

# **Intelligentes Energiemanagement in kleinen und mittleren Unternehmen**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften

(Dr. Ing.)

von der KIT-Fakultät für Wirtschaftswissenschaften  
des Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl. Ing. Johannes Winter

Tag der mündlichen Prüfung: 24.07.2014

Referent: Prof. Dr. H. Schmeck

Korreferent: Prof. Dr. W. Fichtner



## ***Danksagung***

An dieser Stelle ist es mir sehr wichtig meinem Doktorvater Herrn Prof. Hartmut Schmeck ganz herzlich zu danken. Er ermöglichte mir diese Arbeit zu verfassen, schenkte mir die Zeit die nötigen Diskussionen zu führen und stand mir immer mit einem Rat oder einer Anregung zur Seite.

Von den vielen Personen die mich unterstützten, wie meine Eltern, Geschwister und Freunde möchte ich vor allem Thomas, Magdalena, Michael, Stefan, Timo und Sonja nennen, die mit ihren Diskussionen und Korrekturen mir die Arbeit erleichterten und mich immer wieder neu motivierten.

Der Dank gilt auch den Kollegen des AIFB, die mich als „Externen“ in ihren Kreis aufgenommen haben, der systemplan gmbh und Herrn Hager.

Abschließend möchte ich noch Christina danken, ohne die diese Arbeit und deren Verwirklichung nicht möglich gewesen wäre.

Rheinstetten, im September 2014

Johannes Winter

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage und Problemstellung .....	3
1.2	Zielsetzung .....	6
1.3	Wesentliche Beiträge dieser Arbeit.....	8
1.4	Aufbau der Arbeit.....	9
<b>2</b>	<b>Rahmenbedingungen des aktuellen Energiemanagements bei KMU .....</b>	<b>11</b>
2.1	Stromversorgung in Deutschland .....	11
2.2	Energiewende .....	14
2.3	Forschungsprojekt MeRegio.....	18
2.4	Aktuelle steuerliche Regelungen und Gesetze.....	22
2.4.1	<i>Energiekostenreduzierung durch die besondere Ausgleichsregelung (§41 EEG) [Bun08].....</i>	<i>23</i>
2.4.2	<i>Stromsteuer und Spitzenausgleich (§ 9b StromStG / § 10 StromStG / § 55 EnergieStG) .....</i>	<i>24</i>
2.4.3	<i>EnWG § 14a Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen in Niederspannung.....</i>	<i>28</i>
2.5	Aktuelle Normen.....	29
2.5.1	<i>DIN EN ISO 50001.....</i>	<i>29</i>
2.5.2	<i>DIN EN 16247.....</i>	<i>31</i>
<b>3</b>	<b>Potenziale der Energieeffizienz und Lastverschiebung .....</b>	<b>34</b>
3.1	Unternehmen 1: Werkzeugbau.....	36
3.1.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten .....</i>	<i>37</i>
3.1.2	<i>Energieeffizienzpotenzial .....</i>	<i>40</i>
3.1.3	<i>Lastverschiebungspotenzial.....</i>	<i>42</i>
3.2	Unternehmen 2: Bauunternehmen .....	48



---

3.2.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten</i> .....	48
3.2.2	<i>Energieeffizienzpotenzial</i> .....	52
3.2.3	<i>Lastverschiebungspotenzial</i> .....	56
3.3	Unternehmen 3: Stahlbau .....	58
3.3.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten</i> .....	58
3.3.2	<i>Energieeffizienzpotenzial</i> .....	62
3.3.3	<i>Lastverschiebungspotenzial</i> .....	64
3.4	Unternehmen 4: Elektronik .....	68
3.4.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten</i> .....	69
3.4.2	<i>Energieeffizienzpotenzial</i> .....	71
3.4.3	<i>Lastverschiebungspotenzial</i> .....	76
3.5	Unternehmen 5 : Härterei .....	77
3.5.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten</i> .....	78
3.5.2	<i>Energieeffizienzpotenzial</i> .....	81
3.5.3	<i>Lastverschiebungspotenzial</i> .....	83
3.6	Unternehmen 6 : Lebensmittelgroßhandel .....	85
3.6.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten</i> .....	85
3.6.2	<i>Energieeffizienzpotenzial</i> .....	89
3.6.3	<i>Lastverschiebungspotenzial</i> .....	90
3.7	Unternehmen 7 : Härterei .....	93
3.7.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten</i> .....	93
3.7.2	<i>Energieeffizienzpotenzial</i> .....	97
3.7.3	<i>Lastverschiebungspotenzial</i> .....	99
3.8	Öffentliche Einrichtung 1: Hallenbad .....	103
3.8.1	<i>Vorstellung und Besonderheiten</i> .....	103
3.8.2	<i>Energieeffizienzpotenzial</i> .....	106
3.8.3	<i>Lastverschiebungspotenzial</i> .....	110

---

3.9	Öffentliche Einrichtung 2: Kläranlage .....	112
3.9.1	<i>Vorstellung des Unternehmen und Besonderheiten .....</i>	<i>113</i>
3.9.2	<i>Energieeffizienzpotenzial .....</i>	<i>116</i>
3.9.3	<i>Lastverschiebungspotenzial .....</i>	<i>118</i>
<b>4</b>	<b>Kombinationen der Potenziale für einen effizienten Lastgang .....</b>	<b>120</b>
4.1	Statistische Auswertung der Daten .....	121
4.2	Unternehmen 1: Werkzeugbau .....	124
4.2.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung .....</i>	<i>124</i>
4.2.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich .....</i>	<i>126</i>
4.2.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens .....</i>	<i>126</i>
4.3	Unternehmen 2: Bauunternehmen .....	128
4.3.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung .....</i>	<i>128</i>
4.3.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich .....</i>	<i>129</i>
4.3.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens .....</i>	<i>130</i>
4.4	Unternehmen 3: Stahlbau .....	131
4.4.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung .....</i>	<i>131</i>
4.4.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich .....</i>	<i>133</i>
4.4.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens .....</i>	<i>135</i>
4.5	Unternehmen 4: Elektronik .....	136
4.5.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung .....</i>	<i>136</i>
4.5.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich .....</i>	<i>140</i>
4.5.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens .....</i>	<i>141</i>
4.6	Unternehmen 5: Härterei .....	142
4.6.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung .....</i>	<i>142</i>
4.6.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich .....</i>	<i>144</i>
4.6.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens .....</i>	<i>145</i>
4.7	Unternehmen 6 : Lebensmittel .....	146

---

4.7.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung</i> .....	146
4.7.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich</i> .....	149
4.7.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht der Unternehmen</i> .....	150
4.8	Unternehmen 7 : Härterei .....	151
4.8.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung</i> .....	151
4.8.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich</i> .....	153
4.8.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht der Unternehmen</i> .....	154
4.9	Öffentliche Einrichtung 1: Hallenbad .....	155
4.9.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung</i> .....	155
4.9.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich</i> .....	156
4.9.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Betreibers</i> .....	157
4.10	Öffentliche Einrichtung 2: Kläranlage .....	158
4.10.1	<i>Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung</i> .....	158
4.10.2	<i>Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich</i> .....	160
4.10.3	<i>Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht der Betreiber</i> .....	161
<b>5</b>	<b>Möglichkeiten zur überbetrieblichen Nutzung der Potenziale</b> .....	<b>162</b>
5.1	Einordnung der Potenziale in den Kontext der Energiewende .....	164
5.2	Gesetzliche Regelungen und Normen.....	167
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>171</b>
<b>A.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>B.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>C.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>D.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>XII</b>
<b>E.</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>XX</b>

# 1 Einleitung

Die Energiewende und deren Bewältigung wird nicht nur von Fachleuten diskutiert<sup>1</sup>, sondern ist mittlerweile zu einer gesellschaftlichen Fragestellung in Deutschland gereift. Darüber hinaus wird der Bundesrepublik Deutschland hinsichtlich deren Umsetzung und Erfolg weltweit Beachtung geschenkt. Vor diesem Hintergrund stellt sich zunächst die Frage, wer welchen Beitrag zu einer erfolgreichen Energiewende leisten kann und in welchem Zeitrahmen und mit welchen Anstrengungen diese Maßnahmen umgesetzt werden können. Es scheint unstrittig, dass jeder etwas zu diesem „Generationen-Projekt“ beitragen muss. Dies betrifft sowohl jeden einzelnen als Privatperson, aber auch Unternehmen und öffentliche Einrichtungen. Innerhalb dieser sind wiederum die Mitarbeiter gefordert, durch verantwortungsbewussten Umgang und innovative Ideen, den Energieverbrauch und -einsatz zusätzlich zu den Optimierungen im Prozess betrieblich neu zu gestalten.

Die deutsche Bundesregierung beschloss im September 2010 ein Energiekonzept<sup>2</sup>, welches durch weitere Anpassungen im Juni und Juli 2011 ergänzt wurde. Darin ist auch der Beschluss zum Atomausstieg bis 2022 enthalten. Durch den erklärten Verzicht auf Atomenergie und das Vorhaben, diese nicht ausschließlich durch fossile Energieträger zu ersetzen, kommt den Erneuerbaren Energien eine größere Beachtung zu, als dies zuvor zu erwarten war. Dies ist einer der Gründe, warum nun auch auf Landesebene weitere Gesetze verabschiedet werden, um die anstehenden Aufgaben zu bewältigen und den Dialog zu gestalten. Beispielsweise ist in Baden-Württemberg das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg“ verabschiedet worden [Lan13].

Neben der sinnvollen Einbindung der Erneuerbaren Energien in das vorhandene Energiesystem ist die Reduktion des Verbrauchs respektive die effizientere Nutzung der fossilen Energieträger der zweite Aspekt einer erfolgreichen Energiewende. Dies bezieht sich nicht nur auf den Stromverbrauch, sondern ebenfalls auf den Einsatz der Energieträger zur Wärmeerzeugung, der nur durch einen effizienteren Umgang reduziert werden kann. Auch die Energieeffizienz beginnt wiederum bei jedem

---

<sup>1</sup> Vergl. E-Energy [Bun136], acatech-Studie [Gei12], Roadmap der Smart Grids-Plattform [Tei13]

<sup>2</sup> Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung [Bun10]

Einzelnen, der beispielsweise das Licht ausschaltet, wenn es nicht benötigt wird, oder die Heizkörper bei Abwesenheit herunterregelt. Diese Sensibilisierung ist wichtig, um die Selbstverständlichkeit des effizienten Umgangs mit Energie zu erreichen und somit Einsparungen zu erzielen.

Im Zusammenhang mit der Energiewende wird seit einiger Zeit auch von Lastverschiebung, Lastmanagement und Lastflexibilisierung gesprochen<sup>3</sup>. In Bezug auf das Stromnetz nehmen diese eine wichtige Rolle ein, da durch die vermehrten dezentralen Einspeiser, wie lokale Wind- oder Solaranlagen, auch das Netz dezentral stabilisiert, das heißt ins Gleichgewicht zwischen Verbrauch und Erzeugung gebracht werden muss. Zum einen kann dies durch den Ausbau des Netzes oder zum anderen durch eine intelligente Steuerung des Netzes geschehen, wodurch es zu einem Smart Grid<sup>4</sup> werden kann. Der Aufbau eines Smart Grids setzt auf die vorhandenen Potenziale der Lastverschiebung in einem Netzsegment. Zur Steuerung und zum Ausgleich der Lastschwankungen werden diese benötigt und müssen möglichst auf der jeweiligen Spannungsebene vorhanden sein.

Im Haushaltsbereich werden die Potenziale der Lastverschiebung schon seit einigen Jahren untersucht und sind mittlerweile auch zahlenmäßig belegbar<sup>5</sup>. Dies führt vor allem auf der 0,4 kV-Ebene zu nutzbaren Potenzialen im Smart Grid-Bereich, wenn die dafür notwendigen intelligenten Systeme verfügbar und installiert sind. In der Industrie, die in der Regel auf der 20 kV-Ebene angeschlossen ist, sind die Untersuchungen, durch die komplexen Zusammenhänge der Produktion, zum größten Teil nur für den Lastabwurf zur Stromspitzenreduktion erfolgt. Jedoch stellen die an die Produktion angegliederten Prozesse einen besonders interessanten Bereich dar, da dort je nach Größe und Branche des Unternehmens hohe Potenziale vorhanden sein können. Diese Potenziale zur Lastverschiebung können zeitlich im Minutenbereich liegen, wie die zeitweise Abschaltung eines Ofens, oder im Stundenbereich, wenn beispielsweise ein Schredderprozess von Papier vom Nachmittag in den Abend verschoben wird.

---

<sup>3</sup> Siehe: Agora Energiewende [Ago13], Acatech-Studie [Gei12], Roadmap der Smart Grids-Plattform [Tei13]

<sup>4</sup> Smart Grid: BDEW-Definition: "Ein Smart Grid ist ein Energienetzwerk, das das Verbrauchs- und Einspeiseverhalten aller Marktteilnehmer, die mit ihm verbunden sind, integriert. Es sichert ein ökonomisch effizientes, nachhaltiges Versorgungssystem mit niedrigen Verlusten und hoher Verfügbarkeit." [Bun135]

<sup>5</sup> beispielsweise: MeRegio [MeR13], Kamper [Kam10], und weitere

## 1.1 Ausgangslage und Problemstellung

In Deutschland gibt es 3,64 Mio. kleine und mittelständische Unternehmen (KMU). Sie stellen mit 99,96 Prozent den Großteil der deutschen Unternehmen dar. Laut der KfW-Bankengruppe<sup>6</sup> beschäftigt die Hälfte der Unternehmen zwischen 20 und 250 Mitarbeiter, die einen Jahresumsatz von weniger als 50 Mio. Euro erwirtschaften [KfW131].

*Tabelle 1: Definition KMU [Eur06]*

<b>Unternehmenskategorie</b>	<b>Zahl der Mitarbeiter</b>	<b>Umsatz</b>	<b>oder</b>	<b>Bilanzsumme</b>
<b>Mittleres Unternehmen</b>	< 250	≤ 50 Mio. EUR		≤ 43 Mio. EUR
<b>Kleines Unternehmen</b>	< 50	≤ 10 Mio. EUR		≤ 10 Mio. EUR
<b>Kleinst- Unternehmen</b>	< 10	≤ 2 Mio. EUR		≤ 2 Mio. EUR

Den Finanzsektor ausgeschlossen, ergibt sich immer noch eine Anzahl von 1,8 Mio Unternehmen [KfW131], die in Betracht kommen ihren Teil zu einem Smart Grid beizutragen. Hinzu kommen öffentliche Einrichtungen, die weiteres Potenzial bereitstellen können.

Durch die hohe Anzahl der Unternehmen im KMU Sektor, ist Potenzial für Deutschland durchaus vorhanden. Aktuell ist dieses Potenzial jedoch noch nicht schlüssig abschätzbar, da die Firmen eine große Heterogenität aufweisen. Durch ihre Spezialisierung auf einzelne Produkte sind die Fertigungsverfahren meist deutlich komplexer als die in der Großindustrie eingesetzten Verfahren für Massenware.

Aktuell sind nur wenige Forschungsarbeiten zur Identifikation der möglichen Lastverschiebungspotenziale verfasst worden, wie die im Folgenden genannten. Diese beziehen sich auf eine spezielle Technologie, die verbessert oder ersetzt werden soll, um den aktuellen Anforderungen der Technik gerecht zu werden. Unter dieser Voraussetzung gibt es vor allem im Bereich der Lüftung und Klimatisierung einige Ansatzpunkte, die sogenannten Querschnittstechnologien. Als Querschnittstechnologien werden jene Technologien bezeichnet, die nicht auf einen

---

<sup>6</sup> KfW- Bankengruppe: Kreditanstalt für Wiederaufbau, gegründet 1948, Anstalt des öffentlichen Rechts zur Förderung und Finanzierung im In- und Ausland nach den staatlichen Vorgaben [KfW13]

bestimmten Wirtschaftszweig oder Branche beschränkt sind, sondern über alle diese hinweg zum Einsatz kommen können, wie dies zum Beispiel für die Drucklufttechnik oder Ventilatoren zutrifft [Bay10]. Als Beispiel einer Hochrechnung der möglichen Lastverschiebung je Querschnittstechnologie dient die Studie „Lastmanagement als Beitrag zur Deckung des Spitzenlastbedarfs in Süddeutschland“ von Agora Energiewende im Auftrag der Länder Baden- Württemberg und Bayern [Ago13]. Diese Studie ermittelte aus der Online Befragung von 300 und der Besichtigung von 40 Unternehmen ein Lastverschiebungspotenzial von bis zu 1,8 Gigawatt (GW). Hierbei wurde berücksichtigt, dass Maschinen nicht verfügbar sein oder Prozesse nicht beeinflusst werden können. [Ago13]

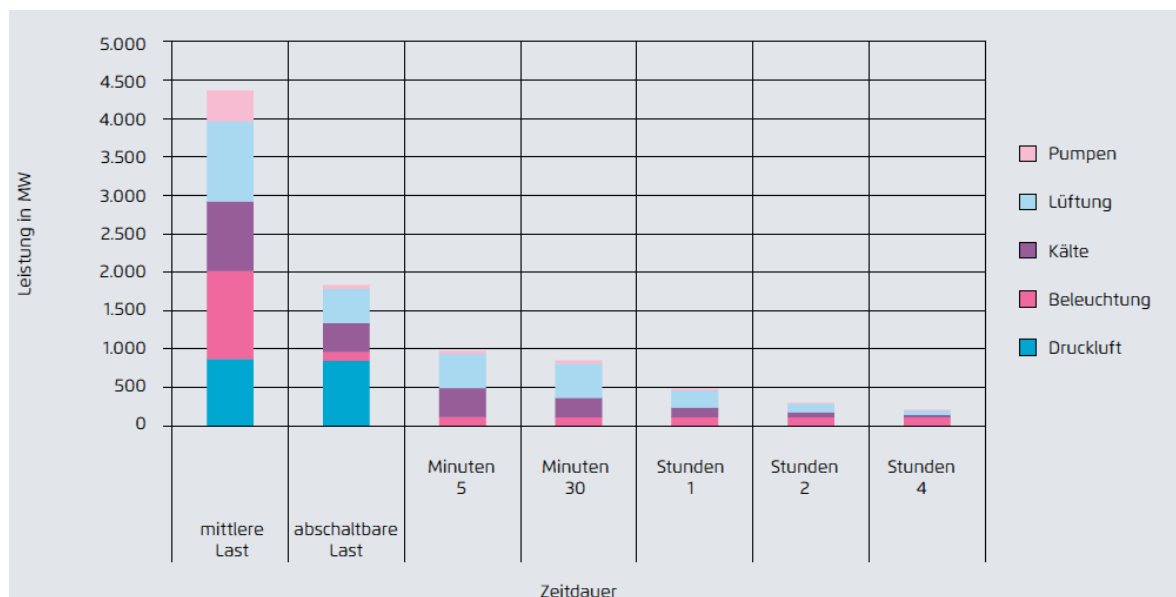


Abbildung 1: Abschaltbare Leistung durch Flexibilisierung von Querschnittstechnologien in Süddeutschland (Normalbetrieb) in Abhängigkeit der Abrufdauer - technisches Potenzial für geeignete Betriebe ohne Kostenbetrachtung für die Implementierung (Personal und I&K) [Ago13]

Einen weiteren interessanten Punkt stellt die Arbeit „Lastflexibilisierung industrieller Querschnittstechnologien unter Berücksichtigung zunehmender Energieeffizienz“ von Gruber [Gru13] dar. In dieser Veröffentlichung wird auf die Fragestellung der Auswirkung von Effizienzmaßnahmen auf das Lastverschiebungspotenzial und dessen Entwicklung in den nächsten Jahren eingegangen. Dabei wurde in positives und negatives Lastverschiebungspotenzial unterschieden: Das positive Potenzial (Lastreduzierung) stellt die Verlagerung der Potenziale durch Abschaltung/

Reduzierung der Last dar. Die Negative Lastverschiebung (Leistungsaufnahme) ist der Umkehrfall, die Zuschaltung von Lastkapazitäten [Gru13]. In dieser Studie werden 3 Annahmen getroffen, zum einen die Steigerung des Produktionswertes um 1,2%, sowie die Steigerung des Stromanteils von 31% auf 36% und eine Reduktion der Energieintensität gemäß den Vorgaben des Spitzenausgleichs. Die Studie betrachtet jedoch nur die stromintensiven Industriezweige der Großindustrie, wie Aluminium-, Zement-, Stahl- und Holzstoffherstellung [Gru13].

Die Ergebnisse der Studie sind in Abbildung 2 dargestellt.

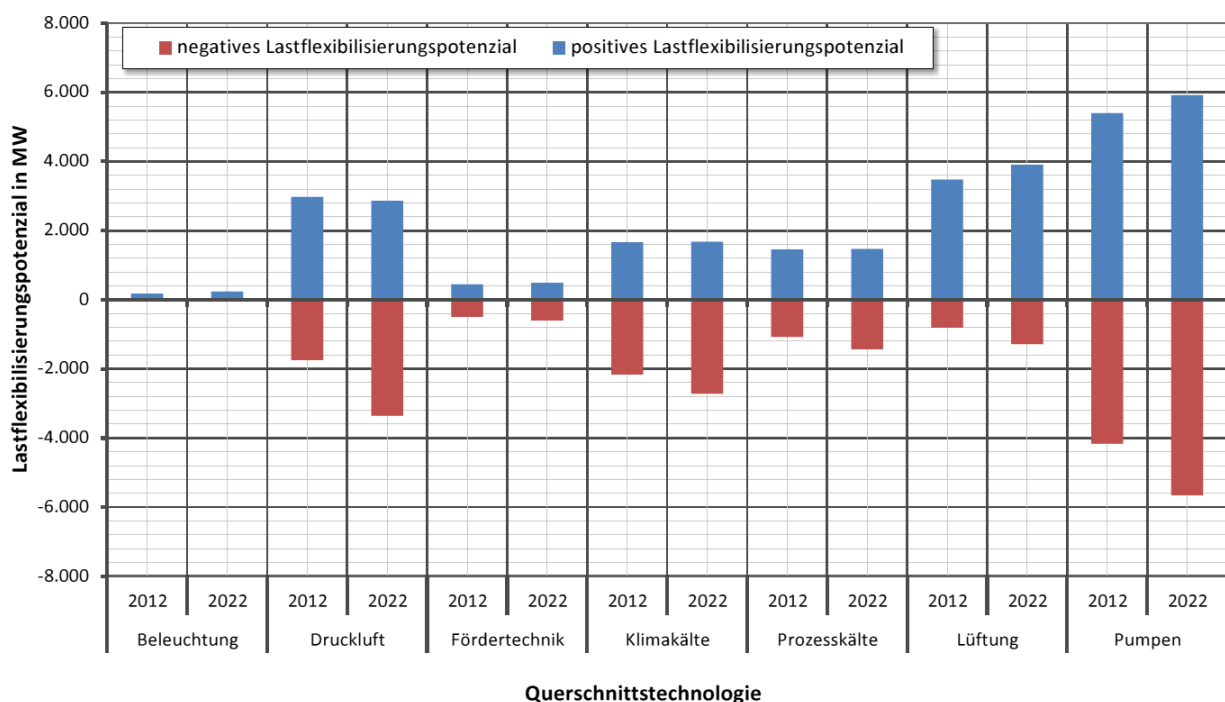


Abbildung 2: Veränderung des Lastflexibilisierungspotenzials in Deutschland von 2012 bis 2022 [Gru13]

Die Forschungen beziehen sich aktuell vor allem auf energieintensive Unternehmen, wie zum Beispiel die Stahlindustrie oder spezielle Technologien, wie Lüftungsanlagen oder Klimatisierung. Die Effizienz- und Lastverschiebungspotenziale dieser Anlagen sind unabhängig von der Unternehmung oder den Rahmenbedingungen abschätzbar. Es besteht dahingehend Handlungsbedarf, die Lastverschiebungsmöglichkeiten im Detail vor Ort zu erarbeiten. Hierbei besteht die Problematik in der Kombination der Energieeffizienzmaßnahmen mit der Lastverschiebung und der zusätzlichen lokalen



Optimierung des Kunden hinsichtlich der internen Abläufe, da die effiziente Nutzung der Energie oft die Höhe der brauchbaren Lastverschiebung beeinflusst. Es ist jedoch nur sinnvoll möglichst effiziente Prozesse oder Maschinen/ Anlagen zu verlagern [Gru13], da nur diese in ihrem energieeffizienten Optimum laufen. Im Falle der Ignoranz dieses Problems würde es zu einer höheren Stromabnahme kommen, die wiederum eine höhere Flexibilität benötigt und zu einer höheren Anschlussleistung der einzelnen Unternehmen führt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass es nicht „ineffiziente“ Anlagen geben kann, die durch ihre Nutzung wirtschaftlich über eine eventuelle Rückvergütung für die Bereithaltung der Lastpotenziale betrieben werden kann. Viele der vorhandenen Anlagen sind auch durchaus genau in diesem Hintergrund zu betrachten, da die vorhandene Technik in den Unternehmen weiter genutzt wird und diese auch für die Lastverschiebung eingesetzt werden sollte.

In dieser Arbeit wird nur der Bereich der Stromoptimierung betrachtet. Korrelationen zu anderen Energieträgern sind durchaus gegeben. Zudem sind thermische Speicher ein großer noch zu betrachtender Faktor. Speicher wirken sich immer positiv auf die Möglichkeiten der Lastverschiebung aus und dies nicht nur im betrachteten Stromsektor.

## **1.2 Zielsetzung**

Im Rahmen dieser Arbeit soll dargestellt werden, welche Potenziale an Lastverschiebung und Effizienz bei KMUs vorhanden sind und wie diese genutzt werden können.

Anders als bei den bisherigen Untersuchungen sollen die Unternehmen außer der Vorhaltung der Lastflexibilisierung auch sich selbst optimieren, beispielsweise durch Nutzung der Potenziale zur Reduktion von Lastspitzen oder zur Optimierung des eigenen Lastganges, falls die Potenziale nicht zur Netzstabilisierung benötigt werden. Im Besonderen wird verstärkt auf die Individualität der einzelnen Unternehmen eingegangen. Sie wurden selbst in den Prozess der Identifizierung von Potenzialen mit eingebunden und geben Ausblick auf die Nutzung der dargestellten

Möglichkeiten sowie mögliche Rahmenbedingungen zur Umsetzung in ihrem Unternehmen.

Von Bedeutung ist die Kombination der Energieeffizienz mit der Lastverschiebung, um einen variablen Energieverbrauch mit dem geringsten Energieeinsatz zu ermöglichen, wie in Abbildung 3 dargestellt.

### **Lastverschiebung**

- Variabler Einsatz von Energie
- Energiekonsum wird nicht reduziert

### **Energieeffizienz**

- Mit geringem Energieeinsatz bestmögliches Arbeitsergebnis
- Optimale Nutzung der Energie

### **Energieeffizienz & Lastverschiebung**

Variabler Verbrauch von Energie mit geringstem Energieeinsatz

*Abbildung 3: Lastverschiebung vs. Energieeffizienz [Win11]*

In der Tätigkeit des Verfassers als Kundenbetreuer während des Forschungsprojektes MeRegio<sup>7</sup> (Minimum Emission Region) ergab sich die Möglichkeit tiefere Einblicke in ausgewählte Unternehmen zu erhalten. In den vier Jahren des Projektes wurden ca. 50 KMUs besucht und deren Technik sowie der Einsatz von Strom vor dem Hintergrund der theoretischen Ermittlung von Lastverschiebungspotenzialen und der vorhandenen Energieeffizienz analysiert. Durch die zahlreichen Gespräche mit Unternehmensvertretern wurde klar, dass die theoretische Betrachtung der Potenziale allein nicht ausreicht, sondern die Sensibilisierung für diese Themen mit dazu gehört. Durch die Verantwortung der Unternehmen gegenüber dem zu erstellenden oder zu vertreibenden Produkt wollen sie so wenig wie möglich am Herstellungsprozess ändern, da durch jede Änderung ein Eingriff in die Qualität befürchtet wird. Die theoretische Betrachtung der Potenziale ist wichtig und wird am Ende dieser Arbeit auch herausgestellt, jedoch ist es genauso wichtig, die Unternehmen auf dem Weg des Wandels mitzunehmen und die notwendige Technik zur Erkennung und Hebung der Potenziale bereitzustellen. Diesen Wandel zu gestalten und die Bereitschaft der Firmen zu wecken, schon

---

<sup>7</sup> MeRegio: siehe Kapitel 2.2

heute, weitergehende Schritte einzuleiten, um Lastpotenziale bereitstellen zu können, ist ein weiteres Ziel dieser Arbeit. Die Lastverschiebung ist in der aktuellen Lage nur zur Eigenoptimierung nutzbar. Der Markt oder ein Marktmodell für den Handel der Lastverschiebung wird in den nächsten Jahren aufgebaut werden müssen, um Stromengpässe in den Netzen durch vermehrte dezentrale Einspeisungen zu vermeiden und gleichzeitig die Stabilität des Netzes zu gewährleisten. An diesem Punkt wird der Gesetzgeber gefordert Anreizsysteme für Veränderungen zu schaffen, damit Unternehmen sowohl für die Bereitstellung als auch für den Handel den Antrieb haben, die Potenziale eigenständig zu erheben und am noch aufzubauenden Markt zu handeln. Die bisher getroffenen Maßnahmen und die ersten Produkte für Lastabschaltungen einiger weniger Unternehmen stellen lediglich einen ersten Schritt dar.

### **1.3 Wesentliche Beiträge dieser Arbeit**

Diese Arbeit soll durch die kontinuierliche Begleitung der ausgewerteten Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen die Möglichkeiten zur Energieeffizienzsteigerung und Lastverschiebung darstellen. Die Begleitung über ein Jahr ermöglichte einen tiefen Einblick in die Struktur, das Verhalten und die Eigenheiten der Unternehmen. Diese Detailtiefe wurde durch die angeschlossene Beratung zu Einsparungen und den offenen Umgang mit den Messergebnissen erreicht. Durch die unterschiedlichen Ausprägungen und Branchen der analysierten Unternehmen stellt sich ein gutes Gesamtbild für den heterogenen Bereich der mittelständischen Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen dar. Durch die Individualität der Unternehmen ist die Detailtiefe der Analysen, wie in dieser Arbeit durchgeführt, sehr wichtig, um die getroffenen Schlüsse auf die Branchen zu verstehen. Es stellte sich heraus, dass die Unternehmen mit kleiner bis mittlerer Arbeitnehmerzahl anders als die größeren mittelständischen Unternehmen mit Geschäftsführern und Abteilungsleitern agieren. Dazu ist die Konstellation der öffentlichen Einrichtung mit Stadtrat und Verwaltung noch einmal anders zu betrachten. Die Summe dieser individuellen Eigenschaften der Unternehmen stellen in dieser Arbeit die Ergebnisse der Lastverschiebung und Effizienz, anders da, als dies in vorangegangenen

Arbeiten der Fall war. Das Potenzial der einzelnen Unternehmen wird nicht nur theoretisch angenommen, sondern auch an den realen Prozessen, den Möglichkeiten und dem Handlungsspielraum gespiegelt. Werden die so ermittelten Ergebnisse auf die passenden Branchenbereiche skaliert, so wird der Ausblick auf die möglichen Potenziale und die erreichbaren Summen an Lastverschiebungspotenzial und Energieeffizienz verdeutlicht. Die Betrachtung der KMU ist durch die große Anzahl an Unternehmen in Deutschland ein nicht zu vernachlässigender Einflussfaktor zur Erreichung der Energiewende und dies wird in dieser Arbeit deutlich gemacht.

## **1.4 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in fünf Teile, die nachfolgend beschrieben werden. In Kapitel 2 werden zunächst die Rahmenbedingungen und Antriebsgründe für ein Energiemanagement (EnMS) bei kleinen und mittelständischen Unternehmen beschrieben. Es wird kurz auf die aktuelle Situation im Stromnetz eingegangen, um die Grundlagen für Kapitel 3 zu legen.

In diesem werden neun unterschiedliche Unternehmen und öffentliche Einrichtungen anhand deren charakteristischer Stromverbräuche des jeweiligen Gesamtlastganges und der Jahresdauerlinie vorgestellt. Durch die Strommessungen einzelner Anlagen und Stromkreise, die im Schnitt ein Jahr lang installiert waren, werden Energieeffizienz- und Lastverschiebungspotenziale anhand von einzelnen Lastgängen dargestellt. Das Potenzial der Energieeffizienz wird bei den durchgeführten Maßnahmen statistisch ausgewertet und dargestellt.

Das Kapitel 4 beinhaltet die Kombination der ermittelten Potenziale und die Auswirkung auf den Gesamtlastgang bei einer Automatisierung der Lastflexibilisierung sowie des gehobenen Potenzials der ausgewiesenen Energieeffizienz. Die direkt ableitbaren Einsparungen werden dargestellt und das Feedback der Unternehmen wiedergegeben. Zusätzlich werden die möglichen spontanen Lastflexibilisierungen im Minutenbereich in den jeweiligen Unternehmen kurz erläutert.

Die erarbeiteten Ergebnisse werden im Kapitel 5 genutzt, um Möglichkeiten aufzuzeigen, die vorhandenen Potenziale nutzbar zu machen und weitere zu erschließen, was durch eine Veränderung der in Kapitel 2 genannten gesetzlichen Regelungen und Normen erfolgen kann.

Den Abschluss der Arbeit bildet das Kapitel 6 mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und einem Ausblick.

## 2 Rahmenbedingungen des aktuellen Energiemanagements bei KMU

Die aktuellen Rahmenbedingungen des Energiemanagements gestalten sich vielfältig. Zum einen besteht durch die aktuelle Situation der Energiewende in Deutschland Handlungsbedarf bezüglich eines effizienten Energieeinsatzes. Zum anderen ist durch Gesetze und Regelungen schon eingegriffen worden, um Anreize für eine Verbesserung der Effizienz zu gestalten, sowie die Sensibilisierung dafür in den Unternehmen voranzutreiben. Zunächst wird der aktuelle Stand der Energiewende erläutert, sowie das Forschungsprojekt MeRegio vorgestellt, das 2008 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als eines von sechs Leuchtturmprojekten im E-Energy Forschungsprogramm ausgewählt wurde.

Weitere Rahmenbedingungen sind neben aktuellen Gesetzen auch die Regelungen und Normen zu Strom- und Energiesteuern, sowie die Ermäßigungen zur Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) Umlage.

Um die aktuelle Situation der Versorgungslage zu verstehen und zu erläutern, warum die effiziente Nutzung des Stroms und die Flexibilisierung von Last in der Zukunft immer wichtiger werden, wird der Aufbau der Stromversorgung in Deutschland vorab dargestellt.

### 2.1 Stromversorgung in Deutschland

Das Stromnetz in Deutschland teilt sich in vier Spannungsebenen:

- **Höchstspannungsnetz 220 kV oder 380 kV:**  
Transportnetz zur Verbindung der nationalen Stromnetze (ENTSO-E<sup>8</sup>)
- **Hochspannungsnetz 50 kV – 150 kV:**  
Verteilnetz zur Verbindung von Ballungszentren und speziellen Teilnehmern

---

<sup>8</sup> ENTSO-E: European Network of Transmission System Operators for Electricity: Netzwerk der Übertragungsnetzbetreiber der Europäischen Union und anderen Staaten zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit im Stromübertragungsnetzes. [ENT13]

- **Mittelspannungsnetz 6 kV – 30 kV:**

Verteilnetz zur Verbindung von Niederspannungstransformatoren und speziellen Teilnehmern

- **Niederspannungsnetz 230 V – 680 V:**

Verteilnetz zur Anbindung von Haushalten und kleinen Unternehmen

Diese sind notwendig, da die maximale Leistung, die über einen Kabelquerschnitt geführt werden kann, vom Widerstand des Kabels sowie der Spannung abhängt. Je höher die Spannung, desto mehr Energie kann über den gleichen Kabelquerschnitt geführt werden. Unnötiger Transport zwischen den Spannungsebenen sollte vermieden werden, da durch die Transformation immer Verluste entstehen, die je nach Spannungsebene und Stromstärke sehr groß sein können.

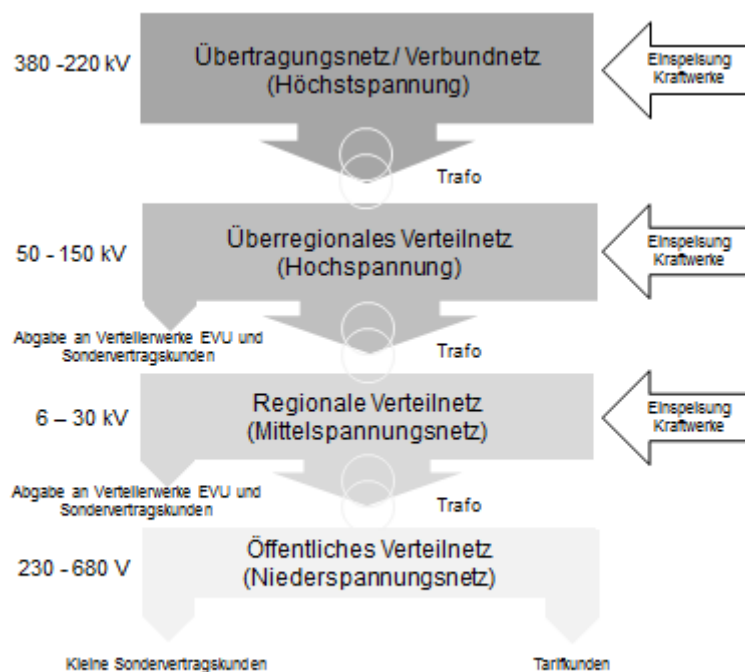


Abbildung 4: Stromnetzaufbau und Spannungsebenen in Deutschland [Bun13]

Da durch die Vergütung der Erneuerbaren Energien nun vermehrt auch auf der Niederspannung eine Einspeisung von Strom aus Kraftwerken wie Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen), Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) und anderen dezentralen Energieerzeugern stattfindet, verändert sich der Kraftwerkspark

entscheidend. Zusätzlich wird durch den Atomenergieausstieg auch die Anzahl der Großkraftwerke reduziert, die aktuell die Stabilität des Netzes halten.

Die Bruttostromerzeugung der letzten 3 Jahre im Vergleich zu 1999 ist in Tabelle 2 durch die Prozentsätze der Anteile an der Erzeugung dargestellt.

*Tabelle 2: Vergleich der Stromerzeugungsstruktur der Bruttostromerzeugung in Deutschland zwischen 1999 und 2011-2013 in Prozent [Bun132] [Sta14]*

	1999	2011	2012	2013 <sup>1)</sup>
<b>Bruttostromerzeugung (in TWh)</b>	556,3	613,1	629,8	633,6
<b>Braunkohle</b>	24,4	24,5	25,5	25,6
<b>Kernenergie</b>	30,6	17,6	15,8	15,4
<b>Steinkohle</b>	25,7	18,3	18,5	19,6
<b>Erdgas</b>	9,3	14,0	21,1	10,5
<b>Mineralölprodukte</b>	1,1	1,2	1,2	1,0
<b>Erneuerbare Energieträger</b>	5,9	20,2	22,8	23,9
- <b>Windkraft</b>	1,0	8,0	8,1	8,4
- <b>Wasserkraft<sup>2)</sup></b>	4,4	2,9	3,5	3,2
- <b>Biomasse</b>	0,2	5,3	6,3	6,7
- <b>Photovoltaik</b>	0	3,2	4,2	4,7
- <b>Hausmüll<sup>3)</sup></b>	0,3	0,8	0,8	0,8
<b>Übrige Energieträger</b>	2,9	4,2	4,1	4,0

1) Vorläufige Angaben

2) Erzeugung in Lauf- und Speicherwasserkraftwerken sowie aus natürlichem Zufluss in Pumpspeicherkraftwerken

3) Nur Erzeugung aus biogenem Anteil des Hausmülls (ca. 50%)

Eine Veränderung zu Gunsten der Erneuerbaren Energien wird aus Tabelle 2 ersichtlich. Diese wird in den nächsten Jahren durch die Abschaltung der weiteren Atomkraftwerke noch deutlicher ausfallen, falls sich die Erzeugung nicht zu größeren Teilen auf Kohle und Gas stützt.

Durch die Abschaltung der Groß-Kraftwerke und die Verschiebung hin zu den volatilen<sup>9</sup> Erneuerbaren Energien ergibt sich folgender negativer Effekt: die Stabilisierung auf 50 Hertz (Hz) wird komplexer. Bis heute fahren die Großkraftwerke den tatsächlichen Verbrauch ab. In Zukunft werden durch die Volatilität von Erneuerbaren Energien die trägen Großkraftwerke nicht mehr in der Lage sein, den

<sup>9</sup> volatil: unbeständig, sprunghaft [Bib13]



auszugleichenden Strombedarf komplett bereitzustellen. Deshalb müssen die dezentralen Verbraucher besser organisiert und der Verbrauch auf die Erzeugung abgestimmt werden, um Frequenz- und Spannungsschwankungen zu vermeiden, die im schlechtesten Falle zu Stromausfällen führen. Ein Baustein zur Stabilisierung der Netze ist neben der Reduktion des Gesamtverbrauchs und der effizienteren Nutzung der Energie auch die Bereitstellung von Lastflexibilisierungen- das heißt dem Netz wird nötiges positives oder auch negatives Potenzial zum Ausgleich der Schwankungen zur Verfügung zu gestellt. Es wird entweder Energie aus dem Netz entnommen oder aber Last als Verbraucher dem Netz bereitgestellt, um die Stromversorgung zu sichern. Dieses Vorgehen wird auf allen Netzebenen notwendig und gestaltet sich umso komplexer, je kleiner die Spannungsebene und je größer die Anzahl der angeschlossenen Verbraucher wird.

## 2.2 Energiewende

Der Grundsatz der Energiewende ist schon seit einigen Jahren das energiepolitische Dreieck, wie es im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) in §1(1) niedergeschrieben ist und in Abbildung 5 dargestellt wird.

*„Zweck des Gesetzes ist eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas, die zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht.“ [Bun05]*

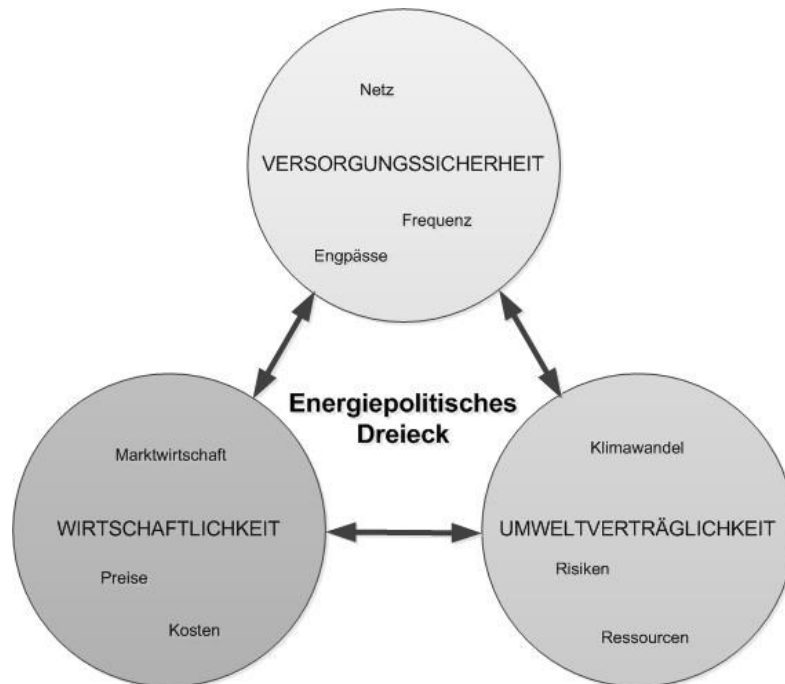


Abbildung 5: Energiepolitisches Dreieck in Anlehnung an das EnWG [Bun05]

Nach dem Reaktorunglück in Fukushima hat die Energiewende einen deutlichen Sprung gemacht. Der Beschluss des Bundestages, alle deutschen Atomkraftwerke bis zum Jahre 2022 abzuschalten, hat massive Auswirkungen auf die bisherige Nutzung und Verteilung der elektrischen Energie. Die atomaren Grundlastkraftwerke müssen durch andere Techniken kompensiert werden, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Es stellt sich die Frage, ob dies durch weitere Kohle- und Gaskraftwerke geschehen oder durch Erneuerbare Energien und eine größere Flexibilität der Abnehmer erfolgen soll.

Die Themen der Energiewende sind vielfältig. Sie reichen von Leitungsausbau, über die Forderung von 100 Prozent Erneuerbarer Energie, dem Einsatz von Gas- und Kohlekraft-, bis hin zu Pumpspeicherkraftwerken. Die Energieeffizienz der Unternehmen und Haushalte rückt weiter in den Fokus, um die Energie sinnvoll einzusetzen und mit Ressourcen schonend zu agieren.

Zu diesen Punkten gehört auch das Stichwort der Lastflexibilisierung, welches gerade in der Industrie häufig für Irritationen sorgt, da dieses oft mit der im Haushaltsbereich verglichen wird. Typischerweise wird hier von der Waschmaschine gesprochen, die automatisch oder manuell zeitflexibel eingeschaltet werden soll.

Dies wird in der Industrie mit dem Prozess gleichgesetzt und erfährt aus der Erfahrung vieler Gespräche in den Unternehmen Ablehnung, da vermeintlich ein Qualitätsproblem des zu erstellenden Produktes abgeleitet wird, da ein Eingriff in die Prozesskette unterstellt wird.

Die Ziele der Energiewende sind für 2050 definiert und auch quantitativ festgehalten. Die nachstehende Tabelle 3 gibt einen Überblick über die quantitativen Ziele der Energiewende, die auf Bundesebene beschlossen wurden.

*Tabelle 3: Übersicht der Energieziele der Bundesregierung [Bun121]*

	2011	2020	2050
<b>Treibhausgasemissionen</b>			
<b>Treibhausgasemissionen (Grundlage 1990)</b>	-26,4	-40%	-80% bis -95%
<b>Effizienz</b>			
<b>Primärenergieverbrauch (2008)</b>	-6%	-20%	-50%
<b>Energieproduktivität (Endenergieverbrauch)</b>	2%/a (2008-2011)	2,1%/a (2008-2050)	
<b>Brutto-Stromverbrauch (2008)</b>	-2,1%	-10%	-25%
<b>Anteil der Stromerzeugung aus KWK</b>	15,4% (2010)	25%	-
<b>Gebäudebestand</b>			
<b>Wärmebedarf</b>	k.A	-20%	-
<b>Primärenergiebedarf</b>	k.A	-	- 80%
<b>Sanierungsrate</b>	1%/a	2%/a	
<b>Verkehrsbereich</b>			
<b>Endenergieverbrauch (2005)</b>	-0,5%	-10%	-40%
<b>Anzahl Elektrofahrzeuge</b>	ca. 6.600	1 Mio.	6 Mio. (2030)
<b>Erneuerbare Energien</b>			
<b>Anteil am Bruttostromverbrauch</b>	20,3%	35%	80%
<b>Anteil am Bruttoendenergieverbrauch</b>	12,1	18%	60%

In Baden-Württemberg wurde hierzu zusätzlich ein spezielles Landesgesetz verfasst und mehrheitlich über die Fraktionen hinweg bestätigt, das Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg [Lan13]. Die formulierten Ziele sind 50 Prozent Energieeinsparung, Ausbau der Erneuerbaren Energien auf 80 Prozent sowie 90 Prozent weniger Treibhausgasemissionen bis zum Jahre 2050. Diese zum Teil widersprüchlichen Aufgaben der Energiewende, zur Erreichung der in Tabelle 3

definierten Ziele, gilt es zu lösen. Bei der Lösungsfindung ist es entscheidend, dass das energiepolitische Dreieck, bestehend aus Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit zu jeder Zeit im Gleichgewicht gehalten wird. Diese grundlegende Aufgabenstellung war auch im Forschungsprojekt MeRegio vorhanden.

## 2.3 Forschungsprojekt MeRegio

MeRegio war eines von sechs Modellprojekten innerhalb des E-Energy Förderprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Im Jahr 2008 haben die Konsortialpartner EnBW, ABB, IBM, KIT, SAP und Systemplan GmbH das Projekt nach erfolgreicher Bewerbung gestartet. In zwei unterschiedlichen Regionen in Baden-Württemberg sollten die Möglichkeiten zur Minimum Emission Region (MeRegio) erforscht werden. Der Kern des Forschungsvorhabens war die Problemstellung der geänderten Rahmenbedingungen des liberalisierten Strommarktes, sowie die zunehmende Anzahl der dezentralen und volatilen Erzeugungseinheiten, und die sich daraus ergebende Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit in der Zukunft wirtschaftlich sicher zu stellen.

Im Rahmen eines Feldtests mit 1000 Privat- und Gewerbekunden wurde in MeRegio ein „intelligentes Netz“, ein sogenanntes Smart Grid, entwickelt und erprobt. Die Vernetzung von IT und Stromnetz war und ist eine der größten Herausforderungen, die unter den Konsortialpartnern erarbeitet werden musste. Informationen über Einspeisung und Abnahme wurden sowohl lokal zur Optimierung vor Ort, als auch zentral zur Optimierung des Netzes genutzt. Durch die Vielfalt an Speichern, Mikro-Blockheizkraftwerken (BHKW), Photovoltaik und steuerbaren Endgeräten wurden die Teilnehmer, in kleinen Testreihen, teilweise automatisch durch die im Haushalt installierte Steuerbox ansatzweise optimiert. Durch den dreistufigen Tarif der EnBW wurde zusätzlich ein Preisanreiz gesetzt, Strom in preisgünstigen, den sogenannten grünen Zeiten zu verbrauchen und die gelben und roten Zeiten zu vermeiden. Bei den Industriekunden kam ein achtstufiger Tarif zum Test, der nicht tagesflexibel war, sondern nur monatsweise angepasst wurde. [MeR13]

Innerhalb des Projektes wurde festgestellt, dass ein bedeutender Teil (bis zu 30 Prozent [Lut11]) der Energie in den Haushalten zeitlich flexibel eingesetzt werden kann. Durch entsprechende Anreize kann der Anteil deutlich erhöht werden. Im Bereich der Industrieunternehmen ist dieses Potenzial höher, da die Anschlussleistungen und Laufzeiten der Anlagen größer sind. Dieses ist jedoch

deutlich schwieriger zu heben, da es sich im Gegensatz zum Haushalt nicht auf einen abgeschlossenen Prozess, sondern zum Beispiel um einen kontinuierlichen Prozess zur Produktherstellung bezieht. [Pro12]

Tabelle 4: Auszug der Ergebnisse nach Branchen aus Phase 1-3 des Projektes MeRegio [Win11]

Branche	Kundenanzahl je Branche	Ermitteltes Einsparpotenzial gesamt [kWh/Tag] / (Durchschnitt)	Ermitteltes Lastverschiebungspotenzial gesamt [kW]	Ermittelte CO <sub>2</sub> -Einsparung gesamt [t/Tag] (Werte nach VDEW)
Kommunale Einrichtungen	4	525 / (131,3)	207	0,27
Lebensmittel / Gastronomie	7	1.699 / (242,7)	641	0,88
Kunststoffverarbeitung	3	957 / (319)	100	0,50
Metallverarbeitung	10	2.336 / (233,6)	325	1,21
Maschinenbau	6	1.926 / (321)	445	1,00
<b>Gesamt</b>	<b>30</b>	<b>2.307.330 kWh/a / (76.911)</b>	<b>1.718</b>	<b>1.169</b>

Die Tabelle 4 zeigt einen Querschnitt der Lastflexibilisierung und Energieeffizienzpotenziale der untersuchten Kunden in der Vorauswahl zum Feldtest. Diese Potenziale wurden stichprobenartige anhand von Messungen in den Unternehmen über einen Zeitraum von jeweils zwei und sechs Wochen ermittelt. Diverse Gespräche und Besichtigungen, sowie detaillierte Aufnahmen der gemessenen Objekte und Stromkreise führten zu diesem Ergebnis, welches die Grundlage zur Ermittlung der neun Feldtestteilnehmer war. In der Vorauswahl wurden Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen besucht, wie beispielsweise Pharmaunternehmen, Druckereien, Gastronomie, Maschinenbau, Metallverarbeitung und Lebensmittel. Erweitert wurden diese durch die Betrachtung von kommunalen Einrichtungen wie Schwimmbäder, Krankenhäuser und Kläranlagen. Die qualitativen Kriterien zur Auswahl der Unternehmen bezogen sich auf den Fokus der Industrie- und Geschäftskunden mit Produktionsanlagen, die mechanisch oder durch eine thermische Führungsgröße betrieben werden. Zusätzlich wurde eine bedarfsgerechte Elektroverteilung zur Installation der Messtechnik gefordert. Die quantitativen Kriterien bezogen sich auf eine Stromabnahme von 100.000 kWh bis 10 GWh bei einer Benutzungsdauer von 1.000 Stunden bis 6.000 Stunden. Die zum Feldtest

ausgewählten Betriebe und Einrichtungen wurden über ein Jahr betreut und dabei Maßnahmen für die Energieeffizienz entwickelt sowie Lastverschiebungspotenziale erarbeitet.

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Zertifizierung entwickelt, die eine Region in ihrem Verbrauch charakterisieren und eine Aussage über die effiziente Nutzung der Energien geben soll. Das MeRegio-Zertifikat, welches den regionalen Charakter in der Zertifizierung enthalten sollte, wurde durch Erhebungen in den Regionen ergänzt. Es wurde im Gegensatz zum Stromfokus des Projektes für alle Energieträger entwickelt, um einen ganzheitlichen Ansatz zu gewährleisten und es in Zukunft weiter nutzen zu können.

Das Zertifikat ist wie nachfolgend in vier Gruppen aufgeteilt. [KIT12]

Die maximale Punktzahl beträgt 24,3 Punkte. Die Klassifizierung ist wie folgt aufgebaut (pro Stufe 8,1 Punkte):

- Gesamtpunktzahl bis 5,9
  - **MeRegio Beginner**
- Gesamtpunktzahl ab 6,0 (entspricht ungefähr 25% der maximal möglichen Gesamtpunktzahl)
  - **MeRegio Bronze**
- Gesamtpunktzahl ab 12,0 (entspricht ungefähr 50% der maximal möglichen Gesamtpunktzahl)
  - **MeRegio Silber**
- Gesamtpunktzahl ab 18,0 (entspricht ungefähr 75% der maximal möglichen Gesamtpunktzahl)
  - **MeRegio Gold**

Die Berechnung der Punktzahlen wurde durch eine Bilanzierung in drei Untergruppen errechnet. So wurden in der ersten Gruppe bilanzielle Indikatoren entwickelt, die auf der Energie und CO<sub>2</sub>-Bilanz beruhen. Diese Kategorie wurde zu 50 Prozent gewichtet. Die zweite Untergruppe, welche mit 40 Prozent Gewichtung

gewertet wurde, bezieht sich auf technische Indikatoren, welche Smart Grid-Technologiedaten enthalten. Die dritte Untergruppe wird in das Ergebnis mit 10 Prozent einbezogen und verweist auf qualitativen Indikatoren. Diese Gruppe setzt sich aus Befragungen in der Region zusammen. [KIT12]



## 2.4 Aktuelle steuerliche Regelungen und Gesetze

Die aktuellen steuerlichen Regelungen beziehen sich auf zwei grundlegende Erleichterungen für Unternehmen. Die erste Regelung ist die der Energiekostenreduzierung durch die im Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) geregelte besondere Ausgleichsregelung nach §41, die zweite bezieht sich auf den Spitzenausgleich des Stromsteuergesetzes (StromStG) §9b und §10 und des Energiesteuergesetzes (EnergieStG) §55. Auf beide wird in den folgenden Abschnitten eingegangen, da sie die treibenden Kräfte zur Einführung eines Energiemanagements sind. Zur Veranschaulichung der aktuellen Zusammensetzung des Strompreises dient Abbildung 6. Der Vollstrompreis setzt sich aus zwei Teilen, den Energiekosten für die Kilowattstunde und den sonstigen Umlagen (Netznutzungsentgelte, Stromsteuer, KWKG, EEG-Umlage, Konzessionsabgaben) zusammen.

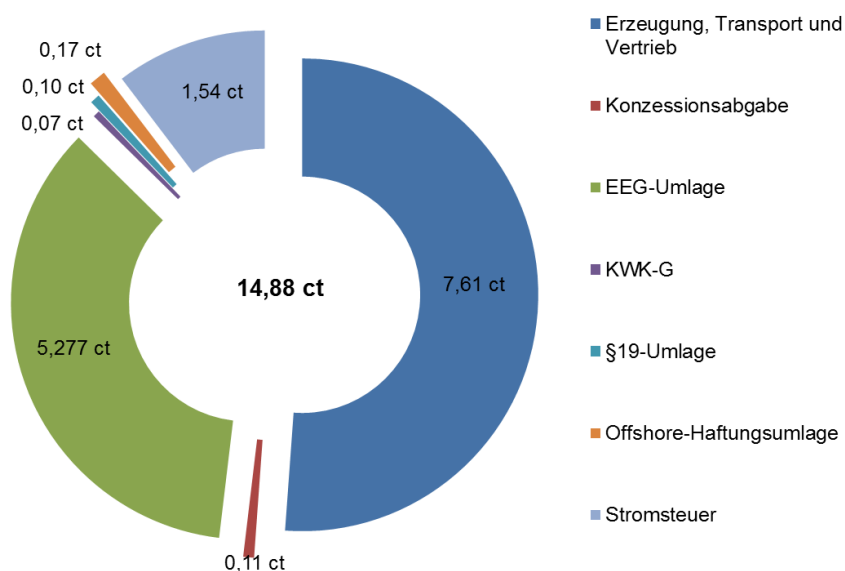


Abbildung 6: Durchschnittlicher Strompreis für die Industrie in 2013 in ct/kWh [BDE13]

### **2.4.1 Energiekostenreduzierung durch die besondere Ausgleichsregelung (§41 EEG) [Bun08]**

Das Erneuerbare Energien Gesetz wurde im April 2000 eingeführt und löste das Stromeinspeisegesetz (StromEinspG) ab. Aufgabe des EEG ist es, die Förderung und den Ausbau der Erneuerbaren Energien zu unterstützen. Durch einen festen Satz pro kWh eingespeiste Energie werden der Bau und der Unterhalt einer Erneuerbaren-Energien-Anlage, beispielsweise eine Photovoltaikanlage, für 20 Jahre verbindlich gefördert. Diese Umlage von aktuell 5,277 Cent (2014 auf 6,24 Cent erhöht) wird auf jede verbrauchte Kilowattstunde aufgeschlagen. Profiteure sind die sogenannten stromintensiven Unternehmen des produzierenden Gewerbes nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes von 2008 im Abschnitt A, B und C. Diese können die Umlage über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAfA) zurückfordern. Die Regelung dafür ist im EEG unter §41 zu finden, und enthält folgende Bestandteile, die innerhalb eines Geschäftsjahres zu erfüllen sind.

- der Verbrauch beträgt mehr als 1 Gigawattstunde (GWh) an einer Abnahmestelle
- das Verhältnis der Stromkosten zur Bruttowertschöpfung beträgt mindestens 14 Prozent
- die EEG-Umlage wurde an das Unternehmen berechnet [Bun08]

Diese Kriterien müssen durch einen Wirtschaftsprüfer bestätigt werden. Für Verbräuche über 10 GWh muss zusätzlich ein Energiemanagementsystem (EnMS) durch eine Zertifizierung nachgewiesen werden. In diesem Fall sind laut Absatz 3 folgende Reduktionen möglich. [Bun08]

- bis einschließlich der ersten GWh keine Begrenzung
- für 1 GWh bis 10 GWh erfolgt die Begrenzung auf 10 Prozent
- für 10 GWh bis 100 GWh erfolgt die Begrenzung auf 1 Prozent
- ab 100 GWh erfolgt die Begrenzung auf 0,05 Cent je kWh [Bun08]

## 2.4.2 Stromsteuer und Spitzenausgleich (§ 9b StromStG / § 10 StromStG / § 55 EnergieStG)

Die Erstattung der Stromsteuer und des Spitzenausgleichs teilt sich in zwei Bereiche, wobei der Steuersatz der Stromsteuer aktuell bei 20,50 Euro pro Megawattstunde liegt, was 2,05 Cent pro Kilowattstunde entspricht. Begünstigt werden nur Unternehmen des produzierenden Gewerbes, die in der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ 2003) des statistischen Bundesamtes in den Abschnitten A, C, D, E, F gelistet sind.

Der erste Teil der Ermäßigung bezieht sich auf den § 9b des Stromsteuergesetzes, in dem eine Ermäßigung, ausgehend von einem Sockelbetrag von 250 Euro, gewährt wird. Dies sind 25 Prozent der Steuer, also 5,13 Euro pro Megawattstunde oder 0,513 Cent pro Kilowattstunde. Zur Rückerstattung ist das zuständige Hauptzollamt nach Antrag verpflichtet.

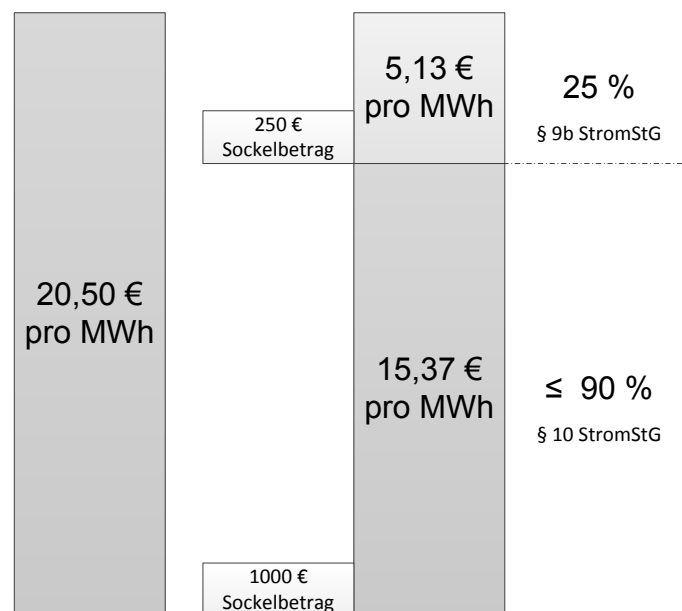


Abbildung 7: Aufbau der Stromsteuer und Möglichkeiten der Reduktion [Bun99] [Bun06]

Der zweite Teil der Energiesteuer wird in Abhängigkeit der gezahlten Rentenversicherungsbeiträge erstattet. Hier werden bis zu 90 Prozent der Beträge

erstattet, die über der Einsparung durch die Einführung der sogenannten Ökosteuer (Energie- und Stromsteuer) erreicht würde. Die Steuer wird nur dann zurückerstattet, wenn das Unternehmen für das betreffende Jahr nachweist, dass ein Energiemanagement nach DIN EN ISO 50001 oder für KMU ein System nach DIN EN 16247 Teil 1 vorhanden ist oder aufgebaut wird und der Sockelbetrag von 1.000 Euro überschritten wurde.

Die Regelung, welche Nachweise ein Unternehmen erbringen muss, wird in der Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung (SpaEfV) erläutert. Diese verpflichtet die Unternehmen, ein Energiemanagement einzuführen und die Energieeffizienz im Unternehmen dadurch regelmäßig zu verbessern.

Die großen Unternehmen müssen zwingend ein Energiemanagement nach ISO 50001/ Eco Management and Audit Scheme (EMAS) einführen, um die Steuerrückerstattung zu erhalten. Für KMU gibt es abgeleitet von der SpaEfV die Möglichkeit, ein Energieaudit nach DIN EN 16247 einzuführen.

Aus den Regelungen ergeben sich folgende Optionen für große Unternehmen:

*Tabelle 5: Regelungen der SpaEfV für große Unternehmen [Bun131]*

Art	Möglichkeit 1	Möglichkeit 2	Möglichkeit 3
Zertifiziertes Energiemanagementsystem (EnMS) nach DIN EN ISO 50001	Gesamtes Unternehmen	über mindestens 25 % des Energieverbrauchs des Gesamtunternehmens	Testat über die Umsetzung der Nr. 4.4.3 a) der DIN EN ISO 50001 *
	*- Verpflichtungserklärung der Geschäftsführung, eines der nach § 2, Absatz 1 SpaEfV beschriebenen Systeme einzuführen und zu betreiben. - Ernennung eines Energiebeauftragten, der für die Koordination der Systemeinführung verantwortlich ist.		
Validiertes Umweltmanagementsystem nach EMAS	Gesamtes Unternehmen	über mindestens 25 % des Energieverbrauchs des Gesamtunternehmens	Testat über die Umsetzung der Anlage 2, Ziffer 1 der SpaEfV *
	*- Verpflichtungserklärung der Geschäftsführung, eines der nach § 2, Absatz 1 SpaEfV beschriebenen Systeme einzuführen und zu betreiben. - Ernennung eines Energiebeauftragten, der für die Koordination der Systemeinführung verantwortlich ist.		

Für KMU sind zusätzlich zu den oben genannten Optionen weitere Regelungen vorgesehen:

Tabelle 6: Regelungen der SpaEfV für kleine und mittelständische Unternehmen [Bun131]

Art	Möglichkeit 1	Möglichkeit 2	Möglichkeit 3
Testat über die Einhaltung der Anforderungen an ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 (Anlage 1 SpaEfV*)	Gesamtes Unternehmen	über mindestens 25 % des Energieverbrauchs des Gesamtunternehmens	
*- Verpflichtungserklärung der Geschäftsführung, eines der nach § 2, Absatz 1 SpaEfV beschriebenen Systeme einzuführen und zu betreiben. - Ernennung eines Energiebeauftragten, der für die Koordination der Systemeinführung verantwortlich ist.			
Testat "Einhaltung des alternativen Systems" (Anlage 2 SpaEfV)	Gesamtes Unternehmen	über mindestens 25 % des Energieverbrauchs des Gesamtunternehmens	Testat "Erfassung und Analyse eingesetzter Energieträger" nach Anlage 2, Ziffer 1 der SpaEfV*
*- Verpflichtungserklärung der Geschäftsführung, eines der nach § 2, Absatz 1 SpaEfV beschriebenen Systeme einzuführen und zu betreiben. - Ernennung eines Energiebeauftragten, der für die Koordination der Systemeinführung verantwortlich ist.			

Jedes eingeführte System muss von einem Umweltgutachter bzw. einer nach ISO 50001 akkreditierten Konformitätsbewertungsstelle bestätigt werden. [Bun131]

Zur Erläuterung der Vorgehensweise des Gesetzes und der Verordnungen sollen nachstehende Abbildung 8 und Abbildung 9 dienen.

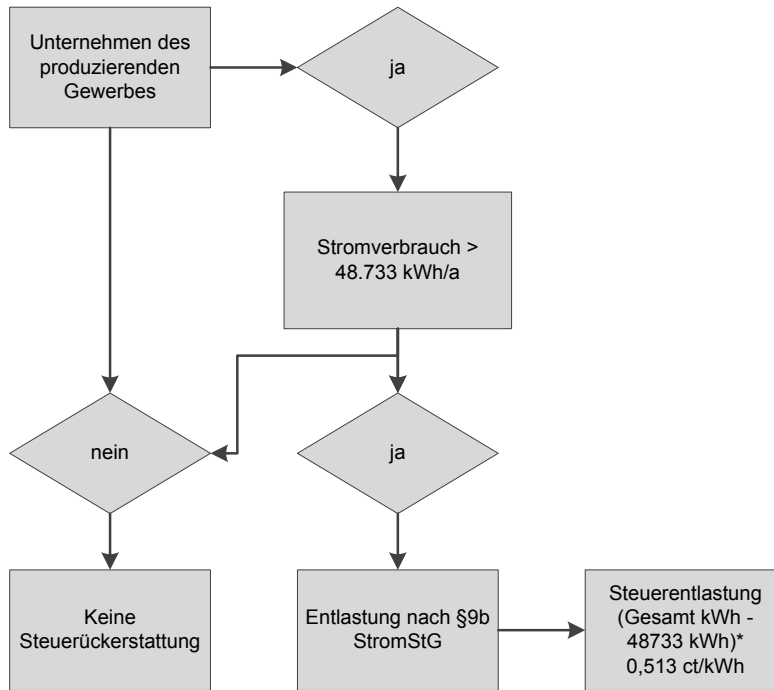


Abbildung 8: Vorgehen zur Steuerrückstattung nach § 9b StromStG [Bun99]

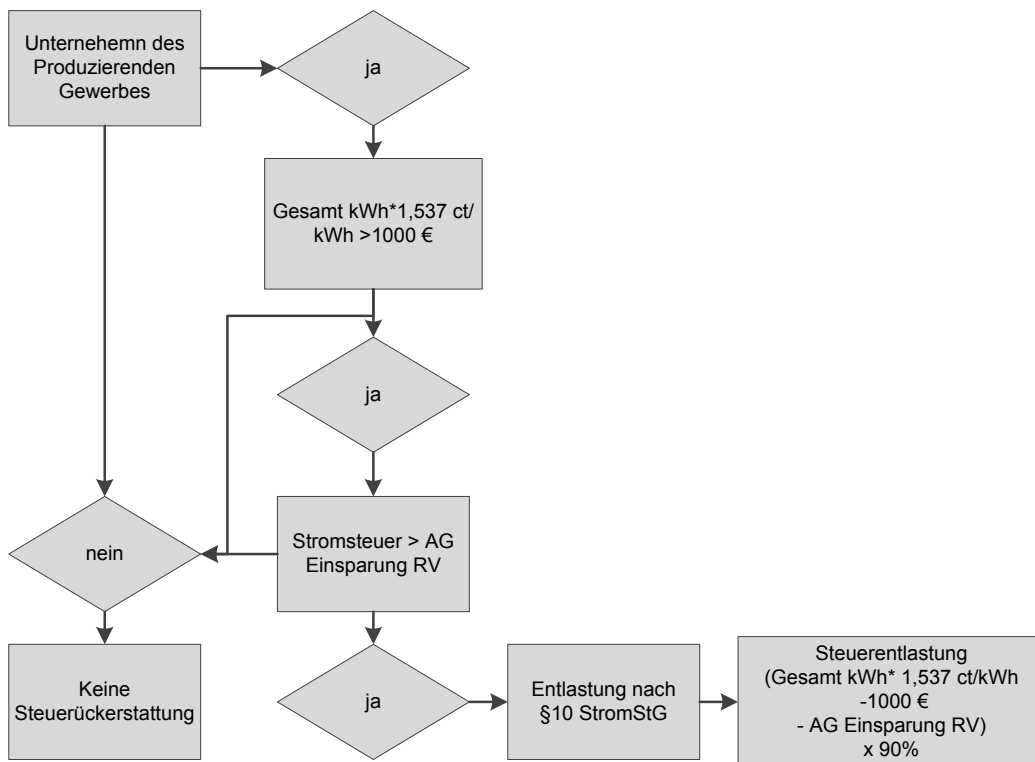


Abbildung 9: Vorgehen zur Steuerrückstattung nach § 10 StromStG [Bun99]

Zusätzlich wurden in diesem Jahr die noch durch die EU-Kommission zu genehmigenden Änderungen im Stromsteuergesetz §10 beschlossen. Diese Änderungen beziehen sich auf die neu eingeführten Zielwerte für die zu erreichende Reduzierung der Energieintensität. Werden diese Vorgaben bis unter 92 Prozent des jeweiligen Sollwertes aus Tabelle 7 nicht eingehalten, dann reduziert sich die Entlastung bis auf null Prozent. Bei Erreichung bis zu 96 Prozent werden 60 Prozent Entlastung gewährt, über 96 Prozent werden 80 Prozent Entlastung zugesprochen und nur bei Erreichung oder Überschreitung des Zielwertes werden 100 Prozent bewilligt. Der Basiswert bezieht sich auf die Jahresdurchschnittliche Energieintensität in den Jahren 2007 bis 2012. [Bun99]

*Tabelle 7: Zielwerte für die zu erreichende Reduzierung der Energieintensität (Anlage StromStG) [Bun99]*

<b>Antragsjahr</b>	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Bezugsjahr</b>	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Zielwert</b>	1,3%	2,6%	3,9%	5,25%	6,6%	7,95%	9,3%	10,65%

### **2.4.3 EnWG § 14a Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen in Niederspannung**

Im Paragraph 14a des Energiewirtschaftsgesetzes wird die Grundlage für eine intelligente Netzsteuerung gelegt. Die Energieversorger sind berechtigt, ein reduziertes Netzentgelt zu berechnen, wenn ihnen im Gegenzug die Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen gestattet wird, um im Anwendungsfall das Netz zu stabilisieren. Diese Verbraucher müssen über einen separaten Zähler verfügen und für den Abnehmer zumutbar sein.

Dieser Passus soll ein Instrument schaffen, um die intelligente Netzsteuerung mit der notwendigen Messtechnik und Steuerung zu ermöglichen und einen Weg zu einem möglichen Marktmodell zu gewährleisten.

Die Ausgestaltung dieses Paragraphen wird durch eine noch zu erstellende Rechtsverordnung beschrieben und ausgelegt. Der Erlass dieser Verordnung und

deren Ausgestaltung obliegt dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

## 2.5 Aktuelle Normen

Durch die Verordnung über Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Entlastung in Sonderfällen von der Energie- und Stromsteuer sind zwei Normen besonders zu erwähnen. Die DIN EN ISO 50001 als Norm für ein Energiemanagementsystem, das alle 3 Jahre zertifiziert und jedes Jahr überprüft wird, die DIN EN 16247 (insbesondere der Teil 1) in Zusammenhang mit der Anlage 1 der SpaEfV, die das Energieaudit für KMU regelt.

### 2.5.1 DIN EN ISO 50001

Die DIN EN ISO 5001 ist eine internationale Norm, welche die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem (EnMS) festlegt. Die Richtlinie ist auf der Grundlage des PDCA Zyklus<sup>10</sup> aufgebaut. Ziele sind sowohl die Verbesserung der energiebezogenen Leistung als auch den energieeffizienten Einsatz und Verbrauch der Energie zu ermöglichen. Daraus ergeben sich die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und eine Senkung der Energiekosten für die jeweilige Organisation. Die Norm stellt vor allem an das Top-Management die Verpflichtung zur Einhaltung und Unterstützung. Über den Top-Down-Ansatz<sup>11</sup> soll die Einbindung aller funktionalen Ebenen der Organisation erreicht werden. [DIN11], [Bun12]

Aus dem Modell in Abbildung 10 des Energiemanagementsystems geht sehr gut hervor, wie dieses aufgebaut werden muss.

---

<sup>10</sup> PDCA-Zyklus: Plan-Do-Check-Act-Zyklus, Zyklus aus dem Qualitätsmanagement zur Überwachung von Prozessen, Weitere Namen dafür sind Demming-Kreis, KVP, oder Shewhart-Cycle, [Geh08]

<sup>11</sup> Top Down Ansatz: (engl. von oben nach unten) organisatorische Methode, bei der hierarchisch übergeordnete Personen das Handeln einer Gruppe wesentlich bestimmen oder beeinflussen. [Bib131]



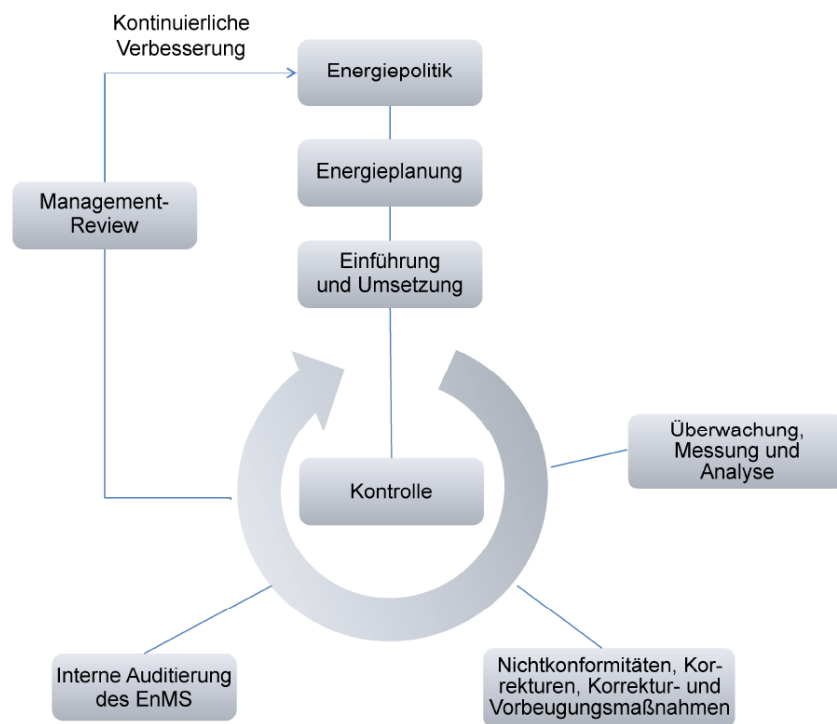


Abbildung 10: Verwendetes Modell eines Energiemanagement [DIN11]

Innerhalb des PDCA-Zyklus werden formulierte und definierte Ziele kontinuierlich überprüft sowie Korrekturmaßnahmen eingeleitet, wenn diese nicht erreicht werden.

Generell soll das Energiemanagementsystem zunächst die Mitarbeiter einer Organisation im Hinblick auf den Energieverbrauch und den Einsatz von Energie innerhalb des Unternehmens und der Prozesse sensibilisieren. Somit werden im Laufe der Zeit signifikante Änderungen im Verbrauch kommentiert und dadurch ein bewusster Umgang mit der eingesetzten Energie erzielt. Daraus lassen sich durchaus automatisch Verbesserungen ableiten oder diese werden mit der Erläuterung des Verbrauchs durch die Mitarbeiter vorgeschlagen. Dieses Vorgehen sowie der Aufbau eines Mess- und Erfassungssystems der Energiedaten tragen dazu bei, einen optimierten Energiebezug und eine Reduktion der Treibhausgasemissionen zu gewährleisten. [DIN11]

Der Ablauf zur Einführung eines Energiemanagementsystems erfolgt in fünf Schritten, wie in Abbildung 11 zu sehen ist. Einige Darstellungen werden auch nur mit vier Schritten beschrieben. Dann ist jedoch die interne Einführung oder die Zertifizierung mit einem anderen Punkt zusammengefasst.

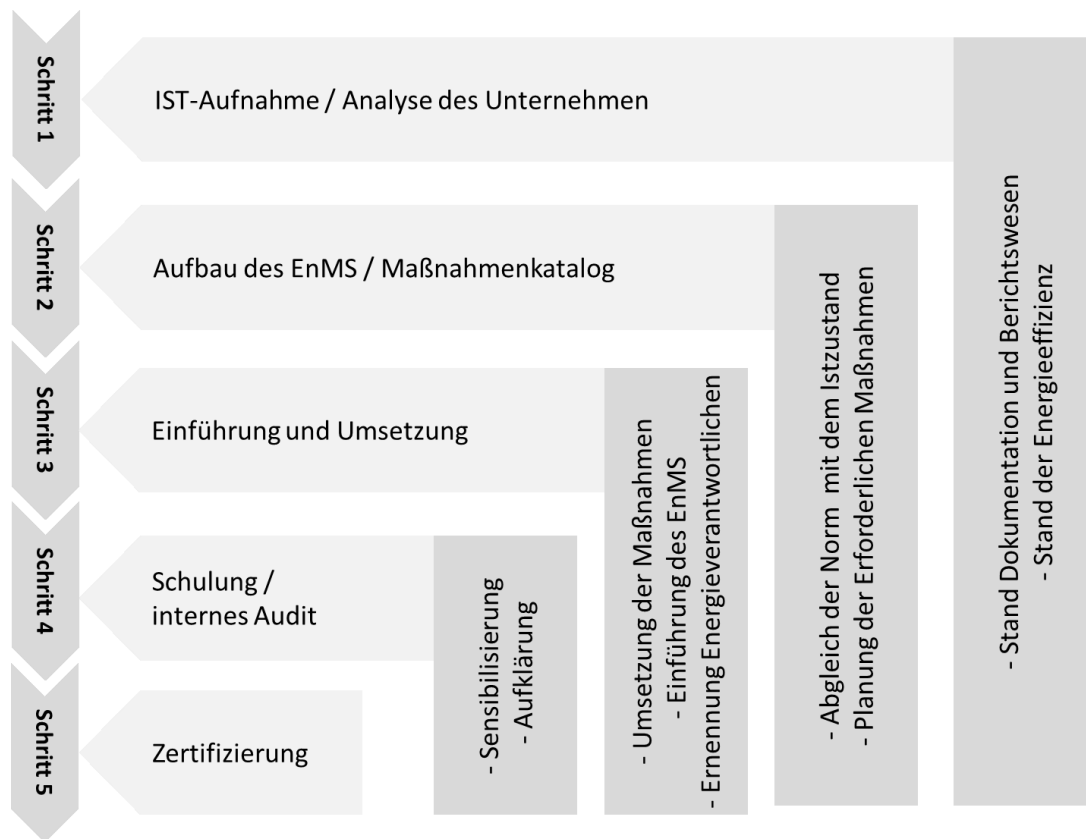


Abbildung 11: Ablauf der Erstzertifizierung eines Unternehmens nach DIN EN ISO 50001 [Bun12], [DBE13]

## 2.5.2 DIN EN 16247

Die DIN EN 16247 ist im Gegensatz zur DIN EN ISO 50001 keine Managementnorm. Das bedeutet, dass sie nur den Ablauf des Energieaudits, den Betrachtungsbereich und den zuständigen Personenbereich regelt. Dies ist auch der Grund, warum in der SpaEfV eine Bestätigung des Managements gefordert wird, da in dieser Norm keine Managementverpflichtung abgeleitet wird.

Das Energieaudit betrachtet vor allem den Energieverbrauch und die Potenziale zur Energieeffizienz, damit ein Unternehmen diesen verringern kann. Der Ablauf eines Energieaudits beinhaltet die in der Abbildung 12 beschriebenen Schritte.



Abbildung 12: Vorgehensweise der DIN EN 16247 zum Energieaudit [DIN12]

Dem Bericht kommen in diesem Audit spezielle Aufgaben zu, da es kein Überprüfungs-/ oder Zertifizierungsaudit ist. Innerhalb des Energieaudits werden die Zusammenhänge von Produktion und Energieverbrauch, sowie die Gewohnheiten der Belegschaft eines Unternehmens wiedergegeben und veranschaulicht. Anschließend schlägt der Auditor Maßnahmen zur Energieeffizienzverbesserung vor. Er hinterlegt diese mit Kosten sowie einer Wirtschaftlichkeitsanalyse und eventuell möglichen Zuschüssen und Beihilfen.

In der Gegenüberstellung der beiden zitierten Normen in der Tabelle 8 werden die Unterschiede am besten deutlich. Das Energiemanagement ist an die Managementebene gerichtet, die DIN EN 16247 vor allem an den Auditor zur Durchführung eines Audits.

Tabelle 8: Vergleich DIN EN 16247 und DIN EN ISO 50001 [Wie13]

	<b>DIN EN 16247</b>	<b>DIN EN ISO 50001</b>
<b>Ziel</b>	Standard für Energieeffizienzberatungen	Standard für ein Energiemanagementsystem
<b>Wiederholung</b>	Beliebig, in der Regel einmalig	Alle 3 Jahre Rezertifizierung, jährliche Überwachungsaudits
<b>Förderung</b>	Keine	Zuschüsse für Unternehmen die nicht von der Reduktion der EEG-Umlage und/oder nicht vom Spitzenausgleich profitieren
<b>Anforderungen</b>	an den Berater	an das Unternehmen
<b>Steuern und Abgaben</b>	Voraussetzung für Spitzenausgleich bei KMU	Voraussetzung für Entlastung bei EEG und für Spitzenausgleich für nicht KMU

### 3 Potenziale der Energieeffizienz und Lastverschiebung

Im Folgenden werden neun Unternehmen anhand ihres Stromlastganges und der Jahresdauerlinie<sup>12</sup> vorgestellt. Jede Firma wird mit einem kurzen Steckbrief skizziert, um auf die Besonderheiten und die einzelnen Prozesse/ Verbraucher einzugehen. Die Auswertungen beziehen sich ausschließlich auf den Stromeinsatz und die Einsparung/ Effizienz sowie die Lastverschiebung im Strombereich. Andere Energieträger werden nicht oder nur oberflächlich betrachtet, da diese nicht im Fokus der Messungen standen. Ergänzende Informationen sowie die ausführlichen statistischen Werte können dem Anhang entnommen werden. Der Messaufbau war bei jedem Unternehmen unterschiedlich. Dadurch wurde der Individualität der einzelnen Firmen Rechnung getragen. Die Messungen erfolgten einphasig, um möglichst viele unterschiedliche Stromkreise und Maschinen überwachen und analysieren zu können. Für die Berechnung der Leistung wurden die Spannung (400V) und der cos phi (0,95) als konstant angenommen. Aus den gemessenen Stromwerten wurde die Leistung mittels der Quadratwurzel von 3, der Spannung und dem cos phi errechnet.

$$P = x * 400 * 0,95 * \sqrt{3}$$

*Formel 1: Berechnung der Leistung anhand der gemessenen Stromwerten*

Um die Unternehmen zu charakterisieren werden zusätzlich zu den Grafiken, in denen die gemittelten 15min-Werte über 24 Stunden dargestellt sind, auch die Minima und Maxima, sowie deren Standardabweichung in einer Tabelle angegeben. Die Werte zeigen, ob sich die Betriebe im Laufe der Messung unterschiedlich verhalten oder einen konstanten Verlauf in der Produktion besitzen. Zusätzlich zu den Lastgängen über das ganze Jahr wird der Lastgang auch für die Jahreszeiten abgebildet, in denen dieser charakteristische Veränderungen hat.

---

<sup>12</sup> Jahresdauerlinie: Messwerte werden nach ihrer Größe in absteigender Reihenfolge dargestellt, typischerweise über alle Stunden des Jahres (8760h) [VDI98]

Die Energieeffizienzpotenziale werden durch den Fokus auf die betreffende Anlage dargestellt und wenn möglich in einer Vorher-Nachher-Darstellung verdeutlicht. Dies kann nur bei Unternehmen, die während der Messkampagne ihre Optimierung durchgeführt haben, erreicht werden. Die Lastverschiebung wird stromkreis- oder anlagenscharf dargestellt und durch die Lastgänge visualisiert.

### 3.1 Unternehmen 1: Werkzeugbau

Das inhabergeführte Unternehmen (U1) produziert Werkzeuge und Formen für Gießereien und Kunststoffspritzgussunternehmen. Die Formen und Werkzeuge können für eine Zugkraft bis 1.300 Tonnen und bis zu einem Gesamtgewicht von 7 Tonnen produziert werden. Es gibt sieben Bearbeitungsstationen, an denen Werkstücke maschinell bearbeitet werden. An weiteren Stationen ist es möglich, die Werkstücke manuell nachzubearbeiten. Dies ist ein Grund dafür, dass ein großer Teil des Stromverbrauchs nicht direkt beeinflussbar ist, da dieser durch die Handarbeit der Mitarbeiter verursacht wird. Die Arbeitsplätze sind alle mit einem Druckluftanschluss ausgestattet, da dieser für viele Tätigkeiten benutzt wird. Wärmeerzeugung und Kühlung erfolgten durch eine Sole/ Wasser Wärmepumpe. Die Abwärme der Maschinen wird über Wärmetauscher der Heizungsanlage zugeführt. Der vorhandene Glühofen ermöglicht spezielle Anforderungen an die Festigkeit der Werkstücke zu gewährleisten.

Tabelle 9: Steckbrief Unternehmen 1

Steckbrief	
Branche	Metallbearbeitung
Gründungsjahr	1985
Mitarbeiteranzahl	~ 20
KMU Einordnung	Mittleres Unternehmen
Stromverbrauch	386.706 kWh
Weitere Energieträger	keine
Wärmeerzeugung	Wärmepumpe
Erneuerbaren Energien/ BHKW	keine
Arbeitszeit / Schichten	1-2
Energieeffizienzpotenzial	Druckluftanlage
Lastverschiebungspotenzial	Glühofen, Wärmepumpe
Besonderheiten	Druck- und Spritzgussformen, Abwärme-Nutzung der Maschinen

### 3.1.1 Vorstellung und Besonderheiten

Um einen Überblick über den Ablauf der Produktion sowie die Grundlastzeiten zu bekommen, werden zunächst der Gesamtlastgang sowie die dazugehörige Jahresdauerlinie dargestellt und die wesentlichen Punkte analysiert.

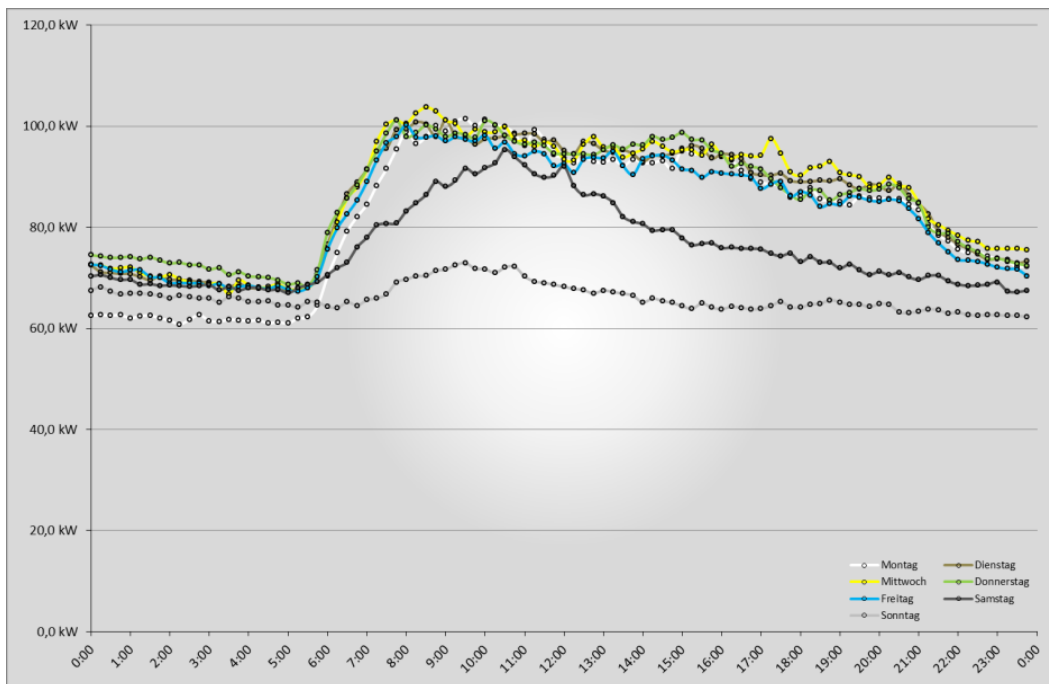


Abbildung 13: Gesamtlastgang U1 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Die Grafik zeigt die Lastgänge des Unternehmens in gemittelten 15 min-Werten für alle Wochentage. Die mittlere Last des Unternehmens liegt bei ca. 70 kW, welche bei einem Spitzenwert von ca. 100 kW recht hoch erscheint. Normalerweise würde davon ausgegangen werden, dass die Nichtbetriebszeiten deutlich niedrigere Lasten ausweisen. Die Abläufe über die Tage sind ähnlich, das heißt die Wochentage sind kaum unterschiedlich zueinander. Die größten Abweichungen sind in den Morgenstunden bei Betriebsbeginn, zwischen 5:00 Uhr und 7:30 Uhr, da in dieser Zeit die neuen Werkstücke in die Maschinen eingebracht werden und die bearbeiteten entfernt und nachbearbeitet werden. Je nach Komplexität der Werkstücke variiert die Dauer der Prüfung und Weiterverarbeitung, wodurch sich der unterschiedliche



Anstieg in den Morgenstunden erklärt. An den Wochenenden ist auffällig, dass ab dem Schichtende am Samstagnachmittag der Lastgang im Mittel nicht unter 60 kW fällt. Diese Grundlast am Wochenende beträgt 60 Prozent der mittleren Höchstlast. Dieses Verhalten scheint auf den ersten Blick irritierend zu sein, da in den Nachtstunden und am Wochenende niemand arbeitet. Dies erklärt sich durch die langen Laufzeiten der Maschinen, die nach Bestückung bis zum Programmende ohne Anwesenheit der Belegschaft durchlaufen.

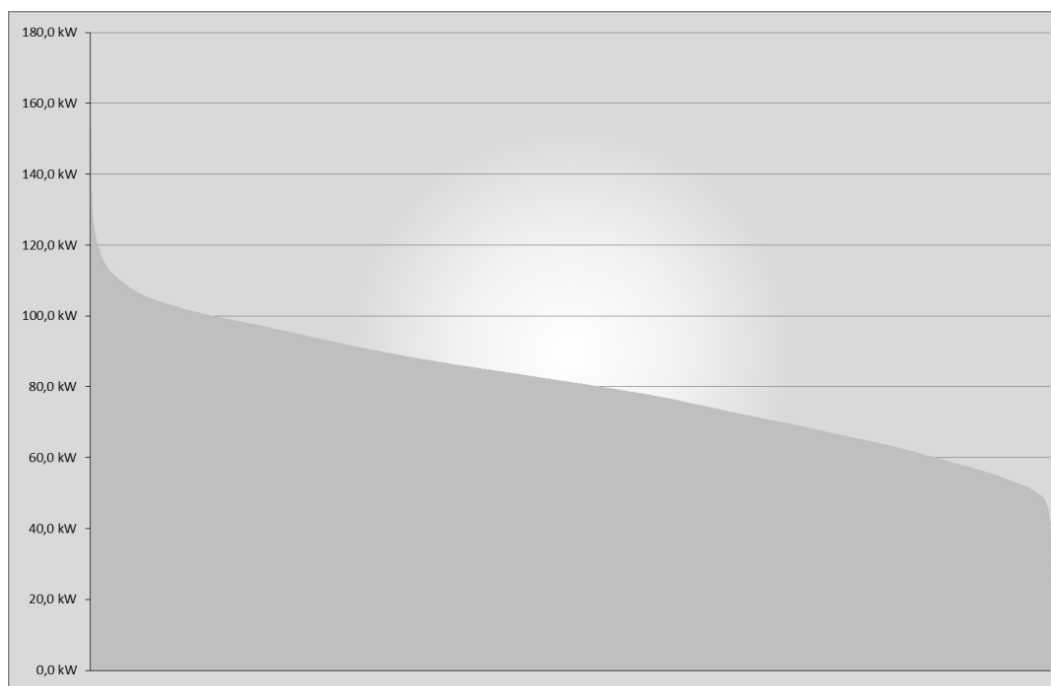


Abbildung 14<sup>13</sup>: geordnete Jahresdauerlinie U1

Durch die Jahresdauerlinie in Abbildung 14 wird verdeutlicht, dass das Unternehmen eine relativ konstante Abnahme mit wenigen Ausreißern über 120 kW hat. Die Spitzen des Lastganges sollten jedoch durch eine Optimierung abgefangen werden, da diese einen erheblichen Kostenfaktor darstellen. Durch ein integriertes Lastmanagementsystem wäre es möglich die Spitzen bis 120 kW zu reduzieren und

<sup>13</sup> Abbildung von Jahresdauerlinien / Dauerlinien: In der Abbildung der Dauerlinien wird auf die Beschriftung der Abszisse verzichtet, da die Werte durch ihre Ordnung nach der Größe keine plausible zeitliche Reihenfolge ergeben und bei der Anzahl der über 30 000 Werte unübersichtlich ist.

somit Kosten für die Netznutzung<sup>14</sup> einzusparen. Der Spitzenwert von 120 kW wurde festgelegt, da die Überschreitung des Wertes nur durch 0,6 Prozent der Messwerte erfolgt und die Reduktion derer als realisierbar erscheint.

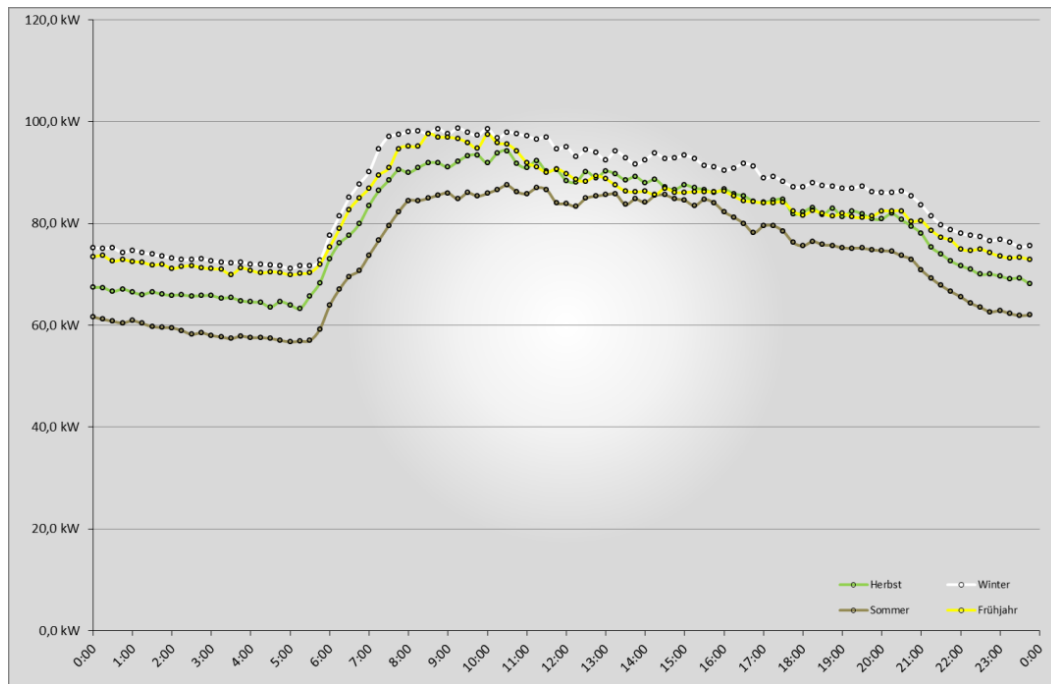


Abbildung 15: Gesamtlastgang U1 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

Die Abbildung 15 zeigt die unterschiedlichen Lastgänge im Jahreszeitenverlauf. Die Abweichung der Lastgänge zueinander lässt sich vereinfacht durch die Wärmepumpe erklären. Diese ist im Sommer kaum in Betrieb und verursacht im Winter unter Vollast die Differenzen von ca. 20 kW. Als Ergänzung sind in der nachfolgenden Tabelle 10 die wichtigsten Werte des Lastganges für ausgewählte Stunden des Tages aufgeführt. Die Standardabweichung beträgt 16,18 kW. Dies ist für einen Lastgang bis 100 kW relativ gering und beträgt nur 16 Prozent. Das bedeutet, dass die Firma eine sehr konstante Abnahme über den Tagesverlauf hat, die selten verändert wird. Das Unternehmen ist somit gut prognostizierbar.

<sup>14</sup> Netznutzung: Die Netznutzung wird durch den Kunden pro Kilowatt Leistung bezahlt. Bei Überschreitung der vertraglich eingepreisten Lashöchstgrenze wird die höchste Spitze im Jahr oder Monat je nach Vertragsausgestaltung zusätzlich berechnet.

Tabelle 10: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmen 1

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	73,46	71,16	70,79	75,37	95,13	97,47	89,78	86,27	86,32	81,60	82,39	74,98	82,07
Minimum	50,33	49,40	42,38	51,93	51,27	60,59	46,54	40,89	49,12	49,00	55,42	49,70	40,89
Maximum	89,47	88,25	86,47	102,72	128,73	128,98	117,07	111,76	109,52	106,82	114,08	102,38	128,98
Standardabweichung	9,71	10,22	10,54	10,37	15,41	13,72	12,87	14,13	13,07	12,24	13,72	10,84	15,14
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	67,41	65,90	64,56	73,28	89,96	91,89	88,43	88,02	86,69	82,28	80,86	71,67	79,25
Minimum	49,97	42,89	48,15	52,31	50,31	58,42	55,48	51,68	45,71	57,00	54,78	52,08	42,89
Maximum	85,46	85,71	83,31	99,33	114,88	145,00	116,50	109,99	115,84	114,96	102,94	103,34	145,00
Standardabweichung	9,50	10,04	9,59	10,90	15,63	15,31	14,19	15,00	17,60	13,65	12,56	11,12	16,37
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	61,64	59,50	57,56	63,88	84,44	85,89	83,88	84,10	82,27	75,59	74,65	65,58	73,25
Minimum	46,52	45,48	45,16	42,69	52,44	50,08	54,30	52,17	49,41	50,35	47,10	47,77	42,69
Maximum	78,02	75,33	73,76	82,09	110,53	105,85	105,92	109,63	104,48	96,22	99,31	85,88	110,53
Standardabweichung	7,94	7,60	6,53	9,23	15,45	13,97	13,13	15,57	15,23	12,07	12,06	9,33	15,88
<b>Winter</b>													
Mittelwert	75,27	73,19	72,00	77,59	98,03	98,61	95,08	92,48	90,43	87,13	86,02	78,07	85,32
Minimum	52,53	52,31	45,49	54,12	59,96	52,32	50,19	47,62	52,45	53,35	48,85	52,23	45,49
Maximum	88,58	86,93	87,03	102,53	138,58	133,07	124,93	125,28	120,95	106,18	103,23	93,65	138,58
Standardabweichung	8,29	7,81	7,60	8,84	14,97	15,43	14,07	14,50	14,39	12,28	11,79	9,11	15,19
<b>Gesamt: Mittelwert</b>	<b>70,35</b>	<b>68,29</b>	<b>67,16</b>	<b>73,17</b>	<b>92,80</b>	<b>94,31</b>	<b>89,94</b>	<b>88,10</b>	<b>86,81</b>	<b>82,16</b>	<b>81,56</b>	<b>73,30</b>	<b>80,67</b>
<b>Gesamt: Minimum</b>	<b>46,52</b>	<b>42,89</b>	<b>42,38</b>	<b>42,69</b>	<b>50,31</b>	<b>50,08</b>	<b>46,54</b>	<b>40,89</b>	<b>45,71</b>	<b>49,00</b>	<b>47,10</b>	<b>47,77</b>	<b>40,89</b>
<b>Gesamt: Maximum</b>	<b>89,47</b>	<b>88,25</b>	<b>87,03</b>	<b>102,72</b>	<b>138,58</b>	<b>145,00</b>	<b>124,93</b>	<b>125,28</b>	<b>120,95</b>	<b>114,96</b>	<b>114,08</b>	<b>103,34</b>	<b>145,00</b>
<b>Gesamt: Standardabweichung</b>	<b>10,36</b>	<b>10,38</b>	<b>10,40</b>	<b>11,04</b>	<b>16,19</b>	<b>15,48</b>	<b>14,18</b>	<b>15,09</b>	<b>15,14</b>	<b>13,16</b>	<b>13,22</b>	<b>11,07</b>	<b>16,18</b>

### 3.1.2 Energieeffizienzpotenzial

Das Energieeffizienzpotenzial in diesem Unternehmen ist klein, da der Unternehmer eigenständig viele kleinere Maßnahmen bereits umsetzt. In den Sanitär- und Sozialräumen sind Bewegungsmelder zur Lichtsteuerung angebracht und durch die großen Fensterflächen ist auch die tageslichtabhängige Beleuchtung gut geregelt. Im Gegensatz zu den großen Schleif- und Fräsmaschinen können die Handgeräte zur Bearbeitung der Produkte nicht optimiert werden, da diese direkt prozess-/fertigungsbedingt benötigt werden.

Das Potenzial stellt in diesem Unternehmen die Druckluftanlage dar, die mit ihren zwei 15 kW Kompressoren zu groß ausgelegt ist und auf einem Druck von 9,3 bar zu hoch betrieben wird, da in der Produktion ca. 7 bar bis 7,5 bar benötigt werden. Zudem belaufen sich die gefundenen Leckagen im Druckluftsystem auf 20 Stück und führen zu weiteren Energieverlusten.

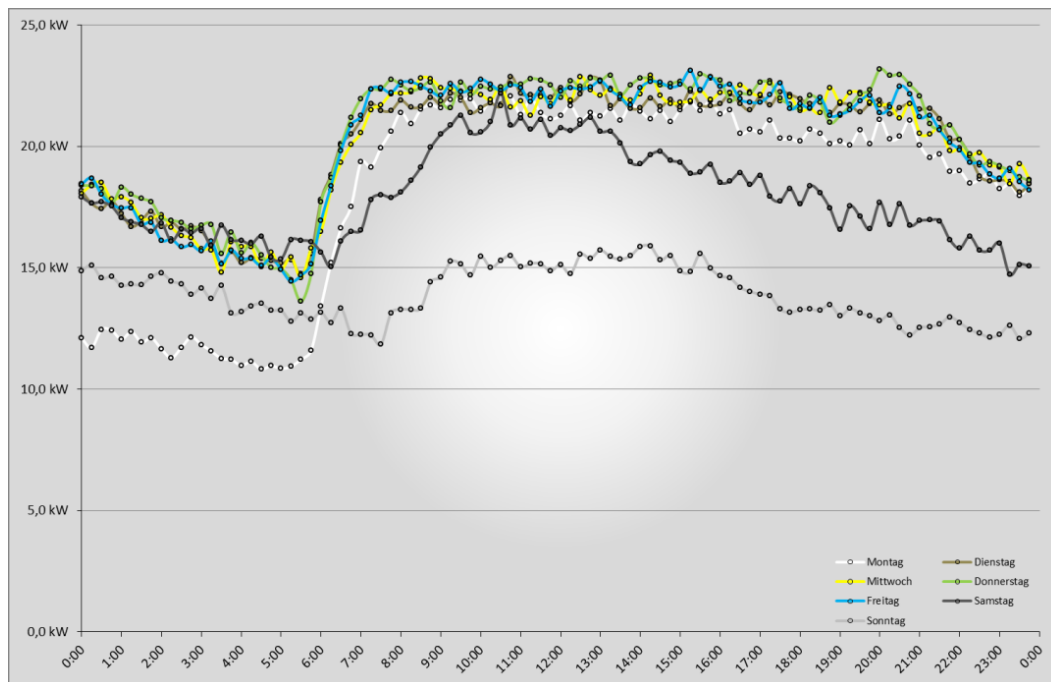


Abbildung 16: Lastgang der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Durch eine Absenkung des Erzeugungsdrucks auf 8,5bar können 6 Prozent an Energie eingespart werden. Zusätzlich können durch die Beseitigung der 20 entdeckten Leckagen 10 Prozent an Energie gespart werden. Mit der Umsetzung dieser Maßnahmen können sich nachhaltige Effekte einstellen. Ein weiterer Punkt zur Verbesserung ist der optimierte Einsatz der Druckluft. Diese Effizienzmaßnahme ist abhängig von der Sensibilisierung der Mitarbeiter, die die Druckluft nur für den Prozess nutzen und beispielsweise nicht als „Druckluftbesen“.

Der optimierte Lastgang dieser Anlage ist in der Abbildung 17 dargestellt. Die Reduktion des Verbrauchs ist deutlich auszumachen, auch wenn die Kurve sich vom Verlauf her nicht verändert, da der Hauptverbrauch weiterhin in der Hauptproduktionszeit liegt.

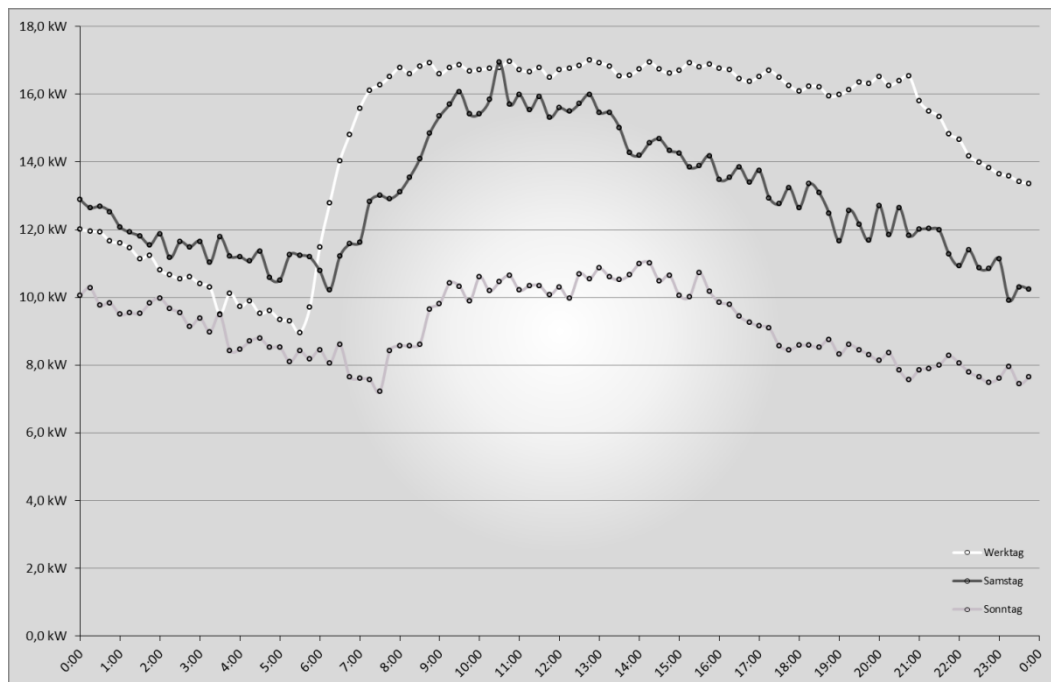


Abbildung 17: Optimierung der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

Eine weitere Maßnahme kann durch den Einsatz eines kleinen Kompressors mit ca. 7,5kW Leistung erfolgen, da dieser in den Nichtbetriebszeiten deutlich effektiver wäre als die Drosselung/ Taktung der 15kW Kompressoren. Durch eine übergeordnete Steuerung können zusätzlich noch 6 Prozent an Energieeinsparung erzielt werden, da in diesem Fall nicht nur Druck gesteuert die benötigte Luft erzeugt wird, sondern auch der Volumenstrom als zweite Einflussgröße berücksichtigt wird. Diese ist jedoch wirtschaftlich nicht effektiv, da die Investitionen gegenüber der Energieeinsparung zu hoch sind.

### 3.1.3 Lastverschiebungspotenzial

Dieses Unternehmen hat zwei Ansatzpunkte für eine Lastverschiebung. Die Wärmepumpe stellt im Winter nur kurzfristige Verschiebungen zur Eigenoptimierung oder Lastspitzenreduktion bereit. Der Glühofen zur Veredelung der Werkzeuge ist eine langfristig verschiebbare Last, jedoch ist hier der Prozess nicht beliebig

unterbrechbar, da die Werkstücke gewisse Temperaturen erreichen und diese auch für eine gewisse Zeit halten müssen.

Die Wärmepumpe hat ca. 20 kW Anschlussleistung inklusive der Pumpen und Peripherie. Über das ganze Jahr gesehen ist der Lastfluss konstant und eindeutig über alle Wochentage. Über die Jahreszeiten betrachtet ergibt sich der typische Verlauf der Heizperioden. Im Sommer hat die Wärmepumpe durch die Abwärmenutzung der Maschinen kaum Einsatzzeiten und wird zum Kühlen benutzt.

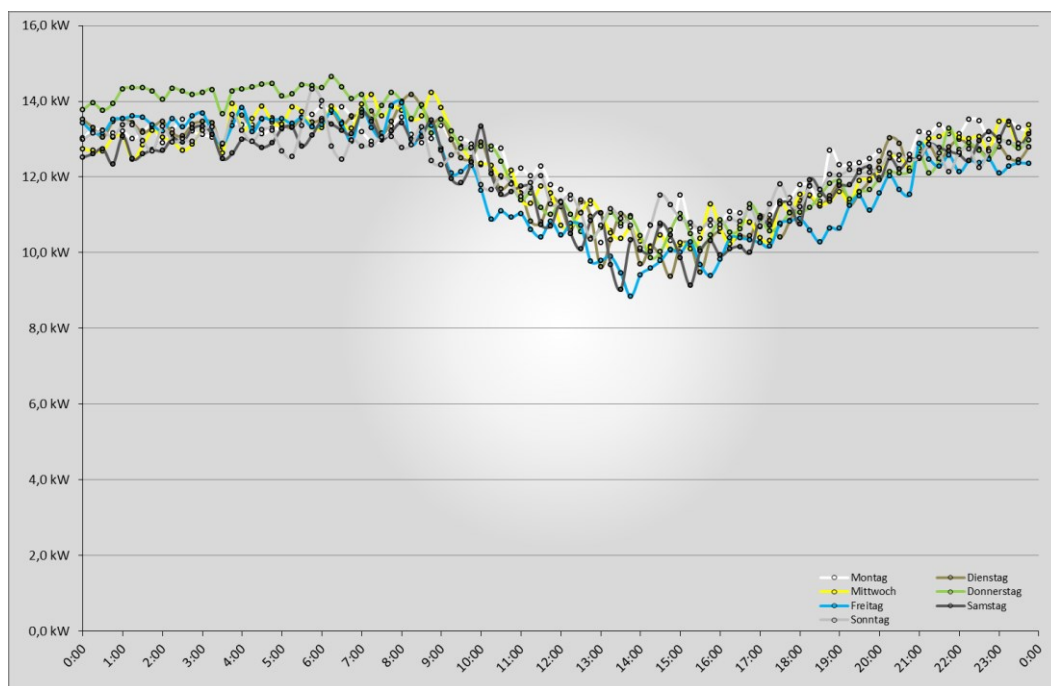


Abbildung 18: Lastgang der Wärmepumpe mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

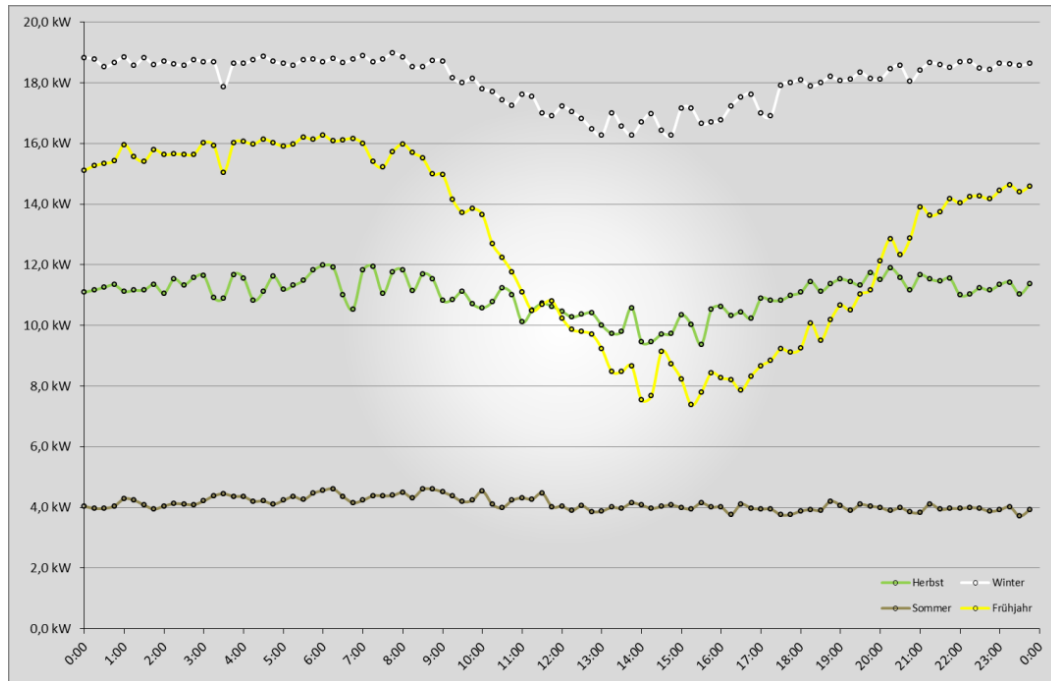


Abbildung 19: Lastgang Wärmepumpe mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

Werden einzelne Tage, wie in Abbildung 20 dargestellt, in den Jahreszeiten betrachtet, erkennt man deutlich die Möglichkeit und das Potenzial der Lastverschiebung. Im Winter steht ab 9:00 Uhr Potenzial zur Verfügung, das durch eine Anpassung der Pufferspeichergrenztemperaturen ausgenutzt werden könnte. Dies müsste jedoch voll automatisiert geschehen, da die Zeiten sehr kurz sind und der Prozess nicht darunter leiden darf.

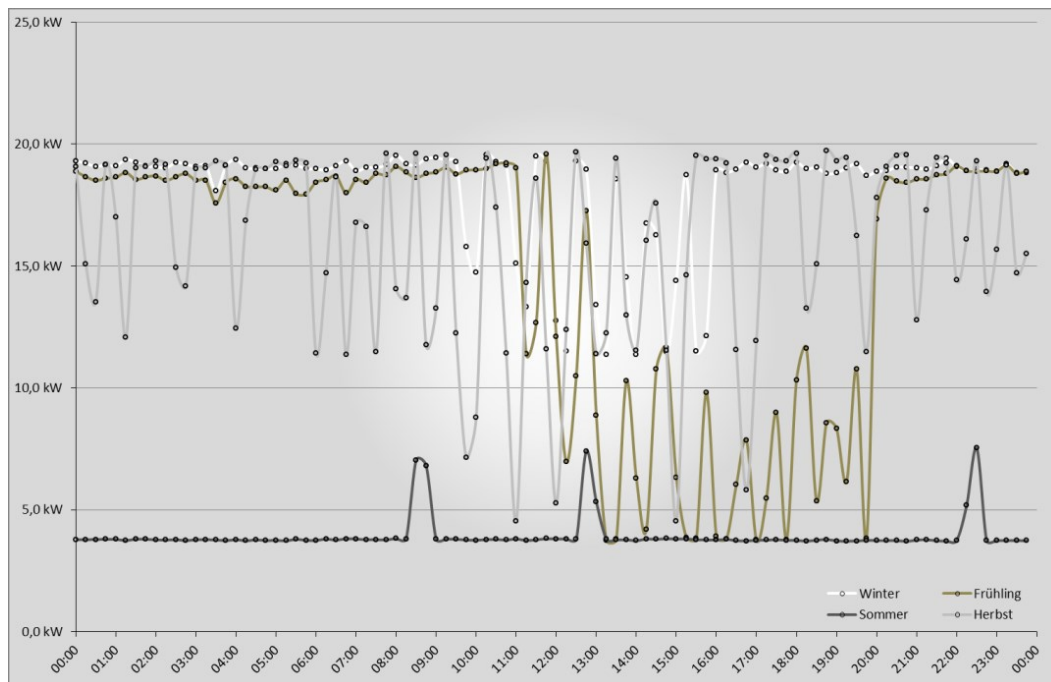


Abbildung 20: Lastgang der Wärmepumpe für einen Beispieltag je Jahreszeit

Im Winter sind durchaus 7 kW über eine Dauer von 15 bis 45 Minuten verschiebbar. Der Zyklus ist hier je nach Bedarf auf die gleiche Zeitgröße zu setzen. Dies ist jedoch vom Ladezustand des Speichers und der Abnahme im Unternehmen abhängig und muss durch die Steuerung der Wärmepumpe abgebildet werden.

Für den Herbst / Frühling sind 7 kW bis 15 kW möglich, abhängig von der Außentemperatur sowie der Ladung des Speichers. Die Dauer des Prozesses beträgt hierbei ca. 45 Minuten bis 2 Stunden, wobei die zeitliche Verschiebung auf max. 1 Stunde begrenzt ist, um die Produktion nicht zu gefährden.

Im Sommer sind nur ca. 4 kW Lastverschiebung realisierbar, jedoch sind diese über den Tag flexibel nutzbar, da die Speicherkapazität durchaus ausreicht.

Die zweite Möglichkeit zur Lastflexibilisierung ist durch den Glühofen zu realisieren. Dieser wurde wie schon in der folgenden Abbildung 21 zu sehen in die Randzeiten der Produktion gestellt, um während den Produktionszeiten keine Lastspitze zu erzeugen.

Durch die maximale Abnahme von 22 kW, vergleiche Abbildung 22, sind in diesem Unternehmen ca. 20 Prozent des Gesamtlastganges flexibel einsetzbar. Die Grenzen



liegen darin, dass der Härtevorgang ohne Unterbrechung immer über die komplette Zeit ablaufen muss. Diese Art von Lastflexibilisierung ist langfristig zu planen. Innerhalb des Prozesses besteht jedoch die Möglichkeit die Maschine minutenweise abzuschalten oder den Leistungsbezug zu reduzieren, da dies ein temperaturgeführter Prozess ist. Jedoch ist für die Umsetzung ein größerer Eingriff in die Anlagentechnik notwendig und die Automatisierung ist anzupassen.

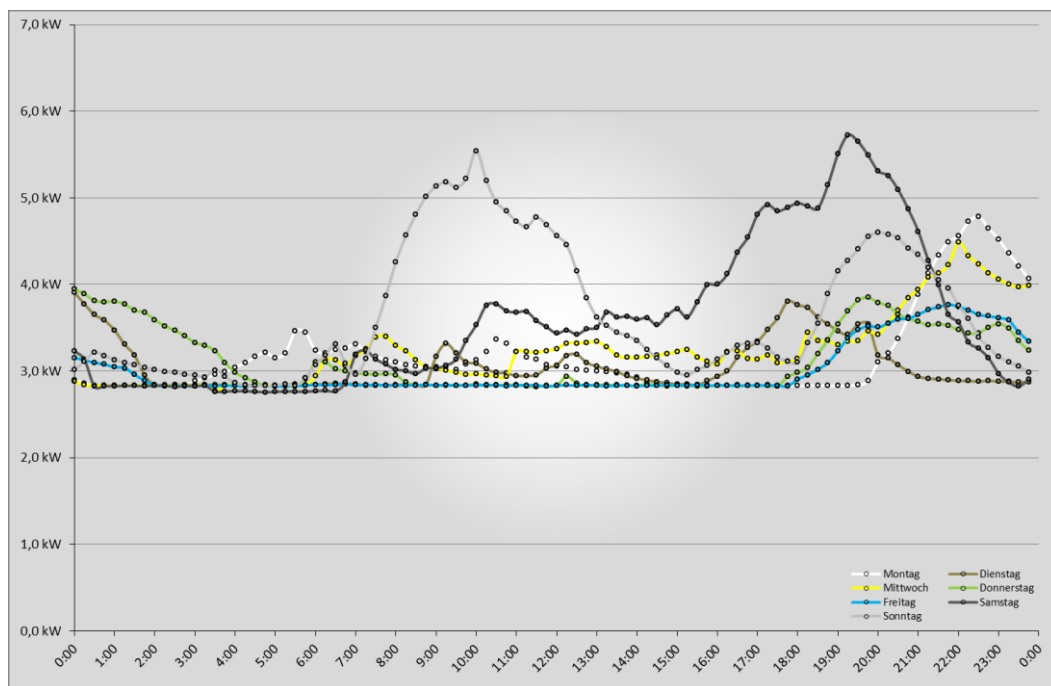


Abbildung 21: Lastgang des Glühofens mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der Zyklus des Härstens beträgt ca. 5 Stunden bis 5,5 Stunden und ist über einen Tag flexibel zu verschieben. Die Rahmenbedingungen für diesen Prozess sind denkbar einfach, da nur die Lieferzeiten einzuhalten sind.

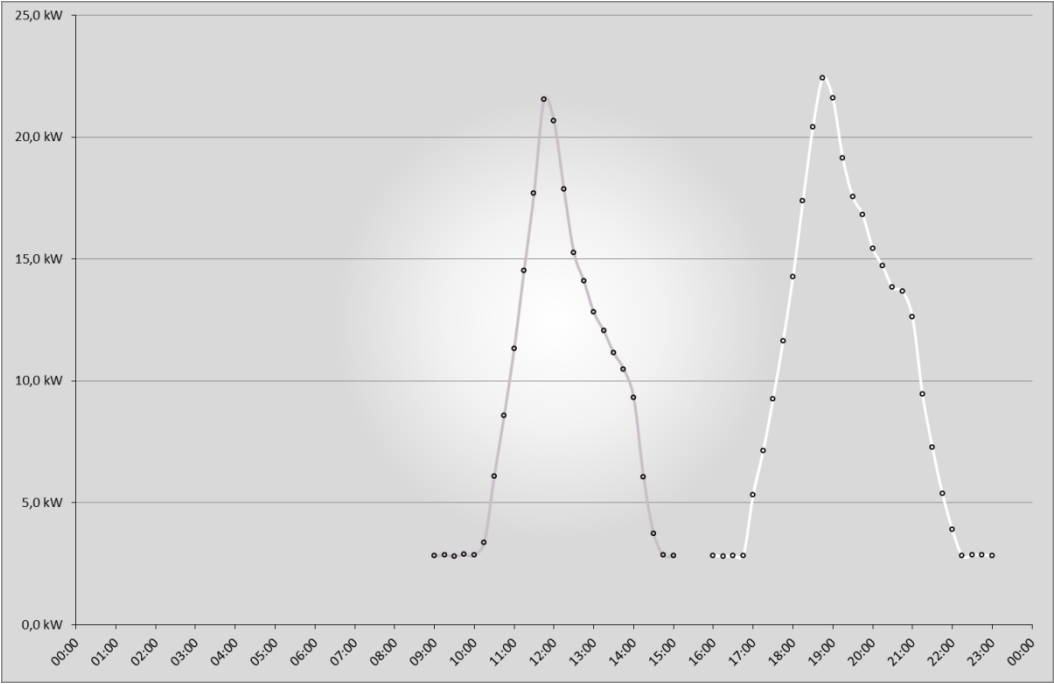


Abbildung 22: Lastgang für 2 beispielhafte Zyklen des Glühofens

## 3.2 Unternehmen 2: Bauunternehmen

Das Unternehmen ist Generalunternehmer und hat unterschiedliche Bereiche des Baugewerbes auf seinem Gelände verteilt. Es war leider nicht möglich in allen Bereichen des Unternehmens die Verbräuche zu messen, da durch die gewachsene Struktur auf dem weitläufigen Gelände eine Unterteilung schwierig ist. Der Fokus wurde deshalb auf die Bereiche des Büros und der Werkstatt sowie der Heizzentrale gelegt. Die Beheizung des Büros erfolgt über eine Ölheizung, es sind über das Gelände verteilt aber auch Gasheizungen aufgestellt.

Tabelle 11: Steckbrief Unternehmen 2

### Steckbrief

Branche	Baugewerbe
Gründungsjahr	1920
Mitarbeiteranzahl	~ 250
KMU Einordnung	Mittleres Unternehmen
Stromverbrauch	560.000 kWh
Weitere Energieträger	Öl, Gas
Wärmeerzeugung	Öl- und Gasheizungen
Erneuerbaren Energien/ BHKW	-
Arbeitszeit / Schichten	1
Energieeffizienzpotenzial	Wohnheim, Heizzentrale
Lastverschiebungspotenzial	Werkstatt, Büro
Besonderheiten	Verschiedene Abteilungen auf einem Gelände

### 3.2.1 Vorstellung und Besonderheiten

Eine Besonderheit der Firma ist die Unterbringung ihrer Arbeiter auf dem Betriebsgelände in einem Wohnheim. Dieses trägt für den gesamten Lastgang kaum für eine Erhöhung bei, da es antizyklisch genutzt wird.

Wird ein Blick auf den Gesamtlastgang in Abbildung 23, sieht man deutlich die Struktur beziehungsweise das Arbeitsverhalten eines in der Bauwirtschaft tätigen

Unternehmens. Der Arbeitsbeginn liegt zwischen 5:30 Uhr und 6:30 Uhr. Bis 9:00 Uhr wird die höchste Spitze des Lastganges erreicht, da alle Arbeiten in den unterschiedlichen Bereichen gleichzeitig beginnen.

Nach der Frühstückspause um 9:00 Uhr wird dann deutlich weniger Energie abgenommen, da einzelne Bereiche / Arbeiter mit dem vorbereiteten Material auf die Baustellen fahren. Eine weitere Reduktion der Abnahme wird nach der Mittagspause erreicht, da dann diverse Arbeiten abgeschlossen sind und das Material zu den Baustellen abtransportiert wird. Das Unternehmen hat jedoch einen recht hohen Verbrauch in den Nichtbetriebszeiten. Dieser ist durch das Arbeiterwohnheim und die Beleuchtungen sowie die Server und IT-Infrastruktur zu erklären.

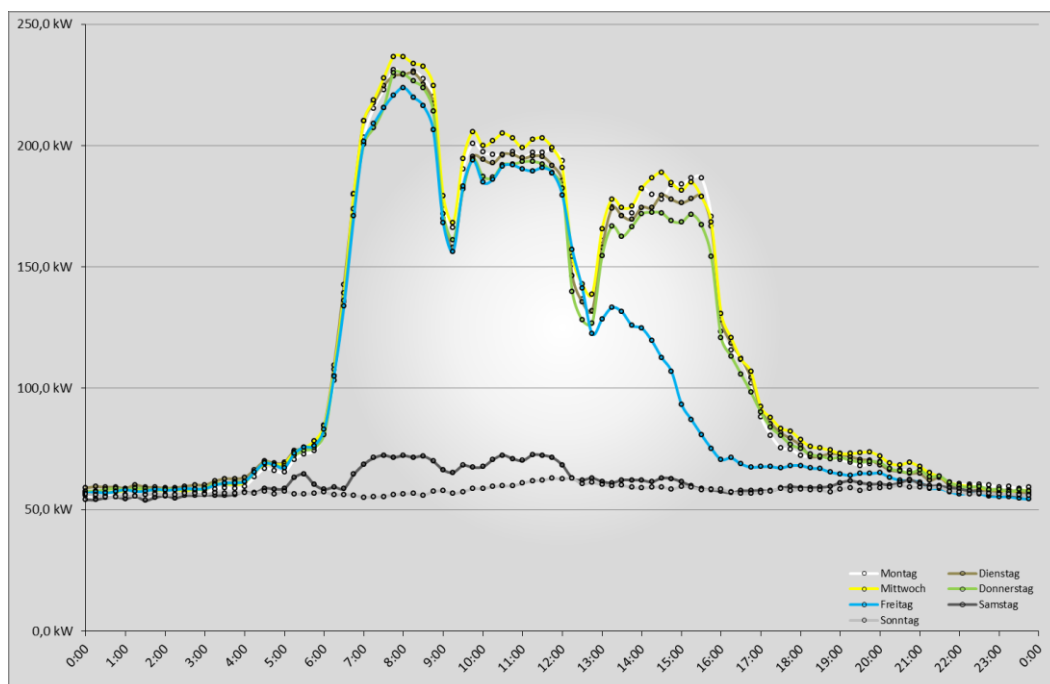


Abbildung 23: Gesamtlastgang U2 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Die Jahresdauerlinie in Abbildung 24 spiegelt das Verhalten eines Ein-Schicht-Betriebes recht gut wieder. Es gibt einige wenige Ausreißer bis 350 kW und einen großen Bereich zwischen 50 kW und 70 kW als Nebenzeit. Die Spitzen sollten durch ein integriertes Lastmanagementsystem<sup>15</sup> reduziert werden, um Kosten im Bereich

<sup>15</sup> Lastmanagementsystem: Abwurf von Lasten zur Einhaltung der Lastgrenze

der Netznutzung einzusparen. Sinnvoll wäre eine Reduktion auf 280 kW bis 300 kW, da diese durch einfache Maßnahmen in den Morgenstunden realisierbar wäre. So könnte durch unterschiedliche Anfangszeiten der Abteilungen die Last auf mehrere Stunden verteilt werden, um keine Gleichwertigkeiten im Gesamtlastgang hervorzurufen.

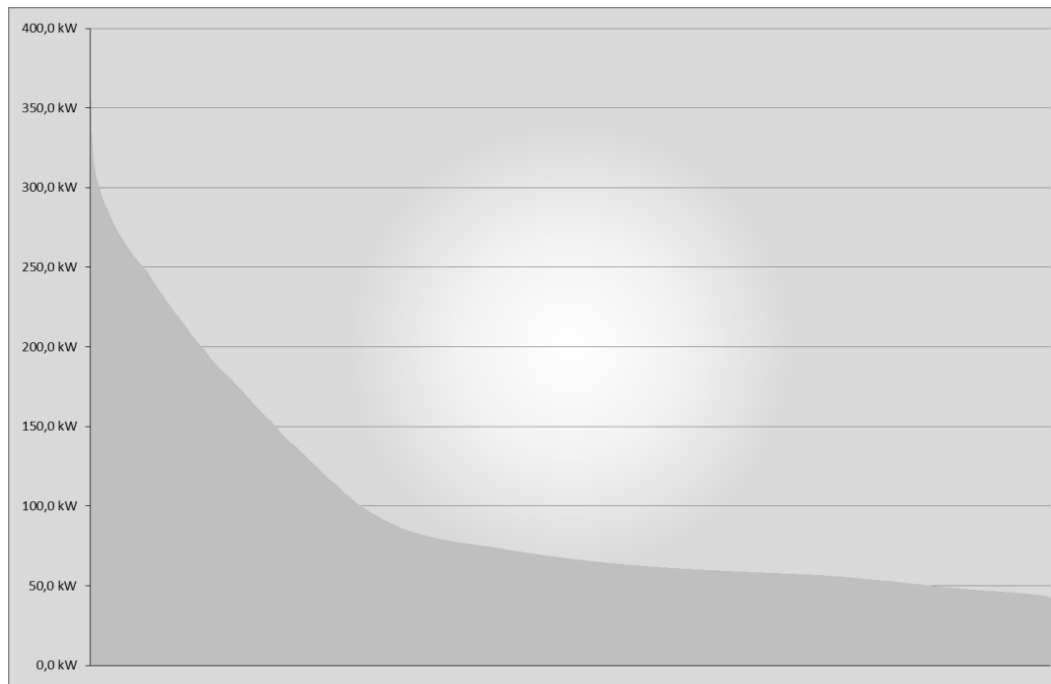


Abbildung 24: geordnete Jahresdauerlinie U2

Abweichungen zwischen den Jahreszeiten waren zu erwarten, da in den Wintermonaten deutlich mehr Energie für Licht und Heizung aufgewendet werden muss. Ebenfalls erwähnenswert sind die typischen Betriebsferien im Baugewerbe in den Sommermonaten, welche den Lastgang um 5 kW bis 10 kW abschwächen (vgl. Abbildung 25).

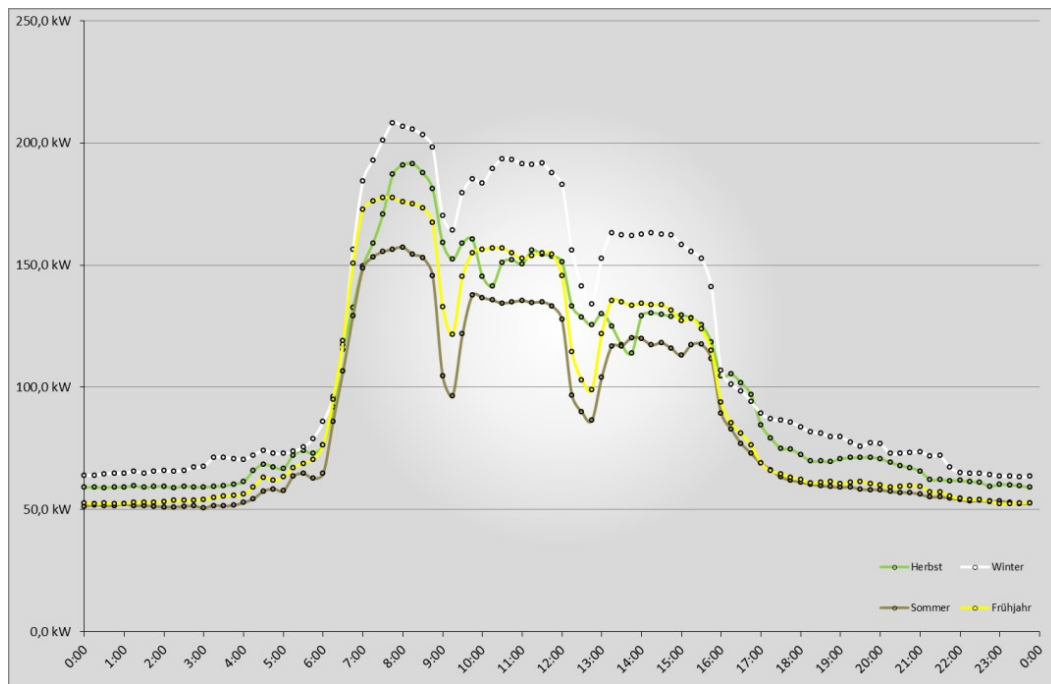


Abbildung 25: Gesamtlastgang U2 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

Die folgende Tabelle 12 zeigt, dass die Nacht und Abendstunden sehr geringe Standardabweichungen, die zwischen 6 kW und 18 kW liegen, aufweisen. Im Tagesverlauf werden die Abweichungen deutlich größer, da die Produktion der Bauteile keine konstanten Voraussetzungen bietet. Der maximale Stromverbrauch liegt bei 354 kW um 8:00 Uhr und der minimale Wert bei 42,3 kW um 0:00 Uhr.

Tabelle 12: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 2

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	52,74	53,25	56,27	76,31	175,88	156,33	145,77	134,38	93,83	62,17	60,08	54,53	93,46
Minimum	42,60	42,50	42,89	42,30	43,64	43,20	45,29	42,72	42,64	42,68	43,47	43,11	42,30
Maximum	76,25	79,76	77,45	132,73	317,35	280,67	284,73	277,52	216,52	91,59	83,60	75,00	317,35
Standardabweichung	6,92	8,02	8,38	22,82	89,43	77,20	69,63	67,08	42,23	11,15	10,60	7,67	64,43
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	65,97	66,20	68,90	86,82	197,30	157,30	157,72	135,41	108,99	77,42	75,65	68,25	105,46
Minimum	44,68	46,00	45,39	51,92	54,39	51,73	54,38	48,36	47,15	46,09	49,85	44,69	44,68
Maximum	119,07	120,75	128,69	167,69	330,29	286,54	297,56	274,72	286,65	169,60	121,46	120,99	330,29
Standardabweichung	19,68	19,46	20,76	27,99	90,86	71,16	71,50	59,37	54,98	23,61	18,24	19,93	65,11
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	51,31	51,09	52,87	64,68	157,38	136,64	127,72	119,91	89,45	61,25	58,03	54,13	85,37
Minimum	42,28	42,34	43,48	43,63	44,73	43,46	45,61	43,55	44,36	43,72	44,63	44,50	42,28
Maximum	77,40	74,91	76,65	98,13	284,23	249,84	233,73	230,37	199,95	97,15	84,10	85,31	284,23
Standardabweichung	6,72	6,27	6,56	12,32	69,07	56,83	51,66	51,66	39,06	12,66	9,88	7,21	51,96
<b>Winter</b>													
Mittelwert	63,97	65,86	70,55	85,91	206,81	183,46	182,98	162,62	106,86	83,73	76,93	64,98	112,89
Minimum	46,78	47,99	46,93	48,22	46,15	45,16	50,04	46,76	45,18	47,71	48,99	46,81	45,16
Maximum	93,70	98,72	98,85	143,35	354,14	314,35	310,41	295,26	272,88	185,57	137,13	91,08	354,14
Standardabweichung	11,74	11,72	11,44	25,27	112,00	97,48	90,38	83,53	50,64	24,20	15,75	10,81	78,81
Gesamt: Mittelwert	58,87	59,45	62,47	78,84	184,95	158,31	153,67	137,88	100,21	71,42	68,04	60,84	99,57
Gesamt: Minimum	42,28	42,34	42,89	42,30	43,64	43,20	45,29	42,72	42,64	42,68	43,47	43,11	42,28
Gesamt: Maximum	119,07	120,75	128,69	167,69	354,14	314,35	310,41	295,26	286,65	185,57	137,13	120,99	354,14
Gesamt: Standardabweichung	14,49	14,67	15,52	24,82	93,44	78,40	74,64	67,77	48,30	21,39	16,69	14,43	66,52

### 3.2.2 Energieeffizienzpotenzial

Die Energieeffizienzpotenziale sind im Bereich des Wohnheims und des Büros zu suchen.

Das Wohnheim hat mit ca. 13kW Grundlast für ein Wohnhaus einen hohen Verbrauch. Dies liegt vor allem an der Beleuchtung und den vorhandenen Küchen und Aufenthaltsräumen. Der Verbrauch unter der Woche ist ähnlich, und am Wochenende sind der Samstagabend und der Sonntagmittag deutlich erhöht.

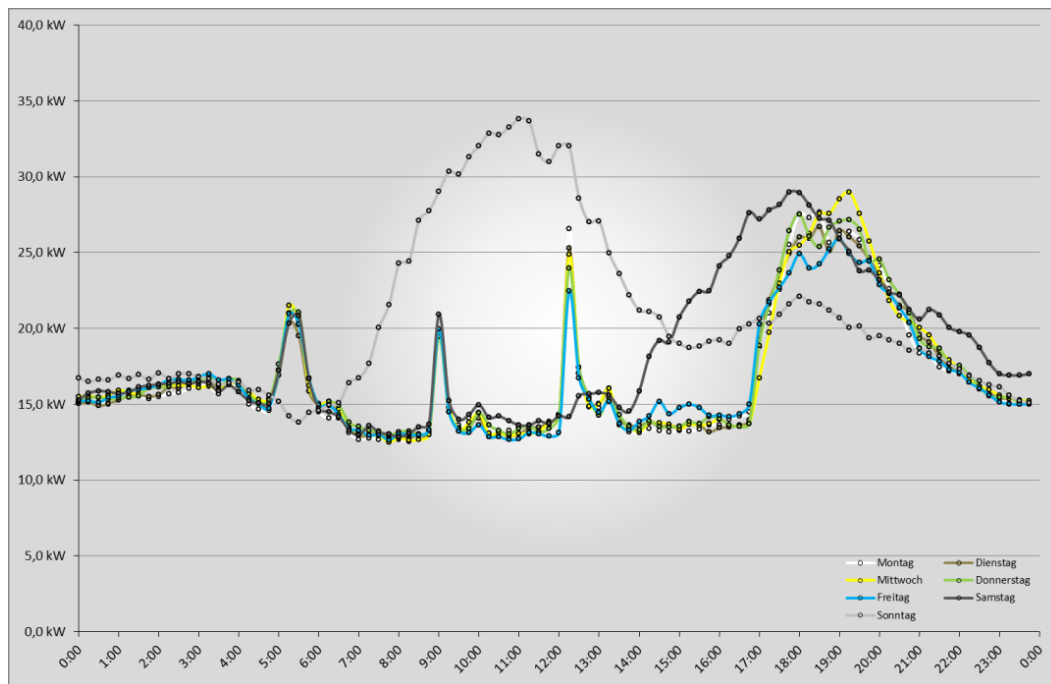


Abbildung 26: Lastgang des Wohnheims mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Das größte Potenzial liegt in der Sensibilisierung der Bewohner. Da die Personen oft wechseln ist dies nur schwer möglich. Deshalb besteht die Möglichkeit einer Optimierung der Beleuchtung. Dies könnte 2kW an Reduktion bewirken. In den Nachtzeiten könnte durch eine Lichtsteuerung weiteres Potenzial innerhalb der Beleuchtung der Treppenhäuser und Flure von bis zu 3 kW gehoben werden<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Die Einsparung wurde anhand der Anzahl der vorhandenen Leuchten ermittelt.



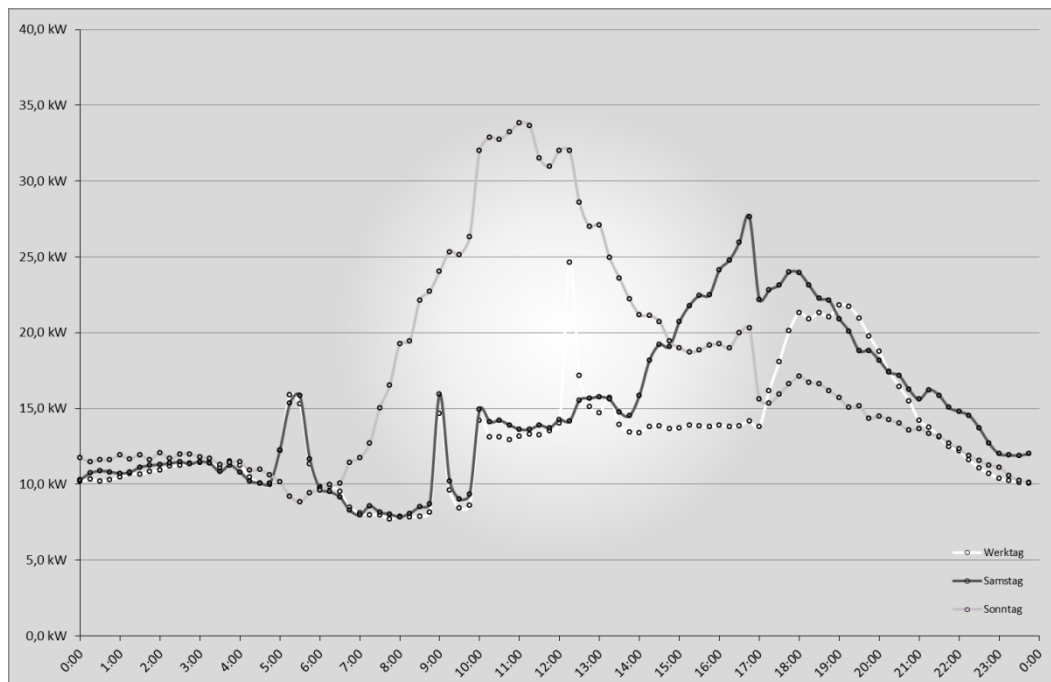


Abbildung 27: Optimierung des Wohnheims mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

Der Lastgang kann nach der Optimierung wie in Abbildung 27 dargestellt aussehen. Es sind jedoch Investitionen notwendig, die sich nicht innerhalb eines Jahres rechnen werden und dies eine Grenze für Investitionen in diesem Unternehmen darstellt.

Im Bereich des Büros ist kaum etwas über den ganzen Tag einzusparen, da die Serverinfrastruktur des Unternehmens nicht abgeschaltet werden kann und die IT-Infrastruktur in Benutzung ist. In den Morgenstunden zwischen 6:00 Uhr und 9:00 Uhr ist der Lastgang des Bürotrakts mit knapp 25 kW hoch. Dies ist mit dem Baujahr des Gebäudes zu erklären, da es seit dem Bau kaum Verbesserungen durchgeführt wurden.

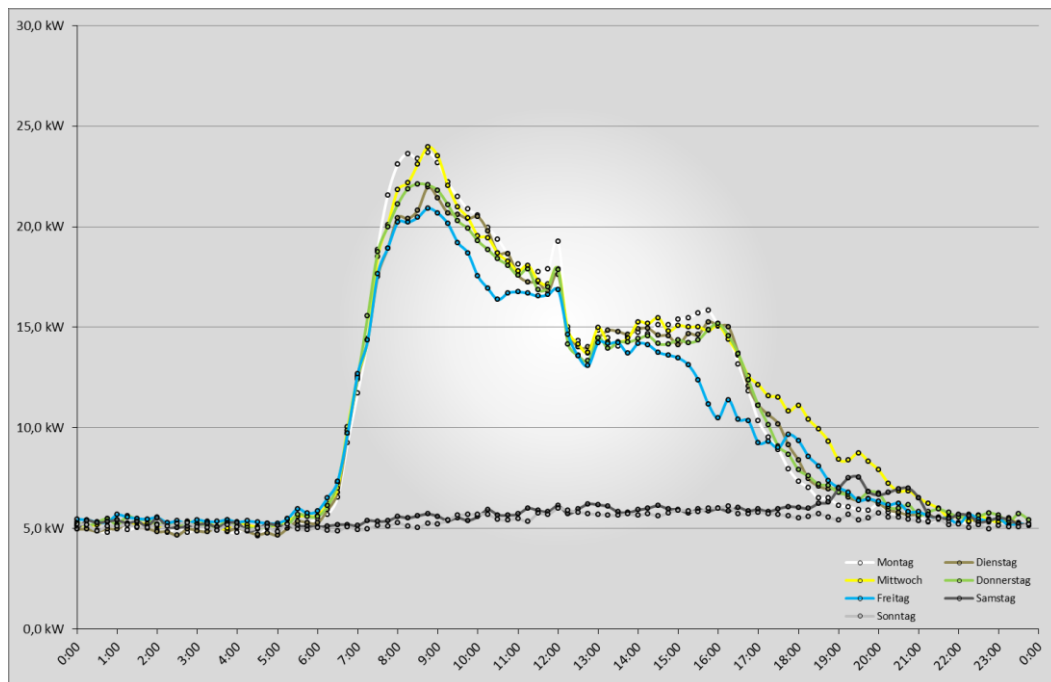


Abbildung 28: Lastgang des Büros mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Das Gebäude ist in den 60er Jahren erbaut worden. Seit dieser Zeit sind nur kleine Reparaturen erfolgt ohne die Beleuchtung zu erneuern. Dies wirkt sich direkt auf den Lastgang des Büros aus. Das Einsparpotenzial in diesem Bereich ist in der Spanne von 3 kW bis 5 kW durchaus gegeben. Der Lastgang wird sich von der Struktur nicht ändern lassen, da die Morgenstunden aufgrund der Branchenzugehörigkeit und der Arbeitsweise weiterhin im Verbrauch die Stärksten sein werden. Wird die Optimierung in den Lastgang eingearbeitet, stellt sich dies wie in Abbildung 29 dar. Die Mittagszeit bleibt ähnlich, es ändern sich ausschließlich die Morgen- und Abendstunden.

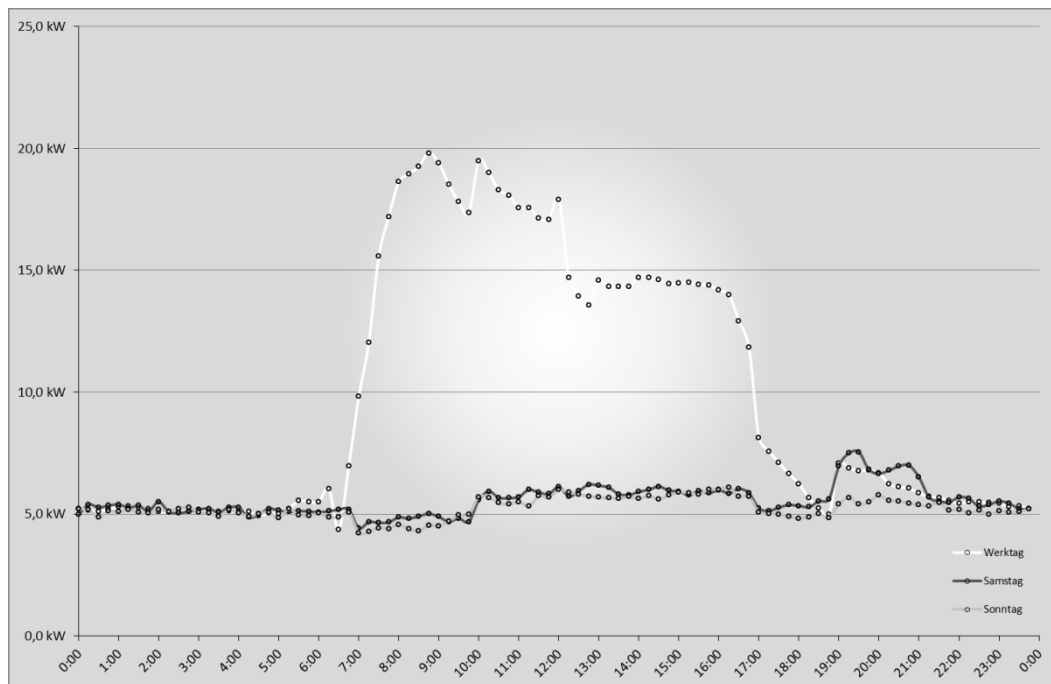


Abbildung 29: Optimierung des Büros mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

### 3.2.3 Lastverschiebungspotenzial

Die Lastflexibilisierung in diesem Unternehmen stellt sich sehr schwierig dar. Es gibt kaum Prozesse, die nicht manuell gesteuert werden oder nicht in regelmäßigem Rhythmus laufen. Folglich müsste durch die Sensibilisierung der einzelnen Mitarbeiter erreicht werden Last über den Tagesverlauf eigenständig zu verlagern. Die Möglichkeiten hierzu sind vielfach, von einfachen Prozessen wie der Abriegelung von Maschinen zueinander bis hin zur Visualisierung der Lastgänge in den einzelnen Fertigungshallen, um den manuellen Eingriff vor Ort zu ermöglichen.

Im Bereich der Werkstatt könnte der Lastgang ebenfalls beeinflusst werden. Die Werkstatt repariert und setzt Maschinen und Anlagen wieder in Stand und überprüft diese. Ein Großteil dieser Arbeiten findet am Vormittag statt. Am Nachmittag fährt die Werkstatt zum Teil die Baustellen an und betreut diese vor Ort. Dies wäre ein Ansatzpunkt zur Reduktion der Lastspitzen und zur längerfristigen, tagweisen Verlagerung des Potenzials, falls die Mitarbeiter zuerst die Baustellenbetreuung durchführt und am Nachmittag die Arbeit in der Werkstatt aufnimmt. Die daraus

resultierende Verschiebung von 5 kW bis 10 kW ist im Vergleich zum Gesamtlastgang des Unternehmens jedoch nicht sehr groß.

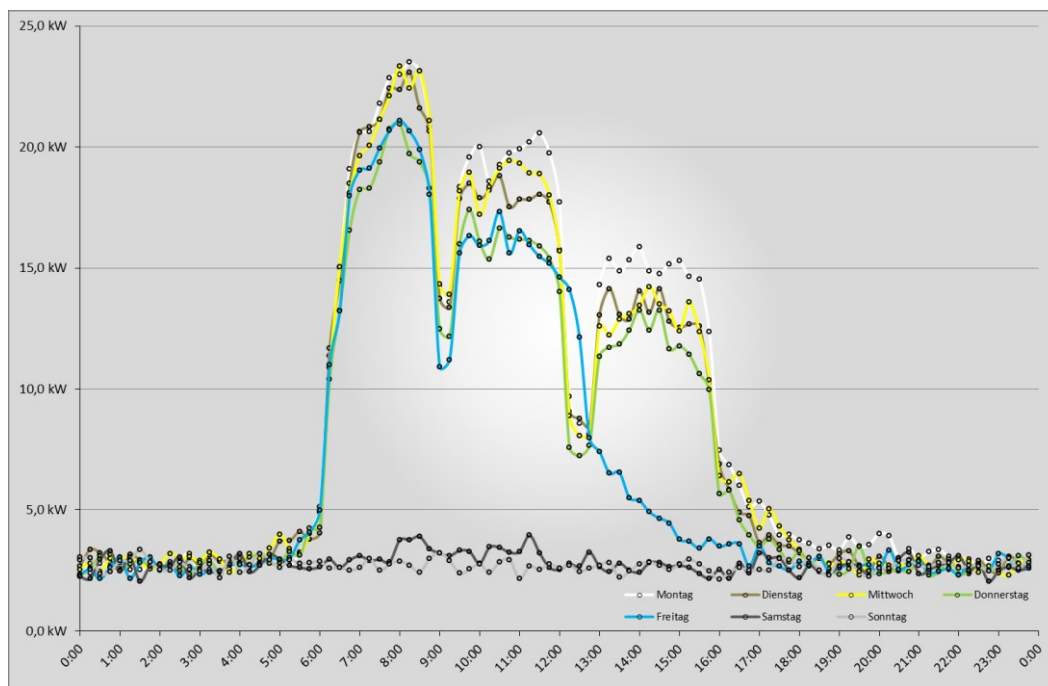


Abbildung 30: Lastgang der Werkstatt mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

### 3.3 Unternehmen 3: Stahlbau

Das dritte untersuchte Unternehmen ist im Stahlbau tätig und deckt Arbeitsschritte von der Blechbearbeitung über den Maschinenbau bis hin zur Pulverbeschichtung und Lackierung ab. Die Lagerhallen werden mit gasbetriebenen Hallenstrahlern beheizt. Die Dachflächen der Hallen sind mit PV-Anlagen ausgelegt.

Tabelle 13: Steckbrief Unternehmen 3

#### Steckbrief

Branche	Stahlbau, Anlagenbau
Gründungsjahr	1998
Mitarbeiteranzahl	~200
KMU Einordnung	Mittleres Unternehmen
Stromverbrauch	2.038.000kWh
Weitere Energieträger	Gas
Wärmeerzeugung	Hallenstrahler
Erneuerbaren Energien/ BHKW	PV-Anlagen
Arbeitszeit / Schichten	2
Energieeffizienzpotenzial	Druckluft
Lastverschiebungspotenzial	PV-Anlagen
Besonderheiten	Laserschneider mit hohem Energiebezug, große PV-Anlage mit 200 kW Peak

#### 3.3.1 Vorstellung und Besonderheiten

Das Unternehmen hat durch die Laserschneidanlagen zur Blechbearbeitung einen hohen Energiebedarf, der im Lastgang deutlich zu erkennen ist. Darüber hinaus wird ein Teil der bezogenen Leistung für Handgeräte und Druckluftanlage benötigt. Die große PV-Anlage auf dem Dach der Firma mit ca. 200 kW Peak ist ein weiterer Bestandteil der Energieversorgung. Aktuell wird die Anlage als Volleinspeiser auf der 400V-Ebene betrieben. Dies hat zur Folge, dass das Unternehmen den Strom zu fast 100 Prozent direkt vor Ort verbraucht, da es über einen eigenen Trafo verfügt.

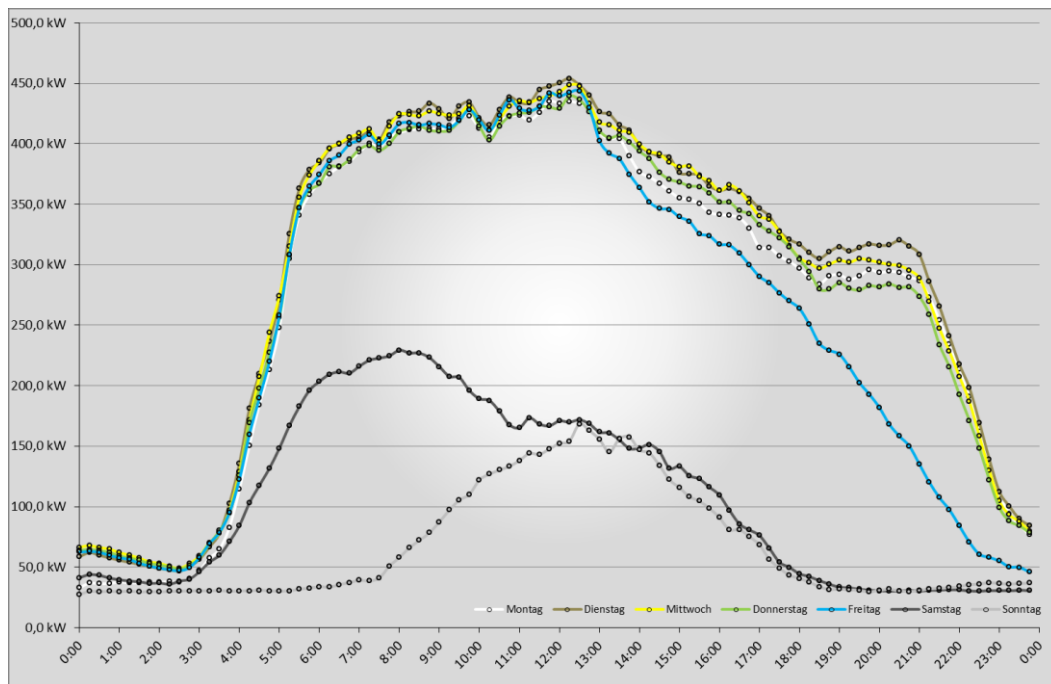


Abbildung 31: Gesamtlastgang U3 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der Lastgang über die einzelnen Wochentage ist ähnlich und unterscheidet sich nur am Freitagnachmittag, da an diesem Wochentag ein Teil der Belegschaft früher Feierabend macht. Die Leistungsspitze in diesem Unternehmen wird kurz vor der Mittagspause erreicht und beträgt im Mittel 450 kW. Die Grundlast von unter 50 kW ist durchaus realistisch und bietet wenig Potenzial diese deutlich zu verringern.

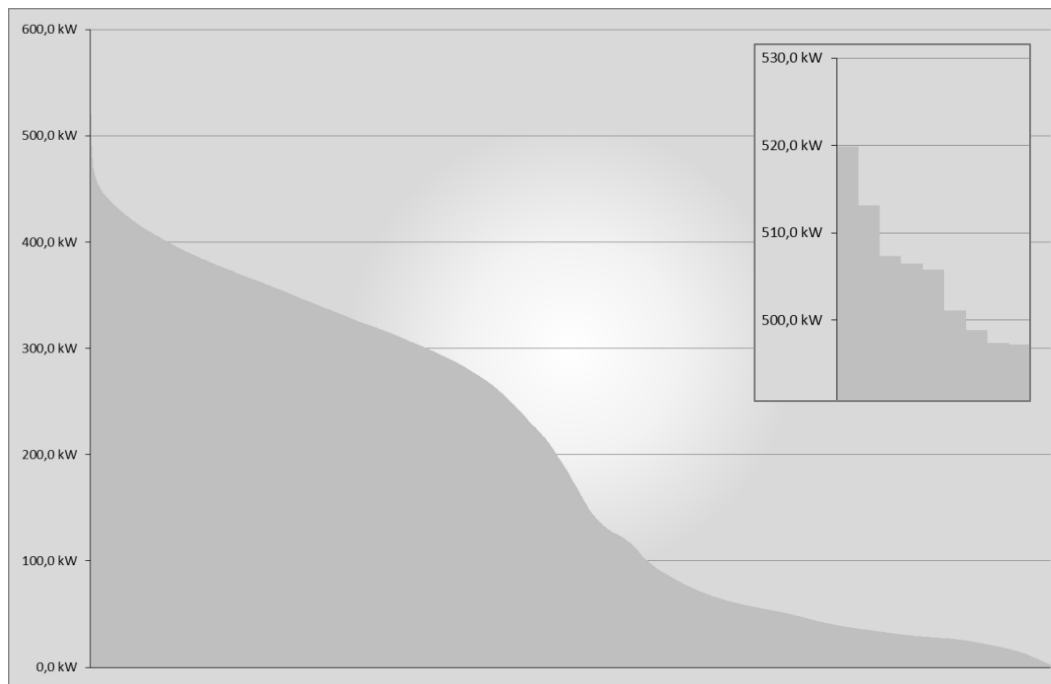


Abbildung 32: geordnete Jahresdauerlinie U3

Die Jahresdauerlinie zeigt wenige Überschreitungen von 500 kW, jedoch einen Mittelwert der deutlich über 200 kW liegt. Sinnvoll wäre es, die Spitzen von über 500 kW zu vermeiden, um Kosten im Bereich der Netznutzung einzusparen. In diesem Fall wären dies ca. 2.500 Euro die durch einen automatischen Lastabwurf eingespart werden könnten<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Die Berechnung erfolgte anhand der Netznutzungsentgelte von 2012. Siehe Kapitel 4 [EnB12]

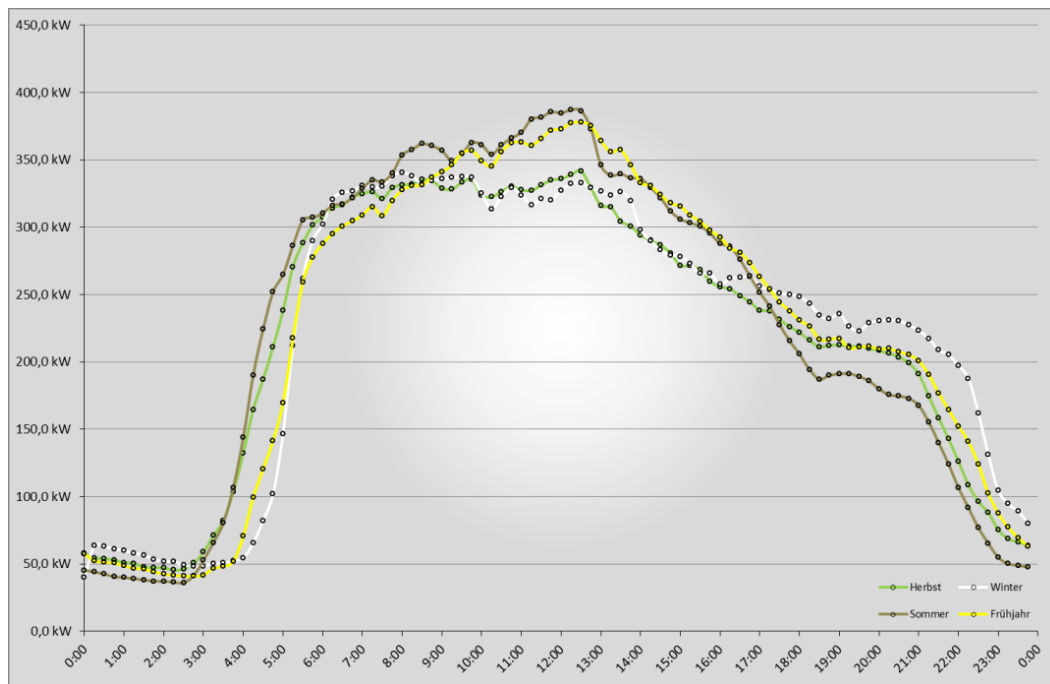


Abbildung 33: Gesamtlastgang U3 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

Der Lastgang während der vier Jahreszeiten unterscheidet sich in seinem Verhalten sehr wenig. Es ist sogar festzustellen, dass der Lastgang unabhängig von den Jahreszeiten betrachtet werden kann, da im Winter weniger Energie benötigt wird als im Frühjahr. Dies deutet auf einen produktionsabhängigen Verbrauch hin.



Tabelle 14: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 3

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	57,67	42,54	70,71	287,67	327,60	349,52	372,79	333,07	292,63	230,92	209,49	152,40	227,25
Minimum	17,90	18,14	18,98	17,04	17,52	25,17	25,53	19,26	18,67	11,81	18,20	17,43	11,81
Maximum	120,40	71,28	281,94	463,44	497,19	506,26	515,67	494,81	503,79	432,99	407,72	405,26	515,67
Standardabweichung	25,28	13,83	57,37	153,62	166,33	142,46	135,68	133,50	139,38	142,37	145,46	124,80	170,04
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	58,06	47,11	132,23	307,21	331,47	323,84	335,99	294,06	255,81	221,77	208,33	126,16	220,17
Minimum	21,90	22,68	24,74	22,35	21,56	18,55	22,62	16,92	14,21	23,05	21,18	22,59	14,21
Maximum	110,73	91,61	302,08	465,76	502,81	506,74	526,69	463,93	437,21	422,36	400,84	416,89	526,69
Standardabweichung	22,15	15,27	81,06	141,27	150,25	151,03	159,59	149,68	146,47	134,95	135,11	91,93	160,90
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	45,34	37,16	143,93	310,36	353,58	360,23	384,79	336,03	287,82	205,78	180,07	106,64	229,19
Minimum	18,01	17,03	18,51	18,88	21,78	29,69	36,36	37,76	39,18	22,49	18,66	21,52	17,03
Maximum	83,02	60,69	270,27	455,93	524,64	496,69	529,15	481,97	481,91	368,33	361,07	284,15	529,15
Standardabweichung	16,10	9,97	69,93	143,87	136,57	117,71	125,83	94,52	104,35	114,74	119,11	72,65	158,35
<b>Winter</b>													
Mittelwert	39,90	52,10	54,58	302,45	340,57	325,11	327,26	296,29	257,78	248,29	230,78	197,16	211,42
Minimum	0,00	23,39	22,55	24,01	25,14	11,12	13,53	15,18	17,73	22,61	24,11	23,87	0,00
Maximum	135,24	110,03	95,50	447,81	509,75	512,04	530,60	515,14	440,64	437,43	392,41	417,17	530,60
Standardabweichung	41,09	18,74	20,59	140,84	158,09	157,04	183,35	169,26	161,44	151,18	143,22	136,42	174,21
Gesamt: Mittelwert	50,28	43,79	105,90	301,78	338,02	341,60	358,94	317,41	275,63	224,06	204,24	139,35	223,25
Gesamt: Minimum	0,00	17,03	18,51	17,04	17,52	11,12	13,53	15,18	14,21	11,81	18,20	17,43	0,00
Gesamt: Maximum	135,24	110,03	302,08	465,76	524,64	512,04	530,60	515,14	503,79	437,43	407,72	417,17	530,60
Gesamt: Standardabweichung	28,76	15,13	74,62	145,86	153,00	141,82	150,13	136,55	137,51	135,32	136,31	110,07	165,20

Die Zahlen der Tabelle 14 spiegeln die getroffenen Aussagen wider. Jedoch ist die Standardabweichung von 165 kW hoch. Dies ist damit zu erklären, dass die Lasermaschinen alle manuell bestückt werden und somit große Schwankungen im Lastgang auftreten da sie nicht immer zur gleichen Zeit starten.

### 3.3.2 Energieeffizienzpotenzial

Die Energieeffizienzpotenziale sind in der Bereitstellung der Druckluft zu suchen. Mit drei Kompressoren von 90 kW, 37 kW und 7 kW ist eine Gesamtanschlussleistung von 134 kW vorhanden. Der Erzeugungsdruck vor der Druckluftaufbereitung liegt bei 8,7 bar.

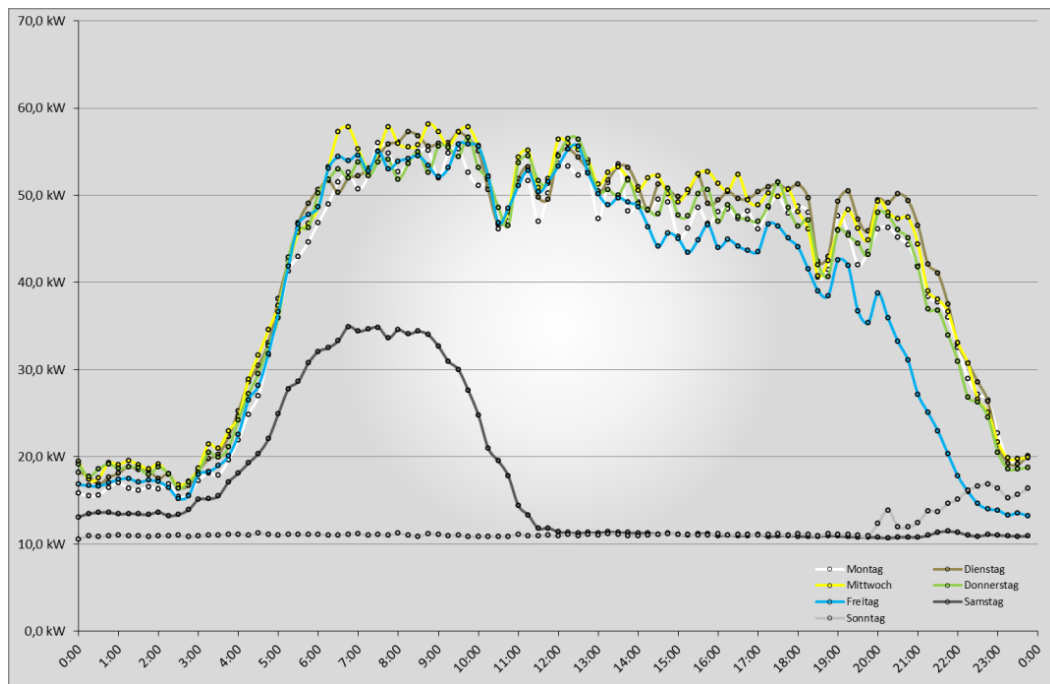


Abbildung 34: Lastgang der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der durchschnittliche Lastgang über die Wochentage ist in Abbildung 34 gegeben. 60 kW werden im Mittel nicht überschritten, was darauf hindeutet, dass mit 90 kW der größte Kompressor gut ausgelegt ist. Zur Effizienzsteigerung wurden 31 Leckagen lokalisiert und eine Leckagemenge von  $244.000 \text{ Nm}^3/\text{a}^{18}$  ermittelt. Eine Leckage wird dabei mit  $0,015 \text{ Nm}^3/\text{min}$  angenommen. Durch die Eliminierung der gefundenen Leckagen wurde in den Nichtbetriebszeiten zwischen 2:00 Uhr und 3:00 Uhr ein Rückgang der Leistung von 3,5 kW erreicht.

<sup>18</sup>  $\text{Nm}^3/\text{a}$ : Normkubikmeter pro Jahr

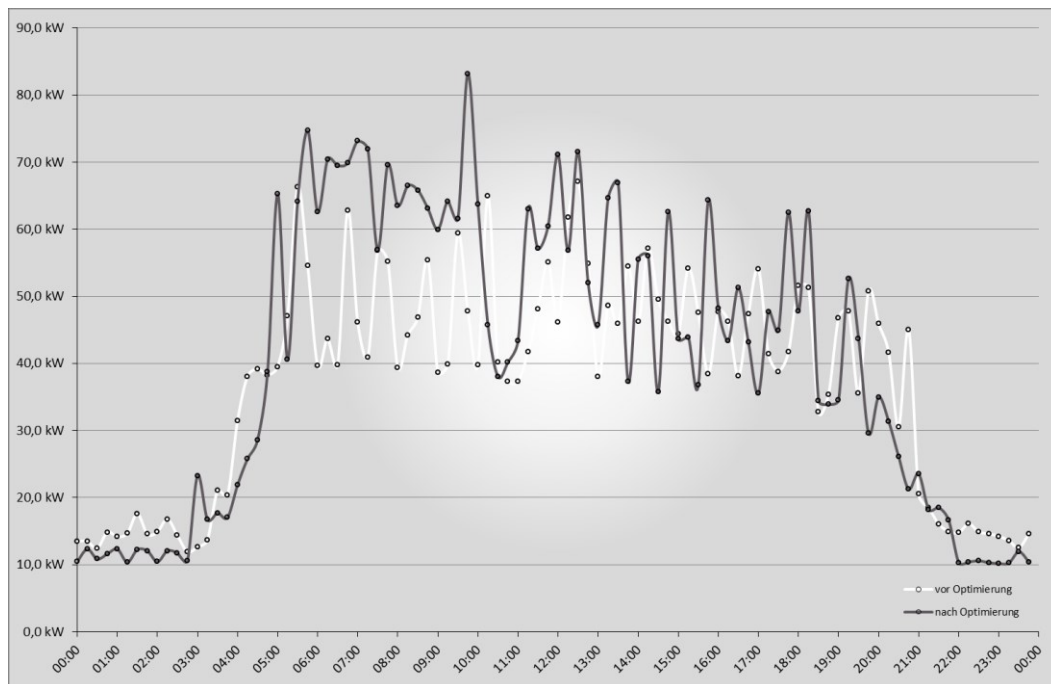


Abbildung 35: Darstellung der Druckluft-Optimierung

Trotz der Erhöhung des Verbrauchs während der Produktionszeiten zum Vergleichstag werden die Reduktionen der Leckageverluste in den Nachtzeiten sichtbar.

Durch eine Absenkung des Erzeugungsdruckes um 0,3 bar, würde, ohne Veränderung der Rahmenbedingungen im Betrieb, der Lastgang zusätzlich um weitere 2 Prozent gesenkt werden. Durch kleinere Änderungen im Betrieb, wie zum Beispiel der Einsatz einer übergeordneten Steuerung, könnte der Erzeugungsdruck auf 7,7 bar gesenkt werden, was eine Reduktion um ca. 9 Prozent darstellen würde.

### 3.3.3 Lastverschiebungspotenzial

Die vorhandenen Prozesse sind nur manuell verschiebbar, da nahezu alle Arbeiten händisch ausgeführt oder teilautomatisiert ablaufen. Interessant ist die PV-Anlage, die zwar als Volleinspeiser konzipiert ist und auch so abgerechnet wird, der erzeugte PV-Strom aber durch die elektrische Schaltung und die Einspeisung in das Firmennetz direkt vor Ort verbraucht wird. Da das Unternehmen tendenziell in den

Mittagsstunden den größten Verbrauch hat, würde die Anlage je nach Strompreis schon jetzt wirtschaftlich für das Unternehmen einsetzbar sein. Dies wird in den zwei folgenden Grafiken deutlich. Die Abbildung 36 stellt die Erzeugungsleistung der PV Anlage über die Wochentage dar. Im Schnitt sind ca. 100 kW Peak durch die Anlage nutzbar. Wie in Abbildung 37 dargestellt werden sogar im Winter noch im Mittel ca. 50 kW in den Mittagsstunden erreicht.

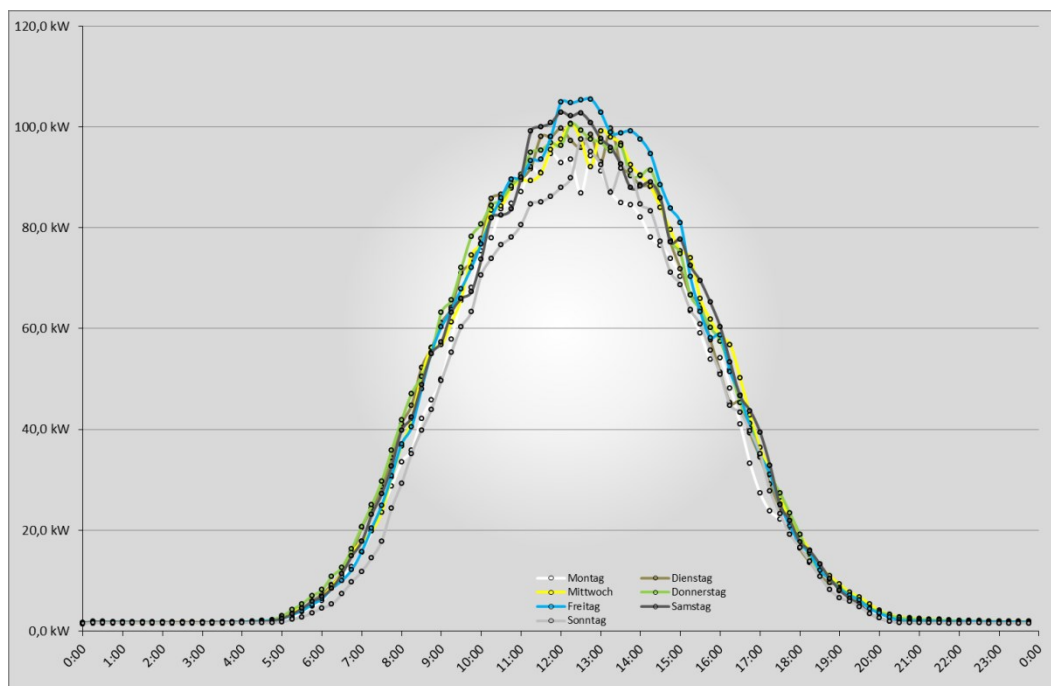


Abbildung 36: Lastgang der Solaranlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

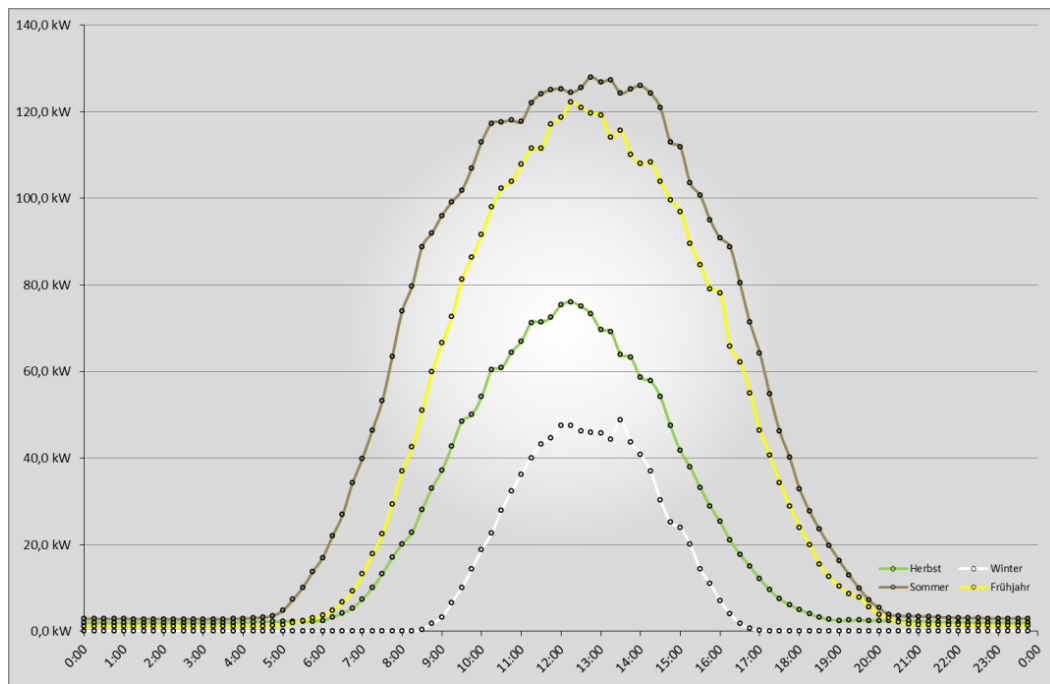


Abbildung 37: Lastgang der Solaranlage mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

Betrachtet man die Bereitstellungsleistung des Transformators über die Jahreszeiten im Vergleich zur Abbildung 33, sieht man deutlich den Einfluss der PV-Anlage über die Mittagszeit. Dieses Verhalten sollte der Unternehmer weiterhin überwachen, um die Last nach den 20 Jahren der Einspeisevergütung für sich sinnvoll zu nutzen. Das Problem des Unternehmens wird die sinnvolle wirtschaftliche Weiternutzung der gebauten Anlagen sein. Es ist nicht davon auszugehen, dass der aktuell vergütete Strompreis nach Ablauf der Einspeisevergütung bestehen bleibt.

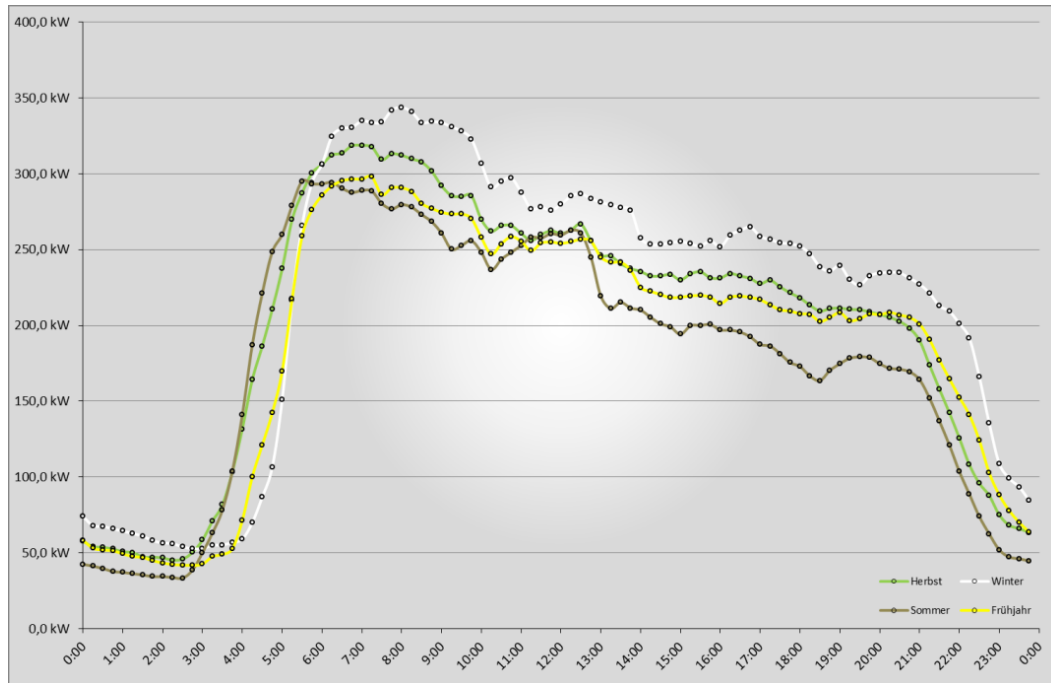


Abbildung 38: Gesamtlastgang U3 ohne Solareinspeisung mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

### 3.4 Unternehmen 4: Elektronik

Das im Folgenden vorgestellte Unternehmen stellt weltweit Anlagen für die Halbleiterindustrie her und gehört zu einem Konzern mit Sitz in den USA. Der betrachtete Standort ist Technologiestandort für RTP-Anlagen<sup>19</sup>. Für die Herstellung und den Betriebstest der Anlagen wird neben Strom auch Kaltwasser zur Kühlung benutzt. Die Anlagen werden vor Ort zusammengebaut und getestet. Der Test einer Anlage kann mehrere Wochen andauern, bis die Abstimmung der Einzelkomponenten stimmt. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über eine zentrale Gasheizung die über einen Wärmetauscher die Lüftungsanlage bedient. Die Nebenprozesse im Unternehmen sind vielfällig, es wird beispielsweise Reinwasser aufbereitet und für diese Herstellung Druckluft benötigt.

Tabelle 15: Steckbrief Unternehmen 4

#### Steckbrief

Branche	Elektronik, Halbleiter
Gründungsjahr	~1995
Mitarbeiteranzahl	~200
KMU Einordnung	Mittleres Unternehmen
Stromverbrauch	2.400.000 kWh
Weitere Energieträger	Gas
Wärmeerzeugung	Gasheizung
Erneuerbaren Energien/ BHKW	-
Arbeitszeit / Schichten	1-2
Energieeffizienzpotenzial	Kälte / Klima
Lastverschiebungspotenzial	Nebenprozesse
Besonderheiten	Reinraum

<sup>19</sup> RTP-Anlagen: Rapid Thermal Processing, Hochtemperaturprozess zur Behandlung von Trägermedien, sogenannten Wafern, zur beispielsweise besseren elektrischen Leitfähigkeit [Cry13]

### 3.4.1 Vorstellung und Besonderheiten

Das Unternehmen hat einen sehr ausgeglichenen Lastgang sowie eine hohe Grundlast. Dies ist auf die langen, über Tage andauernden Testläufe der Anlagen und Maschinen zurückzuführen. Durch die Verwendung von Medien wie Kaltwasser zur Kühlung der Maschinen wird der Lastgang weiter erhöht. Die Klimatisierung der Räume sowie die Anforderungen an einen Reinraum erhöhen zudem den Strombedarf.

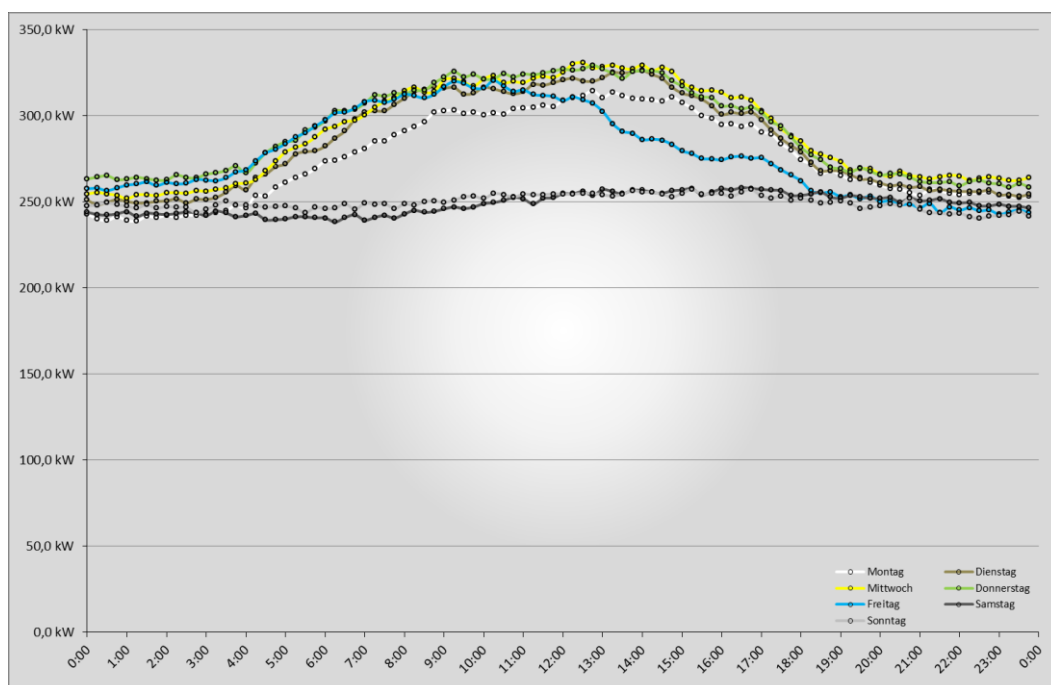


Abbildung 39: Gesamtlastgang U4 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten sind wie in Abbildung 40 gering. Die Ausnahme ist in diesem Fall der Herbst, da dort ein Umbau der Testanlage erfolgte und somit der Strombedarf niedriger war unter normalen Betriebsbedingungen wäre der Lastgang ähnlich der übrigen Jahreszeiten.



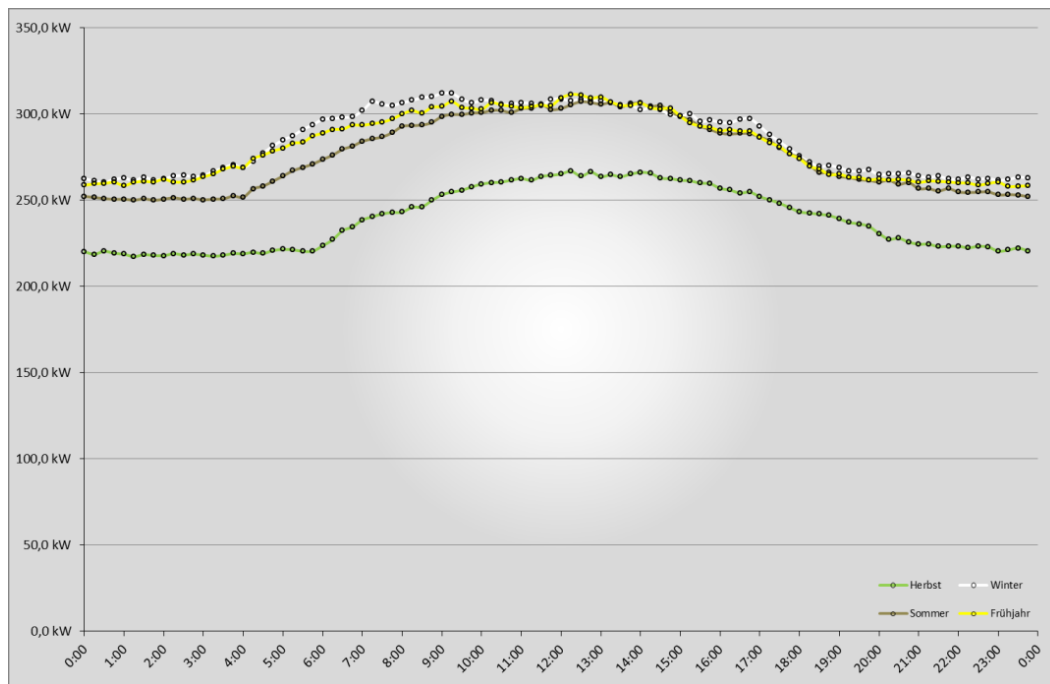


Abbildung 40: Gesamtlastgang U4 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

Die Jahresdauerlinie in Abbildung 41 bestätigt das konstante Abnahmeverhalten. Es sind wenige Spitzen über 420 kW. Das konstante Abnahme-Band liegt zwischen 0 kW und 200 kW.

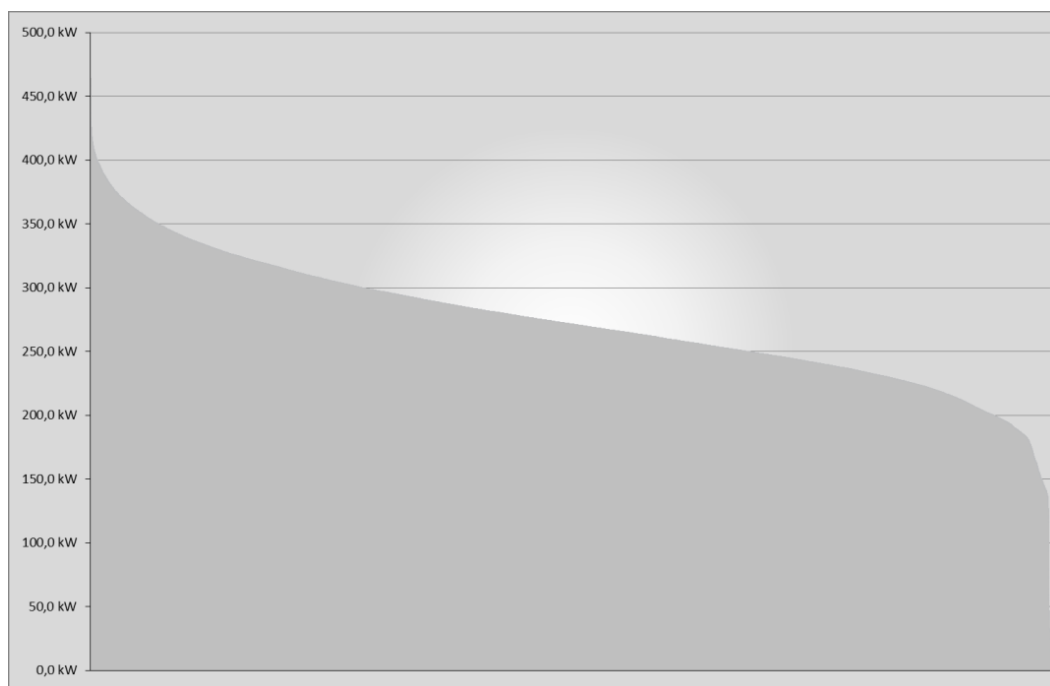


Abbildung 41: geordnete Jahresdauerlinie U4

Die Standardabweichung des Leistungsbezugs ist, wie zu erwarten war, im Vergleich zum Gesamtlastgang mit ca. 60 kW niedrig. Dies sind ca. 20 Prozent des durchschnittlichen Lastganges. Das bedeutet auch, dass der Verbrauch sehr gut vorhersehbar ist und das Unternehmen kaum größeren Schwankungen unterliegt.

Tabelle 16: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 4

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	258,80	262,27	269,12	288,99	300,04	302,79	309,49	306,47	290,47	274,22	262,45	260,19	281,95
Minimum	30,96	32,16	32,16	2,64	78,32	130,64	178,32	194,16	120,88	49,92	43,68	41,36	2,64
Maximum	354,08	387,60	396,56	403,20	432,88	398,16	413,36	427,04	377,28	370,40	357,60	356,64	432,88
Standardabweichung	42,12	46,00	46,71	54,79	55,87	51,08	50,99	51,72	45,81	43,95	41,66	40,77	51,42
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	220,31	217,95	219,04	223,71	243,20	259,49	265,34	266,24	256,99	243,40	230,77	223,41	239,13
Minimum	183,68	152,48	185,12	179,68	170,40	188,16	193,28	183,36	182,40	181,92	184,32	184,64	152,48
Maximum	270,08	269,44	271,52	314,80	318,16	344,08	355,92	333,68	330,48	304,16	291,44	277,92	355,92
Standardabweichung	20,56	23,72	21,97	29,70	33,52	38,61	40,08	39,69	36,33	28,81	22,71	21,28	35,63
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	252,37	250,71	251,83	273,77	292,95	300,87	303,31	306,35	289,05	274,76	260,68	254,90	275,96
Minimum	179,44	152,32	184,64	223,28	222,80	222,88	235,04	230,00	216,48	197,28	190,72	197,76	152,32
Maximum	324,64	323,52	331,68	367,44	410,72	397,04	374,08	397,04	394,80	352,32	331,68	333,44	410,72
Standardabweichung	23,95	24,77	24,88	29,75	35,93	38,15	35,66	39,24	32,82	28,42	25,21	23,83	37,14
<b>Winter</b>													
Mittelwert	262,67	262,58	268,99	297,04	306,64	308,10	308,63	302,57	295,33	275,58	264,81	262,24	284,60
Minimum	137,20	153,76	145,52	140,80	145,04	143,28	145,36	140,64	143,60	143,36	140,64	142,56	137,20
Maximum	345,92	351,44	356,72	416,16	422,24	425,92	418,80	406,56	451,68	365,84	350,16	350,16	451,68
Standardabweichung	45,93	45,15	47,10	56,21	64,53	64,50	63,02	62,70	58,79	50,73	48,64	47,43	58,30
Gesamt: Mittelwert	251,42	251,45	255,48	275,39	290,05	296,26	299,94	298,55	285,76	269,59	257,30	253,07	273,66
Gesamt: Minimum	30,96	32,16	32,16	2,64	78,32	130,64	145,36	140,64	120,88	49,92	43,68	41,36	2,64
Gesamt: Maximum	354,08	387,60	396,56	416,16	432,88	425,92	418,80	427,04	451,68	370,40	357,60	356,64	451,68
Gesamt: Standardabweichung	38,65	40,57	42,08	51,88	54,73	52,70	51,58	52,04	46,96	41,55	39,00	38,48	49,95

### 3.4.2 Energieeffizienzpotenzial

Energieeffizienzpotenzial besteht vor allem in der Erzeugung und Bereitstellung der Kühlung und Klimatisierung. In diesem Bereich werden für die Erzeugung und Verteilung sowie Rückkühlung konstant ca. 60 kW verbraucht (Abbildung 42). Dieser Verbrauch kann durch eine verbesserte Steuerung und die Vermeidung von gleichzeitigem Heizen und Kühlen um 20 Prozent gesenkt werden. Die Zunahme in den Nachmittagsstunden ist aufgrund der Rückkühlung nicht zu reduzieren, da die Temperatur im Kältemedium durch die Ventilatoren der Rückkühlanlage verringert werden muss.

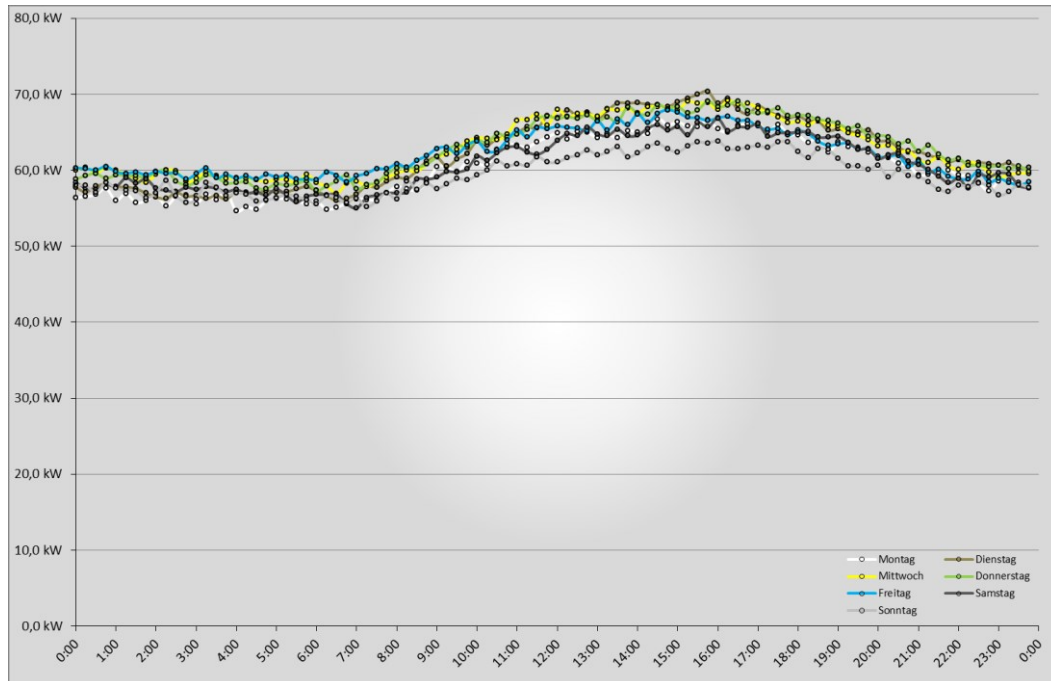


Abbildung 42: Lastgang der Kälteversorgung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der effizientere Stromverbrauch kann wie in Abbildung 43 dargestellt aussehen. Dies ist jedoch noch nicht die effizienteste Nutzung. Durch die Optimierung der Klimatisierung und deren Steuerung kann der für die Lüftungsanlagen benötigte Verbrauch weiter reduziert werden. In diesem Fall wäre es ausgeschlossen, dass Wärme- und Kälteerzeuger gegeneinander arbeiten, wie es in der Messperiode festgestellt wurde.

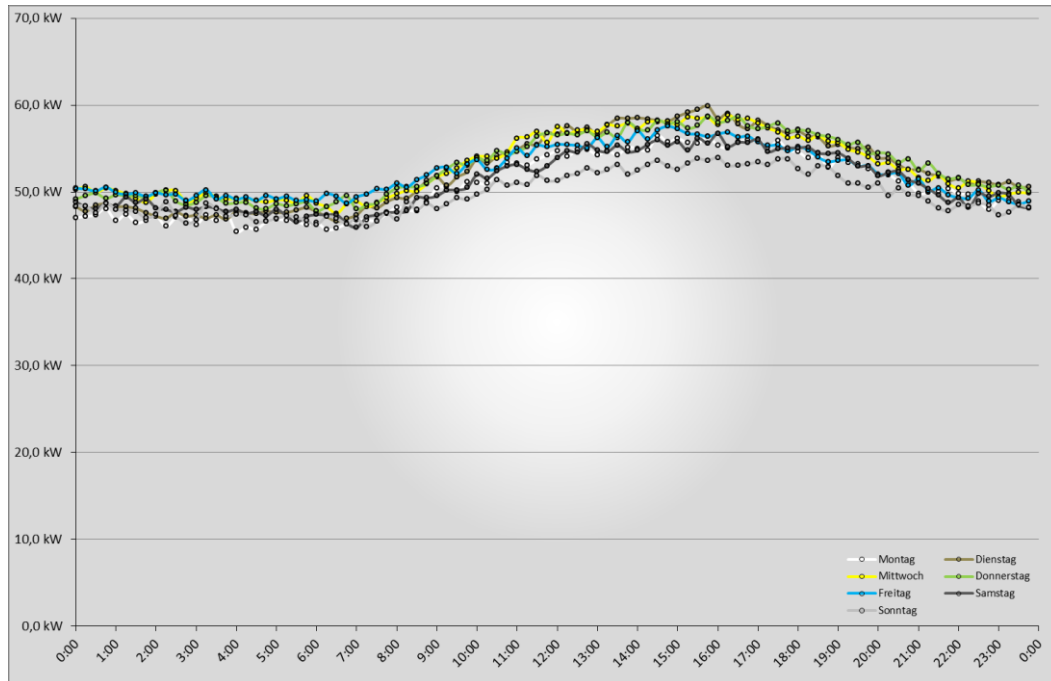


Abbildung 43: Optimierung der Kälteanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Druckluft wird nur bei der Erzeugung des Reinwassers benutzt, deshalb sind die beiden Lastgänge kombiniert in Abbildung 44 dargestellt. Die Abhängigkeit konnte erst durch die Messung der beiden Bereiche im Vorfeld des Feldtestes festgestellt werden. In der Konsequenz bedeutet dies, dass zur Erzeugung des Reinwassers ca. 25 kW in der Spitze gebraucht werden. Der Lastgang beider Anlagen zusammen stellt sich wie in Abbildung 44 gezeigt dar und erhöht die Spitze auf ca. 35 kW.

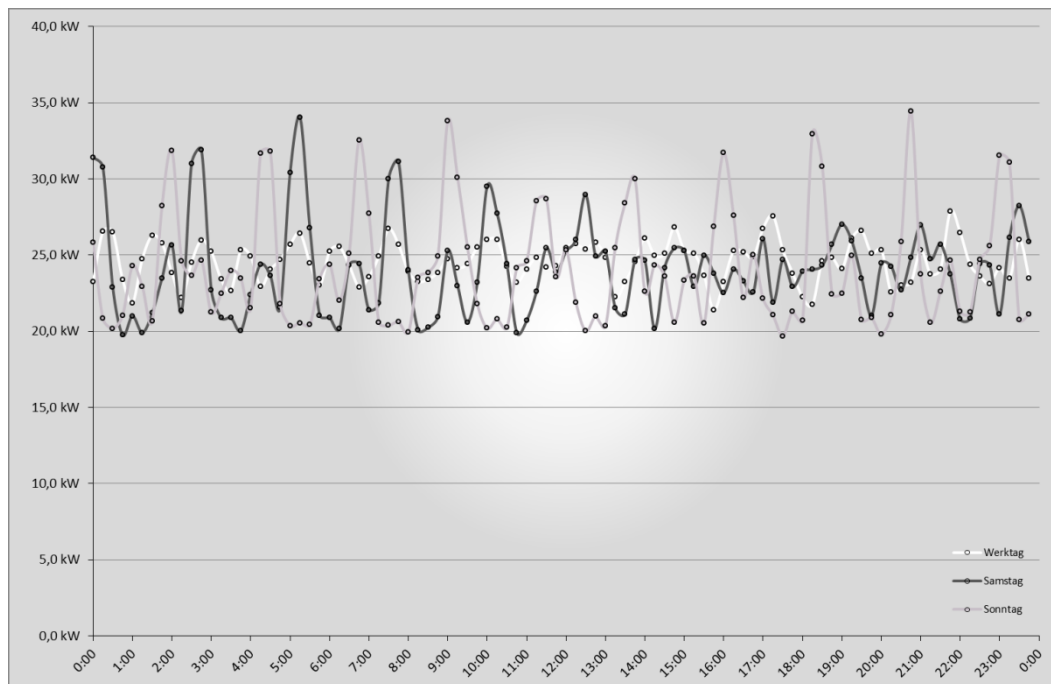


Abbildung 44: Lastgang der Reinwasseranlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

Durch eine Optimierung der Erzeugungszyklen und der Absenkung des Druckes der Druckluftversorgung konnte die Bereitstellungsenergie gesenkt werden. Das Abschalten der Anlage bei Nichtnutzung ist nicht möglich, da diese anschließend komplett gereinigt werden müsste, um die Prozesssicherheit nicht zu gefährden. In einem ersten Optimierungsschritt wurde der Druck der Druckluftanlage reduziert, ohne hierbei den Betrieb der Reinwasseranlage zu beeinträchtigen. Dies resultierte in einer Reduktion von 2 kW im Mittel und 5 kW bis 6 kW in der Spitzenlast.

Die zweite Optimierung erfolgte bedarfsabhängig in zwei Schritten. Hierbei wurden zum einen die Kompressoren in ihren Druckstufen angepasst, indem die Differenz zwischen den Einschalt drücken vergrößert wurde. Zum anderen wurde die Reinwasseranlage auf die tatsächliche Abnahme in der Produktion steuerungstechnisch angepasst. Der Lastgang nach dem Optimierungsschritt zwei ist in der Abbildung 46 dargestellt.

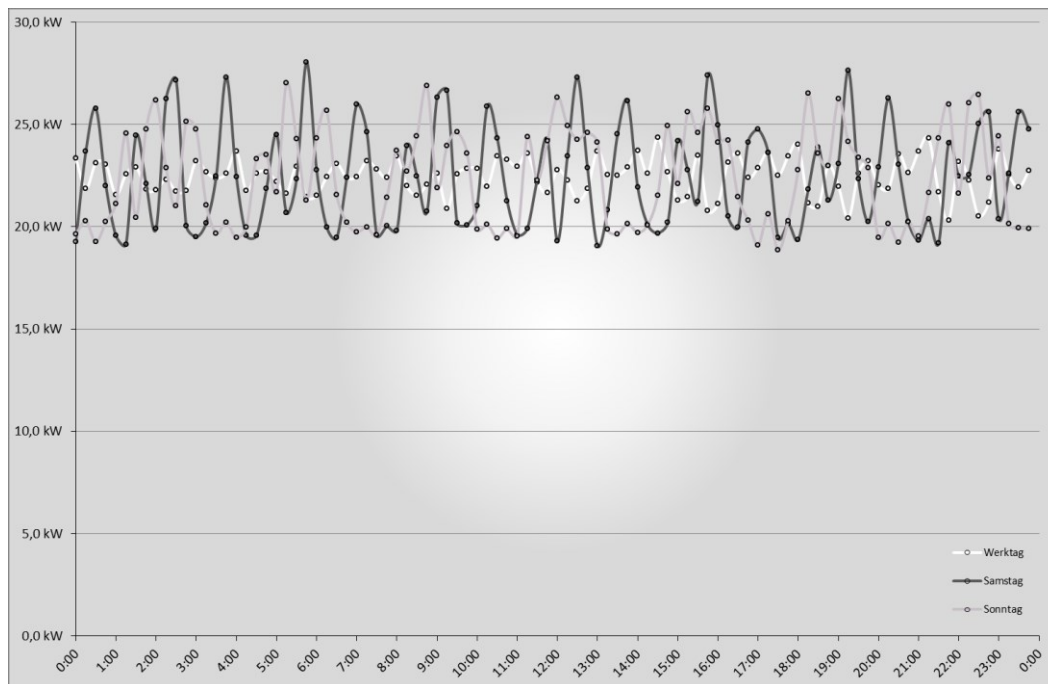


Abbildung 45: Optimierungsschritt 1 der Reinwasseranlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

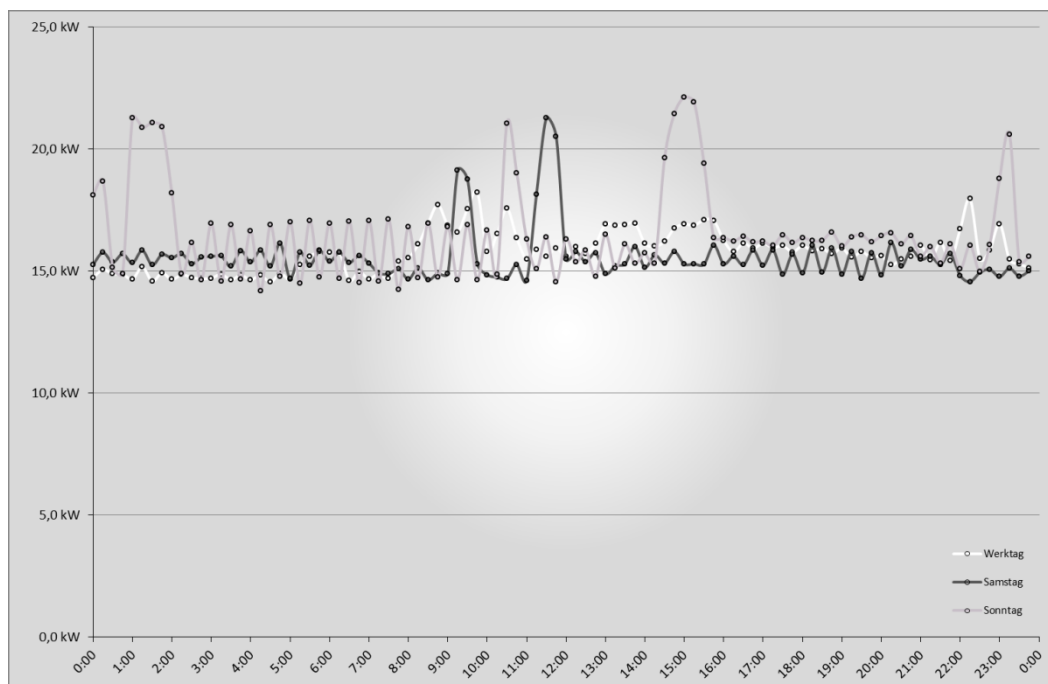


Abbildung 46: Optimierungsschritt 2 der Reinwasseranlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

Dies ergab über den Tag verteilt eine nochmalige Reduktion des Lastganges um 5 kW. Zudem konnten die absoluten Spitzen des Lastganges um weitere 4 kW reduziert werden. Somit wurde in Summe eine Effizienzsteigerung von 7 kW und eine Spitzenreduktion von 9 kW bis 10 kW erzielt. Dies entspricht einer Verbrauchsreduktion von ca. 65.000 kWh im Jahr<sup>20</sup>, die leider nicht sehr viel Auswirkung auf den Gesamtlastgang von bis zu 330 kW hat.

### 3.4.3 Lastverschiebungspotenzial

Die Lastflexibilisierung lässt sich sehr gut mit der Reinwasseranlage realisieren, da sich die Reinigungs-/ Umwälzprozesse einfach verlagern lassen. Als Potenzial stehen 20 kW zu Verfügung, die in Bezug auf den Gesamtlastgang keine signifikante Größe darstellen und innerhalb eines Tages variabel verlegt werden können. Zu berücksichtigen ist die Einhaltung der Sollwerte des Reinwassers.

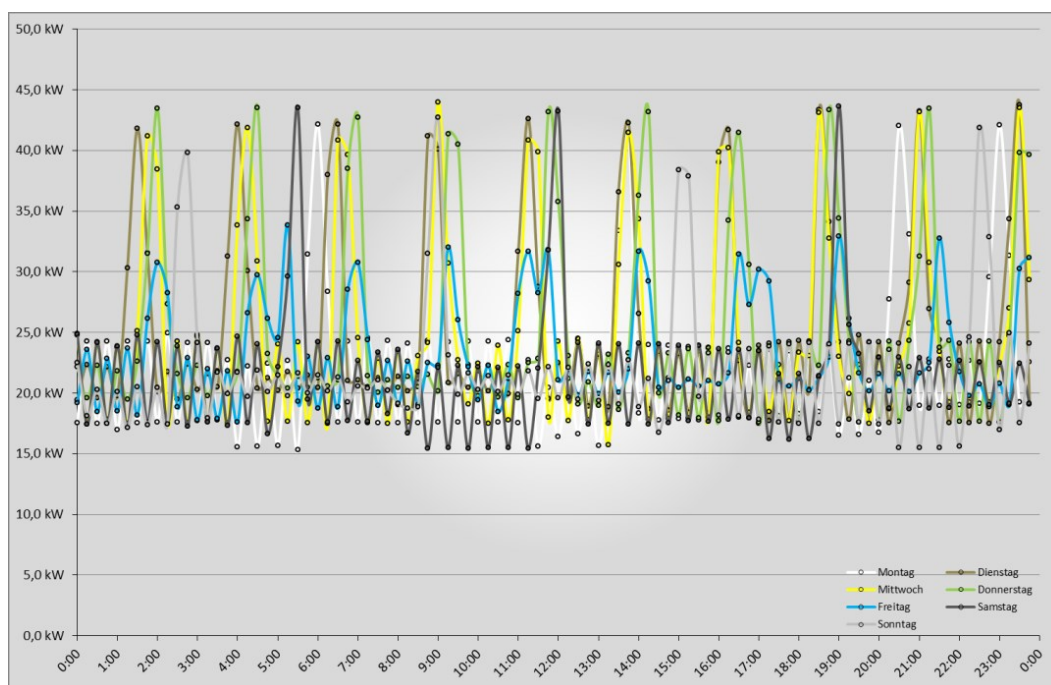


Abbildung 47: Lastgang der Reinwasserversorgung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

<sup>20</sup> Bei Dauerbetrieb von 8760h im Jahr

### 3.5 Unternehmen 5 : Härterei

Im Jahr 1948 wurde die Härterei gegründet, um Ringläufer<sup>21</sup> zu produzieren. Seit dieser Zeit hat sich das Unternehmen stetig weiterentwickelt und in den 60 Jahren die Härterei aufgebaut. Um dem hohen Anspruch an die Qualität ihrer Produkte gerecht zu werden, wurde das bainitische Härten eingeführt, ein besonders genaues Härteverfahren, das durch geringe Oberflächenspannung, einem feineren Gefüge sowie einer besseren Federelastizität überzeugt. Die Härterei hat zur Versorgung der Büroräume eine Gasheizung. Dies wird ebenfalls für die Härteöfen als sogenannter „Gasvorhang“ benutzt, um den Brennraum abzuschließen. Eine PV-Anlage, die sich auf dem Dach der Firma befindet, ist ein weiterer Bestandteil der Energieversorgung, auch wenn diese als Volleinspeiser betrieben wird. Die Salzverdampfung ist ein wichtiger Prozess zur Rohstoffversorgung der Härterei. Die Salzbäder am Ende des Härteprozess müssen immer wieder mit Salz und Wasser nachgefüllt werden. Durch eine Wiederaufbereitungsanlage wird aus dem alten und aufgefangenen Salzwassern wieder Salz hergestellt. Leider konnte die Druckluftanlage des Unternehmens durch bauliche Bedingungen nicht gemessen werden.

Tabelle 17: Steckbrief Unternehmen 5

#### Steckbrief

Branche	Metallbearbeitung
Gründungsjahr	1948
Mitarbeiteranzahl	~35
KMU Einordnung	Mittleres Unternehmen
Stromverbrauch	2.010.000 kWh
Weitere Energieträger	Gas
Wärmeerzeugung	Gaskessel
Erneuerbaren Energien/ BHKW	PV-Anlage
Arbeitszeit / Schichten	1-2
Energieeffizienzpotenzial	Salzverdampfung
Lastverschiebungspotenzial	Salzverdampfung
Besonderheiten	Hoher Stromeinsatz beim Härten

<sup>21</sup> Ringläufer: kleiner Metallring der auf einer Kreisbahn rotiert, zum Auffädeln von Garn auf eine Spule



### 3.5.1 Vorstellung und Besonderheiten

Durch die hohe Energie, die beim Härten und Anlassen im Salzbad benötigt wird, hat das Unternehmen eine konstant hohe Abnahme, die sich zwischen den einzelnen Tagen kaum unterscheidet (Abbildung 48). Ausnahmen hiervon sind Samstag und Sonntag, an denen nicht produziert wird und die Salzbecken auf einer geringeren Temperatur gehalten werden.

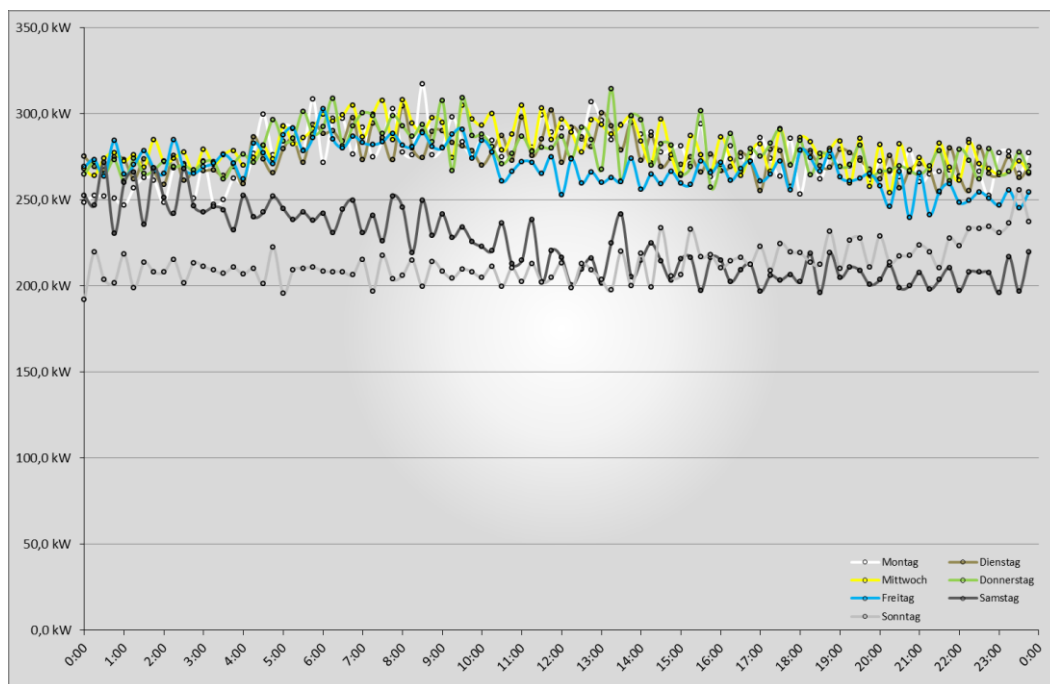


Abbildung 48: Gesamtlastgang U5 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Wie zu erwarten gibt es keine gravierenden Unterschiede in den Jahreszeiten wie dies aus Abbildung 49 hervorgeht. Der Sommer ist etwas schwächer als die anderen Jahreszeiten. Das kann jedoch auch mit der Urlaubszeit oder weiteren Faktoren, wie geringere Auftragslage, zu tun haben.

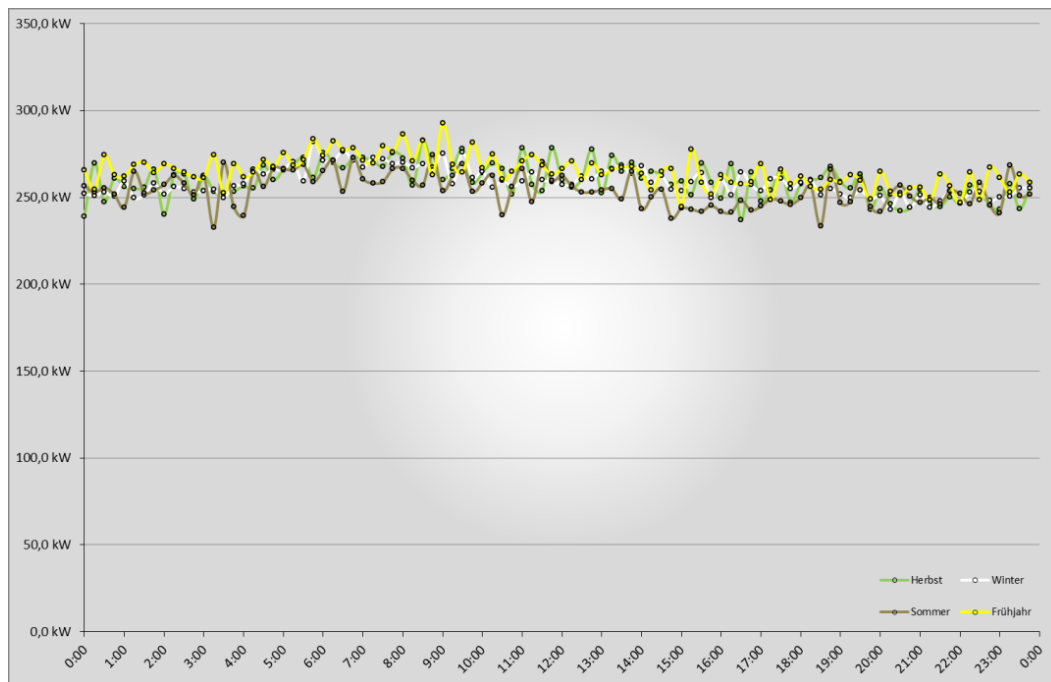


Abbildung 49: Gesamtlastgang U5 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

In der nachfolgenden Abbildung 50 der Jahresdauerlinie wird ersichtlich, dass es eine Spitze bis 620 kW gibt. Diese einzelne Spitze hat ihren Ursprung in der Erneuerung der Elektroverteilung. Nach der Inbetriebnahme der neuen Verteilung wurden automatisch alle Geräte eingeschaltet und sind gleichzeitig ans Netz. Sie spielt daher für die weiteren Betrachtungen keine Rolle.

Wichtig für das Unternehmen ist eine Reduktion der Lastspitze auf maximal 380 kW. Dies kann durch ein Lastmanagement und die Einbindung der Stromheizungen, der Härteöfen, sowie der Salzbecken in das System ermöglicht werden.

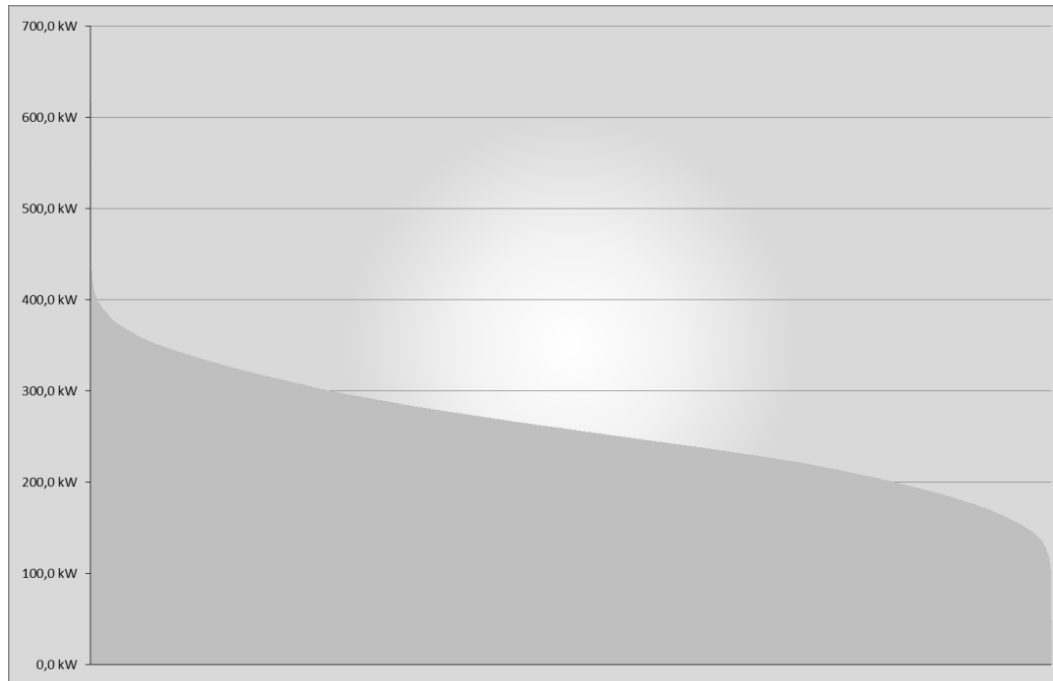


Abbildung 50: geordnete Jahresdauerlinie U5

An den statistischen Werten aus Tabelle 18 erkennt man sehr gut den ausgeglichenen Lastgang. Die Werte der Standardabweichung liegen maximal um die 75 kW. Bei einem Maximalwert von 440 kW beträgt die Standardabweichung lediglich 15 Prozent.

Tabelle 18: Auszug aus der Statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 5

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	265,54	269,30	261,81	274,14	286,46	266,82	266,64	263,62	262,82	262,12	264,99	247,19	265,91
Minimum	150,04	116,76	149,76	128,12	148,12	131,22	135,37	162,09	167,07	167,42	93,36	120,84	93,36
Maximum	366,28	403,20	390,92	385,86	399,88	395,42	440,27	381,96	377,01	373,54	402,92	343,60	440,27
Standardabweichung	51,69	69,77	51,63	56,82	62,65	55,59	69,16	51,08	49,39	46,47	61,78	53,43	57,74
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	239,17	240,07	256,49	275,81	272,62	264,32	260,14	260,80	249,54	257,70	255,06	246,57	256,50
Minimum	118,04	162,16	160,84	159,07	136,56	3,91	135,42	81,06	119,75	138,84	154,16	154,28	3,91
Maximum	382,48	356,00	358,00	410,56	368,59	396,11	418,43	403,80	392,36	382,88	378,20	352,64	418,43
Standardabweichung	63,38	46,13	43,98	53,69	58,50	64,95	58,24	74,93	54,82	57,28	55,29	52,72	58,56
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	256,66	257,22	239,41	265,40	266,64	258,16	262,57	243,27	241,84	249,75	241,75	252,10	252,80
Minimum	114,64	119,40	120,66	106,78	134,89	146,29	154,03	128,48	126,53	121,92	136,64	129,08	106,78
Maximum	402,32	355,56	337,48	365,03	374,83	389,36	418,86	425,19	334,86	390,12	369,76	382,24	425,19
Standardabweichung	63,39	57,06	50,88	66,30	61,78	55,61	57,94	59,04	52,41	62,53	57,33	59,60	59,55
<b>Winter</b>													
Mittelwert	252,01	251,86	257,75	271,42	270,29	264,81	257,21	268,19	261,09	258,48	250,83	246,76	259,23
Minimum	136,72	140,52	155,88	150,84	153,60	15,32	19,80	153,98	154,88	139,44	119,92	143,16	15,32
Maximum	384,48	361,68	418,32	422,20	408,02	409,68	383,90	424,90	375,79	378,88	382,16	395,44	424,90
Standardabweichung	56,13	51,58	56,51	62,55	63,42	67,82	59,26	61,37	56,75	57,75	53,27	56,94	59,29
Gesamt: Mittelwert	252,63	253,67	255,09	271,98	273,52	263,94	260,78	261,04	255,23	257,43	253,07	247,78	258,80
Gesamt: Minimum	114,64	116,76	120,66	106,78	134,89	3,91	19,80	81,06	119,75	121,92	93,36	120,84	3,91
Gesamt: Maximum	402,32	403,20	418,32	422,20	408,02	409,68	440,27	425,19	392,36	390,12	402,92	395,44	440,27
Gesamt: Standardabweichung	59,11	56,58	52,26	60,17	62,19	62,80	61,06	63,27	54,66	56,60	56,81	55,79	59,00

### 3.5.2 Energieeffizienzpotenzial

Effizienzpotenzial ist in diesem Unternehmen in einigen Bereichen vorhanden. Zum einen ist die Druckluftanlage als Möglichkeit der Effizienzsteigerung in Betracht zu ziehen. Zum anderen ist die Beleuchtung, wie zu erwarten, durch die lange Betriebsexistenz in einem verbesserungswürdigen Zustand. Das Messen der Potenziale war aber durch die gewachsene Struktur der Elektroverteilung nicht möglich.

Eine Maßnahme, die zu einer Optimierung geführt hat, war die Ertüchtigung der Salzverdampfungsanlage. Da das Unternehmen seine Salzlösung wieder aufbereitet, kann zum einen Abfall reduziert werden, zum anderen wird weniger neues Salz benötigt. Die Optimierung der Anlage bezog sich auf die Abkühlung des Dampfes innerhalb des Prozesses. Die alte Kühlung wurde durch eine neue, effizientere Kühlung ersetzt. Vor der Maßnahme zeigte sich der Lastgang wie in Abbildung 51 dargestellt.

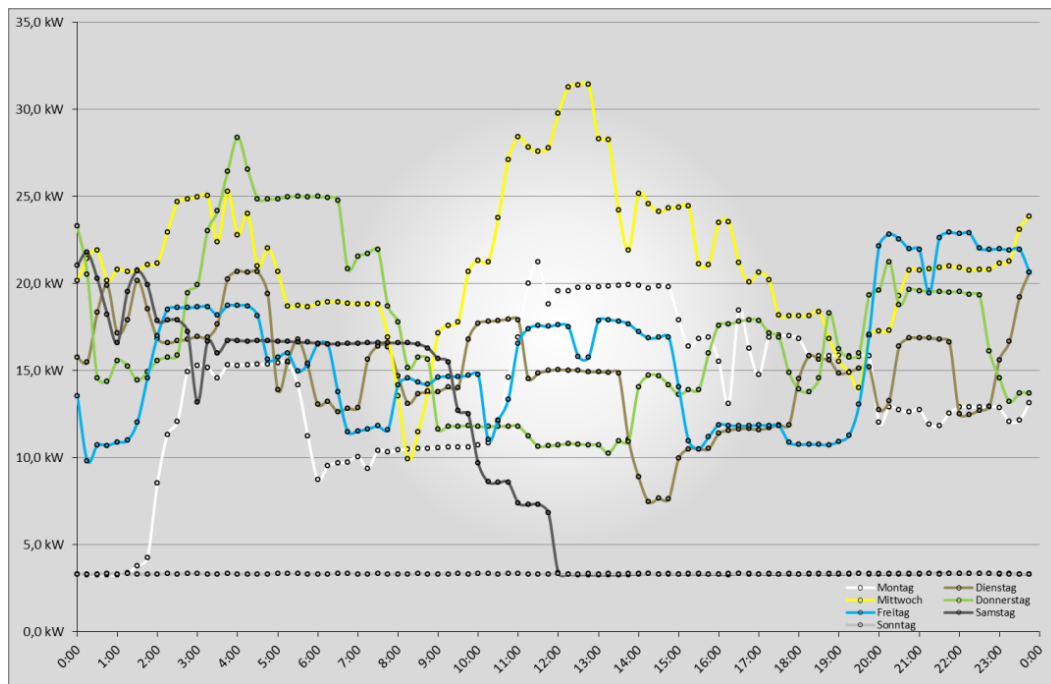


Abbildung 51: Lastgang der Salzverdampfung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Durch die Optimierung konnte die bezogene Last im Mittel um 10 kW in der Spitze gesenkt und die Laufzeiten verändert werden. Durchschnittlich wurden 2,5 kW Leistung eingespart, was einer Reduktion des Verbrauchs um 21.000 kWh pro Jahr entspricht.

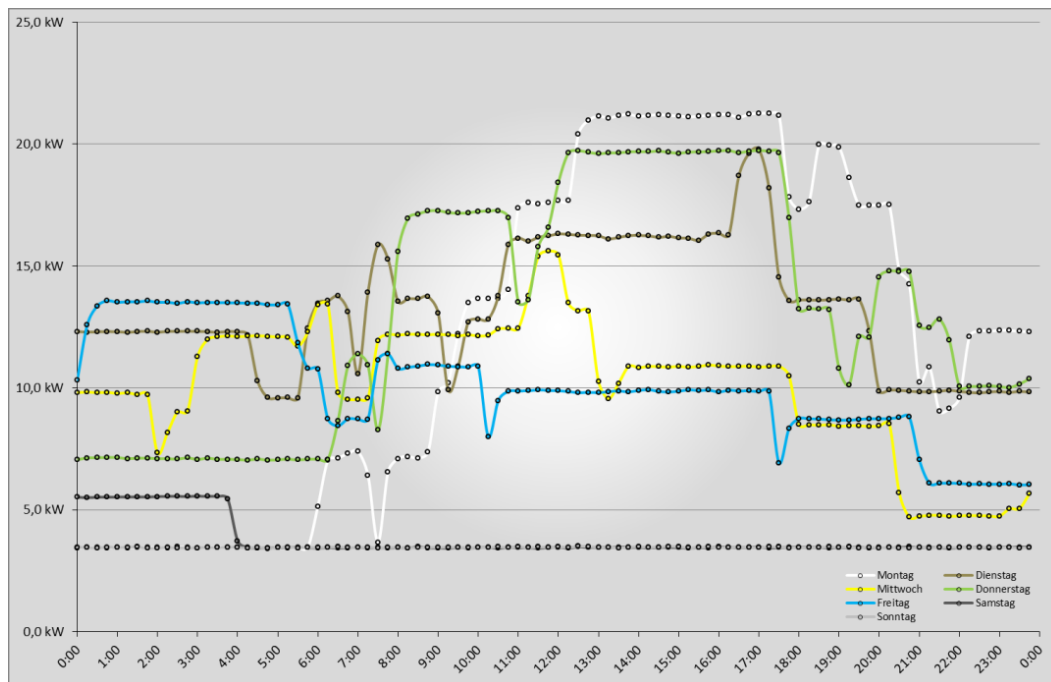


Abbildung 52: Optimierung der Salzverdampfung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

### 3.5.3 Lastverschiebungspotenzial

Die Salzverdampfungsanlage bietet sich gut für eine Lastverschiebung an, da sie durch die Unabhängigkeit zur Produktion bis zu 40 kW in der Spitze an Leistung wie in Abbildung 53 dargestellt, verschieben kann. Je nach Automatisierungsgrad kann der Prozess auch in zwei Teile, dem Kochen und Verdampfen, zerlegt werden. Dies bedingt aber Eingriffe in die Steuerung und den Ablauf. Der Prozess benötigt im längsten Falle ca. 9 Stunden, wäre aber frei über den Tag abrufbar, sobald die Maschine bestückt ist.

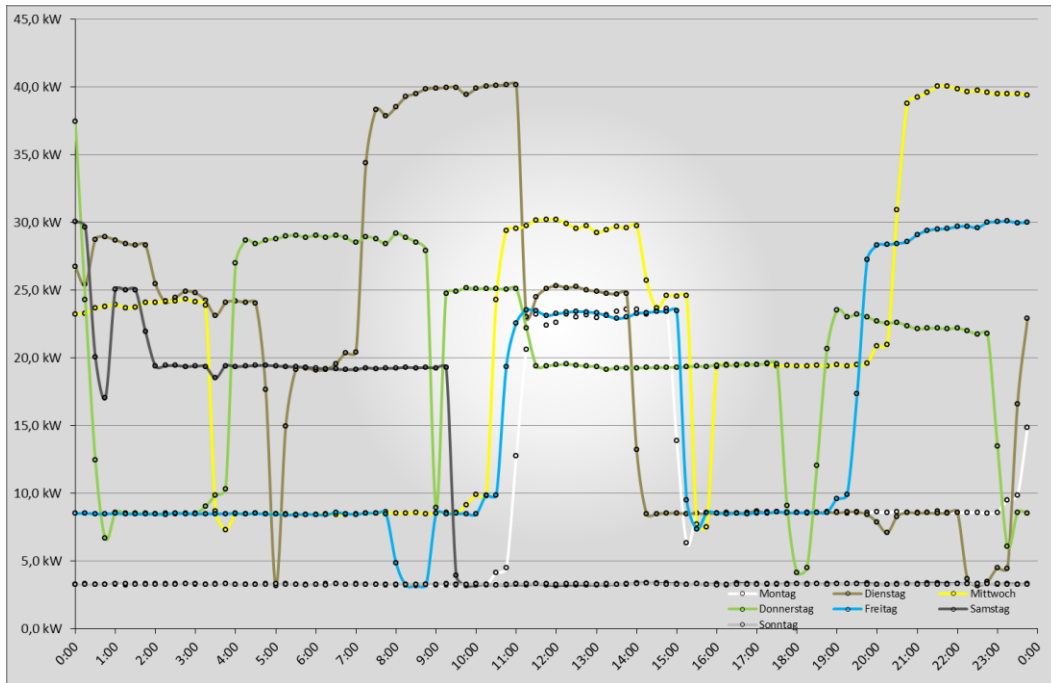


Abbildung 53: Einzeltage der Salzverdampfung mit 15 min-Werten über 24h

### 3.6 Unternehmen 6 : Lebensmittelgroßhandel

Diese Firma ist kein produzierendes Gewerbe sondern ein Logistikunternehmen, das Tiefkühlkost vertreibt. Die Hauptaufgabe des Personals besteht darin, die angelieferten Waren einzulagern und für die Fahrer zu kommissionieren. Weitere Aufgabenbereiche beziehen sich auf kaufmännischen Tätigkeiten, wie Annahme und Abwicklung der Warengüter. Zusätzlich zur Kälteanlage und den Wärmetauschern gibt es eine Heizungsanlage für den Bürobereich, die gasbetrieben ist. Die Beleuchtung ist durch den Einsatz in der Tiefkühlagerhalle schon in einem optimierten Zustand, um eine Erwärmung zu vermeiden.

Tabelle 19: Steckbrief Unternehmen 6

#### Steckbrief

Branche	Lebensmittel / Logistik
Gründungsjahr	1982
Mitarbeiteranzahl	~60
KMU Einordnung	Mittleres Unternehmen
Stromverbrauch	850.000 kWh
Weitere Energieträger	Gas
Wärmeerzeugung	Gaskessel
Erneuerbaren Energien/ BHKW	-
Arbeitszeit / Schichten	1
Energieeffizienzpotenzial	Kälteanlage
Lastverschiebungspotenzial	Kälteanlage Kühlaufleger LKW
Besonderheiten	Wärmetauscher zur Brauchwasser- / Heizungsunterstützung

#### 3.6.1 Vorstellung und Besonderheiten

Die größten Stromabnehmer sind die Kälteanlagen, die ca. 70 Prozent des Gesamtstrombedarfs ausmachen. Ein weiterer großer Abnehmer ist der Ladevorgang der Kühlaufleger der LKWs nach Beendigung der Touren. Dieser spiegelt sich im Lastgang zwischen 16:00 Uhr und 20:00 Uhr wieder. Des Weiteren sind die Büroräume samt IT-Infrastruktur sowie die Beleuchtung zu nennen.



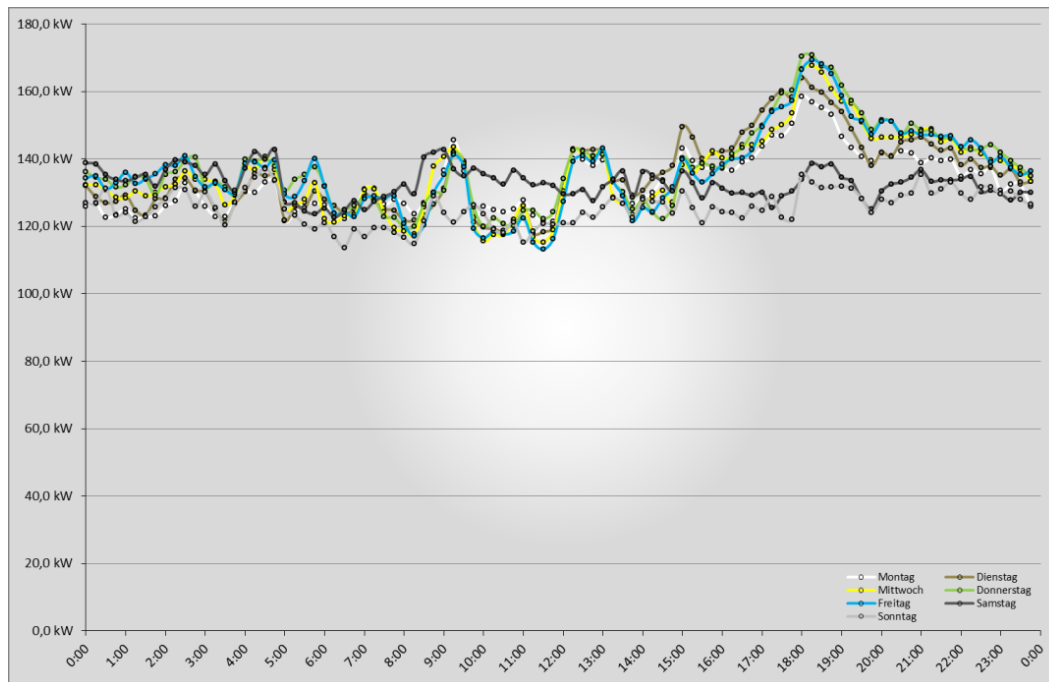


Abbildung 54: Gesamtlastgang U6 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der Gesamtlastgang des Unternehmens ist in der Abbildung 54 dargestellt und zeigt den konstanten Verlauf der Anlage mit der Erhöhung des Lastganges während der Ladezeit der LKWs.

Die Abbildung 55 gibt schon einen Ausblick über die Energieeffizienzmaßnahme, die durchgeführt wurde. Die Änderung der Betriebsart der Anlage nach der Modernisierung wird im Jahreszeitenvergleich deutlich. Dabei wird die Kälteversorgung nun konstant betrieben und nicht mehr durch die Arbeiter teilweise abgeschaltet, um ein besseres Klima, ohne Lüfterbetrieb, beim Kommissionieren in der Kühlung zu erreichen.

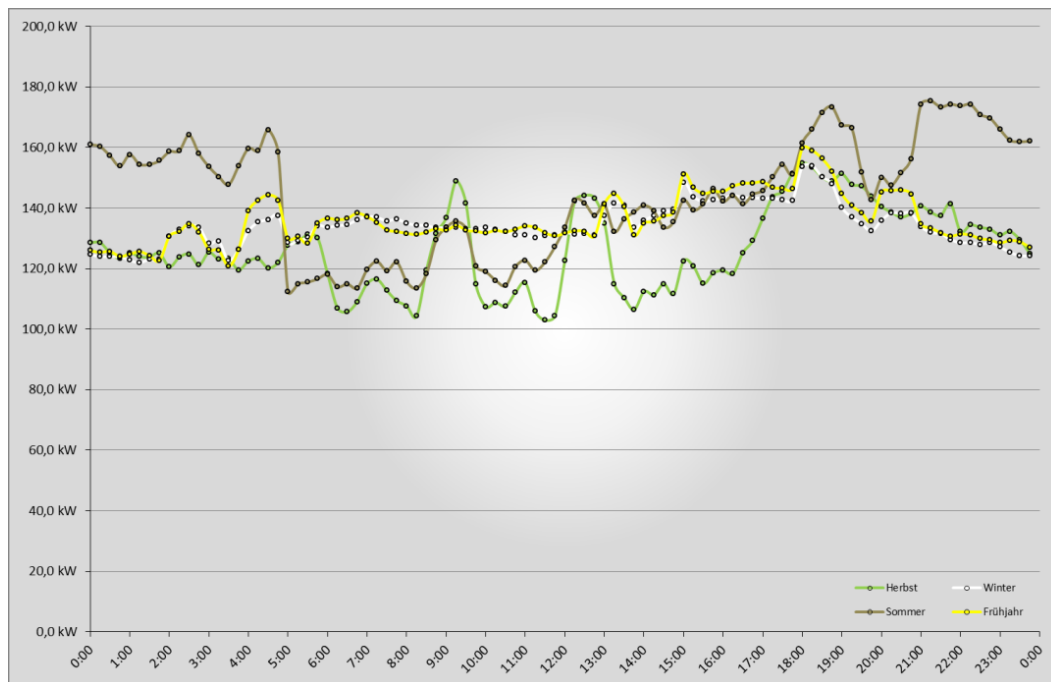


Abbildung 55: Gesamtlastgang U6 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

Die Jahresdauerlinie zeigt einen konstanten Verbrauch von ca. 120 kW. Jedoch sollten die einzelnen Spitzen über 200 kW eliminiert werden, da dies zu Mehrkosten der Netzentgelte führt. Durch die neue Steuerung der Kälteanlage soll dies langfristig umgesetzt werden.

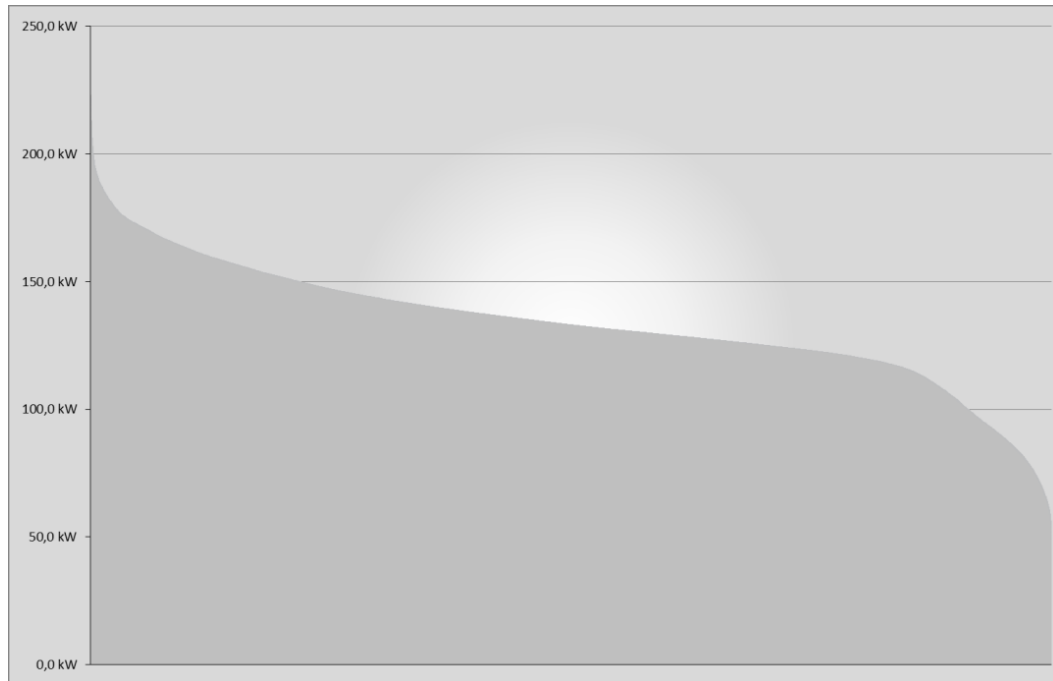


Abbildung 56: geordnete Jahresdauerlinie U6

Eine Standardabweichung der Messwerte von 26 kW bestätigt die Homogenität des Lastganges, bei einem Minimum von 41 kW und einem Maximum von 223 kW.

Tabelle 20: Auszug aus der Statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 6

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	126,00	130,69	138,98	136,57	131,65	131,84	131,75	135,05	145,47	159,76	145,28	131,44	137,01
Minimum	94,16	108,55	124,32	116,20	105,10	99,84	104,11	98,66	94,89	128,87	127,40	118,96	94,16
Maximum	142,36	143,59	157,49	155,37	154,45	149,43	150,99	156,33	177,60	181,80	172,34	152,97	181,80
Standardabweichung	8,09	7,14	6,96	10,09	10,29	9,38	8,66	11,63	17,62	15,23	12,49	6,61	14,00
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	128,56	120,61	122,50	118,29	107,65	107,41	122,72	112,42	119,37	154,95	140,56	132,23	123,94
Minimum	81,14	62,86	41,25	69,39	63,39	59,83	74,40	59,86	81,51	82,47	70,66	91,33	41,25
Maximum	171,01	165,27	167,58	168,27	184,32	174,10	183,64	165,42	171,01	212,06	183,59	172,94	212,06
Standardabweichung	21,85	21,60	22,49	22,24	30,35	34,47	22,40	31,83	24,60	28,33	25,40	18,98	28,94
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	160,99	158,64	159,70	118,00	115,72	119,01	133,68	140,91	142,18	161,52	149,95	173,72	144,67
Minimum	95,87	109,20	106,69	64,98	70,45	60,45	96,10	69,85	70,16	89,35	109,84	135,27	60,45
Maximum	185,56	185,76	190,42	171,08	145,66	177,68	187,09	181,75	194,27	223,13	191,58	204,42	223,13
Standardabweichung	15,06	17,32	16,20	27,68	20,20	25,15	21,56	30,61	29,35	25,06	19,90	16,10	29,32
<b>Winter</b>													
Mittelwert	124,65	130,65	132,45	133,65	135,00	133,51	132,05	135,86	143,30	153,63	135,95	128,51	134,93
Minimum	92,61	111,63	111,83	111,39	95,04	96,03	91,10	101,94	95,99	113,36	118,27	113,67	91,10
Maximum	137,56	148,22	156,24	155,70	159,25	158,31	151,75	159,32	171,73	180,19	159,64	153,70	180,19
Standardabweichung	7,17	8,25	8,57	9,29	11,46	12,25	10,99	12,20	15,08	14,91	8,36	6,85	12,91
<b>Gesamt: Mittelwert</b>	<b>132,36</b>	<b>132,16</b>	<b>135,04</b>	<b>126,70</b>	<b>122,40</b>	<b>122,41</b>	<b>129,29</b>	<b>129,15</b>	<b>135,91</b>	<b>156,58</b>	<b>141,61</b>	<b>138,00</b>	<b>133,48</b>
<b>Gesamt: Minimum</b>	<b>81,14</b>	<b>62,86</b>	<b>41,25</b>	<b>64,98</b>	<b>63,39</b>	<b>59,83</b>	<b>74,40</b>	<b>59,86</b>	<b>70,16</b>	<b>82,47</b>	<b>70,66</b>	<b>91,33</b>	<b>41,25</b>
<b>Gesamt: Maximum</b>	<b>185,56</b>	<b>185,76</b>	<b>190,42</b>	<b>171,08</b>	<b>184,32</b>	<b>177,68</b>	<b>187,09</b>	<b>181,75</b>	<b>194,27</b>	<b>223,13</b>	<b>191,58</b>	<b>204,42</b>	<b>223,13</b>
<b>Gesamt: Standardabweichung</b>	<b>19,76</b>	<b>19,79</b>	<b>19,86</b>	<b>20,05</b>	<b>23,87</b>	<b>26,10</b>	<b>17,67</b>	<b>26,29</b>	<b>24,51</b>	<b>22,09</b>	<b>18,72</b>	<b>21,17</b>	<b>23,59</b>

### 3.6.2 Energieeffizienzpotenzial

Die Kälteanlage wurde im Laufe der Messkampagne steuerungstechnisch umgebaut. Vor der Optimierung wurde die Anlage beim Eintreten der Mitarbeiter ausgeschaltet, was zu den Pausenzeiten von 9:00 Uhr bis 10:00 Uhr sowie 12:00 Uhr bis 13:30 Uhr zu Spitzen im Lastgang führte. Auch der Anstieg der Leistung nach Feierabend ist deutlich zu erkennen. Ersichtlich wird dies durch Abbildung 57.

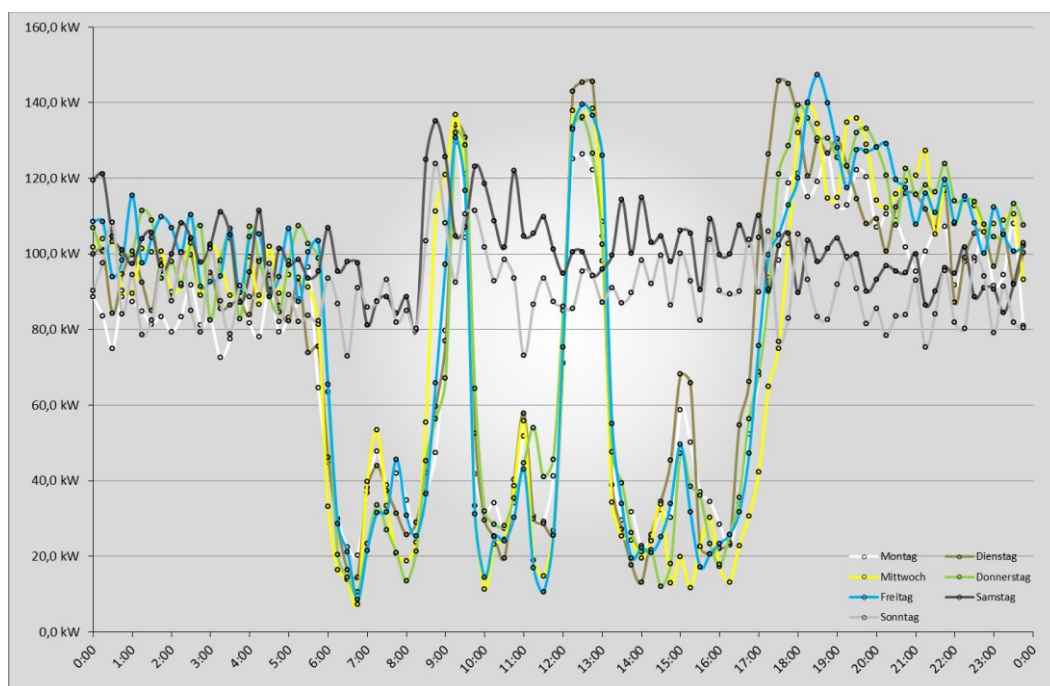


Abbildung 57: Lastgang der Kälteverbundanlagen vor der Optimierung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Nach der Optimierung stellt sich ein komplett anderes Bild dar (Abbildung 58). Die Anlage wird nun den Tag über konstant betrieben, wodurch gewährleistet wird, dass der Leistungsbezug durch die Kälteanlage konstanter ausfällt. Die Erhöhungen in den Morgenstunden sind auf die Abtauung der Verdampfer zurückzuführen. Der Lastgang kW wurde durch die Maßnahme im Durchschnitt um bis zu 40 kW in der Spitze und 5 kW im Mittel gesenkt. Die Einsparungen im Verbrauch sind mit 44.800 kWh pro Jahr zu nennen.

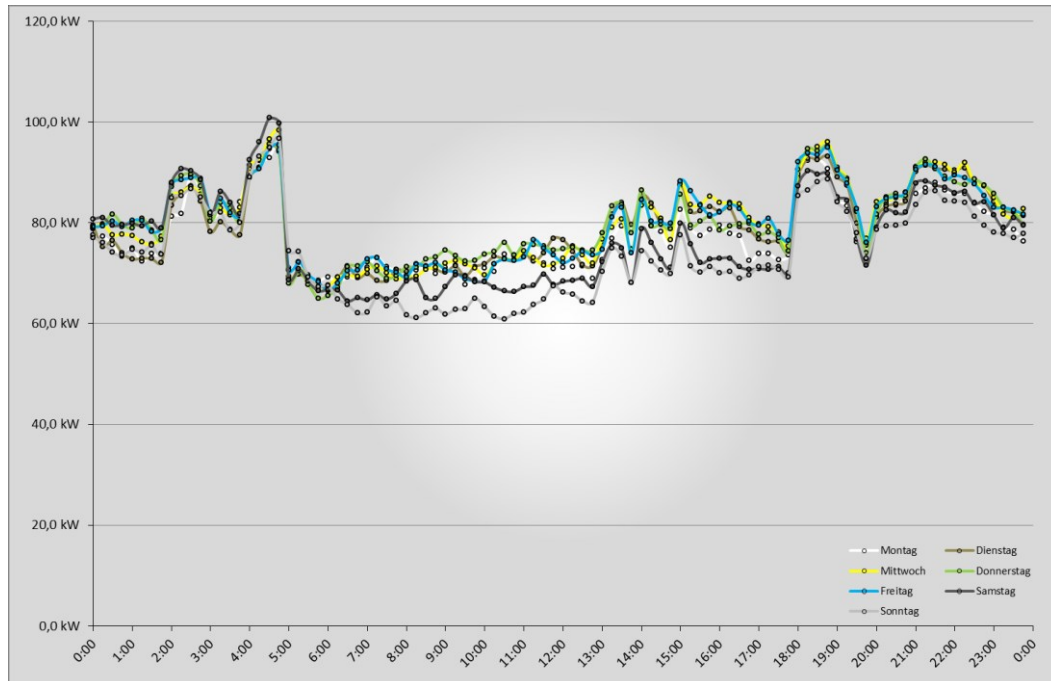


Abbildung 58: Lastgang der Kälteverbundanlagen nach der Optimierung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

### 3.6.3 Lastverschiebungspotenzial

Eine Möglichkeit der Lastverschiebung ist durch die Kälteanlage zu realisieren. Die Rahmenbedingung hierfür ist einfach, da die Temperatur im Inneren des Kühlhauses  $-19^{\circ}\text{C}$  nicht überschreiten darf, um die eingelagerten Waren nicht zu gefährden. Es besteht innerhalb des Systems eine gewisse Trägheit die gut zu nutzen wäre. Möglich ist eine Verlagerung von ca. 50 kW für die Gesamtanlage. Da eine Verbundanlage ca. 50 kW bereitstellen kann, dies wäre ca. ein Drittel des Gesamtlastganges der bereitgestellt werden könnte. Die Zeitspanne zur Bereitstellung würde tagsüber unter 1 Stunde liegen, in den Nachstunden wäre auch mehr als 1 Stunde möglich<sup>22</sup>.

Kein Problem für die Anlagen würde eine tiefere Kühlung darstellen. Dies bedeutet, dass die Abnahme von Strom aus dem Netz immer gewährleistet wäre und bei ca. 50 kW liegt, wenn beide Anlagen unter Vollast arbeiten.

<sup>22</sup> Nach Angabe der Automatisierer

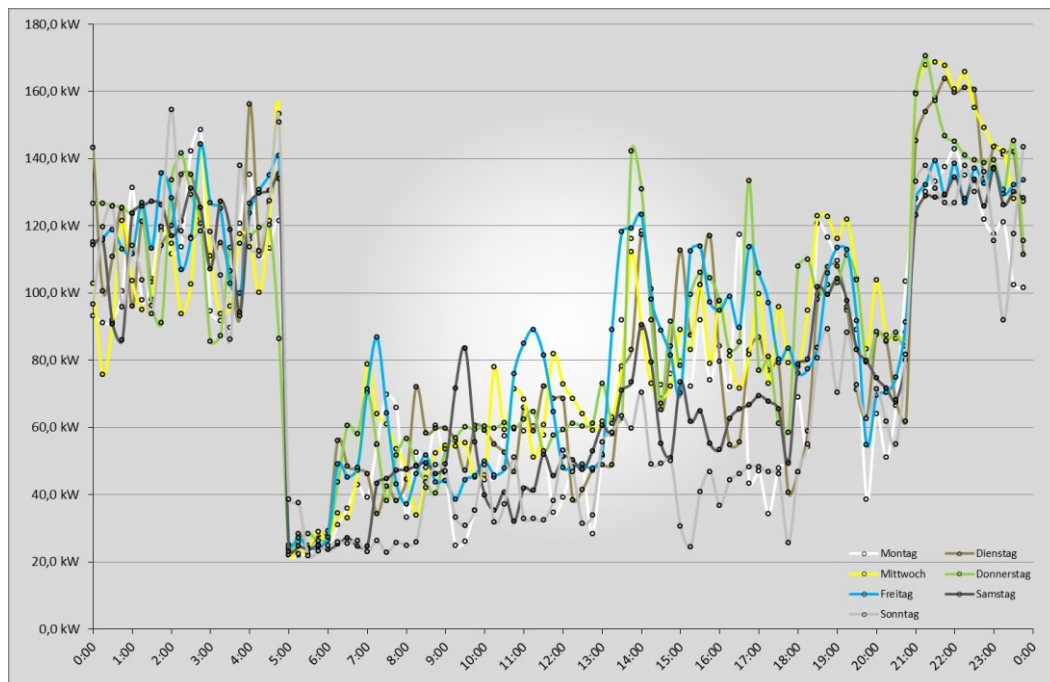


Abbildung 59: Lastgang der Kälteverbundanlagen mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage

Eine andere Möglichkeit der Verschiebung bezieht sich auf die Kühlung der LKW-Flotte. Die Mitarbeiter stellen gegen 16:00 Uhr ihre Fahrzeuge ab und entladen. In diesem Zuge wird die Kühlung an den Strom angeschlossen und die LKW temperaturgesteuert abgekühlt, siehe Abbildung 60. Der Kühlvorgang muss bis um 5:00 Uhr des Folgetages abgeschlossen sein. Diese Zeitspanne könnte ausgenutzt werden, um die ca. 40 kW über die Nachtstunden abzurufen. Die Spitze in den Morgenstunden ist nicht verschiebbar, da in dieser Zeit die LKW beladen werden und deshalb nachgekühlt werden müssen.

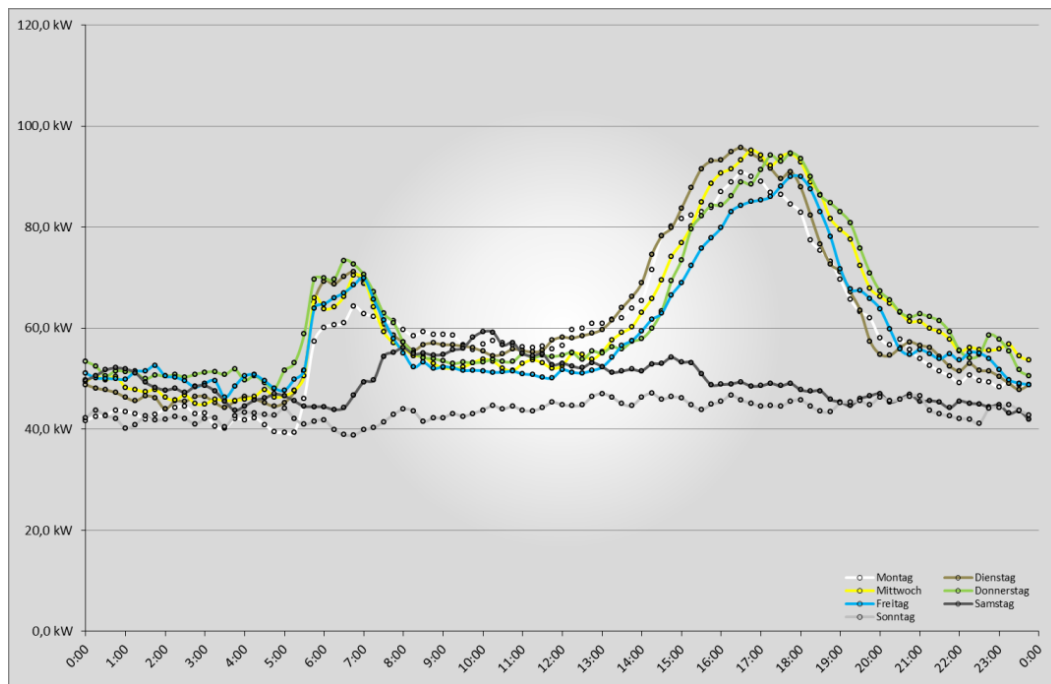


Abbildung 60: Lastgang der LKW Kälte mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

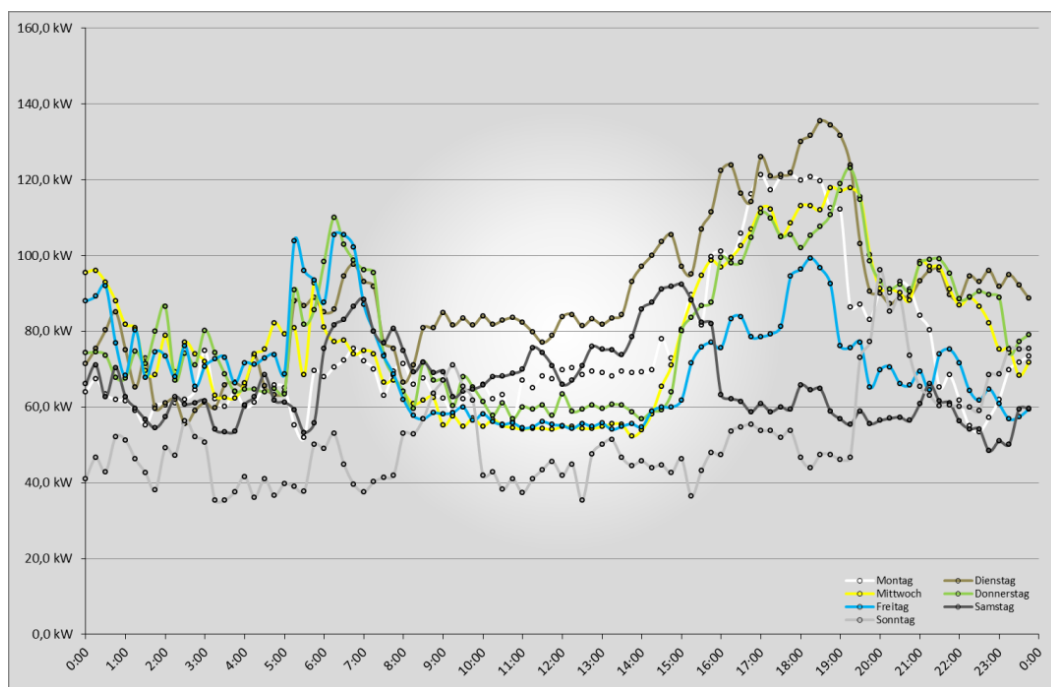


Abbildung 61: Lastgang der LKW-Kühlung mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage

### 3.7 Unternehmen 7 : Härterei

Diese Härterei ist im Gegensatz zum Unternehmen 5 auf größeres Stückgut ausgelegt. Die Härteverfahren sind dementsprechend auch andere, wie beispielsweise Vakuumhärten oder Schutzgasbehandlungen. Nach Abschluss des Projektes hat sich dieses Unternehmen nach DIN ISO 50001 zertifizieren lassen und ein ganzheitliches Energiemonitoring und Energiemanagement aufgebaut. In diesem Betrieb wird das Büro über eine Gasheizung erwärmt, die zum Teil durch die Abwärmenutzung der Anlagen entlastet wird. Im Fokus steht die Druckluftanlage der Härterei, da diese während der Messkampagne erneuert wurde. Das Lastverschiebungspotenzial und die Minutenflexibilisierung werden durch die Härteanlagen realisiert.

Tabelle 21: Steckbrief Unternehmen 7

#### Steckbrief

Branche	Metallbearbeitung
Gründungsjahr	1988
Mitarbeiteranzahl	~150
KMU Einordnung	Mittleres Unternehmen
Stromverbrauch	3.260.000 kWh
Weitere Energieträger	Gas
Wärmeerzeugung	Gaskessel
Erneuerbaren Energien/ BHKW	-
Arbeitszeit / Schichten	1-2
Energieeffizienzpotenzial	Druckluftanlage, Druckerhöhung
Lastverschiebungspotenzial	Härtungsöfen

#### 3.7.1 Vorstellung und Besonderheiten

Das Unternehmen hat, wie bei einer Härterei zu erwarten, einen sehr homogenen Lastgang, siehe Abbildung 62. Dieser weist zwischen den Wochentagen kaum Abweichungen auf und ist am Wochenende mit einer Grundlast von 300kW hoch. Die maximale Differenz beträgt lediglich 200kW. Der leichte Anstieg in den



Abendstunden lässt erahnen, dass die Öfen vor Feierabend noch einmal bestückt und gestartet werden.

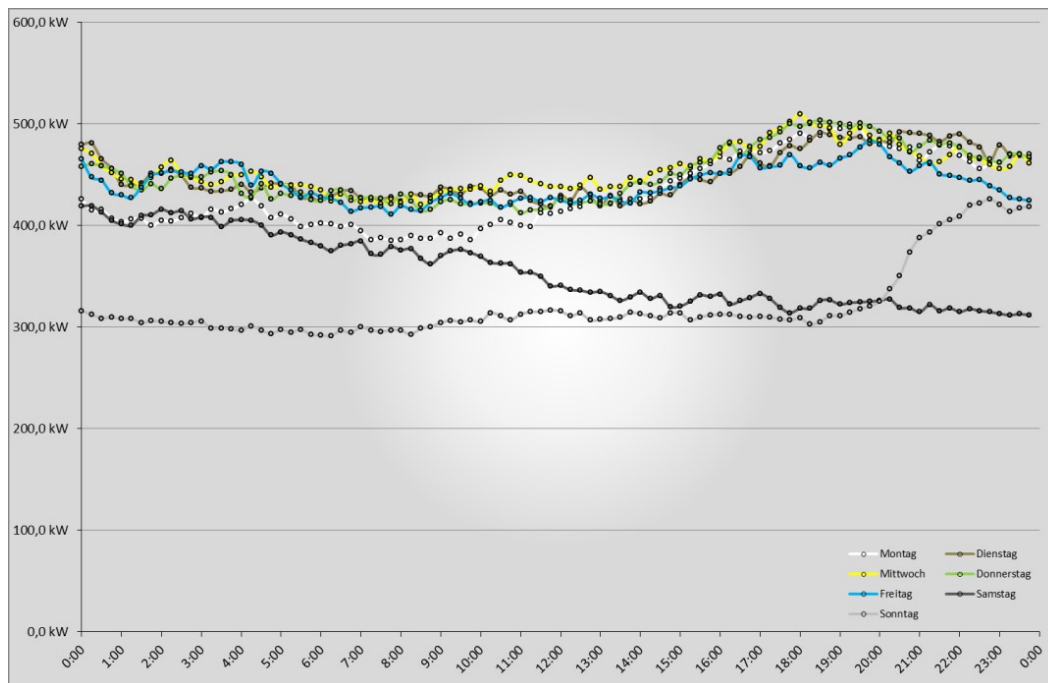


Abbildung 62: Gesamtlastgang U7 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Während des Messzeitraums von einem Jahr konnten keine Veränderungen innerhalb der unterschiedlichen Jahreszeiten festgestellt werden, da die Produktion während des Messzeitraums konstant war und es keine außen temperaturabhängigen Verfahren gibt.

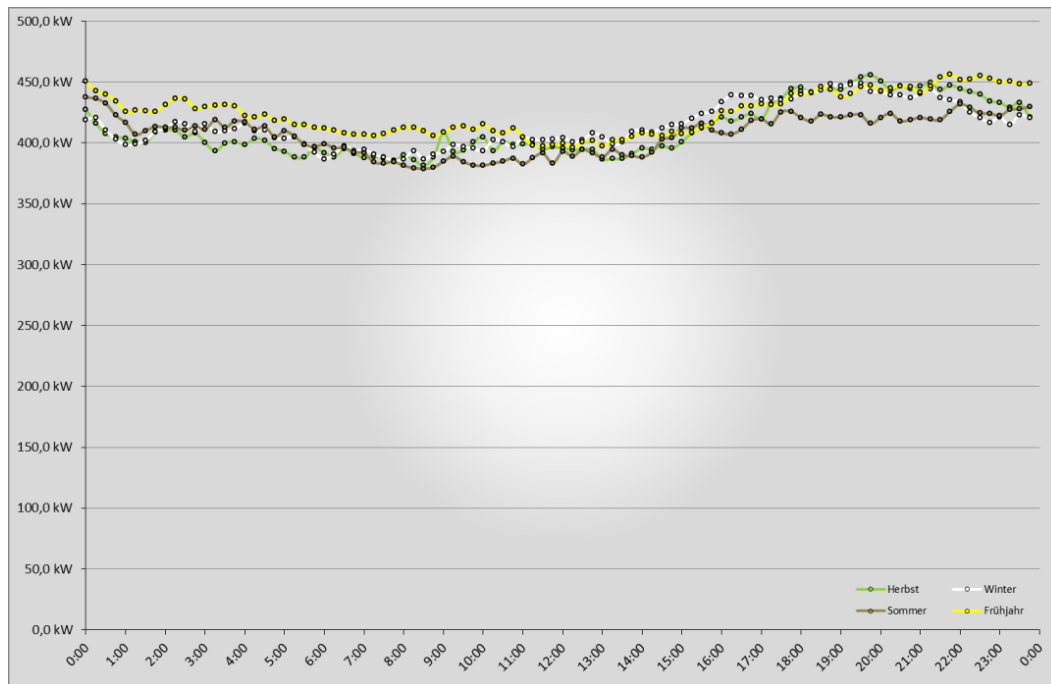


Abbildung 63: Gesamtlastgang U7 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich

In der Jahresdauerlinie, in Abbildung 64 wird deutlich, dass die Firma wenige Tage unter 300 kW hat und die maximale Spitze bei ca. 750 kW liegt. Dem Unternehmen ist dringend zu raten die Lastspitzen über 650 kW zu eliminieren, da durch diese Reduktion ca. 5.500 Euro pro Jahr eingespart werden können.

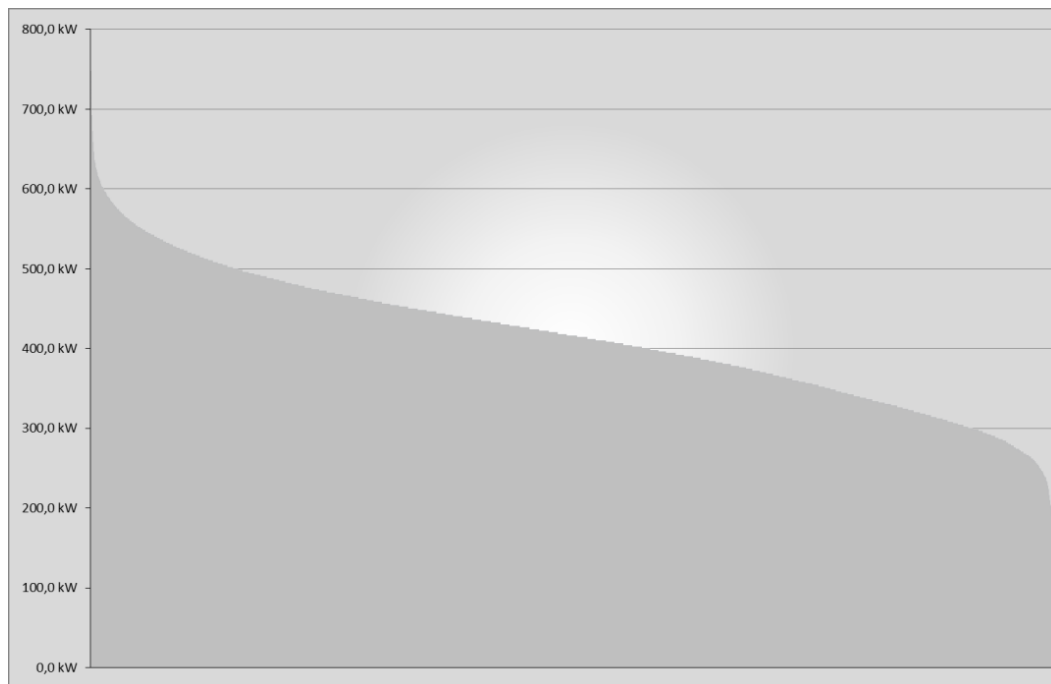


Abbildung 64: geordnete Jahresdauerlinie U7

Die Standardabweichung ist nur auf den ersten Blick mit bis zu 105 kW als hoch einzustufen. Wird in diesem Zusammenhang der Mittelwert betrachtet, beträgt die Abweichung aber nur 25 Prozent des Gesamtlastganges und somit sind die Werte stabil.

Tabelle 22: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 7

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	450,52	431,61	422,20	411,89	412,87	415,39	399,43	408,15	426,46	439,70	442,61	451,61	426,04
Minimum	298,00	242,00	250,00	240,00	236,00	260,00	252,00	244,00	258,00	264,00	262,00	282,00	236,00
Maximum	620,00	602,00	686,00	604,00	606,00	598,00	544,00	602,00	662,00	688,00	632,00	624,00	688,00
Standardabweichung	80,42	75,96	76,13	69,93	68,11	71,90	69,81	77,20	93,10	103,12	94,71	79,54	82,38
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	427,54	410,61	398,79	391,89	389,79	404,93	395,57	395,75	421,20	445,35	450,91	444,54	414,63
Minimum	278,00	246,00	254,00	234,00	244,00	238,00	276,00	254,00	262,00	238,00	272,00	268,00	234,00
Maximum	616,00	570,00	638,00	518,00	514,00	610,00	558,00	580,00	732,00	608,00	666,00	648,00	732,00
Standardabweichung	73,48	71,32	70,44	60,37	58,30	71,86	63,63	71,68	96,66	105,65	103,65	94,07	82,81
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	437,39	412,73	417,06	400,33	382,49	382,81	393,41	388,97	408,10	420,76	420,73	431,87	408,13
Minimum	274,00	210,00	226,00	216,00	226,00	264,00	268,00	244,00	222,00	196,00	192,00	198,00	192,00
Maximum	626,00	598,00	580,00	620,00	564,00	602,00	560,00	554,00	580,00	590,00	580,00	622,00	626,00
Standardabweichung	85,31	77,14	76,15	71,65	67,18	65,98	72,90	70,07	88,89	95,37	92,31	84,01	81,49
<b>Winter</b>													
Mittelwert	419,19	411,74	415,82	386,70	386,75	393,60	404,33	410,46	431,51	442,18	442,24	433,60	414,83
Minimum	214,00	208,00	206,00	198,00	206,00	208,00	246,00	244,00	246,00	202,00	232,00	202,00	198,00
Maximum	684,00	588,00	598,00	552,00	532,00	582,00	562,00	596,00	610,00	656,00	636,00	654,00	684,00
Standardabweichung	86,26	75,29	80,15	69,14	64,26	65,62	69,08	77,29	81,74	104,71	99,63	87,82	83,22
Gesamt: Mittelwert	434,25	417,53	414,97	398,28	393,85	399,22	398,68	401,91	422,39	436,67	438,49	440,33	416,39
Gesamt: Minimum	214,00	208,00	206,00	198,00	206,00	208,00	246,00	244,00	222,00	196,00	192,00	198,00	192,00
Gesamt: Maximum	684,00	602,00	686,00	620,00	606,00	610,00	562,00	602,00	732,00	688,00	666,00	654,00	732,00
Gesamt: Standardabweichung	83,13	75,81	76,76	69,27	66,30	69,83	69,46	75,10	90,04	102,59	97,75	86,14	82,75

### 3.7.2 Energieeffizienzpotenzial

Das Energieeffizienzpotenzial wurde durch die Druckluftanlage gehoben. Dies erfolgte in zwei Schritten. Durch den Einsatz eines effizienteren Kompressors wurde eine Redundanz für das Unternehmen geschaffen und Energie eingespart. Der zweite Schritt war die Reduktion des Erzeugungsdrucks um 2 bar.

Die Ausgangslage wird durch die Abbildung 65 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der alte Kompressor im Schnitt 26,4 kW Leistung abnimmt.

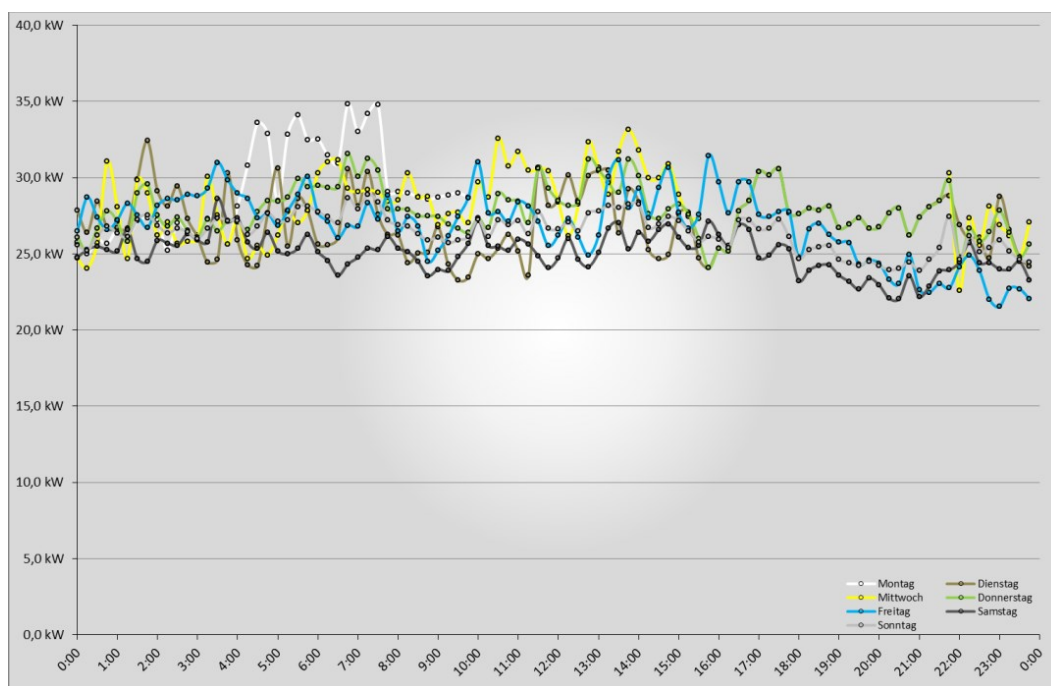


Abbildung 65: Lastgang der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der neue Kompressor mit Frequenzregelung hat einen Leistungsbezug von 25,9 kW, wodurch die Reduktion lediglich bei durchschnittlich 0,5 kW beziehungsweise 4.300 kWh pro Jahr liegen würde.

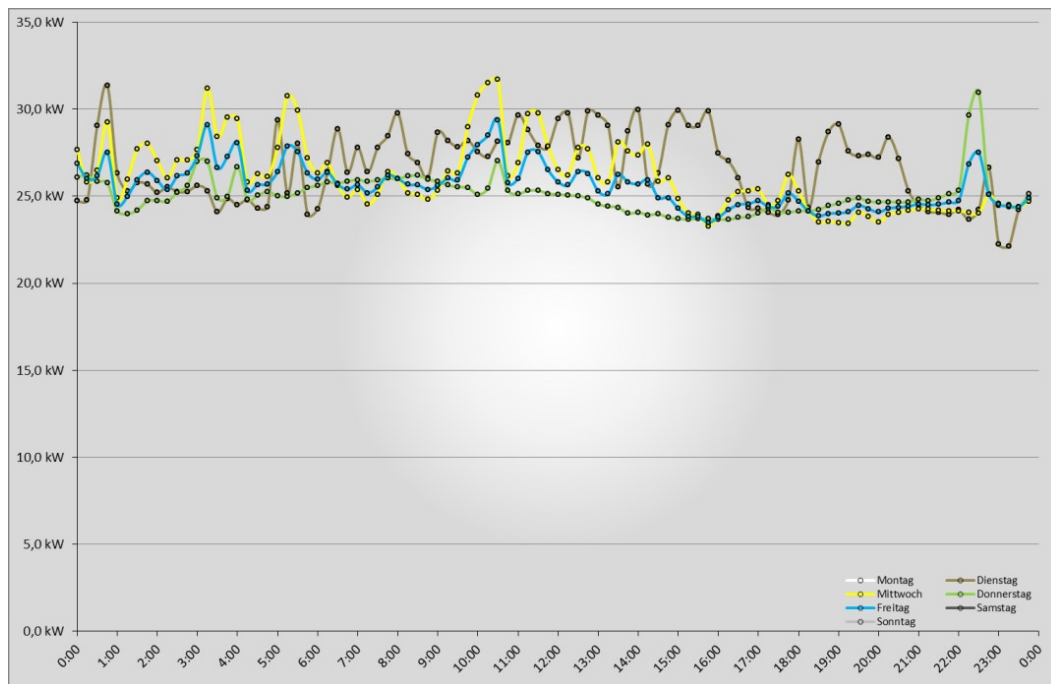


Abbildung 66: 1. Schritt der Optimierung der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Durch die Absenkung des Erzeugungsdruck von 10 bar auf 8 bar kann zudem eine deutliche Verbesserung erreicht werden. Die mittlere Leistungsabnahme liegt nun wie in Abbildung 67 ersichtlich bei 22 kW und erreicht eine Reduktion um 16 Prozent. Der Verbrauch wurde so um 38.500 kWh pro Jahr gesenkt.

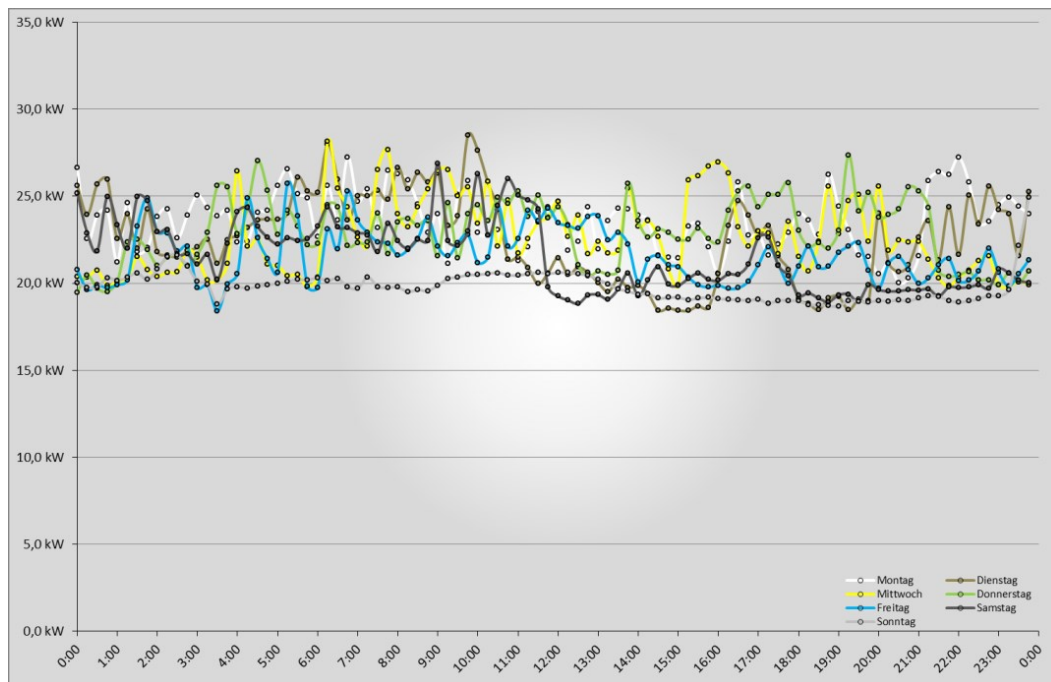


Abbildung 67: 2. Schritt der Optimierung der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

### 3.7.3 Lastverschiebungspotenzial

Eine Möglichkeit der Lastverschiebung ist die Vakuum-Anlage (VAC). Diese eignet sich sehr gut, da der Prozess nach Bestückung gestartet werden kann und in einem gewissen Zeitraster, wie beispielsweise über Nacht, abgearbeitet werden muss. Im Wochentagsverlauf können bis zu 40 kW verschoben werden, wie es aus der Abbildung 68 ersichtlich ist.

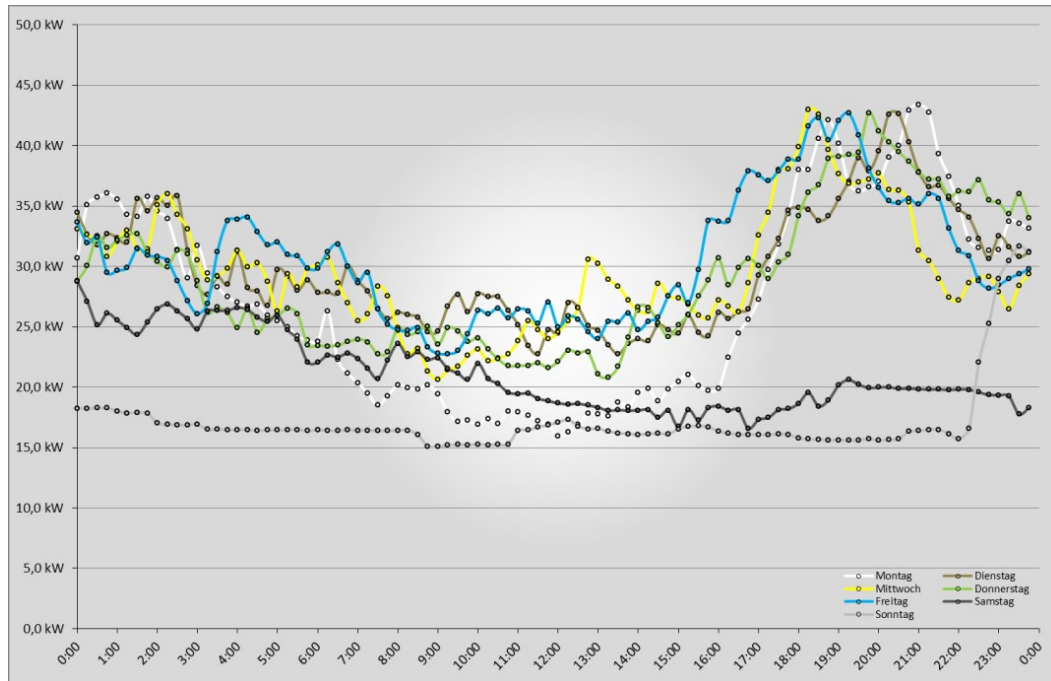


Abbildung 68: Lastgang der VAC mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

In diesem Falle ist es über das Jahr betrachtet möglich, den Start des Vorgangs noch weiter in die Abendstunden zu verlagern. Werden jedoch einzelne Zyklen betrachtet, kann man die unterschiedlichen Zyklen und auch die absoluten Verschiebungsmöglichkeiten besser darstellen. In der Abbildung 69 sieht man deutlich, dass die Möglichkeit besteht Zyklen von 5 Stunden bis 9 Stunden zeitlich zu verlagern.

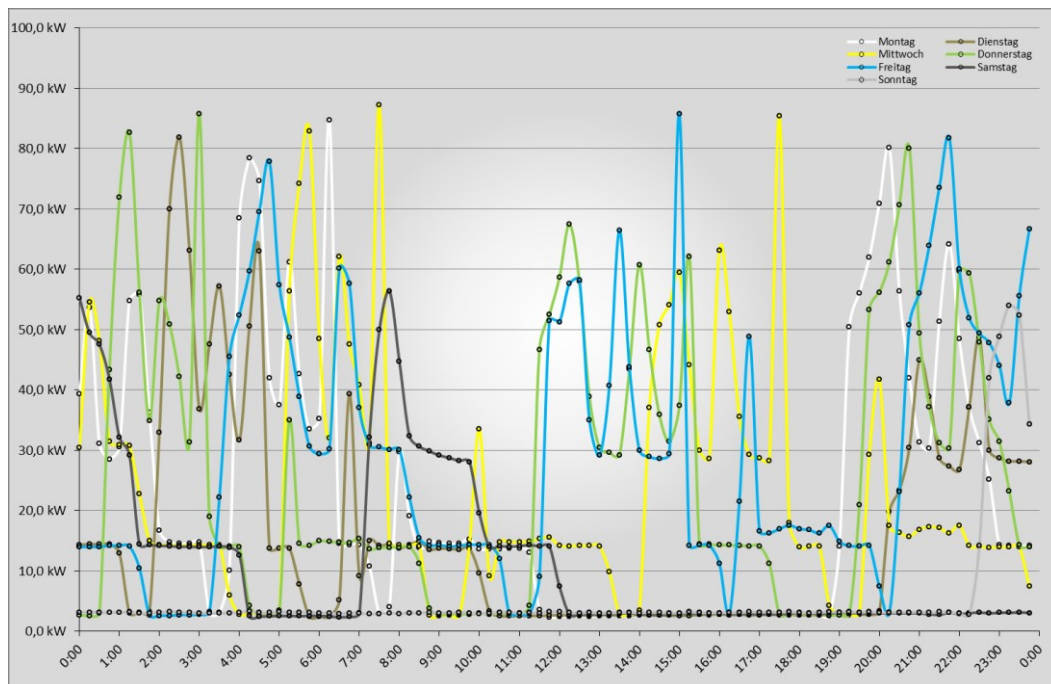


Abbildung 69: Lastgang der VAC mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage

Eine weitere Option stellt die Duo-Anlage dar, welche eine Kombination aus Induktivhärten und Aufkohlebehandlung durchführt. Diese Anlage ist im Jahresblick vor allem in den Morgenstunden aktiv.

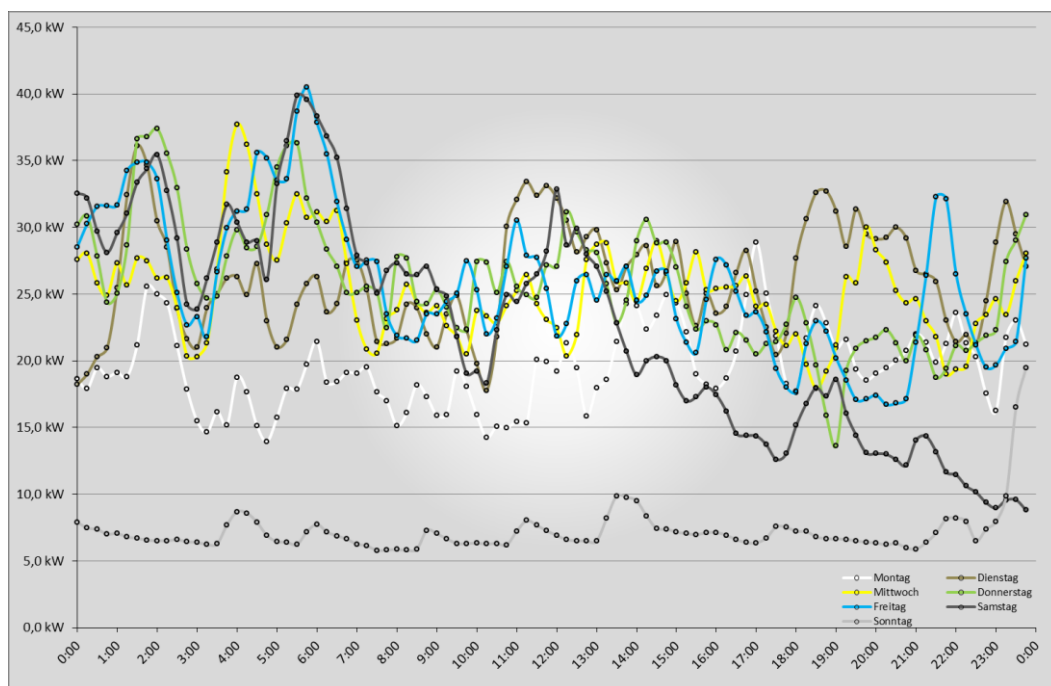


Abbildung 70: Lastgang der DUO mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage



Werden auch hier die einzelnen Zyklen betrachtet, ist wie in Abbildung 71 klar zu sehen, dass bis zu 120 kW zeitlich verschoben werden können. Die Prozessdauer von 5 Stunden darf jedoch aus Qualitätsgründen nicht unterbrochen werden. Je nach Produktionsplanung ist der Vorgang bis zu 12 Stunden verlagerbar.

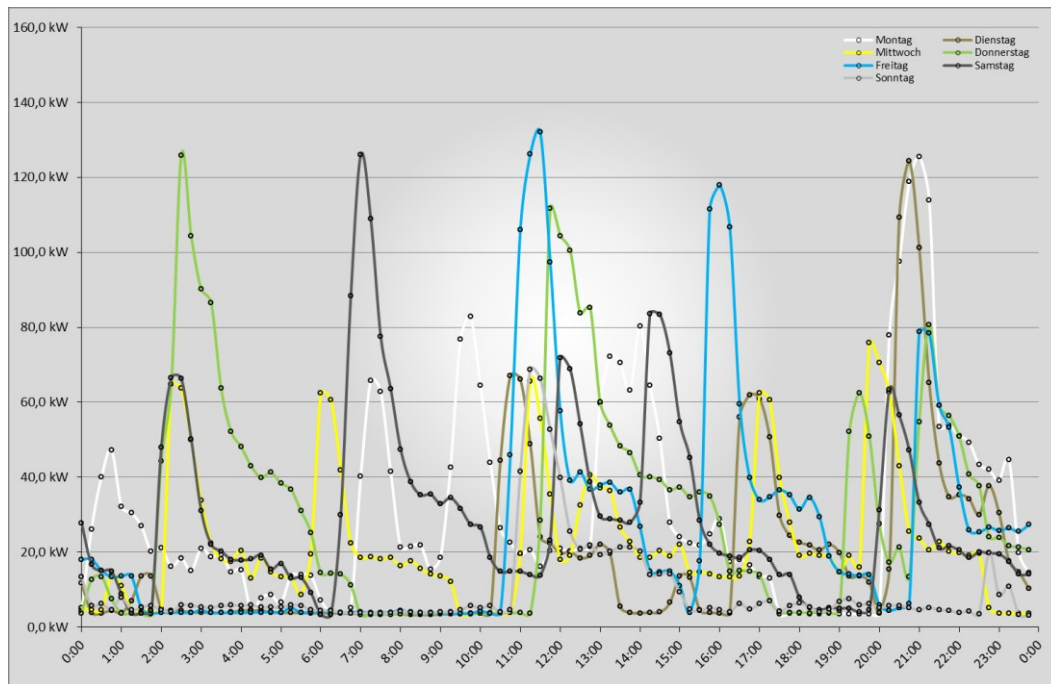


Abbildung 71: Lastgang der DUO-Anlage mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage

### 3.8 Öffentliche Einrichtung 1: Hallenbad

Diese öffentliche Einrichtung ist in fast jeder Gemeinde / Stadt anzutreffen und bietet, durch das große Volumen an thermischem Speicher, einige Möglichkeiten Lastverschiebungen zu ermöglichen. Das Potenzial zu heben ist aber durchaus problematisch, da die eingebaute Technik oft noch aus den 70er/ 80er Jahren stammt. Das betrachtete Hallenbad besitzt ein BHKW zur Erzeugung der notwendigen Wärme. Ein redundanter Gaskessel rundet die Wärmeerzeugung ab. Die Lüftungsanlage sowie die Umwälzpumpen sind ein weiterer Bestandteil. Die Besonderheit liegt in der rudimentären Nahwärmeversorgung des Schulzentrums mit Überschusswärme.

Tabelle 23: Steckbrief öffentliche Einrichtung 1

Steckbrief	
Branche	Öffentliche Einrichtung
Baujahr	1970
Mitarbeiteranzahl	7
Stromverbrauch	225.000 kWh + Erzeugung BHKW
Weitere Energieträger	Keine
Wärmeerzeugung	BHKW & Gaskessel
Erneuerbaren Energien/ BHKW	BHKW 60kW elektrisch/180 kW Wärme
Arbeitszeit / Schichten	-
Energieeffizienzpotenzial	Anlagentechnik
Lastverschiebungspotenzial	Lüftung, Umwälzpumpen, BHKW
Besonderheiten	Nahwärmeversorgung mit Schulzentrum bei Überschuss

#### 3.8.1 Vorstellung und Besonderheiten

Das Hallenbad hat zur Wärmeerzeugung ein mit Erdgas betriebenes BHKW, das den Überschuss der erzeugten Wärme an das angeschlossene Schulzentrum/ die Sporthalle übergibt. Jedoch wird das BHKW jeden Morgen an und jeden Abend abgeschaltet, da es vor der erlassenen Einspeisevergütung eingebaut wurde und somit nur zur Wärmeerzeugung genutzt wird. Über die Winterzeit wurde leider nicht

gemessen, da die Möglichkeit bzw. die Beauftragung erst im Frühjahr gegeben wurde und im Oktober wieder abgebaut werden musste.

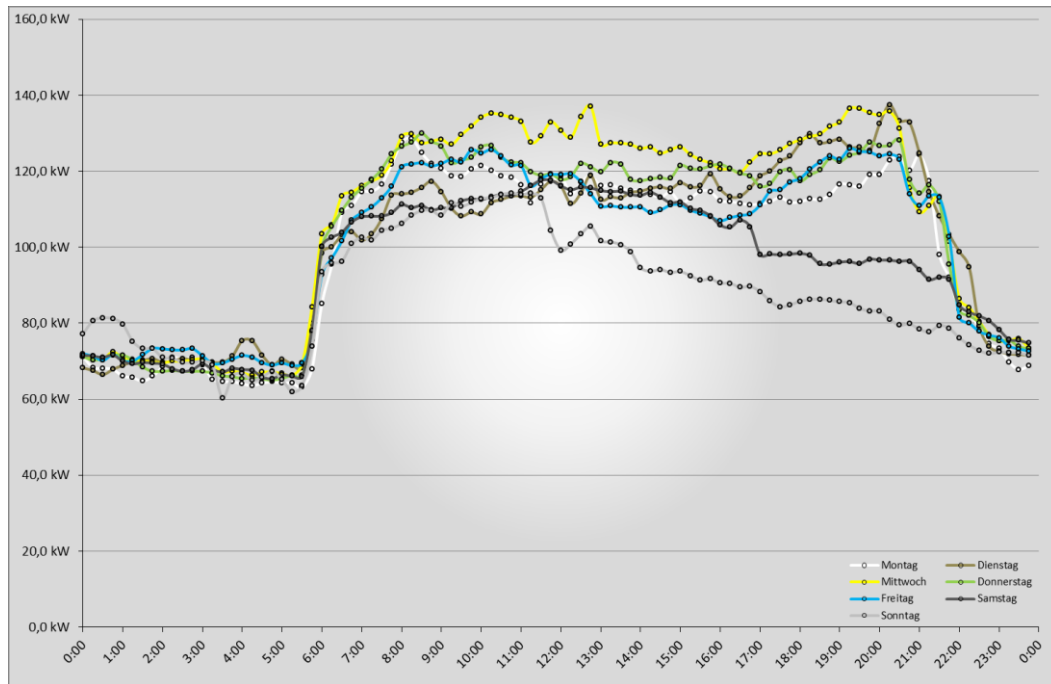


Abbildung 72: Gesamtlastgang Ö1 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der in Abbildung 72 dargestellte Lastgang beinhaltet den vom Versorger gelieferten sowie den vom BHKW erzeugten Strom. Das BHKW selbst erzeugt 50 kW elektrische Leistung und wird zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr betrieben. Zur Aufheizung nach den Betriebsferien oder nach Stillständen wird das BHKW auch nachts betrieben. Auf die Darstellung der einzelnen Jahreszeiten wird in diesem Fall verzichtet, da der Messzeitraum zu klein war.

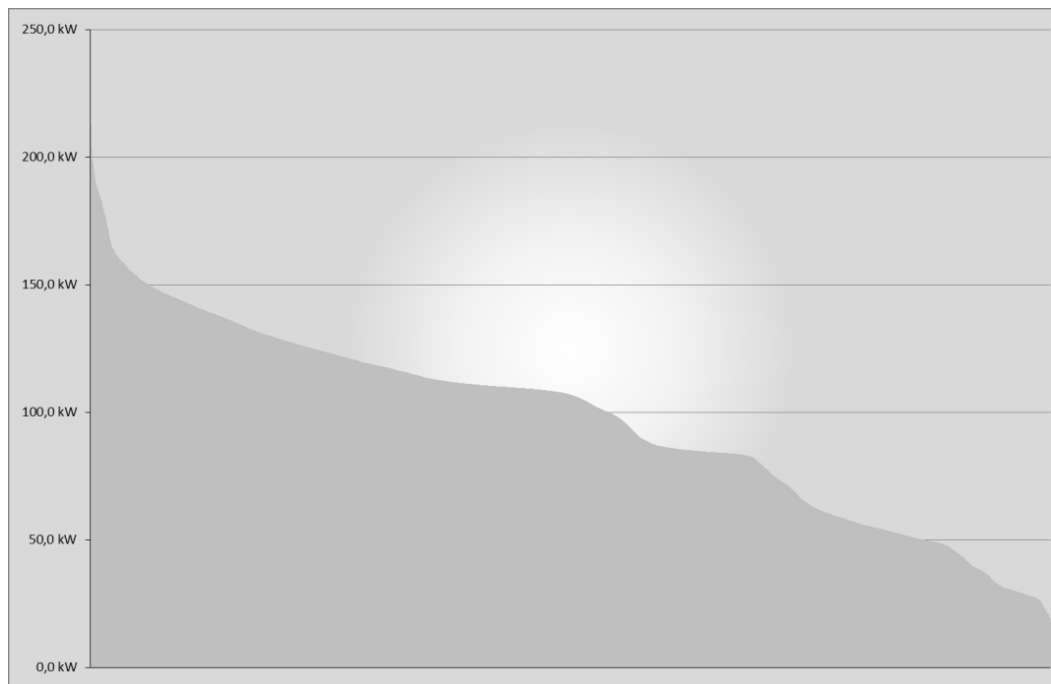


Abbildung 73: geordnete Dauerlinie Ö1

Tabelle 24: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges der öffentl. Einrichtung 1

	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	Gesamt
<b>Frühling</b>													
Mittelwert	70,67	66,54	65,29	105,74	134,67	135,74	132,18	125,30	124,56	127,93	134,03	89,76	109,35
Minimum	34,05	32,38	30,64	54,99	56,85	84,99	85,14	75,84	59,81	61,15	50,10	41,39	30,64
Maximum	110,52	110,83	112,03	131,08	186,93	194,73	186,15	191,90	163,28	200,62	206,74	143,17	206,74
Standardabweichung	22,37	20,56	19,87	16,71	21,49	19,64	19,18	17,22	19,48	29,32	39,20	21,99	35,76
<b>Herbst</b>													
Mittelwert	68,51	66,72	65,78	85,74	119,14	118,07	112,29	115,84	106,73	105,75	117,43	86,10	97,29
Minimum	27,58	26,62	26,70	29,78	32,07	38,65	34,51	29,96	28,00	27,69	27,84	28,63	26,62
Maximum	112,42	112,58	112,24	111,89	167,87	187,93	158,88	161,16	154,08	163,76	187,81	129,85	187,93
Standardabweichung	35,37	35,97	36,16	27,74	33,19	35,26	29,18	35,28	35,73	41,99	46,93	31,49	41,17
<b>Sommer</b>													
Mittelwert	75,01	76,20	74,22	86,57	95,51	96,62	94,91	93,27	90,81	92,32	90,66	77,32	86,89
Minimum	19,09	18,69	16,74	25,00	29,21	29,84	26,73	29,78	21,77	27,90	27,97	19,88	16,74
Maximum	127,47	112,22	118,90	140,83	156,78	151,24	154,37	143,38	138,51	153,25	148,67	119,41	156,78
Standardabweichung	31,42	30,63	32,50	36,03	30,60	30,79	32,59	30,31	32,77	36,19	38,12	31,12	33,91
Gesamt: Mittelwert	71,80	69,80	68,29	96,41	119,47	120,23	116,93	113,29	110,67	112,68	116,99	85,03	100,08
Gesamt: Minimum	19,09	18,69	16,74	25,00	29,21	29,84	26,73	29,78	21,77	27,69	27,84	19,88	16,74
Gesamt: Maximum	127,47	112,58	118,90	140,83	186,93	194,73	186,15	191,90	163,28	200,62	206,74	143,17	206,74
Gesamt: Standardabweichung	27,97	27,34	27,71	27,97	31,99	31,77	30,85	29,23	31,28	37,55	44,61	27,44	37,44

Die Standardabweichung der Messwerte beträgt mit 37,44 kW bei einem Maximalwert von 206 kW nur 18 Prozent. Dies lässt den Schluss zu, dass eine homogene Abnahme über den Tagesverlauf stattfindet.

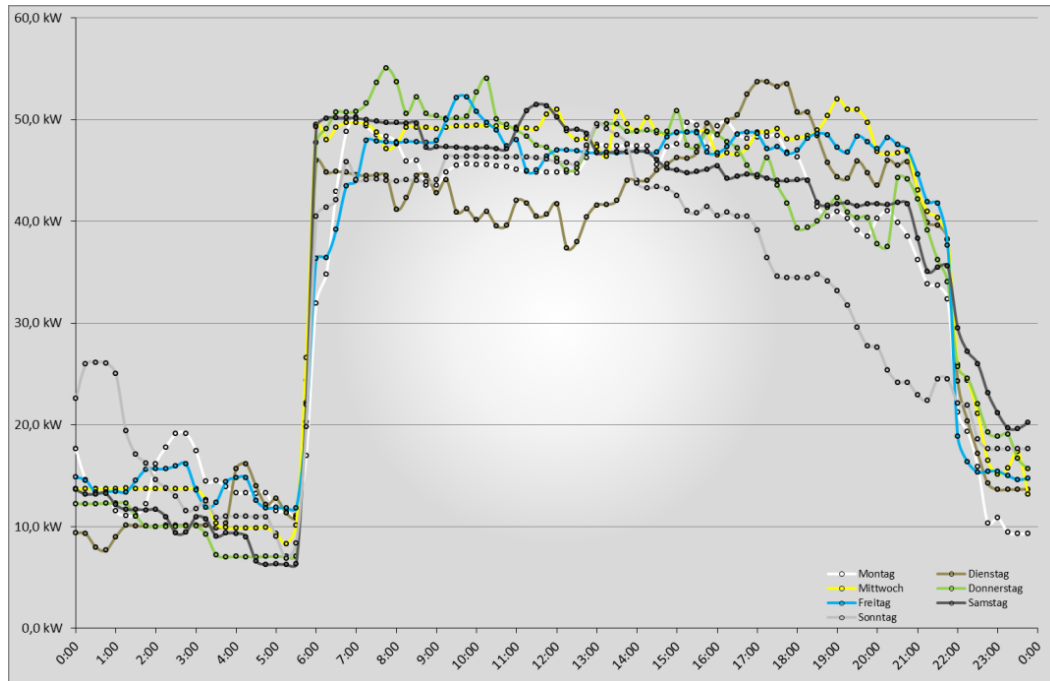


Abbildung 74: Lastgang des BHKW mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Zusätzlich zum Gesamtlastgang soll hier noch ein Blick auf die Laufzeiten des BHKW gerichtet werden, da dieses im Gegensatz zu den heute üblichen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) keine Einspeisevergütung erhält. Dies ist der Grund, warum das BHKW bei Nichtnutzung abgeschaltet wird.

### 3.8.2 Energieeffizienzpotenzial

Das Energieeffizienzpotenzial gestaltet sich sehr vielfältig, da das Gebäude aus den 70er Jahren ist. Dies ist auch der Grund, weshalb in den letzten Jahren immer wieder Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden mussten und aktuell auch werden. Die gesamte Anlagentechnik steht auch in den nächsten Jahren zum Austausch an. Das Gebäude wurde energetisch ertüchtigt und stellt nun durch die bessere Gebäudedämmung die Voraussetzung zur Neuplanung des Energiebedarfs.

Unabhängig von der Situation des Umbaus und der Planung für die weiteren Jahre gibt es Ansatzpunkte im Bereich der Umwälzpumpen und der Lüftungsanlage. Diese

beiden Bereiche könnten durch geringe Investitionen optimiert werden, um Energie einzusparen.

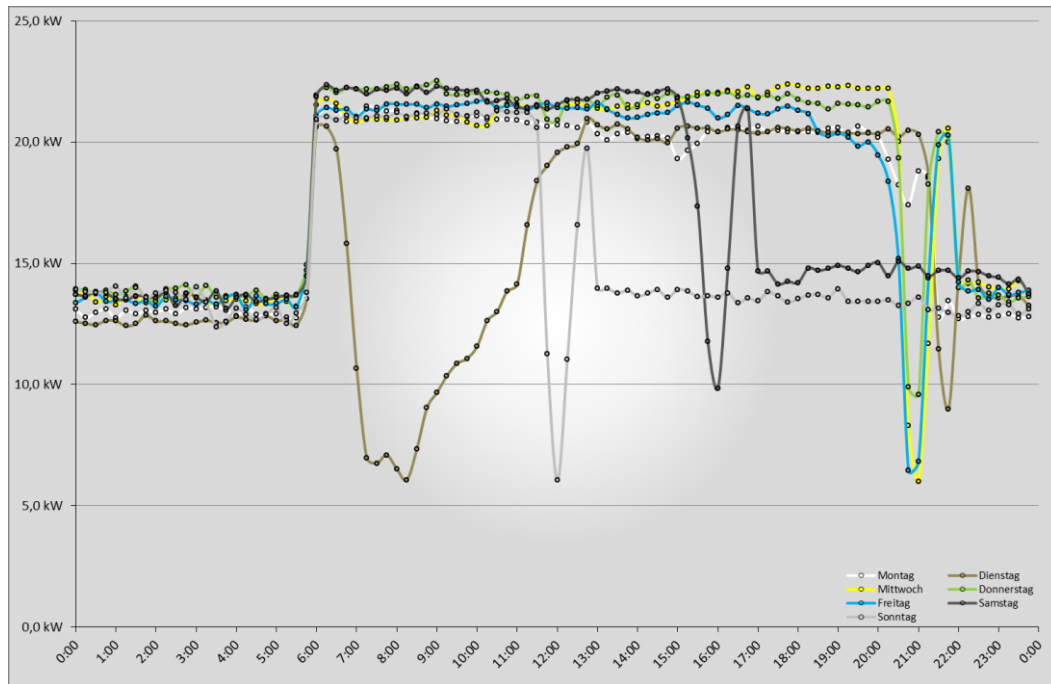


Abbildung 75: Lastgang der Umwälzpumpen mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

In der Abbildung 75 wird der Lastgang der Umwälzpumpen dargestellt. Diese laufen, sobald sie morgens eingeschaltet werden, nahezu konstant durch. Dienstags ist am Morgen der Reinigungstag und Samstagabend sowie Sonntagsnachmittags ist das Bad geschlossen. Der aktuelle Zustand könnte durch eine vereinfachte Regelung oder frequenzgeregelte Motoren durchaus optimiert werden. Dies würde theoretische Einsparungen von bis zu 15 Prozent des aktuellen Verbrauchs ergeben, die bei realistischem Betrachten und der vorgefundenen Voraussetzung im Bereich der älteren Technik mit 10 Prozent angenommen werden sollten. Der Lastgang könnte so im Schnitt um 3kW gesenkt werden. Durch eine erweiterte intelligentere Steuerung könnten die Nacht- und Nichtbetriebszeiten optimiert werden. Dies würde gleichzeitig auch indirekt Lastverschiebungspotenzial darstellen, da die nächtlichen Umwälzprozesse durchaus unkritisch sind und dadurch nicht starr sondern flexibel werden würden.

Die Optimierung der Umwälzpumpen würde sich wie in Abbildung 76 auf den Lastgang auswirken. In den Hauptnutzungszeiten verändert sich der Verlauf nicht, sondern nur die absolute Höhe der Last.

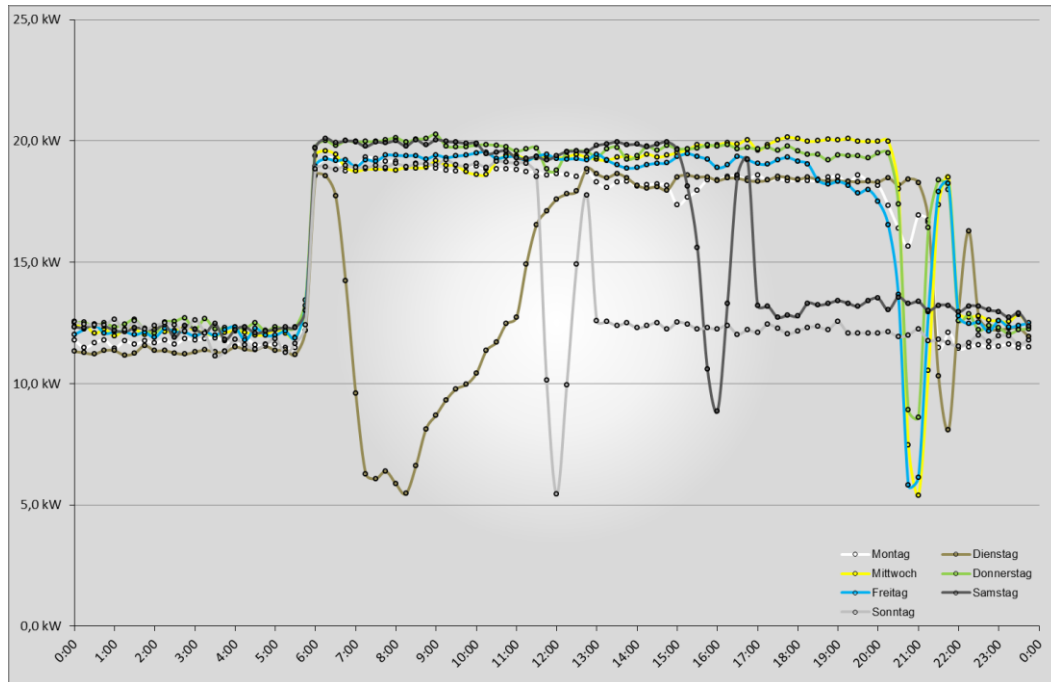


Abbildung 76: Optimierung der Umwälzpumpen mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Lüftungsanlage, die mit 20 kW eine recht hohe Grundlast aufweist. Die Anlage könnte durch eine teilweise Abschaltung von Bereichen ohne weitere Eingriffe in die bestehende Technik sondern durch die manuelle Regelung bei Betriebsende eine Reduktion um ca. 10 kW erreichen. Einige Bereiche müssen mitunter auch nachts wegen der Feuchtigkeitsproblematik eines Bades belüftet werden.

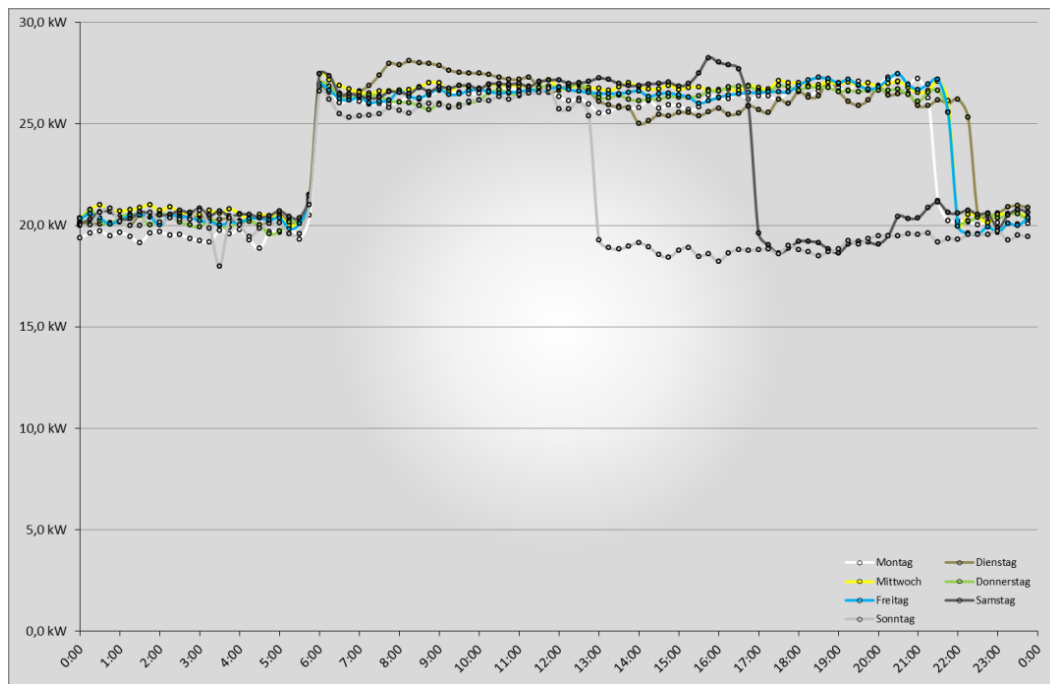


Abbildung 77: Lastgang der Lüftungsanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Durch die oben genannten Maßnahmen würde sich der Lastgang der Lüftungsanlage insoweit verändern, dass sich der nächtliche Verbrauch halbieren könnte wie in Abbildung 78 dargestellt. Die absoluten Spitzen sind abhängig von der maximalen Umwälzung der Luft während des Betriebes. Hier ist ohne größere Planungsleistung und neuer Auslegung der kompletten Anlage in diesem Zustand keine Reduktion möglich.



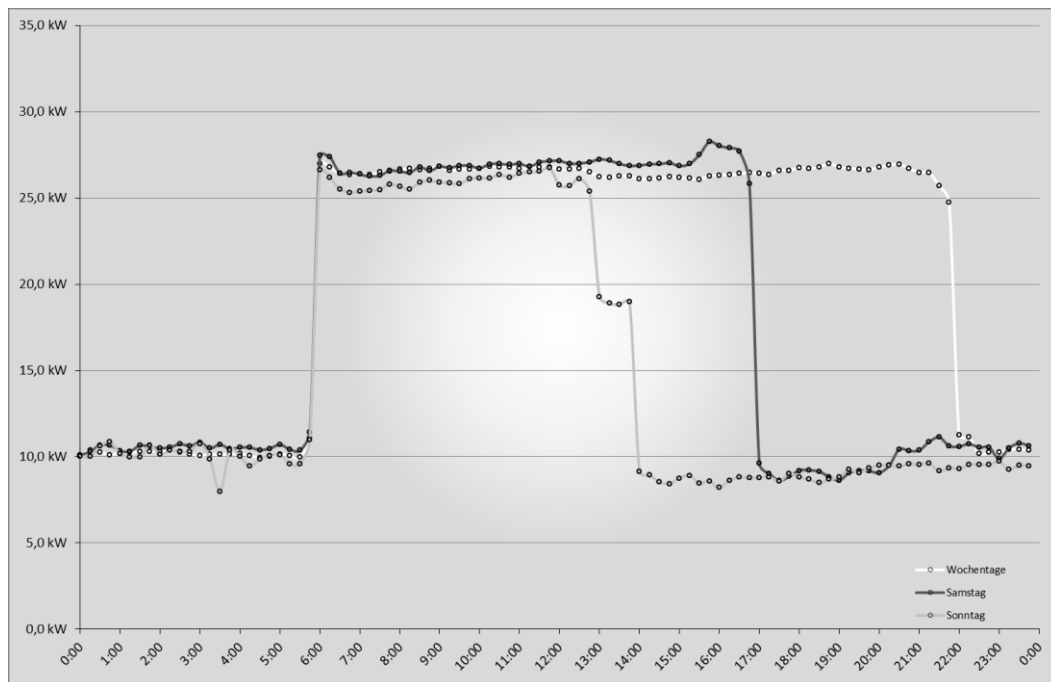


Abbildung 78: Optimierung der Lüftungsanlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

### 3.8.3 Lastverschiebungspotenzial

Das Lastverschiebungspotenzial für dieses Hallenbad liegt bei 10 kW im Bereich der Umwälzpumpen und bei 20 kW im Bereich der Lüftungsanlagen. Dieses Potenzial wäre aktuell nur manuell zu heben, da die Steuerungstechnik keine entsprechenden Schnittstellen beinhaltet. Deshalb wird nicht weiter auf diese Möglichkeiten eingegangen, da es kaum realisierbar ist dies in einem sinnvollen Ablauf darzustellen und im laufenden Betrieb umzusetzen.

Die Möglichkeit zur zeitnahen, schnellen Flexibilisierung von elektrischer Leistung ist durch das BHKW gegeben. Dieses könnte eine Last von 50 kW während des Betriebes zu Verfügung stellen. Die eventuell benötigte Wärme würde durch den redundanten Gas-Kessel erzeugt werden.

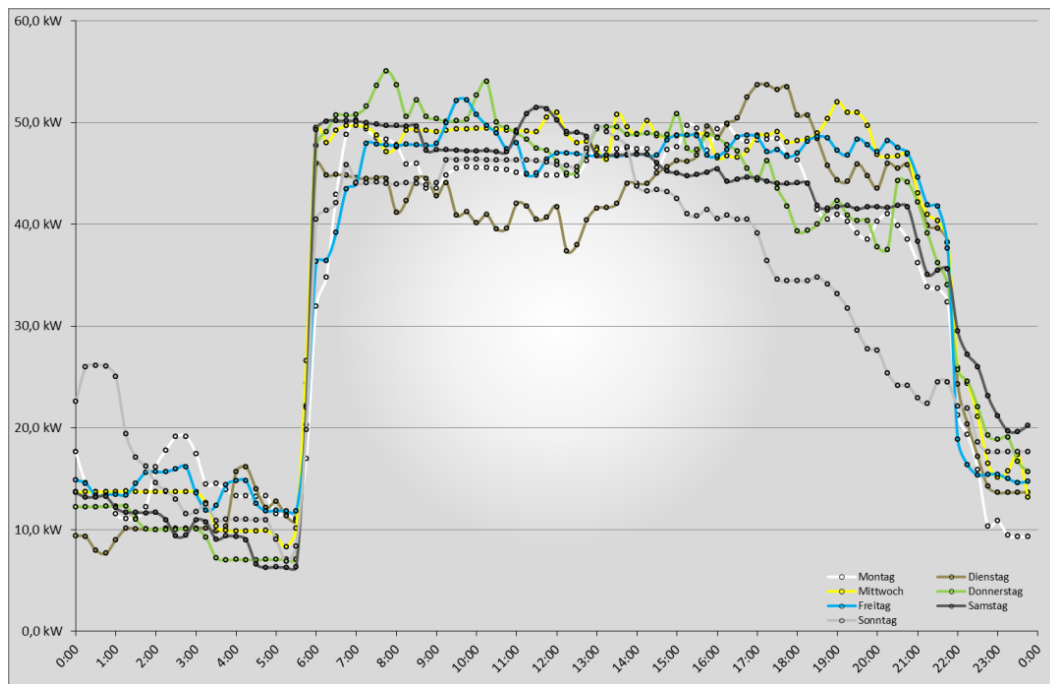


Abbildung 79: Lastgang des BHKW mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Die Abstimmung der vorhandenen Technik ist durch die schon installierte Steuerung und Messtechnik recht einfach möglich. Es muss jedoch der reibungslose Betrieb gewährleistet werden.

### 3.9 Öffentliche Einrichtung 2: Kläranlage

Für die Kläranlagen in Deutschland gibt es seit April diesen Jahres ein Arbeitsblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen [DWA13]. In einem ersten Schritt, dem Energiecheck, wird eine energetische Bestandsaufnahme vorgeschlagen. Diese soll an einfach zu erhebenden Daten ermittelt werden, wie z.B. dem Gesamtstromverbrauch. Durch die Erhebung wird die Notwendigkeit und Richtung des zweiten Schrittes der Energieanalyse, vorbereitet. In der Analyse wird die systematische Erhebung der Energiebilanz mit Soll-/ Ist-Vergleich und Idealwerten der Anlagen gefordert. Außerdem sollen Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs gegeben werden. Somit stellt dieses Arbeitspapier die Grundlage für die regelmäßigen Überprüfungen der Anlagen dar.

In Deutschland gibt es 9632 Kläranlagen die in kommunaler/ öffentlicher Hand liegen. Somit ergibt sich ein sehr großes Potenzial an Energieeffizienz und Lastverschiebung in diesem Bereich. Die Betrachtung soll anhand dieser Anlage auf die Gebläsenutzung und Schlammausflockung fokussiert werden.

*Tabelle 25: Steckbrief öffentliche Einrichtung 2*

#### Steckbrief

Branche	Öffentliche Einrichtung
Baujahr	1970
Mitarbeiteranzahl	3
Stromverbrauch	564.000 kWh
Weitere Energieträger	Keine
Wärmeerzeugung	Stromheizung im Büro
Erneuerbaren Energien/ BHKW	-
Arbeitszeit / Schichten	1
Energieeffizienzpotenzial	Erzeugung und Nutzung der Blasluft
Lastverschiebungspotenzial	Schlammausflockung

### 3.9.1 Vorstellung des Unternehmens und Besonderheiten

Die Vorstellung des Klärwerks stellt sich gegenüber den vorhergehenden Unternehmen etwas anders dar, da während des Messzeitraums die Anlage umgebaut und das System grundlegend verändert wurde. Deshalb wird im Folgenden nicht auf das gesamte Jahr und die Jahreszeiten eingegangen, sondern auf die Zeit vor und nach dem Umbau.

Ein Klärwerk hat prozessbedingt nur Strom als Energiequelle. Die Hauptnutzungen sind Pumpen und Kompressoren zum Einbringen des Sauerstoffs in die Belebungsbecken. Gas wird in den meisten Fällen nur für den Bürotrakt zum Heizen benutzt.

Im Lastgang über das ganze Jahr ist der Einfluss des Personals deutlich zu sehen. Der Anstieg der Last zwischen 6:00 Uhr und 7:00 Uhr zeigt, dass viele Prozesse noch durch das Personal kontrolliert und durchgeführt werden. Im Schnitt sind ca. 60 kW für die Belüftung und die benötigten Pumpen von Nöten.

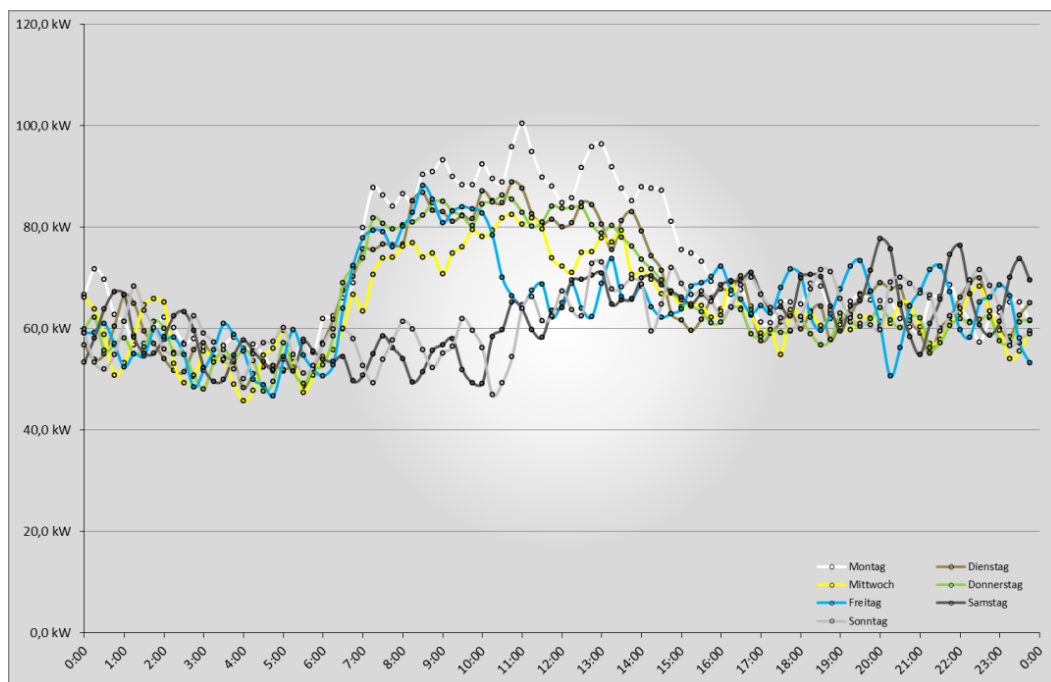


Abbildung 80: Gesamtlastgang Ö2 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Im Vergleich des Gesamtlastgangs vor beziehungsweise nach dem Umbau wird der Unterschied der Steuerungserneuerung deutlich. Jedoch hat sich an den vielen Prozessen, die durch das Personal durchgeführt werden, nichts geändert. Der Lastgang ist zwischen 6:00 Uhr und 15:00 Uhr immer deutlich höher.

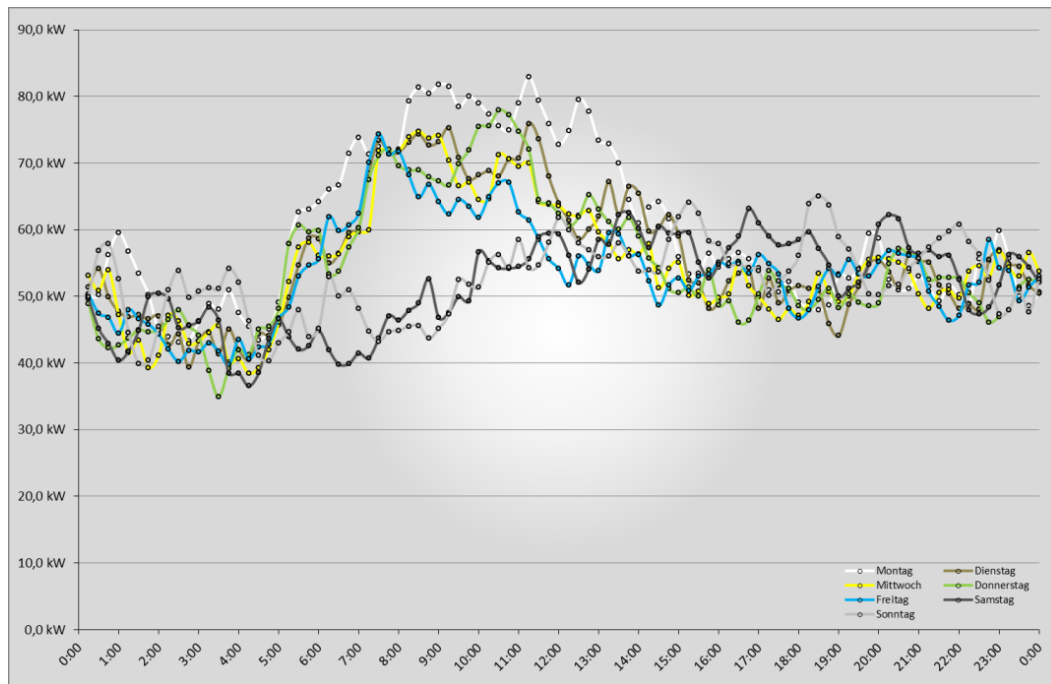


Abbildung 81: Gesamtlastgang Ö2 vor Umbau mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Der Unterschied zwischen den beiden Grafiken Abbildung 81 und Abbildung 82 liegt an der deutlich konstanteren Nutzung der Energie in den Abend- und Nachtstunden. Hier wird die verbesserte Steuerung deutlich. Diese soll in weiteren Schritten noch optimiert werden. Der Anstieg des Lastgangs lässt sich vereinfacht durch den Vergleich der Herbst-/ Winterzeit mit der Frühling-/ Sommerzeit erklären. An kalten Tagen ist der Eintrag von Sauerstoff in das Belebungsbecken laut den Klärwärtern höher. Um im Sommer den gleichen Eintrag zu bekommen muss mehr Luft in das Becken gebracht werden. Zusätzlich ist durch den geringeren Niederschlag die Schmutzfracht höher.

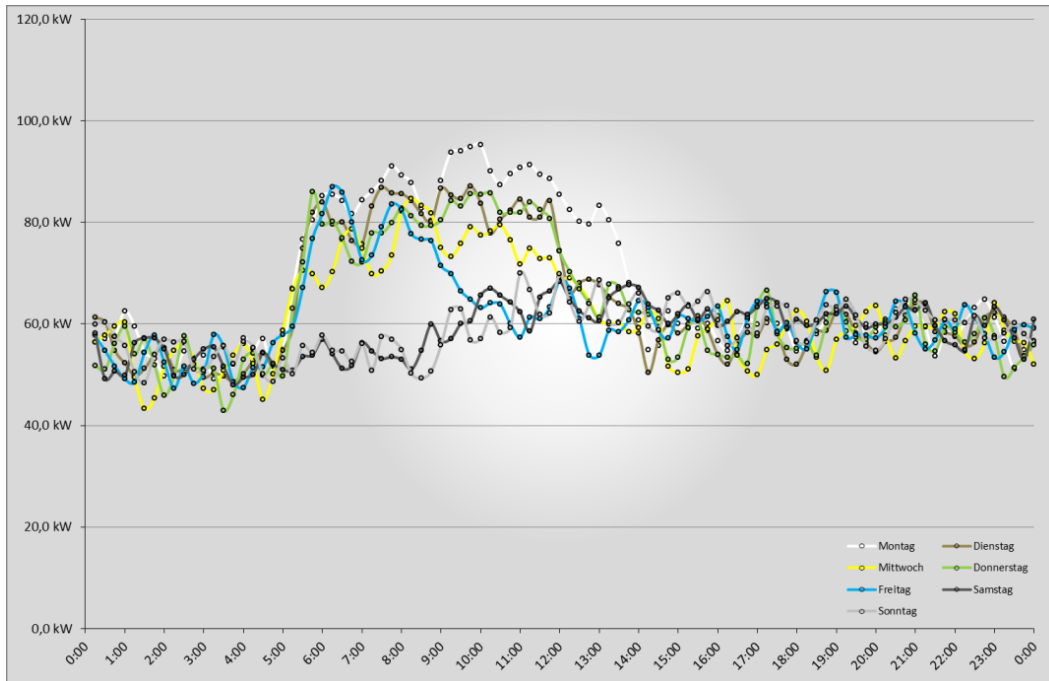


Abbildung 82: Gesamtlastgang Ö2 nach Umbau mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

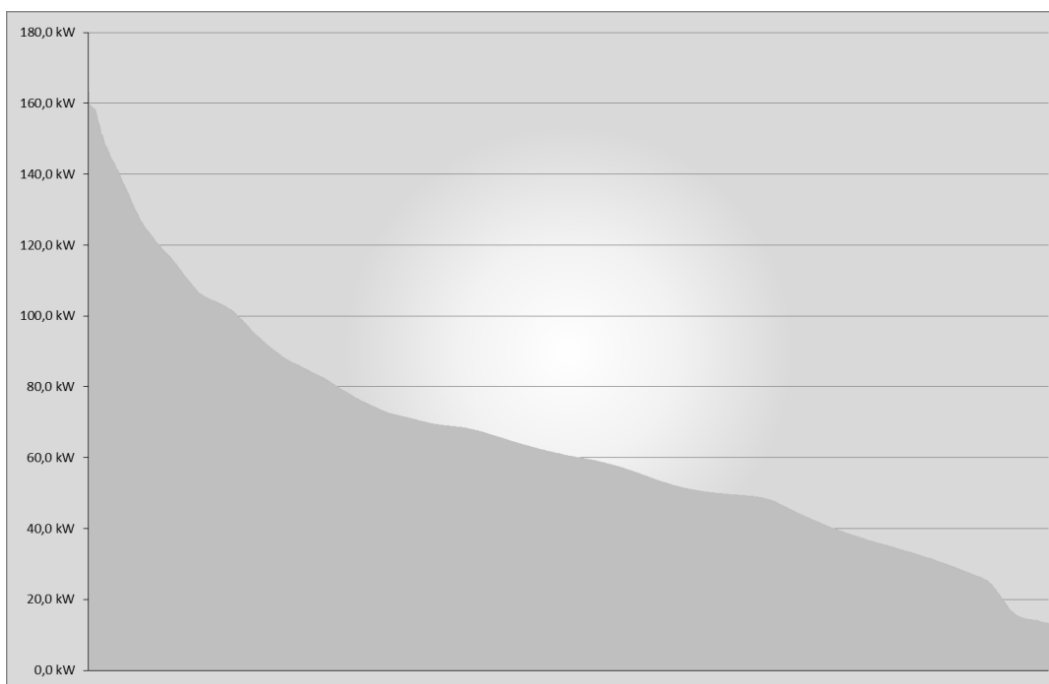


Abbildung 83: geordnete Jahresdauerlinie Ö2

Tabelle 26: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges der öffentl. Einrichtung 2

Zeilenbeschriftungen	02:00:	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:000	18:000	20:00	22:00:	Gesamt
<b>Frühling</b>												
Mittelwert	65,67	65,42	77,85	85,24	78,12	75,65	66,00	66,70	63,16	67,50	66,67	70,73
Minimum	13,87	17,38	16,08	24,79	24,50	14,35	13,39	13,32	12,19	13,25	15,19	12,19
Maximum	94,32	96,29	131,62	133,06	123,70	131,52	98,59	93,72	92,40	96,96	93,12	133,06
Standardabweichung	19,66	22,18	26,17	26,37	23,75	24,52	19,05	20,48	19,47	22,31	17,99	23,21
<b>Herbst</b>												
Mittelwert	45,25	42,68	50,91	66,93	67,78	63,31	60,81	53,69	49,27	55,03	51,99	55,23
Minimum	14,90	15,00	17,54	17,30	14,66	15,62	15,12	14,47	14,78	15,98	14,88	14,47
Maximum	92,71	87,38	124,94	115,51	120,07	119,02	116,09	94,44	89,11	90,86	89,62	124,94
Standardabweichung	17,35	16,56	21,86	21,49	25,50	21,36	21,77	18,04	16,35	16,28	19,56	21,43
<b>Sommer</b>												
Mittelwert	54,21	56,67	77,01	81,59	79,72	75,99	66,07	61,74	59,21	59,48	58,45	66,38
Minimum	15,26	17,98	19,37	21,94	15,94	17,33	16,54	15,10	14,38	14,76	15,31	14,38
Maximum	94,94	94,18	127,68	128,30	127,18	121,13	105,26	95,74	97,49	95,09	100,01	128,30
Standardabweichung	21,40	22,39	27,49	29,98	27,02	21,51	21,66	23,19	25,43	24,59	21,41	26,22
<b>Winter</b>												
Mittelwert	47,04	45,20	62,71	63,96	64,58	63,93	56,95	51,61	53,52	56,10	52,16	56,15
Minimum	16,30	17,02	23,42	16,37	17,21	16,85	16,56	15,82	16,20	16,51	16,37	15,82
Maximum	75,22	78,50	108,89	110,83	110,57	111,02	81,14	75,12	76,15	75,91	75,43	111,02
Standardabweichung	15,70	14,37	20,05	24,86	22,28	19,96	16,21	17,64	15,89	16,29	16,37	19,56
Gesamt: Mittelwert	52,57	51,95	66,29	74,05	72,30	69,39	62,37	58,17	55,92	59,26	57,01	61,75
Gesamt: Minimum	13,87	15,00	16,08	16,37	14,66	14,35	13,39	13,32	12,19	13,25	14,88	12,19
Gesamt: Maximum	94,94	96,29	131,62	133,06	127,18	131,52	116,09	95,74	97,49	96,96	100,01	133,06
Gesamt: Standardabweichung	20,22	21,14	26,55	27,21	25,58	22,70	20,27	20,76	20,25	20,60	19,87	23,62

Wirft man einen Blick auf die Standardabweichung der Messwerte, wird ersichtlich, dass der Wert bei ca. 27 kW liegt. Dies entspricht ungefähr der Anschlussleistung der Schlammausflockung und ist durch Anlagenstillstände bedingt.

### 3.9.2 Energieeffizienzpotenzial

Um das Effizienzpotenzial zu verdeutlichen, wird der Lastgang der Blasluftanwendung vor (September 2011, Abbildung 84) und nach (September 2012, Abbildung 85) der Maßnahme dargestellt. Im Rahmen der Optimierung im März/ April 2012 wurden kleinere Nachbesserungen in der Steuerung und Detailänderungen in der Verrohrung der Blasluft durchgeführt.

Vor der Optimierung wurde eine Lastspitze von bis zu 90 kW erreicht. Über die Mittagszeit wurde der Eintrag von Luft in das Belebungsbecken verringert. Im Durchschnitt wurde ein Wert von 52 kW beziehungsweise 1.248 kWh am Tag benötigt.

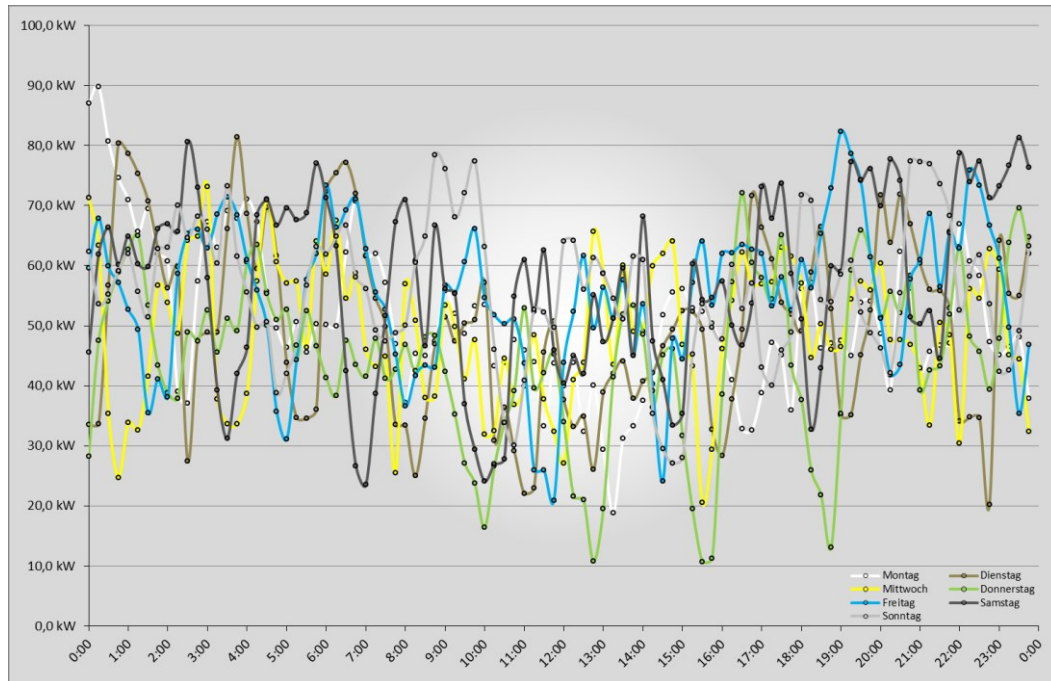


Abbildung 84: Lastgang der Beckenbelüftung mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Wochentage vor Umbau

Nach der Optimierung ist die Spitze der Last auf 70 kW reduziert. Der Bezug ist jedoch konstant über den Tag aufgebaut, ohne Absenkung über die Mittagszeit. Die durchschnittliche Last liegt bei 31,1 kW oder 746,4 kWh am Tag.



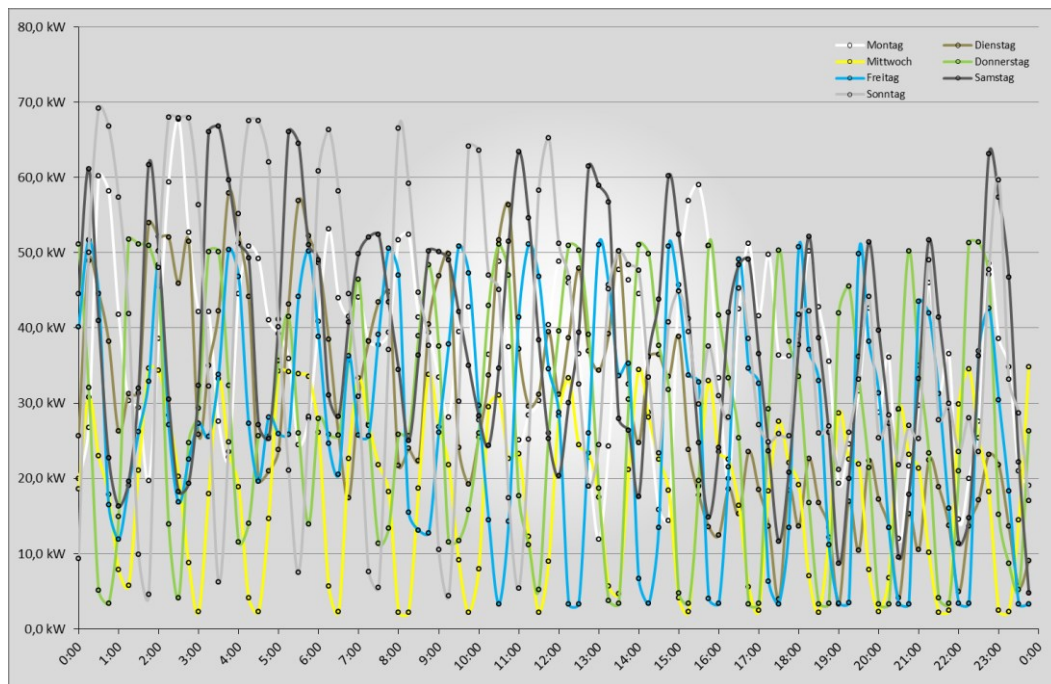


Abbildung 85: Lastgang der Beckenbelüftung mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Wochentage nach Umbau

Die Einsparung von elektrischer Energie für die Blasluftanwendung liegt in diesem Vergleich bei 40 Prozent.

### 3.9.3 Lastverschiebungspotenzial

Das Lastverschiebungspotenzial in Klärwerken ist sowohl im Bereich der Blas- und Druckluft als auch im Bereich der Schlammausflockung zu suchen. Um Last für das Stromnetz bereit zu stellen ist die Blasluft flexibler zu gestalten, was nur durch eine deutlich bessere Messtechnik in den Becken zu gewährleisten ist, so dass der Prozess im Detail überwacht werden kann.

Ein Randprozess in Klärwerken stellt die Schlammausflockung dar. Dieser Schritt kann unabhängig von der Reinigung des Abwassers betrachtet werden und ist für die Sauberkeit des Wassers nicht relevant. Die Schlammausflockung ist zurzeit noch durch die Klärwärter gesteuert und wird nur unter Aufsicht gestartet und betrieben. Die Anlage kann aber durch kleinere Nachrüstungen, wie zum Beispiel Füllstandssensoren, vollautomatisiert betrieben werden.

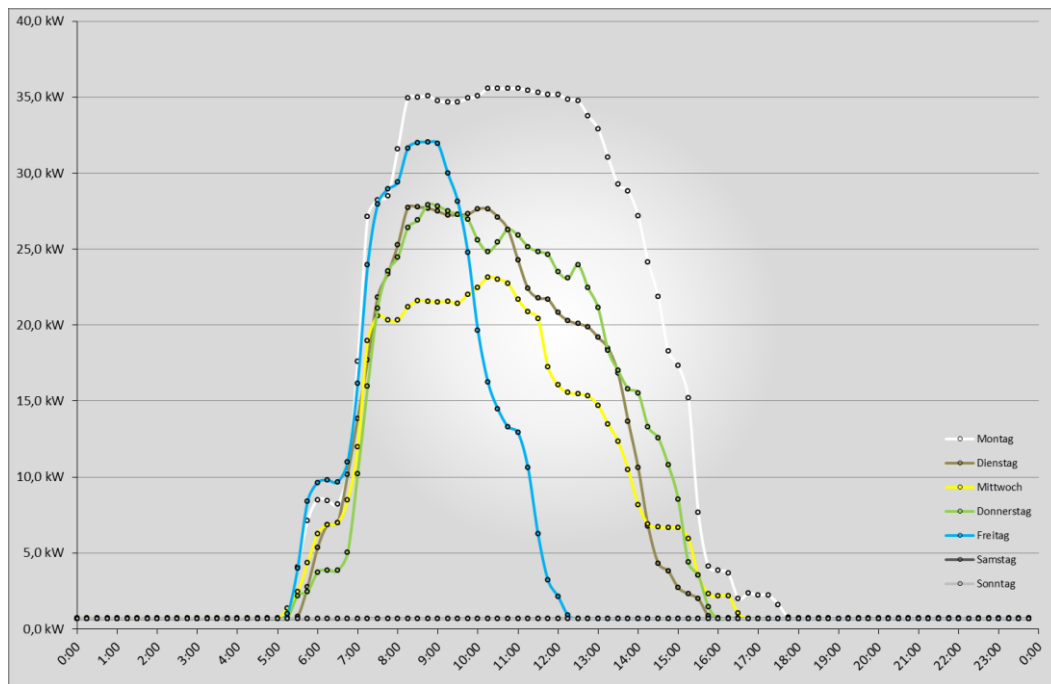


Abbildung 86: Lastgang der Schlammausflockung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

In der Grafik wird deutlich, dass die Anlage montags den ganzen Tag betrieben wird, um den angefallenen Schlamm des Wochenendes zu beseitigen. Würde der Prozess automatisiert betrieben werden, könnte dieser sowohl automatisch gestartet als auch unterbrochen werden und dem Netz sowohl Last bereitstellen als auch abnehmen, je nach Zustand und Anfragezeitpunkt könnten so bis zu 35 kW bereitgestellt werden.

## 4 Kombinationen der Potenziale für einen effizienten Lastgang

In diesem Kapitel wird die Kombination der Energieeffizienz- und der Lastverschiebungspotenziale je Unternehmen dargestellt. Hierbei besteht die Möglichkeit der gegenseitigen Einflussnahme, oder beide Maßnahmen wirken sich auf den Gesamtlastgang aus. Der Lastgang wird optimiert dargestellt und von den ermittelten Potenzialen, die im vorangegangenen Kapitel dargestellt sind, abgeleitet. Als Einstieg werden bei jedem Kunden die ermittelten Potenziale tabellarisch zusammengefasst, um die Übersicht zu verbessern. Darüber hinaus wird auf weitere Möglichkeiten der Gestaltung eingegangen, wie zum Beispiel auf die interne Optimierung durch Beeinflussung der Spitzenlast. Die umgesetzten Maßnahmen der Unternehmen werden in einem Vorher-Nachher-Vergleich dargestellt. Die Werte werden zusätzlich, wie in Kapitel 4.1 unten erläutert, statistisch ausgewertet, um eine signifikante Änderung des Verbrauchs nachzuweisen.

In einem weiteren Abschnitt wird zusätzlich auf die mögliche Bereitstellung von Lastpotenzialen im Minutenbereich eingegangen. Diese dürfen nicht mit den sogenannten Minutenreserven oder der Tertiärregelenergie<sup>23</sup> verglichen werden, da diese aktuell vor allem zur Frequenzhaltung auf 50 Hertz genutzt werden. Die in diesem Sinne ermittelten Minutenlastpotenziale sollen akute Probleme im lokalen Netz ausgleichen, die vor allem mit den Strom- und Spannungsschwankungen im Verteilnetz zu tun haben. Dazu werden Prozesse spontan um wenige Minuten unterbrochen und Last dem Netz bereitgestellt oder aufgenommen. Im Gegensatz dazu wird bei der Lastverschiebung ein Prozess geplant um eine definierte Zeiteinheit verschoben. Vorausgesetzt wird hierfür eine sehr gute Automatisierung der einzelnen Prozesse und eine Echtzeitsteuerung der Anlage/ des Prozesses mit Rückmeldung an die Anlage aus dem übergeordneten Gesamtsystem und umgekehrt. Es ist aktuell nicht möglich bei jedem Kunden solche Lastpotenziale zu

---

<sup>23</sup> Minutenreserven, Tertiärregelenergie: Regelenergie (oder Regelleistung) ist „Ersatz“-Leistung, die bei unvorhergesehenen Ereignissen die Frequenz im Netz konstant hält. Regelenergie umfasst positive (zusätzliche) Energiebereitstellung oder negative (zusätzliche Last, bzw. Reduktion der) Energiebereitstellung. Tertiärregelenergie (Minutenreserve) muss innerhalb von 15 min für eine Dauer von bis zu 4 x 15 min abrufbar sein. [Deu131]

finden, da viele Prozesse nur halb oder gar nicht automatisiert sind und sie daher nicht die erforderlichen Voraussetzungen mit sich bringen.

Im letzten Abschnitt dieses Kapitels wird das Feedback der Unternehmen und der Ausblick, der nach Projektende im Abschluss gegeben wurde, wiedergegeben. Bei vereinzelt Unternehmen wurden noch weitere Gespräche geführt und ermittelt, wie sich die vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt wurden.

Grundsätzlich gilt es in diesem Kapitel noch zu beachten, dass die erwähnten Einsparungen mit dem mittleren Strompreis für die Industrie aus Kapitel 2.3 von 14,88 Cent pro Kilowattstunde gerechnet werden. Die Einsparungen zur Spitzenlastreduktion werden vereinfacht mit 57,33 Euro pro Kilowatt und Jahr angenommen, wie diese für 2012 festgelegt wurden. [EnB12]

## 4.1 Statistische Auswertung der Daten

Die statistische Auswertung der Daten erfolgt in zwei Teilen. Zum einen werden die über den Messzeitraum erhobenen Daten anhand von Minimal-, Maximal-, und Mittelwerten analysiert und die Standardabweichung der Werte mit einem 15-minütigen Raster<sup>24</sup> des Tages verglichen. Die Einheit der Standardabweichung ist die der Ausgangsdaten. Durch die Charakterisierung der Unternehmen anhand dieser Parameter lässt sich das Verhalten innerhalb des Tages oder während der Produktionszeiten deutlich machen.

Die Standardabweichung berechnet sich wie in der folgenden Formel 2 angegeben.

$$S = \sqrt{s^2}$$

*Formel 2: Standardabweichung [Fle04]*

Dabei stellt  $s^2$  die Empirische Varianz dar und wird, wie in Formel 3 zu sehen, aus den Mittelwerten berechnet wird.

---

<sup>24</sup> Bei der Erhebung der Daten wurde pro Minute ein Messwert erhoben. Zur Auswertung wurde jeweils ein Mittelwert pro 15 Minuten gebildet, wie dies in der Lastgangmessung des Messstellenbetreibers erfolgt. Dieser Wert bildet die Grundlage aller weiteren Analysen.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \text{ mit } \bar{x} = \text{Mittelwert}$$

*Formel 3: Empirische Varianz [Fle04]*

Diese Angaben dienen vor allem dazu, das Verhalten der analysierten Kunden zu verstehen und Abweichungen im Verhalten darstellen zu können oder gleiche Verhaltensmuster herauszufinden.

Der zweite Schritt der statistischen Auswertung wird bei den Unternehmen durchgeführt, die tatsächlich eine Optimierung im Rahmen der Messkampagne umgesetzt haben. Diese Optimierung der Effizienz wird in einer Vorher-Nachher-Betrachtung des Lastganges erläutert und statistisch überprüft. Die Vorgehensweise zur Überprüfung wird durch eine induktive Methode zur Untersuchung von Unterschieden ermöglicht. Von Raab / Unger / Unger wird dieses Verfahren anhand der folgenden Abbildung 87 verdeutlicht. Durch die Messwiederholungen respektive den Messzeitraum wird von verbundenen bzw. abhängigen Stichproben gesprochen, da Werte einer Stichprobe eindeutig denen einer weiteren zugeordnet werden können [Sch91], [Büh02].

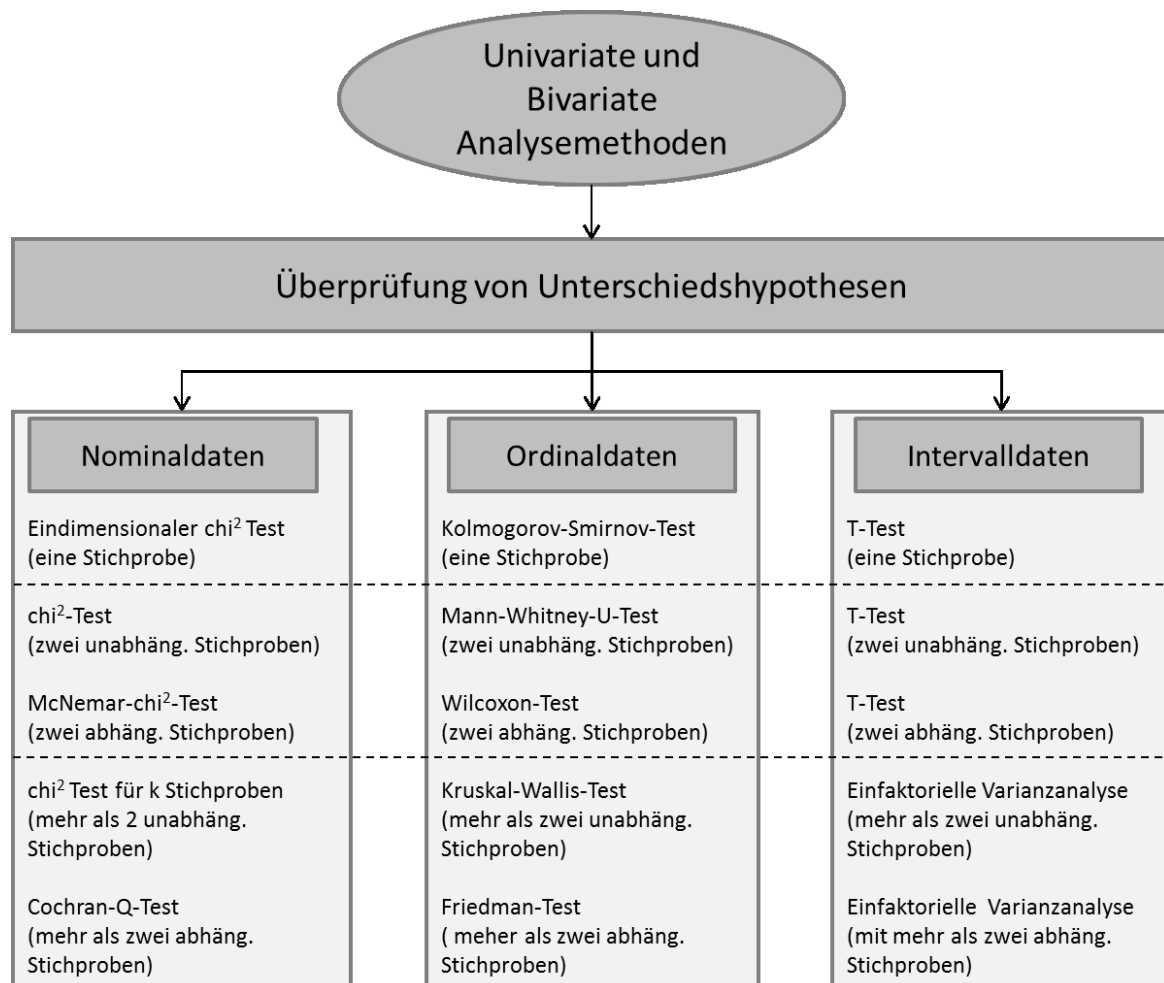


Abbildung 87: Univariate und bivariate Analysemethoden [Raa04]

Die in der Arbeit vorliegenden verbundenen Stichproben werden zunächst verschiedenen Prüfungen unterzogen.

Es wird zunächst überprüft, ob die Stichproben normalverteilt sind. Dies wird durch den Kolmogorov-Smirnov-Test beziehungsweise den Shapiro-Wilk-Test belegt [Ble08], [Raa04], [Raz11]. Zudem sollten, um einen T-Test, der die Mittelwerte der beiden Stichproben dahingehend vergleicht, ob diese signifikant voneinander abweichen, durchführen zu können, überprüft werden ob die Variablen normalverteilt sind. Ist die Bedingung der Normalverteilung der Daten nicht erfüllt, muss mit nicht-parametrischen Verfahren und damit im vorliegenden Fall mit einem Wilcoxon-Test bei zwei abhängigen Stichproben gearbeitet werden. [Büh02], [Sch12]

Auf das Ergebnis des Tests je Maßnahme wird in der Arbeit kurz eingegangen, die ausführliche Analyse wird im Detail im Anhang ersichtlich.

## 4.2 Unternehmen 1: Werkzeugbau

Die im Kapitel 3.1 ermittelten Potenziale sind in der Tabelle 27 noch einmal zu Übersicht aufgeführt. Die Wärmepumpe wird im folgenden Kapitel nur zur Eigenoptimierung genutzt, um eine Reduktion der Lastspitzen auf 120 kW zu erreichen.

Tabelle 27: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 1

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>25</sup>
<b>Effizienz</b>	Druckluft	Druckabsenkung von 1bar	1,5	13000
		Leckagen	4	35000
<b>Lastverschiebung</b>	Glühofen		max. 22	
	Wärmepumpe	Winter	7-18	
		Frühling und Herbst	7-18	
		Sommer	4	
<b>Minutenreserve</b>	Glühofen		max. 22	

### 4.2.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Die Energieeffizienzpotenziale erschließen eine Reduktion des Lastganges um 5,5 kW. Dies ergibt sich aus der Druckabsenkung und der Eliminierung von Leckagen im Druckluftsystem. Im Laufe des Jahres kann so ein Minderverbrauch von 48.000 kWh erreicht werden. Der optimierte Lastgang ist in Abbildung 88 dargestellt. In der optimierten geordneten Jahresdauerlinie, in Abbildung 89, wird die Reduktion durch den schwarz eingefärbten Bereich dargestellt.

<sup>25</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr

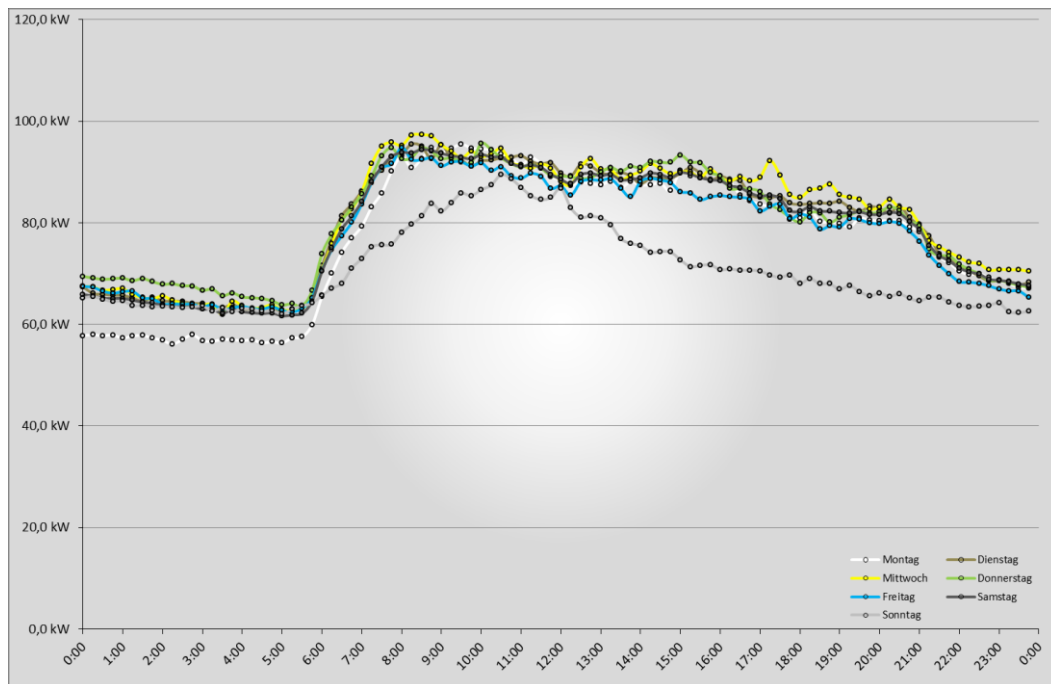


Abbildung 88: Gesamtlastgang mit gehobenem Effizienzpotenzial mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage

Durch den Einsatz der Wärmepumpe als Möglichkeit der Lastverschiebung innerhalb des Unternehmens, können bis zu 1.000 Euro pro Jahr eingespart werden. Dies würde eine Lastspitzenreduktion um 18 kW voraussetzen, was durch eine Abschaltung oder Reduktion der Wärmepumpe in einzelnen Viertel-Stunden-Intervallen möglich ist. Die Einhaltung des Grenzwertes in dem 15min-Raster des Versorgers kann somit gewährleistet werden. Im gesamten Lastgang ist nach der Auswertung der Daten und dem Vergleich mit den Höchstwerten des Lastganges zu der Betriebszeit der Wärmepumpe auszuschließen, dass mehr als drei aufeinanderfolgenden 15min-Intervallen die Grenzwerte überschritten werden. So ist durchaus gewährleistet dass die Herabsetzung oder die Abschaltung keine negativen Folgen in Form von fehlender Wärme für die Produktion hat.



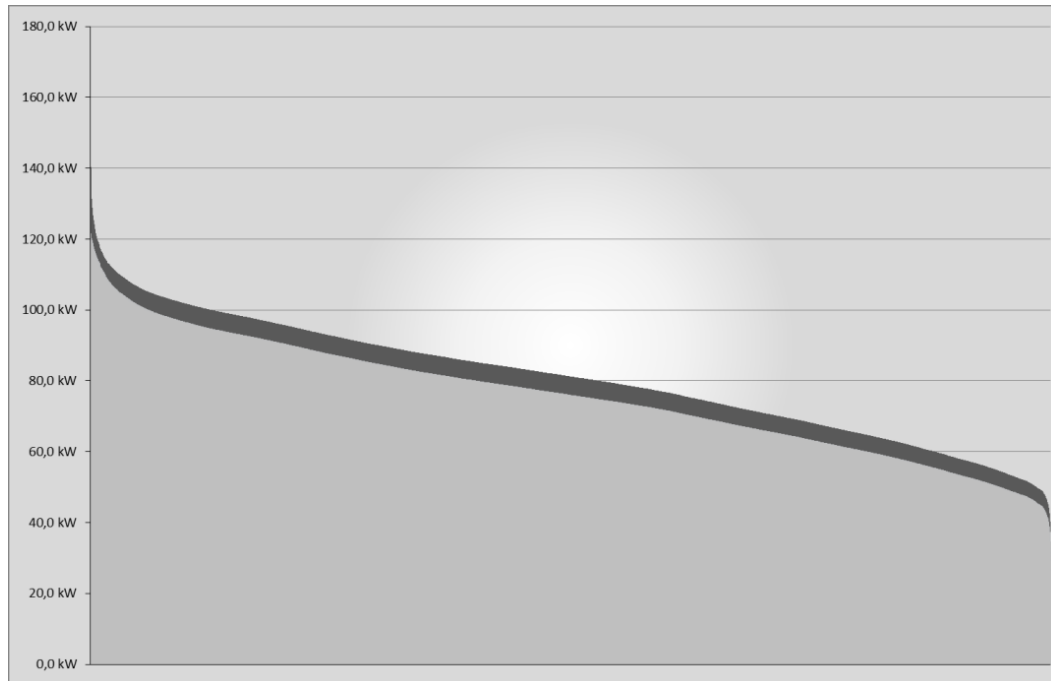


Abbildung 89: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich

#### 4.2.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Zusätzlich wäre in diesem Unternehmen auch eine Lastverlagerung im Minutenbereich umsetzbar. Diese bezieht sich auf den Glühofen, der durch seine thermische Speicherfähigkeit eine gute Möglichkeit bietet, minutenweise bis zu 22 kW bereit zu stellen. Die Abstellung der Energiezufuhr darf jedoch nicht zu lange dauern und ist während der Anlassphase des Werkstoffes nicht zu realisieren. In der Aufheizphase ist jedoch das Potenzial durchaus realisierbar, wenn die Steuerung des Ofens angepasst wird. Die realistische Zeitdauer ist im Bereich von 2 Minuten bis 5 Minuten zu sehen. Größere Pausen würden den Ofen zu stark abkühlen.

#### 4.2.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens

In den Gesprächen mit dem Geschäftsführer wurde deutlich, dass durch die just-in-time-Produktion der Werkzeuge und Formen kaum Zeit für eine langfristige Planung der Arbeiten bleibt. Die Aufträge der Kunden sind oft sehr zeitkritisch und dadurch

nicht in langfristigeren Zeitbereichen zu planen. Klargestellt wurde auch, dass nicht geduldet wird, dass aktiv in den Produktionsprozess oder in die direkt am Produktionsprozess beteiligten Maschinen eingegriffen wird. Die Einhaltung der Qualität der Produkte und die hohe Genauigkeit der Maßtoleranzen sind durch eine Verlagerung oder Abschaltung der Maschinen im laufenden Betrieb nach seiner Meinung, eher nicht zu gewährleisten. In der Peripherie jedoch könnte der Unternehmer es sich gut vorstellen Maßnahmen umzusetzen, wenn der Prozess dadurch nicht gefährdet wird. Wichtig für den Geschäftsführer ist auch die Frage der Finanzierung, da er für zusätzliches Equipment und neue Maschinen ohne Kapitalrückfluss, Produktverbesserung oder ein Alleinstellungsmerkmal keine Investitionen tätigen würde.

Die zur Energieeffizienz vorgeschlagenen Maßnahmen die Druckluft betreffend sollen angegangen werden. Für ein Lastmanagement sieht der Geschäftsführer aktuell keine Zukunft, da die Lastspitze in den letzten Jahren nicht zu groß geworden ist und bei neuen Verhandlungen mit dem Energielieferanten angepasst wird.

### 4.3 Unternehmen 2: Bauunternehmen

Im Unternehmen 2 stellt sich die Ausgangslage zur Nutzung der Energieeffizienz- und der Lastverschiebungspotenziale als schwierig dar. Durch die vielen handwerklichen Arbeiten mit Werkzeugen und dem niedrigen Automatisierungsgrad, ist es nicht möglich, ohne das Mitwirken der Belegschaft eine Lastverschiebung zu gewährleisten. Daher beschränken sich die Energieeffizienzmaßnahmen auf die Automatisierung der Beleuchtung in Wohnheim und Bürogebäude.

Tabelle 28: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 2

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>26</sup>
<b>Effizienz</b>	Wohnheimbeleuchtung	Optimierung Beleuchtung/ Lichtsteuerung (Nacht)	2 + 3	31000
	Bürobeleuchtung	Lichtsteuerung	3-5	4500
<b>Lastverschiebung</b>	Werkstatt (Reparatur)		5-10	
	Sensibilisierung Mitarbeiter	Visualisierung des Lastganges		
<b>Minutenreserve</b>	Keine Vorhanden			

#### 4.3.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Durch die Hebung der Energieeffizienzpotenziale im Unternehmen, bezogen auf die Optimierung der Beleuchtung, kann der Gesamtlastgang kaum verändert werden. Die Beleuchtungen in den Hallen und Werkstätten müssten durch ein schlüssiges Lichtkonzept mit der Einbeziehung des Außengeländes erarbeitet werden und die Möglichkeiten der Investition in ein solches geklärt werden. Dies würde sich im Lastgang vor allem in den Wintermonaten bemerkbar machen. Da bei den üblichen Arbeitszeiten von 5:30 Uhr bis 17:00 Uhr in den Morgen- und Abendstunden in den Hallen und Werkstätten Licht benötigt wird.

Der Gesamtlastgang kann durch 10 kW Lastverschiebungspotenzial von den Vor- in den Nachmittag und den ca. 8 kW Energieeffizienz bei der Beleuchtung wie in der

<sup>26</sup> Beleuchtung Wohnheim auf 6200 Stunden pro Jahr ausgelegt, Beleuchtung Büro auf 2190 Stunden pro Jahr ausgelegt

Abbildung 90 zeigt verändert werden. In den Zeiten zwischen 10:00 Uhr und 16:00 Uhr wird kaum eine Änderung des Lastganges eintreten. Die Einsparungen beziehen sich vor allem auf die Abend-, Nacht- und Morgenzeiten. Die Lastspitzen über 340 kW könnten durch die Änderung des Arbeitsablaufes der Werkstatt behoben werden. Dies würde eine Einsparung von ca. 600 Euro im Jahr bewirken. Zusätzlich kann durch die Effizienz noch ein Betrag von 5.280 Euro eingespart werden.

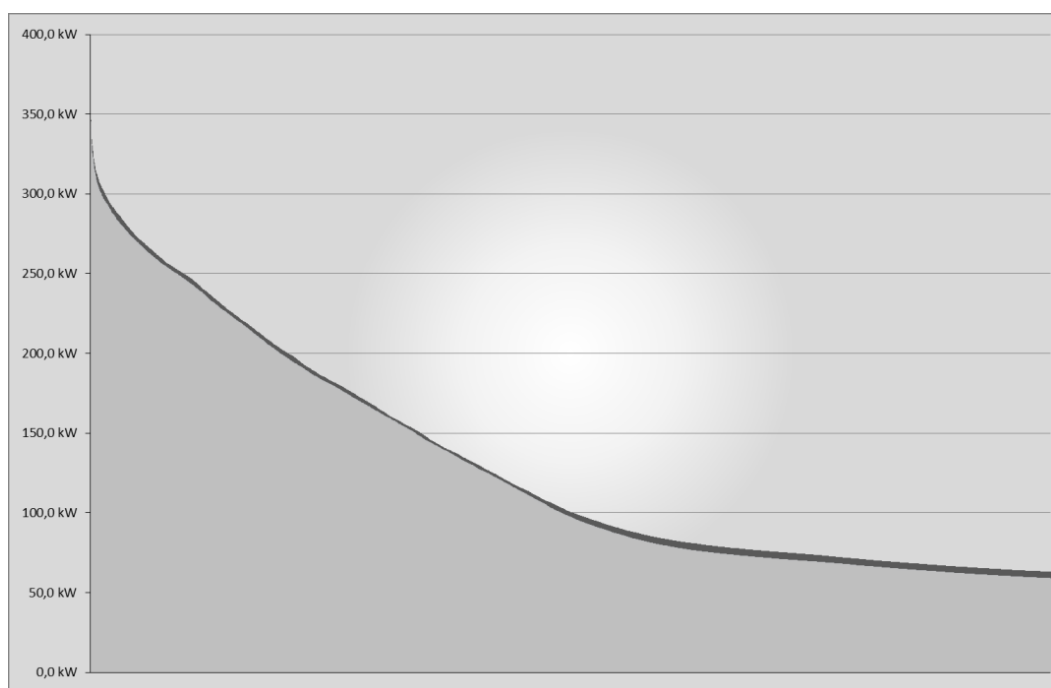


Abbildung 90: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich

#### 4.3.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Lastverschiebungspotenziale im Minutenbereich sind in diesem Unternehmen nicht vorhanden oder durch den schlechten Automatisierungsgrad nicht nutzbar zu machen. Möglichkeiten wären nur Abschaltungen von Bereichen oder Abteilungen und dies ist durch den vorhandenen Stand der Elektroverteilungen ausgeschlossen.

### **4.3.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens**

Das Unternehmen steht den Maßnahmen offen gegenüber, der Preisdruck und die Konkurrenz im Baugewerbe lässt jedoch aktuell kaum Spielraum für Investitionen zu. So wurden die vorgeschlagenen Maßnahmen nicht realisiert und können auch nicht weiterverfolgt werden. Die eventuelle Diskussion zu einem Neubau oder einer Renovierung des Verwaltungs- und Bürogebäudes schlossen auch weiterer Investitionen in dieses Gebäude aus.

## 4.4 Unternehmen 3: Stahlbau

Das Unternehmen kommt durch die Betrachtung und Analyse in Kapitel 3 auf folgende Potenziale, die sich im Bereich der Energieeffizienz auf die Optimierung der Druckluft beziehen.

Tabelle 29: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 3

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>27</sup>
<b>Effizienz</b>	Druckluft	Leckagen	3,5	30600
		Absenkung Erzeugungsdruck	1,8	15700
		Absenkung Erzeugungsdruck mit Änderung der Rahmenbedingungen	8	70700
<b>Lastverschiebung</b>	(PV)			
<b>Minutenreserve</b>	Laserschneider	Anlaufverzögerung	150	

### 4.4.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Das Energieeffizienzpotenzial ist durch die Realisierung der Leckageneliminierung innerhalb des Druckluftnetzes hebbar und in der Abbildung 91 gut erkennbar. Die Absenkung des Erzeugungsdruckes wurde durch das Unternehmen nicht durchgeführt. Die Angaben sind in der Tabelle 29 angegeben, aber nicht in die folgenden Auswertungen eingeflossen. Die angesprochene Lastverschiebung in Bezug auf die PV-Anlage ist nicht darstellbar, da dies aktuell nicht umsetzbar ist und die Anlage als Volleinspeiser konzipiert und erbaut wurde. Somit ist derzeit keine Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung möglich. Optional wäre nur ein Konzept zur Verlagerung weiterer Maßnahmen und Arbeiten in die Nachmittagsstunden. Dies würde aber massive Auswirkungen auf den Arbeitsablauf haben und ist in der aktuellen Situation des Unternehmens nicht denkbar.

Die Energieeffizienz wird nicht auf den Gesamtlastgang dargestellt, da die Einsparungen durch die Höhe von über 400 kW nicht ersichtlich wären. Im Vergleich

<sup>27</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr

zwei Referenzzeiträume vor und nach der Maßnahme wird dies ersichtlich. Wie schon im direkten Vergleich zweier Tage in Kapitel 3.3.2 dargestellt, ist auch im Referenzzeitraum über eine Woche ersichtlich, dass der Gesamtverbrauch produktionsbedingt gestiegen ist, aber in den Randzeiten zwischen 22:00 Uhr und 3:30 Uhr der Verbrauch gesenkt wurde. Dies wird durch den „schwarzen Bereich“ zwischen 25 kW und 10 kW deutlich.

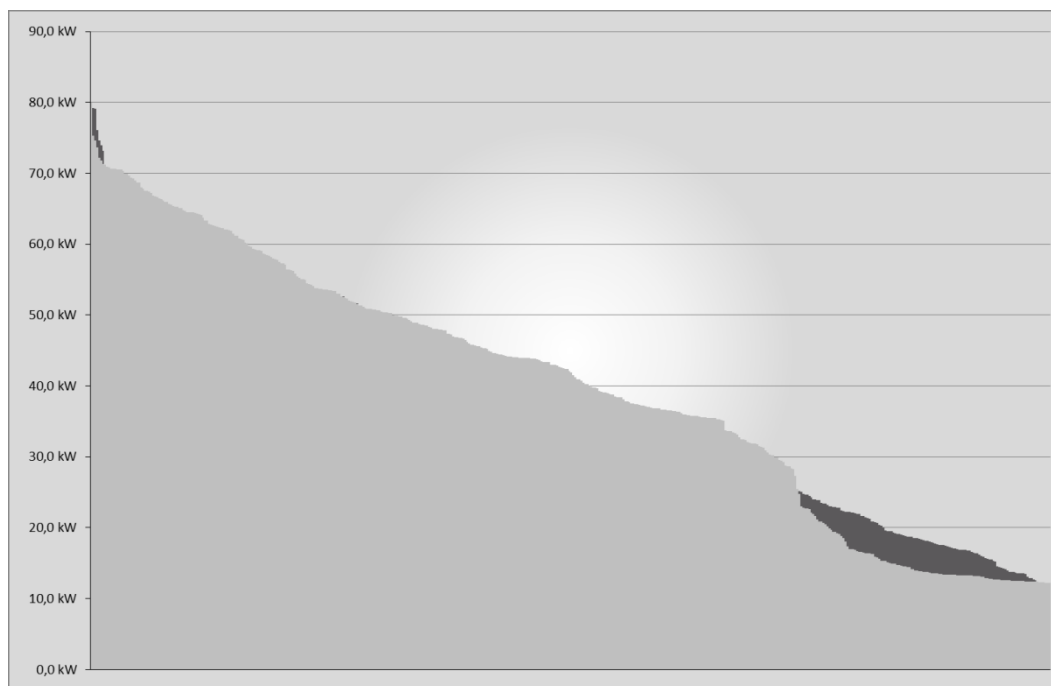


Abbildung 91: geordnete Dauerlinien der Druckluftanlage im Vergleich

Die Einsparungen durch die Eliminierung der Leckagen in den Druckluftleitungen belaufen sich auf 4.550 Euro pro Jahr. Dieser Betrag kann durch die Sensibilisierung der Mitarbeiter weiter erhöht werden, indem die Druckluft nur eingesetzt wird, wenn sie zwingend von Nöten ist.

Die dazugehörige statistische Auswertung der Messwerte für den Energieverbrauch vor und nach der Maßnahme ist, wie in Tabelle 30 dargestellt, nach der Durchführung eines Kolmogorov-Smirnov-Tests<sup>28</sup> nicht normalverteilt. Dies lässt zu, dass der Wilcoxon Test für verbundene Stichproben durchgeführt wird. Daraus ergibt

<sup>28</sup> Die detaillierten Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests sind im Anhang einzusehen

sich eine signifikante Verbesserung des Energiebezugs für die Nachtstunden nach der Maßnahme.

Tabelle 30: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Negative Ränge	111	77,73	8628,50	-6,585	,000
Positive Ränge	34	57,45	1956,50		
Bindungen	0				
Gesamt	145				

#### 4.4.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Minutenreserven sind in diesem Unternehmen durchaus umsetzbar. Die größten Stromverbraucher sind die Laserschneider, die einen hohen Leistungsbezug darstellen. Durch eine weitere Automatisierung während der Abarbeitung eines Auftrages könnten minutenweise Lasten verschoben werden, indem der Vorgang unterbrochen wird. Dies ist nach Absprache mit dem Unternehmer im Zeitraum von bis zu 5 Minuten durchaus denkbar.



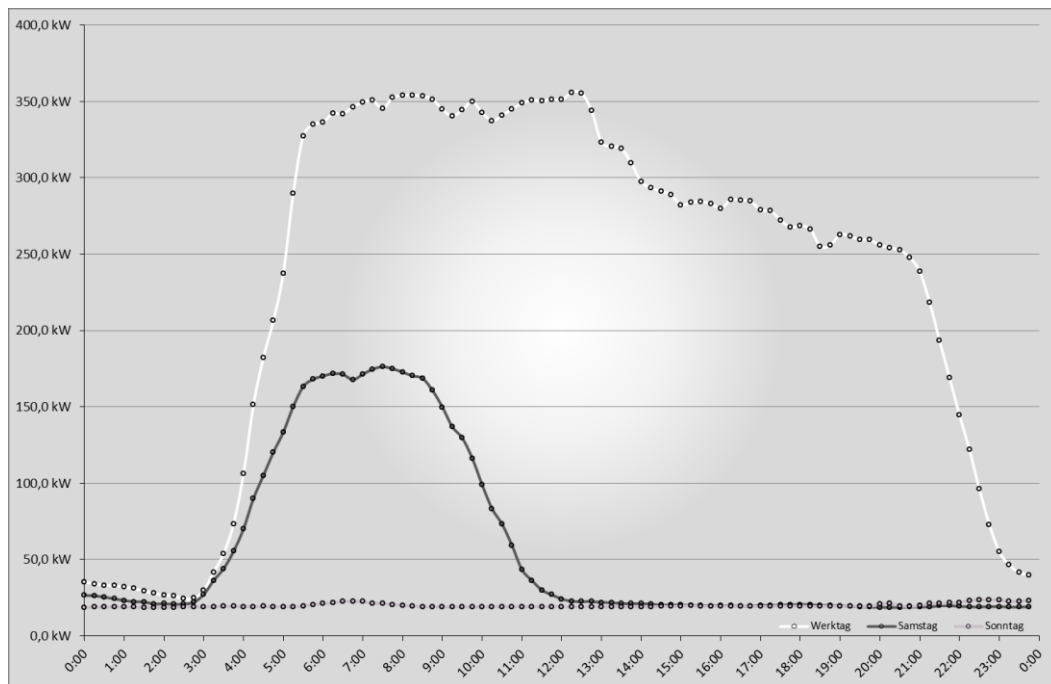


Abbildung 92: Lastgang der Halle 303 mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

Die Laserschneider laufen am Tage ca. 18 Stunden und können wie in der Einzeltagbetrachtung in Abbildung 93 ersichtlich durchaus verschoben werden. Da der Lastgang der Einzeltage eine konstante Abnahme zeigt und somit immer eine Anlage am Netz ist, die Last bereitstellen kann. Zu beachten sind jedoch die Rüstzeiten der Maschine. Diese können je nach Komplexität und Art der Anwendung variieren.

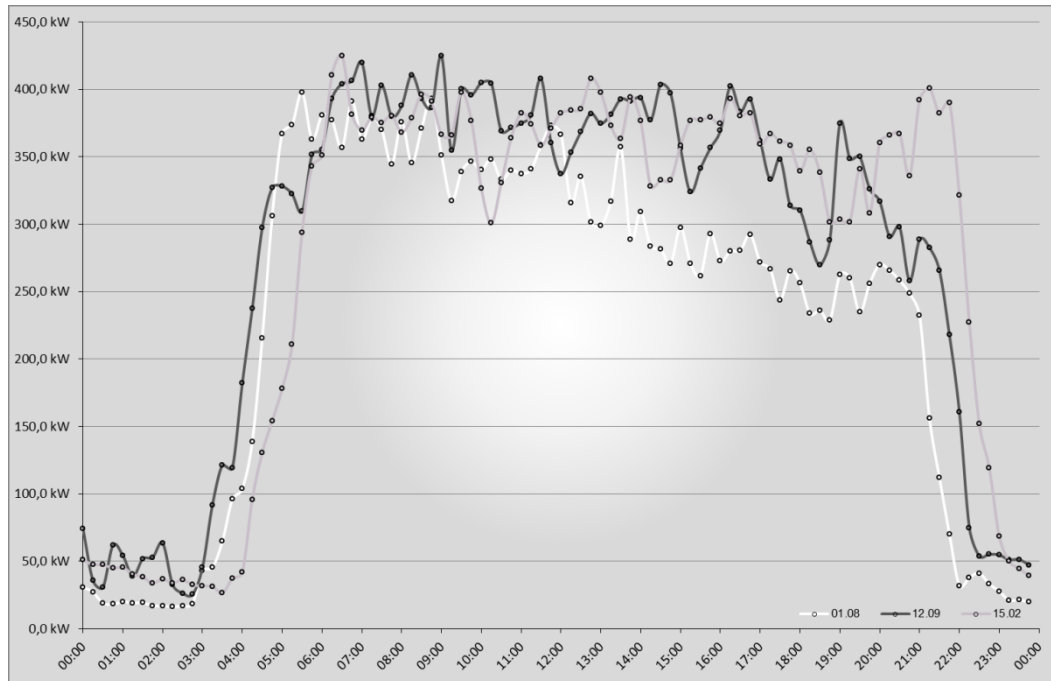


Abbildung 93: Lastgang der Halle 303 mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage

#### 4.4.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens

Das Unternehmen ist gegenüber Neuerungen im Ablauf sehr aufgeschlossen, sieht jedoch die Grenzen in der Belastbarkeit der Mitarbeiter. Diese sind an erster Stelle zur Herstellung optimaler Produkte verpflichtet und können erst an zweiter Stelle die Belange der Energie einhalten. Durch die Bindung an die Vergütung der PV-Anlage in den nächsten 15 Jahren ist das Unternehmen aktuell nicht darauf angewiesen, die Gedanken an weitere Maßnahmen hinsichtlich der Nutzung der Solarenergie im eigenen Unternehmen voranzutreiben. Betrachtet man die Eigennutzung schon heute, wird ersichtlich, dass der erzeugte Strom auch im Unternehmen bleibt und genutzt wird, mit Ausnahme der Sonn- und Feiertage.

## 4.5 Unternehmen 4: Elektronik

Innerhalb dieses Unternehmens gibt es mehrere Möglichkeiten, um das ermittelte Effizienz- und Lastverschiebungspotenzial, wie in der nachfolgenden Tabelle 31 angeben, umzusetzen.

Tabelle 31: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 4

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>29</sup>
Effizienz	Kälte & Klima	Verbesserung Steuerung	12	105000
	Reinwasser/ Druckluft	Absenkung Druck	2	17500
		Optimierung Erzeugungszyklus	5	43800
Lastverschiebung	Reinwasser/ Druckluft		25	
Minutenflexibilisierung	Kälteanlage		25-50	

### 4.5.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

In der Abbildung 94 ist das gemeinsame Potenzial der Kälteanlage und der Reinwasseranlage von 19 kW berücksichtigt. Eine Veränderung der Lastspitzensituation ist nur durch eine intelligente Steuerung der Kälteanlage möglich, wurde aber noch nicht umgesetzt. Die Steuerung der Kälteanlage wiederum ist auch die Voraussetzung für die spontane Lastverschiebung im Minutenbereich, da die Steuerung für die Prozesssicherheit verantwortlich ist.

<sup>29</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr

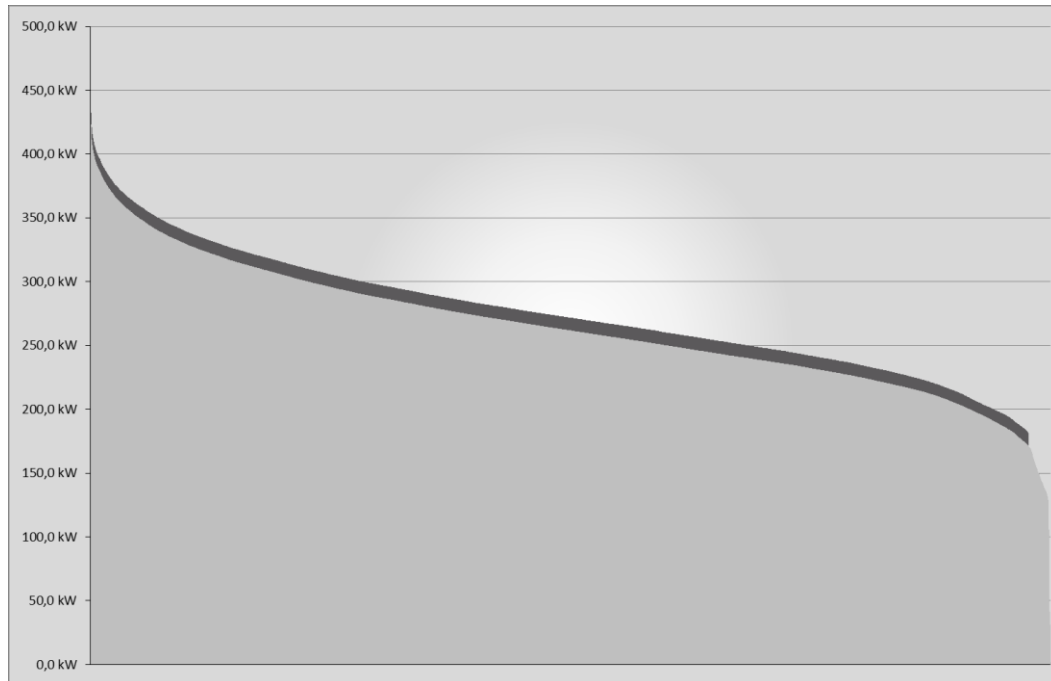


Abbildung 94: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich

Das Potenzial der Lastverschiebung und Energieeffizienz in der Kombination wird durch die Abbildung 95 dargestellt und zeigt die Möglichkeiten im Bereich der optimierten Reinwasseranlage. Es sind maximal zwei Zyklen am Tag zu verlagern und diese sind mit einer Spitze von 25 kW ein möglicher Hebel, um das lokale Netz zu stabilisieren und Energie auf Anfrage aus dem Netz abzunehmen. Der Zyklus sollte aber auch so gesteuert werden, dass er keine neue Stromspitze erzeugt.

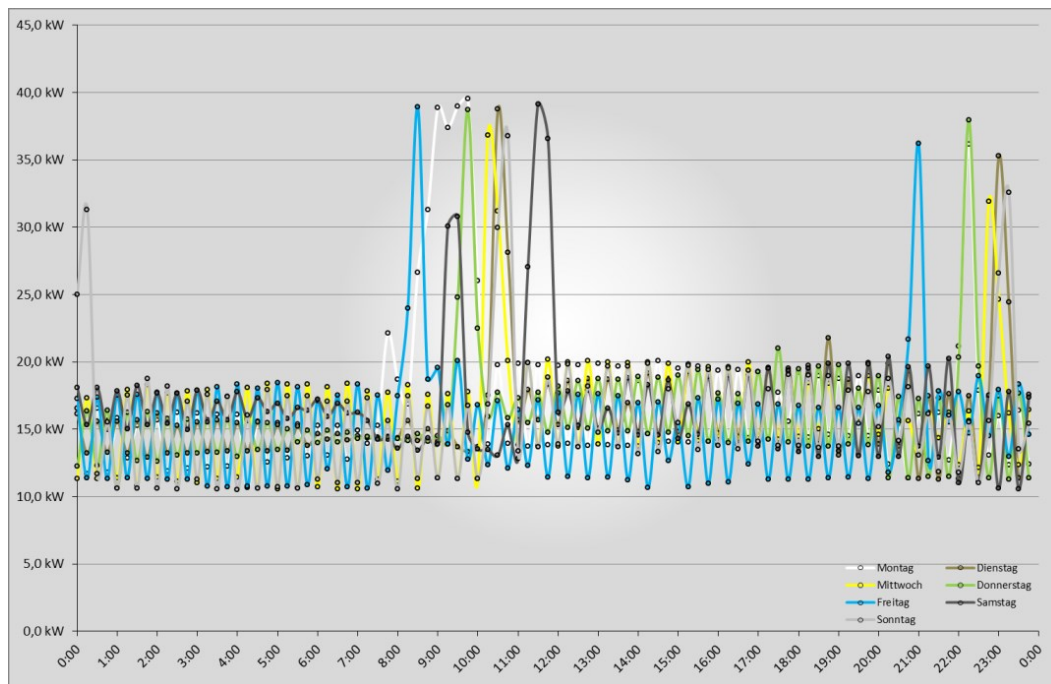


Abbildung 95: Optimierter Lastgang der Reinwasseranlage

Die statistische Auswertung der Daten vor und nach der Optimierung wird durch den Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben durchgeführt, da eine Normalverteilung anhand des Kolmogorov-Smirnov -Test<sup>30</sup> nicht zutrifft.

Tabelle 32: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Negative Ränge</b>	2580	1523,20	3929850,50	-41,577	,000
<b>Positive Ränge</b>	300	729,30	218798,50		
<b>Bindungen</b>	0				
<b>Gesamt</b>	2880				

Die Ergebnisse der Tabelle 32 verdeutlichen eine signifikante Verbesserung des Energiebezuges nach der Maßnahme.

<sup>30</sup> Die detaillierten Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests sind im Anhang einzusehen

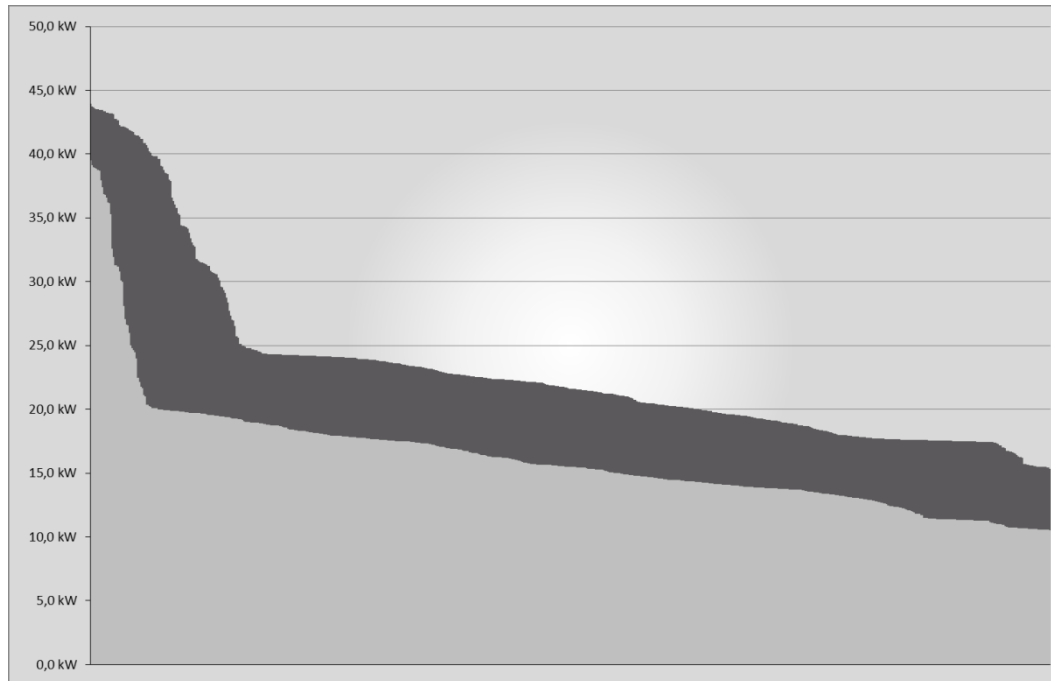


Abbildung 96: geordnete Dauerlinien vor und nach der Optimierung

Die Dauerlinie in Abbildung 96 zeigt sehr gut den Vergleich zweier Referenzwochen vor und nach der Optimierung. Die Einsparung wird durch das schwarze Band von 5 kW deutlich. Die Reduktion der Anzahl von Reinigungszyklen ist auch gut ersichtlich, da die Anzahl der Spitzen zwischen 20 kW und 40 kW weniger sind.

Tabelle 33: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Negative Ränge</b>	591	353,54	208941	-19,044	,000
<b>Positive Ränge</b>	81	212,19	17187		
<b>Bindungen</b>	0				
<b>Gesamt</b>	672				

Auch im Vergleichszeitraum von einer Woche, wie in Tabelle 33 angegeben, zeigt die statistische Auswertung eine signifikante Verbesserung.

#### 4.5.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Die möglichen Verschiebungen im Minutenbereich sind durch die Verbesserung der Kälteanlage realisierbar. Der genaue Wert kann erst durch die Optimierung des Prozesses ermittelt werden. Es ist jedoch mit 25 kW bis 50 kW je nach Jahreszeit zu rechnen, da die Kühlzeiten angepasst werden können und die Kühlung für die Lüftungsanlage durch die verbesserte Steuerung geringer wird. Eventuell wären je nach Ansteuerung der Außenkühlung noch weitere Potenziale zu realisieren, dies ist jedoch nur durch eine detaillierte Fachplanung darstellbar.

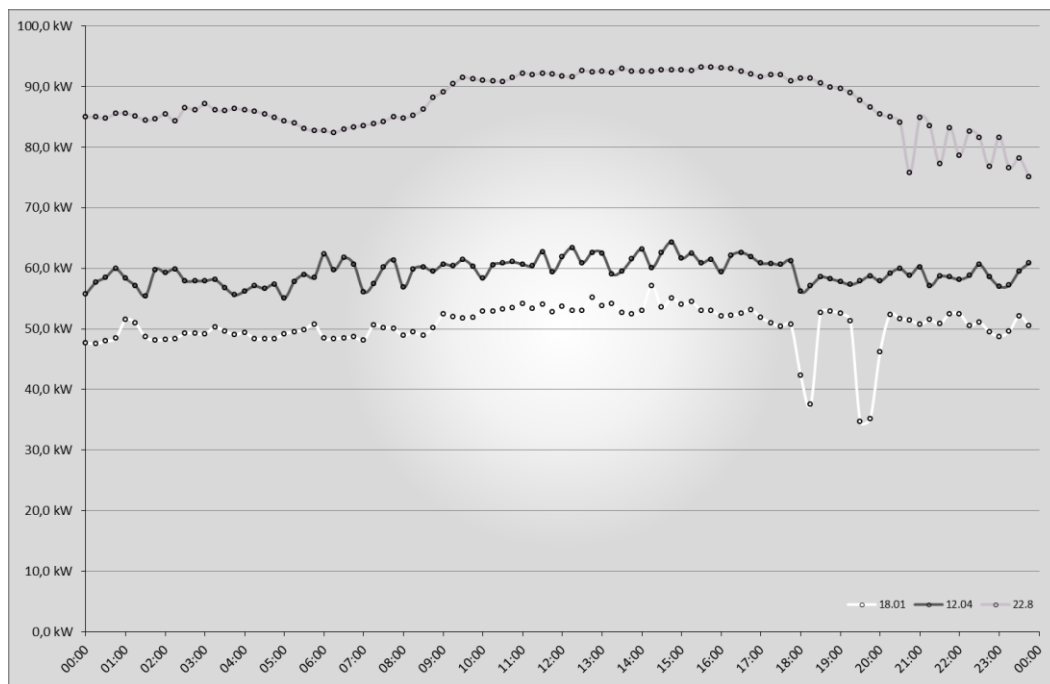


Abbildung 97: Lastgang der Kälteanlage mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage

Weitere Optionen sind auch im Bereich der Testanlagen zu finden, da diese den größten Teil des Stromverbrauchs ausmachen. In welcher Höhe dies möglich ist, konnte nicht ermittelt werden.

### **4.5.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens**

Das Unternehmen sieht kaum Möglichkeiten etwas an der Technik zu verbessern, da Investitionen nur in die Optimierung der Maschinen und Anlagen eingebracht werden können. Größere Investitionen werden nur getätigt falls die vorhandene Technik nicht mehr ausreicht oder defekt ist. Durch die Ausgliederung der Instandhaltung und der Hausmeisterarbeiten an einen Drittanbieter ist der Zugriff auf erweiterte Arbeiten für dieses Personal und die Identifikation mit dem Unternehmen schwierig. Dies fördert im Umkehrschluss auch nicht die Bereitschaft Energie zu sparen oder die vorhandenen Prozesse zu optimieren. Ein weiteres Manko an der Situation im Unternehmen ist der angeordnete Stellenabbau und der daraus resultierende Verlust von Wissen über die eingesetzte Technik. Dies wird anhand der Optimierung der Reinwasseranlage deutlich, die nur durch die Messkampagne in den Fokus geriet und der vorhandene Aufbereitungsprozess und die Art der Nutzung überdacht wurden.



## 4.6 Unternehmen 5: Härterei

Im Unternehmen gibt es nur den Prozess der Salzverdampfung anhand dessen eine Optimierung der Energieeffizienz sowie eine Lastverschiebung dargestellt werden kann. Durch die interne, in den Jahren „mitgewachsene“ Struktur waren weitere Analysen nicht möglich. Jedoch konnte der ausgewählte Prozess, wie in Tabelle 34 aufgelistet, sowohl für die Lasterschiebung als auch für die Energieeffizienz erfolgreich getestet werden.

Tabelle 34: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 5

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>31</sup>
<b>Effizienz</b>	Salzverdampfung	Kühlung	2,5	21900
<b>Lastverschiebung</b>	Salzverdampfung		40	
<b>Minutenflexibilisierung</b>	Härterei		100	

### 4.6.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Aufgrund des allgemein hohen Lastgangs von 300 kW ist die erreichte Einsparung durch die Kombination der Maßnahmen kaum zu erkennen. Dennoch ist durch die Verschiebung der Salzverdampfung eine Reduktion der Lastspitze auf 420 kW möglich. Durch eine geänderte Anlagenaufheizung nach Stromausfall konnten zusätzlich die Lastspitzen von über 500 kW eliminiert werden. Die weitere Nachverfolgung und stetige Optimierung ist noch in der Überprüfung durch den Anlagenbauer

<sup>31</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr

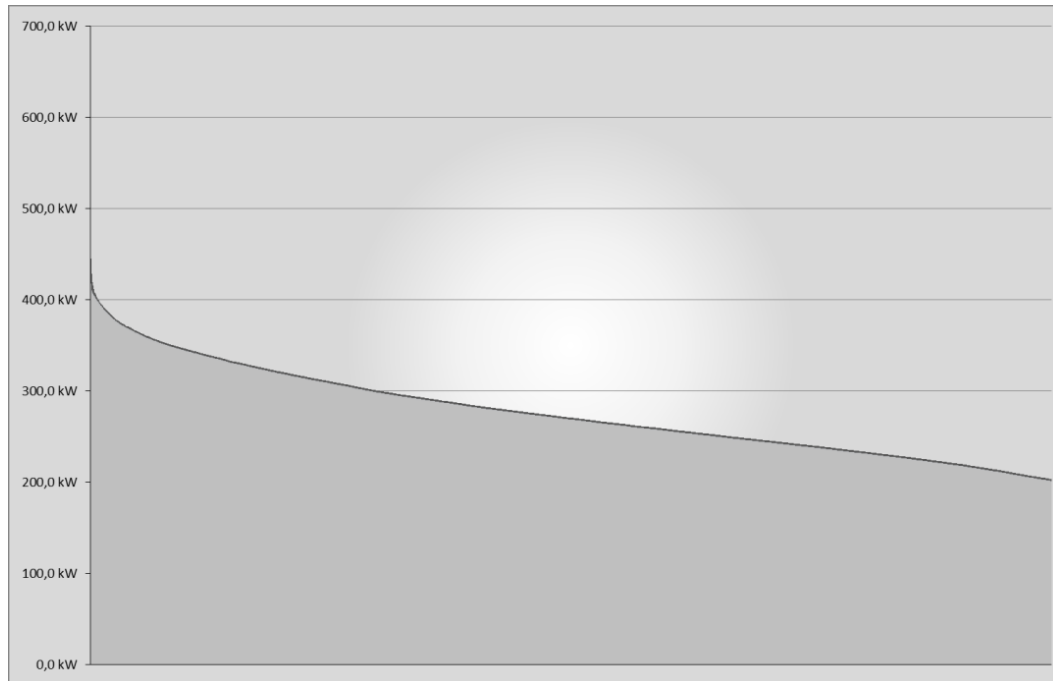


Abbildung 98: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich

Im Nachfolgenden sind zwei unterschiedliche Auswertungen der Statistik gemacht worden, um zu einen den Vorher-Nachher-Effekt der Maßnahme im Ganzen zu betrachten. Die zweite Auswertung soll in einem kleineren Zeitraum, beispielsweise einer Woche, zeigen, dass die Optimierung erfolgreich war. Dadurch wird sowohl die Einzelbetrachtung als auch der Gesamtblick gewährleistet und eventuelle Unstimmigkeiten sichtbar gemacht.

Tabelle 35: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Negative Ränge</b>	1508	1699,97	2563557,50	-14,740	,000
<b>Positive Ränge</b>	1276	1029,12	1313162,50		
<b>Bindungen</b>	0				
<b>Gesamt</b>	2784				

Die statistische Analyse der Optimierung im Vorher-Nachher-Vergleich der Tabelle 35 zeigt eine signifikante Verbesserung sowohl im Jahresüberblick als auch im Vergleichszeitraum, wie in Tabelle 36 gezeigt. In dieser Analyse wurde wiederum ein

Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben durchgeführt, da eine Normalverteilung durch die Kolmogorov-Smirnov-Tests<sup>32</sup> ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 36: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für ein Woche

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Negative Ränge</b>	349	420,88	146888,00	-6,719	,000
<b>Positive Ränge</b>	323	245,33	79240,00		
<b>Bindungen</b>	0				
<b>Gesamt</b>	672				

#### 4.6.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Die Lastflexibilisierung im Minutenbereich ist durch die Steuerung der Härteanlagen realisierbar. Diese müssen durch ein definiertes Signal, beispielsweise vom Netzbetreiber, angesprochen werden und könnten bis zu 100 kW über 2 Minuten bis 5 Minuten bereitstellen oder eventuell aufnehmen.

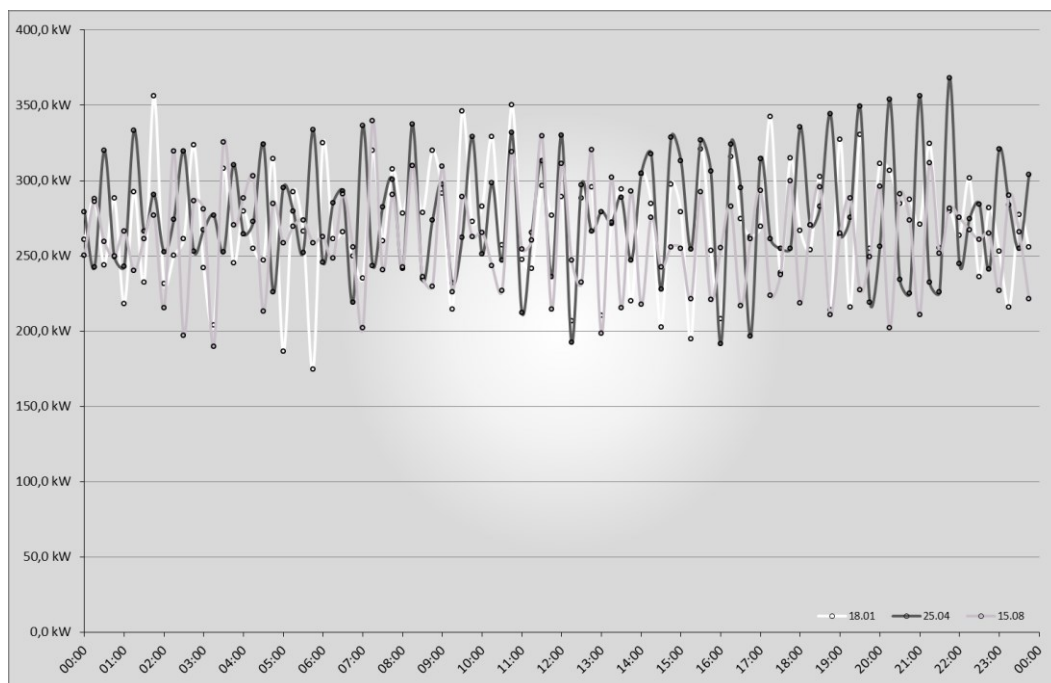


Abbildung 99: Lastgang der Härteanlagen mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage

<sup>32</sup> Die detaillierten Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests sind im Anhang einzusehen

Diese Last ist durch den stetigen Prozess über das ganze Jahr verfügbar und wäre im besten Falle auch an den Sonntagen zur Energieaufnahme nutzbar, da der Aufheizvorgang am späten Sonntagabend auch schon früher beginnen kann.

#### **4.6.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Unternehmens**

Durch die Beratung über ein Jahr und die regelmäßigen Besprechungen zur Erläuterung der gemessenen Werte wurde die Geschäftsführung überzeugt auch selbst weitere Prozesse zu untersuchen und Optimierungen zu realisieren. Durch die Unterstützung der Belegschaft wurde ein Lastmanagement aufgebaut, das durch die neu eingesetzten Steuerungen durch den Automatisierer umgesetzt wurde. Leider konnte im Rahmen der Messung der Erfolg nicht mehr nachgewiesen werden. Durch die letzten Gespräche wurde jedoch anhand der Rechnung des Energieversorgers gezeigt, dass die Lastspitzen den Maximalwert von 420 kW nicht überschritten haben. Das erklärte Ziel des Unternehmens ist es, die Lastspitze im nächsten Jahr auf 380 kW zu reduzieren.

## 4.7 Unternehmen 6 : Lebensmittel

Die Lagerung, Kühlung und Logistik ist die primäre Aufgabe des Unternehmens. Daher gibt es kaum andere Prozesse, die zur Energieeffizienzoptimierung oder Lastverlagerung, herangezogen werden könnten.

Tabelle 37: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 6

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>33</sup>
<b>Effizienz</b>	Kälteanlage	Optimierung Steuerung	5	43800
<b>Lastverschiebung</b>	Kälteanlage		50	
	Kühlung LKWs		40	
<b>Minutenreserve</b>	Kälteanlage		50	
	Kühlung LKW		40	

### 4.7.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Die Kombination der Maßnahmen ist anhand der Jahresdauerlinien in den nächsten zwei Darstellungen wiedergegeben.

In der Abbildung 100 ist die Dauerlinie der Kälteanlage vor und nach der Optimierung dargestellt. Der schwarze Bereich zeigt deutlich die Energieeinsparungen, wobei die absolute Spitze durch die neue Steuerung höher ist als mit der alten Version der Steuerung. Zusätzlich könnte eine Anpassung der Temperatur weitere Einsparungen ermöglichen. Der Grenzwert von  $-19^{\circ}\text{C}$  darf bei der Tiefkühlung nicht unterschritten werden, weshalb zurzeit auf  $-23^{\circ}\text{C}$  abgekühlt wird, um im Notfall eine längere Ausfallzeit zu überstehen. Diese  $4^{\circ}\text{C}$  Puffer könnten theoretisch zur weiteren Optimierung noch genutzt und damit der Energieverbrauch gesenkt werden.

<sup>33</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr

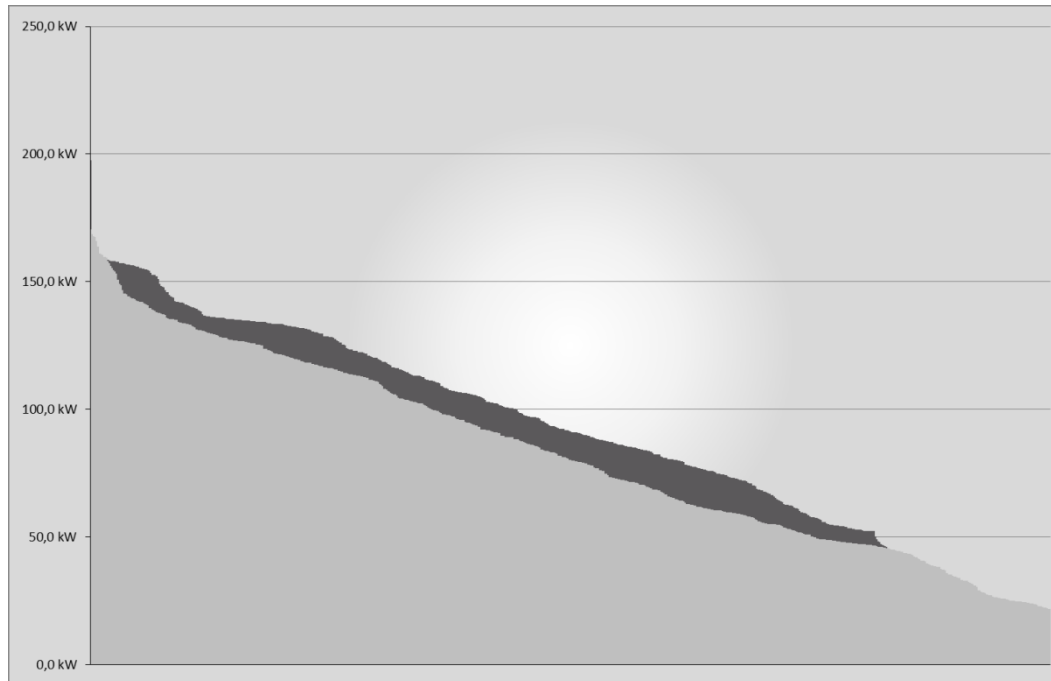


Abbildung 100: geordnete Dauerlinien der Kälteanlage im Vergleich

In den Dauerlinien wird die Begrenzung der Spitzenlast der neuen Steuerung deutlich. Der Wert des Gesamtlastganges darf 180 kW nicht überschreiten, was seit der Inbetriebnahme der neuen Regelung auch nicht eingetreten ist. Das bedeutet, dass die Erhöhung der Lastspitze der Kälteanlage keine Auswirkungen auf den Gesamtlastgang hat.

Eine Analyse der Unterschiede vor und nach der Optimierung der Kälteanlage wurde mittels eines Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben durchgeführt, da eine Analyse der vorliegenden Daten mittels eines Kolmogorov-Smirnov-Tests<sup>34</sup> darauf hindeutete, dass beide Stichproben keine Normalverteilung aufweisen. Die Ergebnisse aus Tabelle 38 verdeutlichen, dass sich durch besagte Maßnahmen eine signifikante Verbesserung des Energiebezuges realisieren ließ

<sup>34</sup> Die detaillierten Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests sind im Anhang einzusehen

Tabelle 38: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Negative Ränge</b>	4918	3958,78	19469270	-17,508	,000
<b>Positive Ränge</b>	3050	4025,98	12279226		
<b>Bindungen</b>	0				
<b>Gesamt</b>	7968				

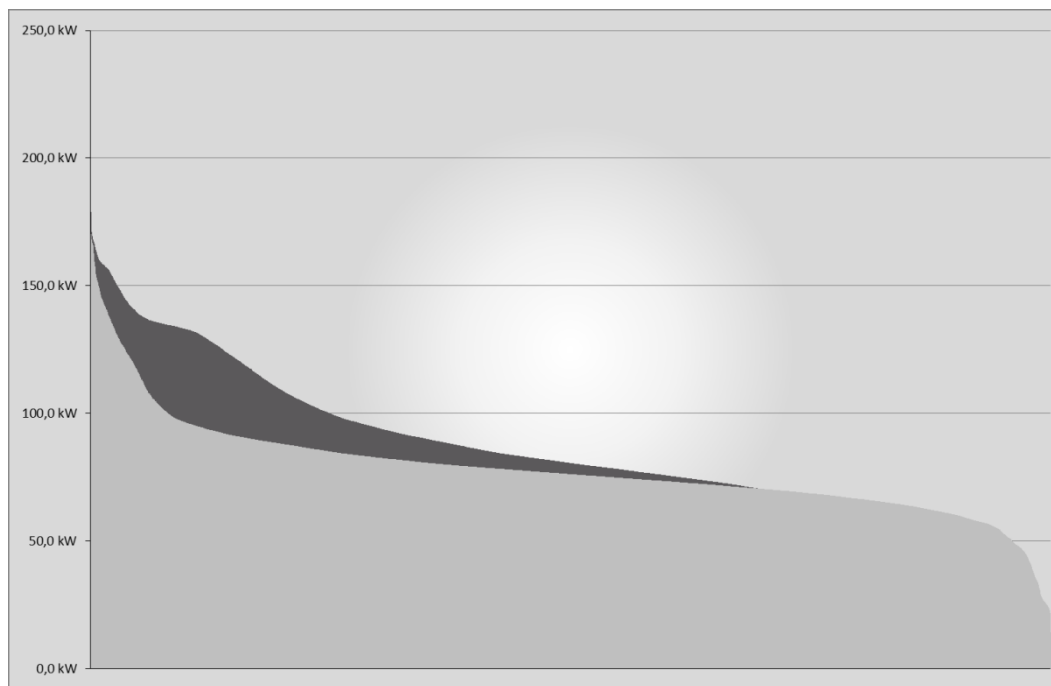


Abbildung 101. geordnete Dauerlinien des Gesamtlastganges im Vergleichszeitraum

Auch in der Dauerlinie wird die Einsparung durch die Optimierung der Kälteanlage deutlich. Zudem weist die Dauerlinie nach der Optimierung einen konstanteren Verlauf auf.

Tabelle 39: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Negative Ränge</b>	332	368,00	122176	-1,810	,070
<b>Positive Ränge</b>	340	305,74	103952		
<b>Bindungen</b>	0				
<b>Gesamt</b>	672				

Die statistische Auswertung für den Referenzzeitraum, analog zu Kapitel 4.6.1, ist identisch durchgeführt worden, jedoch stellt sich wie aus Tabelle 39 ersichtlich nur eine tendenziell signifikante Verbesserung dar, da das Ergebnis der asymptotischen Signifikanz mit  $0,05 < \alpha < 0,1$  nur im 90 Prozent Quantil liegt. Diese geringe Abweichung ist aber durch das Ergebnis des Gesamtzeitraumes vernachlässigbar, da die Kälteanlage sehr stark außentemperaturabhängig ist und dadurch über einen längeren Zeitraum betrachtet werden muss.

#### 4.7.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Wie schon im vorangegangenen Abschnitt, kann das Unternehmen nur im Bereich der Kälteanlage und den Kühlfahrzeugen Energie bereitstellen. Diese zwei Prozesse sind durch die Steuerungsmöglichkeit gut geeignet und können zusätzlich zur Lastverschiebung auch spontan minutenweise Last bereitstellen. Im Vergleich zu einer geplanten längeren Lastverschiebung fällt dies jedoch geringer aus, da die Laufzeiten der Verdichter zum Schutz der Anlage eingehalten werden müssen<sup>35</sup>.

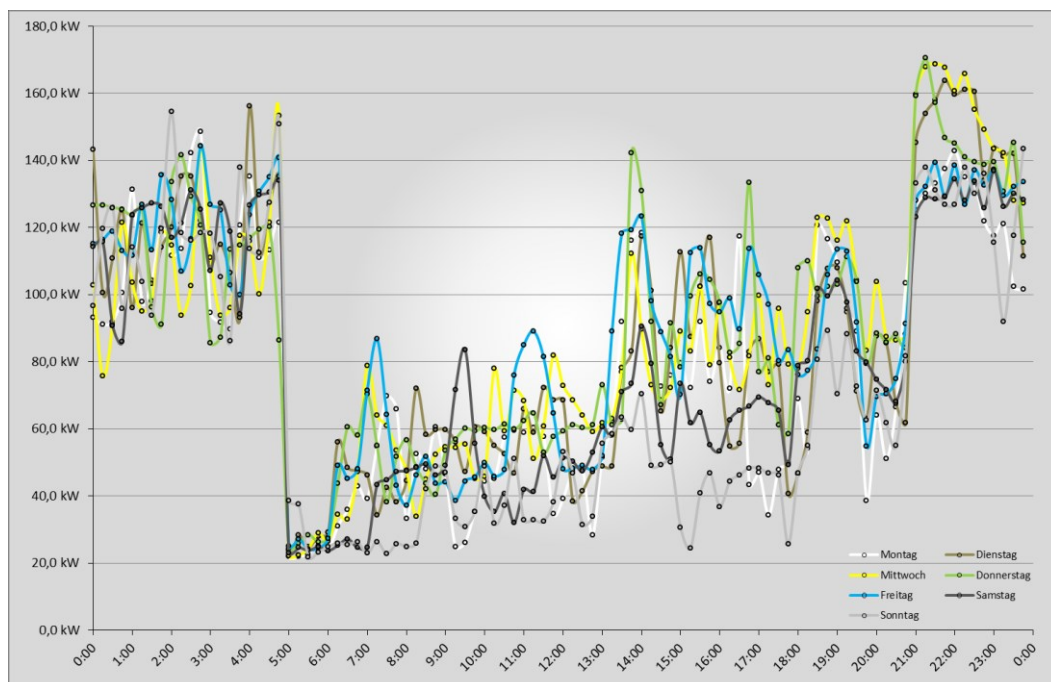


Abbildung 102: Optimierter Lastgang der Kälteanlage über eine Woche

<sup>35</sup> Verdichter sollten zum Schutz von Kurzstarts über einige Minuten betrieben werden.



Vor allem in den Nachtstunden ist die Anlage sehr flexibel einsetzbar, da die Anforderungen an Kühlung zurückgehen und Pausen der einzelnen Verdichter möglich sind. Sinnvoll wären 15 Minuten als maximale Abschaltung oder Lastaufnahme, da im Bereich bis zu einer halben Stunde dies wiederum in die langfristige Planung eingebunden werden kann.

### **4.7.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht der Unternehmen**

Der Geschäftsführer war den Forschungen im Projekt MeRegio gegenüber sehr aufgeschlossen und konnte durch die Darstellung der Messergebnisse überzeugt werden die Anlage steuerungstechnisch zu verbessern. Die Kälteanlage wurde bis zur Optimierung des Netzes eingesetzt und konnte mit dem MeRegio-Smart Grid kommunizieren. Weitere Maßnahmen und die ständige Optimierung der Anlage werden in weiteren Zyklen erarbeitet.

## 4.8 Unternehmen 7 : Härterei

Diese Härterei hat im Gegensatz zum Unternehmen 5 eine Ausrichtung hin zu größeren Härteteilen. Dies spiegelt sich auch in den Möglichkeiten der Lastverschiebung wider, die durch die unterschiedlichen Härteverfahren deutlich zueinander abweichen. Effizienzpotenziale sind innerhalb des Druckluftsystems vorhanden. Wohin gehend die Lastverschiebungspotenziale in den Härteöfen zu suchen sind.

Tabelle 40: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 7

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>36</sup>
Effizienz	Druckluft	Neuer Kompressor	0,5	4300
		Absenkung Erzeugungsdruck	4,2	36700
Lastverschiebung	Vakuum-Anlage		40	
	Duoanlage		120	
Minutenreserve	Waschanlage		86	

### 4.8.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Die Grundlast ist im Vergleich zur Lastverschiebung und der Energieeffizienz zu hoch, um dies in einem Diagramm darzustellen. In Bezug auf die Energieeffizienz kann das Ergebnis in einer geordneten Dauerlinie, siehe Abbildung 103, dargestellt werden. Es ist zu erkennen, dass im Vergleichszeitraum die Effizienz deutlich gesteigert wurde. Im Spitzenlastbereich wurden ca. 8 kW eingespart. Die Einsparung der Druckluftanlage beläuft sich somit auf ca. 6.100 Euro Stromkosten im Jahr.

<sup>36</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr

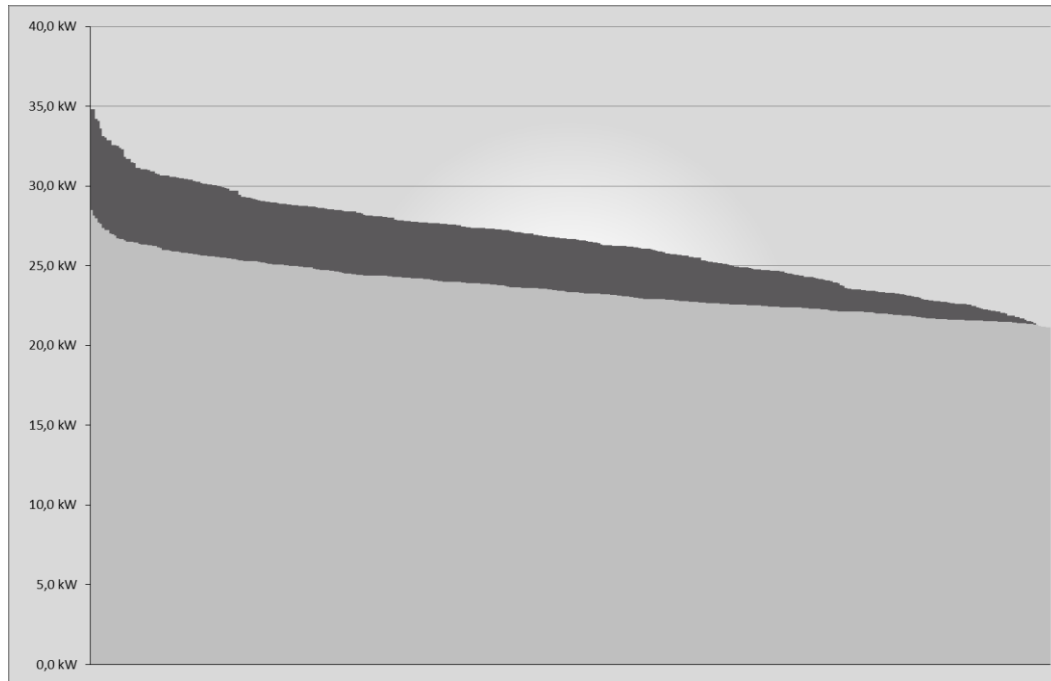


Abbildung 103: geordnete Dauerlinien der Druckluftanlage im Vergleichszeitraum

Die Lastverlagerungspotenziale sind im Gesamtlastgang nicht darstellbar, könnten aber durchaus auch zur internen Optimierung eingesetzt werden, um die Lastspitzen zu reduzieren. Durch den Einsatz der lokalen Lastbegrenzung könnten die 50 größten Spitzen zwischen 748 kW und 668 kW verhindert werden. Diese Einsparung von 80 kW würde einen Betrag von 4.580 Euro pro Jahr bedeuten.

Auch diese Optimierung wurde statistisch untersucht und mittels eines Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben analysiert, da eine Normalverteilung<sup>37</sup> ausgeschlossen werden kann. Die Ergebnisse sind, wie aus der Tabelle 41 ersichtlich, signifikant.

Tabelle 41: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Negative Ränge</b>	361	215,71	77870,50	-16,177	,000
<b>Positive Ränge</b>	40	68,26	2730,50		
<b>Bindungen</b>	0				
<b>Gesamt</b>	401				

<sup>37</sup> Die detaillierten Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests sind im Anhang einzusehen

## 4.8.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Die Waschanlage der Härtestücke ist eine Option Reserven im Minutenbereich bereit zustellen. Durch die kontinuierliche Laufzeit der Anlage über den Tag ist es durchaus möglich den Prozess auch verfahrenstechnisch kurz anzuhalten, ohne ein Qualitätsproblem zu erzeugen.

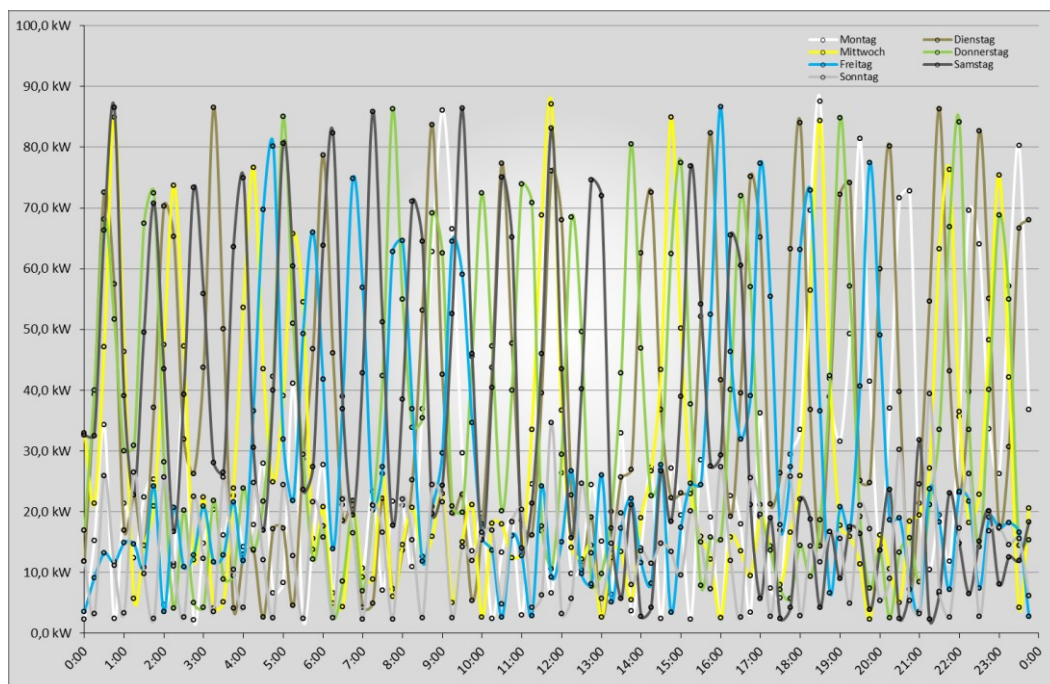


Abbildung 104: Lastgang der Waschanlage über eine Woche

Die Abbildung 104 zeigt die Möglichkeit einer Bereitstellung von bis zu 86 kW bei den Mittelwerten. Diese Wochendarstellung der Waschanlage zeigt die kontinuierliche Abnahme und auch die Möglichkeit diesen Prozess über 24 Stunden flexibel zur Minutenreserve von 2 Minuten bis 10 Minuten einzusetzen.

### **4.8.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht der Unternehmen**

Der Unternehmer hat während des Projektes einen neuen Mitarbeiter angestellt, der sich nur um den Bereich Energie und Umwelt kümmert. Dies hatte zur Folge, dass die Zertifizierung zur DIN EN ISO 50001 und der Aufbau eines Energiemonitoringsystems während des Projektes durchgeführt wurde. Die Erkenntnisse aus dem Projekt wurden in das Managementsystem integriert. Neben dem Aufbau des Energiemonitoring wurde auch die interne Optimierung zur Vermeidung von Lastspitzen angestoßen. Die Ergebnisse werden erst Anfang 2014 vorliegen, da die Einbindung der Steuerungen zum eine deutlich komplexer war als dies durch die vom Unternehmer beauftragen Firmen einschätzten. Und zum anderen sind die Testphasen des Systems und die Anpassungszeit, die durchlaufen werden muss, um dies stabil zu halten, verschoben worden.

## 4.9 Öffentliche Einrichtung 1: Hallenbad

Das untersuchte Hallenbad stellt durch die vorhandene Technik optimale Bedingungen zur Optimierung da. Durch die vielen Pumpprozesse und die Be- und Entlüftung der Räume wird die Energieeffizienz wie in Kapitel 3.8.2 dargestellt realisierbar.

Tabelle 42: Auflistung der Potenziale für das öffentliche Einrichtung 1

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>38</sup>
<b>Effizienz</b>	Umwälzpumpen	Frequenzregelung Motoren	3	26200
	Lüftungsanlage	Manuelle Regelung (Randzeiten)	10	32200
<b>Lastverschiebung</b>	BHKW		50	
	Umwälzpumpen		10	
<b>Minutenreserve</b>	Lüftungsanlage		20	

### 4.9.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Durch die Kombination der Energieeffizienz und der Lastverschiebung ist es möglich den Lastgang auf maximal 200 kW zu reduzieren. Es ist zu berücksichtigen, dass die Werte über 150 kW durch das BHKW entstanden sind, da dieses einige Ausfall- und Wartungszeiten hatte.

<sup>38</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr für die Umwälzpumpen. Die manuelle Regelung der Lüftungsanlage wird mit 3220 Betriebsstunden angenommen, da dies die Nichtbetriebszeiten des Bades sind.

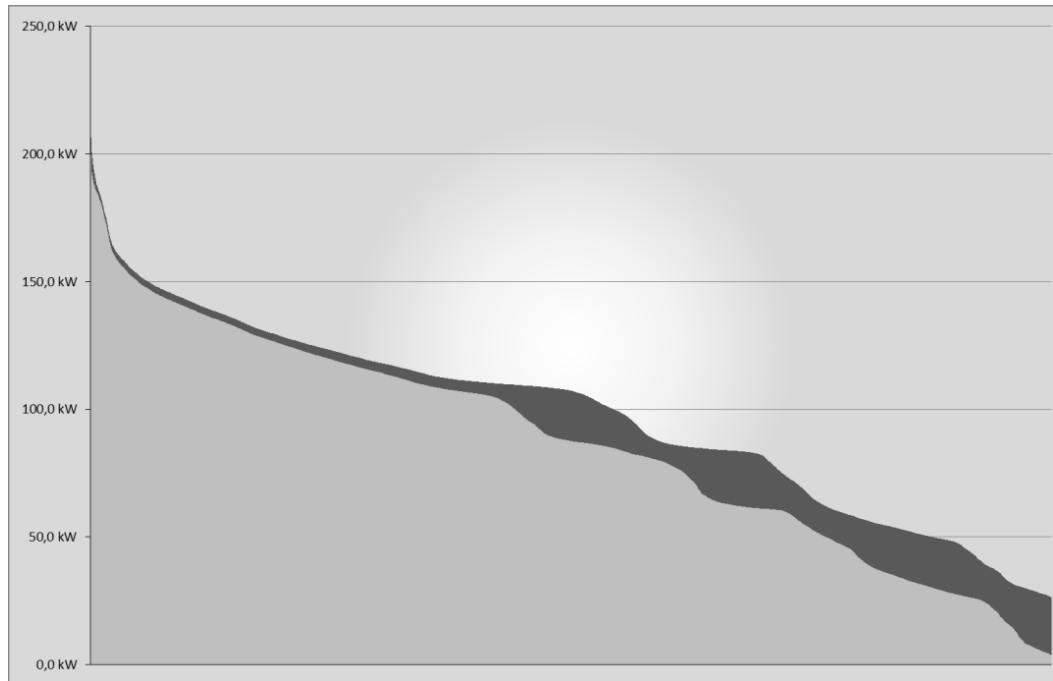


Abbildung 105: geordnete Dauerlinien im Vergleich

In der Abbildung 105 wird die Verringerung des Verbrauchs durch die möglichen Effizienzmaßnahmen dargestellt. Die Optimierungen führen vor allem in den Nebenzeiten zu einer Reduktion des Gesamtlastganges. Die Einsparungen durch die Maßnahmen würden sich auf 8.600 Euro pro Jahr belaufen. Die Einsparungen durch die Reduktion der Lastspitzen wirken sich beim aktuellen Vertrag nicht aus, da ein Last unabhängiger Strompreis gültig ist.

#### 4.9.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Die Lüftung ist einer der unkritischeren Prozess in einem Hallenbad. Die Lüftung kann im Minutenbereich durchaus abgeschaltet oder reduziert werden. Eine Abschaltung oder Reduktion für einen Zeitraum zwischen 2 und 5 Minuten würde eine Last von 10 kW bzw. 20 kW ermöglichen.

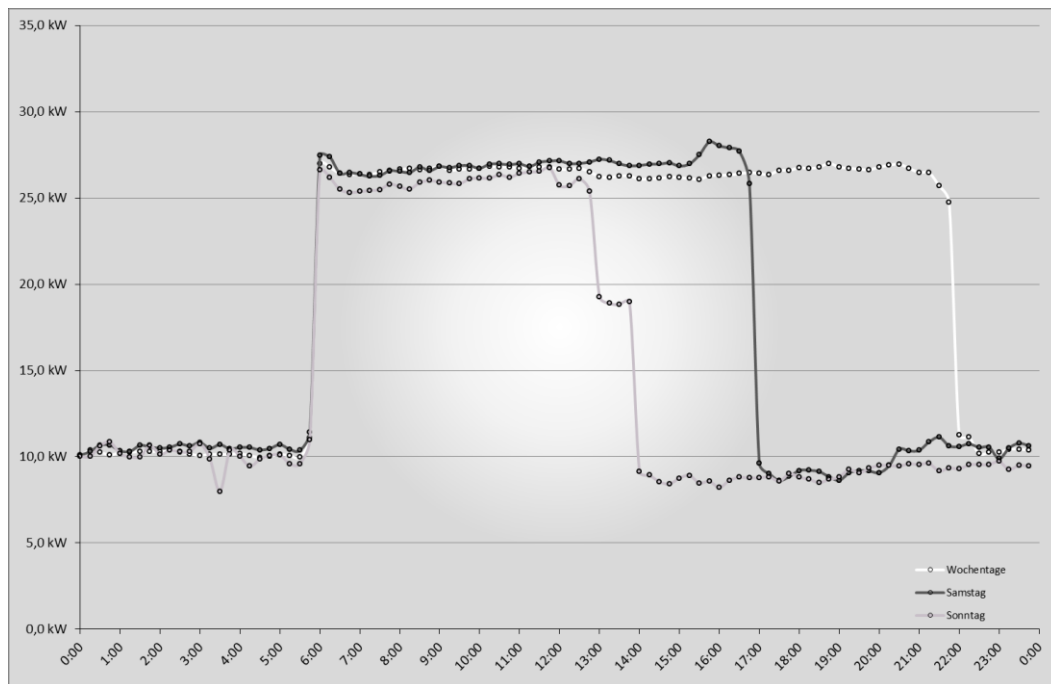


Abbildung 106: Optimierte Lüftungsanlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag

Durch den optimierten Lastgang in den Randzeiten, ist die Flexibilisierung der Lüftungsanlage über 24 Stunden nur mit 10 kW möglich. In den Betriebszeiten ist es abhängig vom Zustand der Luftqualität in den Räumlichkeiten ob und wie lange abgeschaltet werden kann. Die Steuerung der Anlage müsste natürlich auch neu automatisiert werden, um den Anforderungen der Luftqualität gerecht zu werden.

### 4.9.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht des Betreibers

Der Betreiber der Einrichtung kann sich gut vorstellen in diesem Bereich tätig zu werden, da durch die Renovation der Anlage in den nächsten Jahren und der Einbeziehung der umliegenden Gebäuden in die Energiezentrale eine deutlich bessere und effizientere Nutzung der Technik möglich ist. Alle vorgeschlagenen Maßnahmen umzusetzen wird aufgrund der Investitionen kaum möglich sein, da die Gelder aus der Stadtkasse kommen und die Investitionsentscheidung bei den Stadträten liegt und durch die weiteren Projekte einer Stadt priorisiert werden muss.



## 4.10 Öffentliche Einrichtung 2: Kläranlage

Die Kläranlage als städtische Einrichtung ist durch die Kontinuität des Prozesses sehr gut zur Lastverlagerung geeignet. Probleme entstehen durch die Einhaltung der Wassergrenzwerte bei Austritt aus der Kläranlage. Trotzdem können Prozesse effizienter gestaltet und auch die Randprozesse durch Automatisierungsanpassungen verschoben werden.

Tabelle 43: Auflistung der Potenziale für die öffentliche Einrichtung 2

	Prozess	Aktion	kW	kWh/a <sup>39</sup>
<b>Effizienz</b>	Blasluft	Steuerungsoptimierung Verrohrungsänderung	21	183400
<b>Lastverschiebung</b>	Blasluft		(40)	
	Schlammausflockung		35	
<b>Minutenreserve</b>	Blasluft		70	

### 4.10.1 Kombination von Energieeffizienz und Lastverschiebung

Die Darstellung der Energieeffizienz in der Vorher-Nachher-Betrachtung zeigt deutlich die gehobenen Potentiale durch die Optimierung und Neugestaltung der Steuerung und der Schaltschranktechnik. Eine weitere Verbesserung könnte über die Kontrolle des Drucks und des Volumenstroms der Gebläse, sowie einer angepassten Belüftung im Belebungsbecken erfolgen. Durch die Vorgaben der DWA zur Energieeffizienz von Kläranlagen kann sich in diesem Bereich viel verändern.

<sup>39</sup> Berechnet anhand von 8760 Betriebsstunden im Jahr

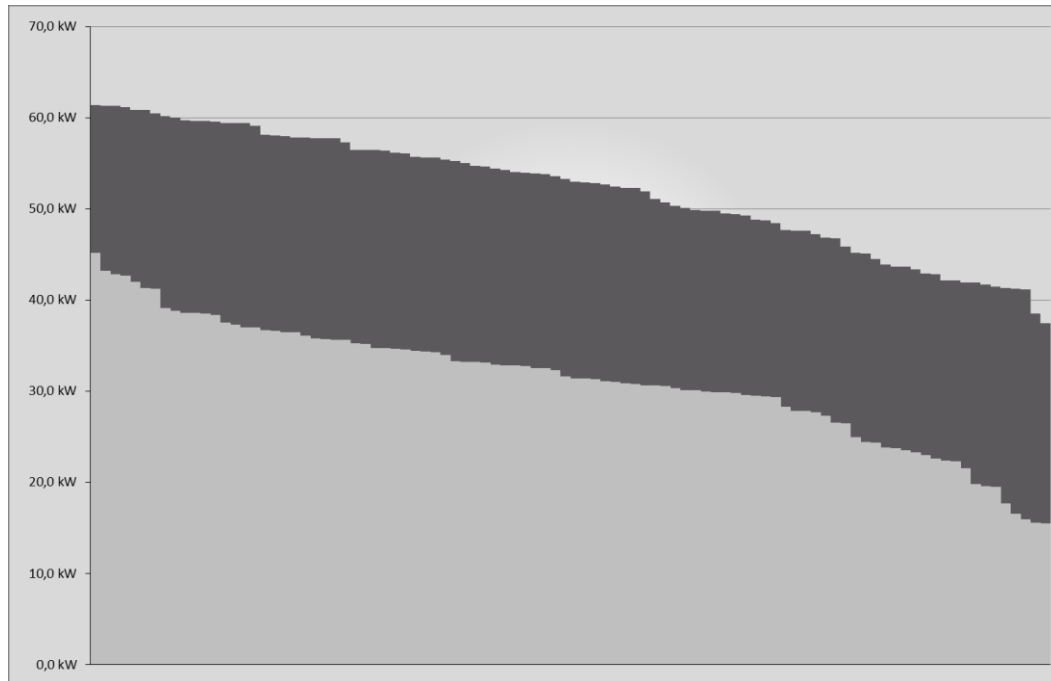


Abbildung 107: geordnete Dauerlinien der Vergleichszeiträume

Die Lastverschiebungspotenziale sind in diesem Zusammenhang leider nicht darstellbar, da zur Optimierung nach dem Steuerungsumbau Daten über weitere Monate benötigt werden, um Aussagen über eine mögliche weitere Verbesserung treffen zu können. Die Darstellung der Potenziale der Lastverschiebung nach außen ist durch die Schlammbehandlung klar definiert und muss nur durch die entsprechende Technik ergänzt werden.

Durch die durchgeführten Umbaumaßnahmen werden über das Jahr gesehen 27.000 Euro eingespart. Dies kann natürlich durch die Änderungen im Zulauf auch variieren.

Im Vergleichszeitraum ergibt die statistische Analyse mittels des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben eine signifikante Verbesserung des Energiebezugs wie in Tabelle 44 gezeigt. Der Test konnte durchgeführt werden, da die Normalverteilung wie, durch den Kolmogorov-Smirnov-Test<sup>40</sup> ermittelt, nicht zutrifft.

<sup>40</sup> Die detaillierten Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests sind im Anhang einzusehen.

Tabelle 44: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Negative Ränge	868	889,93	772460,50	-2,655	0,008
Positive Ränge	956	932,99	891939,50		
Bindungen	0				
Gesamt	1824				

Auch die Betrachtung des Gesamtzeitraumes, wie in Tabelle 45 abgebildet, ergibt, dass es eine signifikante Verbesserung des Energiebezuges nach der Optimierung und dem Umbau der Steuerung gibt.

Tabelle 45: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung

	N	Mittlerer Rang	Rangsumme	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Negative Ränge	4584	5032,56	23069242	-22136	,000
Positive Ränge	6458	5868,56	37899161		
Bindungen	0				
Gesamt	11042				

#### 4.10.2 Potenziale zur spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich

Die Reserven im Minutenbereich sind wie schon zu erwarten war, auch im Bereich der Blasluftanwendung zu suchen. In der unten stehenden Abbildung 108 wird deutlich das bis zu 69kW bereitgestellt werden können. Dies ist durchaus über 3 Minuten bis 5 Minuten möglich, je nach Prozessabschnitt und Sauerstoffgehalt im Becken. Das Verfahren muss messtechnisch überwacht werden, wobei die Phasen der Belüftung und Nicht-Belüftung über einen definierten Zeitraum eingehalten werden müssen. Hierbei sind jedoch Pausen / Änderungen innerhalb des Verfahrens möglich.

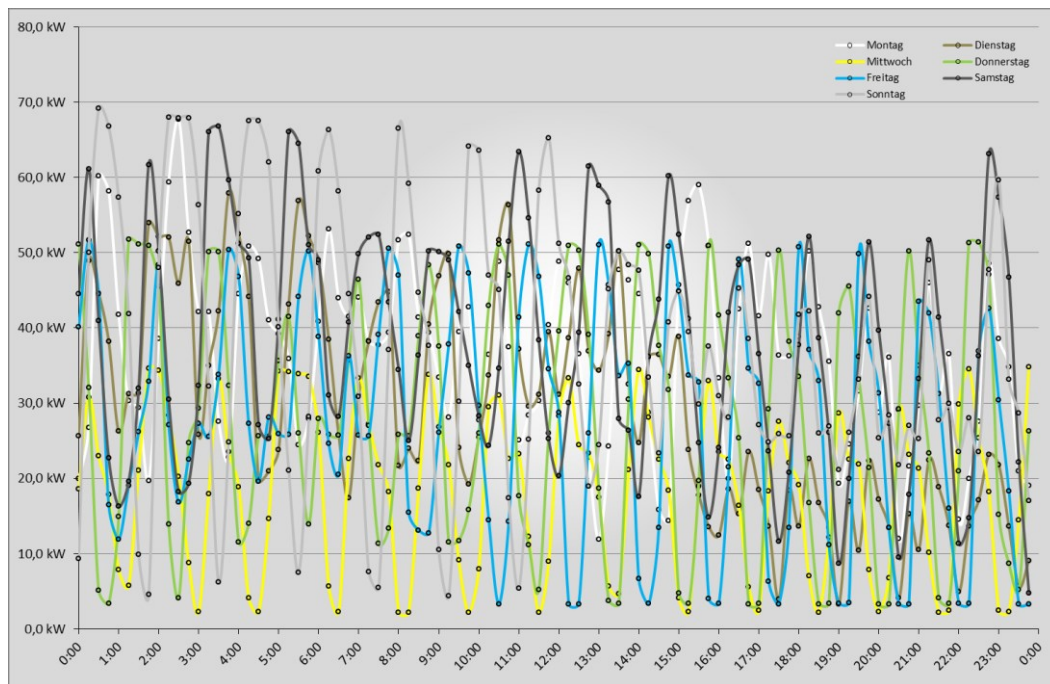


Abbildung 108: Optimierter Lastgang der Beckenbelüftung mit 15 min-Werten über 24h für eine ausgewählte Woche

Das Verfahren ist allerdings mit der zuständigen Behörde abzustimmen, da durch die Einflussnahme auf den Prozess eine Genehmigung nötig ist, um Überschreitungen der Belastungen im Kläranlagenausstritt zu vermeiden.

### 4.10.3 Umsetzungsmöglichkeit aus Sicht der Betreiber

Die Verwaltung der Stadt ist sehr aufgeschlossen gegenüber Veränderungen in der Kläranlage, da die Einrichtung kostenintensiv ist. Die Veränderungen in der Kläranlage werden angegangen, da die aktuelle Situation gerade in der Schlammbehandlung nicht weiter zumutbar ist und wie schon erwähnt der Prozess nur unter Aufsicht und Kontrolle betrieben werden kann. Die weiteren Änderungen wiederum bedürfen der Zustimmung des Stadtrates und der Planung der Haushaltsmittel. Daher ist das weitere Vorgehen noch nicht klar geregelt. Es besteht jedoch die Absicht gerade den unkritischen Prozess der Sachlammaufbereitung automatisiert zu steuern und somit tageszeitenunabhängig und ohne Aufsicht zu betreiben.

## 5 Möglichkeiten zur überbetrieblichen Nutzung der Potenziale

Dieses Kapitel ordnet die gefundenen Potenziale aus Kapitel 3 und 4 in den aktuellen Kontext der Energiewende ein. Dabei sollen Wege für die Nutzung innerhalb des sich verändernden Strommarktes aufgezeigt werden. Ebenfalls spielt die Hebung der Potenziale eine Rolle, da sich dies oft schwieriger darstellt als zunächst angenommen und somit im Bereich der Lastverschiebung aktuell nicht zu realisieren ist. Dies ist auf die Problematik des fehlenden Anreizes, der hohen Investitionen und des fehlenden wirtschaftlichen Hintergrundes zurückzuführen. Die genannten Probleme werden in den folgenden zwei Unterkapiteln behandelt. Zudem werden Lösungen vorgestellt, die es ermöglichen sollen die Potenziale verfügbar zu machen und diese zur Nutzung bereit zu stellen.

Um die Unternehmen besser zu charakterisieren wird in der folgenden Tabelle 46 ihre Zugehörigkeit, sowie die Anzahl der Unternehmen in Deutschland, geordnet nach Wirtschaftszweigen dargestellt. Dabei wird der Fokus auf Unternehmen mittlerer Größe gelegt, da diese innerhalb der vorliegenden Arbeit als Untersuchungsgegenstand betrachtet wurden. Die Anzahl der Unternehmen ist Grundlage für die weitere Ermittlung des Potenzials.

Tabelle 46: Auflistung der Unternehmen nach Wirtschaftszweigen mit Anzahl in Deutschland [Sta12]

	WZ 2008-Code	WZ 2008 Bezeichnung	Unternehmen Anzahl	
			gesamt	50-249 Beschäftigte
<b>U1</b>	25.73	Herstellung von Werkzeugen	3.776	313
<b>U2</b>	41.20	Bau von Gebäuden	28.799	581
<b>U3</b>	25.11	Herstellung von Metallkonstruktionen	9.475	418
<b>U4</b>	28.99	Herstellung von Maschinen für sonstige bestimmte Wirtschaftszweige a.n.g. <sup>41</sup>	4.297	408
<b>U5</b>	25.61	Oberflächenbehandlung und Wärmebehandlung; Mechanik a.n.g.	3.895	274
<b>U6</b>	46.39	Großhandel mit Nahrungs- und Genussmitteln, Getränken und Tabakwaren, ohne ausgeprägten Schwerpunkt	2.081	97
<b>U7</b>	25.61	Oberflächenbehandlung und Wärmebehandlung; Mechanik a.n.g.	3.895	274

<sup>41</sup> a.n.g.: anderweitig nicht genannt

Die öffentlichen Einrichtungen sind separat zu betrachten. Diese haben einen anderen Hintergrund, da sie durch die öffentliche Hand finanziert werden und die Investitionen oft durch die Stadt-/ Gemeinderäte beschlossen werden müssen.

In Deutschland gibt es laut statistischem Bundesamt 9.632 Kläranlagen, welche sich wie in Tabelle 47 in unterschiedliche Klassen aufteilen [Sta13]. Die betrachtete Kläranlage Ö2 liegt in der Klasse 4.

Tabelle 47: Anzahl der Kläranlagen in Deutschland nach Größenklassen [Sta13]

Größen- klasse	Ausbaugröße von...bis unter ... Einwohnerwerte			Anlagen Anzahl
		Insgesamt....		
1	0	-	1.000	4.153
2	1.000	-	5.000	2.387
3	5.000	-	10.000	864
4	10.000	-	100.000	1972
5	100.000	und mehr....		256

Die Anzahl der Bäder in Deutschland wurde durch die Sportministerkonferenz in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Sportbund und dem Deutschen Städtetag [Spo02] im Jahr 2002 ermittelt und lässt sich wie folgt kategorisieren.

Tabelle 48: Anzahl der Bäder in Deutschland [Spo02]

Bäderarten und Anzahl			
Hallenbäder , davon		2.496	35,5%
Hallenbäder bis 250 m <sup>2</sup> Wasserfläche	1.701		
Hallenbäder von 251 m <sup>2</sup> – 500 m <sup>2</sup> Wasserfläche	588		
Hallenbäder über 500 m <sup>2</sup> Wasserfläche	207		
Hallenfreibäder		459	6,5%
Freizeitbäder (ohne Sportbecken)		493	7%
Freibäder		3.592	51%
Summe Hallen und Freibäder		7.040	100%

Das betrachtete Hallenbad liegt in der Kategorie Hallenbäder von 251 m<sup>2</sup> bis 500 m<sup>2</sup> Wasserfläche.

## 5.1 Einordnung der Potenziale in den Kontext der Energiewende

Die Energiewende benötigt wie schon in Kapitel 2.2 geschildert zum einen die Energieeffizienz als Bestandteil ihres Gelingens und zum anderen die Flexibilisierung des Verbrauchs, um Schwankungen im Netz in Folge vermehrter dezentraler Erzeuger abzufangen.

Die Energieeffizienz ist durch die Nennung in den Energiezielen der Bundesregierung [Bun121] eine feste Größe der Energiewende geworden. Es gilt die Effizienz von der Erzeugung über die Verteilung bis hin zum Verbrauch zu heben. Durch Normen, Arbeitshilfen und weitere technische Arbeitsblätter verschiedener Verbände, wie zum Beispiel der DWA für die Kläranlagen oder der Namur (NA 140)<sup>42</sup> für die Chemieindustrie, werden Maßnahmen zur Energieeffizienz in den nächsten Jahren steigen. Der gewünschte Effekt ist die Verringerung der bereitzuhaltenden Energie trotz steigender Verbrauchszahlen. Dies ist nur durch die Optimierung in allen Bereichen über die gesamte Wertschöpfungskette möglich.

Die Energieeffizienz ist diejenige Komponente, die in einigen Unternehmen schon umgesetzt wird, wenn sich die dafür notwendigen Investitionen in einem vertretbaren Zeitraum amortisieren. Dieser Zeitraum ist je nach Unternehmen und Investitionskosten erfahrungsgemäß zwischen einem halben und zwei Jahren, wie aus den Gesprächen mit den Unternehmern hervorging. Längere Amortisationszeiten sind durch die Unternehmen wirtschaftlich selten tragbar. Das Potenzial ist, wie in Kapitel 3 und 4 gezeigt, hoch anzusetzen, da beispielsweise die Unternehmen den Fokus nicht zusätzlich bei der Instandhaltung der Maschinen auf die Überwachung des Wirkungsgrades legen. Als Beispiel dient hierfür das Unternehmen 4, dass die Reinwasseranlage nie verbrauchsbedingt untersucht hatte und durch die Ergebnisse der Messung überrascht war, welches Potenzial in einem Randprozess steckt. Die

---

<sup>42</sup> Namur: ein Internationaler Verband der Anwender von Automatisierungstechnik der Prozessindustrie; NA140: Vorgehensweise zur Steigerung der Energieeffizienz in chemischen Anlagen – Beitrag der Automatisierungstechnik [NAM13] [NAM12]

Unternehmen sind allerdings zurückhaltend bei der Umsetzung, obwohl das Potenzial vorhanden ist.

Die ermittelten Einsparpotenziale im Bereich der Energieeffizienz liegen bei den untersuchten sieben Unternehmen und zwei öffentlichen Einrichtungen in Summe bei 666.000 kWh/a, wie aus der Tabelle 49 hervorgeht.

*Tabelle 49: Ermitteltes Potenzial der Energieeffizienz und Anteil am Gesamtlastgang*

	ermitteltes Potenzial	Anteil am Strombedarf
	kWh/a	%
<b>U1</b>	48.000	12
<b>U2</b>	30.000	5
<b>U3</b>	117.000	6
<b>U4</b>	122.500	5
<b>U5</b>	21.900	1
<b>U6</b>	43.800	5
<b>U7</b>	41.000	1,5
<b>Ö1</b>	58.400	
<b>Ö2</b>	183.400	32,5
<b>Σ</b>	666.000	

Gründe für die Zurückhaltung bei der Hebung der Potenziale gibt es reichlich. Zum einen ist das nicht verfügbare Kapital, um die Effizienzmaßnahme umzusetzen, zu nennen und zum anderen die Zeit- und Qualitätsprobleme, um die ermittelten Potenziale zu heben.

Die Lastverschiebung hingegen ist noch nicht im Fokus. Die Regierung spricht nicht explizit von einer Möglichkeit den Verbrauch an die Erzeugung anzupassen, sondern nur, dass dies erfolgen muss und hat in diesem Zuge den § 14a EnWG verändert [Bun05]. Die Anpassung ist aber ein wichtiger Bestandteil, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Ein heute schon angewandter Teilbereich der Lastverschiebung ist die Begrenzung der Last auf einen Spitzenwert und die Regelung zur Einhaltung der maximalen Last. Somit wird unternehmensintern Last abgeworfen, um keine Lastspitzen zu erzeugen. Sehr einfach könnten diese schon vorhandenen Anlagen weiter optimiert und auch für das Netz bereitgestellt werden.



In den über 50 besuchten Unternehmen hatte nur eines ein sogenanntes Lastmanagement eingebaut und aktiv betrieben. So ist diese Möglichkeit Lastpotenziale nutzbar zu machen eher als gering einzuschätzen.

Die möglichen Potenziale der untersuchten Unternehmen sind in der Tabelle 50 gegeben.

*Tabelle 50: Ermitteltes Potenzial der Lastverschiebung im Überblick*

	ermitteltes Potenzial
	kW
U1	22
U2	5
U3	-
U4	18
U5	40
U6	90
U7	160
Ö1	50
Ö2	35
$\Sigma$	420

Die Themen sind aktuell nur dann zu realisieren, wenn das Unternehmen oder die öffentliche Einrichtung sich dafür interessiert und Maßnahmen ergreifen, um energieeffizient zu arbeiten oder Lastverschiebung aktiv zu betreiben. Da ein Unternehmen wirtschaftlich getrieben ist, müssen sich die Maßnahmen auch wie schon angesprochen in einer gewissen Zeit amortisieren.

Die Energieeffizienz ist dabei nur eine Möglichkeit Kosten intern einzusparen. Wenn jedoch der Nutzen zu gering ist, bleiben die Maßnahmen auf der Strecke. Einen Markt oder einen Handel für Energieeffizienz gibt es aktuell nicht, da die Maßnahmen aus Eigenantrieb umgesetzt oder als lokale Optimierung der Unternehmen gesehen werden. Viele Prozesse und Maschinen sind auch noch nicht aus der Sicht der Energieeffizienz betrachtet worden. Hier erschließt sich auch von Seiten der Anlagenbauer und Automatisierer noch ein großes Feld, nicht nur auf die Qualität des Produktes wert zu legen, sondern auch den Energieeinsatz zu optimieren.

Die Lastverschiebung bietet keine weiteren Ansatzpunkte außer dem oben genannten Abwurf zu Lastspitzenreduktion. Der Markt zum Handeln von Lastflexibilisierungen ist durch das EnWG § 14a zwar ermöglicht worden, doch gibt es keinen Anreiz ihn aktuell auszugestalten. Die Netzbetreiber, die den Nutzen hätten, die ihnen angebotenen Lasten bei Bedarf zu vergüten, bekommen für eine Reduktion des Netzausbaus durch Einsatz von Smart Grid-Technologien keine Vergütungen. Deshalb wird, wenn nötig, der Netzausbau vorangetrieben. Dieses Problem muss erst durch den Regulator gelöst werden, damit sich ein Markt für diese Art von Dienstleistungen bilden kann.

## 5.2 Gesetzliche Regelungen und Normen

Gesetzliche Regelungen und die dazugehörigen Normen sind ein Bestandteil bei Umsetzungen im regulatorischen Bereich. Diese sind ein erster Ansatzpunkt, um die notwendige Performance in der Nutzung von Energieeffizienz und Lastverschiebung zu erreichen. Um in naher Zukunft die vorhandene elektrische Energie effektiver nutzen zu können, ist diese Entwicklung von entscheidender Bedeutung.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie sie in Kapitel 2 dargestellt sind, bilden die Grundlage der im weiteren Verlauf gezeigten Möglichkeiten der Nutzbarmachung der ermittelten Potenziale.

Die Stromsteuerrückerstattung für Unternehmen wurde zum Jahr 2013 um das Thema der Energieeffizienz ergänzt. Die Einschränkungen betreffen den § 10 StromStG, da Rückerstattungen nur noch bei Erreichung der Zielwerte ausgeschüttet werden. Dafür wurde als Referenz die gesamte Energieintensität der begünstigten Unternehmen als sogenannte Glockenlösung<sup>43</sup> festgeschrieben. Die Durchsetzung ist noch nicht erfolgt, da die Bestätigung der EU-Kommission noch aussteht. In der Diskussion in diesem Zusammenhang mit der Änderung des Gesetzes standen auch unternehmensscharfe Lösungen, wie zum Beispiel eine Verbesserung der Energieeffizienz in jedem Jahr um einen bestimmten Prozentsatz. Diese Regelung

---

<sup>43</sup> Glockenlösung: Die begünstigten Wirtschaftszweige insgesamt müssen die Forderung erfüllen. [Bun122]

würde einen Anreiz für die Unternehmen schaffen, das zurückerstattete Geld für Projekte im Bereich der Energieeffizienz einzusetzen, um damit den Anforderungen für das nächste Jahr durch Verringerung der eingesetzten Energie gerecht zu werden und somit einen Wettbewerbsvorteil zu haben, da die Grenzkosten für ein Produkt fallen.

Im vorangegangenen Kapitel 5.1 sind die Hemmnisse der Unternehmer, die möglichen Energieeffizienzpotenziale nicht umzusetzen, erläutert worden. Der fehlende Eigenantrieb oder Fokus des Unternehmers und seiner Mitarbeiter die Potenziale zu heben soll hier noch einmal genannt werden. Dieses Handeln muss als Ansatzpunkt genommen werden, um entweder einen Markt aufzubauen oder nachfolgende Generationen der Unternehmer für diesen Bereich so zu sensibilisieren, dass dieses Thema immer präsent ist und nachverfolgt wird. Dadurch würde sich auch die Frage nach dem Sinn einer Glockenlösung nicht stellen, da dann jeder Unternehmer für sich selbst verantworten kann, ob er sich an seiner eigenen Energieeffizienz beteiligt oder nicht in den Genuss der Steuerrückerstattung kommt.

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Energieeffizienz, wie sie in der DIN EN ISO 50001 geregelt ist. Nach der Erarbeitung der energetischen Ausgangsbasis müssen die dazugehörigen Energieleistungskennzahlen (EnPI) erhoben werden. Durch strategische und operative Energieziele sowie Aktionspläne zur Erreichung der Ziele soll der EnPI in Bezug auf die Ausgangsbasis verbessert werden. Die Laufzeit der Maßnahmen und die Ausgestaltung obliegen dem jeweiligen Verantwortlichen des Energiemanagements, ebenso wie das Erreichen und die Kontrolle der Maßnahmenziele. Die Managementnorm setzt vor allem auf die Sensibilisierung der Unternehmen und Mitarbeiter durch die Verankerung der Verantwortlichkeit und Kontrolle in der Managementebene und erst im zweiten Schritt auf die Energieeffizienz<sup>44</sup>. Die negative Entwicklung des EnPI kann nicht direkt zum Entzug der Zertifizierung führen, da dies durch Änderungen im Betrieb nicht nachweislich eine Verschlechterung der Effizienz darstellt [DIN11]. Somit kann auch durch einen Mehrverbrauch an Energie das Zertifikat beibehalten werden, wenn die Lage schlüssig erklärt werden kann.

---

<sup>44</sup> Vergleiche Abbildung 10 aus Kapitel 2.5.1

Die DIN EN 16247 bietet keine Möglichkeit Maßnahmen nachzuverfolgen oder zu kontrollieren, da die Norm, wie in Kapitel 2 erwähnt, nur für den Auditor als Vorlage zur Durchführung eines Audit erstellt worden ist. Die Umsetzung, der durch den Berater festgestellten Maßnahmen, muss nicht zwangsweise durchgeführt werden.

Im Bereich der Lastverschiebung ist dies anders geregelt. Dort gibt es außer dem § 14a EnWG keine Regelungen. Dieser Paragraph regelt nur die Möglichkeit der Nutzung und der eventuellen Vergütung der Lastverschiebung oder Bereitstellung für die Unternehmen. Eine weitere Ausformulierung ist noch in der Planung. In der Pflicht zur Umsetzung ist an erster Stelle der Netzbetreiber, da ihm die Versorgungssicherheit obliegt und er ein Modell der Vergütung gestalten oder individuell für einzelne Kunden agieren muss.

Somit ist die Nutzung der Lastverschiebung aktuell noch gar nicht und die der Energieeffizienz nur ansatzweise geregelt. Ein Markt oder ein Marktmodell ist noch nicht vorhanden, weshalb die Regelung und die Hebung, respektive die Erschließung, des Potenzials durch die staatlichen und normativen Stellen erfolgen müssen. In diesem Zusammenhang ist es jedoch wichtig beide Ansätze nicht getrennt von einander zu betrachten, sondern eine Lösung für beide anzustreben und diese auch zu kontrollieren. Die Möglichkeiten der Ausgestaltung in diesem Bereich sind denkbar einfach. Es muss vereinfacht nur der Ansatz der Lastverschiebung mit in die Normen und Gesetze aufgenommen und die Bereitstellung definiert werden. Das Zusammenspiel kann einfach geregelt werden. Die Effizienz eines Prozesses, der verschoben wird, muss auf dem Stand der allgemeinen Regeln der Technik sein. Am Beispiel der Kläranlage würde dies bedeuten, sich dem Prozess der DWA A 216 zu verpflichten und die Effizienzmaßnahmen umzusetzen. Dann kann auch der Prozess in die Lastverschiebung mit eingebracht werden.

Als weiteres Beispiel soll in diesem Bereich die Ergänzung der DIN EN ISO 50001 genannt werden. In dieser Norm sollte ein Punkt zur Bearbeitung die Entdeckung und Hebung der Lastverschiebungspotenziale sein. Es wäre eine Erweiterung des Punktes 4.4.3 *Energetische Bewertung* der Norm. Die messtechnische Überwachung des Prozesses fällt dann in der Norm unter den Punkt 4.4.4 *Energetische Ausgangsbasis* und 4.4.5 *Energieleistungskennzahlen*, da diese auch eine

Voraussetzung des EnPI ist und dieser im Laufe der Zeit messtechnisch verfeinert werden sollte. Die Lastverschiebung müsste entweder in den erhobenen EnPI eingebunden werden oder einen eigenständigen Indikator erhalten.

Die DIN EN 16247 könnte ebenso erweitert werden. Der Auditor könnte durch die Erweiterung der Punkte *5.1b) Informationen* und *5.5 Analyse*, sowie *5.6 Bericht* die Unternehmen sensibilisieren die möglichen Lastverschiebungspotenziale nutzbar zu machen.

Eine weitere Möglichkeit wäre, die Anforderungen direkt in ein Gesetz zu übernehmen. Entweder durch die Erweiterung des §14a EnWG oder durch die Erweiterung des §10 StromStG. Im Stromsteuergesetz würde es vor allem die Unternehmen des produzierenden Gewerbes treffen, die durch die Flexibilisierung ihres Stromverbrauchs dann die Härtefallregelung beanspruchen könnten. Im Energiewirtschaftsgesetz ist es eigentlich nur durch die Netzbetreiber zu verwirklichen.

Das Erneuerbaren Energien Gesetz würde sich ebenfalls anbieten, da dies durch die Reduktion der EEG-Umlage einen größeren Hebel hätte. Im Gegensatz zur Stromsteuer von 2,05 Cent beträgt die EEG-Umlage 5,277 Cent und ab dem Jahr 2014 6,24 Cent pro verbrauchter Kilowattstunde, die zurückerstattet werden kann. Jedoch wird für beide Rückerstattungen ein Energiemanagement oder vergleichbares gefordert. Somit würde der gleiche Effekt wie oben genannt erzielt.

Für Unternehmen, die durch dieses Raster fallen und nicht zum produzierenden Gewerbe gehören, sollte ein anderer Anreiz gefunden werden, da gerade in Unternehmen 6 der Lebensmittellogistik (U6) ein großes Potenzial von ca. 90 kW an Lastverschiebung und 5 Prozent Energieeffizienz im Strombedarf steckt. Diese Unternehmen sollten auch verpflichtet werden, ihr Potenzial zu ermitteln und dieses zu heben. Der Anreiz dazu könnte ebenso über das EEG §41 erfolgen, da die Unternehmen somit auch aktiv zur Einbindung von Erneuerbaren Energien beitragen und deren Einsatzvielfältigkeit steigern.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die in den vergangenen Kapiteln erarbeiteten Ergebnisse stellen ein großes Potenzial der Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen dar, im Bereich der Energieeffizienz und Lastverschiebung einen entscheidenden Beitrag zur Energiewende zu leisten. Die Ergebnisse wie in Kapitel 5 zusammengefasst, werden bei der Betrachtung und der Ausweitung auf die Anzahl der Unternehmen in den jeweiligen Wirtschaftszweigen und der Anzahl der öffentlichen Einrichtung zur Abschätzung hochgerechnet.

Im Bereich der Energieeffizienz steckt in den Unternehmen das Potenzial in sehr vielen Bereichen. In dieser Arbeit wurden nur Bereiche dargestellt, die auch gemessen und betrachtet wurden. Die Produktionsprozesse selbst oder auch produktionsrelevante Maßnahmen wurden nicht bewertet, würden aber das Potenzial der Energieeffizienz zusätzlich erweitern. Die Sensibilisierung der Mitarbeiter stellt wie schon erwähnt, ein weiteres Potenzial innerhalb der Unternehmen dar. Die Darstellung dieses Potenzials ist messtechnisch schwierig.

Betrachtet man nun die ermittelten Ergebnisse für die jeweiligen Unternehmen lässt sich, wie in Tabelle 51 zu sehen, ein Gesamtpotenzial von 666.000 kWh darstellen. Das theoretische Potenzial wird über den durchschnittlichen Verbrauch je Unternehmen und dem Anteil am Strombedarf ermittelt und mit der Anzahl der Unternehmen multipliziert. Wurden vom Statistischen Bundesamt keine Angaben zum durchschnittlichen Jahresverbrauch eines Unternehmens gemacht, wird das ermittelte Potenzial anhand der Anzahl der Unternehmen abgeschätzt. Es wird vorausgesetzt, dass der Anteil am Strombedarf in der jeweiligen Wirtschaftsklasse des Unternehmens unabhängig von der Größe des Unternehmens gültig ist. Diese Berechnungen sollen nur einen Ausblick auf die Möglichkeiten und die erreichbare Größe geben und verifizieren ob diese plausibel sein kann. Die Ausgangslage der neun durchgeführten Fallstudien lässt eine Allgemeingültigkeit für alle KMUs aufgrund der geringen Stichprobe nicht direkt zu.

Tabelle 51: Ergebnisse der Energieeffizienz mit Ausblick auf theoretisches Potenzial der Wirtschaftszweige

	ermitteltes Potenzial	Anteil am Strombedarf	Anzahl der Unternehmen	Durchschnittlicher Verbrauch je Unternehmen <sup>45</sup>	theoretisches Potenzial gesamt
	kWh/a	%		kWh/a	GWh/a
U1	48.000	12,4	313	5.327.000	200
U2	30.000	5,4	581		17,4
U3	117.000	5,7	418	5.400.000	135
U4	122.500	5,1	408	2.780.000	56,7
U5	21.900	1,1	3621	5.272.000	190
U6	43.800	5,2	97	2.132.000	10,3
U7	41.000	1,3	274	5.272.000	21,7
Ö1	58.400	26,0	1701		99,3
Ö2	183.400	32,5	588		107
Σ	666.000		7995		837,4
Ø	74.000				104.740 kWh/a

Dieses Potenzial entspricht dem Jahresverbrauch von 190 Haushalten oder dem Energiebedarf des Unternehmens 6. Wird anhand der statistischen Durchschnittsverbräuche der Unternehmen ein Ausblick auf die möglichen Effizienzpotenziale gegeben, stellt sich ein Wert von 837,4 GWh pro Jahr dar. Dieser Wert erscheint auch als plausibel, da im Durchschnitt 104.740 kWh pro Jahr je Unternehmen in Relation der in Tabelle 51 aufgelisteten Durchschnittsverbräuchen als realistisch angesehen werden kann. Die Potenziale müssen nicht immer in den, in der vorliegenden Arbeit, aufgelisteten Prozessen vorhanden sein. Durch die individuelle Analyse in den Unternehmen werden die theoretisch ermittelten Potenziale, wenn auch in anderen Bereichen, entdeckt und können somit gehoben werden.

Die Ergebnisse der Lastverschiebung sind in der Tabelle 52 dargestellt. Die untersuchten Unternehmen können in Summe 420 kW an Lastverschiebung bereitstellen. Diese sind zur längerfristigen Planung geeignet und über mehrere Stunden verlagerbar, jedoch sind die Prozesse vorerst nicht zu unterbrechen, da nicht davon ausgegangen wird, dass die vorgefundene Technik dies unterstützen könnte oder der Inhaber solche Maßnahmen unterstützt.

<sup>45</sup> Durch das Statistisches Bundesamt ermittelte Verbräuche je Branche

*Tabelle 52: Ergebnisse der Lastverschiebung mit Ausblick auf theoretisches Potenzial der Wirtschaftszweige*

	ermitteltes Potenzial	Prozess	Prozessdauer / Verschiebung	Anzahl der Unternehmen	theoretisches Potenzial gesamt
	kW		h		kW
<b>U1</b>	22	Glühofen	5,5 / 12	313	6.900
<b>U2</b>	5	Werkstatt / Prüfungen	3 / 6	581	2.900
<b>U4</b>	18	Reinwasseranlage	1 / 3	408	7.300
<b>U5</b>	40	Salzverdampfung	9 / 20	3621	144.800
<b>U6</b>	90	Kälteanlage und LKW- Kühlung	1 / 2   9 / 4	97	8.700
<b>U7</b>	160	Härteanlagen	7 / 7	274	43.800
<b>Ö1</b>	50	BHKW	16 / 16	1701	85.000
<b>Ö2</b>	35	Schlammflockung	4 / 20	588	20.500
<b>Σ</b>	420			7577	319.900
<b>Ø</b>	47				42

Der Ausblick auf die möglichen Kapazitäten, die bereitgestellt werden können, würde sich in Summe auf 319.900kW belaufen, wenn man die Wirtschaftszweige der untersuchten Unternehmen betrachtet. Dies erscheint wiederum plausibel, da 42 kW je Unternehmen, im Vergleich zu den ermittelten 47 kW im Durchschnitt, als durchaus realistisch anzusehen sind. Die Komplexität und Unterschiedlichkeit der Unternehmen ist ein nicht zu unterschätzender Faktor, der immer berücksichtigt werden muss. Deshalb werden sich die aufzuspürenden Prozesse trotz der Ähnlichkeit oder des gleichen Funktionsprinzips durchaus unterscheiden

In der nachfolgenden Abbildung 109 wird eine weitere Auswertung der Lastverschiebungspotenziale vorgenommen. Hierbei wird auf den Achsen die Zeit der Verschiebung und die Zeitdauer des zu verschiebenden Prozesses wiedergegeben. Die Zeit der Verschiebung gibt die Zeitspanne an, wie weit ein Startzeitpunkt in die Zukunft verschoben werden kann. Die Größe der Kugel gibt die verschiebbare Spitzenleistung an und die Füllung den Mittelwert der bereitzustellenden Last.



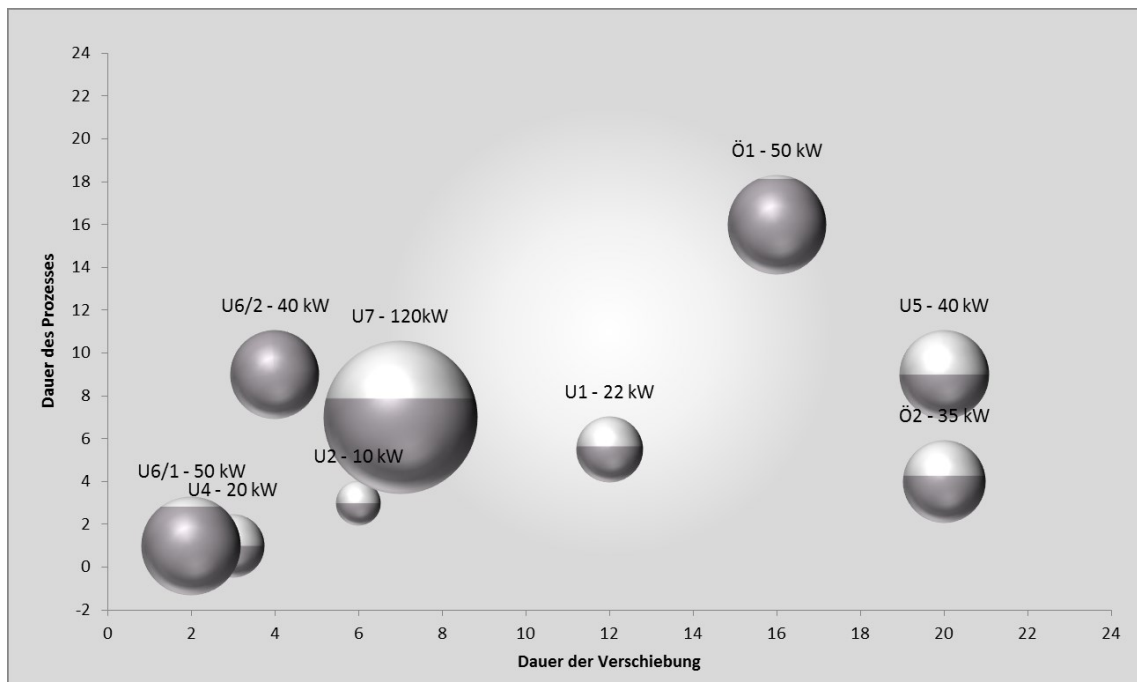


Abbildung 109: Darstellung der Lastverschiebungspotenziale

Aus der Abbildung 109 ergeben sich zwei Häufungen. Eine ist im Bereich bis 10 Stunden Verschiebung und 10 Stunden Prozessdauer zu sehen. Die zweite im Bereich von 12 Stunden und mehr Verschiebung. Daraus geht zum einen hervor, dass in den Unternehmen viele Prozesse in der Abhängigkeit der Arbeitsschichten zu sehen sind, oder die Prozesse bis zum Beginn der nächsten Schicht über Nacht fertiggestellt werden müssen. Der zweite Teil bezieht sich auf Prozesse die völlig unabhängig von einem Prozess oder der Produktion zu betrachten sind oder eine vollständige äquivalente Alternative/ Redundanz wie im Falle der Wärmebereitstellung des Hallenbades haben.

Bei Betrachtung der spontanen Lastflexibilisierung im Minutenbereich sind die Ergebnisse ähnlich, wie aus Tabelle 53 ersichtlich. Die Unternehmen können eine Summe von 553 kW Flexibilisierung im Bereich von einer Minute bis zu 15 Minuten bereitstellen. Dieses theoretische Potenzial ist noch steuerungstechnisch zu verifizieren, da die Steuerungen in diesem Bereich vollautomatisiert arbeiten müssen. Die hierfür notwendigen Grundlagen müssen ermittelt und dargestellt werden, so dass ein reibungsloser Ablauf gewährleistet werden kann.

Tabelle 53: Ergebnisse der spontanen Flexibilisierung im Minutenbereich mit Ausblick auf theoretisches Potenzial der Wirtschaftszweige

	ermitteltes Potenzial	Prozess	Prozessdauer / Verschiebung	Anzahl der Unternehmen	theoretisches Potenzial gesamt
	kW		min		kW
<b>U1</b>	22	Glühofen	2-5	313	6.900
<b>U3</b>	150	Laserschneidanlagen	5	418	62.700
<b>U4</b>	(25)-50	Kälteanlage	(2)-10	408	20.400
<b>U5</b>	100	Härterei	1-(5)	3621	362.100
<b>U6</b>	90	Kälteanlage und LKW-Kühlung	-15	97	8.700
<b>U7</b>	86	Waschanlage	2-10	274	23.500
<b>Ö1</b>	10-20	Lüftungsanlage	2-5	1701	34.000
<b>Ö2</b>	35	Beckenbelüftung	3-5	588	20.500
<b>Σ</b>	553			7.414	508.200
<b>Ø</b>	69				68,5

Die mögliche spontane Flexibilisierung im Minutenbereich, beläuft sich auf 508.200 kW, wenn die Anzahl der Unternehmen der betrachteten Wirtschaftszweige zu grundgelegt werden. Dieses Ergebnis stellt für jedes Unternehmen eine realisierbare Lastverschiebung von 68,5 kW dar. Dies ist aufgrund der Ergebnisse realistisch, da im Durchschnitt 69 kW bei den untersuchten Unternehmen der Fallstudie ermittelt werden konnten.

Die zu verlagernden Prozesse teilen sich, wie in Abbildung 110, auch für die spontane Minutenflexibilisierung in zwei Bereiche. Der erste Bereich ergibt sich aus den Prozessen, die immer ihre volle Last bereitstellen können wie U1, U3, U5 und Ö1. Der zweite Bereich besteht aus Prozessen die einen mittleren Wert oder auch zum Teil bei gewissen Zuständen keine Last bereitstellen können, wie U4, U6, U7 und Ö2.

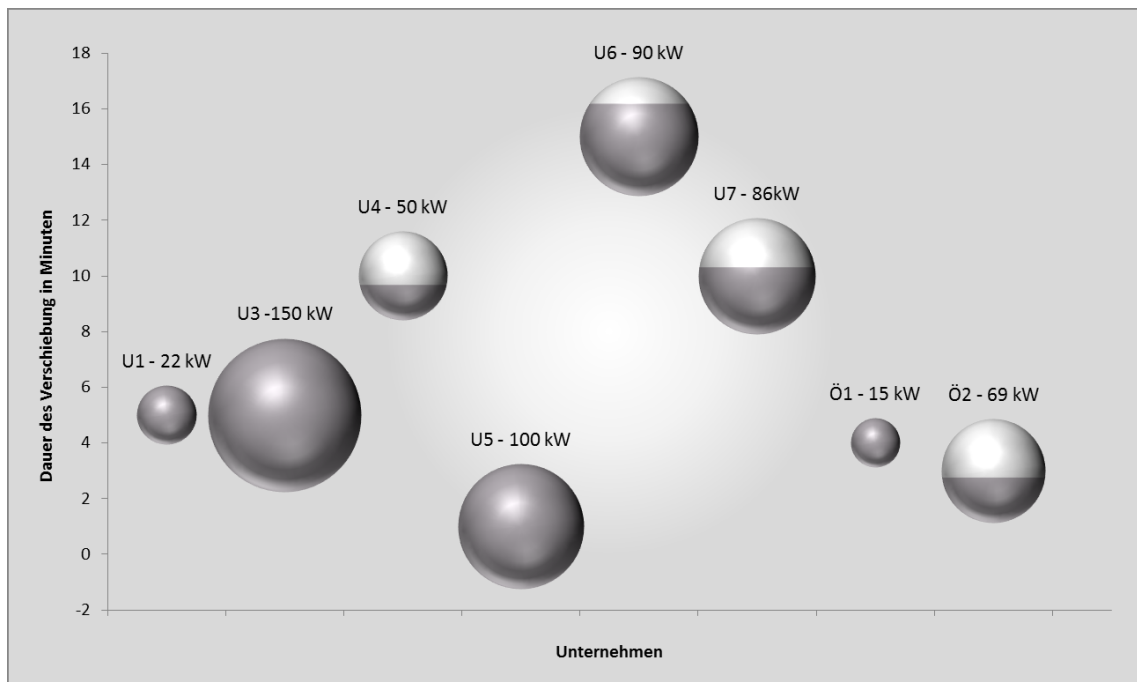


Abbildung 110: Darstellung der spontanen Lastverschiebungspotenziale im Minutenbereich

Die Verschiebungen im Minutenbereich können deutlich einfacher realisiert werden, da in diesem Fall durch eine standardisierte Technik die Steuerungen der Anlagen einfach in ein Smart Grid eingebunden werden können. Gewährleistet sein müssen aber auf jeden Fall die Prozesssicherheit und der Selbstschutz der Anlage, da die Unternehmer eine Sicherheit benötigen, um ihre Bereitschaft für solche Systeme zu geben und der Steuerungsprogrammierer Regeln braucht, um die Einbindung sinnvoll umzusetzen.

Abschließend kann gesagt werden, dass die untersuchten Einzelfälle der betrachteten Unternehmen auch als solche bewertet werden müssen, da die Unternehmen in Deutschland im Bereich der KMU allesamt individuell angelegt sind. Die Individualität wird je größer ein Unternehmen wird immer standardisierter und nähert sich der Großindustrie an. Da aber die Mehrzahl der Unternehmen in Deutschland zur Gattung der KMU gehört, ist durch diese 7 Unternehmen 2 öffentliche Einrichtungen ein erster Schritt gemacht worden das Thema der Lastflexibilisierung weiter zu untersuchen.

In beiden Bereichen gilt es die Potenziale sowohl zur Lastflexibilisierung, als auch zur Energieeffizienz zu heben um das Stromnetz in Zukunft stabilisieren zu können. Der

Vorrang der Energieeffizienz vor der Lastverschiebung wäre natürlich wünschenswert. Da aber nicht davon ausgegangen werden kann jeden vorhandenen Prozess vor der Ertüchtigung zur Lastverschiebung durchgängig effizient zu gestalten ohne dass eventuell deutlich höhere Investitionskosten entstehen, sollte der Fokus zwar immer mit auf der Effizienz liegen, um Strom einzusparen, aber es sollte deshalb nicht auf die Lastverschiebung verzichtet werden.

In naher Zukunft ist es sicherlich notwendig, dass der Gesetzgeber die Voraussetzungen, wie in Kapitel 5 beschrieben, herstellt und somit einen Anreiz schafft, die Potenziale für das produzierende Gewerbe und auch für andere Bereiche der Wirtschaft zu heben. Die Ergebnisse könnten in weiteren Forschungsarbeiten analysiert werden.

Eine weitere Aufgabe, die zu bewältigen ist, ist die sinnvolle Realisierung neuer Projekte durch einen erweiterten Blick auf die Zukunft der Energieversorgung. So sollte bei der Anschaffung neuer Techniken, wie zum Beispiel im Bereich der Prozesswärme oder Kälte, immer die Korrelation mit anderen Energieträgern und der Stromnutzung einhergehen. Dieser Wunsch ist vor allem an die Planer und Anlagenbauer zu richten, da diese Beratungsleistung bei den Unternehmen wahrnehmen. Wichtig ist es schon heute Möglichkeiten zur Lastflexibilisierung zu berücksichtigen, um in Zukunft Nutzen in diesem Bereich zu erzielen und einen entscheidenden Beitrag zur Energiewende zu leisten.

## A. Abkürzungsverzeichnis

a.n.g.	Anderweitig nicht genannt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
ct	Cent
EEG	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbaren Energien Gesetz)
EnMS	Energiemanagementsystem
EnWG	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz)
etc	et cetera
EUR	Euro
GWh	Gigawattstunde
Hz	Hertz
IT	Informationstechnik
KMU	Kleine und Mittelständische Unternehmen
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Nm <sup>3</sup> /min	Normkubikmeter pro Minute
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PV-Anlage	Photovoltaik Anlage
SpaEfV	Verordnung über Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Entlastung von der Energie- und der Stromsteuer in Sonderfällen (Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung)

StromStG      Stromsteuergesetz

TWh            Terawattstunde

u.a.            und andere

z.B.            zum Beispiel

## B. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definition KMU [Eur06] .....	3
Tabelle 2: Vergleich der Stromerzeugungsstruktur der Bruttostromerzeugung in Deutschland zwischen 1999 und 2011-2013 in Prozent [Bun132] [Sta14].....	13
Tabelle 3: Übersicht der Energieziele der Bundesregierung [Bun121] .....	16
Tabelle 4: Auszug der Ergebnisse nach Branchen aus Phase 1-3 des Projektes MeRegio [Win11] .....	19
Tabelle 5: Regelungen der SpaEfV für große Unternehmen [Bun131] .....	25
Tabelle 6: Regelungen der SpaEfV für kleine und mittelständische Unternehmen [Bun131].....	26
Tabelle 7: Zielwerte für die zu erreichende Reduzierung der Energieintensität (Anlage StromStG) [Bun99] .....	28
Tabelle 8: Vergleich DIN EN 16247 und DIN EN ISO 50001 [Wie13].....	33
Tabelle 9: Steckbrief Unternehmen 1 .....	36
Tabelle 10: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmen 1 .....	40
Tabelle 11: Steckbrief Unternehmen 2 .....	48
Tabelle 12: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 2 .....	52
Tabelle 13: Steckbrief Unternehmen 3 .....	58
Tabelle 14: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 3 .....	62
Tabelle 15: Steckbrief Unternehmen 4 .....	68
Tabelle 16: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 4 .....	71
Tabelle 17: Steckbrief Unternehmen 5 .....	77
Tabelle 18: Auszug aus der Statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 5 .....	81
Tabelle 19: Steckbrief Unternehmen 6 .....	85
Tabelle 20: Auszug aus der Statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 6 .....	88

---

Tabelle 21: Steckbrief Unternehmen 7 .....	93
Tabelle 22: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges des Unternehmens 7 .....	96
Tabelle 23: Steckbrief öffentliche Einrichtung 1 .....	103
Tabelle 24: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges der öffentl. Einrichtung 1 .....	105
Tabelle 25: Steckbrief öffentliche Einrichtung 2.....	112
Tabelle 26: Auszug aus der statistischen Auswertung des Gesamtlastganges der öffentl. Einrichtung 2 .....	116
Tabelle 27: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 1.....	124
Tabelle 28: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 2.....	128
Tabelle 29: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 3.....	131
Tabelle 30: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung.....	133
Tabelle 31: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 4.....	136
Tabelle 32: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung.....	138
Tabelle 33: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum .....	139
Tabelle 34: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 5.....	142
Tabelle 35: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung.....	143
Tabelle 36: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für ein Woche.....	144
Tabelle 37: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 6.....	146
Tabelle 38: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung.....	148
Tabelle 39: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum .....	148
Tabelle 40: Auflistung der Potenziale für das Unternehmen 7.....	151
Tabelle 41: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum .....	152
Tabelle 42: Auflistung der Potenziale für das öffentliche Einrichtung 1 .....	155
Tabelle 43: Auflistung der Potenziale für die öffentliche Einrichtung 2 .....	158
Tabelle 44: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung für den Vergleichszeitraum .....	160
Tabelle 45: Wilcoxon-Test: Energieverbrauch vor und nach der Optimierung.....	160



---

Tabelle 46: Auflistung der Unternehmen nach Wirtschaftszweigen mit Anzahl in Deutschland [Sta12].....	162
Tabelle 47: Anzahl der Kläranlagen in Deutschland nach Größenklassen [Sta13].....	163
Tabelle 48: Anzahl der Bäder in Deutschland [Spo02] .....	163
Tabelle 49: Ermitteltes Potenzial der Energieeffizienz und Anteil am Gesamtlastgang.....	165
Tabelle 50: Ermitteltes Potenzial der Lastverschiebung im Überblick .....	166
Tabelle 51: Ergebnisse der Energieeffizienz mit Ausblick auf theoretisches Potenzial der Wirtschaftszweige .....	172
Tabelle 52: Ergebnisse der Lastverschiebung mit Ausblick auf theoretisches Potenzial der Wirtschaftszweige .....	173
Tabelle 53: Ergebnisse der spontanen Flexibilisierung im Minutenbereich mit Ausblick auf theoretisches Potenzial der Wirtschaftszweige.....	174

## C. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abschaltbare Leistung durch Flexibilisierung von Querschnittstechnologien in Süddeutschland (Normalbetrieb) in Abhängigkeit der Abrufdauer - technisches Potenzial für geeignete Betriebe ohne Kostenbetrachtung für die Implementierung (Personal und I&K) [Ago13]	4
Abbildung 2: Veränderung des Lastflexibilisierungspotenzials in Deutschland von 2012 bis 2022 [Gru13]	5
Abbildung 3: Lastverschiebung vs. Energieeffizienz [Win11]	7
Abbildung 4: Stromnetzaufbau und Spannungsebenen in Deutschland [Bun13]	12
Abbildung 5: Energiepolitisches Dreieck in Anlehnung an das EnWG [Bun05]	15
Abbildung 6: Durchschnittlicher Strompreis für die Industrie in 2013 in ct/kWh [BDE13]	22
Abbildung 7: Aufbau der Stromsteuer und Möglichkeiten der Reduktion [Bun99] [Bun06]	24
Abbildung 8: Vorgehen zur Steuerrückerstattung nach § 9b StromStG [Bun99]	27
Abbildung 9: Vorgehen zur Steuerrückerstattung nach § 10 StromStG [Bun99]	27
Abbildung 10: Verwendetes Modell eines Energiemanagement [DIN11]	30
Abbildung 11: Ablauf der Erstzertifizierung eines Unternehmens nach DIN EN ISO 50001 [Bun12], [DBE13]	31
Abbildung 12: Vorgehensweise der DIN EN 16247 zum Energieaudit [DIN12]	32
Abbildung 13: Gesamtlastgang U1 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage	37
Abbildung 14: geordnete Jahresdauerlinie U1	38
Abbildung 15: Gesamtlastgang U1 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich	39
Abbildung 16: Lastgang der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage	41
Abbildung 17: Optimierung der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag	42
Abbildung 18: Lastgang der Wärmepumpe mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage	43
Abbildung 19: Lastgang Wärmepumpe mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich	44
Abbildung 20: Lastgang der Wärmepumpe für einen Beispieltag je Jahreszeit	45
Abbildung 21: Lastgang des Glühofens mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage	46

Abbildung 22: Lastgang für 2 beispielhafte Zyklen des Glühofens .....	47
Abbildung 23: Gesamtlastgang U2 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	49
Abbildung 24: geordnete Jahresdauerlinie U2.....	50
Abbildung 25: Gesamtlastgang U2 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	51
Abbildung 26: Lastgang des Wohnheims mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	53
Abbildung 27: Optimierung des Wohnheims mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag.....	54
Abbildung 28: Lastgang des Büros mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	55
Abbildung 29: Optimierung des Büros mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag.....	56
Abbildung 30: Lastgang der Werkstatt mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	57
Abbildung 31: Gesamtlastgang U3 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	59
Abbildung 32: geordnete Jahresdauerlinie U3.....	60
Abbildung 33: Gesamtlastgang U3 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	61
Abbildung 34: Lastgang der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	63
Abbildung 35: Darstellung der Druckluft-Optimierung.....	64
Abbildung 36: Lastgang der Solaranlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	65
Abbildung 37: Lastgang der Solaranlage mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	66
Abbildung 38: Gesamtlastgang U3 ohne Solareinspeisung mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	67
Abbildung 39: Gesamtlastgang U4 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	69
Abbildung 40: Gesamtlastgang U4 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	70
Abbildung 41: geordnete Jahresdauerlinie U4.....	70
Abbildung 42: Lastgang der Kälteversorgung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	72
Abbildung 43: Optimierung der Kälteanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	73

Abbildung 44: Lastgang der Reinwasseranlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag.....	74
Abbildung 45: Optimierungsschritt 1 der Reinwasseranlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag .....	75
Abbildung 46: Optimierungsschritt 2 der Reinwasseranlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag .....	75
Abbildung 47: Lastgang der Reinwasserversorgung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage.....	76
Abbildung 48: Gesamtlastgang U5 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	78
Abbildung 49: Gesamtlastgang U5 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	79
Abbildung 50: geordnete Jahresdauerlinie U5.....	80
Abbildung 51: Lastgang der Salzverdampfung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	82
Abbildung 52: Optimierung der Salzverdampfung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage.....	83
Abbildung 53: Einzeltage der Salzverdampfung mit 15 min-Werten über 24h.....	84
Abbildung 54: Gesamtlastgang U6 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	86
Abbildung 55: Gesamtlastgang U6 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	87
Abbildung 56: geordnete Jahresdauerlinie U6.....	88
Abbildung 57: Lastgang der Kälteverbundanlagen vor der Optimierung mit 15 min- Werten über 24h für alle Wochentage.....	89
Abbildung 58: Lastgang der Kälteverbundanlagen nach der Optimierung mit 15 min- Werten über 24h für alle Wochentage.....	90
Abbildung 59: Lastgang der Kälteverbundanlagen mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage .....	91
Abbildung 60: Lastgang der LKW Kälte mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	92
Abbildung 61: Lastgang der LKW-Kühlung mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage.....	92
Abbildung 62: Gesamtlastgang U7 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	94
Abbildung 63: Gesamtlastgang U7 mit 15 min-Werten im Jahreszeitenvergleich.....	95
Abbildung 64: geordnete Jahresdauerlinie U7 .....	96

Abbildung 65: Lastgang der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	97
Abbildung 66: 1.Schritt der Optimierung der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	98
Abbildung 67: 2.Schritt der Optimierung der Druckluftanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	99
Abbildung 68: Lastgang der VAC mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	100
Abbildung 69: Lastgang der VAC mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage .....	101
Abbildung 70: Lastgang der DUO mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage ..	101
Abbildung 71: Lastgang der DUO-Anlage mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage .....	102
Abbildung 72: Gesamtlastgang Ö1 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	104
Abbildung 73: geordnete Dauerlinie Ö1 .....	105
Abbildung 74: Lastgang des BHKW mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	106
Abbildung 75: Lastgang der Umwälzpumpen mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	107
Abbildung 76: Optimierung der Umwälzpumpen mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	108
Abbildung 77: Lastgang der Lüftungsanlage mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	109
Abbildung 78: Optimierung der Lüftungsanlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag.....	110
Abbildung 79: Lastgang des BHKW mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	111
Abbildung 80: Gesamtlastgang Ö2 mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	113
Abbildung 81: Gesamtlastgang Ö2 vor Umbau mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage .....	114
Abbildung 82: Gesamtlastgang Ö2 nach Umbau mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage.....	115

---

Abbildung 83: geordnete Jahresdauerlinie Ö2.....	115
Abbildung 84: Lastgang der Beckenbelüftung mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Wochentage vor Umbau.....	117
Abbildung 85: Lastgang der Beckenbelüftung mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Wochentage nach Umbau.....	118
Abbildung 86: Lastgang der Schlammausflockung mit 15 min-Werten über 24h für alle Wochentage.....	119
Abbildung 87: Univariate und bivariate Analysemethoden [Raa04] .....	123
Abbildung 88: Gesamtlastgang mit gehobenem Effizienzpotenzial mit 15 min- Werten über 24h für alle Wochentage.....	125
Abbildung 89: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich.....	126
Abbildung 90: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich.....	129
Abbildung 91: geordnete Dauerlinien der Druckluftanlage im Vergleich .....	132
Abbildung 92: Lastgang der Halle 303 mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag.....	134
Abbildung 93: Lastgang der Halle 303 mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage.....	135
Abbildung 94: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich.....	137
Abbildung 95: Optimierter Lastgang der Reinwasseranlage.....	138
Abbildung 96: geordnete Dauerlinien vor und nach der Optimierung .....	139
Abbildung 97: Lastgang der Kälteanlage mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage.....	140
Abbildung 98: geordnete Jahresdauerlinien im Vergleich.....	143
Abbildung 99: Lastgang der Härteanlagen mit 15 min-Werten über 24h für ausgewählte Tage.....	144
Abbildung 100: geordnete Dauerlinien der Kälteanlage im Vergleich.....	147
Abbildung 101. geordnete Dauerlinien des Gesamtlastganges im Vergleichszeitraum.....	148
Abbildung 102: Optimierter Lastgang der Kälteanlage über eine Woche .....	149
Abbildung 103: geordnete Dauerlinien der Druckluftanlage im Vergleichszeitraum ....	152
Abbildung 104: Lastgang der Waschanlage über eine Woche .....	153
Abbildung 105: geordnete Dauerlinien im Vergleich .....	156

---

Abbildung 106: Optimierte Lüftungsanlage mit 15 min-Werten über 24h für Werktag, Samstag und Sonntag.....	157
Abbildung 107: geordnete Dauerlinien der Vergleichszeiträume .....	159
Abbildung 108: Optimierter Lastgang der Beckenbelüftung mit 15 min-Werten über 24h für eine ausgewählte Woche .....	161
Abbildung 109: Darstellung der Lastverschiebungspotenziale .....	174
Abbildung 110: Darstellung der spontanen Lastverschiebungspotenziale im Minutenbereich.....	176

## D. Literaturverzeichnis

- [Ago13]** Agora Energiewende: Lastmanagement als Beitrag zur Deckung des Spitzenlastbedarfs in Süddeutschland (Berlin, 2013)
- [Arb13]** Arbeitsblatt DWA-A 216 Entwurf: Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energiepotimierung von Abwasseranlagen (Hennef, April 2013)
- [Bay10]** Bayrisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit: ffe.de (10 2010)  
[http://www.ffe.de/download/berichte/355\\_IPP/FfE\\_IPP\\_Leitfaden\\_elektrische\\_Antriebe\\_standard.pdf](http://www.ffe.de/download/berichte/355_IPP/FfE_IPP_Leitfaden_elektrische_Antriebe_standard.pdf) (Zugriff am: 17.12.2013)
- [BDE13]** BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (05 2013)  
[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/\\$file/13%2005%2027%20BDEW\\_Strompreisanalyse\\_Mai%202013.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/123176ABDD9ECE5DC1257AA20040E368/$file/13%2005%2027%20BDEW_Strompreisanalyse_Mai%202013.pdf) (Zugriff am: 04.12.2013)
- [Bib13]** Bibliographisches Institut GmbH Dudenverlag: Duden | volatil | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Sysnonyme, Herkunft (2013) ;  
<http://www.duden.de/rechtschreibung/volatil> (Zugriff am: 18.12.2013)
- [Bib131]** Bibliographisches Institut GmbH Dudenverlag: Duden | TOP-down-Methode | Rechtscheibung, Bedeutung, Definition, Herkunft (2013) ;  
[http://www.duden.de/rechtschreibung/Top\\_down\\_Methode](http://www.duden.de/rechtschreibung/Top_down_Methode) (Zugriff am: 20.12.2013)
- [Ble08]** J. Bley Müller, G. Gehlert, H. Gülicher: Statistik für Wirtschaftswissenschaftler (München, 2008)
- [Büh02]** A. Bühl, P Zöfel: Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows (Münschen, 2002)
- [Bun05]** Bundestag: Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung, Ausgabe:



4.10.2013; (Berlin, 07 2005)

- [Bun06]** Bundestag: Energiesteuergesetz - EnergieStG, Ausgabe: 05.12.2012; (Berlin, 2006)
- [Bun08]** Bundestag: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, Ausgabe: 20.12.2012; (Berlin, 10 2008)
- [Bun10]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): bmu.de (09 2010) [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept\\_bundesregierung.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf) (Zugriff am: 17.12.2013)
- [Bun12]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Energiemanagement in der Praxis (Berlin, 2012)
- [Bun121]** Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie & Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: bmwi.de (12 2012) <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/erster-monitoring-bericht-energie-der-zukunft,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (Zugriff am: 05.12.2013)
- [Bun122]** Bundestag: Gesetz zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes - CDU/CSU-Fraktion im Deutschen Bundestag (11 2012) [http://www.cducsu.de/Titel\\_\\_gesetz\\_zur\\_aenderung\\_des\\_energiesteuer\\_\\_und\\_des\\_stromsteuergesetzes/TabID\\_\\_1/SubTabID\\_\\_2/InhaltTypID\\_\\_12/InhaltID\\_\\_5058/inhalte.aspx](http://www.cducsu.de/Titel__gesetz_zur_aenderung_des_energiesteuer__und_des_stromsteuergesetzes/TabID__1/SubTabID__2/InhaltTypID__12/InhaltID__5058/inhalte.aspx) (Zugriff am: 17.12.2013)
- [Bun13]** Bund der Energieverbraucher: Bund der Energieverbraucher ; [http://www.energieverbraucher.de/de/Stromnetz\\_\\_1335/](http://www.energieverbraucher.de/de/Stromnetz__1335/) (Zugriff am: 04.12.2013)
- [Bun131]** Bundesministerium für Wirtschaft: Verordnung über Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Entlastung von der Energie- und Stromsteuer in Sonderfällen, Verleger:

Bundesanzeiger Verlag; Ausgabe: Jahrgang 2013 Teil 1 Nr. 45; (Bonn, 2013)

**[Bun132]** Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Referat III C3: Zahlen und Fakten Energiedaten Nationale und Internationale Entwicklung (08 2013) <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/energiedaten.html> (Zugriff am: 04.12.2013)

**[Bun133]** Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMU): Energie in Deutschland - Trends und Hintergründe zur Energieversorgung (Berlin, 2013)

**[Bun134]** Bundesregierung: bundesregierung.de (05 2013)  
[http://www.bundesregierung.de/Content/DE/\\_Anlagen/2013/05/013-05-14-energiewende.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2013/05/013-05-14-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (Zugriff am: 05.12.2013)

**[Bun135]** Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW): Smart Grids / Smart Meter| BDEW| Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft ; <http://www.bdew.de/internet.nsf/id/smart-grids--smart-meter-de> (Zugriff am: 17.12.2013)

**[Bun136]** Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie : E-Energy: E-Energy - Smart Grids made in Germany ; [www.e-energy.de](http://www.e-energy.de) (Zugriff am: 18.12.2013)

**[Bun99]** Bundestag: Stromsteuergesetz (StromStG), Ausgabe: 05.12.2012; (1999)

**[Cry13]** Crystec Technology Trading GmbH: RTP und RTA, Lampengeheizte und induktiv beheizte Temperaturanlagen und Prozessanlagen ; <https://www.crystec.com/killrtpd.htm> (Zugriff am: 19.12.2013)

**[DBE13]** DB Energie GmbH: Deutsche Bahn Energie ; [http://www.dbenergie.de/file/2503146/data/PB\\_Einfuehrung\\_Energiemanagementsysteme.pdf](http://www.dbenergie.de/file/2503146/data/PB_Einfuehrung_Energiemanagementsysteme.pdf) (Zugriff am: 04.12.2013)

- [Deu12]** Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Handbuch für betriebliches Energiemanagement (Berlin, 2012)
- [Deu13]** Deutsche Energie-Agentur (dena): UCTE: Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity ; <http://www.effiziente-energiesysteme.de/glossar/glossar/u/ucte-union-for-the-coordination-of-transmission-of-electricity.html> (Zugriff am: 18.12.2013)
- [Deu131]** Deutsche Energie-Agentur (dena): Regelenergie - Effiziente Energiesysteme ; <http://www.effiziente-energiesysteme.de/glossar/glossar/r/regelenergie.html> (Zugriff am: 20.12.2013)
- [DIN11]** DIN EN ISO 50001: Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (Berlin, 12 2011)
- [DIN12]** DIN EN 16247-1: Energieaudits- Teil 1: Allgemeine Anforderungen (Berlin, 10 2012)
- [DWA13]** DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: DWA-A 216 (Hennef, 04 2013)
- [EnB12]** EnBW Regional AG: [enbw-regional.de \(01 2012\) http://www.enbw-regional.de/media/docs/veroeffentlichungspflichten/entgelte/preise-und-regelungen-2012-januar.pdf](http://www.enbw-regional.de/media/docs/veroeffentlichungspflichten/entgelte/preise-und-regelungen-2012-januar.pdf) (Zugriff am: 05.12.2013)
- [ENT13]** ENTSO-E: About ENTSO-E - ENTSO-E - European Network of Transmission System Operators for Electricity (2013) ; <https://www.entsoe.eu/about-entso-e/> (Zugriff am: 18.12.2013)
- [Eur06]** Europäische Kommission: [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu) (2006) ; [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sme/files/sme\\_definition/sme\\_user\\_guide\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sme/files/sme_definition/sme_user_guide_de.pdf) (Zugriff am: 04.12.2013)
- [Fle04]** Karlheinz Fleischer: Statistische Methodenlehre (Schwarzenbruck, 2004)
- [Geh08]** Prof. Dr.-Ing. Fritz Gehbauer: Rationalisierung /Lean/ KVP (Karlsruhe, 2008)

- [Gei12]** Eva Geisberger, Manfred Broy: agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE) (Heidelberg, 2012)
- [Gru13]** Anna Gruber, Serafin von Roon, Sebastian Peraus: Lastflexibilisierungspotenziale industrieller Querschnittstechnologien unter Berücksichtigung zunehmender Energieeffizienz, Verleger: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH; Seite: 15 (Wien, 2013)
- [Hin11]** Robert Hinterberger, Sascha Polak: Lastverschiebung in Industrie und Gewerbe in Österreich Chancen und Potenzial in zukünftigen Smart Grids (Wien, 2011)
- [Hir11]** Simon Hirzel, Dr. Clemens Rohde Benjamin Sonntag: Betriebliches Energiemanagement in der industriellen Produktion (Karlsruhe, 2011)
- [Kam10]** Andreas Kamper: Dezentrales Lastmanagement zum Ausgleich kurzfristiger Abweichungen im Stromnetz (Karlsruhe, 2010) - 978-3-86644-546-8
- [KfW13]** KfW Bankengruppe: KfW Bankengruppe - Fördern seit 65 Jahren (2013) ; <https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Über-die-KfW/Identität/Geschichte-der-KfW/> (Zugriff am: 17.12.2013)
- [KfW131]** KfW: Steckbrief Mittelstand (2013) ; <https://www.kfw.de/migration/Weiterleitung-zur-Startseite/Startseite/KfW-Konzern/KfW-Research/News/PDF-Dokumente-Research/STB-Mittelstand.pdf> (Zugriff am: 05.12.2013)
- [KIT12]** KIT- AIFB: Projekt MeRegio Meilenstein, (Karlsruhe, 09 2012)
- [Lan13]** Landtag von Baden-Württemberg: Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg, Ausgabe: Drucksache 15 /3842; (Stuttgart, 2013)
- [Lut11]** Anke Eßer-Frey, Wolf Fichtner Lutz Hillemacher: Preis- und Effizienzsignale im MeRegio Smart Grid Feldtest – Simulationen und

erste Ergebnisse (Wien, 2011)

- [MeR13]** : MeRegio - EnBW AG (2013) ;  
<http://www.enbw.com/unternehmen/konzern/innovation-forschung/energiesystem/meregio/index.html> (Zugriff am: 05.12.2013)
- [Min13]** Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM): Die Zahlen mit denen wir in Baden-Württemberg die Energiewende schaffen 50-80-90, Verleger: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM); (Stuttgart, 2013)
- [NAM12]** NAMUR: NAMUR: News (06 2012)  
[http://www.namur.de/nc/publikationen-und-news/news/news/article/das-namur-arbeitsblatt-140-ist-neu-erschienen/?tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=156](http://www.namur.de/nc/publikationen-und-news/news/news/article/das-namur-arbeitsblatt-140-ist-neu-erschienen/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=156) (Zugriff am: 23.12.2013)
- [NAM13]** NAMUR: NAMUR: Über uns ; <http://www.namur.de/start/> (Zugriff am: 23.12.2013)
- [Pro12]** Projekt MeRegio: Das Projekt MeRegio - Ein Beitrag zur Energiewende-, Verleger: EnBW; (Karlsruhe, 2012)
- [Raa04]** G. Raab, A Unger, F Unger: Methoden der Marketing-Forschung: Grundlagen und Praxisbeispiele (Wiesbaden, 2004)
- [Raz11]** N.M. Razali, Y.B. Wah: Power Comparisons of Shapiro Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests, In: Journal of Statistical Modeling and Analytics; Ausgabe: Nr.1; Seite: 21-33 (2011)
- [Sch12]** R. Schlittgen: Einführung in die Statistik: Analyse und Modellierung von Daten (München, 2012)
- [Sch91]** J. Schwarze: Grundlagen der Statistik II (Herne, 1991)
- [Spo02]** Sportministerkonferenz, Deutscher Sportbund, Deutscher Städtetag: [www.dosb.de](http://www.dosb.de) (11 2002) [http://www.dosb.de/fileadmin/fm-dsb/arbeitsfelder/umwelt-sportstaetten/Veroeffentlichungen/Sportst\\_ttenstatistik.pdf](http://www.dosb.de/fileadmin/fm-dsb/arbeitsfelder/umwelt-sportstaetten/Veroeffentlichungen/Sportst_ttenstatistik.pdf) (Zugriff am:

17.12.2013)

- [Sta12]** Statistisches Bundesamt (destatis) / Statistisches Unternehmensregister: Unternehmen nach Wirtschaftsklassen und Größenklassen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Berichtsjahr 2010 (Wiesbaden, 10 2012)
- [Sta13]** Statistisches Bundesamt: destatis.de (08 2013)  
[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Umweltstatistische Erhebungen/Wasserwirtschaft/AbwasserOeffentlich2190212109004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/AbwasserOeffentlich2190212109004.pdf?__blob=publicationFile) (Zugriff am: 05.12.2013)
- [Sta131]** Statistisches Bundesamt (destatis): Wirtschaftsberreiche - Energie - Energieverwendung (2013) ;  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Verwendung/Tabellen/KohleErdgasStrom.html> (Zugriff am: 05.12.2013)
- [Sta14]** Statistisches Bundesamt: Wirtschaftsberreiche- Energie - Erzeugung - Ststistisches Bundesamt (destatis) (04 2014)  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Erzeugung/Tabellen/Bruttostromerzeugung.html> (Zugriff am: 04.04.2014)
- [Tei13]** Teilnehmer Smart Grids Plattform Baden-Württemberg: Rodmap der Smart Grids Plattform Baden-Württemberg (Stuttgart, 2013)
- [TÜV13]** TÜV SÜD: TÜV SÜD - ISO 50001 ; <http://www.tuev-sued.de/management-systeme/energiemanagementsysteme/iso-50001> (Zugriff am: 04.12.2013)
- [TÜV131]** TÜV Rheinland: tuv.com (08 2013)  
[http://www.tuv.com/media/germany/60\\_systeme/energie\\_umwelt/microseite/TR\\_Nachweistabelle\\_SpaEfV\\_2013-06-20.pdf](http://www.tuv.com/media/germany/60_systeme/energie_umwelt/microseite/TR_Nachweistabelle_SpaEfV_2013-06-20.pdf) (Zugriff am: 05.12.2013)
- [VDI98]** VDI 3922: Energieberatung für Industrie und Gewerbe VDI (Juni 1998)
- [Wie13]** Eberhard Wieber, Johannes Winter: Energiemangement Vergleich der

50001 und 16247 (Durmshheim, 2013)

**[Win11]** Johannes Winter, Michael Hager: Projekt MeRegio Meilenstein 3,  
(Karlsruhe, 08 2011)

## E. Anhang

Die statistischen Werte die im Anhang wiedergegeben werden, sind nach den Unternehmen geordnet. Zuerst wird der Komogorov-Smirnov-Test wieder gegeben, danach die weiteren statistischen Werte.

### Unternehmen 3: Test auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,068	480	,000	,967	480	,000

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,108	480	,000	,944	480	,000

### Unternehmen 4: Test auf Normalverteilung

Für den Referenzzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,247	768	,000	,784	768	,000

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,144	672	,000	,777	672	,000

Für den Gesamtzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,244	3360	,000	,798	3360	,000



	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,112	2880	,000	,813	2880	,000

## Unternehmen 5: Test auf Normalverteilung

Für den Referenzzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,236	672	,000	,863	672	,000

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,308	672	,000	,729	672	,000

Für den Gesamtzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,267	3264	,000	,854	3264	,000

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,349	2784	,000	,726	2784	,000

## Unternehmen 6: Test auf Normalverteilung

Für den Referenzzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,074	672	,000	,949	672	,000

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,086	672	,000	,962	672	,000

Für den Gesamtzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,093	7968	,000	-	-	-

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,133	18182	,000	-	-	-

## Unternehmen 7: Test auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,058	401	,003	,986	401	,001

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,090	672	,000	,965	672	,000

## Öffentliche Einrichtung 2: Test auf Normalverteilung

Für den Referenzzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	0,70	1824	,000	,965	1824	,000

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,050	1824	,000	,951	1824	,000

Für den Gesamtzeitraum

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Vorher	,072	17379	,000	-	-	-

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Nachher	,087	11042	,000	-	-	-



16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
85,33	84,46	84,26	84,03	84,07	84,15	82,43	81,60	82,47	81,96	81,42	81,92	81,30	81,12	81,38	82,39	82,41	82,37	80,40	80,51	78,64	77,30	76,69	74,98	74,68	74,94	74,22	73,51	73,23	73,35	72,91	81,97
39,66	47,59	46,50	51,12	50,88	54,13	46,03	49,00	51,81	51,43	50,37	50,04	52,88	52,15	51,66	55,42	54,74	49,69	47,07	46,64	48,51	47,98	42,94	49,70	44,44	44,16	50,21	48,83	48,23	50,04	49,59	33,70
109,69	121,63	109,56	104,27	110,17	111,24	102,14	106,82	106,27	111,69	110,44	109,69	104,66	116,81	108,90	114,08	115,02	109,72	106,29	112,94	103,80	103,79	101,36	102,38	96,79	101,74	101,49	93,71	92,36	90,52	90,34	130,08
13,26	13,70	13,67	12,67	13,74	13,68	12,73	12,24	11,84	12,16	13,45	13,15	12,50	13,34	12,76	13,72	14,00	14,21	13,68	14,21	13,68	13,11	12,26	10,84	11,34	11,48	10,77	10,39	9,98	9,83	9,84	15,14
85,83	85,42	84,33	84,12	84,53	84,64	81,87	82,28	83,05	81,69	82,97	81,35	82,40	81,86	80,92	80,86	81,93	80,70	79,47	78,02	75,32	74,02	72,60	71,67	70,97	69,98	70,04	69,62	69,14	69,23	68,12	79,47
42,75	53,62	54,56	57,20	55,22	56,32	56,44	57,00	56,94	55,34	57,18	55,39	55,56	54,98	54,85	54,78	52,91	54,48	52,93	54,68	53,99	50,99	54,37	52,08	53,92	51,51	51,16	51,86	50,82	53,34	53,13	30,79
107,85	125,57	114,48	105,66	113,16	124,87	119,05	114,96	118,66	110,57	113,09	101,63	105,17	113,51	117,35	102,94	107,53	106,06	99,40	104,10	96,22	99,14	104,64	103,34	90,12	91,30	88,62	86,29	92,89	87,45	91,50	145,00
16,50	16,10	15,43	15,04	14,86	16,09	14,10	13,65	15,11	13,76	13,15	13,57	13,48	13,74	14,03	12,56	14,18	12,89	12,18	12,75	11,22	11,57	11,12	11,12	10,76	10,39	9,86	9,80	9,95	10,21	10,05	16,45
81,21	79,98	78,16	79,51	79,53	78,46	76,26	75,59	76,46	75,83	75,66	75,21	75,13	75,14	74,82	74,65	74,49	73,65	72,95	70,86	69,23	67,82	66,62	65,58	64,34	63,52	62,63	62,85	62,28	61,90	62,01	73,26
51,96	50,80	50,32	48,43	51,03	50,66	48,89	50,35	48,79	49,05	48,96	48,96	48,38	48,00	45,69	47,10	47,51	48,73	46,82	46,98	47,96	46,16	49,05	47,77	43,46	46,64	45,73	47,15	46,01	46,61	47,10	24,60
106,39	101,20	98,85	101,29	107,11	100,86	97,85	96,22	98,84	101,21	99,40	99,14	101,18	101,64	99,96	99,31	92,41	103,46	92,90	92,95	101,24	87,11	82,96	85,88	83,46	85,50	80,49	82,82	82,79	82,19	78,58	121,29
14,39	13,81	12,91	13,38	13,79	12,79	11,68	12,07	12,54	13,05	12,80	13,16	12,90	12,03	12,35	12,06	11,40	11,16	10,96	10,55	10,33	9,58	9,62	9,33	9,12	9,12	8,26	8,32	8,62	8,40	8,15	16,21
90,86	91,77	91,15	88,86	89,23	88,17	87,20	87,13	88,00	87,39	87,32	86,84	86,89	87,33	86,14	86,02	86,03	86,27	85,31	83,64	81,43	79,74	78,77	78,07	77,59	77,39	76,58	76,90	76,29	75,38	75,64	85,49
42,46	47,12	54,31	48,48	50,53	54,22	59,75	53,35	46,75	49,07	54,11	52,31	48,46	54,81	52,70	48,85	50,77	57,03	48,68	47,86	54,70	48,72	43,97	52,23	53,48	49,38	46,72	53,87	53,64	54,90	46,84	37,08
127,43	127,21	137,05	119,42	128,81	120,04	109,09	106,18	115,84	116,18	108,45	110,94	122,03	106,65	103,74	103,23	112,56	112,51	104,46	104,30	103,63	100,74	100,39	93,65	95,21	97,30	96,84	102,11	96,55	89,16	88,97	152,60
14,35	15,95	14,44	14,04	14,56	12,83	11,75	12,28	13,22	12,87	11,51	12,44	12,75	12,35	12,14	11,79	12,59	13,12	13,14	11,89	10,66	10,07	10,64	9,11	8,72	8,96	8,91	9,27	8,55	7,51	8,12	15,38
<b>86,29</b>	<b>85,99</b>	<b>85,14</b>	<b>84,60</b>	<b>84,80</b>	<b>84,26</b>	<b>82,50</b>	<b>82,16</b>	<b>83,01</b>	<b>82,30</b>	<b>82,31</b>	<b>81,91</b>	<b>81,92</b>	<b>81,92</b>	<b>81,37</b>	<b>81,56</b>	<b>81,72</b>	<b>81,39</b>	<b>80,16</b>	<b>78,93</b>	<b>76,86</b>	<b>75,40</b>	<b>74,40</b>	<b>73,30</b>	<b>72,66</b>	<b>72,32</b>	<b>71,66</b>	<b>71,55</b>	<b>71,06</b>	<b>70,73</b>	<b>70,52</b>	<b>80,74</b>
39,66	47,12	46,50	48,43	50,53	50,66	46,03	49,00	46,75	49,05	48,96	48,96	48,38	48,00	45,69	47,10	47,51	48,73	46,82	46,64	47,96	46,16	42,94	47,77	43,46	44,16	45,73	47,15	46,01	46,61	46,84	24,60
<b>127,43</b>	<b>127,21</b>	<b>137,05</b>	<b>119,42</b>	<b>128,81</b>	<b>124,87</b>	<b>119,05</b>	<b>114,96</b>	<b>118,66</b>	<b>116,18</b>	<b>113,09</b>	<b>110,94</b>	<b>122,03</b>	<b>116,81</b>	<b>117,35</b>	<b>114,08</b>	<b>115,02</b>	<b>112,51</b>	<b>106,29</b>	<b>112,94</b>	<b>103,80</b>	<b>103,79</b>	<b>104,64</b>	<b>103,34</b>	<b>96,79</b>	<b>101,74</b>	<b>101,49</b>	<b>102,11</b>	<b>96,55</b>	<b>90,52</b>	<b>91,50</b>	<b>152,60</b>
14,90	15,56	14,87	14,13	14,66	14,12	13,07	13,16	13,72	13,56	13,36	13,68	13,55	13,57	13,35	13,22	13,70	13,79	13,46	13,33	12,48	12,03	11,94	11,07	11,14	11,34	10,89	10,87	10,65	10,29	10,40	16,34



16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
85,55	81,21	76,41	68,98	65,83	64,64	63,09	62,17	60,87	61,05	61,33	60,64	61,16	61,37	60,67	60,08	59,22	59,52	59,80	59,56	57,22	57,19	55,38	54,53	53,96	54,06	53,41	52,45	52,47	52,69	52,72	93,75
42,65	43,64	44,13	43,87	43,22	43,44	42,89	42,68	42,93	42,59	43,55	41,82	43,63	42,59	43,11	43,47	42,89	42,14	42,51	42,74	43,08	43,64	43,58	43,11	43,81	43,53	43,47	41,57	43,02	43,34	42,85	41,20
186,12	185,97	163,80	123,96	104,54	111,86	107,56	91,59	86,59	90,23	90,84	86,56	88,73	95,38	85,34	83,60	97,00	89,35	92,65	87,04	82,82	79,34	76,05	75,00	75,86	79,09	69,99	68,86	68,29	69,19	70,12	327,34
34,60	31,87	26,96	18,20	14,86	14,73	12,73	11,15	11,32	11,66	11,59	10,81	11,08	11,44	10,74	10,60	10,42	11,38	11,41	10,68	8,84	9,13	7,45	7,67	7,73	7,54	7,11	6,66	6,62	6,50	6,94	64,00
108,66	103,45	98,61	88,24	83,88	80,32	79,77	77,42	75,00	75,46	75,55	76,47	76,34	76,68	76,22	75,65	74,41	73,04	72,56	71,36	68,77	68,37	68,27	68,25	67,81	67,37	66,16	66,94	66,61	66,40	66,01	105,88
45,51	47,98	46,59	45,86	46,26	45,75	45,16	46,09	49,11	49,15	48,40	51,92	48,69	48,21	49,20	49,85	47,83	49,11	48,01	46,77	47,12	47,20	46,23	44,69	46,76	44,38	43,62	46,68	46,25	44,32	47,31	43,03
301,17	269,33	255,51	189,16	183,34	188,66	183,52	169,60	155,36	133,21	123,54	124,02	123,03	125,68	121,77	121,46	120,98	120,51	120,56	121,33	128,44	125,59	123,10	120,99	122,38	122,55	121,03	122,27	122,66	123,55	120,38	333,93
56,83	53,19	48,12	33,28	29,39	28,28	28,00	23,61	20,64	19,51	19,19	18,81	19,24	18,96	18,73	18,24	18,48	18,72	18,58	18,86	19,80	19,84	19,92	19,93	19,62	19,65	19,86	20,42	19,80	20,08	20,08	64,95
82,89	77,04	72,99	68,90	66,27	63,27	61,95	61,25	60,33	59,71	59,33	59,02	59,22	58,29	58,11	58,03	57,34	56,99	56,90	56,23	55,11	55,20	54,57	54,13	53,40	53,78	53,17	53,46	52,79	52,31	52,60	85,12
45,43	44,80	43,94	42,97	44,87	44,67	43,90	43,72	43,10	43,31	45,07	44,64	43,87	42,66	43,75	44,63	43,37	43,66	44,30	43,13	44,36	43,54	43,58	44,50	44,24	43,75	43,04	42,64	43,85	43,57	43,86	41,50
169,76	161,74	140,44	136,64	149,93	139,74	107,10	97,15	93,06	88,38	92,46	92,63	91,35	85,01	84,05	84,10	85,28	85,24	90,78	86,54	84,16	82,23	91,27	85,31	84,18	83,84	78,06	78,97	77,25	77,21	76,95	284,23
34,11	28,47	23,65	21,93	18,72	16,73	13,64	12,66	11,21	11,41	11,25	11,55	10,79	9,99	10,03	9,88	9,78	9,32	9,84	9,03	8,12	7,83	7,84	7,21	7,15	7,25	6,97	7,43	7,00	6,79	6,72	50,52
101,19	98,56	94,15	89,32	86,99	86,52	85,69	83,73	81,76	81,18	79,84	79,71	77,41	75,85	77,29	76,93	72,91	72,97	73,24	73,58	71,88	72,06	67,25	64,98	64,74	64,76	64,32	63,74	63,80	63,36	63,57	113,82
45,17	45,82	47,46	47,39	47,06	47,43	47,29	47,71	45,75	48,98	49,48	46,49	47,58	46,54	45,58	48,99	49,09	45,74	47,46	49,71	46,76	45,85	48,69	46,81	45,87	45,59	43,38	45,00	46,65	45,05	45,58	43,38
318,92	300,18	273,84	261,95	222,63	233,56	204,34	185,57	142,75	146,87	135,37	130,79	118,93	117,01	126,50	137,13	105,34	107,12	105,83	106,74	108,16	106,15	94,17	91,08	97,43	95,89	93,75	92,92	88,47	93,13	95,20	355,41
51,13	47,37	41,48	35,43	30,92	30,13	27,91	24,20	19,54	18,67	18,64	17,85	16,02	15,38	16,91	15,75	13,84	14,19	14,11	13,92	13,36	13,58	11,11	10,81	12,06	12,13	11,62	11,52	11,44	11,63	11,50	78,55
<b>95,25</b>	<b>90,70</b>	<b>86,16</b>	<b>79,29</b>	<b>76,11</b>	<b>73,98</b>	<b>72,94</b>	<b>71,42</b>	<b>69,73</b>	<b>69,62</b>	<b>69,30</b>	<b>68,90</b>	<b>68,45</b>	<b>68,45</b>	<b>68,04</b>	<b>66,37</b>	<b>65,98</b>	<b>65,95</b>	<b>65,46</b>	<b>63,50</b>	<b>63,44</b>	<b>61,69</b>	<b>60,84</b>	<b>60,35</b>	<b>60,34</b>	<b>59,59</b>	<b>59,52</b>	<b>59,29</b>	<b>59,06</b>	<b>59,07</b>	<b>99,92</b>	
42,65	43,64	43,94	42,97	43,22	43,44	42,89	42,68	42,93	42,59	43,55	41,82	43,63	42,59	43,11	43,47	42,89	42,14	42,51	42,74	43,08	43,54	43,58	43,11	43,81	43,53	43,04	41,57	43,02	43,34	42,85	41,20
<b>318,92</b>	<b>300,18</b>	<b>273,84</b>	<b>261,95</b>	<b>222,63</b>	<b>233,56</b>	<b>204,34</b>	<b>185,57</b>	<b>155,36</b>	<b>146,87</b>	<b>135,37</b>	<b>130,79</b>	<b>123,03</b>	<b>125,68</b>	<b>126,50</b>	<b>137,13</b>	<b>120,98</b>	<b>120,51</b>	<b>120,56</b>	<b>121,33</b>	<b>128,44</b>	<b>125,59</b>	<b>123,10</b>	<b>120,99</b>	<b>122,38</b>	<b>122,55</b>	<b>121,03</b>	<b>122,27</b>	<b>122,66</b>	<b>123,55</b>	<b>120,38</b>	<b>355,41</b>
47,19	43,65	38,75	30,10	26,52	25,68	24,41	21,39	18,84	18,37	18,06	17,88	17,13	16,82	17,19	16,69	15,89	15,97	15,94	15,77	15,49	15,53	14,58	14,43	14,60	14,50	14,33	14,68	14,39	14,47	14,41	66,10





16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
284,50	281,36	273,53	263,30	254,03	244,36	237,92	230,92	226,23	216,88	216,49	217,41	210,36	210,86	211,59	209,49	209,94	207,38	205,27	200,82	190,69	176,95	164,55	152,40	140,76	124,00	102,35	87,80	77,43	69,57	63,17	227,81
16,75	18,20	16,96	11,04	8,10	5,95	7,37	11,81	13,31	15,54	15,53	18,26	17,68	17,04	16,27	18,20	16,78	17,60	18,04	17,45	16,88	17,33	19,44	17,43	17,30	19,94	19,05	18,82	17,91	20,46	20,12	5,95
482,56	473,50	468,83	489,93	479,90	482,09	463,57	432,99	441,52	434,29	420,62	433,70	424,32	417,32	407,66	407,72	426,58	410,06	415,36	413,45	410,61	426,22	417,58	405,26	400,57	360,67	328,15	284,38	251,86	185,88	131,85	532,81
147,83	147,37	144,68	144,60	150,05	147,91	145,77	142,37	143,40	141,48	143,50	146,79	142,83	144,10	145,84	145,46	146,91	146,40	145,25	144,03	139,28	134,29	128,77	124,80	118,92	101,92	79,15	64,12	52,45	38,63	31,27	170,09
254,26	249,06	244,62	238,26	237,95	231,51	226,15	221,77	215,99	211,30	212,38	212,46	211,62	211,52	209,91	208,33	206,31	203,63	199,09	190,97	174,66	158,61	142,86	126,16	108,74	96,40	88,23	75,54	68,65	66,43	63,85	220,72
23,03	22,39	20,89	20,09	21,88	22,37	21,84	23,05	22,16	20,45	21,51	21,13	22,56	21,34	22,79	21,18	22,49	22,77	23,49	22,48	21,99	22,11	21,44	22,59	22,41	21,87	20,82	21,88	21,64	23,27	20,13	8,61
446,62	437,12	442,07	427,78	419,38	402,10	424,98	422,36	396,34	404,77	397,14	405,22	372,42	395,76	406,22	400,84	411,00	416,68	434,07	428,46	411,91	423,86	437,36	416,89	373,16	323,29	282,57	205,45	175,90	147,17	124,52	531,38
149,31	149,28	148,45	145,05	145,13	140,50	136,82	134,95	131,57	129,20	131,11	132,16	132,34	135,29	136,03	135,11	135,92	137,16	134,94	131,72	122,19	114,98	105,37	91,93	76,32	62,92	52,23	40,35	33,30	30,91	27,10	161,78
285,70	276,01	263,79	251,69	241,10	227,54	215,63	205,78	194,39	187,17	190,09	191,08	191,27	189,15	185,86	180,07	175,62	174,69	172,86	167,67	155,41	140,09	124,14	106,64	91,77	76,98	65,42	54,99	50,22	49,02	47,63	229,10
37,30	31,54	29,76	29,84	28,38	24,87	21,55	22,49	22,36	24,38	18,59	22,73	17,89	18,98	18,36	18,66	18,82	19,44	18,43	20,03	19,71	19,74	19,66	21,52	18,77	19,35	19,61	18,62	17,81	17,51	18,43	14,55
485,23	456,06	461,34	428,20	436,60	430,89	391,64	368,33	384,50	374,30	386,57	373,34	363,43	366,31	367,24	361,07	380,26	356,34	353,18	358,72	375,38	318,50	298,96	284,15	268,23	229,22	127,98	98,09	85,46	80,03	83,13	553,51
108,67	110,78	111,33	107,43	109,95	113,19	113,56	114,74	110,10	109,88	116,45	119,06	120,60	121,86	122,73	119,11	117,62	119,68	118,76	115,85	107,79	96,83	83,71	72,65	59,69	44,58	32,28	23,00	19,55	18,36	18,00	158,96
262,14	262,71	263,46	256,38	253,58	251,04	250,19	248,29	243,44	234,81	232,01	235,50	226,37	222,74	228,85	230,78	231,07	230,79	227,25	223,37	217,39	208,97	205,33	197,16	187,71	162,11	131,33	104,77	94,90	89,20	80,26	222,57
18,48	17,28	18,85	20,74	23,67	21,83	23,98	22,61	23,50	22,58	21,60	22,38	23,17	22,54	22,04	24,11	23,20	23,40	25,15	22,58	23,42	24,29	22,13	23,87	23,69	22,43	22,93	22,87	23,11	22,81	23,79	0,00
444,83	455,16	445,64	448,83	438,65	428,98	417,80	437,43	422,19	396,79	403,79	416,96	400,30	391,48	401,65	392,41	411,59	413,19	405,86	412,80	419,50	397,83	390,38	417,17	398,09	376,75	381,80	326,46	274,02	222,40	182,65	549,18
166,85	165,91	166,80	160,57	157,25	154,45	152,94	151,18	148,49	142,23	140,85	143,90	138,31	137,17	143,22	143,22	145,14	146,05	143,77	143,72	143,98	141,39	140,59	136,42	131,76	113,50	85,88	61,49	52,10	45,92	40,69	171,06
<b>272,97</b>	<b>268,01</b>	<b>261,23</b>	<b>252,04</b>	<b>245,89</b>	<b>237,13</b>	<b>230,33</b>	<b>224,06</b>	<b>217,15</b>	<b>209,80</b>	<b>210,37</b>	<b>211,49</b>	<b>207,86</b>	<b>206,80</b>	<b>206,61</b>	<b>204,24</b>	<b>202,61</b>	<b>200,83</b>	<b>197,90</b>	<b>192,33</b>	<b>180,55</b>	<b>166,57</b>	<b>153,63</b>	<b>139,35</b>	<b>125,55</b>	<b>109,16</b>	<b>92,63</b>	<b>77,86</b>	<b>70,10</b>	<b>66,02</b>	<b>61,68</b>	<b>225,39</b>
16,75	17,28	16,96	11,04	8,10	5,95	7,37	11,81	13,31	15,54	15,53	18,26	17,68	17,04	16,27	18,20	16,78	17,60	18,04	17,45	16,88	17,33	19,44	17,43	17,30	19,35	19,05	18,62	17,81	17,51	18,43	0,00
485,23	473,50	468,83	489,93	479,90	482,09	463,57	437,43	441,52	434,29	420,62	433,70	424,32	417,32	407,66	407,72	426,58	416,68	434,07	428,46	419,50	426,22	437,36	417,17	400,57	376,75	381,80	326,46	274,02	222,40	182,65	553,51
142,44	142,48	141,56	138,44	139,92	138,30	136,68	135,32	133,43	130,98	133,25	135,76	133,76	135,10	137,29	136,31	137,16	137,99	136,35	134,45	128,91	122,91	116,66	110,07	102,24	86,52	66,87	51,55	43,01	35,86	30,75	164,93



16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
291,04	290,02	290,06	286,56	283,45	281,16	276,78	274,22	269,71	268,28	264,86	265,25	263,53	263,28	261,97	262,45	261,77	262,17	261,65	260,47	261,24	261,06	260,75	260,19	260,00	258,86	259,79	260,53	258,11	258,27	258,43	282,01
129,44	128,24	119,12	72,80	63,44	59,12	55,04	49,92	44,64	44,80	45,44	46,88	44,16	44,96	44,00	43,68	45,12	42,08	41,76	40,72	40,96	41,20	40,96	41,36	40,40	33,60	32,24	32,08	31,68	32,00	32,16	2,56
381,12	384,88	400,16	374,00	370,72	375,44	373,52	370,40	375,84	362,16	353,92	356,24	348,56	348,08	348,96	357,60	349,04	367,52	335,92	377,44	354,88	350,64	358,16	356,64	350,80	358,56	364,96	356,48	366,72	359,04	376,00	464,08
45,18	46,83	46,14	47,60	48,58	47,00	44,59	43,95	42,03	41,34	41,63	41,21	40,58	40,70	41,88	41,66	39,88	41,31	39,70	40,79	39,72	39,43	41,62	40,77	41,29	43,88	42,31	41,56	43,45	42,23	42,62	51,43
256,02	254,25	254,84	252,15	250,33	248,33	245,82	243,40	242,63	242,00	241,25	239,31	237,22	236,37	234,90	230,77	227,49	228,09	225,74	224,61	224,59	223,18	223,42	223,41	222,55	223,40	223,00	220,57	221,20	222,34	220,72	239,43
181,60	181,28	183,20	182,24	182,40	182,72	182,08	181,92	181,60	180,48	180,16	182,40	181,60	184,00	184,16	184,32	184,32	184,64	183,52	185,28	182,40	184,32	182,40	184,64	152,48	174,24	182,72	164,96	169,60	184,00	181,92	149,12
342,08	333,92	318,96	341,28	320,48	316,56	295,76	304,16	299,20	303,12	299,12	307,68	287,60	299,76	281,20	291,44	272,64	268,88	275,76	265,04	278,48	272,96	264,88	277,92	266,48	278,48	272,16	270,16	292,00	274,56	275,28	365,12
37,03	35,29	34,61	33,77	31,76	31,65	29,40	28,81	29,06	26,76	28,52	28,16	26,10	26,73	23,47	22,71	20,87	21,48	20,63	21,59	20,62	21,81	19,95	21,28	22,19	21,10	19,81	21,36	22,04	20,92	20,03	35,31
288,47	288,86	288,74	286,82	284,50	280,59	277,15	274,76	270,45	266,21	266,11	263,80	263,29	262,00	261,63	260,68	261,71	259,31	260,33	256,85	256,81	255,48	256,85	254,90	254,54	254,80	254,94	253,21	253,32	253,14	252,15	276,27
203,28	216,16	204,40	211,44	206,00	217,44	195,84	197,28	185,60	189,84	189,68	202,56	176,88	188,80	188,00	190,72	183,20	187,68	183,36	186,96	182,72	188,00	183,60	197,76	197,76	181,20	185,36	179,68	182,16	180,00	183,52	150,80
373,12	372,32	375,20	366,80	368,88	358,88	357,68	352,32	351,20	343,20	340,32	356,80	350,64	334,72	341,36	331,68	341,76	333,44	336,96	335,12	331,20	333,60	334,48	333,44	348,64	334,00	340,56	326,56	327,04	322,40	315,28	410,72
33,61	30,85	32,76	31,53	31,97	28,04	29,29	28,42	28,15	26,13	25,75	26,24	26,58	26,00	25,34	25,21	24,81	25,05	24,12	25,27	25,28	25,04	24,21	23,83	24,07	23,66	24,97	24,26	23,88	23,49	23,18	37,40
295,03	297,07	297,38	293,12	288,02	284,11	279,88	275,58	272,30	269,60	270,22	268,92	267,16	266,93	267,58	264,81	265,41	265,56	265,93	264,00	263,40	263,98	262,44	262,24	263,50	262,38	262,73	261,73	262,03	263,50	262,94	285,23
143,52	144,80	155,52	146,16	143,52	134,16	137,60	143,36	151,12	147,92	142,16	142,72	140,88	141,92	146,64	140,64	145,28	137,52	136,56	136,32	139,36	150,56	143,60	142,56	134,96	138,24	144,40	141,92	145,92	147,20	136,96	130,80
432,24	432,88	408,16	399,84	387,36	371,20	366,72	365,84	363,84	351,04	356,40	354,80	338,08	346,72	357,44	350,16	340,48	357,84	349,20	340,24	344,64	338,64	343,04	350,16	357,84	344,40	346,32	354,40	346,96	347,76	348,32	457,44
61,73	59,33	57,40	55,07	55,21	54,37	53,14	50,73	50,46	48,92	50,54	49,73	48,55	47,70	48,56	48,64	47,39	49,03	47,84	46,58	48,25	46,81	47,38	47,43	48,35	48,87	47,01	47,55	47,27	46,89	47,14	58,69
<b>285,50</b>	<b>285,60</b>	<b>285,76</b>	<b>282,65</b>	<b>279,46</b>	<b>276,30</b>	<b>272,55</b>	<b>269,59</b>	<b>266,11</b>	<b>263,64</b>	<b>262,74</b>	<b>261,50</b>	<b>260,06</b>	<b>259,41</b>	<b>258,88</b>	<b>257,30</b>	<b>257,04</b>	<b>256,58</b>	<b>256,45</b>	<b>254,39</b>	<b>254,43</b>	<b>253,91</b>	<b>253,86</b>	<b>253,07</b>	<b>253,11</b>	<b>252,72</b>	<b>253,04</b>	<b>252,06</b>	<b>251,62</b>	<b>252,19</b>	<b>251,53</b>	<b>273,99</b>
129,44	128,24	119,12	72,80	63,44	59,12	55,04	49,92	44,64	44,80	45,44	46,88	44,16	44,96	44,00	43,68	45,12	42,08	41,76	40,72	40,96	41,20	40,96	41,36	40,40	33,60	32,24	32,08	31,68	32,00	32,16	2,56
432,24	432,88	408,16	399,84	387,36	375,44	373,52	370,40	375,84	362,16	356,40	356,80	350,64	348,08	357,44	357,60	349,04	367,52	349,20	377,44	354,88	350,64	358,16	356,64	357,84	358,56	364,96	356,48	366,72	359,04	376,00	464,08
48,14	47,27	46,69	45,86	45,80	44,13	42,86	41,55	40,58	38,99	39,77	39,51	38,82	38,56	38,86	39,00	38,27	39,20	38,43	38,51	38,67	38,37	38,73	38,48	39,24	39,77	38,94	39,17	39,44	38,75	38,99	50,10



16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
258,73	257,82	258,96	269,37	248,44	265,94	257,73	262,12	256,25	254,77	260,09	258,73	263,03	259,83	248,96	264,99	253,47	251,36	255,41	255,81	248,49	263,51	256,65	247,19	264,48	248,56	267,19	261,33	252,97	263,42	258,39	264,96
117,18	150,60	130,04	144,84	133,56	104,00	134,17	167,42	120,36	144,64	121,40	134,64	105,24	142,12	145,32	93,36	132,72	81,20	132,20	140,36	122,40	136,24	134,68	120,84	147,44	104,16	135,80	123,48	118,80	143,52	122,00	76,33
376,02	372,20	377,12	374,92	366,58	410,03	393,58	373,54	383,58	399,91	389,52	406,88	369,12	392,32	437,12	402,92	351,16	371,44	388,28	392,24	352,84	403,12	384,00	343,60	372,24	397,28	400,12	388,12	378,52	400,40	379,16	445,74
58,42	52,06	60,48	58,58	61,46	58,35	58,53	46,47	61,79	55,96	57,43	62,01	57,30	58,19	64,46	61,78	53,06	63,26	60,79	64,75	60,21	62,25	61,89	53,43	56,75	55,79	60,81	65,45	60,46	67,35	65,06	60,36
269,17	236,98	264,37	247,94	254,26	264,84	247,04	257,70	260,03	261,28	267,60	258,87	255,38	263,33	242,99	255,06	246,34	242,21	244,09	254,54	246,04	244,64	250,22	246,57	256,91	252,93	245,78	243,05	257,69	243,40	255,45	259,50
142,67	119,48	146,60	113,04	116,16	135,03	117,48	138,84	142,76	137,52	149,96	125,76	107,32	145,92	114,56	154,16	148,76	103,48	152,36	145,12	127,52	122,12	153,36	154,28	151,64	155,36	153,72	142,56	148,00	120,16	137,88	3,01
422,15	365,04	379,44	385,59	352,24	411,50	374,08	382,88	388,16	382,08	375,80	366,08	394,72	409,00	388,48	378,20	371,52	360,28	384,08	379,00	382,72	398,52	352,40	352,64	352,44	371,36	370,40	355,88	371,00	345,84	382,00	449,86
57,00	58,34	47,70	57,06	50,08	62,07	51,41	57,28	55,87	55,39	57,55	56,47	55,19	59,14	61,30	55,29	50,27	55,71	53,86	54,71	55,70	59,81	49,81	52,72	57,55	47,07	49,40	49,74	50,72	51,92	56,47	58,06
241,27	248,14	242,61	244,87	249,14	247,72	245,96	249,75	256,53	233,33	266,23	246,89	247,51	261,44	244,60	241,75	251,99	256,82	250,54	247,03	249,92	246,31	253,79	252,10	246,42	258,39	245,50	241,02	268,30	250,97	251,69	254,19
132,78	114,90	116,91	99,51	121,66	131,00	120,39	121,92	157,06	128,34	132,54	136,72	134,67	83,34	133,76	136,64	137,88	124,32	136,76	137,48	131,72	124,52	127,04	129,08	123,56	143,64	116,92	141,72	149,96	147,92	171,60	83,34
357,50	375,02	371,54	415,99	380,70	381,44	379,56	390,12	384,94	377,88	384,77	360,88	393,20	386,46	365,84	369,76	371,36	372,28	387,20	381,68	359,32	375,44	357,68	382,24	424,76	396,16	391,52	364,92	398,32	363,76	367,80	430,44
61,68	54,47	63,35	61,98	55,61	64,08	52,79	62,53	62,70	57,44	60,78	59,79	60,24	67,22	56,25	57,33	54,61	61,99	59,69	52,49	56,31	65,08	58,71	59,60	60,57	60,25	60,48	53,42	60,50	49,67	49,13	59,69
251,53	264,47	257,26	253,96	260,70	261,10	255,06	258,48	259,75	251,24	254,95	251,86	249,73	254,15	248,84	250,83	243,05	252,52	244,43	251,45	244,36	247,88	253,03	246,76	252,87	253,46	248,13	250,27	250,72	255,39	255,32	258,83
131,80	139,44	118,40	122,76	138,92	126,44	128,60	139,44	128,88	139,04	142,76	143,72	129,00	138,12	120,00	119,92	132,28	134,00	117,72	146,44	137,16	119,40	155,44	143,16	114,24	153,72	117,84	151,36	144,28	132,84	149,92	6,49
400,20	379,04	370,16	406,76	389,20	396,28	380,44	378,88	406,84	363,84	358,72	394,00	378,40	412,24	384,68	382,16	402,40	393,88	354,80	387,96	391,48	405,32	395,04	395,44	384,84	370,40	366,12	398,60	406,44	401,48	372,72	616,86
59,81	52,79	60,76	51,91	61,75	57,03	59,07	57,75	59,71	55,39	53,72	57,36	55,84	58,32	59,64	53,27	52,20	56,79	52,23	55,07	56,43	59,34	51,17	56,94	51,06	56,27	55,55	53,08	54,17	59,29	56,06	59,61
<b>255,48</b>	<b>253,51</b>	<b>256,68</b>	<b>253,98</b>	<b>254,53</b>	<b>260,53</b>	<b>252,00</b>	<b>257,43</b>	<b>258,51</b>	<b>251,09</b>	<b>261,12</b>	<b>254,04</b>	<b>253,40</b>	<b>258,86</b>	<b>246,68</b>	<b>253,07</b>	<b>247,61</b>	<b>250,59</b>	<b>247,71</b>	<b>252,27</b>	<b>246,63</b>	<b>250,00</b>	<b>253,23</b>	<b>247,78</b>	<b>255,03</b>	<b>253,24</b>	<b>250,97</b>	<b>249,09</b>	<b>256,09</b>	<b>253,33</b>	<b>255,32</b>	<b>259,42</b>
117,18	114,90	116,91	99,51	116,16	104,00	117,48	121,92	120,36	128,34	121,40	125,76	105,24	83,34	114,56	93,36	132,28	81,20	117,72	137,48	122,40	119,40	127,04	120,84	114,24	104,16	116,92	123,48	118,80	120,16	122,00	3,01
422,15	379,04	379,44	415,99	389,20	411,50	393,58	390,12	406,84	399,91	389,52	406,88	394,72	412,24	437,12	402,92	402,40	393,88	388,28	392,24	391,48	405,32	395,04	395,44	424,76	397,28	400,12	398,60	406,44	401,48	382,00	616,86
59,94	55,43	58,75	57,12	58,19	60,22	56,27	56,60	59,83	56,65	57,01	58,76	57,09	60,34	60,51	56,81	52,55	59,10	56,05	56,73	57,07	61,53	54,68	55,79	55,96	54,97	56,82	55,61	56,29	58,14	57,01	59,51



16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
147,25	148,16	148,30	148,69	146,82	146,58	146,38	159,76	159,05	156,37	152,14	144,73	140,81	138,50	135,58	145,28	145,82	145,94	144,58	134,79	133,45	131,84	130,75	131,44	131,11	129,89	129,51	128,48	129,33	128,89	127,05	136,01
105,45	102,77	102,16	92,77	87,70	89,71	89,20	128,87	128,29	127,47	128,06	120,46	117,59	118,81	117,16	127,40	128,24	128,17	127,08	119,74	118,21	119,65	118,96	118,96	115,74	108,77	116,00	112,56	118,10	116,76	99,80	87,70
172,03	176,56	179,81	184,33	177,56	178,01	172,40	181,80	184,96	188,03	187,08	185,73	179,19	173,26	167,98	172,34	170,33	173,53	167,68	159,08	150,06	148,67	147,94	152,97	144,85	145,75	144,17	145,33	149,17	149,09	147,73	188,03
17,11	17,67	18,04	17,18	18,19	17,87	17,45	15,23	14,23	13,99	13,69	13,57	12,16	11,08	10,34	12,49	11,26	11,01	10,32	8,45	8,14	7,01	6,61	6,61	5,97	7,01	6,88	7,34	6,54	6,37	7,80	13,70
118,38	125,26	129,21	136,54	143,67	145,49	151,51	154,95	153,52	150,30	148,79	151,32	147,80	147,21	143,87	140,56	138,63	137,05	138,18	140,65	138,63	137,53	141,48	132,23	134,43	133,62	133,02	131,11	132,30	129,57	125,05	126,38
78,05	77,52	78,64	76,97	74,13	78,26	84,11	82,47	72,70	69,74	77,92	74,56	70,92	72,13	79,68	70,66	67,77	45,18	82,00	98,91	86,72	90,09	84,91	91,33	84,12	83,07	87,79	55,65	82,67	77,91	82,02	41,25
168,83	185,22	198,16	198,83	201,48	208,27	217,56	212,06	209,38	206,07	205,61	199,39	191,49	184,39	185,52	183,59	178,42	183,76	180,45	176,50	175,72	175,42	171,59	172,94	176,24	174,06	174,17	172,95	170,99	165,90	175,71	217,56
23,23	25,50	26,81	28,83	28,16	30,98	31,60	28,33	29,15	29,08	26,64	23,52	23,79	24,66	25,02	25,40	24,69	24,38	22,40	17,93	21,52	19,06	18,01	18,98	21,79	22,27	22,18	21,55	19,20	20,21	21,44	29,18
144,21	141,27	144,51	145,80	150,19	154,36	151,08	161,52	166,09	171,58	173,43	167,44	166,48	151,86	142,70	149,95	147,56	151,66	156,31	174,22	175,37	173,43	174,32	173,72	174,27	170,89	169,68	165,96	162,42	161,94	162,13	144,44
66,75	70,32	78,55	75,75	81,57	93,30	74,22	89,35	99,73	124,89	123,55	112,71	123,46	92,84	79,68	109,84	122,89	118,23	118,03	134,71	134,11	121,48	130,51	135,27	135,88	120,30	116,07	110,84	91,65	124,64	118,97	55,70
192,30	193,04	216,98	210,03	219,39	220,49	221,18	223,13	221,58	221,44	220,51	217,23	212,25	199,38	192,82	191,58	195,06	200,78	201,91	214,61	217,85	207,18	209,55	204,42	204,69	202,94	198,49	193,32	185,69	185,15	181,04	223,13
27,88	30,11	27,94	25,37	28,46	25,96	28,60	25,06	23,16	22,37	21,19	20,38	17,27	23,52	26,98	19,90	19,31	19,20	17,20	14,80	15,93	19,23	15,79	16,10	15,13	17,16	15,18	16,75	19,15	16,60	13,85	29,50
144,20	143,53	143,37	143,23	143,20	142,81	142,59	153,63	154,01	150,35	147,95	140,23	137,01	134,79	132,37	135,95	138,31	138,23	138,40	133,95	131,93	131,51	129,59	128,51	128,65	127,96	128,65	127,17	125,39	124,26	124,16	134,32
112,85	116,30	115,58	101,58	96,73	108,39	106,85	113,36	124,11	119,47	119,97	120,02	114,96	111,65	112,52	118,27	119,38	117,57	115,77	110,97	118,62	108,34	113,02	113,67	115,62	101,68	104,64	107,20	110,93	101,08	101,77	85,28
168,74	168,66	165,64	176,74	170,03	168,69	169,77	180,19	176,61	175,60	172,68	173,27	167,70	163,36	157,97	159,64	164,21	160,38	160,96	159,22	155,63	159,78	154,28	153,70	146,05	148,55	151,23	149,60	147,01	147,15	139,78	180,19
14,33	14,02	14,28	14,54	14,46	13,61	13,60	14,91	14,15	13,63	13,05	13,65	11,88	11,29	9,27	8,36	8,98	8,72	9,58	9,70	7,68	9,97	8,23	6,85	6,49	8,13	8,03	8,01	6,63	8,00	7,50	12,91
<b>136,57</b>	<b>138,22</b>	<b>140,01</b>	<b>142,59</b>	<b>145,24</b>	<b>146,37</b>	<b>147,62</b>	<b>156,58</b>	<b>156,89</b>	<b>155,13</b>	<b>153,39</b>	<b>149,29</b>	<b>146,22</b>	<b>142,38</b>	<b>138,42</b>	<b>141,61</b>	<b>141,44</b>	<b>141,64</b>	<b>142,59</b>	<b>143,14</b>	<b>141,80</b>	<b>140,67</b>	<b>141,26</b>	<b>138,00</b>	<b>138,78</b>	<b>137,49</b>	<b>137,24</b>	<b>135,32</b>	<b>134,69</b>	<b>133,29</b>	<b>131,50</b>	<b>133,83</b>
66,75	70,32	78,55	75,75	74,13	78,26	74,22	82,47	72,70	69,74	77,92	74,56	70,92	72,13	79,68	70,66	67,77	45,18	82,00	98,91	86,72	90,09	84,91	91,33	84,12	83,07	87,79	55,65	82,67	77,91	82,02	41,25
192,30	193,04	216,98	210,03	219,39	220,49	221,18	223,13	221,58	221,44	220,51	217,23	212,25	199,38	192,82	191,58	195,06	200,78	201,91	214,61	217,85	207,18	209,55	204,42	204,69	202,94	198,49	193,32	185,69	185,15	181,04	223,13
24,13	23,83	23,40	22,79	22,98	23,59	24,30	22,09	22,06	22,65	21,87	20,73	20,21	19,91	19,94	18,72	17,99	18,19	17,46	19,78	21,52	21,18	20,68	21,17	21,82	21,79	21,13	20,57	19,21	19,49	20,09	23,36





16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
425,52	430,50	430,43	431,85	431,22	431,87	440,61	439,70	441,37	446,20	444,13	437,91	440,24	446,22	447,13	442,61	445,17	446,57	446,09	441,52	446,76	453,80	456,35	451,61	452,37	455,15	452,80	450,26	450,52	448,52	448,96	424,33
256,00	248,00	256,00	264,00	246,00	274,00	276,00	264,00	262,00	264,00	268,00	282,00	268,00	256,00	272,00	262,00	290,00	278,00	296,00	290,00	296,00	294,00	298,00	282,00	268,00	258,00	274,00	298,00	286,00	292,00	294,00	228,00
664,00	690,00	708,00	666,00	652,00	668,00	724,00	688,00	662,00	638,00	656,00	656,00	684,00	644,00	646,00	632,00	734,00	694,00	748,00	674,00	598,00	622,00	626,00	624,00	610,00	622,00	618,00	612,00	628,00	626,00	610,00	748,00
94,59	99,89	99,05	94,30	93,42	94,60	103,99	103,12	100,38	100,30	97,63	91,75	96,94	97,68	93,64	94,71	91,31	94,78	86,82	78,65	74,39	78,70	79,43	79,54	76,69	80,67	82,36	80,19	83,09	80,14	78,51	80,52
417,85	421,13	423,89	419,42	432,22	436,44	444,47	445,35	440,80	443,67	444,51	443,71	449,49	453,85	455,85	450,91	443,38	446,91	444,58	446,51	449,49	443,60	447,44	444,54	442,07	439,93	434,39	433,11	429,32	432,93	421,43	411,39
248,00	232,00	214,00	220,00	228,00	232,00	232,00	238,00	244,00	244,00	240,00	254,00	242,00	258,00	260,00	272,00	276,00	280,00	274,00	274,00	276,00	270,00	288,00	268,00	284,00	274,00	276,00	260,00	264,00	286,00	256,00	214,00
592,00	564,00	590,00	606,00	672,00	726,00	704,00	608,00	662,00	626,00	652,00	580,00	616,00	672,00	622,00	666,00	626,00	688,00	658,00	586,00	622,00	658,00	622,00	648,00	614,00	594,00	660,00	612,00	572,00	614,00	634,00	732,00
86,69	85,08	86,25	86,00	100,77	107,31	109,06	105,65	105,21	103,81	103,97	93,51	98,24	105,97	104,96	103,65	98,63	102,33	94,67	89,39	91,08	87,36	85,63	94,07	77,57	75,76	79,27	77,25	72,98	79,11	80,68	80,44
407,22	411,14	418,23	419,72	415,77	425,44	425,72	420,76	418,03	423,26	421,36	421,09	422,86	422,99	415,82	420,73	424,28	417,85	419,08	420,77	419,36	418,77	425,77	431,87	428,87	424,36	424,28	422,36	427,23	427,82	429,82	406,87
238,00	250,00	264,00	266,00	206,00	196,00	198,00	196,00	202,00	236,00	240,00	210,00	198,00	222,00	222,00	192,00	212,00	202,00	206,00	210,00	202,00	202,00	206,00	198,00	220,00	188,00	216,00	224,00	198,00	220,00	260,00	188,00
588,00	572,00	678,00	590,00	620,00	610,00	604,00	590,00	572,00	604,00	610,00	642,00	644,00	604,00	590,00	580,00	590,00	580,00	598,00	634,00	610,00	558,00	596,00	622,00	586,00	606,00	648,00	606,00	626,00	614,00	604,00	678,00
89,65	88,92	95,85	92,85	92,21	96,14	100,98	95,37	95,31	97,84	89,21	100,44	97,77	93,02	90,48	92,31	88,90	81,44	81,04	79,14	74,89	78,10	81,03	84,01	84,12	85,43	80,85	79,49	81,82	82,32	80,39	81,36
439,54	438,51	438,66	435,25	436,42	435,56	436,04	442,18	441,54	443,12	448,51	446,46	448,11	449,05	442,22	442,24	439,32	439,21	437,05	440,51	444,66	437,27	435,12	433,60	425,27	420,79	416,81	421,23	414,88	422,88	420,53	414,42
256,00	228,00	252,00	250,00	254,00	238,00	250,00	202,00	206,00	212,00	202,00	212,00	196,00	214,00	206,00	232,00	210,00	202,00	204,00	218,00	196,00	214,00	210,00	202,00	226,00	218,00	208,00	214,00	204,00	212,00	200,00	192,00
648,00	686,00	694,00	682,00	620,00	626,00	668,00	656,00	660,00	664,00	632,00	694,00	684,00	708,00	648,00	636,00	612,00	690,00	634,00	652,00	704,00	700,00	738,00	654,00	614,00	682,00	652,00	600,00	724,00	682,00	632,00	738,00
93,19	99,36	96,98	97,17	97,43	99,77	103,16	104,71	107,08	102,62	106,00	106,10	107,23	107,25	101,38	99,63	91,32	93,20	90,76	90,94	95,71	93,73	90,52	87,82	82,31	82,23	83,38	83,32	87,72	81,67	87,18	83,82
<b>423,65</b>	<b>426,35</b>	<b>428,62</b>	<b>427,65</b>	<b>429,03</b>	<b>432,12</b>	<b>436,26</b>	<b>436,67</b>	<b>435,50</b>	<b>439,21</b>	<b>439,84</b>	<b>437,18</b>	<b>439,77</b>	<b>442,57</b>	<b>439,43</b>	<b>438,49</b>	<b>437,97</b>	<b>437,36</b>	<b>436,56</b>	<b>436,97</b>	<b>439,87</b>	<b>438,62</b>	<b>441,18</b>	<b>440,33</b>	<b>436,99</b>	<b>435,02</b>	<b>432,20</b>	<b>432,03</b>	<b>430,81</b>	<b>433,30</b>	<b>431,22</b>	<b>414,88</b>
<b>238,00</b>	<b>228,00</b>	<b>214,00</b>	<b>220,00</b>	<b>206,00</b>	<b>196,00</b>	<b>198,00</b>	<b>196,00</b>	<b>202,00</b>	<b>212,00</b>	<b>202,00</b>	<b>210,00</b>	<b>196,00</b>	<b>214,00</b>	<b>206,00</b>	<b>192,00</b>	<b>210,00</b>	<b>202,00</b>	<b>204,00</b>	<b>210,00</b>	<b>196,00</b>	<b>202,00</b>	<b>206,00</b>	<b>198,00</b>	<b>220,00</b>	<b>188,00</b>	<b>208,00</b>	<b>214,00</b>	<b>198,00</b>	<b>212,00</b>	<b>200,00</b>	<b>188,00</b>
<b>664,00</b>	<b>690,00</b>	<b>708,00</b>	<b>682,00</b>	<b>672,00</b>	<b>726,00</b>	<b>724,00</b>	<b>688,00</b>	<b>662,00</b>	<b>664,00</b>	<b>656,00</b>	<b>694,00</b>	<b>684,00</b>	<b>708,00</b>	<b>648,00</b>	<b>666,00</b>	<b>734,00</b>	<b>694,00</b>	<b>748,00</b>	<b>674,00</b>	<b>704,00</b>	<b>700,00</b>	<b>738,00</b>	<b>654,00</b>	<b>614,00</b>	<b>682,00</b>	<b>660,00</b>	<b>612,00</b>	<b>724,00</b>	<b>682,00</b>	<b>634,00</b>	<b>748,00</b>
<b>92,43</b>	<b>95,22</b>	<b>95,86</b>	<b>93,66</b>	<b>95,92</b>	<b>98,86</b>	<b>104,13</b>	<b>102,59</b>	<b>102,48</b>	<b>101,42</b>	<b>99,86</b>	<b>99,01</b>	<b>100,96</b>	<b>101,54</b>	<b>98,24</b>	<b>97,75</b>	<b>92,41</b>	<b>93,31</b>	<b>88,66</b>	<b>84,91</b>	<b>84,96</b>	<b>85,65</b>	<b>85,07</b>	<b>86,14</b>	<b>81,15</b>	<b>82,75</b>	<b>83,01</b>	<b>81,37</b>	<b>83,60</b>	<b>81,60</b>	<b>82,78</b>	<b>81,94</b>



16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
124,49	124,52	124,07	122,22	124,35	125,40	126,32	127,93	130,19	130,50	131,65	131,47	132,77	132,48	132,94	134,03	135,95	133,42	125,94	121,97	119,98	115,39	104,91	89,76	86,47	79,38	75,31	73,68	73,35	72,89	72,00	108,79
66,86	61,95	59,39	62,49	60,93	60,21	59,99	61,15	56,46	55,45	51,98	51,37	51,33	51,32	48,99	50,10	50,32	50,55	49,57	50,30	47,86	48,79	49,66	41,39	38,86	37,66	36,29	31,16	35,57	33,50	37,04	29,81
162,93	167,03	177,30	166,94	186,67	200,44	204,81	200,62	205,71	199,04	210,58	199,21	208,31	203,79	197,72	206,74	205,41	201,25	209,80	212,56	187,62	167,50	150,60	143,17	140,38	124,51	128,06	128,75	130,56	127,16	110,83	212,56
19,13	19,56	20,83	22,42	24,85	26,71	27,59	29,32	32,10	33,28	35,28	35,49	38,06	37,28	37,73	39,20	41,04	38,88	35,42	32,47	29,44	26,30	20,29	21,99	21,93	20,65	21,56	21,80	22,54	22,97	21,86	36,50
104,64	104,09	104,34	104,55	103,27	105,03	107,34	105,75	106,92	106,39	106,47	109,38	111,97	112,48	113,30	117,43	118,98	119,17	111,36	109,97	110,08	107,24	98,55	86,10	81,44	76,93	73,59	72,39	69,84	69,21	69,66	96,66
27,52	27,93	27,96	27,87	27,78	27,44	27,91	27,69	27,68	27,19	27,11	27,45	29,15	29,66	29,73	27,84	28,93	29,19	29,07	28,84	28,91	28,40	28,85	28,63	27,85	26,42	27,48	26,51	26,94	27,44	27,66	25,80
151,53	156,96	158,85	179,46	166,08	172,61	177,57	163,76	173,87	168,93	160,67	165,40	200,75	198,69	190,32	187,81	197,68	188,21	162,96	160,24	157,45	157,71	150,18	129,85	135,39	126,78	112,34	112,11	112,29	112,37	112,39	200,75
36,29	36,94	37,73	39,34	40,25	41,91	43,29	41,99	42,88	43,19	43,83	43,62	46,18	46,05	44,28	46,93	48,00	47,41	41,88	40,89	40,13	39,46	34,84	31,49	32,77	32,47	32,04	33,12	32,99	35,03	35,03	41,30
91,00	90,74	92,49	93,64	92,63	93,17	92,80	92,32	91,72	91,27	92,78	93,11	92,44	91,70	92,29	90,66	90,48	90,20	88,30	86,14	83,49	80,91	78,73	77,32	78,14	78,84	78,06	77,58	75,41	74,62	73,90	86,50
22,67	20,06	22,40	21,38	19,23	19,46	23,34	27,90	27,71	27,83	27,95	27,82	27,94	27,91	27,80	27,97	23,69	21,22	22,16	20,83	20,64	20,71	20,29	19,88	20,39	20,80	21,83	21,17	24,14	22,30	19,22	0,00
136,68	134,56	138,38	141,54	142,57	144,43	148,16	153,25	151,19	147,63	147,15	147,42	147,30	146,70	145,16	148,67	147,31	142,28	143,48	144,24	138,79	121,86	111,19	119,41	139,00	143,61	143,21	140,23	111,63	111,55	111,93	165,18
32,89	33,34	33,41	34,78	35,42	36,27	36,25	36,19	36,26	36,79	37,53	37,27	37,04	37,23	37,79	38,12	38,65	37,83	36,60	35,06	32,76	30,16	29,90	31,12	32,06	31,82	30,89	30,76	29,58	30,25	31,11	33,66
110,27	110,12	110,51	109,98	110,54	111,52	112,22	112,68	113,82	113,76	114,87	115,31	116,13	115,81	116,37	116,99	118,14	116,77	111,12	108,14	106,23	102,58	95,16	85,03	82,92	78,84	75,98	74,81	73,53	72,93	72,30	99,56
22,67	20,06	22,40	21,38	19,23	19,46	23,34	27,69	27,68	27,19	27,11	27,45	27,94	27,91	27,80	27,84	23,69	21,22	22,16	20,83	20,64	20,71	20,29	19,88	20,39	20,80	21,83	21,17	24,14	22,30	19,22	0,00
162,93	167,03	177,30	179,46	186,67	200,44	204,81	200,62	205,71	199,04	210,58	199,21	208,31	203,79	197,72	206,74	205,41	201,25	209,80	212,56	187,62	167,50	150,60	143,17	140,38	143,61	143,21	140,23	130,56	127,16	112,39	212,56
31,34	31,83	31,95	32,68	34,58	35,93	36,70	37,55	39,43	40,30	41,46	41,27	43,10	42,85	42,92	44,61	46,18	44,43	40,56	38,29	36,32	33,73	28,86	27,44	27,68	26,76	26,72	27,00	26,83	27,63	27,47	37,74



16:15:00	16:30:00	16:45:00	17:00:00	17:15:00	17:30:00	17:45:00	18:00:00	18:15:00	18:30:00	18:45:00	19:00:00	19:15:00	19:30:00	19:45:00	20:00:00	20:15:00	20:30:00	20:45:00	21:00:00	21:15:00	21:30:00	21:45:00	22:00:00	22:15:00	22:30:00	22:45:00	23:00:00	23:15:00	23:30:00	23:45:00	Gesamtergebnis
65,48	65,56	66,78	68,63	69,83	66,74	63,70	63,16	62,57	63,49	65,31	67,12	67,49	67,84	67,88	67,50	67,92	67,22	67,07	66,67	64,55	63,72	65,62	66,67	67,34	66,69	66,32	64,98	65,05	68,00	68,48	70,21
12,62	15,34	14,69	14,54	19,03	13,39	13,25	12,19	14,50	14,06	14,09	14,62	15,34	13,06	12,02	13,25	18,26	14,47	14,33	14,40	13,75	12,38	12,82	15,19	15,10	14,38	14,38	14,52	13,90	13,97	14,38	0,00
93,74	93,98	94,56	93,91	90,00	92,42	92,16	92,40	94,54	93,02	93,14	93,00	93,38	93,02	96,84	96,96	98,93	97,06	97,03	93,14	93,84	91,97	93,43	93,12	96,86	93,07	92,90	92,64	92,40	93,02	96,96	135,60
22,40	19,79	20,09	19,66	16,33	18,84	20,77	19,47	20,27	17,24	18,97	19,29	19,10	21,70	21,68	22,31	18,89	18,68	19,08	18,73	19,79	20,23	20,03	17,99	16,87	19,77	20,61	19,69	22,15	19,77	19,94	22,87
54,20	55,90	55,43	53,91	52,32	50,03	49,49	49,27	52,50	54,47	53,72	52,47	53,59	52,65	52,93	55,03	54,58	54,16	53,77	53,92	51,12	50,75	52,07	51,99	53,22	54,23	54,34	51,95	51,04	50,98	48,96	55,05
14,28	13,92	14,04	14,71	14,45	14,57	14,83	14,78	14,02	14,02	13,92	13,73	14,09	14,04	15,70	15,98	16,22	15,02	14,69	15,14	14,78	15,31	14,78	14,88	14,93	15,17	15,02	15,02	14,66	16,37	15,89	13,73
89,16	91,39	88,46	94,99	90,79	90,55	89,09	89,11	91,10	93,77	90,12	91,75	91,61	91,32	84,07	90,86	91,01	90,12	91,70	90,77	91,70	91,01	91,63	89,62	90,17	92,18	85,63	94,85	95,57	95,78	85,73	129,84
16,27	15,18	17,41	17,86	17,06	18,39	18,10	16,35	19,65	19,72	19,47	16,51	17,16	17,52	16,06	16,28	16,77	17,03	17,83	17,25	18,40	17,28	18,56	19,56	16,77	15,84	17,00	17,44	16,73	16,59	15,93	21,30
60,08	56,37	58,17	61,38	66,38	64,63	63,84	59,21	56,66	56,02	61,47	67,07	66,11	64,30	62,48	59,48	57,77	60,06	64,38	66,89	64,97	62,27	61,38	58,45	58,23	61,04	64,09	65,10	62,60	58,78	55,42	65,00
15,41	14,88	14,52	14,71	18,86	16,15	15,46	14,38	14,50	14,50	14,64	19,75	14,66	17,50	15,34	14,76	15,02	14,59	14,78	14,66	15,36	15,50	15,38	15,31	15,12	14,64	15,67	15,19	17,42	14,86	14,76	13,70
94,03	93,50	95,62	95,76	95,71	95,47	99,82	97,49	94,87	96,29	95,71	93,22	94,34	94,75	98,59	95,09	92,06	98,40	96,17	95,95	96,00	99,91	100,22	100,01	96,24	95,66	96,46	96,38	96,48	96,82	96,67	137,90
23,53	21,96	23,82	24,31	21,06	21,99	20,87	25,43	22,15	23,83	23,95	20,81	21,69	21,92	24,03	24,59	21,00	23,36	22,74	22,44	22,39	21,92	23,86	21,41	22,41	23,70	22,58	22,30	20,77	24,54	23,93	25,87
52,04	53,03	53,33	53,61	53,59	53,73	54,02	53,52	54,14	54,20	52,64	50,10	50,39	52,23	54,54	56,10	57,36	56,82	56,91	55,05	55,18	54,04	53,73	52,16	50,29	50,73	51,33	54,99	54,42	53,54	54,48	55,72
16,01	16,08	16,30	15,91	15,96	16,54	16,03	16,20	16,85	16,39	15,82	16,03	15,98	16,22	16,63	16,51	16,22	16,06	19,06	15,98	16,58	16,32	16,06	16,37	15,72	15,46	16,32	16,39	16,56	16,08	16,27	15,46
75,29	78,58	79,90	75,17	74,69	76,37	75,67	76,15	74,98	75,62	74,28	73,78	74,02	75,48	79,58	75,91	80,45	76,46	74,47	74,62	73,61	75,05	74,74	75,43	76,25	73,85	75,00	79,46	75,94	75,41	74,76	111,58
16,09	16,16	16,33	15,45	15,58	15,70	16,18	15,89	15,23	15,98	16,02	17,08	17,07	16,65	16,41	16,29	14,93	13,84	12,71	14,91	14,33	16,16	16,79	16,37	17,26	16,50	16,35	15,22	14,98	15,32	14,37	19,54
<b>57,73</b>	<b>57,58</b>	<b>58,23</b>	<b>59,07</b>	<b>60,09</b>	<b>58,32</b>	<b>57,34</b>	<b>55,92</b>	<b>56,24</b>	<b>56,88</b>	<b>58,03</b>	<b>58,83</b>	<b>59,08</b>	<b>58,89</b>	<b>59,09</b>	<b>59,26</b>	<b>59,12</b>	<b>59,26</b>	<b>60,17</b>	<b>60,28</b>	<b>58,55</b>	<b>57,33</b>	<b>57,86</b>	<b>57,01</b>	<b>57,02</b>	<b>57,94</b>	<b>58,77</b>	<b>58,86</b>	<b>57,87</b>	<b>57,42</b>	<b>56,36</b>	<b>61,14</b>
<b>12,62</b>	<b>13,92</b>	<b>14,04</b>	<b>14,54</b>	<b>14,45</b>	<b>13,39</b>	<b>13,25</b>	<b>12,19</b>	<b>14,02</b>	<b>14,02</b>	<b>13,92</b>	<b>13,73</b>	<b>14,09</b>	<b>13,06</b>	<b>12,02</b>	<b>13,25</b>	<b>15,02</b>	<b>14,47</b>	<b>14,33</b>	<b>14,40</b>	<b>13,75</b>	<b>12,38</b>	<b>12,82</b>	<b>14,88</b>	<b>14,93</b>	<b>14,38</b>	<b>14,38</b>	<b>14,52</b>	<b>13,90</b>	<b>13,97</b>	<b>14,38</b>	<b>0,00</b>
<b>94,03</b>	<b>93,98</b>	<b>95,62</b>	<b>95,76</b>	<b>95,71</b>	<b>95,47</b>	<b>99,82</b>	<b>97,49</b>	<b>94,87</b>	<b>96,29</b>	<b>95,71</b>	<b>93,22</b>	<b>94,34</b>	<b>94,75</b>	<b>98,59</b>	<b>96,96</b>	<b>98,93</b>	<b>98,40</b>	<b>97,03</b>	<b>95,95</b>	<b>96,00</b>	<b>99,91</b>	<b>100,22</b>	<b>100,01</b>	<b>96,86</b>	<b>95,66</b>	<b>96,46</b>	<b>96,38</b>	<b>96,48</b>	<b>96,82</b>	<b>96,96</b>	<b>137,90</b>
<b>20,37</b>	<b>18,89</b>	<b>20,16</b>	<b>20,46</b>	<b>19,23</b>	<b>20,16</b>	<b>20,05</b>	<b>20,25</b>	<b>19,87</b>	<b>19,82</b>	<b>20,49</b>	<b>20,03</b>	<b>20,19</b>	<b>20,67</b>	<b>20,58</b>	<b>20,60</b>	<b>18,67</b>	<b>19,12</b>	<b>19,21</b>	<b>19,49</b>	<b>19,88</b>	<b>19,74</b>	<b>20,68</b>	<b>19,87</b>	<b>19,48</b>	<b>20,00</b>	<b>20,19</b>	<b>19,70</b>	<b>19,64</b>	<b>20,33</b>	<b>20,09</b>	<b>23,35</b>