

# Vorgehensmodell zur Simulation von gebündeltem Energiebedarf

Benjamin Jacobsen<sup>1,2\*</sup>, Maximilian Stange<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professur BWL III - Unternehmensrechnung und Controlling, Technische Universität Chemnitz, Thüringer Weg 7, 09107 Chemnitz, Deutschland; [\\*benjamin.jacobsen@wirtschaft.tu-chemnitz](mailto:benjamin.jacobsen@wirtschaft.tu-chemnitz)

<sup>2</sup> Professur für Energie- und Hochspannungstechnik, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz, Deutschland

<sup>3</sup> Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Reichenhainer Straße 88, 09131 Chemnitz, Deutschland

**Abstract.** Im Projekt GRIDS – Grüne Energie in industriellen Verbünden werden die Potentiale und Verbesserungsmöglichkeiten innovativer Energieversorgungskonzepte in Gewerbe- und Industrieparks untersucht. Für die Planung neuer (Greenfield) sowie den Aus- und Umbau bereits bestehender Gewerbeparks (Brownfield) werden Leitfäden zur Planung der Energiekonzepte erstellt. Eine elementare Herausforderung ist die Voraussage (Prädiktion) des (gebündelten) Energiebedarfs, die zur ökologisch und ökonomisch langfristig tragfähigen Auslegung von Versorgungskonzepten mit ihren Ressourcen (Betriebsmittel, Rohstoffe, Verlustenergie etc.) notwendig ist. Allein durch Datenerhebungen und Auswertungen vergleichbarer Energienutzer kann nicht umfänglich auf die jeweilige Situation am Ort der Planung rückgeschlossen werden. Denn bei Energiedaten handelt es sich für die meisten (Industrie) Unternehmen um sensible Daten, somit ist eine detaillierte Datenerhebung in aller Regel ausgeschlossen. Daneben besteht speziell bei kleineren Unternehmen keine Transparenz bezüglich ihrer Energiedaten. Diese sind meist sehr grobgranular und stützen sich allein auf monatliche Abrechnungen des Energieversorgers. Weiterhin könnte selbst bei hervorragender Datengrundlage nicht davon ausgegangen werden, dass selbst Betriebe identischer Branche, Größe und Struktur den gleichen Lastgang haben. Damit sollte zur allgemeinen Simulation von Lastgängen von Unternehmen immer eine Methode zum Einsatz kommen, die den Lastgang als stochastische Größe ermittelt, um Verfälschungen zu vermeiden.

Aber das Wissen über den zeitlichen Verlauf des Energie- und Leistungsbedarfs ist eine Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Gestaltung des Energieversorgungssystems mit dem Ziel der Erhöhung des Anteils regenerativer Energien. Nur so können Betriebsmittel, insbesondere Speicher und regenerative Erzeugungsanlagen effizient geplant werden, was aufgrund der oft enormen Investitionshöhe sowie der Langfristigkeit der größtenteils irreversiblen Investitionen von hoher Bedeutung ist [1]. Es besteht demnach ein Mangel an Daten für eine verlässliche Planung von Energienetzen. Auf dieser Grundlage wird eine Methodik erstellt die ein Vorgehensmodell zur Simulation des Energiebedarfs von

gebündelten Versorgungskonzepten bereitstellt. Mit Hilfe der Simulation des Energiebedarfs von (heterogenen) Gruppen, wie sie durch Unternehmen in Gewerbeparks repräsentiert werden, kann die Simulation und die Auslegung der elektrischen Anlagen verbessert werden, somit kann die auf Erfahrungswerten basierende Netzplanung durch eine zielführende Methode unterstützt werden [2].

Neben der Unterstützung bei der Planung von Versorgungsnetzen, kann das Vorgehensmodell auch zur Generierung weiterer Energiedaten für andere Anwendungszwecke genutzt werden. Dazu zählt beispielsweise die energieorientierte Materialflusssimulation. Mit deren Hilfe können unter anderem Maßnahmen zur Energieflexibilität auf Unternehmens- und Gewerbeparkebene untersucht werden. Dadurch können zusätzlich organisatorische Maßnahmen zur Senkung der Spitzenlast untersucht werden und wie sich diese auf die Produktion und damit den Unternehmenserfolg auswirken.

## Einleitung

Die Identifikation interner Optimierungspotentiale und die Anforderungen externer Akteure (z.B. Energieversorger) machen eine Energiedatenerfassung für viele Unternehmen notwendig und hilfreich. Beispiele für externe Treiber sind:

- Erfassung des tatsächlichen Lastganges eines Unternehmens ab einen Jahresbedarf von  $\geq 100.000 \frac{kWh}{a}$  (nach §12 StromNZV)
- Einführung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 um Erstattungen auf die Stromsteuer zu erhalten (nach §10 StromStG).

Trotzdem verfügen gerade Unternehmen, die keine energieintensiven Prozesse aufweisen, über nur unzureichende Energiedaten. Selbst dort wo prinzipiell Energiedaten in einer ausreichenden Granularität und Qualität vorhanden sind, gestaltet sich der Zugang von Planern und Forschern zu diesen Daten schwierig. Anhand von Energiedaten könnten unter anderem

Rückschlüsse auf Produktionsprozesse oder die allgemeine Geschäftslage gezogen werden, was die Geheimhaltung des detaillierten Energiekonsums vielerorts rechtfertigt.

## 1 Stand der Technik

Grundsätzlich können drei Arten der Energiedatenerfassung unterschieden werden [3]:

### 1. Berechnung

Die Berechnung von Energiewerten bedarf einer umfassenden Basis an technischen und betriebswirtschaftlichen Daten, die nicht immer ohne weiteres zur Verfügung stehen. Beispielsweise können mithilfe von Leistungsdaten einer Maschine und deren Betriebszeiten ein Jahresbedarf an Energie abgeschätzt werden. Vorteil dieser Methode ist es, dass keine Messgeräte und Eingriffe in den laufenden Betrieb nötig sind. Nachteilig ist die Komplexität der Berechnungen, um z.B. den Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes zu berechnen. Hier ist davon auszugehen, dass gerade kleinere Unternehmen nicht über das notwendige Wissen zum Durchführen dieser Berechnungen verfügen [4].

### 2. Temporäre Messung

Mithilfe von temporären Messungen kann die Datengrundlage für die Berechnungen von Energiedaten verbessert werden. Die Kosten liegen dabei höher als bei der bloßen Berechnung, jedoch können die Datengrundlage und die Berechnungsergebnisse damit validiert werden. Außerdem liegen die Kosten unter denen von fest installierten Messeinrichtungen [4].

### 3. Fest installierte Messeinrichtung

Diese Art der Energiedatenerfassung eignet sich vor allem für tiefergreifende Analysen und bietet Automatisierungsmöglichkeiten für die Erfassung energiebezogener Daten. Dem gegenüber stehen jedoch hohe Anschaffungskosten sowie ein hoher Auswertungsaufwand der Datenmengen [4].

Alle Energiesimulationsansätze, seien es Simulationen zur Auslegung von Versorgungsnetzen oder eine energieorientierte Materialflusssimulation zur Untersuchung der Auswirkungen von Energieflexibilitätsmaßnahmen benötigen eine geeignete Datenbasis, um Energiemodelle zu erstellen [5]. Die zugrundeliegenden Ansätze zur Energiedatenerfassung

für die Simulation basieren dabei vor allem auf temporären Energiemessungen [5]. Solche Ansätze lassen sich im Maßstab eines Produktionssystems oder Fabrik noch vertreten, für die energetische Betrachtung eines ganzen Gewerbe- bzw. Industrieparks ist der Aufwand jedoch in den meisten Fällen zu hoch.

Um ohne großen Messaufwand Energiedaten für Gewerbe- bzw. Industrieparks zu generieren, könnten theoretisch Standardlastprofile herangezogen werden. Standardlastprofile sind Darstellungen eines Lastverlaufes in einem definierten Zeitraum. Vom Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) wurden solche Verläufe für die Bereiche Gewerbe und Haushalt erstellt. [6] Für Unternehmen der Industrie existieren solche verlässlichen Standardlastprofile nicht, da die Lastprofile hier sehr unterschiedliche Verläufe aufweisen [7]. Um trotzdem Standardlastprofile aus wenigen Messungen zu generieren, entwickelten Emde et al. eine Methode für die energieintensive Industrie [7]. Dabei stellen Sie als einen der Vorteile eine schnellere Simulation von Energieeffizienzmaßnahmen heraus.

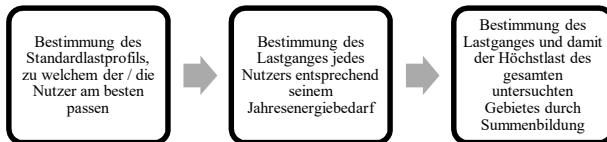
Die Ergebnisse, dass die bekannten Standardlastprofile nicht ohne Anpassung für die Simulation des Elektroenergiebedarfs von modernen Industrieunternehmen angewandt werden sollten, konnten auch im Projekt GRIDS getroffen werden. Entgegen dem eben skizzierten Ansatz nach Emde et al. [7] wird in der vorliegenden Untersuchung ein Lastprofil simuliert, welches aus der Synthese verschiedener Standardlastprofile des VDEW [6] entsteht.

## 2 Methodik

Das Vorgehensmodell beruht auf der Verwendung von Standardlastprofilen. Wie in der Erstellung und Anwendung dieser Lastgänge begründet ist, können allgemeine Aussagen zum Konsumverhalten elektrischer Energie nur für bestimmte Nutzergruppen erstellt werden [6]. Demnach ist es notwendig, dass die in Gruppen zusammengefassten Energiekonsumenten als homogen angesehen werden (können). Nur so lässt sich eine Simulation des Energiebedarfs eines ganzen Gebietes in der notwendigen Form und Güte realisieren. Das Projekt GRIDS hat jedoch gezeigt, dass derartige Annahmen nicht getroffen werden können. Das aus diesem Grund entwickelte Vorgehensmodell zur verbesserten Simulation von Lastgängen, die eine Grundlage für die Planung von Anforderungen an das Elektroenergieversorgungsnetz bilden, verfolgt das Ziel

die Auswahl der geeigneten Standardlastprofile so zu treffen, dass die Versorgungszuverlässigkeit der Netze aufrechterhalten und unterstützt wird, ohne Überdimensionierungen, wie sie durch die klassische Anwendung von Standardlastprofilen bedingt werden, hervorzurufen.

Der Ablauf des standardisierten Vorgehens zur Netzplanung unter Zuhilfenahme von Standardlastprofilen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 1:** Ablauf der Bestimmung des Lastganges sowie der Höchstlasten bei standardmäßiger Verwendung von Standardlastprofilen

Mit Hilfe einer Untersuchung auf Grundlage stochastischer Kenngrößen, wie Korrelationen und weiterführenden Signifikanzanalysen werden Zusammenhänge der einzelnen tatsächlichen und zusammengefassten Lastgänge zu bekannten Standardlastprofilen [8] untersucht.

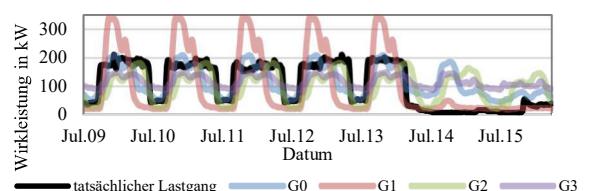
Dabei beschrieben die Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) den Zusammenhang zweier Größen [9]. Dieser Koeffizient hat einen Wertebereich zwischen -1 und 1 ( $W_r = [-1; 1]$ ). Je näher er sich dem Betrag von 1 nähert, desto deutlicher ist der Zusammenhang der beiden Größen ausgeprägt, wobei ein positiver Korrelationkoeffizient ( $r > 0$ ) auf einen ebenso positiven Zusammenhang hinweist, steigt eine Größe, steigt die andere ebenfalls. Ebenso deutet ein negativer Korrelationskoeffizient auf einen negativen (entgegengesetzten) Zusammenhang ( $r < 0$ ) der untersuchten Größen hin. Im Allgemeinen wird ab einem Korrelationskoeffizient größer dem Betrag von 0,5 ( $|r| > 0,5$ ) von einer hohen Korrelation gesprochen. [10] Für die Berechnung der Korrelation können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden. Viele in der Praxis untersuchte und simulierte Größen sind normalverteilt, damit wird in der Regel auf das Verfahren nach Pearson zurückgegriffen. Jedoch zeigt sich in vielen Fällen, dass vor der Methodenwahl ein Test der Verteilungsart erfolgen sollte. [11]

Aufgrund der Verteilungsart der Daten wird hier auf die Berechnung der Korrelationskoeffizienten nach Spearman zurückgegriffen. Der Test auf Standardnormalverteilung nach Schiefe und Kurtosis hat

erwartungsgemäß ergeben, dass es sich bei den untersuchten Lastgängen und Standardlastprofilen nicht um normalverteilte Größen handelt. Somit können auf die untersuchten Größen keine parametrischen Verfahren angewandt werden und die Verwendung der Spearman Korrelation ist der nach Pearson vorzuziehen [12].

Bei einer bloßen mathematischen Analyse der Zusammenhänge kann es jedoch im Anwendungsfall auch bei richtiger Methodenwahl zu Fehlern kommen, diese werden in der Literatur oft durch so genannte Scheinkorrelationen beschrieben. Hierbei handelt es sich um mathematisch korrekt berechnete Zusammenhänge, die jedoch bei kausaler Betrachtung nur unzureichenden Rückschluss auf die reale Abhängigkeit zulassen. [13] Ein prominentes Beispiel für solche scheinbaren Zusammenhänge ist die Abhängigkeit der Geburtenrate in einem Gebiet von der Anzahl Störche, die sich dort aufhalten. Mathematisch konnte zwar ein eindeutiger Zusammenhang hergestellt werden [14], aus aktuellem Wissensstand kann hierbei aber kein kausaler Zusammenhang hergestellt werden. Darauf aufbauend kann bei den untersuchten Lastprofilen aber eine Scheinkorrelation ausgeschlossen werden.

Die Erstellung der Standardlastprofile erfolgte auf Grundlage einer repräsentativen Stichprobe. Somit ist es logisch und kausal nachzuvoollziehen, dass es zwischen den untersuchten Lastprofilen einen Zusammenhang gibt. Dennoch findet zusätzlich eine grafische Anwendung der Maximum-Likelihood-Methode statt. Die Notwendigkeit der zusätzlichen graphischen Auswertung wird an Abbildung 1 deutlich.



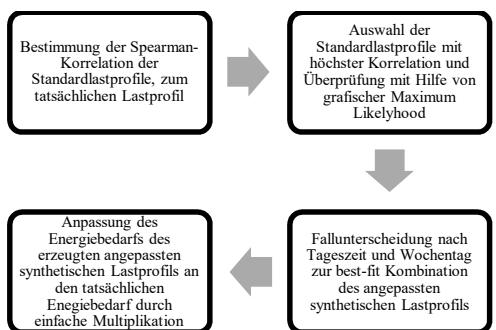
**Abbildung 2:** Gegenüberstellung der Standardlastprofile mit einem untersuchten tatsächlichen Lastgang innerhalb einer Woche

\* Exkurs: Die Standardlastprofile (kurz SLP) G0 bis G3 beschreiben die üblicherweise zugrunde gelegten Lastprofile, differenziert nach Gewerbetyp, wobei G0 für allgemeine Gewerbe (gebildet aus dem Mittelwert der SLP G0 bis G6), G1 Gewerbe mit einer Arbeitszeit von werktags 08:00 Uhr bis 18:00 Uhr, G2 Gewerbe mit einem überwiegenden Energiebedarf in den Abendstunden und G3 durchlaufende Gewerbe beschreibt [15].

Es zeigt sich, dass neben rein mathematischen

Methoden auch grafische Verfahren zur Bestimmung des best fit herangezogen werden sollten, um die Abweichung des eigentlichen Leistungsbedarfs zu bewerten. Denn die Anwendung von Korrelationen untersucht ausschließlich den formalen Zusammenhang der verschiedenen Lastprofile, die tatsächliche Abweichung des (normierten) Energiebedarfs wird dadurch nicht gewährleistet. Dieser zusätzliche Schritt ermöglicht eine enorme Verbesserung der Simulation von Energiebedarfen. Die Verbesserung wird hauptsächlich durch die Separierung der Lastprofile nach Tageszeit sowie nach Wochentag erreicht. Schließlich wird ein angepasstes synthetisches Lastprofil so zusammengesetzt, dass ein best Fit nach visuellem Verlauf (wodurch Korrelation, Energiemenge und Spitzenlast gleichermaßen abgebildet werden) für Tag und Nacht sowie für Werktag und Wochenende zusammengefasst, gewährleistet werden kann. Nachdem angepasste synthetische Lastprofile (es entstehen Lastprofile für Nacht – Werktag; Tag – Werktag; Wochenende) zur Prädiktion des gebündelten Energiebedarfes gebildet und zu einem Lastgang zusammengefasst sind, werden sie auf Grundlage des zu erwartenden Gesamtenergiebedarfs skaliert. Die Skalierung erfolgt in diesem Fall mit dem Ziel der Gleichheit des erwarteten jährlichen Energiebedarfs und des Integrals des modellierten angepassten synthetischen Lastprofils.

### 3 Ergebnisse



**Abbildung 3:** Ablauf der Bestimmung des Lastganges sowie der Höchstlasten bei Verwendung von angepassten synthetischen Lastprofilen

Das Vorgehensmodell führt eine Verbesserung der technischen Auslegung von Versorgungsnetzen herbei und unterstützt somit die ökologische und ökonomische Optimierung bei Planung und Simulation. Die Bildung angepasster kombinierter synthetischer Lastgänge

ermöglicht eine effiziente Simulation des Energie- und Leistungsbedarfs von Nutzergruppen elektrischer Energie. Die fehlende Normalverteilung des Energiebedarfs führt zur Verwendung von Spearman Korrelationen und damit zu abweichenden Ergebnissen gegenüber der allgemein üblichen Verwendung von Pearson Korrelationen [16, 17]. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass bei (Standard) Lastprofile nicht von einer Normalverteilung gesprochen werden kann. Um das allgemein verwendete Verfahren nach Pearson methodenrichtig anwenden zu können, müssten die (normierte) Schiefe und Kurtosis innerhalb von Grenzen nahe Null liegen. [18] Die Ergebnisse zeigten aber eine deutliche Abweichung der Parameter von einer Normalverteilung. Zur Verdeutlichung der Bedeutung der Wahl der richtigen Methode zur Korrelationsbestimmung, werden die Ergebnisse nach Pearson und Spearman für die untersuchte Stichprobe in der folgenden Tabelle gezeigt.

	Spearman	Pearson
G0	0.43	0.44
G1	0.51	0.29
G2	0.31	0.33
G3	0.37	0.66

**Tabelle 1:** Gegenüberstellung der Korrelationskoeffizienten nach Spearman und nach Pearson.

Das Ergebnis bei einer Abweichung der Methodenwahl von der Üblichen ist als besonders kritisch zu werten, da es auf Grundlage einer anderen Berechnungsmethode zu abweichenden Ergebnissen der zugrunde zu legenden Standardlastprofile kommt, wie Tabelle 1 zeigt. Dennoch würde diese Unschärfe durch die Zuhilfenahme grafischer Verfahren (Maximum Likelihood) sowie der Aufteilung der Standardlastprofile nach Zeitabschnitten nicht zu unbrauchbaren Ergebnissen führen. Jedoch hat sich gezeigt, dass die Güte des Ergebnisses der Methode zur Erstellung der angepassten synthetischen Lastprofile maßgeblich von der richtigen Korrelationsanalyse abhängt. So ist im dargestellten Beispiel deutlich zu erkennen, dass bei der Wahl der Standardlastprofils G3 (höchste Korrelation entsprechend dem Verfahren nach Pearson – vergleiche Tabelle 1) ein Standardlastprofil gewählt werden würde, dessen Annahmen nicht der tatsächlichen Arbeitsweise der untersuchten Unternehmen entsprechen (G3 gilt für durchlaufende Gewerbe, die Anlieger arbeiten jedoch im Regelfall im

Einschicht-, höchstens aber im Zweischichtbetrieb). Damit bildet sich aus der Kombination der Standardlastprofile G0 bis G3 eine weitaus bessere Simulation der tatsächlichen Verhältnisse. Auch an dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Anwendung der falschen Korrelationsanalyse mit den richtigen Schlussfolgerungen (Wahl des SLP G3) schon zu einer erheblichen Verbesserung gegenüber der herkömmlichen Vorgehensweise führt. Entsprechend Abbildung 1 würde für das Gewerbegebiet Standardlastprofil G1 zur Prädiktion des Lastganges mit seiner Spitzenlast herangezogen werden. Jedoch zeigt Abbildung 2, dass die tatsächliche Spitzenlast gerade einmal rund 60 % der Höchstlast von G1 beträgt. In der aktuellen Netzplanung wird jedoch den Standardlastprofilen entsprechend geplant (sodass im Regelfall G1 als Planungsgrundlage zum Einsatz kommt). Es kann also allein durch die Anwendung einer Korrelationsanalyse und der Ableitung richtiger Schlussfolgerungen ein Beitrag zur Optimierung der Netzplanung geleistet werden. Das volle Potential der vorgestellten Methode wird erst durch die Anwendung der Korrelationsanalyse nach Spearman zur Erstellung angepasster synthetischer Lastprofile ausgeschöpft. Es ergibt sich erst mit der so bestimmten Kombination der Standardlastprofile höchster Korrelation (in Tabelle 1 sind nur diese dargestellt) die Grundlage für die verbesserte Simulation. Durch die Kombination dieser Standardlastprofile, kann nicht nur die Last, sondern auch der Lastgang sehr genau vorausbestimmt werden. Schlussendlich können durch die vorgestellte Methode Überkapazitäten des Energiennetzes vermieden werden. Die installierte Netzkapazität kann im Untersuchten Beispiel bei der Planung um 30 % reduziert werden. Trotzdem bleibt eine installierte Übertragungsleistung in Höhe von 125 % der tatsächlichen Höchstlast bestehen, sodass mit keinen Kapazitätsengpässen zu rechnen ist. Ebenso gelingt es mit der vorgestellten Methode sehr gut den tatsächlichen Lastgang nachzubilden. Es kommt zu einer Verbesserung der mittleren Abweichung des prognostizierten vom tatsächlichen Energiekonsum von 50 %. Diese Größe ist vor allem für die Planung und Simulation von möglichen Flexibilitätsmaßnahmen und deren Steuerung von großer Bedeutung.

## 4 Anwendung

Zum Thema der Energieflexibilität auf Verbraucherseite im verarbeitenden Gewerbe existiert eine Vielzahl an

Publikationen. Dabei werden die Betrachtungen jedoch nur auf einzelne Verbraucher gerichtet. Wie Energieflexibilitätsoptionen im Kontext von Industrieverbünden zu modellieren und bewerten sind bis jetzt ein noch wenig beachtetes Teilgebiet. Weeber et al. werfen in ihrem Beitrag die Frage auf, inwiefern Dienstleister in kooperierenden Industrie- und Gewerbeparks von Energieflexibilitätsoptionen profitieren können [19]. Solche Fragestellungen lassen sich durch die Komplexität und dynamischen Einflüsse, die auf Produktionssysteme wirken, nicht mit statischen Verfahren abbilden. Dabei hat sich die Simulation als ein wichtiges Werkzeug herausgestellt [4].

Die Datenbeschaffung stellt bei jedem Simulationsprojekt eine unabdingbare Phase dar, wie beispielsweise im Vorgehensmodell von Rabe et al. beschrieben [20]. Sie beeinflusst die Qualität der Simulationsstudie sehr stark. Auf der anderen Seite bestehen bei den meisten Simulationsprojekten Zeit- und Termindruck, die eine Erhebung von Primärdaten verhindert oder zumindest einschränkt. Problematisch ist besonders die Gewinnung von aussagekräftigen Energiedaten.

Mithilfe des hier vorgestellten Vorgehens können schneller genauere Inputdaten für Simulationsmodelle generiert werden, womit sich die Zeitspanne und Güte für Simulationsprojekte im Bereich Energieeffizienz- und Energieflexibilitätsmaßnahmen in Gewerbe- und Industrieparks erheblich verkürzt bzw. die Güte und Aussagekraft verbessert. Das vorgestellte Verfahren kann in der Planung des Energiebedarfs industrieller und gewerblicher Verbünde Anwendung finden. Es müssen nicht mehr die einfachen Standardlastprofile zum Einsatz kommen, die aus aktueller Sicht weder hinsichtlich der Spitzenlast noch des Lastganges für die detaillierte Planung des Versorgungskonzeptes von Industrieunternehmen (und Gewerbe) allgemein zum Einsatz kommen sollten. Die Folgen wären in der Regel Überkapazitäten bei der Netzplanung und schlecht angepasste Fahrpläne für die Belieferung mit elektrischer Energie. Die vorgestellte Methode leistet damit einen entscheidenden Beitrag zur Simulation von Energieflüssen in Gewerbeparks und -gebieten.

Im weiteren Verlauf des Projekts GRIDS wird das hier vorgestellte Vorgehensmodell weiter Anwendung finden, um einen Teil der Inputdaten für eine energieorientierte Materialflusssimulation des Gewerbegebiets Süd in Limbach-Oberfrohna durchzuführen.

## 5 Diskussion

Das Vorgehensmodell ist in der Lage Energiebedarfe auf Grundlage des zu erwartenden jährlichen Gesamtenergiebedarf sowie der angenommenen Höchstlast zuverlässig zu generieren. Es ist eine enorme Verbesserung gegenüber der herkömmlichen Verwendung von Standardlastprofilen zu verzeichnen. Ein Nachteil der Methode ist die grafische Kontrollentscheidung für die Wahl des entsprechenden Standardlastprofils innerhalb der einzelnen Zeitabschnitte. Die Güte der Kontrollentscheidung hängt wieder von Erfahrung und subjektivem Empfinden ab. Dieses Verfahren wird im Zuge der Weiterentwicklung der Methodik hin zu einer automatischen Auswahl optimiert, wodurch eine objektive Auswahl gewährleistet wird. Dafür hat sich gezeigt, dass durch ebenjene zusätzlich grafische Kontrolle bzw. Auswahl der Zusammensetzung der angepassten synthetischen Lastprofile die Auswirkungen durch eine möglicherweise falsche Methodenwahl zur Bestimmung der Korrelationen begrenzt werden. Die Erkenntnis, die darauf hindeutet, dass es sich bei (Standard-)Lastprofilen nicht um normalverteilte Größen handelt, zeigt, dass Datenreihen immer hinsichtlich ihrer Verteilungsart untersucht werden sollten und gegebenenfalls (falls keine Verteilungsart ermittelt werden kann) auf nicht-parametrische Methoden zurückgegriffen werden muss. Zusammenfassend leistet die vorgestellte Methode einen Beitrag zur besseren Simulation von Energiebedarfen von Industrieunternehmen und industriellen sowie gewerblichen Verbünden. Die Methode selbst simuliert damit den Lastgang von Unternehmen

## 6 Verweise

- [1] M. Sauer, *Das Recht der Vergabe von Strom- und Gas-Konzessionsverträgen im EnWG: Legitimität und Anwendung eines Wettbewerbsinstruments im Kontext des Unions- und deutschen Verfassungsrechts*, 1st er. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2012.
- [2] T. Werth, *Netzberechnung mit Erzeugungsprofilen: Grundlagen, Berechnung, Anwendung*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016. [Online]. Available: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=4504392>
- [3] M. Geilhausen, J. Bränzel, D. Engelmann, and O. Schulze, *Energiemanagement: Für Fachkräfte, Beauftragte und Manager*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. [Online]. Available: <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=3567708>
- [4] S. Wenzel and T. Peter, *Simulation in Produktion und Logistik 2017*. Kassel: Kassel University Press GmbH, 2017. [Online]. Available: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5091317>
- [5] G. Posselt, *Towards Energy Transparent Factories*, 1st ed. s.l.: Springer-Verlag, 2016. [Online]. Available: [http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok\\_id/1960675](http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1960675)
- [6] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW, "Umsetzung der Analytischen Lastprofilverfahren - Step-by-step," Frankfurt am Main, 2000.
- [7] A. Emde, F. Zimmermann, M. Feil, and A. Sauer, "Erstellung und Validierung von Lastprofilen für die energieintensive Industrie," *ZWF*, vol. 113, no. 9, pp. 545–549, 2018, doi: 10.3139/104.111977.
- [8] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. - BDEW, "Standardlastprofile Strom,"
- [9] U. Held, "Tücken von Korrelationen: die Korrelationskoeffizienten von Pearson und Spearman," (in deu), *Swiss Medical Forum*, vol. 10, no. 38, 652-653-653, 2010. [Online]. Available: <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/46199/>
- [10] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. Hoboken: Taylor and Francis, 2013. [Online]. Available: <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1192162>
- [11] P. Sedlmeier, *Jenseits des Signifikanztest-Rituals: Ergänzungen und Alternativen*.

- [Online]. Available: <https://www.dgps.de/fachgruppen/methoden/mpr-online/issue1/art3/article.html> (accessed: Sep. 14 2020).
- [12] P. Schober, C. Boer, and L. A. Schwarte, “Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation,” *Anesthesia and analgesia*, vol. 126, no. 5, pp. 1763–1768, 2018, doi: 10.1213/ANE.0000000000002864.
- [13] A. Schäfer and T. Schöttker-Königer, *Statistik und quantitative Methoden für Gesundheitsfachberufe*, 1st ed. Berlin: Springer, 2015. [Online]. Available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1078892>
- [14] R. Matthews, “Storks Deliver Babies ( $p = 0.008$ ),” *Teaching Statistics*, vol. 22, no. 2, pp. 36–38, 2000, doi: 10.1111/1467-9639.00013.
- [15] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., *Standardlastprofile Strom*.
- [16] L. Myers and M. J. Sirois, “Spearman Correlation Coefficients, Differences between,” in *Encyclopedia of statistical sciences*, S. Kotz, C. B. Read, N. Balakrishnan, B. Vidakovic, and N. L. Johnson, Eds., 2nd ed., [Hoboken, N.J.]: Wiley, 2010.
- [17] J. C. F. de Winter, S. D. Gosling, and J. Potter, “Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: A tutorial using simulations and empirical data,” *Psychological methods*, vol. 21, no. 3, pp. 273–290, 2016, doi: 10.1037/met0000079.
- [18] A. Field, *Discovering statistics using SPSS: (and sex and drugs and rock 'n' roll)*, 3rd ed. Los Angeles, Calif.: Sage, 2011. [Online]. Available: <http://www.uk.sagepub.com/field3e/main.htm>
- [19] M. Weeber, C. Lehmann, J. Böhner, and R. Steinhilper, “Augmenting Energy Flexibility in the Factory Environment,”

*Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 434–439, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.12.004.

- [20] M. Rabe, S. Spiekermann, and S. Wenzel, *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. [Online]. Available: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:1111-2008093035>

## Angabe der Fördermittelgeber des Projekt GRIDS – Grüne Energie in industriellen Verbünden



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.