



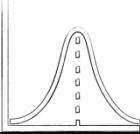
VERÖFFENTLICHUNGS-ENTWURF - Leitfaden – Energiekennzahlen für KMU

Ableitung aussagekräftiger Energiekennzahlen
Datensammlung, Datenanalyse und Auswertung

Autor: Dr. Nathanael Harfst

Juli 2021

Übersicht verwendeter Icons:

Statistikbegriffe	
Bezug zur DIN EN ISO 50001:2018	
Bezug zur Klimawirkung	
Arbeitshilfen	

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
1.1	Ziel und Systematik von Energiekennzahlen.....	4
1.2	Vergleichbarkeit von EnPI-Werten.....	4
1.3	Arten von Energiekennzahlen.....	6
1.4	EnPIs als Funktionen.....	6
1.5	Vorteile der Nutzung von Energieverbrauchsmodellen .	8
1.6	Analyse von Zusammenhängen	9
1.7	Schwerpunktorientierte Vorgehensweise	12
1.8	Datenbeschaffung.....	12
2	Schritt-für-Schritt Anleitung zur Sammlung, Analyse und Auswertung von Energiedaten	13
2.1	Bereitgestellte Arbeitshilfen	13
2.2	Datensammlung.....	13
2.3	Identifikation von „Einzel-Abhängigkeiten“ (x-y- Diagramme)	14
2.4	Identifikation von simultanen Einflüssen mehrerer Variablen	15
2.4.1	Multivariate Regression mit „StatFi“.....	15
2.4.2	Multivariate Regression mit der Excel-Datenanalyse- Funktion	16
2.4.3	Ergebnisse – „Wo muss ich hingucken und was muss da stehen?“	16
2.5	Überwachung und Darstellung der Verbesserung der energiebezogenen Leistung.....	18
2.6	Identifikation von Energieeinsparpotentialen und Ansätze zu deren Ausnutzung	19

1 Einleitung

1.1 Ziel und Systematik von Energiekennzahlen

Kennzahlen im Allgemeinen dienen dazu, quantifizierbare Sachverhalte zusammenfassend in einer Ziffer auszudrücken. Sie definieren dabei die „Art der Messung“, anhand der die **Kennzahlen-Werte** ermittelt werden. Diese können

- Einzelwerte (etwa elektrische Leistung [kW]),
- Summenwerte (z.B. Sonnenstunden einer Region [h]),
- Verhältniswerte (z.B. Kraftstoffverbrauch pro 100 Kilometer [l/100km]) oder
- Werte aus Modellen mit mehreren Einflussfaktoren (etwa der Kapitalwert einer Investition unter Berücksichtigung aller Zahlungsströme, Zinsen und Laufzeiten)

sein.

Kennzahlen-Werte ermöglichen somit eine zusammenfassende und definierte zahlenmäßige Darstellung bestimmter Sachverhalte. Die Quantifizierung der Sachlage dient allerdings keinem Selbstzweck, sondern sollte auf ein definiertes Erkenntnisziel ausgerichtet sein.

Gleiches gilt auch für Energie(leistungs)kennzahlen (EnPIs – eng: energy performance indicators). Diese dienen gemäß der internationalen Energiemanagementsystemnorm ISO 50001 der **Messung, Überwachung und Steuerung** der energiebezogenen Leistung¹ – etwa von Anlagen, Prozessen oder Unternehmen. Ziel der Messung, Überwachung und Steuerung ist letztlich die Minimierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Kosten und Emissionen.

Auf Basis von EnPI-Werten soll dabei bestimmt werden, ob ein betrachteter Prozess in energetischer Hinsicht „so läuft wie er soll“. Zur adäquaten **Bewertung und Steuerung** der energetischen Situation sind dabei immer zwei Kennzahlen-Werte nötig. Ein Wert aus dem Zeitraum der bewertet werden soll (Berichtszeitraum) – etwa das vergangene Jahr – und ein Ver-

gleichswert (Referenzwert). Erst der Vergleich des Berichtswertes mit einem Referenzwert ermöglicht eine Bewertung der Situation.

Um eine Überwachung und Steuerung des Energieeinsatzes zu ermöglichen, werden den Werten im Betrachtungszeitraum regelmäßig zwei Referenzwerte gegenübergestellt:

1. Vergangenheitswerte (energetische Ausgangsbasis – eng: energy baseline [EnB]) und
2. Plan- bzw. Zielwerte (z. B. Ausgangsbasis minus 10%).

Abbildung 1 verdeutlicht die Zusammenhänge.

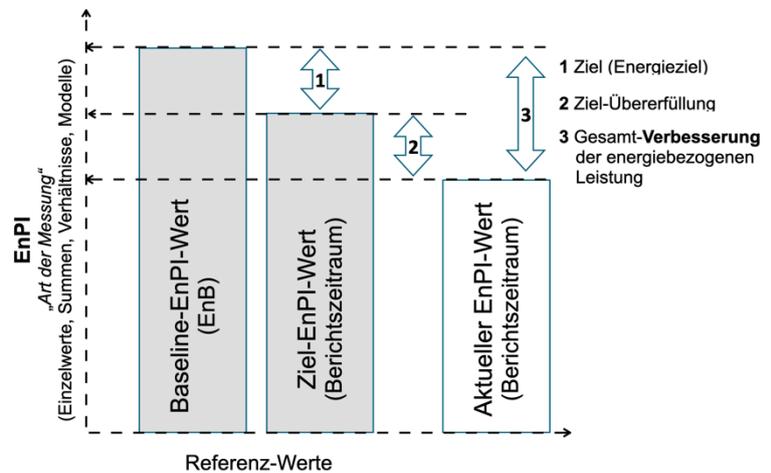


Abbildung 1: Systematik Energiekennzahlen

Die EnPI bestimmt die „Art der Messung“, die für die Quantifizierung des jeweiligen energiebezogenen Sachverhaltes gewählt wurde. Ergebnisse der Messung sind die EnPI-Werte. Die EnPI dient somit der Bestimmung verschiedener Werte: der Ausgangssituation (Baseline-EnPI-Wert), der Zielsetzung (Ziel-EnPI-Wert – etwa Baseline minus x %) sowie der Ermittlung der aktuellen EnPI-Werte. Auf Basis dieser Werte erfolgt die Bewertung der Veränderung bzw. die Nachverfolgung des Erreichten durch den Vergleich der Ausgangssituation und des Zielwertes mit der Ist-Situation (Nummern 1 – 3 in **Abbildung 1**).

1.2 Vergleichbarkeit von EnPI-Werten

Um eine wirksame Steuerung etablieren zu können, ist es wichtig, Energiekennzahlen (*die Art der Messung*) so zu gestalten, dass sie die **tatsächliche und**

Energieverbrauchs, der Energieeffizienz und des Energieeinsatzes.

ISO
50001

ISO
50001

¹ Die internationale Energiemanagementsystemnorm ISO 50001 spricht von der energiebezogenen Leistung als zentrale Zielgröße des Energiemanagements. Diese ist definiert als messbares Ergebnis bzgl. des

beeinflussbare energiebezogene Leistung einer Organisation und ihrer Prozesse widerspiegeln. Es ist daher anzustreben, Einflussfaktoren des Energieverbrauchs, die sich von der Organisation nicht beeinflussen lassen, etwa Außentemperaturen (vorgegeben von der Natur) oder Produktionsmengen (vorgegeben vom Kunden), bei der Beurteilung der energetischen Situation zu berücksichtigen. Mit anderen Worten ist anzustreben, dass die miteinander verglichenen Werte (Referenz-Werte und Ist-Werte) an relevante Änderungen nicht beeinflussbarer Faktoren angepasst werden, um einen aussagekräftigen Vergleich zu gewährleisten.

Beispielsweise schwankt der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes regelmäßig in Abhängigkeit von der Außentemperatur. Der Vergleich absoluter Heizenergieverbräuche kann daher nur eine eingeschränkte Aussage darüber zulassen, wie wirksam eine energetische Sanierung war, oder ob sich die Nutzer im Gebäude energieeffizient verhalten – etwa durch Stoßlüften statt dauerhaft gekippter Fenster bei laufender Heizung. So ist es denkbar, dass sich die Nutzer des Gebäudes energieeffizient verhalten, der absolute Energieverbrauch auf Grund eines kälteren Winters dennoch höher liegt als im Vorjahr.

Um Energieeffizienzkennzahlen im beschriebenen Fall auf das Erkenntnisziel – „Haben sich die Nutzer des Gebäudes energieeffizient verhalten?“ – auszurichten, sind die von den Nutzern bzw. von der Organisation nicht beeinflussbaren Effekte beim Vergleich der Verbrauchswerte zu berücksichtigen. Heizenergieverbräuche werden daher regelmäßig „witterungsbereinigt“ – mit anderen Worten der Einfluss der Außentemperatur wird im Referenzwert und im Ist-Wert berücksichtigt. Erst hierdurch wird es möglich, Veränderungen, die **nicht** auf die Außentemperatur zurückzuführen sind, sichtbar zu machen – etwa effizienteres Verhalten der Gebäudenutzer.

Abbildung 2 zeigt eine solche Anpassung (Normalisierung) beispielhaft auf. Im Jahr 2019 lag der Gasverbrauch des Gebäudes bei 9 000 kWh bei 3 000 Gradtagen [Kd].² Unter der Annahme, dass der Heizenergieverbrauch maßgeblich von der Außentemperatur abhängt, hieße dies, dass ein Gradtag [Kd] einen Verbrauch von 3 kWh „verursacht“. Im Jahr 2020 lag der Gasverbrauch bei 8 000 kWh also 2 000 kWh un-

ter dem Verbrauch von 2019. Allerdings war der Winter auch „wärmer“. Daher lagen die Gradtage bei 2 500 Kd anstatt bei 3 000 Kd.

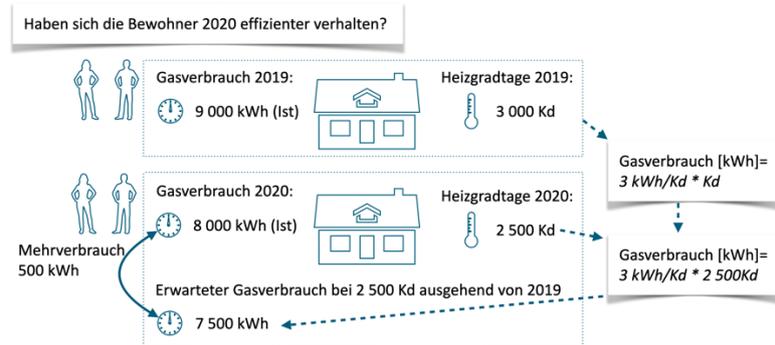


Abbildung 2: Beispielhafte Bestimmung eines normalisierten Ausgangswertes in Bezug auf den Heizenergieverbrauch

Zur Beurteilung des Nutzerverhaltens ist der Vergleich der absoluten Verbräuche nutzlos. Entscheidend ist der Wert, der bei 2 500 Gradtagen „zu erwarten gewesen wäre“. Dieser ergibt sich aus dem Durchschnittsverbrauch pro Gradtag des Jahres 2019 multipliziert mit den tatsächlichen Gradtagen in 2020.

$$\text{Erwarteter Gasverbrauch}_{2020}: \\ 3 \text{ kWh/Kd} * 2 500 \text{ Kd} = 7 500 \text{ kWh}$$

Dieser an die tatsächlichen Bedingungen angepasste (normalisierte) Referenzwert macht deutlich, dass im Jahr 2020 500 kWh mehr verbraucht wurden, als bei den gegebenen Gradtagen zu erwarten gewesen wären. Dass diese „einfache“ Betrachtung, auf Basis des durchschnittlichen Verbrauchs pro Gradtag, problematisch sein kann wird in Abschnitt 1.6 aufgezeigt, in dem, reale Daten zu dem hier dargestellten Beispiel detaillierter analysiert werden.

Auch der Energieverbrauch von Unternehmen, Prozessen und Anlagen wird regelmäßig durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen unter anderem Produktionsmengen, Arbeitsstunden, Witterungsverhältnisse etc. Die oben genannte Vorgehensweise – erwartete Energieverbräuche mit gemessenen zu Vergleichen – lässt sich daher auch auf Produktionsprozesse übertragen. Die „Funktion“ zur Berechnung normalisierter Referenzwertes ist dabei abhängig von der Art und Menge der berücksichtigten Einflussfaktoren.

² Produkt aus der Differenz der Innenraum- und Außentemperatur und der Dauer der Differenzen in „Kelvin*Days“ [Kd]

Die ISO 50001:2018 nennt Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf die energiebezogene Leistung haben und routinemäßig schwanken, „relevante Variablen“. Liegen solche vor, sind diese beim Aufbau von EnPIs zu berücksichtigen. Darüber hinaus schreibt die Norm vor, dass EnPI-Werte beim Vorliegen relevanter Variablen „normalisiert“ werden müssen. Die Normalisierung dient der Anpassung von EnPI-Werten, so dass ein Vergleich unter (möglichst) gleichwertigen Bedingungen gewährleistet wird. Werden relevante Variablen nicht oder nur teilweise berücksichtigt, verlieren Energiekennzahlen regelmäßig an Aussagekraft und ihre Eignung für die Steuerung des Energieeinsatzes schwächt sich ab. Für die Überwachung, Messung und Steuerung der energiebezogenen Leistung ist daher nur der Vergleich zwischen der normalisierten Ausgangsbasis und dem Wert des Berichtszeitraums relevant. **Abbildung 3** verdeutlicht die Systematik der Nutzung der normalisierten EnB für das Beispiel aus **Abbildung 2**.

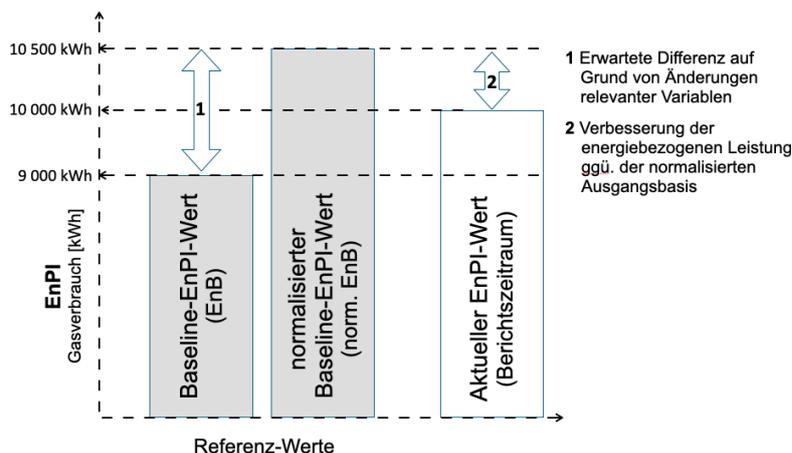


Abbildung 3: Systematik normalisierter EnPI-Werte – Abweichungsanalyse Gasverbrauch

Bei dem in **Abbildung 2** gezeigten Beispiel wäre ebenso die Nutzung einer Verhältniskennzahl – hier kWh/Kd – denkbar, da nur eine Einflussgröße vorlag. Die Nutzung berechneter normalisierter Verbrauchswerte (mit Hilfe von Energieverbrauchsfunktionen) und gemessener Absolutwerte, ist der Nutzung von Verhältniskennzahlen – wie im nächsten Abschnitt noch beschrieben wird – jedoch vorzuziehen. Dies auch, wenn nur eine Variable und keine „Grundlast“ vorliegt, was zudem äußerst selten vorkommen dürfte.

1.3 Arten von Energiekennzahlen

Die ISO 50001:2018 beschreibt in der Definition von EnPIs, dass diese als „einfache Metrik, Verhältnis oder Modell“ ausgedrückt werden können. Der EnPI-

Wert ist dann entweder eine Absolutzahl oder eine Verhältniszahl.

Eine *einfache Metrik* führt zu gemessenen absoluten Werten. Bei der Verwendung der einfachen Metrik zur Überwachung der energiebezogenen Leistung werden daher absolute Referenz-Werte – aus der Vergangenheit (EnB) oder absolut formulierte Zielwerte (z. B. 20 000 kWh im Juni 2018) – mit aktuellen gemessenen Ist-Werten (z. B. 19 000 kWh im Juni 2019) verglichen, um mögliche Unterschiede festzustellen bzw. eine Verbesserung nachzuweisen. Eine Anpassung an Einflussfaktoren (*Normalisierung*) wird nicht vorgenommen.

Verhältniskennzahlen stellen den Energieverbrauch hingegen ins Verhältnis zu **einer** Einflussgröße. Häufig wird auch vom spezifischen Energieverbrauch gesprochen, bei dem der Energieverbrauch etwa auf die Produktionsmenge bezogen wird, z. B. Kilowattstunde pro Tonne (kWh/t).

Als Letztes nennt die Norm noch *Modelle*. Dabei handelt es sich um Funktionen, mit denen sich der Energieverbrauch auf Basis von Einflussfaktoren bestimmen lässt. Die Bestimmung der Funktion basiert regelmäßig auf

- statistischen Berechnungen auf Basis von Vergangenheitswerten,
- bekannten naturwissenschaftlichen Zusammenhängen,
- Simulationen o. Ä.

Die Funktionen helfen dabei normalisierte – also an die tatsächlichen Gegebenheiten angepassten EnPI-Werte, zu berechnen, die in der Folge z. B. mit gemessenen Werten verglichen werden. Ergebnisse der Modelle sind regelmäßig Absolutwerte, für bestimmte Zeiträume – etwa der Stromverbrauch pro Tag, Woche, Monat oder Jahr.

1.4 EnPIs als Funktionen

Alle von der ISO 50001 genannten „Arten“ von EnPIs lassen sich als Verbrauchs-Funktionen ausdrücken, anhand derer sich der erwartete Energieverbrauch bestimmen lässt. Im Folgenden findet sich eine Beschreibung der einzelnen EnPI-Arten als Funktion. Darüber hinaus wird gezeigt, dass die Nutzung von Funktionen viele Vorteile gegenüber dem Einsatz von klassischen Verhältniskennzahlen hat. Daher wird an dieser Stelle empfohlen zur Bewertung der energiebezogenen Leistung **immer** erwartete Verbräuche (errechnet auf Basis von Energieverbrauchsfunktionen)

Haben wir 2020 effizienter produziert?

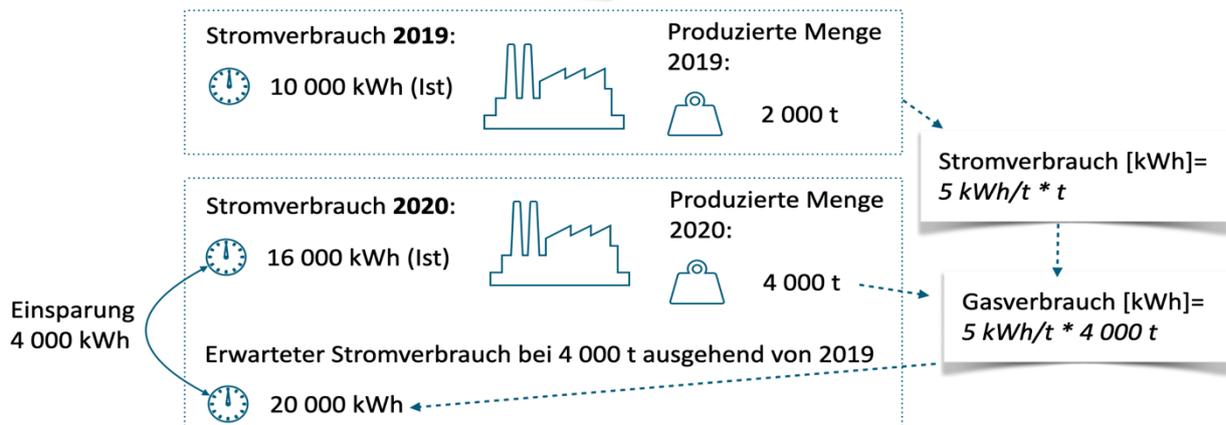


Abbildung 4: Beispielhafte Bestimmung der Effizienz der Produktion in Bezug auf den Stromverbrauch

mit gemessenen Verbräuchen zu vergleichen und die Differenzen zu bewerten.

Einfache Metrik (nicht normalisierter Verbrauch)

Die einfache Metrik kann nur dann als geeignete Kennzahl dienen, wenn davon auszugehen ist, dass keine wesentlichen, sich routinemäßig ändernde, Einflussfaktoren (relevante Variablen) auf den Energieverbrauch vorliegen. Somit liegt der einfachen Metrik ein „Energieverbrauchsmodell“ zugrunde, das zeigt, dass der Energieverbrauch nahezu unabhängig von Einflüssen und damit konstant ist (vgl. Abbildung 5).

Eine solche Situation ist jedoch in der Praxis kaum auffindbar. Die Funktion zur Berechnung des erwarteten Energieverbrauchs könnte etwa lauten: $\text{Energieverbrauch}_{\text{pro_Woche}} = 20 \text{ MWh}$.

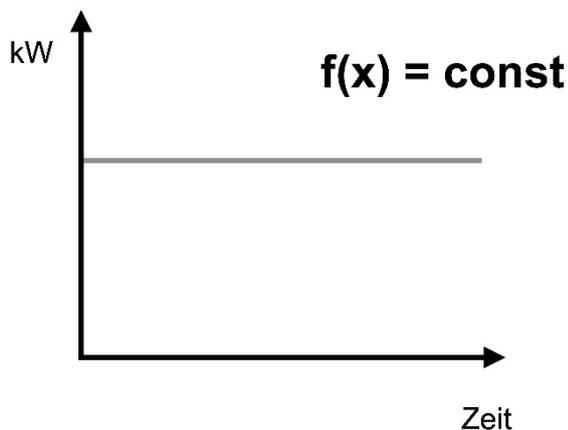


Abbildung 5: Energieverbrauchsfunktion „einfache Metrik“

Verhältniszahl

Auch ausgehend von Verhältniskennzahlen lassen sich Energieverbrauchsmodelle formulieren. Abbildung 6: Energieverbrauchsfunktion mit einer Variablen

und ohne Grundlast zeigt die Nutzung des Verhältnisses „ kWh/t “ in einer Funktion.

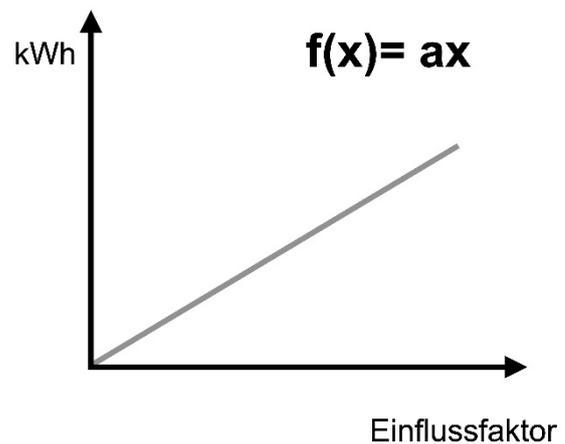


Abbildung 6: Energieverbrauchsfunktion mit einer Variablen und ohne Grundlast

Die Vorgehensweise gleicht der in **Abbildung 2** beschriebenen Vorgehensweise zum Gasverbrauch in Abhängigkeit der Außentemperatur. Gegeben sei die Verhältniskennzahl „ kWh/t “ mit einem Wert von 5 kWh/t im Jahr 2019 bei 2 000 Tonnen Produktionsmenge und folglich einem Energieverbrauch von 10 000 kWh. Im Jahr 2020 lag der EnPI-Wert bei 4 kWh/t bei einer Produktionsmenge von 4 000 Tonnen und einem Energieverbrauch von 16 000 kWh. Die Veränderung von 5 kWh/t auf 4 kWh/t zeigt eine Verbesserung der Energieeffizienz von 20 %. Diese prozentuale Auswertung lässt allerdings keine direkte Aussage dazu zu, wie viel Energie in kWh gegenüber der Ausgangssituation (5 kWh/t) eingespart wurde. Hierzu ist die produzierte Menge zu berücksichtigen. Um die Einsparungen in kWh zu ermitteln, wäre zu prüfen, welcher Energieverbrauch auf Basis des spezifischen Verbrauchs von 5 kWh/t in 2019 zu erwarten

gewesen wäre – also eine normalisierte EnB zu berechnen. Um den erwarteten Energieverbrauch auf Basis der Verhältniskennzahl zu errechnen, lässt sich die folgende Funktion formulieren.

$$\text{Erwarteter Energieverbrauch}_{2020}(t) = 5 \text{ kWh/t}_{\text{Wert aus 2019}} * 4\,000 \text{ t}_{2020} = 20\,000 \text{ kWh}$$

Der zu erwartende Energieverbrauch für 2020 liegt mit 20 000 kWh somit 4 000 kWh höher als der tatsächliche gemessene Energieverbrauch mit 16 000 kWh.

Der EnPI als „Art der Messung“ zur Bestimmung des Referenzwertes lautet in einem solchen Fall:

$$\text{EnPI}_{\text{Produktion}} = 5 \text{ kWh/t} * \text{Produktionsmenge [t]}.$$

Entscheidend ist bei der Nutzung einer solchen Funktion auf Basis einer Verhältniskennzahl allerdings, dass diese impliziert, dass es keine Grundlast gibt, da bei einer Produktion von null Tonnen kein Energieverbrauch zu erwarten wäre (vgl. Abbildung 6) – **dies dürfte jedoch selten der Fall sein.**

Praxishinweis

Wenn gleich sich die *einfache Metrik* als auch die *Verhältniskennzahl* in Funktionen überführen lassen, ist zu betonen, dass ihre Relevanz zur adäquaten Bewertung der energiebezogenen Leistung **gering** ist. Denn in der Praxis lassen sich kaum Prozesse finden, die keine Einflussgrößen (*einfache Metrik*) bzw. keine Grundlasten (*Verhältniskennzahlen*) haben. Um den Einfluss von möglichen Faktoren und von Grundlasten berücksichtigen zu können, ist es wichtig, Funktionen zu ermitteln, die die tatsächlichen Einflüsse bestmöglich abbilden. Dies geschieht regelmäßig auf Basis statistischer Analysen von Vergangenheitsdaten, aus denen sich dann sogenannte statistische Modelle ergeben. Dieser Leitfaden zielt daher explizit auf diese Ermittlung von Energieverbrauchsfunktionen auf Basis von Vergangenheitsdaten mit statistischen Mitteln und deren Auswertung ab.

Hierzu bietet Kapitel 2 neben der Beschreibung der Vorgehensweise zur Datensammlung auch eine Anleitung zur Analyse der gesammelten Daten. Für die Datensammlung, Analyse und Auswertung lassen sich über den nebenstehenden QR-Code Excel basierte Arbeitshilfen herunterladen, deren Nutzung im Kapitel 2 beschrieben sind.



Statistische Modelle

Energieverbrauchsmodelle können grundsätzlich alle denkbaren Formen annehmen und daher auch mehr als eine Variable und Grundlasten bzw. Konstanten berücksichtigen. Häufig wird die Funktion aus vergangenheitsbezogenen Daten durch statistische Metho-

den wie der Regression mit einem oder mehreren Einflussfaktoren ermittelt. Der internationale Leitfaden zum *Aufbau und Nutzung geeigneter EnPIs* „ISO 50006“ nennt solche Modelle „statistische Modelle“.

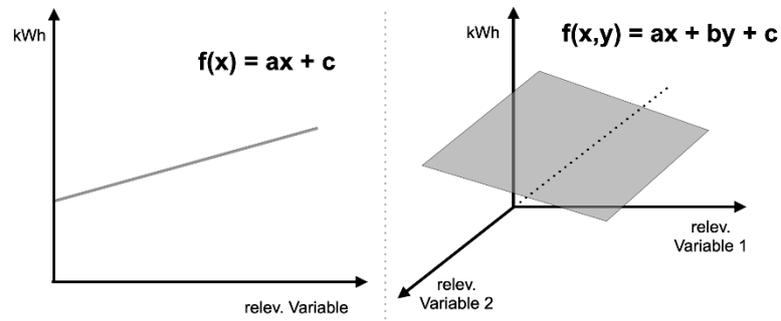


Abbildung 7: Energieverbrauchsfunktionen „Statistisches Modell“

Bei der Berücksichtigung von einer Variable und einer linearen Grundform beschreibt die Funktion regelmäßig eine Linie, die die y-Achse oberhalb des Nullpunkts schneidet und somit eine Grundlast aufzeigt (vgl. **Abbildung 7** – links). Bei zwei Variablen beschreibt die Funktion eine Fläche, auf der sich der erwartete Energieverbrauch in Abhängigkeit von der Ausprägung der Variablen und einer möglichen Grundlast bewegen sollte (vgl. **Abbildung 7** – rechts).

Statistische Modelle ermöglichen somit Zusammenhänge innerhalb von Vergangenheitsdaten aufzudecken und diese in Funktionen zu beschreiben. Hierbei ist es möglich einzelne aber auch mehrere Variablen und „Grundlasten“ zu ermitteln. Da solche Modelle die Grundlage der zu diesem Leitfaden gehörenden Arbeitshilfen bilden, wird im Folgenden noch einmal vertieft auf die Vorteile der Nutzung von Energieverbrauchsfunktionen – zur Berechnung erwarteter Energieverbräuche eingegangen.

1.5 Vorteile der Nutzung von Energieverbrauchsmodellen

Aggregation von EnPI-Werten

Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass Funktionen es ermöglichen, alle EnPI-Werte unabhängig von der Art und Anzahl der Einflussgrößen in der gleichen Einheit darzustellen (etwa kWh). Hierdurch lassen sich die EnPI-Werte aufaddieren, da sie die gleiche Einheit besitzen. Beispielhaft ließen sich die Differenzen aus dem Beispiel 1 (Gasverbrauch der Heizung) und Beispiel 2 (Stromverbrauch der Produktion) aufaddieren.

Lägen hingegen die Verhältniskennzahlen *Kilowattstunde pro Gradtag (kWh/Kd)* für den einen und *Kilowattstunde pro Tonne (kWh/t)* für den anderen Prozess vor, ließen sich die Verbesserungen dieser Kennzahlen nicht ohne weiteres zusammenfassen, da sie nicht die gleiche Einheit besitzen. Bei der Umstellung zu Verbrauchsfunktionen hingegen ergäben sich für beide Prozesse Energieverbrauchsprognosen, die sich zusammenfassen und mit Ist- oder Zielwerten vergleichen lassen.

Differenz Beispiel 1 Gasverbrauch_{Verwaltung} [kWh] = - 500 kWh

Differenz Beispiel 2 Produktion [kWh] = 500 kWh

Differenz gesamt = 0 kWh

Möglichkeit der Berücksichtigung von Grundlasten und mehreren Einflussfaktoren

Ein weiterer und entscheidender Vorteil besteht darin, dass Modelle die Möglichkeit bieten, den tatsächlichen Einfluss mehrerer Faktoren und auch Grundlasten zu berücksichtigen. Dies ist, wie bereits erwähnt, bei Verhältniskennzahlen und einfachen Metriken nicht möglich.

Zusätzliche finanzielle und klimabezogene Auswertungsmöglichkeiten

Durch den Vergleich zwischen dem erwarteten (auf Basis der Funktion) und dem tatsächlichen Energieverbrauch zeigen sich die Auswirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen direkt in Kilowattstunden. Diese können durch einfache Multiplikation mit spezifischen Energiekosten als finanzielle Einsparungen oder durch Multiplikation mit spezifischen CO₂-Emissionswerten als absolute CO₂-Einsparungen dargestellt werden. Diese Werte lassen sich wiederum auch über alle Prozesse und Abteilungen hinweg zusammenfassen und auch für Organisationen als Ganzes ausweisen. Aussagekräftige EnPIs auf Basis von Modellen bilden hierdurch auch eine geeignete Grundlage zur Bestimmung und Nachverfolgung der Klimawirkung von energiebezogenen Maßnahmen. Die zum Download angebotenen Arbeitshilfen bieten hierzu auch Hilfestellung im Reiter „Auswertung“.

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Vorteile bei der Nutzung von Energieverbrauchsmodellen:

- Mehrere Einflussfaktoren und mögliche Grundlasten lassen sich berücksichtigen;

- Verbrauchsreduktionen bei unterschiedlichen Anlagen und Bereichen lassen sich unabhängig von der „Art“ der Einflussfaktoren aufaddieren;
- Verbrauchsreduktionen lassen sich über Zeiträume aufaddieren;
- Verbrauchsreduktionen lassen sich direkt in CO₂- und Kosten-Einsparungen umrechnen.



Entscheidend ist letztlich die „richtige“ Funktion zu finden, die die relevanten Einflüsse berücksichtigt und somit eine adäquate Berechnung erwarteter Energieverbräuche erlaubt. Der nächste Abschnitt bietet hierzu eine Einleitung. Im Kapitel 2 findet sich daran anschließend eine Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Umsetzung der beschriebenen Schritte zur Datensammlung sowie deren Analyse und Auswertung.

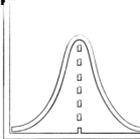
1.6 Analyse von Zusammenhängen

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, ist es hilfreich Energieverbräuche anhand von Funktionen zu beschreiben. Hierzu ist der Einfluss einzelner Einflussfaktoren zu quantifizieren. Es geht im Grunde genommen darum, herauszufinden, wie sich der Energieverbrauch bei Schwankungen relevanter Variablen (Einflussfaktoren) verhält. Dabei handelt es sich um eine **individuelle Analyse** des Energieverbrauchs des jeweiligen betrachteten Prozesses, der Einrichtung oder des Unternehmens, die die tatsächlichen Rahmengegebenheiten berücksichtigt. Wie bereits erwähnt, helfen bei der Identifikation der relevanten Treiber und der Beschreibung der funktionalen Zusammenhänge statistische Analysen – insbesondere die Regression.

Die Regression errechnet eine Funktion, die den Zusammenhang von Variablen innerhalb vorhandener Daten möglichst genau beschreibt.

Dabei soll der funktionale Zusammenhang zwischen einer

- abhängigen Variable (hier der Energieverbrauch) bestmöglich durch
- eine oder mehrere unabhängige Variablen (Produktionsmenge, Außentemperatur etc.) beschrieben werden.



Es wird eine Funktion bestimmt, bei der die Abstände (Fehler) zwischen der Funktion und den zu Grunde gelegten IST-Daten am niedrigsten ist.

Für den Fall, dass es nur einen relevanten Einflussfaktor gibt, lässt sich die Regressionsfunktion mit einem einfachen x-y-Diagramm und der „Trendlinienfunktion“ ermitteln (für eine Anleitung zur Umsetzung



in Excel siehe Abschnitt 2.3). Hierzu sind Daten zum Energieverbrauch und dem vermuteten Einflussfaktor zu sammeln und auszuwerten.

Gegeben seien beispielhaft die Daten in Tabelle 1, die den Heizenergieverbrauch (Gas) und die Gradtage eines Standortes über ein Jahr zeigen. Der Energieverbrauch lag, ähnlich wie im Eingangsbeispiel, bei 9 010 kWh bei 3 011 Gradtagen. Sodass auf Basis einer einfachen Division zunächst vermutet werden könnte, dass pro Gradtag der Energieverbrauch um 3 kWh steigen würde. Nun setzen wir diese beiden Werte jedoch nicht direkt ins Verhältnis, sondern analysieren, wie die Abhängigkeiten in den Daten und damit in der Realität tatsächlich waren.

Tabelle 1: Beispieldaten Heizenergieverbrauch

Zeitraum (2019)	Gradtage [Kd]	Heizenergieverbrauch Gas [kWh]
Januar	598	1 414
Februar	397	916
März	325	1 007
April	345	921
Mai	95	475
Juni	0	260
Juli	0	218
August	4	252
September	168	635
Oktober	210	607
November	393	1 038
Dezember	476	1 267
Summe	3 011	9 010

Hierzu erstellen wir ein xy-Diagramm. Abbildung 8 zeigt die Daten aus Tabelle 1 in einem solchen xy-Diagramm. Neben den Datenpunkten lassen wir uns auch die Trendlinie (blau gestrichelte Linie) anzeigen. Diese ist eine Gerade, die den Zusammenhang zwischen dem Gasverbrauch und den Gradtagen bestmöglich beschreibt. Die Trendlinie wird auch *Regressionsgerade* genannt, da die Steigung (Koeffizient der Gradtage) und der Achsenabschnitt (Grundlast) auf Basis einer Regression berechnet wird.

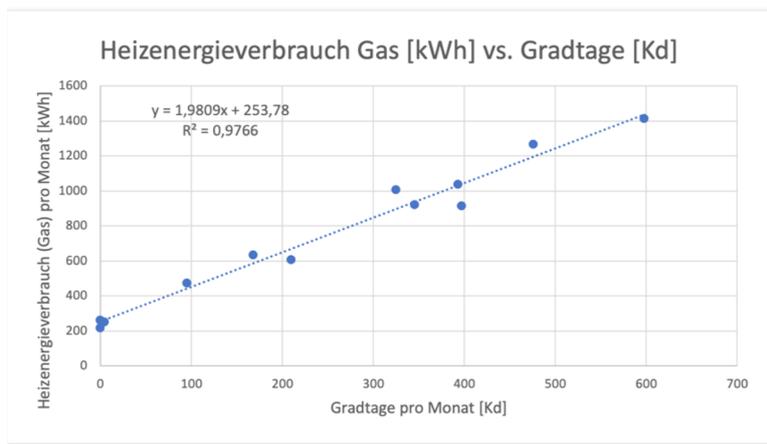


Abbildung 8: xy-Diagramm "Heizenergieverbrauch vs. Gradtage"

Im vorliegenden Fall zeigt sich, dass die Gradtage, welche maßgeblich auf der Außentemperatur basieren, die Veränderungen des Gasverbrauchs über die Monate hinweg nahezu vollständig erklären, denn die gemessenen Werte liegen nahe an der Trendlinie.

Die deutliche Abhängigkeit zeigt sich auch im sogenannten Bestimmtheitsmaß „ R^2 “ mit einem Wert von 0,976. Das R^2 weist vereinfacht gesagt auf, welcher Anteil der Schwankungen im Energieverbrauch sich anhand der ermittelten Funktion erklären lässt. Es liegt daher immer zwischen 0 und 1. Ein R^2 von 1 bedeutet, dass sich 100% der Veränderung durch die Funktion erklären lassen (perfekter Zusammenhang). Ein R^2 von 0 würde zeigen, dass 0 % der Veränderung des Energieverbrauchs durch die gegenübergestellte Variable erklärt werden können (kein Zusammenhang).

Die Funktion, die die Gerade in Abbildung 8 beschreibt, lässt sich in entsprechenden Tabellenkalkulationsprogrammen einfach anzeigen. Im hier beschriebenen Beispiel macht diese deutlich, dass der Energieverbrauch pro Gradtag um ca. 2 kWh steigt (anstatt der auf Basis eines Verhältnisses vermuteten 3 kWh) und eine von der Außentemperatur unabhängiger Wärmebedarf i. H. v. ca. 250 kWh pro Monat vorliegt. Ein solcher Sockelverbrauch ergibt sich bei der Betrachtung von Heizenergieverbräuchen regelmäßig aus dem Warmwasserbedarf für Brauchwasser, welcher nicht von der Außentemperatur abhängt. Die Funktion zur Berechnung des erwarteten Energieverbrauchs pro Monat lautet daher:

$$\text{Erwarteter Gasverbrauch}_{\text{pro Monat}}: \\ 1,98 \text{ kWh/Kd} * \text{Kd} + 253,78 \text{ kWh}$$

Diese Funktion lässt sich nun in 2020 nutzen, um den erwarteten Energieverbrauch mit Hilfe der Gradtage

aus 2020 zu ermitteln. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Berechnung.

Tabelle 2: Beispielhafter Heizenergieverbrauch (Gas) 2020 – Messung und Berechnung

Zeitraum (2020)	Grad-tage [Kd]	Heizenergieverbrauch Gas [kWh]	Erwarteter Energieverbrauch (Regression) [kWh]
Januar	374	1 077	994
Februar	473	1 274	1 191
März	398	1 105	1 042
April	188	594	626
Mai	50	280	353
Juni	0	171	254
Juli	0	224	254
August	7	181	268
September	127	491	505
Oktober	187	615	624
November	327	960	901
Dezember	370	1 024	987
Summe	2 501	7 996	8 000

Die Auswertung zeigt, dass der auf Basis der Regressionsfunktion berechnete und der gemessene Jahresenergieverbräuche in etwa gleich sind – sich die Nutzer des Gebäudes in 2020 also in etwa genauso effizient verhalten haben wie in 2019.

Abbildung 9 zeigt den Verlauf der gemessenen und berechneten Verbräuche. Es wird deutlich, dass sich auf Basis der Funktion nicht nur der Jahresverbrauch, sondern auch die Verbräuche der einzelnen Monate recht gut berechnen lassen. Sich ergebende Abweichungen können ausgehend von den Ergebnissen analysiert und ggf. Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

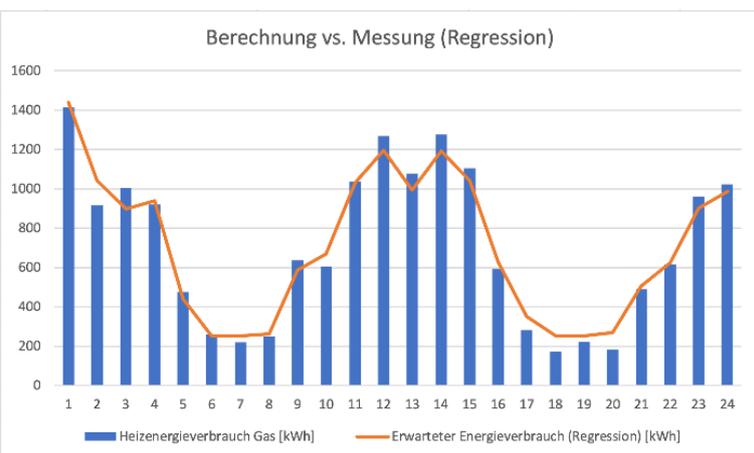


Abbildung 9: Berechneter vs. gemessener Energieverbrauch auf Basis der Regressionsfunktion

Lohnt sich der Aufwand für die Analyse ggü. der Nutzung einer Funktion auf Basis eines einfachen Verhältnisses?

Würden wir den erwarteten Energieverbrauch auf Basis des *einfachen Verhältnisses* zwischen den Gradtagen und dem Energieverbrauch von rund 3 kWh/Kd in

2019 berechnen, kämen wir zu dem Schluss, dass sich die Bewohner ineffizient verhalten hätten, da der Heizenergieverbrauch etwa 500 kWh über dem gemessenen Wert läge (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Auswertung auf Basis eines einfachen Verhältnisses

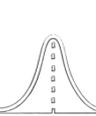
Zeitraum (2020)	Grad-tage [Kd]	Heizenergieverbrauch Gas [kWh]	Erwarteter Energieverbrauch (Verhältniskennzahl) [kWh]
Januar	374	1 077	1 118
Februar	473	1 274	1 416
März	398	1 105	1 191
April	188	594	563
Mai	50	280	149
Juni	0	171	0
Juli	0	224	0
August	7	181	22
September	127	491	379
Oktober	187	615	560
November	327	960	977
Dezember	370	1 024	1 108
Summe	2 501	7 996	7 483

Diese Fehleinschätzung entstünde dadurch, dass der von der Außentemperatur unabhängige Verbrauch für Warmwasser (relativ konstanter Grundverbrauch) bei dieser Betrachtung nicht adäquat berücksichtigt würde.

Dem „Aufwand“ für die Durchführung der Datenanalyse (Regression) steht die Aussagefähigkeit der Ergebnisse gegenüber. Die Regression und damit die Quantifizierung der tatsächlichen individuellen Verhältnisse ist daher immer dann der Vorzug zu gewähren, wenn die Ergebnisse die realen Verhältnisse möglichst belastbar widerspiegeln sollen – etwa bei der Darstellung der Verbesserung der energiebezogenen Leistung im Rahmen eines EnMS gemäß ISO 50001 oder der Bewertung der Effektivität von Energieeinsparmaßnahmen. Insbesondere wenn Energieverbräuche kontinuierlich geplant, überwacht und optimiert – also wirklich gesteuert – werden sollen, ist es von zentraler Bedeutung, dass die Funktionen die Normalisierung nicht beeinflussbarer Faktoren ermöglichen.

Neben der *einfachen Regression* mit einer Variable, die sich – wie hier gezeigt – mit einem x-y-Diagramm und der Trendlinienfunktion durchführen lässt, können auch mehrere Einflussfaktoren gleichzeitig berücksichtigt werden, was zu einer *multivariaten Regression* führt. Zentrales Ergebnis solcher Analysen ist ebenso eine Funktion, mit der sich der erwartete Energieverbrauch in Abhängigkeit von mehreren Faktoren errechnen lässt. Die bereitgestellten Beispieldateien

ISO
50001



beinhalten solche Analysen. Kapitel 2 bietet eine Anleitung dazu, wie Sie mit Excel Ihre eigenen Daten sammeln, analysieren und auswerten können.

1.7 Schwerpunktorientierte Vorgehensweise

Da die Ableitung geeigneter EnPIs mit einem gewissen Aufwand verbunden ist, sollten zunächst die **wesentlichen** energieverbrauchenden Prozesse und Anlagen in den Fokus genommen werden. Es ist daher ratsam sich zunächst mit wenigen, energieintensiven Prozessen, Anlagen bzw. Bereichen zu beschäftigen, da hier zu erwarten ist, dass der Nutzen (Energieeinsparungen und die damit verbundenen Kosteneinsparungen) den Aufwand für die Analyse und Bewertung der Energieverbräuche übersteigen.

Eine solche Schwerpunktorientierung beinhaltet auch die ISO 50001:2018. Die Norm fordert, dass Organisationen im Rahmen der energetischen Bewertung sogenannte wesentliche Energieeinsätze (eng: significant energy uses; [SEUs]) abgrenzen, die dann im Detail betrachtet werden sollen. Diese SEUs sind laut der Norm Energieeinsätze, die entweder wesentlichen Anteil am absoluten Energieverbrauch haben und/oder wesentliches Potential zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung bieten. Die ISO 50001 fordert, dass für jedes SEU mindestens eine EnPI festgelegt und überwacht wird.

1.8 Datenbeschaffung

Grundlegende Voraussetzung für die Energiedatenanalyse und die Ermittlung von Energieverbrauchsfunktionen und die spätere Gegenüberstellung von Zielwerten ist die adäquate Ermittlung und Bewertung von Energieverbrauchsdaten. Im Abschnitt 6.6. beschreibt die ISO 50001:2018 daher die Anforderungen an die Sammlung relevanter energiemangementbezogener Daten.

Die zentralen zu erfassenden Daten sind der Energieverbrauch der Organisation und der SEUs sowie Daten zu möglichen Einflussfaktoren. Für jeden Bereich, etwa die SEUs, den Sie Überwachen wollen und mögliche Verbesserungen gegenüber der EnB auswerten möchten, sind Ist-Werte zu erfassen, die eine Überprüfung des aktuellen Zustandes ermöglichen.

Voraussetzung hierfür ist, dass für die definierten Steuerungsobjekte (regelmäßig die SEUs) eine verlässliche Datenerfassung des Energieverbrauchs und der relevanten Variablen vorliegen sollte.

Die bereitgestellten und im nächsten Kapitel näher erläuterten Arbeitshilfen sollen Ihnen dabei helfen, die

relevanten Daten für die jeweiligen wesentlichen Prozesse, Anlagen und Bereiche zu sammeln, zu analysieren und auszuwerten.



ISO
50001

2 Schritt-für-Schritt Anleitung zur Sammlung, Analyse und Auswertung von Energiedaten

2.1 Bereitgestellte Arbeitshilfen

Das folgende Kapitel beschreibt die Nutzung der bereitgestellten Arbeitshilfen zur Sammlung, Analyse und Auswertung Ihrer Daten mit Screenshots der Excel-Datei und Handlungsanweisungen. Bei den Arbeitshilfen stehen drei unterschiedliche Varianten zur Verfügung, die jeweils mit einem Beispiel befüllt oder als Blanko-Version vorliegen. Die Varianten ergeben sich aus der jeweiligen Granularität der Daten. Es gibt Dateien für Tages-, Wochen- und Monatsdaten.

Die in der folgenden Anleitung verwendeten Screenshots stammen aus der Beispieldatei zu den Tagesdaten. Die Vorgehensweise ist jedoch bei allen Varianten die Gleiche und wird daher nur einmal aufgezeigt. Selbstverständlich können Sie die bereitgestellten Dateien auch dahingehend anpassen, dass diese die Verwendung stündlicher oder chargenbezogener Werte ermöglicht. Die Vorgehensweise ist bei der Nutzung unterschiedlichster Granularität möglich. Wichtig ist lediglich, dass alle Daten – also Energieverbräuche, Produktionsdaten oder Daten zu anderen Einflussfaktoren – jeweils in der gleichen zeitlichen Granularität vorliegen. Nur so lassen sich die gegenseitigen Abhängigkeiten ermitteln.

Grundsätzlich gilt:

Die Qualität der Analyse und damit die Aussagekraft der Kennzahlen hängt von der Qualität (Menge und Verlässlichkeit) der verwendeten Daten ab.

2.2 Datensammlung

Voraussetzung für die Aufstellung und Nutzung geeigneter Kennzahlen ist, dass entsprechende Daten zum Energieverbrauch und zu den möglichen Einflussfaktoren vorliegen.

1. Bestimmen Sie hierzu zunächst den Prozess oder Bereich, den Sie analysieren möchten.
2. Sammeln Sie Daten zu den Energieverbräuchen dieses Prozesses – entweder durch eigene Messung oder z. B. durch den Abruf von

Daten Ihres Energieversorgers. Bestenfalls liegen Ihnen Viertelstundenwerte vor, die sich nach Belieben zu Tages-, Wochen-, oder Monatsdaten aggregieren lassen.

3. Überlegen Sie, welche Faktoren einen Einfluss auf den Energieverbrauch des betrachteten Prozesses oder Bereichs haben können, unabhängig davon, ob Ihnen die Daten vorliegen.
4. Bestimmen Sie, zu welchen der möglichen Faktoren Daten vorliegen könnten.
5. Besorgen Sie Daten zu diesen Einflussfaktoren in möglichst kleiner zeitlicher Granularität. Häufig gibt es im Controlling oder der Produktionsleitung mehr Daten zu den Prozessen als zunächst angenommen.
6. Haben Sie Daten zu den Energieverbräuchen und möglichen Einflussfaktoren gesammelt, prüfen Sie deren Plausibilität und löschen Sie ggf. unplausible Werte bzw. schließen Sie diese von der Analyse aus.
7. Aggregieren Sie die gesammelten und geprüften Daten auf die kleinste gemeinsame Zeiteinheit. Sollte diese kleiner als ein Tag sein, ist es ratsam, die Daten auf Tagesbasis zu aggregieren, um die Menge der Daten zu reduzieren. Achten Sie bei der Aggregation darauf, dass je nach Art der Daten, Summenwerte (etwa bei Energieverbräuchen und Produktionsmengen) oder Durchschnittswerte (etwa bei Temperaturen) verwendet werden. Für eine reibungslose Aggregation der Daten bietet sich die Nutzung von Pivot Tabellen an.
8. Übertragen Sie nun die Daten in die für die gewählte zeitliche Granularität passende Arbeitshilfe im Reiter „Grunddaten“.
9. Beschriften Sie die Kopfzeilen möglichst eindeutig und geben Sie dort auch die Einheit der Daten z. B. „kWh“, „t“, „Stück“ etc. an.

In den bereitgestellten Arbeitshilfen finden Sie einige allgemeingültige Daten zu einigen möglichen Einflussfaktoren. Hierbei handelt es sich zum einen um Wetterdaten des *Deutsche Wetterdienstes*³ (bis Ende 2020):

³ Über den folgenden Link lassen sich historische Wetterdaten, des Deutschen Wetterdienstes kostenlos herunterladen:

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klimadatendeutschland.html>

- durchschnittliche Temperaturen (Düsseldorf),
- durchschnittliche relative Luftfeuchte (Düsseldorf).

Zum anderen sind dort Daten zu

- Gradtagen (abgeleitet aus den Wetterdaten) und
- der Art der Tage, also
 - o bei den Tagesdaten eine 1 oder 0 Codierung dazu, ob es sich um einen Arbeitstag handelt oder nicht und
 - o bei den Wochen und Monatsdaten die Anzahl der Arbeitstage in einer Woche oder in einem Monat

hinterlegt. Die Daten zu den Arbeitstagen basieren auf Informationen zu Wochenenden und gesetzlichen Feiertagen in NRW und sind ggf. an die Arbeitsgegebenheiten und Schichtsysteme in Ihrem Unternehmen anzupassen.

2.3 Identifikation von „Einzel-Abhängigkeiten“ (x-y-Diagramme)

Haben Sie die Daten eingetragen ergeben sich automatisch die entsprechenden xy-Diagramme (siehe Abbildung 10).

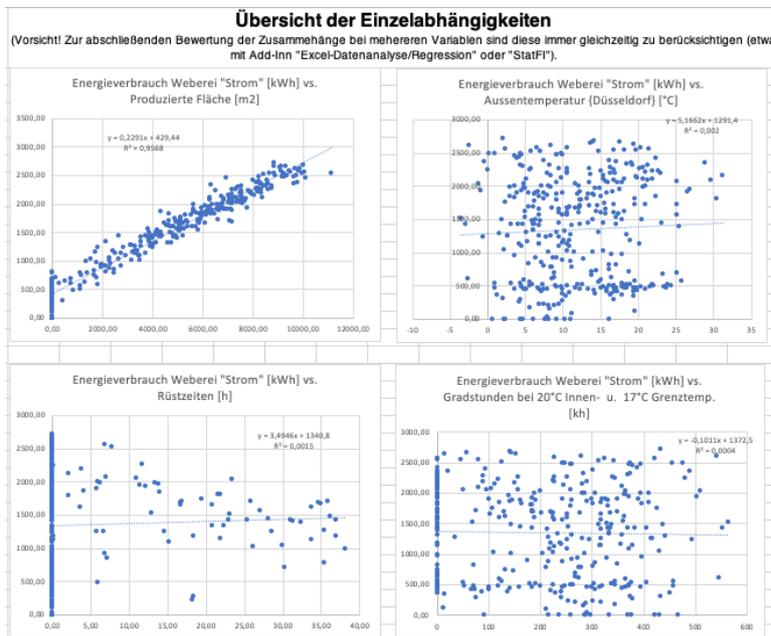


Abbildung 10: Übersicht der Einzelabhängigkeiten

Neben den Punktwolken finden Sie ebenfalls voreingestellt die jeweiligen linearen Trendlinien und Ihre Funktionen sowie die Werte des R². Auf Basis der xy-Diagramme ergibt sich i. d. R. ein erster Eindruck dazu, welche Variablen einen größeren und welche einen kleineren Einfluss haben könnten. Umso besser

sich der Trend optisch erkennen lässt und umso näher das R² an 1 liegt, desto wichtiger scheint der Einfluss der betrachteten Variablen zu sein.

Wichtig: Zur abschließenden Bewertung der Zusammenhänge bei mehreren Variablen sind diese immer gleichzeitig zu berücksichtigen – etwa mit Add-Inn "Excel-Datenanalyse/Regression" oder "StatFl" – hierzu mehr im nächsten Abschnitt.

Sollten Sie weitere xy-Diagramme benötigen, markieren Sie die Daten der zwei gegenüberzustellenden Spalten und gehen Sie zum Reiter „Einfügen“ und wählen Sie Punktdiagramm (siehe Abbildung 11 rote Ovale).

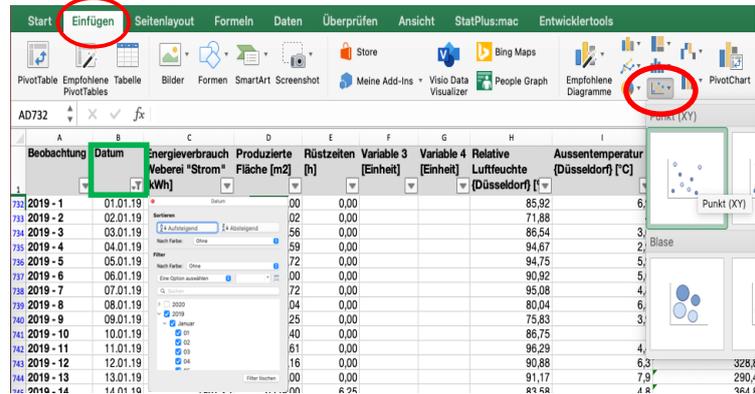


Abbildung 11: Einfügen eines xy-Diagramms

Über die Filterfunktion beim Datum lassen sich auch einzelne Tage, Monate oder Jahre von der Analyse ausschließen (siehe Abbildung 11 grüner Kasten). Wenn Sie die Filterfunktion nutzen, wirkt sich dies direkt auf die xy-Diagramme inkl. der Trendlinien-Funktionen und R²-Werte aus. Durch den Ausschluss einzelner Tage ist es auch möglich „Ausreißer“ von der Analyse auszuschließen, ohne die dazu gehörigen Daten zu löschen.

Funktion mit einer Variablen

Für den Fall, dass nur Daten zu einer Variable vorliegen oder nur eine der betrachteten Variablen eine umfassende Erklärung der Veränderungen bietet, kann die im xy-Diagramm angezeigte Funktion für die weitere Auswertung genutzt werden. In einem solchen Fall wäre eine Analyse mit mehreren Variablen (siehe Abschnitt 2.4) nicht unbedingt notwendig. Es wird an dieser Stelle allerdings dazu geraten, den Einfluss aller gesammelten Daten auf den Energieverbrauch anhand einer Regression mit mehreren Variablen zu prüfen. Die Vorgehensweise hierzu findet sich im folgenden Abschnitt.

2.4 Identifikation von simultanen Einflüssen mehrerer Variablen

Da sich der simultane Einfluss mehrerer Variablen nicht mehr mit Hilfe von xy-Diagrammen ermitteln lässt, müssen andere Instrumente zur Datenanalyse genutzt werden. Hierfür gibt es vielfältige Softwareanwendungen außerhalb von Excel – etwa SPSS, Minitab, STATA, R, etc. Aber auch Excel selbst bietet eine Datenanalysefunktion, die zunächst bei den Add-Ins aktiviert werden muss. Darüber hinaus gibt es auch Statistik-Add-Ins anderer Anbieter, die sich in Excel integrieren lassen. Im Folgenden wird die Durchführung der Regression mit mehreren Variablen sowohl mit der excelinternen Datenanalyse-Funktion als auch mit dem Excel-Add-In StatFi der Firma „Analystsoft“ kurz aufgezeigt. Das Excel-Addin „StatFi“ kann über den folgenden Link heruntergeladen werden (<http://www.analystsoft.com/en/products/statfi/>). Es besteht auch die Möglichkeit eine Testversion zu nutzen.

Die Anleitung bezieht sich maßgeblich auf die Durchführung der Regression. Der Abschnitt schließt mit einem kurzen Überblick zur Interpretation der Ergebnisse, die folgendermaßen überschrieben ist: „Wo muss ich hingucken und was muss da stehen?“.

2.4.1 Multivariate Regression mit „StatFi“

1. Installieren Sie das Add-Inn.
2. Stellen Sie die Sprache auf Deutsch (siehe Abbildung 12).

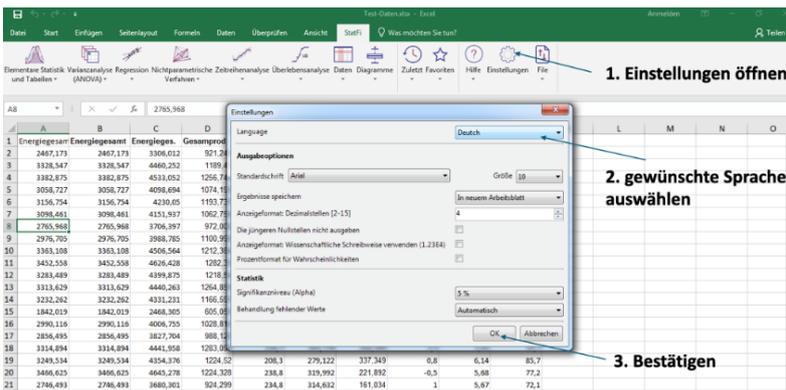


Abbildung 12: Änderung Spracheinstellung StatFi

Um eine Regression durchzuführen, klicken Sie im Reiter „StatFi“ auf das Feld „Regression“ und wählen Sie „Lineare Regression“ aus (siehe Abbildung 13).

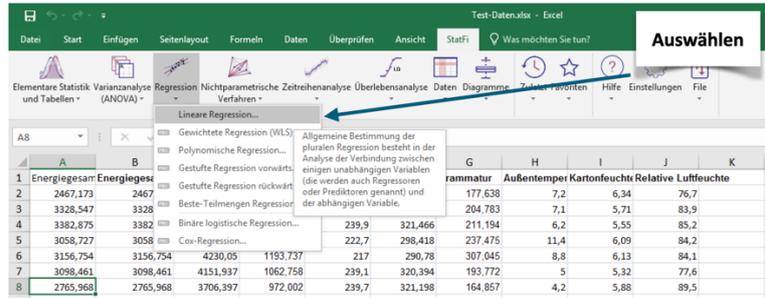


Abbildung 13: Starten der Regressionsfunktion in StatFi

Es öffnet sich ein neues Fenster.

3. Wählen Sie dort den zu analysierenden Energieverbrauch als „abhängige Variable“.
4. „Loggen“ Sie die Variablen, die zur Erklärung des Energieverbrauchs genutzt werden sollen als unabhängige Variablen ein.
5. Wählen Sie die gewünschten Grafiken aus, die ans Ende der Ergebnisse angehängt werden sollen.
6. Führen Sie die Regression mit „OK“ aus (siehe Abbildung 14).

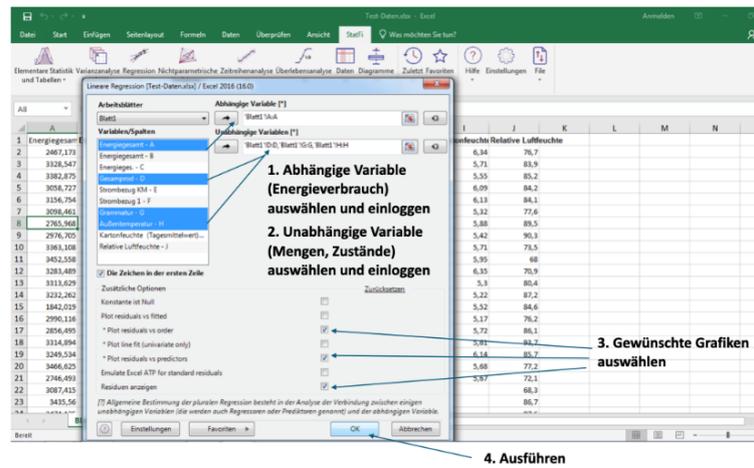


Abbildung 14: Auswahl der Variablen für die Regression in StatFi

Es öffnet sich ein neues Excel-Tabellenblatt mit den Ergebnissen. Dort findet sich neben statistischen Prüfgrößen, auf die im Abschnitt 2.4.3 z. T. eingegangen wird, auch die Funktion (siehe Abbildung 15 roter Kasten), die im Folgenden für die Auswertung zukünftiger Energieverbräuche genutzt werden kann.

Lineare Regression						
Abhängige Variable	Energieverbrauch Weiberei "Strom" [kWh]					
Unabhängige Variablen	Produzierte Fläche [m2], Rüstzeiten [h], Arbeitstag [ja=1 nein=0]					
N	365					
Regressionsstatistik						
R	0,98055 R-Quadrat					
MSE	23 316,92031 S					
Durbin-Watson (DW)	1,41893 Log-Likelihood					
Akaike-Informationskrit. (AIC)	12,90571 AICc					
Bayes-Informationskrit. (BIC)	12,92889					
PRESS	8 625 690,66938 PRESS RMSE					
	153,72713 Prognostizierte R-Quadrat					
Energieverbrauch Weiberei "Strom" [kWh] = 422,66815 + 0,23659 * Produzierte Fläche [m2] + 6,64903 * Rüstzeiten [h] - 67,38996 * Arbeitstag [ja=1 nein=0]						
Varianzanalyse						
	df	SS	MS	F	p-Wert	
Regression	3	210 101 745,88961	70 033 915,32987	3 003,56627	0	
Residuum	361	8 417 408,23094	23 316,92031			
Gesamt	364	218 519 154,22025				
	Koeffizienten	Std.fehler	LCI	UCI	t-Wert	p-Wert
Y-Kreuzung	422,66815	14,33225	394,48296	450,85334	29,4907	0
Produzierte Fläche [m2]	0,23659	0,00393	0,22905	0,24412	61,7098	0
Rüstzeiten [h]	6,64903	1,00342	-4,67376	8,62231	6,62639	1,25304E-10
Arbeitstag [ja=1 nein=0]	-67,38996	28,15071	-127,74993	-12,02999	-2,3839	0,01718

Abbildung 15: Ergebnisse der Regression mit StatFi

2.4.2 Multivariate Regression mit der Excel-Datenanalyse-Funktion

Wie bereits erwähnt, bietet Excel mit der Datenanalysefunktion ebenso die Möglichkeit, Regressionen mit mehreren Variablen durchzuführen.

1. Gehen Sie hierfür auf den Reiter „Daten“ und wählen Sie ganz rechts „Datenanalyse“ aus.
2. Es öffnet sich ein Fenster, indem verschiedene „Analyse Tools“ zur Auswahl stehen.
3. Wählen Sie „Regression“ aus (vgl. Abbildung 16).

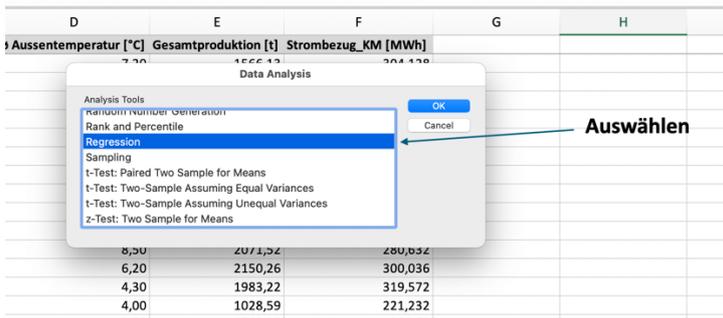


Abbildung 16: Starten der Regression mit der Excel-Datenanalysefunktion

Es öffnet sich erneut ein neues Fenster.

4. Wählen sie bei „Input Y Range“ die Daten zum Energieverbrauch aus und bei „Input X Range“ die Daten zu den relevanten Variablen.

Beachten Sie, dass es zu Fehlermeldungen kommen kann, wenn in den ausgewählten Datenbereichen leere Zellen sind. Diese Einschränkung gibt es beim vorher beschriebenen Add-In „StatFi“ nicht. Bei Datensätzen mit leeren Zellen wäre daher eine Analyse mit „StatFi“ vorzuziehen oder ein Datensatz ohne leere Zellen zu erstellen.

5. Wählen Sie die gewünschten Auswertungsgrafiken aus.

6. Führen Sie die Regression mit „OK“ aus (vgl. Abbildung 17).



Abbildung 17: Auswahl der Variablen mit der Excel-Datenanalysefunktion

Es öffnet sich ein neues Fenster mit den Ergebnissen. Die Energieverbrauchsfunktion wird nicht angezeigt. Die jeweiligen Koeffizienten der Variablen finden sich in der dritten Tabelle von oben (vgl. roter Kasten Abbildung 18)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SUMMARY OUTPUT								
2									
3	Regression Statistics								
4	Multiple R	0,980238886							
5	R Square	0,960868273							
6	Adjusted R Square	0,960652076							
7	Standard Error	153,6933139							
8	Observations	365							
9	ANOVA								
10		df	SS	MS	F	Significance F			
11	Regression	2	209968122,4	104984061,2	4444,402867	1,7691E-255			
12	Residual	362	8551031,78	23621,63475					
13	Total	364	218519154,2						
14									
15									
16									
17	Intercept	408,5052901	13,13920316	31,09056806	3,0298E-104	382,6665371	434,344043	382,6665371	434,344043
18	X Variable 1	0,229466861	0,002435635	94,2046019	1,0006E-256	0,224676697	0,234257025	0,224676697	0,234257025
19	X Variable 2	5,681861329	0,924467959	6,146087894	2,09685E-09	3,863859207	7,499863451	3,863859207	7,499863451

Abbildung 18: Ergebnisse der Regression mit der Excel-Datenanalysefunktion

2.4.3 Ergebnisse – „Wo muss ich hingucken und was muss da stehen?“

Bei den Ergebnissen der Regression schauen Sie zunächst auf die Funktion. Prüfen Sie, ob die dargestellten Einflüsse aus theoretischer Sicht Sinn ergeben – etwa, dass bei steigender Temperatur der Stromverbrauch für ein Kühlaggregat steigt.

Betrachten Sie das R², welches Ihnen zeigt, welchen Anteil der Schwankungen des Energieverbrauchs mit den genutzten Variablen erklärt werden kann. Es gibt keinen Grenzwert für die Höhe des R². In der Regel deuten hohe Werte (>0,7) darauf hin, dass Sie die wesentlichen Einflussfaktoren berücksichtigt haben. Aber auch Funktionen mit kleinerem R² bieten meist einen deutlichen Vorteil gegenüber der Nutzung von Verhältniskennzahlen.

Prüfen Sie, dass in der Spalte zu den p-Werten Werte kleiner 0,05 (ggf. 0,1 bei Monatswerten) stehen – also die Koeffizienten statistische Signifikanz aufweisen.

Variablen, die höhere p-Werten ausweisen, sollten von der Analyse ausgeschlossen werden. Denn hohe p-Werte deuten darauf hin, dass der Einfluss der jeweiligen Variablen nicht systematisch ist, sondern auch zufällig sein könnte.

Prüfen Sie auch die Werte des VIF (diese werden bei der Excel-Datenanalysefunktion nicht ausgegeben). Hierbei handelt es sich um einen Indikator, der Hinweise darauf gibt, ob Sie mehrere zu ähnliche

Variablen zur Erklärung des Energieverbrauchs herangezogen haben.

Liegt der VIF zweier Koeffizienten über fünf, schließen Sie eine der Variablen von der Analyse aus, da eine hohe Korrelation zwischen den relevanten Variablen zu falschen Ergebnissen führen kann, die sich nicht zwingend im R² oder den p-Werten niederschlagen.

Beachten Sie, dass es sich bei den obigen Beschreibungen um eine starke Vereinfachung bzgl. der Prüfung der statistischen Grenzwerte handelt. Sollten Sie unsicher bei der Interpretation der Ergebnisse sein, ziehen Sie bestenfalls einen Energieexperten mit Statistikkenntnissen zu Rate.

Abbildung 19: Ergebnisse der Regression mit StatFi

Strom [kWh] = 422,66815 + 0,23659 * Produzierte Fläche [m²] + 6,64903 * Rüstzeiten [h] - 67,38996 * Arbeitstag [ja=1 nein=0]

R² Erklärungsgehalt der ermittelten Funktion: 0,96148

Koeffizienten der Regressionsgleichung

Koeffizienten	Std. fehler	LCL	UCL	t-Wert	p-Wert	H0 (5%)	VIF
Y-Kreuzung	14,33225	394,48296	450,85334	29,4907	0	abgelehnt	
Produzierte Fläche [m ²]	0,00383	0,22905	0,24412	61,7098	0	abgelehnt	2,51121
Rüstzeiten [h]	1,00342	4,67576	8,62231	6,62639	1,25304E-10	abgelehnt	1,19424
Arbeitstag [ja=1 nein=0]	28,15071	-122,74993	-12,02999	-2,3939	0,01718	abgelehnt	2,67702

P-Wert= Wahrscheinlichkeit, dass der Zusammenhang 0 ist. Sollten i.d.R. <0,05 sein.

Indikator für Multikollinearität; sollte kleiner als 5 sein

Abbildung 20: Ergebnisse der Regression mit der Excel-Datenanalysefunktion

R² Erklärungsgehalt der ermittelten Funktion: 0,960868273

Anzahl der berücksichtigten Beobachtungen: 365

P-Wert= Wahrscheinlichkeit, dass der Zusammenhang 0 ist. Sollten i.d.R. <0,05 sein.

Koeffizienten der Regressionsgleichung

Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	13,13920316	31,09056806	3,0298E-104	382,6665371	434,344043	382,6665371	434,344043
X Variable 1	0,002435835	94,2046019	1,0006E-256	0,224676697	0,234257025	0,224676697	0,234257025
X Variable 2	0,924467959	6,146087894	2,09685E-09	3,863859207	7,499863451	3,863859207	7,499863451

Konfidenzintervalle in denen mit einer 95%tigen-Wahrscheinlichkeit der wahre Wert des Koeffizienten liegt.



2.5 Überwachung und Darstellung der Verbesserung der energiebezogenen Leistung

- Übertragen Sie zunächst die Daten des Energieverbrauchs und der relevanten Variablen (nur der Variablen, die sich nun auch in der Funktion wiederfinden) aus dem Reiter „Grunddaten“ in die Tabelle im Reiter „Auswertung“.
- Kopieren Sie die Funktion aus den Regressionsergebnissen. Wenn Sie die Analyse auf Basis des xy-Diagramms durchgeführt haben, übertragen Sie die dort angezeigte Formel der Trendlinie.



- Fügen Sie die Funktion ab dem Gleichheitszeichen in der Spalte für den „errechneten Energieverbrauch“ ein. Beginnen Sie mit der ersten Zeile, in der Daten zum Energieverbrauch und den relevanten Variablen vorliegen.
- Ersetzen Sie den Text in der Formel durch den entsprechenden Zellbezug – etwa „produzierte Fläche [m²] durch „D732“ (siehe Abbildung 21).

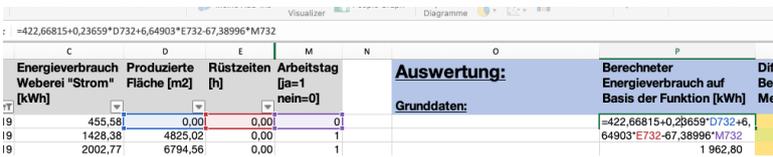


Abbildung 21: Übertragung der Funktion im Arbeitsblatt Auswertung

- Machen Sie einen Doppelklick auf dem kleinen Quadrat unten rechts in der Zelle mit der eingetragenen Formel, um die Spalte automatisch bis zum Ende der Tabelle auszufüllen.
- Pflegen Sie nun fortlaufend die aktuellen Daten zum Energieverbrauch und zu den relevanten Variablen in die Datei ein.
- Stellen Sie sicher, dass sich die automatische Berechnung der Differenz zwischen dem berechneten und gemessenen Energieverbrauch auf die richtigen Spalten innerhalb der Auswertungstabelle bezieht. Die kumulierten Werte sowie die dazu gehörigen finanziellen und klimabezogenen Werte ergeben sich automatisch in Abhängigkeit der eingetragenen



spezifischen Energiekosten und CO₂-Emissionsfaktoren.

- Vergleichen Sie regelmäßig die berechneten mit den gemessenen Werten und versuchen Sie bei wesentlichen Abweichungen zu ergründen, wodurch diese entstanden sind, um steigende Verbräuche zu vermeiden und Effizienzsteigerungen zu nutzen. Die kumulierten Differenzen zwischen den errechneten und gemessenen Werten dienen neben der Überwachung auch dem Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung für den betrachteten Prozess, der von der ISO 50001 gefordert wird.



Grunddaten:	Berechneter Energieverbrauch auf Basis der Funktion [kWh]	Differenz zwischen Berechnung und Ist-Messung [kWh]	Kumulierte Differenz (Veränderung der energiebezogenen Leistung) [kWh]	Kumulierte Differenz in Euro bei 0,15 €/kWh	Kumulierte Differenz CO2 [kg] bei 0,401kgCO2/kWh
T1	422,67	32,9	32,9	4,94 €	6,05
T2	1 496,83	-68,4	-35,5	-5,33 €	-6,53
T3	1 962,80	40,0	4,4	0,66 €	0,81
T4	1 845,07	47,0	51,4	7,70 €	9,52
T5	1 553,74	-65,9	-14,1	-2,12 €	-2,60
T6	422,67	80,3	66,2	9,93 €	12,16
T7	2 131,29	-96,2	-30,1	-4,51 €	-5,53
T8	2 594,85	-14,8	-44,9	-6,72 €	-8,24
T9	2 253,03	172,9	127,9	19,19 €	23,52
T10	2 569,86	-69,4	58,5	8,78 €	10,77
T11	2 463,44	36,0	94,5	14,18 €	17,38
T12	1 449,74	51,7	146,3	21,94 €	26,89
T13	422,67	32,9	179,2	26,88 €	32,95
T14	1 943,88	43,0	222,2	33,38 €	40,91
T15	1 432,26	177,1	399,6	59,94 €	73,47
T16	1 607,61	20,8	420,4	63,06 €	77,29
T17	1 721,84	188,2	608,6	91,29 €	111,89
T18	2 291,24	88,9	697,4	104,60 €	132,22
T19	1 090,99	145,1	842,6	126,38 €	154,61

Abbildung 22: Auswertung auf Basis des berechneten und gemessenen Energieverbrauchs

Für eine einfachere Analyse der Verläufe werden in den Arbeitshilfen neben der bedingten farblichen Formatierung der Zellen (vgl. Abbildung 23) noch drei Liniendiagramme angezeigt (vgl. Abbildung 23).

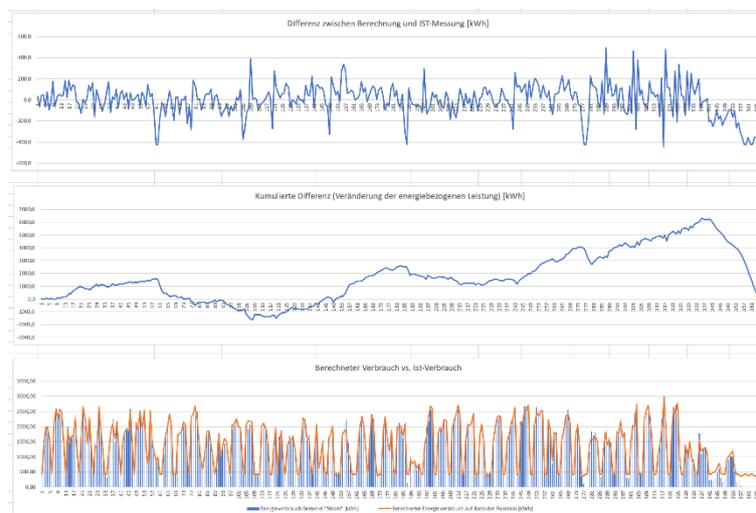


Abbildung 23: Grafische Darstellung der Veränderungen der energiebezogenen Leistung

Das erste Diagramm zeigt die Einzelabweichungen zwischen Berechnung und Messung für jeden Tag.

Das **zweite Diagramm** zeigt die kumulierten bzw. aufaddierten Abweichungen, welche letztlich die Veränderung der energiebezogenen Leistung aufzeigt.

Das **dritte Diagramm** stellt die Berechnung und Messung des Energieverbrauchs gegenüber und bietet eine geeignete grafische Grundlage zur Identifikation von relevanten Abweichungen und z.T. auch von Potentialen – worauf im nächsten Abschnitt noch kurz eingegangen wird.

Erstellen Sie für jeden wesentlichen Prozess eine Auswertungsdatei und pflegen Sie regelmäßig Daten zu den Energieverbräuchen sowie den relevanten Variablen ein. Hierdurch erfüllen Sie die Anforderungen der ISO 50001 an die Dokumentation der relevanten Variablen und Energieverbräuche für SEUs sowie die Anforderungen an die Überwachung der energiebezogenen Leistung. Gleichzeitig werden Sie in die Lage versetzt, bei den Prozessen und Bereichen, in denen Maßnahmen durchgeführt wurden, einen Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung gegenüber der Ausgangsbasis zu erbringen.

ISO
50001

2.6 Identifikation von Energieeinsparpotentialen und Ansätze zu deren Ausnutzung

Ausgehend von den Ergebnissen der Auswertung lassen sich immer wieder auch konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung identifizieren.

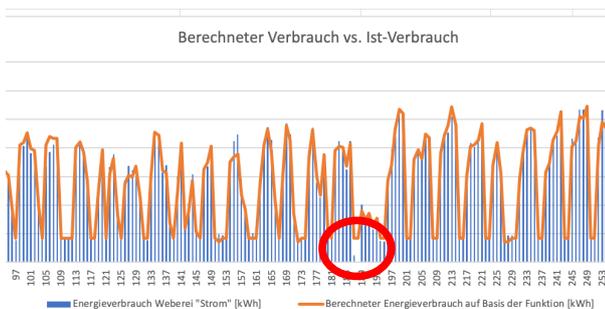


Abbildung 24: Potentialaufdeckung auf Basis der Ergebnisse der Analyse

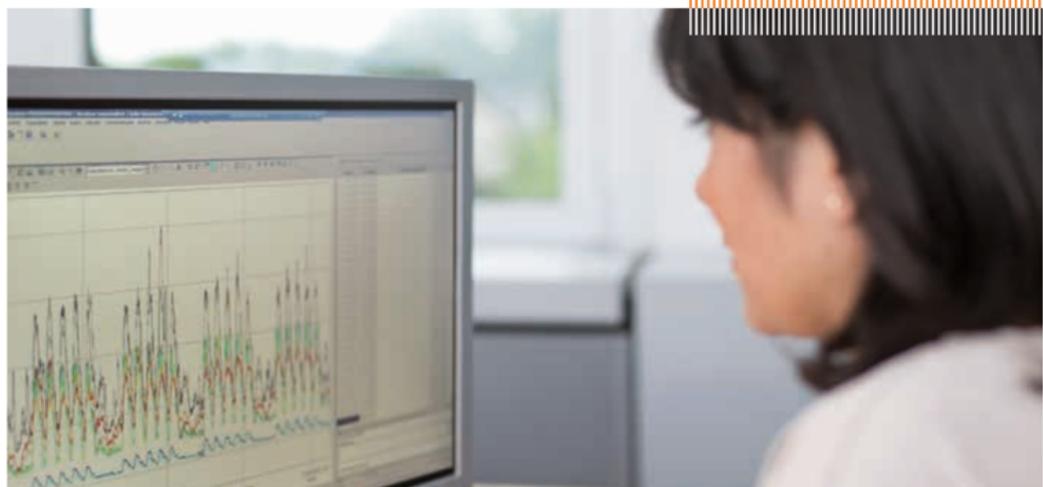
Im vorliegenden Fall etwa zeigt sich, dass es Wochenenden zu geben scheint, an denen der Energieverbrauch auf *Null* abgesenkt werden kann (siehe Abbildung 24 – roter Kreis), während an den anderen Wochenenden eine gewisse Grundlast vorzuliegen scheint. Nach Prüfung der Gegebenheiten in der Produktion stellte sich im gezeigten Fall heraus, dass eine Abschaltung am Wochenende grundsätzlich möglich sei, hierzu aber eine Veränderung der Steuerung vorgenommen werden muss. An den Wochenenden mit null Verbrauch wurde eine vollständige Abschaltung auf Grund von Wartungsarbeiten vorgenommen.

Einsparungen im Fallbeispiel:

Bei einer mittleren Grundlast an Samstagen und Sonntagen von 420 kWh/Tag ergaben sich durch die Änderungen der Steuerung, die eine vollständige Abschaltung der Anlage ermöglichte, Einsparungen in Höhe von etwa 43 680 kWh ($420 \text{ kWh} * 2 \text{ Tage} * 52 \text{ Wochen}$).

Die Datenanalyse und das regelmäßige Monitoring bieten somit Möglichkeiten, Effizienzpotentiale zu entdecken und in der Folge der Umsetzung von Maßnahmen auch deren Wirkung nachzuverfolgen.

Sie können ihre Daten nutzen, um ein vertieftes Verständnis für Ihre Energieflüsse und die relevanten Treiber Ihres Energieverbrauchs zu ermöglichen. Viel Erfolg!



Autor

Dr. Nathanael Harfst

mail@nathanaelharfst.de

Ansprechpartner

EnergieAgentur.NRW

Impressum

EnergieAgentur.NRW GmbH Roßstraße 92
40476 Düsseldorf

Telefon: 0211/837-1930

hotline@energieagentur.nrw

www.energieagentur.nrw

© EnergieAgentur.NRW

Bildnachweise

Stand

05/2021

Gestaltung