- Notwendige Kälteanlagen (gewerbliche Kälte, Kühl-/Gefriergeräte, Eisspeicher)
- Notwendige Beleuchtungsanlagen (Aussen- und Innenbeleuchtung in Verkehrsanlagen, Fluchtweg- und Notbeleuchtung in Gebäuden)
- Notwendige Elektronik (Server, Router, Datenverarbeitungszentren, PC samt Peripherie und Unterhaltungselektronik mit Nachtbetrieb)
- Notwendige Haushalt- und gewerbliche Geräte im Nachtbetrieb
- Notwendige mechanische Anlagen (nachts durchlaufende Förderanlagen für Güter und Personen, industrielle Prozessanlagen)
- nächtliche Freizeit, Sportanlagen, Tourismus und Vergnügungsindustrie
- notwendige Güter- und Personenverkehrsleistungen (öffentlicher und privater Verkehr)

3. Gebäudeuntersuchung: Bottom-up Analyse

Bis Ende September 2008 wurden erste Analysen an vier verschiedenen Pilot-Gebäudegruppen mit insgesamt sieben Gebäuden im Dienstleistungssektor durchgeführt. Im Vordergrund standen wegen hohem Elektrizitätsverbrauch pro Beschäftigten (siehe Tabelle 2) und wegen der grossen Bedeutung am Dienstleistungssektor insgesamt folgende drei Gebäudekategorien:

Schulen (Mittel- und Kantonsschulen, Universitäten),
Bürogebäude, Banken/Versicherungen,
Hotel/Restaurants.

PILOTOBJEKT 1: UNIVERSITÄT ZÜRICH

Universität Zürich mit insgesamt 24'000 Studierenden und 4'700 Personaleinheiten auf 566'000 m² Energiebezugsfläche auf zwei Campus-Arealen mit insgesamt 205 Gebäuden und 18'100 Räumen.

Der Elektrizitätsverbrauch beträgt 55 GWh/a für 7 Millionen CHF mit einer Energiekennzahl Elektrizität E_e von 350 MJ/(m² a) [12]. Im Dezember 2007 wurde eine elektrische Spitzenlast von über 9 MW und eine Sockellast von 4 bis über 6 MW gemessen. Hochschul-interne energetische Verbesserungen im Wärme- und Elektrizitätsbereich sind systematisch in den letzten 20 Jahren durchgeführt worden. Zudem sind gegenwärtig Studienarbeiten zur Verminderung des elektrischen Energieaufwands von Rechenzentren (zusammen mit ETH-Z) im Gang.

Das genauer untersuchte Gebäude KOL+KO2 umfasst Lehrbetrieb, Museum, Büros, etc. Er wurde ausgewählt, weil es sich um einen typischen Dienstleistungsbau im Unterrichtsbereich (Stufe Mittel- und Hochschulen) handelt. Zudem ist dieser Gebäudekomplex in den letzten Jahren systematisch verbessert und instrumentiert worden.

Der untersuchte Gebäudekomplex hat folgenden Umfang sowie bauliche und energetische Eigenschaften:

32'230 m² EBF

17'400 m² Hauptnutzfläche

759 Räume inkl. Verkehrsflächen

32 Hörsäle und 118 Büros

Erstellungsjahr 1914 mit Sanierungsetappen 1965-1971 und 1994-2006

Energiekennzahl Wärme: 240 MJ/(m² a)

Energiekennzahl Elektro: 190 MJ/(m² a)

Das Gebäude hat ein zentrales Gebäudeleitsystem (siehe Ausschnitt in Bild 7). Dies erlaubt eine vollständige Lastüberwachung für die Gebäudetechnik und den Steckdosen-Verbrauch. Zudem erlaubt die Instrumentierung eine Beobachtung und Registrierung der Stellwerte der Gebäudetechnik durch das Leitsystem (siehe Ausschnitt in Bild 8).

Untersuchungsablauf

Schritt 1: Zuerst wurden vorgängig typische Lastprofile erstellt und für die Untersuchung vor Ort als Analysehilfsmittel eingesetzt. Der erwartete (und nachträglich bestätigte) elektrische Nachtverbrauchssockel beläuft sich in dieser Jahreszeit insgesamt auf 120 kW. Er setzt sich aus ca. 60 kW zentrale Gebäudetechnik und ca. 60 kW dezentrale Steckdosenverbraucher zusammen. Bei dieser Witterung ist nachts nur sehr geringe Raumheiz- (Umwälzpumpen) und Raumkälteleistung (Kältemaschinen und Luftförderung) nötig.

Schritt 2: Das Gebäude wurde während der Unterrichtsperiode (13. Mai 2008) nachts zwischen 21 und 23 Uhr besichtigt. Gemäss MeteoSwiss wurden an diesem Untersuchungstag (sowie am Vor- und Nachttag) folgende Aussenklimawerte gemessen:

	$t_{a \text{ m}}$ °C	$t_{a \text{ max}}$ °C	$t_{a \text{ min}}$ °C	Sonnenscheindauer h/d	Wind km/h
12. Mai 2008	15.2	22.4	8.0	12.0	5
13. Mai 2008	16.7	23.5	10.0	11.4	4
14. Mai 2008	17.7	24.0	10.9	12.0	4

Bei der Begehung wurden folgende einfache Untersuchungsmittel vor Ort eingesetzt:

- **Akustisch:** Mit dem natürlichen Gehör sind laufende Motoren, Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren nachts sehr gut und von weitem hörbar.
- **Optisch:** Von Auge sind brennende Lampen ausserhalb der Sicherheitsbeleuchtung sichtbar, Kontrolle der Präsenz- und Helligkeitssensoren. Sichtbar sind ebenfalls diverse Regel- und Steuergeräte mit leuchtenden Dioden, Displays, die Hinweise auf Stand-by/On-mode/Sleep-mode, etc. geben.
- **Elektrisch:** Laufende Zählerräder, Stecker-messbare Bürogeräte (EMU-Messgerät). Server, etc. sind ohne Unterbruch nicht messbar.
- **Thermisch:** Berühren von Hand, Oberflächenthermometer und Wärmebildkamera zum Aufspüren und Dokumentieren von laufenden Wärmesystemen (Warmwasser, Heizung, gewerbliche Kälte, etc.) und IR-Systeme im On-mode (Server, Router, Videokameras, Büroapparate, etc.), siehe z.B. Bilder 9 und 10.

Schritt 3: Nach der Begehung wurde ein neuer Lastgang für den Untersuchungstag erstellt und mit den typischen Lastgängen verglichen.

Schritt 4: Aufgrund der Beobachtungen (siehe Schritt 2 oben, Ergebnis siehe Tabelle 3) wurde der gemessene typische Lastgang mit den verfügbaren Stellgrössen (Bild 7) und Auswertungen des Gebäudeleitsystems (Bild 8) verglichen.

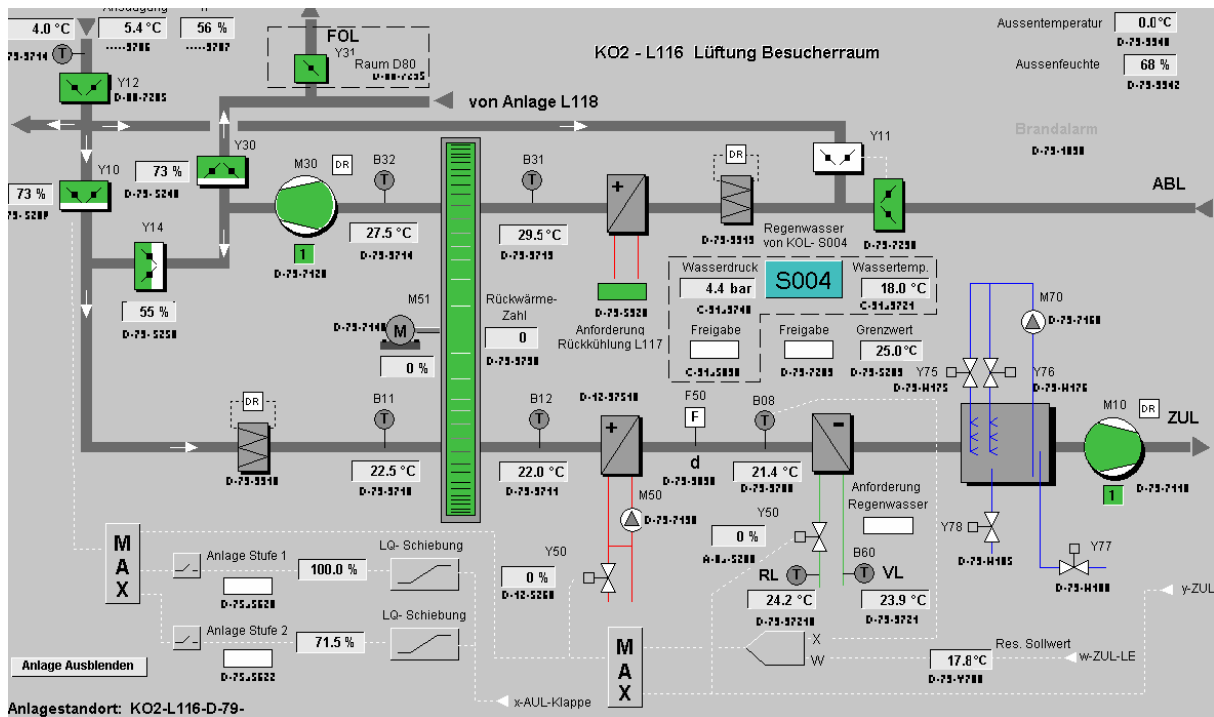


Bild 7: Ausschnitt Gebäudeleitsystem: Lüftung Besucherraum (Quelle Uni ZH)

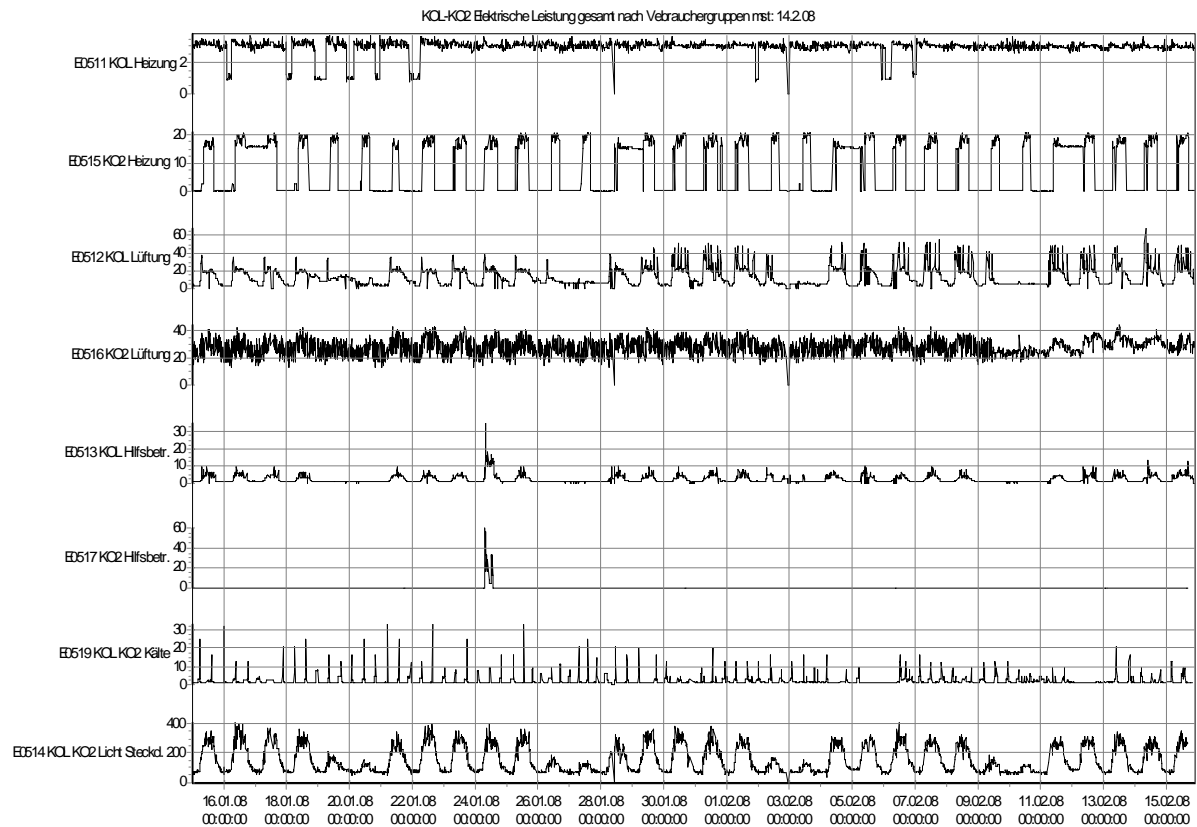


Bild 8: Ausschnitt Daten-Monitoring für Stellglieder, Volumenströme und elektrische Leistungen (Quelle: Uni ZH)

Im Einzelnen sind die Beobachtungen in den Tabellen 3 und 4 wiedergegeben.

Licht	Sicherheitsbeleuchtung in Treppenhäusern und Liftvorplätzen (dauernd an)
	Hinweisschilder der Fluchtwegbeleuchtung (dauernd an)
	Aussenbeleuchtung mit Wegbeleuchtung und Fassadenscheinwerfern (nach Schaltuhr und Helligkeitsmessung, teilweise durch Strassenbeleuchtung/Elektrizitätswerk gesteuert)
	Raum- und Korridorbeleuchtung (praktisch überall mit Helligkeits- und Präsenzsensoren ausgerüstet und abgestellt)
Informations-Technologie	Server für EDV Netzwerk für studentischen Email-Verkehr, Up- und Downloading von Daten(dauernd an)
	Router für WLAN und Mobiltelefone (samt zugehöriger Kälteanlage dauernd an)
	Video- und Audio-Unterrichtssysteme in Hörsälen (in Betrieb, unvollständig abgeschaltet)
	Gebäudeinformationssystem in Verkehrszonen PC (dauernd an)
	Büroarbeitsplätze wie PC, Bildschirme, Drucker, Kopierer (in Betrieb, unvollständig abgestellt)
Gebäudetechnik	Gewerbliche Kälte für Getränkeapparate, Kühlräume Cafeteria (dauernd an)
	Regenwasser-Sammelpumpe (läuft zur Speicherladung permanent)
	Kühlung EDV-Raum auf 23°C (statt 26°C - 28°C)
	Garagenlüftung (läuft teilweise auch nachts)
	Raumlüftung und -kühlung (Nachtbetrieb eigentlich reduziert oder abgestellt, Auswertung der Beobachtung noch pendent)
	Schaukastenlüftung (läuft nachts wegen Feuchteregelung)
Heizungs-Umwälzpumpen (ab)	

Tabelle 3: Beobachtung der nachts laufenden elektrischen Verbraucher



Bild 9
Haustechnik im UG

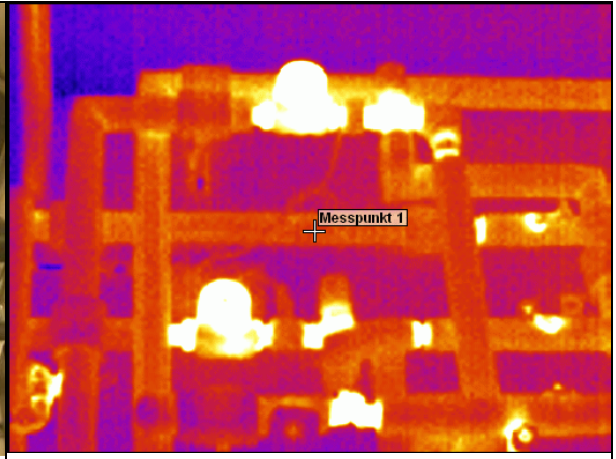


Bild 10
Wärmebild zeigt laufende Aggregate

Schritt 5: Die beobachteten Lastgänge und ihre Komponenten lassen sich auf die hauptsächlichsten Verbraucherkategorien zurückführen (siehe Bild 11 und Bild 12). Die Zuordnung erfolgte iterativ mit dem Ziel den gesamten gemessenen Sockelverbrauch zu detaillieren. Die Beobachtung und die Quantifizierung der Unterkategorien zeigen mit 115.6 kW von 120 kW (96%) eine noch nicht vollständig geklärte Struktur (siehe Bild 13). Die in den Bildern 11 bis 12 erwähnte Kategorie Hilfsbetriebe umfasst: Druckluftherzeugung, Druckerhöhungsanlagen, Regenwasseranlage, zum Teil gewerbliche Kühlung für die Cafeteria im Hauptgebäude, Hebebühnen, etc. Der Steckdosenverbrauch umfasst die gesamte dezentrale IT im Büro und Unterrichtsbereich sowie die Raumbelichtung.

Schritt 6: Auf Grund des beobachteten Ist-Zustandes wurden einzelne Verbraucher und typische Anlagensysteme auf ihren BoN-Anteil hin ausgewertet und ein diesbezügliches Reduktionspotenzial abgeschätzt (Tabelle 4). Die Analyse des Nachtsockels ist in Bild 14 und das Reduktionspotenzial in Bild 15 dargestellt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der beobachtete BoN-Verbrauch hauptsächlich durch Veränderungen der Software des Gebäudeleitsystems (bessere Sollwerte und genauere Abschaltkriterien, definiertes Nutzungs-Zeitfenster) und den Einsatz von einfachen Schaltuhren erfolgen kann.

Schritt 7 (geplant): In diesem Gebäudekomplex sind eine Reihe weiterer Analysen geplant, in denen vorwiegend Schaltuhren eingebaut und eingestellt sowie Stellgrößen der Regelung und der Steuerung beeinflusst werden sollen. Zudem soll das Ein-/Ausloggen der Benützerschaft am PC-Arbeitsplatz zur Feststellung eines aktiven Betriebes genutzt werden und bei anhaltender Inaktivität zentral abgeschaltet werden. Dadurch können auch BoN und Stand-by besser unterschieden werden.

Schritt 8 (geplant): Das Verminderungsergebnis soll ausgewertet und nach Möglichkeit durch Verbesserung der Regelung und Steuerung umgesetzt werden.

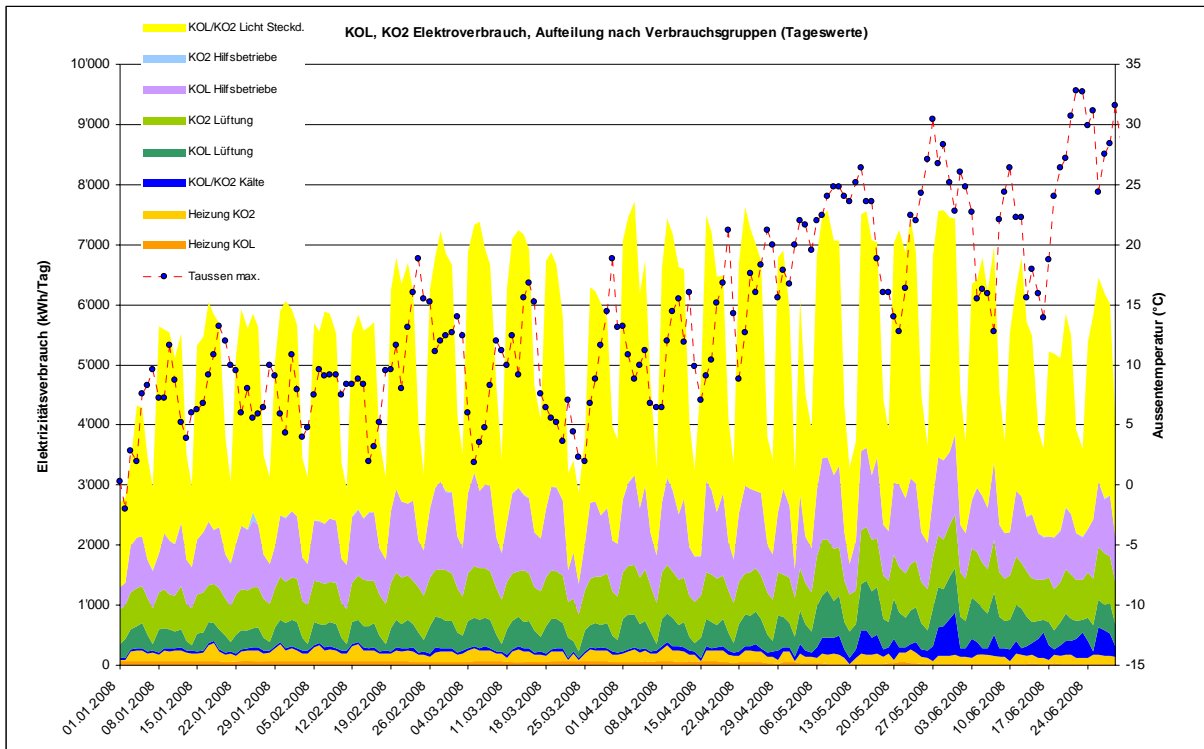


Bild 11: Tageswerte für das 1. Halbjahr 2008 für ein Hochschulgebäude in Zürich (Sichtbar ist Unterrichtsferien anfangs Jahr und steigender Kältebedarf mit steigenden Aussentemperaturen)

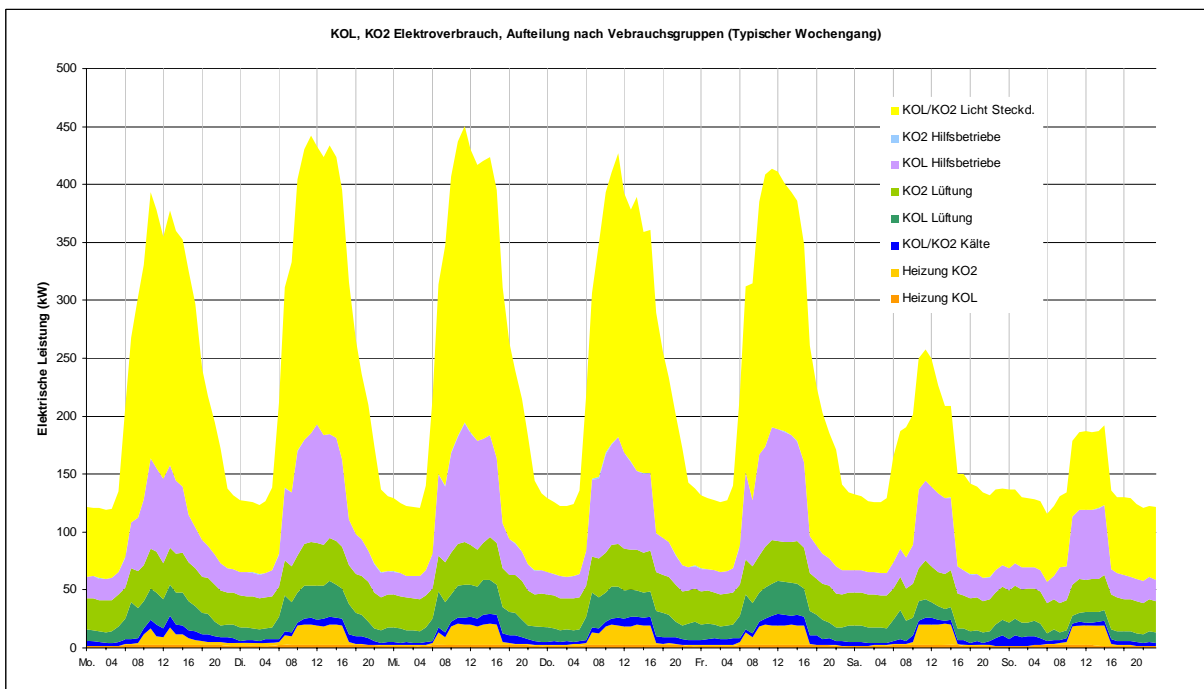


Bild 12: Typischer Wochengang im Juni 2008 für ein Hochschulgebäude in Zürich

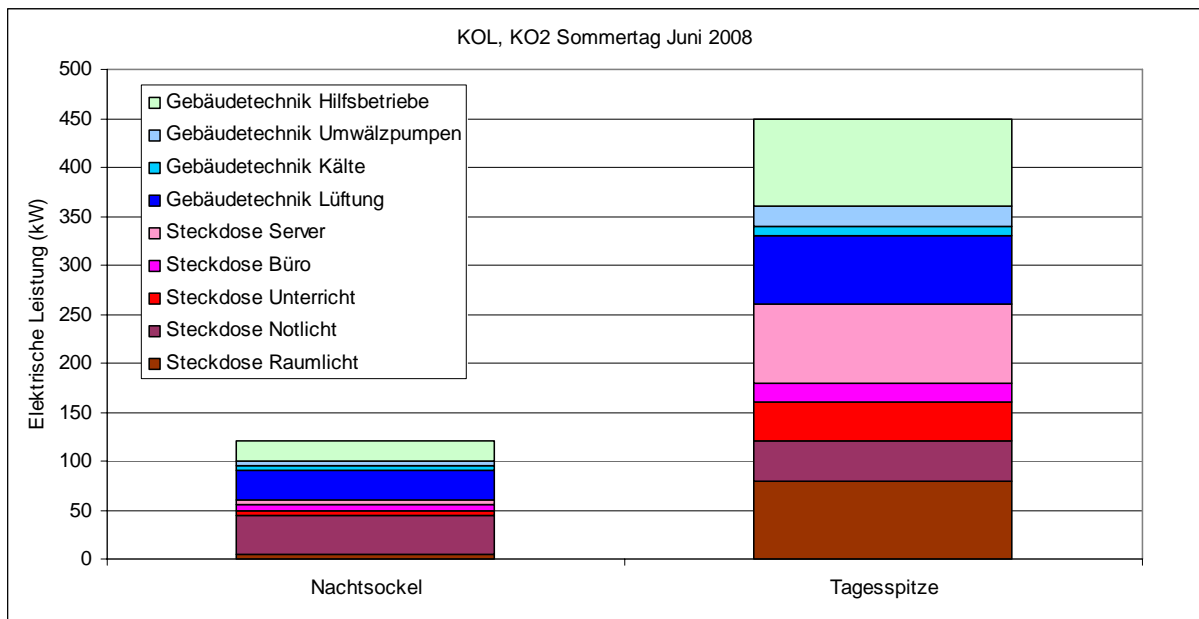


Bild 13: Mittlerer Nachtssocket und Tagesspitze im Juni 2008 für ein Hochschulgebäude in Zürich (Verhältnis 27%)

Zähler	Gebäude	Tableau-Nr.	Bezeichnung	Kommentar	Heizung kW	Lüftung kW	Kälte kW	Hilfs- betriebe kW	Licht- Steckd. kW	Offen kW	Reduktions potential kW	Massnahme
E533	KO2	L981	Museumslüftung	Vitrinenbelüftung durchgehend		13,5					10,0	Nachts abschalten
E534	KO2	L980	Div. Lüftung			9,0					5,0	Nachts reduzieren
E535	KO2	L983	Div. Lüftung			1,2						
E536	KO2	L986	Div. Lüftung, Hörsaal 118			0,1						
E541	KO2	L982	Hörsaal 180	Nachtauskühlung		5,5						
E511	KOL	E562	Heizungspumpen	Verbrauch je nach Aussentemp./ Heizungs ZB	1,9						0,5	Betrieb optimieren
E515	KOL	E539	Heizungspumpen		0,1							
E914	KOL		Turmrestaurant ZFV	Gewerbliche Kälte				3,0				
E565	KOL		zentrale Kälte				0,2					
E526	KOL	L986	Div. Lüftungen			1,0						
E531	KOL	US15	Div. Kältenetze				1,5					
E561	KOL	L971	Lüftung Lichthof+Trafostation			0,6						
E563	KOL	L970	Lüftung Technik			0,6						
E564	KOL	L985	Div. Lüftung			0,6						
E566	KOL	L976	Lüftg. Hörsäle u. Korridor	teilweise Nachtauskühlung		1,0						
E576	KOL	L973	Div. Lüftungen			0,6						
E577	KOL	L974	Div. Lüftungen			0,2						
E578	KOL	L975/979	Hörsäle			1,5						
E579	KOL	L987/US16	Div. Lüftungen			0,6						
E581	KOL	L978	Div. Lüftungen			0,2						
E525	KOL		Lift Turm					0,2				
E567	KOL		Schreinerei	Druckluftanlage usw				1,0				
E571-75	KOL		Div. Lifte					0,2				
E592	KOL		Cafeteria Lichthof +Rondell					4,0				
			ULK EDV-Raum			2,0						
	KOL+KO2		Licht und Steckdosen									
			Audio-Video-Anlagen Hörsäle	27 Hörsäle und Seminarräume mit 2400 Sitzplätzen					7,4		3,7	On mode, nachts ab (nur noch Standby)
			PC, Drucker, Kopiecenter	60 Büros mit 100 Arbeitsplätzen					15,0		10,0	On mode, nachts ab (nur noch Standby)
			Server + Router EDV	Div. Standorte					8,0		1,0	Volllast reduzieren, Harddisk Standby
			Notbeleuchtung Verkehrsflächen	2 Anlagen					11,0			
			Aussenscheinwerfer	Museumsbeleuchtung Karl Schmidstr.					2,0		1,0	Betriebsstunden reduzieren (Schaltuhr)
	KOL		Aussen-Treppenbeleuchtung						0,5			
	KOL+KO2		Umgebungsbeleuchtung	Vorplätze und Zugänge					6,0		2,0	Betriebsstunden reduzieren (Schaltuhr)
	KOL		unterirdische Vorfahrt/Anlieferung	Beleuchtungsanlage					4,0		3,0	nur Notbeleuchtung + autom. Zuschaltung
	KOL+KO2		Diverse Hilfsbetriebe	Brandmeldelanlage, Validierungssystem, Schliessenanlagen					3,0			
	KOL		Regenwasserpumpen					4,4			4,0	Pumpensteuerung repariert
	KO2		Druckluftanlage						4,0		2,0	Laufzeiten und Druck nachts reduzieren
Total Elektroverbrauch nachts und an Wochenenden					2,0	38,2	1,7	16,8	56,9	4,4	42,2	

Tabelle 4: Massnahmen zur BoN-Verminderung für ein Hochschulgebäude in Zürich, Reduktionsmöglichkeit 42.2 kW von total identifizierten 115.6 kW (36.5%)

Das vorläufige Ergebnis der Untersuchung des Pilotobjektes 1 zeigt eine relativ gute Analyse des Nachtbetriebs und ein identifiziertes Effizienzpotenzial von 36.5% des Nachtssockels (Tabelle 4 und Bild 15). Dazu sind drei Bemerkungen im Hinblick auf die Verallgemeinerung der Ergebnisse nötig:

1. Das Objekt wurde in den letzten 10 Jahren bereits detailliert untersucht und systematisch energetisch nach Kosten-/Nutzengrundsätzen im thermischen und elektrischen Bereich verbessert. Resteffizienzpotenziale sind vorhanden, vorwiegend im BoN-Bereich.
2. Es handelt sich um ein seltenes Objekt mit einer weitgehenden Instrumentierung und zentraler Auswertung. Damit ist ein guter Datendurchblick bis auf die Stufe einzelner Aggregate hinunter möglich.
3. Die Beobachtungen und die Analyse wurden - absichtlich - im Frühling bei milder Witterung, bei geringem Raumheiz- und -kältebetrieb angestellt. Es ist anzunehmen, dass bei diesen beiden Verbrauchergruppen während kalten resp. heissen Perioden, zusätzliche BoN Anteile identifiziert werden können, die ein Effizienzpotenzial von 50% ausmachen.

Die Verbesserungsmaßnahmen umfassen: Pumpenabschaltung (Wärme, Kälte, Regenwasser), Lüftungsabschaltung (Museumsvitрины), Aussenbeleuchtung (Schaltuhren) sowie Elektronik ganz vom Netz trennen (Hörsaal AV, Büro).

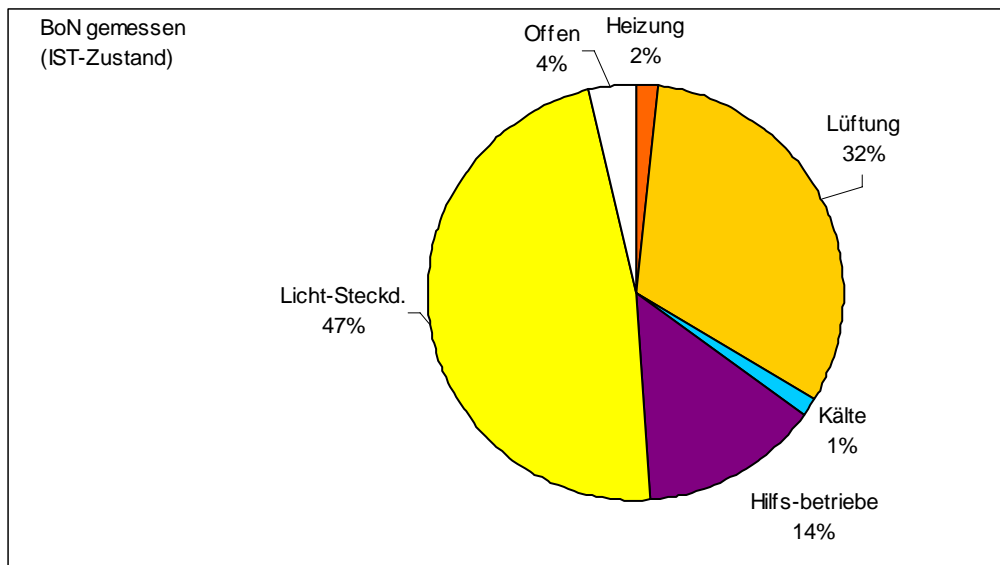


Bild 14: Nachtsockelanalyse für ein Hochschulgebäude in Zürich

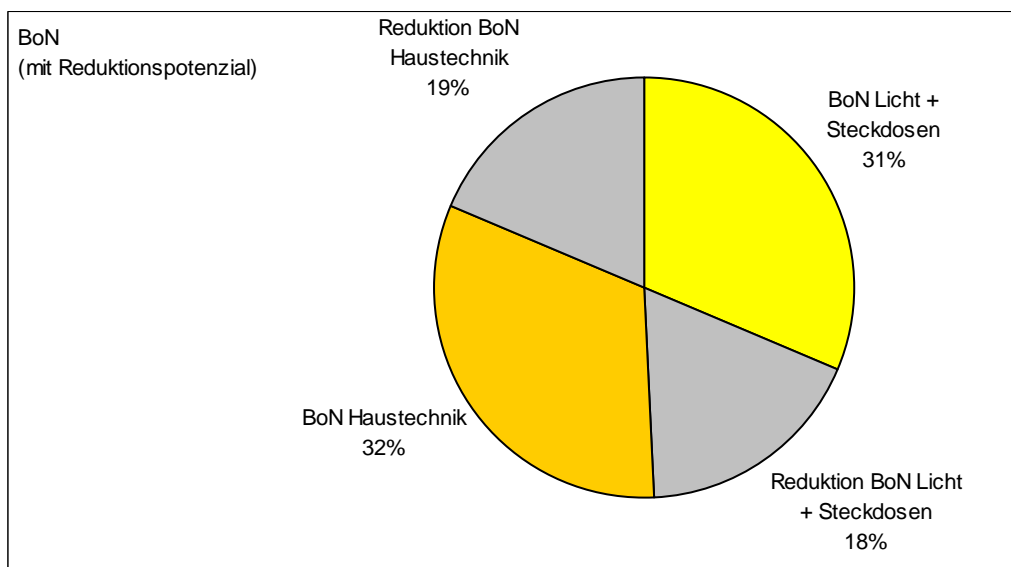


Bild 15: BoN Reduktionspotenzial für ein Hochschulgebäude in Zürich
Basis: Reduktion Haustechnik und Licht/Steckdosen der identifizierten Nachtverbraucher

PILOTOBJEKTE 2: DIENSTLEISTUNGS-GEBÄUDE IM KANTON BERN

Zusammen mit dem Elektrizitätswerk in Thun (Energie Thun AG) wurden einige grössere und typische Dienstleistungsgebäude im Berner Oberland ausgewählt. Die vorliegenden Lastgänge vom Mai 2008 wurden analysiert und die Nacht- und Wochenendsockel in Verbrauchskategorien aufgeteilt. In beiden vorliegenden Fällen (Bilder 16 und 17) mit eindeutigem Tagesbetrieb beträgt der Nachtsockel etwa 45% der typischen Tages-Leistung. Mit der genaueren Analyse sollen schrittweise BoN-verdächtige Anlagen identifiziert werden.

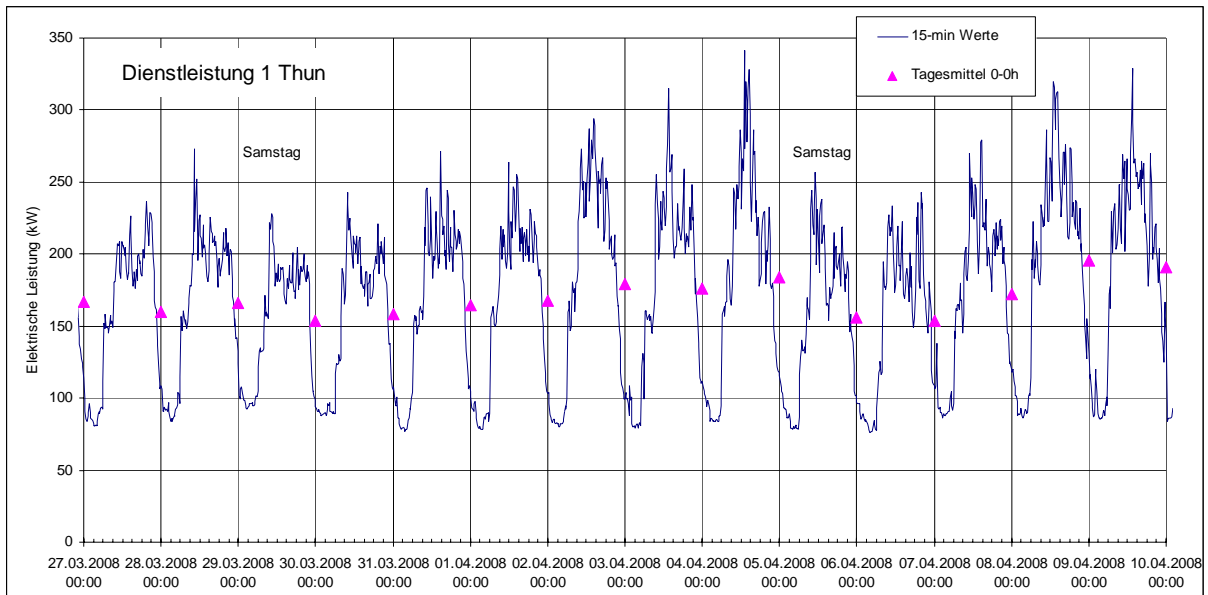


Bild 16: Wochenlastgang im Mai 2008 für ein Dienstleistungsgebäude (Hotel-/Restaurant)
 Nachtverbraucher 80 kW: Restaurant gewerbliche Kälte, Minibars, Telefonzentrale, Sicherheitsanlagen, Sicherheitsbeleuchtung, Server, Router

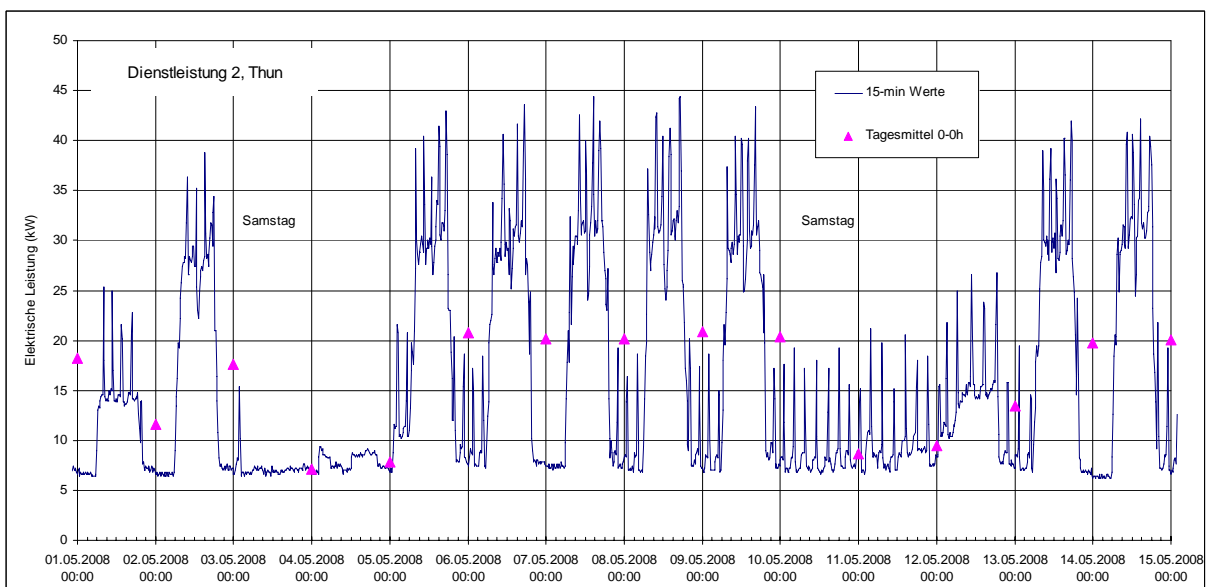


Bild 17: Wochenlastgang im Mai 2008 für ein Dienstleistungsgebäude (Bank und Büro)
 Nachtverbraucher 7 kW: Sicherheitsanlagen, Schaufenster, IT-Systeme (zentraler Server, PC und Peripherie), Sicherheitsbeleuchtung

PILOTOBJEKT 3: BÜROGEBÄUDE BRUGG

Das Bürogebäude in Brugg weist einen relativ hohen Sockel von ca. 12 kW auf (Bild 18). Die in der Leistungsaufnahme vom Netz zu bemerkenden Unterschreitungen sind auf die gebäudeinterne Einspeisung der Photovoltaik-Anlage zurückzuführen. Sie lassen die Gesamt-Leistungsaufnahme nur an Feiertagen unter 11 kW sinken. Da die Photovoltaik-Anlage nicht separat gemessen wird, enthalten die Tageslasten immer bereits die eingespeiste Leistung, sie wären also effektiv bis zu max. 17 kW höher. Bei fehlender Sonneneinstrahlung ergeben sich entsprechend höhere Tageslasten bis 50 kW. Für die allgemeine Netzbelastung sind naturgemäss solche netzparallele PV-Anlagen in Bürogebäuden sehr interessant, weil sie zu den Tagesspitzenlastzeiten das Netz direkt vor Ort entlasten.

Eine Analyse der BoN Lasten bzw. Geräte steht noch aus; es dürfte sich vor allem um Lüftungsanlagen und Hilfsenergie Heizung handeln.

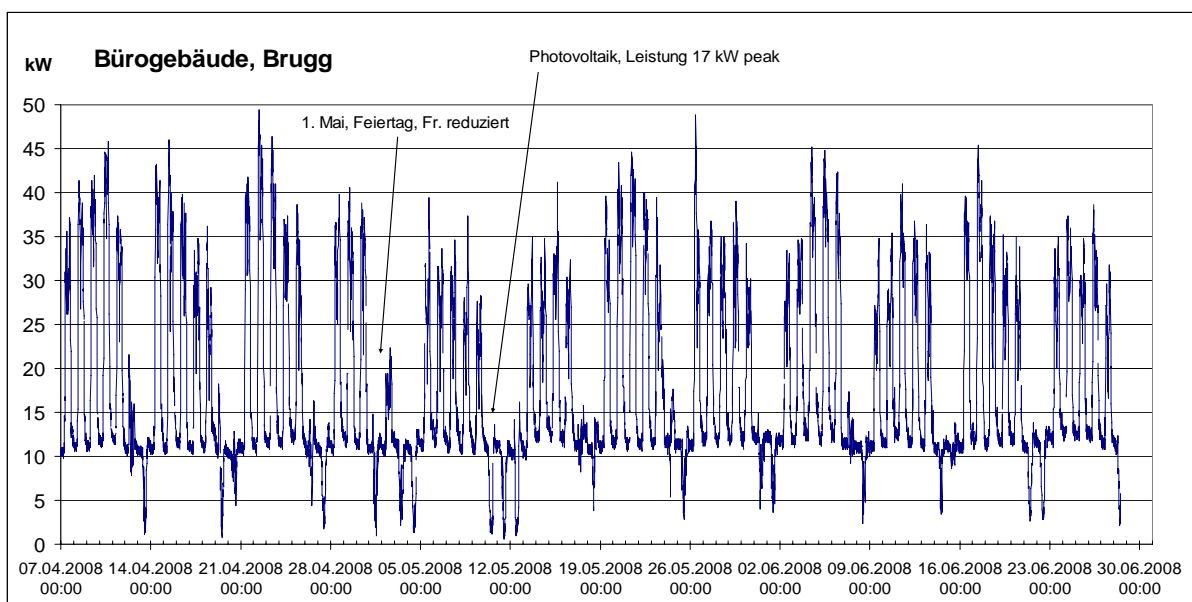


Bild 18: Lastgänge Bürogebäude Brugg mit PV-Anlage, April bis Juni 2008
 Nachtverbraucher 12 kW: Server, PC und Peripherie, Sicherheitsbeleuchtung

PILOTOBJEKTE 4: MITTELSCHULEN IM KANTON ZÜRICH

Das EKZ hat uns Datenzugang zu einer Reihe von mittleren und grösseren Schulen im Kanton Zürich (ohne Stadt Zürich) mit je rund 1 GWh/a elektrischem Verbrauch verschafft (Tabelle 5), bei denen vor allem das Verhältnis Nachtsockel zu Tagesmittel und Spitzenlast im Vordergrund der Analyse stand.

Bei den ausgewählten Objekten handelt es sich im Allgemeinen um Mittelschulen und Fachhochschulen sowie Sportanlagen. Bei all diesen Anlagen kann der Betreiber als bezahlte Zusatzleistung online seine elektrischen Last- und Verbrauchsdaten einsehen. Bis jetzt sind dabei noch keine vertieften Untersuchungen erfolgt. Immerhin kann aus der Tatsache, dass die Schulen grössere Schwachlastperioden (Schulferien, Feiertage) und im allgemeinen einen stark verminderten Sonntagsbetrieb aufweisen, auf den mutmasslichen BoN-Anteil am Sockelverbrauch geschlossen werden. Einige dieser Objekte sollen in der zweiten Phase genauer analysiert werden.

Kanton	Daten 2006/07	Ort	W	E	B
Zürich		Nutzung	Hochschule	Schul- und Sportanlagen	Kantonsschule
Verbrauch	Gesamt	GWh/a	1,21	0,93	1,07
	Sommer HT	GWh/a	0,31	0,16	0,36
	Sommer NT	GWh/a	0,26	0,19	0,17
	Winter HT	GWh/a	0,36	0,31	0,39
	Winter NT	GWh/a	0,27	0,27	0,15
	h/a peak	h/a	3'844	2'230	2'677
Leistung	Max. Leistung	kW	314	417	400,8
	Datum Peak		Januar	Oktober	August
	Tag normal	kW	290	320	320
	Sockel Nacht	kW	120	50	50
	Tag Wochenende	kW		100 - 120	70 - 100
	Sockel/Tag	%	41,4%	15,6%	15,6%
Kosten	Gesamt	k CHF/a	119	98	111
	Leistung	k CHF/a	25	25	32
	Arbeit	k CHF/a	93	72	78
	Gebühr	k CHF/a	1	1	1
	Mittelwert	CHF/kWh	0,099	0,105	0,103

Tabelle 5: Untersuchte Mittel- und Hochschulen im Kanton Zürich (Datenquelle EKZ)

ZUSAMMENFASSUNG GEBÄUDEUNTERSUCHUNGEN

Die bisherigen sieben Fallstudien haben erlaubt, die BoN-Definition zu klären und die Abgrenzung zu BmN und Stand-by zu verbessern. Da bisher erst quantitative Aussagen über einen grösseren Gebäudekomplex vorliegen, erlauben sie noch keine Verallgemeinerungen für den gesamten Gebäudepark resp. den präzisen elektrischen Energieverbrauch für BoN und dessen Effizienzpotenzial. Immerhin lassen sie eine Abschätzung der Grössenordnung zu und erlauben eine Zielsetzung für die anzustrebende BoN-Verminderung.

Im grössten Gebäudekomplex der vier untersuchten Gebäudegruppen konnte auf eine fast vollständige Instrumentierung (Gebäudeleitsystem, dezentrale Privatzähler) zurückgegriffen werden. Dies hat die Untersuchung wesentlich beschleunigt und die Datenlage verbessert. Ein Effizienzpotenzial von 36,5% im Nachtsockel wurde identifiziert, das unter Berücksichtigung jahreszeitlicher Phänomene auf 50% geschätzt wird. In den anderen drei Gebäudegruppen waren lediglich Jahresverbrauch und -kosten sowie Tages- und Wochengangmessungen der gesamten elektrischen Leistung verfügbar. Diese Daten sind erst mit Begehungen (Tag und Nacht) sowie durch intensive Gespräche mit den Gebäudebetreibern und Dokumentenanalysen einigermaßen aufschlüsselbar. Bei grossen und komplexen Anlagen mit mehreren Gebäuden zeigt sich, dass die vorhandenen Gebäudeinstallationen (Installationsschema, Pläne, Verteilkasten) sehr schwer interpretierbar und teilweise dezentrale Messungen aus Platzgründen fast unmöglich sind.

Das Verhältnis des mittleren Nachtsockels zum Tagesmittelwert beträgt bei den untersuchten nicht repräsentativen Objekten DL-Gebäuden zwischen 15% und über 40%. Ausnahme nach unten ist das PV-unterstützte Gebäude in Brugg, wo der Tageswert an sonnigen Tagen negativ ist. Ausnahme nach oben ist die Gesamtlast der Universität Zürich, wo der Nachtsockel wegen grossen naturwissenschaftlichen Labors, etc. über 50% liegt. Beide Werte liegen aber deutlich unter dem im schweizerischen Netz (ohne Abzug der Pumpspeicherung und der Elektrowärme) gefundenen Wert der Werktage von 70% resp. 83%, wobei bei diesen letzten Werten der absolute Tagesminimalwert der absoluten Tagesspitze gegenübergestellt wurde.

in Bild 19 wird ein synthetisches Bürogebäude berechnet, bei dem aus dem elektrischen Jahresverbrauch die einzelnen Anwendungen auf einen typischen Tageslastgang an einem Werktag verteilt sind. Damit kann der BoN mit der grauen Fläche besonders stark im Nachtsockel und über Mittag gezeigt werden.

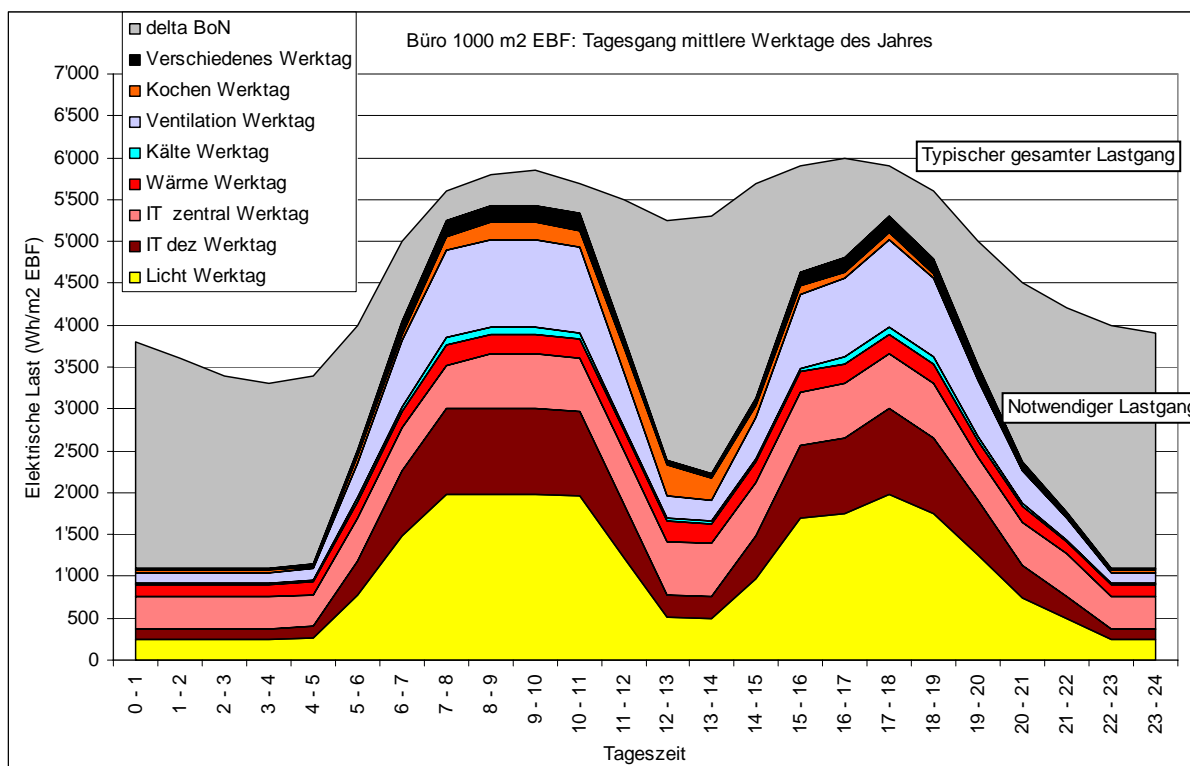


Bild 19: Schematischer Lastgang eines Werktages in einem typischen Bürogebäude mit 1'000 m2 EBF und E_e 300 MJ/(m2 a): Nachtminimum ist 55% des Tagesmaximum, BoN (graue Fläche).

Ein erreichbares Ziel ist es in einem ersten Schritt, den Nachtsockelverbrauch in seine hauptsächlichen Verbrauchsanteile aufzuteilen. In einem zweiten Arbeitsschritt ist das Ziel, steuerungs- und regeltechnische Massnahmen zu erarbeiten, um etwa die Hälfte des Sockelverbrauchs schrittweise zu eliminieren. Die dazu notwendige „intelligente Technik“ für adaptive Regel- und Steuerungsgeräte und Systeme ist vorhanden und kann genutzt werden:

- Ein Fernsehgerät, das merkt, wenn keiner schaut und abstellt (Präsenzmelder),
- eine Heizungs-Umwälzpumpe, die reagiert, wenn kein Wärmebedarf vorhanden ist und abstellt (Signal von der Heizungsregelung oder temperaturdifferenzabhängige Pumpensteuerung),
- eine Lüftungsanlage, die registriert, wenn kein Nutzer da ist (Präsenzmelder) und abstellt,
- Ein zentrales Datenverarbeitungsnetz, das eingeloggte, aber inaktive PC erkennt und samt Peripherie abschaltet,
- eine Beleuchtungsanlage, die registriert, dass keiner da ist und abstellt (Helligkeits- und Präsenzmelder).

In erster Näherung kann der BoN-Verbrauch an elektrischer Energie folgenden drei hauptsächlichen Kategorien zugeordnet werden (Tabelle 6):

- Zeitliche Anpassung an Bedarf,
- Anpassung an verminderten Bedarf,
- Erkennung der Präsenz von Personen.

Nr.	Kategorie	Gruppe	Beispiel	Abhilfe
1a	Zeitliche Anpassung an Bedarf	Fehlende saisonale Automatik	Heizung Umwälzpumpen im Sommer, Warteraumheizung Bahnhöfe	Lastabhängige Abschaltung (Temperatur- bzw. -Differenzmessung mit Grenzwert)
1b		Fehlende tageszeitliche Automatik	Treppenhauslicht im Mehrfamilienhaus	Schaltuhr mit Tagesprogramm
1c		Fehlende wochenzeitliche Automatik	Bürohaus oder Schule mit Toilettenlüftung am Wochenende	Schaltuhr mit Wochenprogramm, Präsenzmelder
2a	Anpassung an verminderten Bedarf	Haushalt	Komfortlüftung bei Abwesenheit	Präsenzmelder oder Tagesprogrammierung für reduzierten Betrieb
2b		Büro	Einzelne und gruppierte Server und Rechenzentren reagieren auf geringeren Datenverkehr PC und Peripherie wird im Leitsystem erkannt	Hierarchische Leistungsanordnung und -bewirtschaftung Zentrale Abschaltung wenn kein Datenverkehr vorhanden
3a	Erkennung der Präsenz von Personen	Haushalt	TV läuft ohne Zuschauer	TV mit Präsenzmelder
3b		Verkehr	Anzeigetafeln laufen ohne Züge	Abschalten mit Schaltuhr nach Fahrplan
3c			Rolltreppen in Bahnhöfen	Kriechgang und Start mit Präsenzmelder
3d		Büro	Büro Raum- und Verkehrs-zonenbeleuchtung	Präsenz- und Helligkeitssensor, Minimale Orientierungsbeleuchtung in Verkehrszonen (plus Fluchtwege)
3e		Handel	Schaufensterbeleuchtung nachts	Minimallicht plus Präsenzmelder

Tabelle 6: Drei Hauptkategorien von BoN-Phänomenen

Neue intelligente Geräte können schrittweise und gezielt in den Markt der Gebäudetechnik eingeführt werden. Integrierte Systeme (z.B. Wärme/Kälte/Pumpen, etc.), wie sie in Gebäudeleitsystemen und in der Mess-, Regel- und Steuertechnologie üblich sind, sind dazu eine wichtige Voraussetzung und müssen entsprechend programmiert werden.

4. Vergleich und Synthese Bottom-up und Top-down

BON NACHT

Wir haben aufgrund der Top-down-Analyse (Kapitel 2) und diverser beobachteter und einzelner gemessener Gebäudeobjekte im Bottom-up (Kapitel 3) heute die Vermutung, dass **ungefähr die Hälfte des Nachtsockels** eines einzelnen Objektes (mit 1-schichtigem Betrieb, also der grossen Mehrheit im Dienstleistungsbereich) und **etwa die Hälfte des gesamtschweizerischen Nachtsockels** BoN sind (nach Abzug der Nachtauladung von Elektroheizungen und elektrischen Wasserverwärmern sowie Pumpspeicherung und Stand-by), d.h. zu dieser Zeit nicht genutzte elektrische Anlagen umfassen (Tabelle 7 und Bild 20). Wenn für den gesamten elektrischen Verbrauch der Schweiz das Wochenende (Samstag/Sonntag), Betriebsferien und Feiertage dazu genommen werden, sind die gesamten BoN-Zahlen noch grösser.

Mit heute vorhandener Messtechnik ist BoN erfassbar und schrittweise mit dem Einsatz intelligenter Technologie für Steuerung und Regelung zu einem grossen Teil eliminierbar.

Nachtsockel	Einheit	Ist Zustand	Soll Zustand	Reduktions-Potenzial
Pumpspeicherung	TWh/a	1,7	1,7	0,0
Elektrospeicherheizung	TWh/a	2,0	2,0	0,0
Elektro Warmwasser	TWh/a	1,5	1,5	0,0
Standby	TWh/a	0,7	0,7	0,0
netto Nachtsockel (BoN & BmN)	TWh/a	9,4	4,7	4,7
Total	TWh/a	15,3	10,6	4,7
	%	100%	69%	31%

Tabelle 7: Nachtsockel: Abschätzung Anteil BoN

Rund 22% dieses Nachtsockels, resp. des entsprechenden schweizerischen Reduktionspotenzials, kann dem Dienstleistungssektor zugezählt werden.

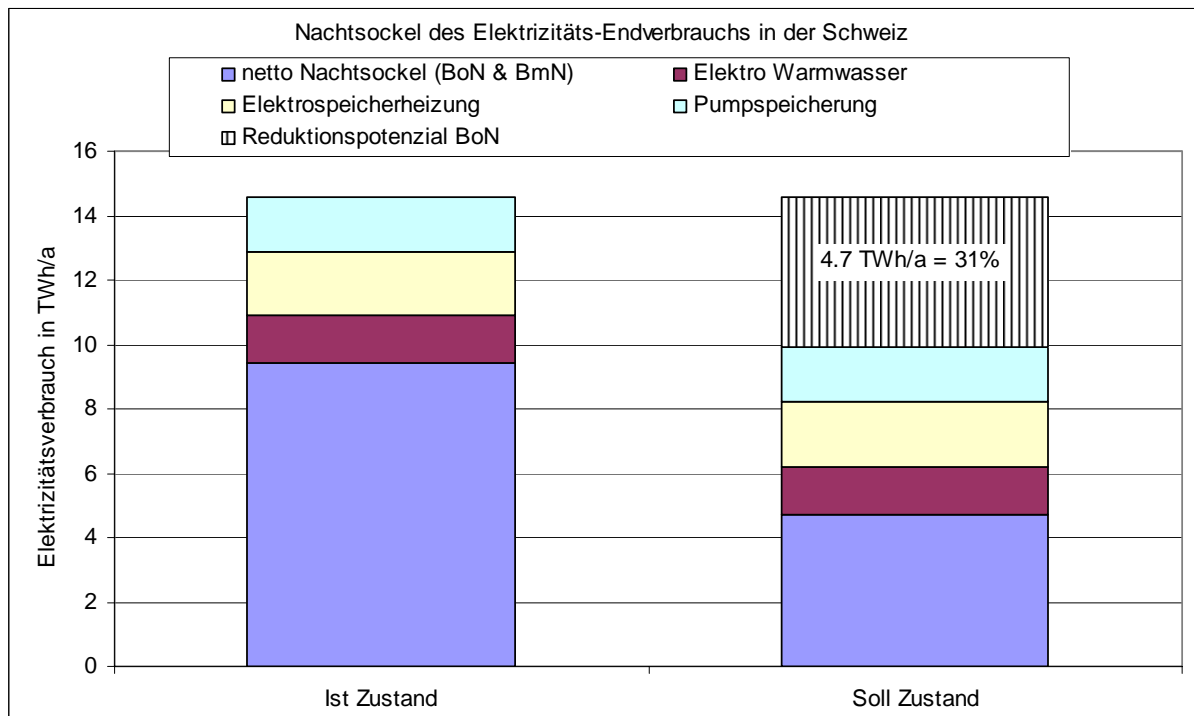


Bild 20: Nachtsockel: Abschätzung Anteil BoN

BON TAG

Mit einer Vermeidung resp. Verminderung von BoN im Nacht- und Wochenendsockel kann ein Effizienzpotenzial ohne Komforteinbusse für unnötigen Elektrizitätsverbrauch in der Schweiz bei allen

Sektoren angezapft werden, das rund 4.7 TWh/a ausmacht. Die Erfassung von BoN-Anteilen am Tag ist schwieriger, weil in der Regel eine Nutzung vorhanden ist, welche den Verbrauch ganz oder teilweise/zeitweise begründet. Bei vielen Anwendungen besteht aber keine durchgehende Nutzung und viele Anlagen berücksichtigen die tatsächliche Nutzung nicht oder nur rudimentär.

Die relative Bedeutung von BoN am Tag ist kleiner, die absolute Bedeutung ist etwa gleich gross wie in der Nacht. Aufgrund des Bottom-up schätzen wir die mittlere elektrische BoN-Dauerleistung am Tag etwa halb so gross (aber während der doppelten Betriebsdauer von 16 h/d) wie in der Nacht (während 8 h/d). Der elektrische Energieverbrauch für BoN am Tag ist somit etwa gleich gross wie in der Nacht. D.h. es können durch Vermeidung und Verminderung von BoN am Tag in allen Sektoren ein Teil der 4.7 TWh/a eingespart werden.

Rund 30% des Tag-BoN, resp. des entsprechenden Reduktionspotenzials, kann dem Dienstleistungssektor zugeordnet werden.

BON TAG UND NACHT

Über den 24 Stunden-Tag resultiert ein BoN von 9.4 TWh/a in allen Sektoren, d.h. ein Teil der so identifizierten 16% des gesamten elektrischen Endverbrauchs können eingespart werden (Tabelle 8 und Bild 21).

Gesamter Endverbrauch	Einheit	Ist Zustand	Soll Zustand	Reduktions-Potenzial
Nacht BmN	TWh/a	5,9	5,9	0,0
Tag BmN	TWh/a	32,7	32,7	0,0
Nacht BoN-Potenzial	TWh/a	9,4	4,7	4,7
Tag BoN-Potenzial	TWh/a	9,4	4,7	4,7
Total Tag und Nacht	TWh/a	57,4	48,0	9,4
	%	100%	84%	16%
Total BoN-Potenzial	TWh/a	18,8	9,4	9,4
	%	100%	50%	50%

Tabelle 8: Gesamter Endverbrauch: Abschätzung Anteil BoN

Rund 2.4 TWh/a (22% Nacht- und 30% Taganteil) dieses als BoN identifizierten elektrischen Energieverbrauchs, resp. des entsprechenden Reduktionspotenzials, kann dem Dienstleistungssektor zugezählt werden.

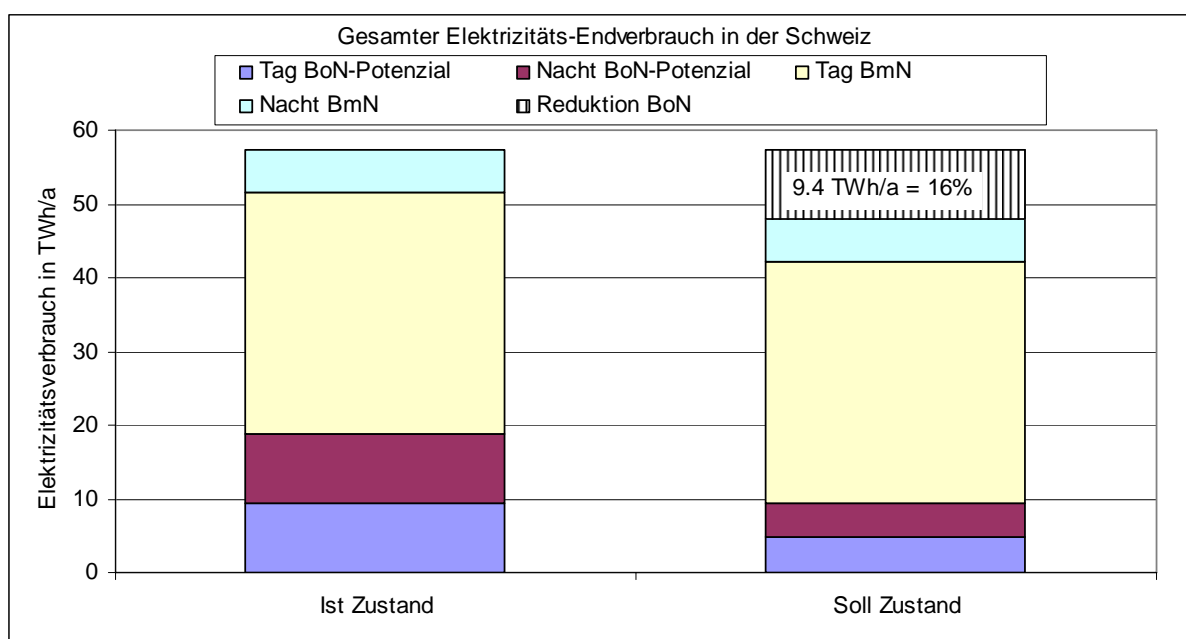


Bild 21: Gesamter elektrischer Endverbrauch: Abschätzung Anteil BoN

5. Weitere Untersuchungen

Erwartungsgemäss konnte in dieser ersten Phase der Untersuchung nur ein erster systematischer Überblick und ein definitorischer Rahmen für das Phänomen BoN geschaffen werden. Das ist nach unserer Auffassung gelungen. Viele Phänomene haben sich in der Gebäudeuntersuchung anschaulich vor Ort präsentiert.

In einer zweiten Untersuchungsphase müssen sowohl das Top-down Modell wie auch die Bottom-up Untersuchungen vertieft und die Aussagen vor allem zum Effizienzpotenzial konkretisiert und besser quantifiziert werden.

Top-down

Quantifizierung und Aufschlüsselung der saisonal typischen Tagesgänge im Schweizer Elektrizitätsnetz und in einigen gut definierten Regional-/Stadtversorgungsnetzen; Erfassung des Tages-/Nachtverlaufs von Pumpspeicherung, Elektroheizung und -warmwasser. Analyse von BoN ausserhalb der Werktage: Wochenende, Feiertage und Betriebsferien. Kosten-/Nutzenmodell: Was bedeutet/bringt reduzierte BoN-Last am Tag und nachts?

Bottom-up

Einige der bereits vorhandenen Gebäudedaten (Lastgänge) müssen durch Begehungen, Gespräche mit Anlagebetreibern und Dokumentenanalyse konkreter analysiert werden. Gebäude mit vorhandener Instrumentierung (Unterzähler, Gebäudeleitsysteme, etc.) sind selten, teilweise sind temporäre (oder permanente) Untermessungen nötig. In einigen Fällen sind dezentrale Messungen mit mobilen Geräten z.B. für einen Wochengang möglich und nötig. Stand-by-Elemente und Teillastbetriebe müssen klarer von BoN abgegrenzt werden. Zusätzlich muss auch Tag-BoN identifiziert und reduziert werden.

Referenzen

- [1] SWEP: Strombörse Schweiz bei der Energiegesellschaft Laufenburg EGL (www.egl.ch)
- [2] Jürg Nipkow et al.: Stand-by Verluste, Zürich 2007
- [3] UCTE: Mittwochswerte Lastgang Schweiz 2007/08
<http://www.ucte.org/publications/monthlystats/>
- [4] Heini Glauser und Giuseppina Togni: Energieverbrauch der Elektroheizung, Analyse aufgrund der Temperaturabhängigkeit, 2004
- [5] Peter Hofer, Prognos: Niveau und Entwicklung des Elektrizitätsverbrauches ohmscher Widerstandsheizungen in den privaten Haushalten, Basel 2007
- [6] Conrad U. Brunner, J. Nipkow, U. Steinemann: Bauen, wenn das Klima wärmer wird, Zürich, 2008
- [7] BFS: Schweizerische Arbeitskräfteerhebung (SAKE) 2005, Bern 2006
- [8] Bernhard Aebischer, CEPE ETH-Z: Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft 1990 - 2035 (BFE Energieperspektiven), Zürich 2007
- [9] BFE: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2007, Bern 2008
- [10] BFE/Helbling: Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor, Resultate 2006, Bern 2007
- [11] European Energy Exchange EEX: Strombörse Leipzig (www.eex.com)
- [12] Bernhard Brechbühl, et al.: Energiekennzahlen Universität Zürich von 1976 - 2006, Zürich 2007

Literatur

- [13] Basics, CEPE, Infrac, Prognos (BFE) : Analyse des Schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2006 nach Verwendungszwecken, Basel April 2008
- [14] Prognos, Infrac, CEPE, Basics: Analyse des schweizerischen Energieverbrauches 2000 - 2006 nach Verwendungszwecken, Bern 2008
- [15] Martin Jakob, Dario Aiulfi, et al.: Stromverbrauch in Bürogebäuden, Erhebung, und Analyse von Energiekennzahlen, in: Status-Seminar „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen“, Zürich 2008

- [16] Conrad U. Brunner, Bernhard Brechbühl, Heini Glauser, Jürg Nipkow, Urs Steinemann. Betrieb ohne Nutzen, in: Statusseminar „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen“ Zürich, September 2008
- [17] Bernhard Brechbühl: Denkmalschutz, Energieeffizienz, Nachhaltigkeit - Kein Widerspruch, Gesamtrenovation Hauptgebäude Universität Zürich-Zentrum, in: Schweizer Energiefachbuch, Zürich 2008

Dank

Die Autoren danken dem BFE und dem EKZ für die Unterstützung der Arbeit, der Universität Zürich, der Metron Brugg und der Energie Thun AG für das Interesse an unserer Forschungsarbeit, für den Datenzugang und die Unterstützung vor Ort.