

Messleitfaden I zur Bewertung von Energieeinsparungen

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Konstantin Kulterer, Österreichische Energieagentur

Inhalt: November 2018, Layout: Dezember 2020

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an eebetriebe@energyagency.at

Inhalt

1 Warum Messen?	5
1.1 Gründe für Messung	5
1.1.1 Überblick möglicher Messaufgaben im Rahmen eines Energieaudits	6
1.2 Vorteile der Messung von Energieverbrauch und Energieeinsparungen	9
1.3 Normative Anforderung an Messungen für Energieaudits und für Energiemanagement	9
1.3.1 EN 16247-1 Energieaudits - Teil 1: Allgemeine Anforderung	10
1.3.2 EN 16247-3 Energieaudits – Teil 3: Prozesse	10
1.3.3 ISO 50015 Measurement and verification of energy performance of organizations	12
1.3.4 ISO 50004 Energy management systems	13
1.3.5 Bundes-Energieeffizienzgesetz	13
1.3.6 Energieeffizienzgesetz-Richtlinien-Verordnung	14
1.4 Schritte zur Messung des Energieverbrauchs.....	14
2 Erstellung eines Plans zur Messung und Verifizierung von Einsparmaßnahmen	16
2.1 Elemente eines Mess und Verifizier Plans.....	17
2.2 Umfang und Zweck	19
2.3 Beschreibung der Energieeinsparmaßnahmen	20
2.4 Auswahl des M&V Designs	23
2.5 Optionen	23
2.6 Messgrenze / Systemgrenze.....	26
2.7 Schlüsselparameter, unabhängige Variable, statische Faktoren	27
2.8 Wechselwirkung.....	30
2.9 Auswahl des Messverfahrens	31
2.10 Messdauer-Betriebszyklus.....	32
2.11 Addierbarkeit	34
2.12 Extrapolation von Einsparungen.....	35
3 Datensammlung-Messung	36
3.1 Messung der Baseline (energetische Ausgangsbasis)	36
3.2 Durchführung der Messung.....	39
4 Modellierung, Analyse.....	40
4.1 Entwicklung des Energiemodells	40
4.1.1 Einfache Modelle	40
4.1.2 Regressionsmodelle	41
4.2 Einsparberechnung	44

4.2.1	Einfache Fälle	45
4.2.2	Einsparberechnung mit Regressionsmodell	46
4.3	Bewertung der Unsicherheit (Genauigkeit).....	47
4.4	Fall 1: Bestimmung der Messunsicherheit der Einsparung - Subtraktion	49
4.5	Fall 2: Bestimmung der Messunsicherheit der Einsparung Multiplikation	50
4.6	Berechnung Standardfehler bei einer Datenreihe	52
4.7	Fehler des Modells (Regressionsgerade).....	53
5	Anhang.....	54
5.1	Vorschläge für Parameter je Einsparmaßnahme.....	54
5.2	Einsparbewertung Druckluft.....	54
5.3	Einsparbewertung Dampfsysteme	55
5.4	Einsparbewertung Pumpsysteme	57
5.5	Einsparbewertung Ventilatorsysteme	59
5.6	Einsparbewertung Kältesysteme	60
5.7	Anmerkungen zu Parametern je Technologie	61
5.7.1	Schlüsselparameter Beleuchtungssystem	62
5.7.2	Schlüsselparameter Motor, Pumpen, Ventilatoren	62
5.7.3	Druckluft, Dampf, Heizkessel	63
5.7.4	Kälteanlagen	64
5.7.5	Heizung, Lüftung, Klima	65
6	Leitfäden und	67
	Formelverzeichnis	68
	Tabellenverzeichnis.....	69
	Abbildungsverzeichnis.....	70
	Über klimaaktiv	71

1 Warum Messen?

Dieser Leitfaden unterstützt EnergieauditorInnen, EnergiemanagerInnen und Energiedienstleister bei der Planung und Durchführung von energierelevanten Messungen in Unternehmen.

Schwerpunkt bildet dabei die Bewertung von Energieeinsparungen auf Basis von Messungen vor und nach Umsetzung von Einsparmaßnahmen. Viele der dazu notwendigen Schritte und Methoden können aber für weitere, verwandte Themen genutzt werden: Energetische Bewertung, Energieaudit, Energiemonitoring und Energiecontrolling, Anlagensteuerung und so weiter.

Zur detaillierten Beschreibung der dafür relevanten Messtechnik wird auf den Messleitfaden II, Leitfaden zur Messtechnik, verwiesen. Die Informationen dieser beiden Leitfäden ergänzen einander.

1.1 Gründe für Messung

Der Schwerpunkt des methodischen Teils des Leitfadens liegt beim Nachweis beziehungsweise der Berechnung und Messung von Energieeinsparungen. Diese Methode enthält die meisten Fragestellungen, die bei anderen Anwendungsgebieten von Messungen im Bereich von Energieaudits und Energiemanagement auftreten.

Gründe für die Messung energierelevanter Parameter können sein:

- Durchführung eines Energieaudits
- Erstellung einer Energiebilanz
- Aufschlüsselung der Energieverbraucher
- Bewertung von Einsparmaßnahmen
- Abschätzung von Einsparmaßnahmen (vor Umsetzung der Maßnahme)
- Abschätzung der Effizienz von technischer Ausrüstung
- Bewertung von Einsparmaßnahmen (nach Umsetzung der Maßnahme)
- Nachweis der Einsparung von Einsparmaßnahmen

Im Rahmen von Energiemanagement:

- Monitoring des Energieverbrauchs wesentlicher Energieverbraucher
- Monitoring von Leistungskennzahlen wesentlicher Energieverbraucher

Weitere Gründe, die oft die Hauptgründe für Messungen sind:

- Prozesssteuerung
- Kostenzuordnung von Energiekosten auf Kostenstellen
- Sicherheitsaspekte
- Gesetzliche Vorschriften / Umweltauflagen

1.1.1 Überblick möglicher Messaufgaben im Rahmen eines Energieaudits

Für die Erstellung einer Energiebilanz und einer energetischen Bewertung im Rahmen eines Energieaudits stehen verschiedene Messaufgaben zur Verfügung.

Stufe 1: Systemgrenze Unternehmen, Energiebereitstellung

Was ist zu messen (Anlagen)

- Stromverbrauch Unternehmen
- Gasverbrauch Unternehmen
- Öl-, Holzverbrauch, weitere Energieträger
- Abwasser (Menge, Temperatur)
- Abluft (Menge, Temperatur)

Zu bestimmende Parameter

- Energierechnung Strom, Ablesung von Zählerständen
- Energierechnung Gas, Öl, Holz, Ablesung von Zählerständen
- Gewicht Holz, Abfall, Feuchtegehalt
- Bescheid Abwasser, laufende Messung

Stufe 2: Aufteilung (Strom, Gas)

Was ist zu messen (Anlagen)

Direktverbraucher Gas:

- Heißwasserkessel
- Dampfkessel
- Direktbeheizter Gasofen
- Direktbeheizung

Direktverbraucher Strom:

- Kälteanlage
- Druckluftanlage
- E-Motoren
- Maschinen

Zu bestimmende Parameter

- Energieinhalt Gas, Gasmenge
- Elektrische Leistungsaufnahme über Zeit
- Stundenzähler

Ergänzend/ Alternativ:

- Typenschild, Herstellerangabe
- Schätzung Auslastung
- (auch: Temperatur- oder Vibrationsdatenlogger)
- Abschätzung Stunden, Hochrechnung

Ergänzung Verteilnetz

Was ist zu messen (Anlagen)

- Aufteilung Energieverbrauch nach Sektoren
- Abstrahlverluste im Verteilsystem
- Leckagen (Druckluft, Dampfkondensatableiter, Lüftungsanlagen)

- Druck, Temperaturen, Massenströme in Verteilnetz

Zu bestimmende Parameter

- Temperatur-, Durchfluss-, Druckmessung in Verteilnetz
- Berechnung Durchflussgeschwindigkeit
- Länge ungedämmter Leitung
- Dicke der Dämmung
- Ultraschall für Druckluftleckagen, Dampf-Kondensatableiter

Stufe 3: Verbrauchsaufteilung und Beurteilung der Maschinen und Anlagen

Was ist zu messen (Anlagen)

Input:

- Energieverbrauch
- Laufzeiten, Massenströme, Temperaturen, Dichte, Feuchtegehalt (zur Bestimmung der erforderlichen Leistung, fall keine Messung vorhanden)
- Thermische Versorgung:
- Dampfverbrauch
- Heiß-, Warmwasserbedarf (Temp., Durchfluss)
- Kältebedarf
- Luftbedarf (Druckluft, Volumen)

Output, z. B.:

- Mechanische Arbeit
- Hydraulische Leistung
- Trockenleistung
- Druck, Volumenstrom (Druckluft)
- Abstrahlverluste
- Massenströme, Temperaturen, Dichte, Feuchtegehalt

Zu bestimmende Parameter

- Temperatur-, Durchfluss-, Druckmessung
- Elektrische Leistungsaufnahme über Zeit (siehe Stufe 1)
- Stundenzähler

Ergänzend/ Alternativ:

- Typenschild, Herstellerangabe
- Schätzung Auslastung
- Abschätzung Stunden, Hochrechnung

1.2 Vorteile der Messung von Energieverbrauch und Energieeinsparungen

Die Messung von Energieverbrauch (und damit indirekt der Energieeinsparung) bringt folgende Vorteile:

- Ermöglicht die Berechnung von Energieeinsparungen mit hoher Genauigkeit
- Ermöglicht die Erstellung einer soliden Basis für Investitionsentscheidungen
- Ermöglicht effektives Energie- und Energiekostenmanagement
- Verifizierung der Herstellerangaben über Kosteneinsparungen
- Feedback über die umgesetzte Einsparmaßnahme
- Erhöhung der Glaubwürdigkeit und Transparenz von Investitionen in Effizienzprojekte
- Besseres Verständnis der Anlagen (z. B. Energieverbrauch im Teillastverhalten)
- Aufzeigen von Problemen für Wartung und Instandhaltung

1.3 Normative Anforderung an Messungen für Energieaudits und für Energiemanagement

In diesem Kapitel sind die wichtigsten Normen und Gesetze angeführt, die Vorgaben zur Durchführung und Darstellung der Dokumentation von Messungen und Einsparmaßnahmen im Zusammenhang mit Energieaudits und Energiemanagement enthalten.

1.3.1 EN 16247-1 Energieaudits - Teil 1: Allgemeine Anforderung

Diese Norm ist mit dem Energieeffizienzgesetz mitgeltend und enthält an verschiedenen Stellen Vorgaben zur Messung, die in untenstehender Tabelle zusammengefasst sind.

Tabelle 1: Vorgaben zur Messung im Rahmen von Energieaudits nach der EN 16247-1

Prozessschritt des Energieaudits	Vorgabe mit Bezug zur Messung
Einleitender Kontakt, Auftaktbesprechung	Beim einleitenden Kontakt sind absehbare Messungen zu besprechen, in der Auftaktbesprechung sollen Anforderungen an spezielle Messungen und zu befolgende Vorgehensweisen für die Installation von Messausrüstung, falls erforderlich, vereinbart werden.
Außeneinsatz	Bezüglich Zeitpunkt und Dauer der Messung muss der Energieauditor folgendes gewährleisten: Die Verlässlichkeit der Messungen und Beobachtungen sowie die Durchführung der Messung bei normalem Betrieb und unter geeigneten Wetterbedingungen (falls relevant). Aber auch während Stillstandszeiten und ohne klimatische Belastung kann Messung sinnvoll sein.
Bericht, inklusive Maßnahmindarstellung	Der Energieauditor muss die Gründe für die Messungen und den Beitrag zur Analyse angeben. Zur Datenerfassung: Messaufbau (aktuelle Situation); Kopie der verwendeten Schlüsseldaten und der Kalibrierungszertifikate, wo zutreffend. Zur Maßnahmindarstellung: Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz: Vorschlag des Mess- und Nachweisverfahren, die für eine Abschätzung der Einsparungen nach der Umsetzung der empfohlenen Möglichkeiten anzuwenden sind.

1.3.2 EN 16247-3 Energieaudits – Teil 3: Prozesse

Nach der EN 16247-3 - diese Norm ist im Energieeffizienzgesetz nicht mitgeltend - muss der Energieauditor die Genauigkeit des Messgeräts prüfen.

Für jeden Plan zur Datenmessung sind folgende drei Punkte zu behandeln:

- Zielstellungen und Parameter

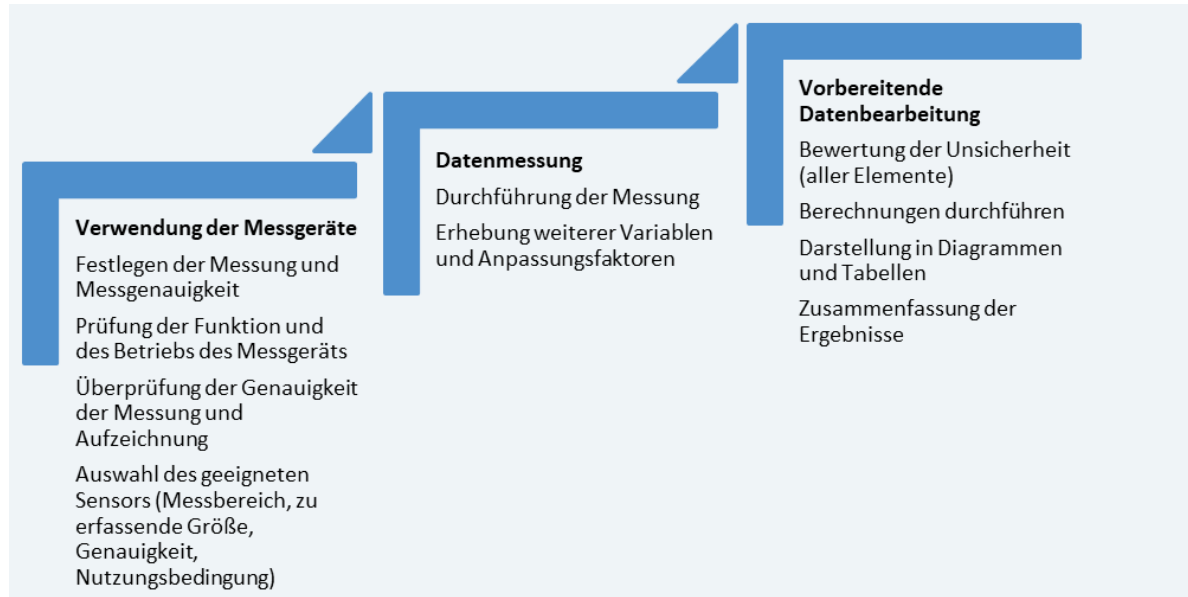
- Inhalt
- Erforderliche Messbedingungen

Im Anhang dieser Norm sind Kriterien für die Qualität des Plans zur Datenmessung angegeben. Folgende Angaben sind für jede Datenmessung anzugeben:

- Messpunkte, inklusive Standort
- Zugang zu Messpunkten, Vorbereitung der Messpunkte
- Messdauer (einmalig oder dauerhaft)
- Erfassungshäufigkeit
- Messzeitraum
- Festlegen des Verantwortlichen
- Betriebliche Beschränkungen und Einbaubeschränkungen

Der Plan zur Datenmessung ist laut diesem Anhang in drei Stufen zu entwickeln:

Abbildung 1: Drei Stufen zum Messplan (laut Anhang, EN 16247-3)



Quelle: EN 16247-3

1.3.3 ISO 50015 Measurement and verification of energy performance of organizations

Die ISO 50015 (Energy management systems – Measurement and verification of energy performance of organizations – General principles and guidance) ist eine Norm, die als Hilfestellung zur Umsetzung von Energiemanagementsystemen nach ISO 50001 entwickelt wurde (indikativ, nicht verpflichtend). Nach dieser Norm ist die Wahl der Daten auf Basis der Energieleistungskennzahlen, der Mess- und Verifizierungsmethode und des Rechenmodells zu bestimmen:

Folgende Angaben sollen in einem Datenmessplan enthalten sein:

- Name der Messgröße
- Datenquelle (alt, neu), Seriennummer, Liste der Messpunkte, physischer Messort, Messmethode
- Datenqualität (Eignung, Genauigkeit, Verlässlichkeit, Vollständigkeit, Kalibrierungsinformation)
- Identifikation und Ausschluss von Ausreißern, Identifikation von Datenlücken, Umgang damit
- Erfassungshäufigkeit
- Art der Messung (z. B. Durchschnitt über 15 Minuten)
- Methode der Datensammlung (falls nicht gemessen)
- Festlegen des Verantwortlichen
- Zugang zu Messpunkten, Vorbereitung der Messpunkte
- Betriebliche Beschränkungen und Einbaubeschränkungen
- Art des Messgeräts und Sensors

Es fehlen gegenüber EN 16247-3 die Messdauer (einmalig oder dauerhaft) und der Messzeitraum. (Anmerkung AEA)

1.3.4 ISO 50004 Energy management systems

Der Anhang der ISO 50004 (Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system) führt im Anhang E Beispiele für Messpläne an.

Tabelle 2: Beispiel für Plan zur Datenmessung – Verzeichnis der Messeinrichtungen

Messort	Gemessene Verbrauchergruppe(n)	Messgeräte-nummer	Messprinzip	Ablese-Intervall	Letzte Eichung	Genauigkeit
Werkstatt	Kompressor	L 47	Zähler/ Elektromagnet	Monatlich	April 2011	5,0 %
Heizhaus	Heizöl (Heizsystem für Heizung des Bürotraktes und Aufenthalts- räume)	AZ731	Peilung/ Längenmessung	Monatlich	April 2012	0,5 %

1.3.5 Bundes-Energieeffizienzgesetz

Das Bundes-Energieeffizienzgesetz (BGBl. 72/2014) enthält im § 27 (3) folgende Anforderungen an die Darstellung von Einsparmaßnahmen:

- Die Art der Energieeffizienzmaßnahme, die Art des eingesparten Energieträgers sowie eine eindeutige Kennnummer
- Die genaue Bezeichnung des Unternehmens gemäß § 9 oder des Energielieferanten gemäß § 10 oder § 11, dem die Energieeffizienzmaßnahme zuzurechnen ist
- Die genaue Bezeichnung der juristischen oder natürlichen Person, bei der die Maßnahme gesetzt wurde
- Den Zeitpunkt und den Ort der Energieeffizienzmaßnahme
- Die Wirkungsdauer und das Ausmaß der Energieeinsparung sowie die Art ihrer Berechnung
- Art und Umfang von erhaltenen Förderungen für die Energieeffizienzmaßnahme sowie die Angabe des Anreizes, der Aufwendungen, Investitionen oder sonstiger Maßnahmen, die für das Setzen der Effizienzmaßnahme erforderlich waren
- Den Beleg, dass die Energieeffizienzmaßnahme tatsächlich gesetzt wurde
- Das Datum der Dokumentation

Der Anhang III des Energieeffizienzgesetzes legt Kriterien für Energieaudits für große Unternehmen fest:

Der Außeneinsatz (vor-Ort-Erhebung) muss zusätzliche Messungen beinhalten, um die gegenwärtigen Betriebsbedingungen (Sollwerte) bei Nutzmittelprozessen und Herstellungsverfahren, sowie die Auswirkungen und den Energieeinsatz und Verbrauch zu bestätigen.

Im Rahmen der Maßnahmenempfehlungen ist bei Relevanz ein Plan zur Datenmessung zu empfehlen.

1.3.6 Energieeffizienzgesetz-Richtlinien-Verordnung

Weitere Vorgaben zur Einsparberechnung wird die Richtlinien-Verordnung enthalten. Diese wird erläutern, wie Energieeinsparungen berechnet und nachgewiesen werden können, um den Vorgaben des Energieeffizienzgesetzes zu entsprechen.

1.4 Schritte zur Messung des Energieverbrauchs

Es wird empfohlen sowohl bei der Durchführung von Energieaudits als auch bei der Einführung von Energiemanagementsystemen zunächst zu prüfen, welche Indikatoren bereits gemessen werden.

Für die Ableitung von Empfehlungen, die das Energiemanagement betreffen, ist darüber hinaus auch zu prüfen, ob die Daten analysiert und dann auch berichtet werden. Im besten Fall werden aufgrund dieser Berichte auch Aktivitäten gesetzt.

Darauf aufbauend ist ein Plan zur Datenmessung zu erstellen.

Generell sollten für alle Arten des Nachweises des Energieverbrauchs genauso wie für Einsparungen nachfolgende Schritte durchgeführt werden. Diese Schritte sind im vorliegenden Leitfaden in den unten angeführten Kapiteln beschrieben:

In Kapitel 2 sind die Schritte 1 bis 5 beschrieben.

- Schritt 1: Definition des Umfangs und Zwecks der Aufgabe (Energiebilanz, Energieeinsparung), inklusive Beschreibung z. B. der Einsparmaßnahme
- Schritt 2: Definition der Systemgrenze
- Schritt 3: Festlegen der Schlüsselparameter
- Schritt 4: Erfassung der vorhandenen Messstellen
- Schritt 5: Erstellen des Messplans

In Kapitel 3 ist Schritt 6 beschrieben.

- Schritt 6: Durchführung der Messung

In Kapitel 4 ist Schritt 7 beschrieben.

- Schritt 7: Auswertung der Messung, Berechnung der Einsparungen

2 Erstellung eines Plans zur Messung und Verifizierung von Einsparmaßnahmen

M&V (Messung und Verifizierung) ist das Verfahren, bei dem mittels Messungen die tatsächlich erzielten Einsparungen zuverlässig bestimmt werden. Einsparungen können nicht direkt gemessen werden, da sie das Ausbleiben von Energieverbrauch darstellen. Stattdessen wird der Energieverbrauch vor und nach der Durchführung eines Energieeinsparprojekts gemessen. Die Energieeinsparung ergibt sich aus der errechneten Differenz, wobei mögliche veränderte Bedingungen durch Anpassungen berücksichtigt werden (EVO, 2012).

Die Erstellung des Plans zur Messung und Verifizierung (M&V Plan) von Einsparmaßnahmen ermöglicht es, die wichtigsten Anforderungen des Projektes hinsichtlich Kosten, Zeitplanung und personellen Ressourcen abschätzen und einplanen zu können.

Zunächst wird ein Überblick über die Elemente eines Plans zur Messung von Einsparmaßnahmen gegeben, diese werden in weiterer Folge näher beschrieben.

Diese detaillierte Planung ist nicht für alle Einsparprojekte in allen Einzelheiten umzusetzen. Vorbedingung ist ein ausreichendes Budget, das im Verhältnis zu den Einsparungen stehen muss.

Dennoch können Abschnitte des folgenden beschriebenen Prozesses auch für Maßnahmen relevant sein, die im Umfang und Genauigkeitsanforderung nicht den umfassenden Prozess erfordern.

Zur Beurteilung der Einsparung von Effizienzmaßnahmen muss der dazu notwendige Mess- und Verifizierungsplan zeitlich parallel erstellt werden. Untenstehende Tabelle stellt diesen Verlauf dar.

Tabelle 3: Beispiel für einen Plan zur Datenmessung

Einsparmaßnahme	Messung und Verifizierung
Vor Umsetzung der Maßnahme	Vor Umsetzung der Maßnahme
Identifikation der Einsparmaßnahme	Messung Ja/Nein
Potenzialabschätzung	Identifikation der relevanten Parameter, wesentlichen Einflussfaktoren und Wechselwirkungen, Auswahl des Energiemodells, Planung der Messung
Detaillierte Einsparungsabschätzung und Wirtschaftlichkeitsberechnung	Durchführung der Messung und/oder Sammlung weiterer Daten (Schlüsselparameter etc.)
Design und Planung der Umsetzung der Maßnahme	Entwicklung des Energiemodells
Umsetzung der Maßnahme	Umsetzung der Maßnahme
Nach Umsetzung der Maßnahme	Nach Umsetzung der Maßnahme
Instandhalten der Maßnahme	Datensammlung nach Umsetzung der Maßnahme
Einsparungsberechnung	Bestimmung, Berechnung der Einsparung

Quelle: NSW, Best Practice M&V Processes, 2012, Seite 32

2.1 Elemente eines Mess und Verifizier Plans

Ein umfassender Mess und Verifizier Plan (M&V Plan) sollte die in nachfolgender Tabelle angegebenen Elemente beinhalten. Die wichtigsten Elemente werden in der Folge näher ausgeführt.

Tabelle 4: Beispiel für Plan zur Datenmessung

Element	Beschreibung
Umfang und Zweck	Enthält eine Kurzfassung des Gesamtprojektes
Projektbeschreibung	Standort und Projektdetails, Größe und Art des Projekts, wie beeinflusst es den Energieverbrauch, Kontaktpersonen
Erwarteter / Geforderter Projekt-nutzen	Erwartete Nutzen, berechnete oder erwartete Einsparungen, weiterer Nutzen
M&V Projektteam und Management	Personen, Aufgaben und Verantwortlichkeiten
Budget und Ressourcen	Budget, inklusive personelle Ressourcen
Art der M&V Option	IPMVP: A, B, C, D
Messgrenze	Beschreibung der Messgrenze (Schema, Zeichnung, Foto)
Messperiode, Schlüsseldaten	Messzeitraum (Beginn, Ende), Dauer der Berichts- und Referenzperiode inklusive der Daten des Referenzenergieverbrauchs (falls bereits verfügbar)
Bedingungen für die Baseline	Beschreibung von statischen Faktoren; Dokumentation von Problemen; Größe, Art und Isolierung des Gebäudes; Geräteliste mit Betriebsparametern
Gemessene Parameter	Liste der zu messenden Parameter, Datenquelle und –typ, Häufigkeit der Messung
Geschätzte Parameter, Begründung	Liste der zusätzlichen Parameter, die geschätzt werden; Angabe von Datenquelle, Typ und Häufigkeit der Datenerfassung, Begründung für die Schätzung (Angabe, wie sich plausibel geschätzte Werte auf das Ergebnis auswirken können)
Unabhängige Variablen und Basis für Anpassungen	Liste der unabhängigen Variablen (z. B. HGTs, Produktionsmenge); Angabe von Datenquelle, Typ und Häufigkeit, Beschreibung wie diese verwendet werden, um Anpassungen vorzunehmen (Referenz-, Berichtszeitraum-Energieverbrauch)
Wechselwirkungen	Beschreibung der Wechselwirkungen
Addierbarkeit	Falls mehrere Maßnahmen gleichzeitig umgesetzt werden
Methoden zur Datensammlung, Geräte, Messspezifikation	Typ, Spezifikation und Platzierung der Messgeräte
Analyseprozeduren zur Berechnung der Ergebnisse und Unsicherheit	Spezifizierung des Datenanalyseprozesses – Energiemodell
Energiepreise zur Einsparbewertung	Spezifikation der Energiepreise

Element	Beschreibung
Erwartete Unsicherheit	Erwartete Unsicherheit der Einsparberechnung, Genauigkeit und Konfidenzintervall
Berichtsformat	Spezifikation wie die Ergebnisse berichtet werden
Qualitätssicherung	Bestimmung der Prozeduren zu Qualitätssicherung: Messsystem-Kommissionierung, Häufigkeit Re-Kalibrierung der Messgeräte, Durchsicht der gemessenen Daten, um punktuelle Lücken oder Bedingungen zu bestimmen, die außerhalb der „Norm“ lagen, Identifikation von qualifiziertem Personal, um die Berichtsentwürfe durchzusehen.
Fortlaufendes Monitoring und periodische Inspektionen	Festlegen von Verantwortlichkeiten zum Berichten und Aufnehmen von Energiedaten, unabhängigen Variablen und statischen Faktoren innerhalb der Messgrenze während der Berichtsperiode

Quelle: NSW, Best Practice M&V Processes, 2012, Seite 34 folgende

2.2 Umfang und Zweck

Eine Messung von Einsparungen kann aufgrund von unterschiedlichen Gründen erfolgen beziehungsweise ein M&V Plan für unterschiedliche Zwecke erstellt werden. Daraus ergeben sich teilweise die Anforderungen an Messumfang und -genauigkeit und an Berichtsdocumentation.

Ein Messplan kann erstellt werden:

- Zum späteren Nachweis der Einsparungen gegenüber dem Unternehmen (für den Energieauditor, für den Energiemanager, für den Hersteller oder Installateur)
- Als interne Vorgabe
- Für Contractingzwecke
- Zur Reduktion von Unsicherheit von großen Projekten
- Zum Nachweis der Einsparungen für das Energieeffizienzgesetz
- Zum Nachweis der Einsparungen nach IPMVP
- Nach Anforderungen der ISO 50015:2014
- Nach Anhang EN 16247-3
- Weitere

Die Darstellung des Umfangs und Zwecks eines M&V Plans sollte laut ISO 50015:2014 (E) folgende Punkte enthalten und ist damit bereits auch eine Kurzfassung des Plans:

- Name des Unternehmens
- Grund, warum M&V durchgeführt wird
- Verantwortliche Personen (inklusive deren Rollen)
- Vertraulichkeitserklärung
- Verteiler (wer bekommt die Ergebnisse)
- Gesetzliche oder andere Anforderungen
- Zusammenfassung des physischen Umfangs von M&V
- Gemessene Parameter, inklusive Energieleitungskennzahlen
- Weitere Effekte
- M&V Methode (z. B. nach IPVMP A, B etc.)
- Zusammenfassung der Daten, die gesammelt und analysiert werden sollen, deren Art und Häufigkeit oder Intervall der Erhebung
- Genauigkeit
- Häufigkeit der Berichte
- Prozesse, zur Aktualisierung des Einsparberichts

Quelle: ISO 50015:2, 5.2

2.3 Beschreibung der Energieeinsparmaßnahmen

Zunächst ist die Energieeinsparmaßnahme genau zu beschreiben, um zu gewährleisten, dass ein Außenstehender den Messplan verifizieren kann. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick, welche Informationen die Beschreibung enthalten sollte beziehungsweise welche Überlegungen dokumentiert werden sollten.

Tabelle 5: Fragen zur Einsparmaßnahme

Fragen	Einsparmaßnahme	Auswirkung
Was?	Welche Art von Einsparmaßnahme wird vorgeschlagen, wie beeinflusst sie die Energieeinsparung? (Kosten und Leistung) Wie wurde die Einsparung abgeschätzt? Welche Messpunkte sind verfügbar?	M&V Design Auswahl der Einflussfaktoren (Parameter) Auswahl der Systemgrenzen und Option (A,B), siehe Kapitel 2.5
Wo?	Wo wird die Einsparmaßnahme umgesetzt, welche Prozesse sind betroffen?	Zugang zur Anlage Auswahl der Messgrenze und Option
Wann?	Wann wird die Einsparmaßnahme umgesetzt?	Zeitplanung Ressourcenplanung Verfügbarkeit Frequenz, Zeitintervall zur Datensammlung
Warum?	Warum wird sie umgesetzt, was sind die Vorteile?	M&V Planung Zielgenaues Ergebnis Genauigkeit Datenspeicher
Wie viel?	Wie viel kann für Messung ausgegeben werden, basierend auf Projektkosten und Budget?	M&V Budget Gesamtziel
Wer?	Wer ist für die Umsetzung der Maßnahme verantwortlich?	Ressourcenplanung, Verfügbarkeit

Quelle: NSW, Best Practice M&V Processes, 2012, Seite 15

Dieser Leitfaden konzentriert sich insbesondere auf die bisher in den klima**aktiv** Leitfäden vorgeschlagenen Maßnahmen. Diese ergeben sich normalerweise aus einem Energieaudit oder aus Umsetzung eines Energiemanagementsystems (z. B. energetische Bewertung, internes Vorschlagswesen, internes Managementsystem-Audit), können aber auch aus anderen Gründen gesetzt werden: Prozesserfordernisse, Austausch oder Optimierung der Anlage und so weiter.

Für den einzelnen Fall sind die spezifischen Umstände im jeweiligen Unternehmen beziehungsweise in der jeweiligen Anlage zu berücksichtigen. Um den Einfluss der Energieeinsparmaßnahme auf den Energieverbrauch des Gesamtunternehmens abschätzen zu können, ist es daher wichtig, den Zusammenhang mit der Gesamtanlage zu prüfen.

Relevante Informationen können dazu sein:

- Informationen zu Energiesystemen und Bereichen
- Zugang zum Standort und Anlagen, Sicherheit und Standortanforderungen
- Betriebszeiten
- Wartungsintervalle
- Energieträger, Anspeisung und verfügbare Messgeräte Zähler
- Bestehende Steuerung und bestehendes Datenspeichersystem, inklusive SCADA-System, Gebäudemanagementsystem, Leitsystem (DCS-Distributed Control Systems)
- Historischer Energiebedarf
- Kritische Energieversorgung (was darf nicht unterbrochen werden)
- Einfluss der Einsparmaßnahme auf den Energieverbrauch der Gesamtanlage (mögliche Wechselwirkungen, die zu höherem oder weiter niedrigerem Energieverbrauch außerhalb der Messgrenze führen)

Wesentlich für das Messkonzept ist die Fragestellung, **wie die Energieeinsparmaßnahme zur Energieeinsparung führt**. Dies kann im Prinzip nur über die Verringerung der Leistung oder Verringerung der Betriebszeit erfolgen.

Tabelle 6: Effekte von Einsparmaßnahmen auf den Energieverbrauch

Effekte der Einsparmaßnahme (Diese können kombiniert auftreten.)	Durch
Verringerung der aufgenommenen Leistung	Komponenten mit höherer Effizienz: Geringere Leistungsaufnahme bei gleicher Liefermenge oder Wärmeleistung
Verringerung der notwendigen, abgegebenen Leistung	Steigerung der Effizienz des Verteilungsnetzes Optimierung beim Verbraucher Regelung der Anlage, Änderung der Parametereinstellung
Verringerung der Betriebszeiten	Ausschalten der Anlage, Ausschalten der Verbraucher

Quelle: AEA

Die ISO 50015 (siehe Punkt 1.3.3) fordert zusätzlich noch detailliertere Informationen zum Nachweis von Energieeinsparungen:

- Informationen zur Baseline
- Physische Verifizierung der Einsparmaßnahme (z. B. Begehung, Fotos)
- Informationen über Folgeeffekte (Beschreibung, Bestimmung ob gemessen oder nicht, Beschreibung von Auswirkungen, falls Folgeeffekte nicht quantifiziert werden)

2.4 Auswahl des M&V Designs

Die Entscheidung für das M&V Design umfasst:

- Auswahl der Option (wie viel kann gemessen werden)
- Messgrenze
- Auswahl der Schlüsselparameter

Alle drei Möglichkeiten können als Erstes definiert werden und dann die beiden anderen abgeleitet werden:

- Beispielsweise wird **zunächst die Messgrenze** um das Projekt gelegt, daraus ergeben sich die Schlüsselparameter und unabhängigen Variablen. Die Art der Einsparmaßnahme gibt vor, ob nur Schlüsselparameter oder alle Parameter gemessen werden.
- Die **Schlüsselparameter** können aber auch bereits vorab definiert werden: Aufgrund von Kostenreduktion, aufgrund bestehender Messpunkte, fortlaufende M&V ist erforderlich und greift auf bestehende Datenerfassung zurück.

2.5 Optionen

Die verwendete M&V Methode hängt ab vom Zweck des M&V, von der erforderlichen Genauigkeit, der Erfahrung der verantwortlichen Personen, der Art der Einsparmaßnahme und der gemessenen Parameter, der M&V Grenze, den bisher erhobenen Informationen, rechtlichen Anforderungen und den Kosten der Methode.

Generell wird in den meisten Dokumenten (US FEMP Guide, NSW Guide, auch in der ISO 50015 wird keine eigene Methode entwickelt) auf die im International Performance Measurement and Verification Protocol – IPMVP (EVO, 2012) vorgeschlagenen vier unterschiedlichen Optionen verwiesen.

Tabelle 7: Überblick über Optionen nach IPMVP

Optionen	Kurzfassung (Langfassung siehe EVO, 2012)
A Teilsystem, Messung der Schlüsselparameter	<p>„Ermittlung der Einsparungen durch Vor-Ort-Messung der Schlüsselparameter, die bestimmend sind für den Energieverbrauch der von Energieeinsparmaßnahmen betroffenen Systemen und/oder den Projekterfolg.“ „Nicht für die Messung bestimmte Parameter werden geschätzt. Schätzungen können sich auf historische Daten, Herstellerangaben oder technische Beurteilungen stützen. (Quellen und Begründungen sind anzugeben).“ (EVO, 2012, S 19)</p> <p>Wann ist diese Option anzuwenden? Wenn man zusätzliche Messungen benötigt, die Kurzzeitmessung ausreichend ist, der gesamte Standort schwierig zu analysieren ist oder die Maßnahme unter 10 % Einsparung vom Gesamtunternehmen bringt. Die Schlüsselparameter sind abhängig von der Einsparmaßnahme: In sehr vielen Fällen ist es die aufgenommene Leistung (z. B. Ventilator-, Pumpentausch, Motor-, Getriebetausch, Optimierung im Verteilsystem). Dabei wird dann die Betriebszeit geschätzt. Bei Regelungen (z. B. CO₂-Sensor) kann es die Betriebszeit sein, die Leistung wird von Herstellerangaben (die im IPMVP als Schätzung gelten) übernommen.</p>
B Teilsystem, Messung aller Parameter	<p>„Einsparungen werden ermittelt durch eine Vor-Ort-Messung des Energieverbrauchs der von der Energieeinsparmaßnahme betroffenen Systeme (EVO, 2012, Seite 20). Dazu sind alle Energiegrößen (vorher-nachher) zu messen oder alle für die Energieberechnung nötigen Parameter.“ (EVO, 2012, Seite 27)</p> <p>Das ist z. B. bei einer Drehzahlregelung sinnvoll und kann generell für alle Arten von Einsparmaßnahmen eingesetzt werden.</p>
C Gesamtsystem	<p>Bestimmung der Einsparung durch Messung des Energieverbrauchs auf Ebene der gesamten Anlage oder eines Teils davon (EVO, 2012, Seite 20)</p> <p>Hier werden die Messwerte vom EVU-Zähler übernommen! Dabei sind Anpassungen vorzunehmen. Diese Vorgehensweise eignet sich weniger zum Nachweis von einzelnen Einsparmaßnahmen, und ist eher bei größeren Einsparmaßnahmen oder -programmen sinnvoll!</p>
D Kalibrierte Simulation	<p>Einsparungen werden durch Simulation des Energieverbrauchs der Anlage/des Anlagenteils ermittelt. (kann für den Verbrauch vor oder nach Umsetzung der Maßnahmen gelten)</p>

Quelle: M&V-Methoden

Für die klimaaktiv Maßnahmen werden die **Optionen A** und **B** vorgeschlagen. Daher werden die Optionen C und D (Kalibrierte Simulation) nicht weiter beschrieben.

Tabelle 8: Überblick über zu messende Parameter je nach Einspareffekt Option A

Typische Projekte Option A	Messung	Abschätzung oder Bestimmung	Berücksichtigung
Motor-, Ventilator-, Pumpen-, Getriebetausch Drehzahlregelung Reduktion der Druckverluste (Verteilnetz)	Aufgenommene Leistung	Anforderung an die geleistete Arbeit Betriebszeit (Einschaltdauer) Wechselwirkungen	Anpassung an die Systemanforderung Zukünftige Anforderungen Komfort Wechselwirkungen
Änderung der Betriebszeiten (Einschaltdauer) Installation von Sensoren (CO...)	Betriebszeit (Einschaltdauer)	Leistungsaufnahme Wechselwirkungen	Auswirkungen der Maßnahme
Kombination aus Regelung und Motor-, Pumpen-, Lüftertausch	Schlüsselparameter (größte Auswirkung auf Gesamtverbrauch, höchste Unsicherheit)	Je nach gem. Schlüsselparameter: z. B. Leistung, Betriebsstunden, Wechselwirkung	Keine Berücksichtigung genannt

vergleiche NSW, Operational Guides

Tabelle 9: Überblick über zu messende Parameter je nach Einspareffekt Option B

Typische Projekte	Messung	Abschätzung oder Bestimmung	Berücksichtigung
Für alle Projekte möglich	Änderung in aufgenommener Leistung und geleisteter Arbeit (z. B. hydraulische Leistung) in Abhängigkeit von unabhängigen Variablen (Betriebsstunden, sensorbasierte Steuerung)	Wechselwirkung	Anpassung an Systemanforderung Zukünftige Anforderungen Komfort Wechselwirkungen

vergleiche NSW, Operational Guides

Quelle Tabelle 8 und Tabelle 9: MV-Methoden

2.6 Messgrenze / Systemgrenze

Die „**Systemgrenze** ist eine fiktive Grenze, die um die zu bewertenden Geräte und/oder Systeme gezogen wird, um für sie getrennt vom Rest der Anlage eine Bestimmung der Einsparungen durchzuführen. Es wird der gesamte Energieverbrauch der innerhalb der Systemgrenze liegenden Geräte oder Systeme gemessen beziehungsweise geschätzt. Berücksichtigt werden auch die Auswirkungen auf den Energieverbrauch außerhalb der Grenze“ (EVO, 2012, Seite 66).

Mögliche Systemgrenzen:

- Messpunkte (der gesamte Energieverbrauch innerhalb der Systemgrenze sollte gemessen oder geschätzt werden)
- Definition des Ausmaßes der Anpassungen (alle unabhängigen Variablen und statischen Faktoren) können identifiziert werden
- Exklusion des Energiebedarfs oder jener Variablen, die nicht von der Einsparmaßnahme betroffen sind (Reduktion der Komplexität)
- Referenzpunkt, um die Einsparungen zu berechnen

Einflussfaktoren zur Festlegung der Systemgrenzen:

- Projekt Ziel und Budget
- Physischer Ort der Einsparmaßnahme
- Beeinflusstes Gerät oder System
- Erwartete Wirkung der Maßnahme (höhere Effizienz, geringere Last, Leistung, Betriebszeit)
- Variablen mit Einfluss aufs Ergebnis (Wetter, Produktionsmenge, Produktqualität)
- Höhe der Einsparungen
- Anforderungen an Messgeräte und verfügbare Messpunkte
- Falls eine Einsparmaßnahme mehrere Systeme beeinflusst, sind diese in die Messung aufzunehmen.

Systemgrenzen können örtlich um folgende Systeme gezogen werden:

- Spezifisches Equipment (Pumpe, Ventilator, Kompressor, Stromversorgung der Beleuchtung)

- Energiesystem (z. B. Lüftungssystem, Kälteanlage inklusive Verflüssiger und Verdampfer, Druckluft inklusive Verteilung und Druckluftverbraucher)
- Physischen Raum (z. B. Produktionslinie, Geschoß, Halle)
- Eine Kombination aus oben genannten Möglichkeiten

Die Darstellung der Systemgrenze kann schriftlich, mit Foto und mit Hilfe eines Plans oder Schemas erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass für alle eingehenden und ausgehenden Ströme eine klare Abgrenzung durchgeführt wurde.

Als etwas schwieriger kann sich die Messung von Beleuchtungssystemen erweisen:

- Messgrenze kann in unterschiedliche Bereiche (je nach Betriebszeiten) aufgeteilt werden.
- Messgrenze kann Nicht-Beleuchtungslasten umfassen, falls aufgenommene Leistung, Betriebszeiten und unabhängige Variablen bestimmt werden können.

2.7 Schlüsselparameter, unabhängige Variable, statische Faktoren

Schlüsselparameter bezeichnen Datentypen, die innerhalb einer Messgrenze (Systemgrenze) zur Messung und Verifizierung der Auswirkung der Einsparmaßnahme und zur Berechnung von Einsparungen **gemessen** werden. Sie sind bestimmend für den Energieverbrauch. Nicht für die Messung bestimmte Parameter werden geschätzt (bei Option A).

Sie ermöglichen:

- die Bestimmung des Energieverbrauchs in Referenz- und Berichtsperiode,
- die Bestimmung von Anpassungen und
- die Berechnung der Energieeinsparungen.

Tabelle 10: Überblick über Parameter mit Einfluss auf die Leistung

(Schlüssel-)Parameter	Beschreibung
Energiebedarf	Bezieht sich auf den Energiebedarf innerhalb der Systemgrenze und wird normalerweise gemessen, da dies die relevanteste Kenngröße ist. Er ist für jeden Energieträger zu messen und ist das Produkt aus Leistung und Zeit (Betriebsstunden). Es kann aber auch nur die (Momentan-)Leistung gemessen werden (abhängig von Option).
Effizienz	Abgeschätzt: Herstellereffizienzkurven; oder Bestimmung des Energiebedarfs bei unterschiedlichen Lastbedingungen, gemessen aus aufgenommener Leistung z. B. des Kompressors und geliefertem Output (Druck, Durchfluss)
Betriebsstunden	<p>Projekte zur Steuerung von Anlagen: Betriebsstunden müssen gemessen werden (abhängig von der Variabilität der aufgenommenen Leistung und damit verbundener Unsicherheit), können bei bestimmten Projekten als konstant angenommen werden.</p> <p>Steuerung/Regelung der Betriebsstunden kann über manuelle Steuerung, automatisierte Ein-, Ausschalten über Zeitschaltuhren, Steuerungssystem, Sensoren, Kombinationen erfolgen.</p> <p>Die tatsächlichen Betriebszeiten werden beeinflusst von: Art der Anwendung (Klimaanwendung, industrielle Prozesse, andere Betriebsmittelprozesse); Belegungszeiten (Öffnungszeiten, Betriebszeiten, saisonale Änderungen, Ferienzeiten); Art, Platzierung und Anwendung der Steuerung; Wettereffekte, Nutzerkultur und Verhalten.</p>
Output	<p>Zu Verfügung gestellte Energiedienstleistung: z. B. Beleuchtungsniveau, Druckluft (Volumen und Druck), Dampfmenge Schätzfaktoren für die Systemlast: z. B. Produktionsmenge und –typ; Verwendung von Pneumatikanlagen</p> <p>Maßnahme stellt gleiche Energiedienstleistung zu Verfügung: z. B. Durchfluss, Beleuchtungsstärke, Temperaturen, Druck sollen gleichbleiben. Diese müssen nur im Rahmen der Umsetzung sichergestellt werden und können im M&V vernachlässigt werden.</p> <p>Maßnahme reduziert unnötige Energiedienstleistung: Diese Reduktion des Outputs soll überprüft (falls erforderlich und möglich: gemessen) werden und es soll sichergestellt werden, dass sie akzeptabel ist. (z. B. zeitliches oder räumliches Abtrennen von vorher versorgten Bereichen)</p> <p>Verbesserung der Energiedienstleistung mit und ohne Änderung des Energieverbrauchs: Die Outputsteigerung soll im M&V Plan erfasst werden, z. B. höhere Produktionsmenge.</p>

Quelle: NSW, 2012, Seite 25

Definition und Beispiele für unabhängige Variable und statische Faktoren (NSW, 2012, Seite 25 folgende)

Unabhängige Variablen

Parameter, der sich regelmäßig (vorhersehbar) ändert und eine messbare Wirkung auf den Energieverbrauch innerhalb der Systemgrenze hat. Dieser Parameter muss nicht innerhalb der Systemgrenze liegen.

Arten:

- Betriebsspezifisch: Belegung, Betriebsstunden
- Systemspezifisch: eingesetztes Rohmaterial, Produktionsmenge
- Umwelt: Umgebungstemperatur, Feuchte, Sonnenstunden, Wind
- Lastprofil

Anmerkungen zur Erhebung:

- Können durch historische Analyse aus Energieverbrauchsmustern identifiziert werden (siehe Kapitel Energiemodell / Regressionsanalyse)
- Die Funktion und Steuerung des Energiesystems ist zu beachten (z. B. Dimmen nach Tageslicht)
- Erhebungszeitraum für Variable und Energieverbrauch soll übereinstimmen (jeweilige Woche, Monat)

Statische Faktoren:

Anlagenmerkmale mit Einfluss auf Energieverbrauch innerhalb der Systemgrenze, die aber nicht für routinemäßige Anpassungen verwendet werden.

Beispiel für fixe Merkmale: Anzahl und Art der Maschinen, Betriebsstillstände, Flächenänderungen

Im Anhang findet sich eine Tabelle zu den wichtigsten Einsparmaßnahmen aus den klimaaktiv Leitfäden mit Vorschlägen für die zu messenden Parameter!

Nach Identifizierung der relevanten Parameter/Variablen (siehe auch Energiemodell Regressionsanalyse) sollen nach der ISO 50015:2014 (5.7) für diese folgenden Punkte festgelegt werden:

- Typische Betriebsbereiche dieser Parameter
- Repräsentative Zeitdauer zur Messung oder Erhebung
- Datencharakteristika und Datenquelle
- Informationen zu Folgeeffekten
- Beschreibung von Folgeeffekten
- Identifizierung, ob Folgeeffekte im M&V Plan erfasst werden
- Beschreibung, falls Folgeeffekte nicht beschrieben werden

Was soll gemessen werden?

- Die sichersten und am vorhersehbarsten Parameter können geschätzt oder festgelegt werden, ohne dass die Unsicherheit zunimmt.
- Festlegen (also nicht messen) von Parametern, die eine geringe Unsicherheit in den gesamten Einsparungen darstellen.
- Parameter, die einen größeren Einfluss auf Projekteinsparungen und Unsicherheit haben, sollten gemessen werden.
- Falls abgeschätzte Einsparungen hoch sind und die Unsicherheit niedrig, ist Messung eventuell nicht notwendig
- Falls abgeschätzte Einsparungen gering, die Unsicherheit aber hoch ist, sollten andere finanzielle und nichtfinanzielle Vorteile des Projektes über das Fortsetzen des Projektes entscheiden.

Quelle: NSW, Operational Guide, 2012, Seite 31 folgende

2.8 Wechselwirkung

Wechselwirkung ist ein durch eine Energieeinsparmaßnahme erzeugter, aber nicht gemessener Energieeffekt außerhalb der Systemgrenze. (Vergleich EVO 2012, Seite 66)

Beispiele sind:

- Wärmerückgewinnung aus Kessel oder Druckluftstation verringert die Lufttemperatur im Kesselhaus oder in der Kompressorstation, dafür müssen Abzugsventilatoren weniger laufen.
- Pumpen und Ventilatoren innerhalb größerer Systeme können aufgrund vermindertem Volumenstrom und/oder Druck und Änderungen der Betriebszeiten weitere Effekte haben (z. B. Luft-, oder Wasserdurchsatz durch einen Heizkessel).
- Optimierte Beleuchtungssysteme reduzieren die Kühllast und erhöhen den Heizbedarf.
- Anpassung der Temperatur-Sollwerte in HLK Systemen können die Last und Ein- und Ausschaltzeiten weiterer Komponenten (Ventilatoren, Pumpen, Kühlturm, Lüftungsanlage) beeinflussen.

Die Wechselwirkungen sollen je nach Unsicherheit und Größe der Effekte berücksichtigt werden:

- Klein und zu zusätzlichen Einsparungen führend sind zu vernachlässigen
- Klein bis mittel und mit bereits verfügbaren Daten sind abzuschätzen
- Mittel oder groß und schwierig zu bestimmen unter Einbeziehung dieser Effekte innerhalb der Systemgrenze (sind dann keine Wechselwirkungen mehr), z. B. Option C (das heißt Aufnahme, Messung des Gesamtenergieverbrauchs der Anlage und nicht nur der Teilkomponente. Dies ist aber nur unter bestimmten Bedingungen möglich, insbesondere wenn der Effekt hoch genug ist)

2.9 Auswahl des Messverfahrens

Generell spielen folgende Aspekte bei der Auswahl des Messverfahrens beziehungsweise der Entscheidung zur Messung eine Rolle:

- Gründe: Was möchten wir wissen, warum ist Messung wichtig, welche weiteren Gründe für die Messung gibt es (interne, externe Gründe)?
- Projekt: Welche Komplexität hat das Projekt, wie groß sind die Einsparungen und deren Unsicherheit, wie viel Zeit gibt es für die Messung, welche Daten sind verfügbar?
- Welche Parameter sollen gemessen werden?

- Kosten, Ressourcen: Sind Ressourcen und Geräte verfügbar, ist ein M&V Budget vorhanden, welches Ausmaß an Unsicherheit ist akzeptabel beziehungsweise welche Anforderung an die Genauigkeit sind zu erfüllen?
- Was ist die kürzeste, akzeptable Messdauer? Genügt eine Einmalmessung?
- Wie werden die Einsparungen berechnet werden, sind Anpassungen erforderlich?

Aus der Beantwortung dieser Fragen ergeben sich z. B. Auswahl der M&V-Option, die Länge der Messung, die Notwendigkeit der Extrapolation, die Kosten versus Genauigkeit, die Art des Reportings.

2.10 Messdauer-Betriebszyklus

Änderungen in unabhängigen Variablen verursachen Änderungen im Energiebedarfsmuster innerhalb eines Systems. Die Dauer eines Zyklus ist ein Betriebszyklus. Aus M&V Sicht ist das Verständnis dieses Zyklus wichtig, da die Länge der Messung durch den Betriebszyklus des Energiesystems und das gewünschte Genauigkeitsniveau bestimmt wird.

Laut IPMVP sind folgende Faktoren für die Dauer der Messung relevant (EVO, 2012):

- Alle Betriebsbedingungen eines normalen Betriebszyklus sind ausreichend darzustellen.
- Es sollen Zeiträume für die Messung gewählt werden, für die alle fixen und variablen Einflussfaktoren bekannt sind.
- Zeitraum der Messung soll unmittelbar vor Durchführung einer Energiesparmaßnahme liegen.

In vielen Fällen kann eine **Momentanmessung** zur Bestimmung der Leistung ausreichen, um die Einsparung zu bestimmen.

In vielen weiteren Fällen ist eine Messdauer **von einer Woche** sinnvoll. Experten empfehlen allerdings **zehn Tage**, da einerseits das gesamte Wochenende abgebildet werden sollte, aber auch der erste Teil der zweiten Woche zur Absicherung der Messwerte dient. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen, die einen Einfluss auf diesen Zeitraum haben. Nicht sinnvoll z. B. bei Maßnahmen, die Anlagen am Wochenende abschalten.

Bei Einsparmaßnahmen, deren Einsparauswirkung vom Wetter abhängig ist, kann es sinnvoll sein, längere Messzeiträume vorzusehen. In diesen Fällen sollen jedenfalls bestehende Datenquellen nochmals geprüft werden, ob solche Aufzeichnungen bereits vorliegen (Lastganganalyse, Leitsystem).

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über Messdauern in Abhängigkeit der Systemparameter und gewählter Option.

Tabelle 11: Überblick über Messdauern in Abhängigkeit der Systemparameter

Parameter	Option A Schlüsselparameter: Aufgenommene Leistung	Option A Schlüsselparameter: Betriebsstunden/ Systemlast	Option B
Aufgenommene Leistung	Leistungsmessung (Kurzzeit-, Momentan-Messung) während relevanter Zeitperioden	Keine Messung erforderlich	Leistungsmessung (Kurzzeit-, Momentanmessung) während relevanter Zeitperioden
Gemessener Energieverbrauch	Bei konstanter Last : Nicht erforderlich Bei schwankender Last : Zwischen einer Woche und einem Monat oder periodisch, abhängig von Produktion und Wetter	Keine Messung erforderlich	Bei konstanter Last : Nicht erforderlich Bei schwankender Last : Zwischen einer Woche und einem Monat oder periodisch, abhängig von Produktion und Wetter
Unabhängige Variablen: Betriebsstunden Systemlast Thermische Last	Keine Messung erforderlich	Eine Woche bis ein Monat Periodische Wiederholung falls relevant (Wetter, Saisonabhängigkeit, Produktionsniveaus)	Für Betriebszeit : Eine Woche bis ein Monat Periodische Wiederholung falls relevant (Wetter, Saisonabhängigkeit Produktionsniveaus) Industrielle Kälteanlagen: Zwei Wochen bis drei Monate (abhängig vom Zyklus der thermischen Last)

Tabelle 12: Überblick über Messdauer für Beleuchtungssysteme

Gebäudetyp	Messdauer
Büro, Schulen, Krankenhäuser	Drei Wochen
Industrie mit konstanter Produktion	Drei Wochen
Industrie mit saisonaler Produktion	Vier bis acht Wochen (zwei Wochen pro Saison)

Quelle: NSW, Operational Guide Lighting, 2012, Seite 11

2.11 Addierbarkeit

Die kombinierte Einsparung mehrerer Einsparmaßnahmen ist typischerweise geringer als die Summe der individuellen Einsparungen, wenn sie unabhängig voneinander umgesetzt werden. Diese Fragestellung ist relevant, wenn mehr als eine Einsparmaßnahme mit überlappenden Messgrenzen umgesetzt werden. Diese Überlappungen müssen im M&V-Konzept berücksichtigt und bestimmt werden:

NSW (Measurement and Verification Operational Guide, Seite 29 folgende) schlagen in diesen Fällen folgende Strategien vor:

- Anpassung der Messgrenze, damit keine Überlappung stattfindet.
- Anpassung der Messgrenze, um alle Einsparmaßnahmen gemeinsam zu bewerten.
- Geordnete Addition der Reste: Einsparmaßnahmen werden in bestimmter Reihenfolge beurteilt. Die Daten des Berichtszeitraums (nach Umsetzung der Maßnahme) für eine Maßnahme sind die Baselinedaten (vor Umsetzung) für die nächste Einsparmaßnahme.
- Beispiel: Einsparmaßnahmen Lampentausch und Bewegungsmelder, Option A:
 - Zuerst wird die alte und neue Leistung gemessen (daraus die Einsparung berechnet), (bei Betriebszeit vor Maßnahme).
 - Die alten und neuen Betriebszeiten gemessen, die Einsparungen an Stunden werden mit der reduzierten Leistung multipliziert (es wird angenommen Einsparmaßnahme 1 wurde bereits umgesetzt). Beide Werte werden dann zusammengezählt.

2.12 Extrapolation von Einsparungen

Die Einsparungen von Kurzzeitmessungen werden oft hochgerechnet, um jährliche Einsparungen zu bewerten.

Dazu müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Änderungshäufigkeit des Nutzerverhalten
- Saisonale Effekte (Wetter, Urlaubszeit)
- Schwankende Output-Anforderungen (Produktionsniveau)
- Kalibrierungsfehler
- Wahrscheinlichkeit von Änderungen innerhalb der Messgrenze

3 Datensammlung-Messung

3.1 Messung der Baseline (energetische Ausgangsbasis)

Der erste Schritt ist die Messung der energetischen Ausgangsbasis gemäß M&V Plan VOR Umsetzung des Projektes.

Folgende Punkte sind für die Datensammlung relevant:

- Datenquelle für Schlüsselparameter und unabhängige Variablen
- Sammlung verwandter Daten, zur Berechnung des Referenzenergieverbrauchs und Anpassungen über unabhängige Variablen
- Gemessene Schlüsselparameter (z. B. Temperatur, Energieverbrauch)
- Messmethode (kontinuierlich, periodisch, once-off)
- Messgerät und -platzierung, Genauigkeit
- Messintervall (Dauer zwischen Datensammelpunkten) (ein Monat, Stunden, Sekunden, Minuten)
- Messdauer, Datum Messbeginn und -ende
- Datensammlung, Datenverarbeitung
- Bestimmung der Unsicherheit (Messgerät, Modell, Stichprobe)

Tabelle 13: Überblick über mögliche Datenquellen

Aufgenommene Leistung	Art und Weise
Strom- und Spannungsmessung	Option A (dabei werden Stunden geschätzt) Kalibrierte Messinstrumente (Ampere, Volt, Leistungsfaktor) Für Option B ausreichend wenn Leistung konstant bleibt
Herstellerangaben (Datenblatt)	Wird im IPMVP (EVO, 2012) als Schätzung betrachtet
Energieverbrauch/-bedarf	Art und Weise
Rechnungen	Monatlich, Quartalsweise
Leistungsmessung 15 Min	15 Minuten Datenintervall, kann zur Einsparberechnung verwendet werden Kann auch zur Laufzeitabschätzung verwendet werden
Fix installierte Sub-Meter	Prüfung der Daten auf Ausfälle
Temporäre Energie-Logger	Abstimmung des Messbereichs auf Leistung, Prüfung der Speicherkapazität
Manuelle Ablesung	Auf korrektes Ablesen (Einheit, richtiger Zähler) achten (z. B. Nummerierung der Zähler auf Ableseblatt, korrekte Stellenangabe)
Betriebszeiten	Berücksichtigung
Sicherheitssysteme zum Ein-/Ausloggen von Mitarbeitern	Keine Angabe
Beobachtung von Steuerung	Manuelles Beobachten über Datenablesung am Beginn und Ende der Schicht
Befragung der Mitarbeiter	Keine Angabe
Offizielle Öffnungszeiten	Beachtung von Ferienzeiten und Betriebsstillständen
Produktionspläne	Betriebszeit von Systemen
Steuerung der Anlagen	Auslesen der Steuerungsparameter (Einschaltzeiten)
Indirekte Messung über Strombedarf	Abhängig von der Anlage sind Einschaltzeiten von Einzelanlagen im Lastprofil von Unternehmen sichtbar
Weitere Quellen Einschaltzeiten Beleuchtung	Was wird erhoben?
Belegungs- und Beleuchtungslogger	Misst die Dauer, wann eine Person im Raum ist und die Stunden, in der das Licht eingeschaltet ist.
Regelungen der Beleuchtungsanlage	Abfragen der Beleuchtungs-, Regelstrategie
Manuelle Beobachtung	Keine Angabe

Sonnenauf- und untergangdaten	Werden genutzt, um die Einschaltzeiten von tageslichtabhängigen Systemen abzuschätzen
Sensor für Lichtstärke	Zur Aufzeichnung der Lichtstärke, für Projekte, in denen tageslichtabhängige Steuerung involviert ist
Druck, Durchfluss, CO/CO₂ Sensoren	Was wird erhoben?
Manuelle Ablesung	Ablesung von Motorsteuerungsparameter
Steuerungssysteme (Betrieb, Geräte, Anlagen)	Fix oder logische Steuerungsparameter der bestehenden Steuerung (müssen regelmäßig manuell abgelesen werden)
Bestehende Messung oder temporäre Datenlogger	Elektrische Lastprofile zum Erkennen, wann elektrischer Motor ein- oder ausgeschaltet ist. Temperatur- oder Vibrationsdatenlogger zur Betriebsstundenerfassung
Gebäudeautomation SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, Leitsystem) System Trend Logs	Trends können innerhalb des Steuerungssystems angelegt werden, um relevante Variablen zu dokumentieren (z. B. Durchfluss) Daraus lassen sich auch Betriebszeiten erkennen.
Kühllast	Welche Daten?
Wetterdaten	Historische Wetterdaten, inklusive Luftfeuchtigkeit; Berechnung von Heiz- und Kühlgradtagen (kann auch für selbstgewählte Referenztemperaturen erfolgen)
Regelung der HLK-Anlage	Diese Daten steuern die Anlage (Einschaltzeiten, Gebäudeautomation)
Annäherung über Außentemperatur	Bei konstantem Produktstrom ist die Außentemperatur die einzige zu berücksichtigende Variable
Leittechnik	SCADA (Leitsystem) steuert Kälteanlage auf Basis bestehender Durchfluss-, Temperatur- oder thermische Energiemessung
Installierte Messung für thermischen Energieverbrauch (vor oder in Anlage/Ausrüstung)	Analog- oder Pulsausgang
Temporäre Messung für thermischen Energieverbrauch	Keine Angabe

Quelle: NSW, Operational Guides, 2012, Ergänzung AEA

3.2 Durchführung der Messung

Energiemessung

Diese Messung sollte über Energiemessgeräte während unterschiedlicher Lastbedingungen erfolgen. Falls aufgrund der Energieeinsparmaßnahme notwendig, auch bei gleichzeitiger Messung des Outputs oder der bereitgestellten Leistung.

Temporäre Datenlogger können die Daten in kürzeren Zeitintervallen aufzeichnen. Zähler summieren die Daten in Intervallen von 15 oder 30 Minuten. Die Messungen können einmal für die gesamte Messgrenze durchgeführt werden oder innerhalb der Messgrenze bei mehreren Schaltkreisen, um die Effekte zu addieren (für komplexere Projekte). Es können auch Einzelkomponenten stichprobenhaft gemessen werden (z. B. nur die Last).

Bei Messungen mehrerer Motoren mit unterschiedlichen Betriebszyklen über eine Messstelle sollten zunächst Lasttests mit jeweils einem Motor durchgeführt werden.

Arten zur Messung der bereitgestellten Leistung oder des Outputs

- Druckluft: Druck und Durchfluss
- Heißwasser: Temperatur (Vorlauf - Rücklauf) und Durchfluss
- Dampf: Druck, Temperatur und Durchfluss
- Kälte: Temperatur (Vorlauf – Rücklauf) und Durchfluss
- Belegung: Über Bewegungsmelder (Occupancy Meter)
- Einschaltzeiten der Beleuchtung über Light-Logger
- Indirekte Messung über Lastprofil

4 Modellierung, Analyse

4.1 Entwicklung des Energiemodells

Im einfachsten Fall (siehe 4.1.1) kann der Energieverbrauch vor und nach Umsetzung der Maßnahme gemessen werden, die Differenz ergibt die Einsparung.

In der Praxis muss der Energieverbrauch oft von Einflüssen verschiedener Faktoren bereinigt beziehungsweise „angepasst“ werden, um eine korrekte Beurteilung zu ermöglichen. Diese Anpassung kann über berechnete oder abgeschätzte Korrekturfaktoren erfolgen oder über mathematische Modelle, für die auch die Genauigkeit bestimmt werden kann.

Falls der Energieverbrauch aus der Referenzperiode (vor Maßnahme) an die Bedingungen der Berichtsperiode oder an normalisierte Bedingungen (z. B. langjähriger Durchschnitt der Produktion oder Heizgradtage) angepasst werden soll, muss ein sogenanntes Modell des Energieverbrauchs erstellt werden. Neben den Energiedaten müssen dazu die Daten für die weiteren Variablen (z. B. HGT, Durchflusswerte, etc.) für die gleichen Zeitperioden aufgenommen werden (siehe 4.1.2).

4.1.1 Einfache Modelle

Bei gemessenem Energieverbrauch für einen repräsentativen Zeitraum:

Energieverbrauch (kWh)

Bei gemessener oder geschätzter Leistung und gemessenen oder geschätzten Betriebsstunden:

Energieverbrauch (kWh) = Leistung pro Gerät (kW) × Betriebsstunden (h)

Energieverbrauch (kWh) = Anzahl der Geräte × Leistung pro Gerät (kW) × Betriebsstunden (h)

Mit diesem Modell kann der Energieverbrauch vor und nach der Einsparmaßnahme errechnet werden.

Für eine Einsparmaßnahme, die die Leistung pro Gerät senkt, kann es sein, dass Anpassungen hinsichtlich der Betriebsstunden (aufgrund geänderter Öffnungszeiten wird nun mehr oder weniger lang die Anlage betrieben) oder hinsichtlich der Leuchten (es wurden sowieso einige Leuchten abmontiert) erforderlich sind. Man rechnet dann mit den aktuellen Betriebsstunden oder der aktuellen Anzahl.

Bei gemessenem Wirkungsgrad:

Ist beispielsweise der Gasverbrauch für ein System (Dampfkessel) für ein Jahr bekannt, kann mithilfe der Bestimmung des Wirkungsgrades ein Energiemodell erstellt werden (zur Einsparbewertung siehe weiter unten).

Formel 1: Bestimmung des Wirkungsgrades

$$\eta = \frac{\text{Energie}_{\text{Input}}}{\text{Energie}_{\text{Output}}}$$

4.1.2 Regressionsmodelle

Regressionsmodelle sind dann zu erstellen, wenn der Energieverbrauch des betrachteten Systems variabel ist und von weiteren Einflussfaktoren abhängig ist. Ein einfaches Modell zur vorher/nachher Betrachtung führt dann nicht zum gewünschten Ergebnis.

Einflussfaktoren wurden oben genannt. Normalerweise werden bereits Einsparberechnungen um Produktionsmengen oder Heizgradtage bereinigt, allerdings wird dies mit einer einfachen Division (Benchmark) durchgeführt: Dies kann aber einen Fehler beinhalten, da es sehr oft einen sogenannten Grundverbrauch gibt und der Energieverbrauch nicht 1:1 mit der unabhängigen Variable (also Produktion oder Heizgradtage) steigt.

Mittels Regressionsmodellen können diese Einflussfaktoren besser berücksichtigt werden beziehungsweise kann der Energieverbrauch angepasst werden. Insbesondere für folgende Systeme kann ein solches Modell sinnvoll sein:

- Ganze Kälteanlage

- Heizanlage
- Gesamtes Unternehmen (Option C)

Zunächst ist die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von unterschiedlichen Variablen mittels Regressionsanalyse im Excel zu untersuchen:

Schritt 1: Erstellung der Tabelle mit den Werten für die Variable (in diesem Fall Produktionsmenge) in der ersten Spalte, dem Energieverbrauch in der zweiten Spalte.

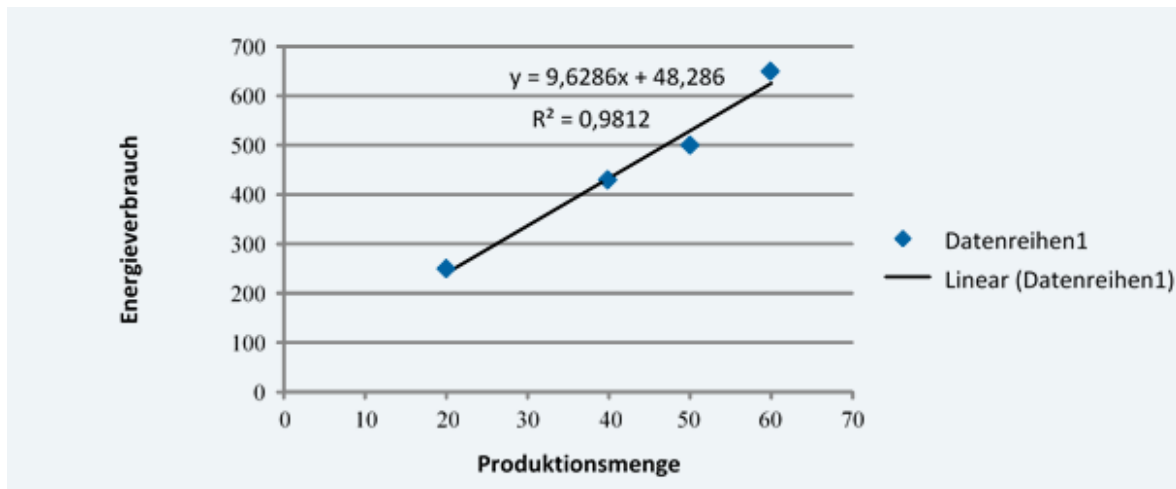
Tabelle 14: Beispiel für Regression

Perioden	Produktionsmenge vor Maßnahnumsetzung [t]	Energieverbrauch vor Maßnahnumsetzung [MWh]
Periode 1	50	500
Periode 2	60	650
Periode 3	40	430
Periode 4	20	250

Schritt 2: Markierung (nur) der Werte; Einfügen Diagramme; Punkte (nur als Datenpunkte)

Schritt 3: Alle Datenpunkte markieren, Trendlinie hinzufügen unter Trendlinienoptionen: Linear und „Formel im Diagramm anzeigen“ und „Bestimmtheitsmaß anzeigen“ anklicken.

Abbildung 2: Darstellung der Regressionsgerade (Zusammenhang Energieverbrauch/Produktionsmenge)



Quelle: AEA

Vereinfacht kann man hier das Bestimmtheitsmaß (den R^2 -Wert) als Indikator für das Vorliegen eines tatsächlichen Zusammenhangs heranziehen. Ist dieser größer 0,75 liegt prinzipiell ein guter Zusammenhang vor. In einigen Fällen kann er bis zu 0,99 erreichen.

Bei Modellen mit mehreren Variablen können auch Parameter mit niedrigeren Werten für R^2 - kombiniert zur Verbesserung des Modells beitragen. Diese Modelle können nicht mehr grafisch dargestellt werden.

Die Modellerstellung mit mehreren Variablen ist im Excel am leichtesten über das Add-In Datenüberprüfung durchzuführen:

Dazu unter Excel Optionen /Add Ins /Excel Add-Ins verwalten/ „Analysefunktionen“ anklicken. Unter dem Reiter „Daten“ erscheint dann ganz rechts der neue Unterreiter „Datenanalyse“. Anklicken und Regression auswählen.

WICHTIG: Immer den Energieverbrauch als Y-Bereich auswählen. Für die Variablen können dann mehrere Spalten (z. B. Außentemperatur und Produktionsmenge) ausgewählt werden.

Dies können sein: HGTs, Produktionsmengen, Betriebszeiten

Aus obiger Grafik kann dann das Modell übernommen werden. Beispiel
Druckluftverbrauch in Abhängigkeit der Maschinenlaufzeit:

Formel 2: Energieverbrauch in Abhängigkeit der Produktionszeit

$$\text{Energieverbrauch (kWh)} = a + b \times X$$

a Stand-By Verbrauch/Grundlast

X Variable, z.B. Stunden Produktionszeit der Maschinen

b Konstante (gibt an, um wieviel der Energieverbrauch mit der Variable X steigt)

4.2 Einsparberechnung

Dieses Kapitel stellt einige alternative, häufig anwendbare Modelle zur Einsparberechnung dar.

Für die Einsparberechnung wird der modellierte Energieverbrauch vor und nach Umsetzung der Maßnahme berechnet und diese Werte voneinander abgezogen.

Formel 3: Modellierter Energieverbrauch vor und nach der Umsetzung der Maßnahme und diese Werte voneinander abgezogen

$$\begin{aligned} \text{Energieeinsparung (kWh)} \\ = \text{Referenzenergieverbrauch (kWh)} - \text{Energieverbrauch Berichtsperiode (kWh)} \\ \pm \text{Anpassungen} \end{aligned}$$

Referenzenergieverbrauch: Energieverbrauch vor Umsetzung der Maßnahme

Energieverbrauch Berichtsperiode: Energieverbrauch jener Periode, für die die Einsparung nachgewiesen werden soll

Anpassungen: dieser Term umfasst Anpassungen bezüglich statischer Faktoren (z.B. sind zusätzliche installierte Energieverbraucher innerhalb der Messgrenze, die mit der Maßnahme selbst nichts zu tun haben, abzuziehen) und Anpassungen hinsichtlich unabhängiger Variablen (z.B. Produktionsmenge)

z. B. für ein einfaches Modell:

Formel 4: Einfaches Modell

$$\text{Energieeinsparung (kWh)} = (kW_{Vor M.} \times h_{Vor M.}) - (kW_{Nach M.} \times h_{Nach M.}) \pm \text{Anpassungen}$$

$kW_{Vor M.}$ Gemessene Leistung vor Umsetzung der Maßnahme

$h_{Vor M.}$ Betriebsstunden vor Umsetzung der Maßnahme

4.2.1 Einfache Fälle

Beispiele für Modelle zur Einsparberechnung nach Art der Maßnahme

Maßnahmen reduziert Energieverbrauch, gemessen werden kWh vorher und nachher:

Formel 5: Maßnahmen für Reduzierung des Energieverbrauchs

$$= kW_{Vor M.} h_{Vor M.} - kW_{Nach M.} h_{Nach M.}$$

$kW_{Vor M.}$ Gemessene Leistung vor Umsetzung der
Maßnahme

$h_{Vor M.}$ Betriebsstunden vor Umsetzung der Maßnahme

Maßnahmen zur Reduktion von konstanter Last bei unveränderten Betriebszeiten:

Formel 6: Maßnahmen zur Reduktion von konstanter Last bei unveränderten Betriebszeiten

$$= (kW_{Vor M.} - kW_{Nach M.}) \times h$$

Maßnahmen zur Reduktion der Betriebszeit bei unveränderter Last:

Formel 7: Maßnahmen zur Reduktion der Betriebszeit bei unveränderter Last

$$= (h_{Vor M.} - h_{Nach M.}) \times kW$$

$h_{Vor M.}$ Betriebsstunden vor Umsetzung der Maßnahme

Maßnahmen, die den Wirkungsgrad des Systems erhöhen und bei denen der bisher über das Jahr unveränderte Energieverbrauch für das System bekannt ist:

Formel 8: Maßnahmen die den Wirkungsgrad des Systems erhöhen

$$= kWh_{Vor M.} \times (\eta_{Vor M.} - \eta_{Nach M.})$$

$\eta_{Vor M.}$ Wirkungsgrad vor/nach Maßnahmenumsetzung

4.2.2 Einsparberechnung mit Regressionsmodell

Eine Möglichkeit den Energieverbrauch vor und nach Maßnahmenumsetzung an Variablen anzupassen („zu bereinigen“) besteht darin, den Energieverbrauch an die Bedingungen nach Umsetzung der Maßnahme anzupassen.

Dazu wird der Energieverbrauch errechnet, der sich nach dem ermittelten Energiemodell vor Umsetzung der Maßnahme (siehe oben) unter den Bedingungen nach Umsetzung der Maßnahme ergeben hätte. Das heißt man setzt in das Modell die Werte der Variable nach Umsetzung der Maßnahme ein.

Damit ermittelt man: Wie hoch wäre der Energieverbrauch gewesen, wenn X Produkte produziert worden wären, wenn X Lux zu Verfügung gestellt worden wären oder X Heizgradtage aufgetreten wären.

Tabelle 15: Fortsetzung des Beispiels, Berechnung der Energieeinsparung

Periode	Produktionsmenge nach Maßnahmenumsetzung [t]	Berechneter Energieverbrauch mit Energiemodell vor Maßnahme: $Y = 9,628X* + 48,248$	Energieverbrauch nach Maßnahmenumsetzung [MWh]	Energieeinsparung
Periode 1	45	481,5730	450	31,5730
Periode 2	50	529,7160	480	49,7160
Periode 3	40	433,4300	400	33,4300
Periode 4	15	192,7150	200	21,6008

*X ist Produktionsmenge nach Maßnahmenumsetzung

4.3 Bewertung der Unsicherheit (Genauigkeit)

Dieses Kapitel beschreibt Möglichkeiten zur Bestimmung der Genauigkeit von Einsparbewertungen. Für eine Einführung und weitere Informationen zu diesem Thema sei auf das IPMVP (EVO, 2012) verwiesen. Das Kapitel versucht anhand von häufig vorkommenden Fällen das Thema sehr knapp darzustellen.

Weitere Details zur Angabe der Messunsicherheit von Messgeräten finden sich im klimaaktiv Messleitfaden II - Leitfaden zur Messtechnik.

Generell können drei wesentliche Arten für die Unsicherheit bei der Einsparberechnung quantifiziert werden: Messgerät, Regressionsmodell, Stichprobe (Anzahl der Erhebungen).

Folgende Formeln können zur Bewertung angewandt werden:

Formel 9: Absolute/Relative Genauigkeit des Messgeräts

$$\text{Absolute Genauigkeit} = \text{Rel. Messgerätegenauigkeit} \times \text{Messwert}$$

Formel 10: Kombinierte/Gesamte Unsicherheit bei gleichem Messgerät vor und nach Maßnahme (Subtraktion)

$$\text{Unsicherheit Einsparung} = \frac{\sqrt{\text{Absolute Genauigkeit v. Messung}^2 + \text{Absolute Genauigkeit n. Messung}^2}}$$

Formel 11: Standardfehler der Messung

$$SE = \frac{\text{Rel. Messgerätegenauigkeit} \times \text{Messwert}}{t}$$

Formel 12: Absolute Genauigkeit

$$\text{Absolute Genauigkeit} = SE * t$$

Formel 13: Kombinierte Unsicherheit der Einsparungen in kW für Summe oder Differenz (Fall 1)

$$SE(\text{Einsparungen}) = \sqrt{SE(C1)^2 + SE(C2)^2}$$

Formel 14: Kombinierte Unsicherheit der Einsparungen für Multiplikation und Division (Fall 2)

Einsparungen = Δ Watt * Stunden (in Absolutwerten)

$$SE(\text{Einsparungen}) = \text{Einsparung} * \sqrt{\left(\frac{SE(\Delta W)}{\Delta W}\right)^2 + \left(\frac{SE(\text{Stunden})}{\text{Stunden}}\right)^2}$$

Tabelle 16: t-Werte bei Probenahme mit unendlicher Stichprobenanzahl

t-Wert (entspricht k Wert) bei unendlichen Stichproben (wird für Messgeräte auch bei einmaliger Messung angenommen)	Konfidenzniveau für unendliche Stichproben (z. B. für Messgeräte)
1,00	68,3 %
1,64	90,0 %
1,96	95,0 %
2,00	95,4 %
3,00	99,7 %
6,00	99,999998 %

Weitere t-Wert Tabellen (zweiseitiger Vertrauensbereich) finden sich online oder in Büchern zu Statistik, z. B.: de.wikipedia.org/wiki/Studentsche_t-Verteilung

4.4 Fall 1: Bestimmung der Messunsicherheit der Einsparung - Subtraktion

Die gesamte Messunsicherheit ergibt sich durch Kombination der Messunsicherheit des vor und nach Umsetzung der Maßnahme gemessenen Energieverbrauchs. Im folgenden Beispiel werden vor Umsetzung einer Maßnahme 200 kW, nach Umsetzung der Maßnahme 150 kW gemessen.

Berechnung über absolute Genauigkeit:

Messwert vor Maßnahme 200 kW, Messgerät-Genauigkeit: 3% damit absolute Genauigkeit: 6

Messwert nach Maßnahme, durchgeführt mit gleichem Messgerät: 150 kW, damit absolute Genauigkeit: 4,5

Formel 15: Absolute Unsicherheit der Einsparung (bezogen auf 50 kW):

$$\sqrt{36 + 20,25} = 7,5 \text{ kW}$$

Die Einsparung beträgt damit 50 kW \pm 7,5 kW (bei einem Konfidenzniveau von 95 %).

Relative Genauigkeit: 7,5/50 kW = 15 % (die Einsparung beträgt 50 kW \pm 15 %, bei einem Konfidenzniveau von 95 %).

Berechnung über Standardfehler:

Schritt 1: Messwert vor Maßnahme: 200 kW, Messgerät-Genauigkeit: 3 % damit absolute Genauigkeit: 6

t-Wert für ∞ Stichproben (wird für Messgeräte angenommen),
95 % Konfidenz: 1,96

Berechneter Standardfehler der Messung: SE: 6/1,96 = 3; SE² = 9

Schritt 2: Messwert nach Maßnahme: (mit gleichem Messgerät) 150 kW,
Genauigkeit: 3 %, damit absolute Genauigkeit: 4,5

Berechneter Standardfehler der Messung: $SE: 4,5/1,96 = 2,3$; $SE^2 = 5,3$

Schritt 3: Kombinierte Unsicherheit: $SE(\Delta W) = \sqrt{9+5,3} = 3,8$ kW

Vorsicht: Diese Unsicherheit gilt erst für eine Konfidenz von 68,3 %. Daher ist die Unsicherheit mit dem entsprechenden t-Wert zu erweitern und damit die Konfidenz zu erhöhen:

Absolute Genauigkeit: $3,8 * 1,96 = 7,5$ kW (bei gleichem Konfidenzniveau 95 %);

Relative Unsicherheit: $7,5 \text{ kW}/50 \text{ kW} = 15 \%$

4.5 Fall 2: Bestimmung der Messunsicherheit der Einsparung Multiplikation

Falls aus obigem Beispiel die Einsparung auch noch mit Betriebsstunden multipliziert werden, muss die Unsicherheit, die der Erhebung der Betriebsstunden zugeordnet werden, ebenfalls berücksichtigt werden:

Als Beispiel wird angenommen, dass fünfmal die Betriebsstunden gemessen oder erhoben werden. Die relative Messunsicherheit beträgt 1 % (bei einer Konfidenz von 95 %).

Die Einsparungsberechnung ergibt sich nun aus dem folgendem Energiemodell:

Formel 16: Berechnung der Einsparung

$$= (kW_{Vor M.} - kW_{Nach M.}) \times h$$

Wobei die Unsicherheiten der beiden Schritte (Bestimmung Einsparung kW, Bestimmung Einsparung h) kombiniert werden müssen. Im Falle der Multiplikation ist dabei mit

relativem Standardfehler zu rechnen. (allerdings muss zuerst immer auf das gleiche Konfidenzintervall umgerechnet werden).

Im einfachsten Fall (Messgeräte haben die gleiche Konfidenz bei gleichen Freiheitsgraden, z. B.: unendlich Stichproben, 95 %) werden die relativen Unsicherheiten quadriert und die Wurzel gezogen. Damit ergibt sich die relative Genauigkeit der Einsparung in kWh.

Berechnung über Standardfehler: Im angenommenen Fall, bei sogenannten "Stichproben" ist der sogenannte **Freiheitsgrad** zu berechnen.

Schritt 1 - Freiheitsgrade (FG) bestimmen: $FG = n-1$ (n: Stichprobengröße)

In diesem Beispiel also „4“ (da die Betriebsstunden fünfmal erfasst wurden). In der t-Tabelle entspricht dies einem t-Wert (zum Erweitern der Unsicherheit) für FG 4 (95 % Konfidenzniveau) von 2,78.

Schritt 2 - Genauigkeit beziehungsweise Standardfehler bestimmen (auf „1“ beziehen):

Wert aus statistischer Analyse der Betriebszeiteaufzeichnung über fünf Jahre: 8.400 h, Genauigkeit: 1 % damit absolute Genauigkeit: 84 h, berechneter Standardfehler: $SE: 84/2,78 = 30,2$ h

Schritt 3 - Kombinierte Unsicherheit:

Formel 17: Berechnung Standardfehler

$$SE(Einsparungen) = Einsparung * \sqrt{\left(\frac{SE(\Delta W)}{\Delta W}\right)^2 + \left(\frac{SE(Stunden)}{Stunden}\right)^2}$$

Einsparung = 50 kW * 8400 h = 420.000 kWh

Für den Standardfehler der Bestimmung der Leistungsreduktion siehe obiges Beispiel.

$$SE(Einsparungen) == 420.000 * \sqrt{\left(\frac{3,8}{50}\right)^2 + \left(\frac{30,2}{8400}\right)^2} == 31.956 \text{ kWh}$$

Schritt 4 - Absolute Genauigkeit bei Konfidenz von 95 %:

Der sogenannte Erweiterungsfaktor (t-Wert) hängt von der Anzahl der Datenpunkte ab, in diesem Falle werden 4 angenommen, also wieder 2,78. Absolute Genauigkeit: 31.956 kWh \times 2,78 = 88.837 kWh (bei Konfidenz von 95 %).

Die Einsparung liegt daher bei 420.000 kWh \pm 88.837 kWh (bei Konfidenz von 95 %).

4.6 Berechnung Standardfehler bei einer Datenreihe

Werden mehrere Messpunkte aufgenommen (z. B. zwölfmal), ist folgende Formel anzuwenden:

Zunächst ist die Standardabweichung mit der Formel im Excel zu bestimmen (STABW).

Über die Anzahl der Messpunkte (n) kann der Standardfehler bestimmt werden:

Formel 18: Bestimmung Standardfehler

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Dieser wird dann (für die Messreihe vorher und nachher) in untenstehende Formel eingesetzt:

Formel 19: Messreihe vorher und nachher mit errechnetem Standardfehler

$$SE(\text{Einsparungen}) = \sqrt{SE(C1)^2 + SE(C2)^2}$$

4.7 Fehler des Modells (Regressionsgerade)

Das oben erstellte Modell zum Zusammenhang des Energieverbrauchs mit einer Variable enthält ebenfalls eine Unsicherheit: Die tatsächlichen Werte (vor Maßnahme) streuen um die Regressionsgerade. Die Summe der Abstände von der Gerade gibt Aussage über die Genauigkeit des Modells. Der Standardfehler für das Regressionsmodell ergibt sich mit folgender Formel (im Excel zeigt das über Add-Ins zu installierende Paket „Datenanalyse“ diesen Wert bereits an):

Formel 20: Standardfehler für das Regressionsmodell

$$SE_{\hat{Y}} = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y} - Y_i)^2}{n-p-1}}$$

\hat{Y}	Vorhergesagter Energieverbrauch aus Modell
Y_i	Tatsächlicher Wert des Modells
n	Anzahl der Datenpunkte des Regressionsmodells
p	Anzahl der Variablen (z. B.: 1) des Regressionsmodells

Zu diesem Fehler des Regressionsmodells kommen die Messfehler hinzu, in vielen Fällen kann aber angenommen werden, dass sich die Fehler über die Messreihe ausgleichen.

Das heißt der Gesamtstandardfehler der Einsparung ergibt sich dann eigentlich aus diesem Standardfehler der Regression plus dem Standardfehler der Messung nach Umsetzung der Maßnahme.

Falls Regressionsmodelle für vor und nach Umsetzung der Maßnahme gewählt werden, sind die Standardfehler beider Modelle zu addieren.

5 Anhang

5.1 Vorschläge für Parameter je Einsparmaßnahme

Folgende Liste gibt nach Technologien geordnet Vorschläge für zu messenden Parameter für die in den jeweiligen klimaaktiv Leitfäden näher beschriebenen Einsparmaßnahmen. Für die geeigneten Messgeräte siehe klimaaktiv Messleitfaden II - Leitfaden zur Messtechnik.

5.2 Einsparbewertung Druckluft

Tabelle 17: Einsparmaßnahme Druckluft (siehe klimaaktiv Leitfaden)

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Reduktion von Leckagen Senkung bis auf 10% Option A:	Messung Fördervolumen aller Komponenten an einer Messstelle, Abschätzung -Leistung oder Energiebedarf
Reduktion von Leckagen Senkung bis auf 10% Option B:	Mittlere elektrische Leistungsaufnahme pro Tag oder pro Schicht (8 h)
Optimierung des Netzdrucks Option A:	Druckmessung (absolut)--> Abschätzung/Herstellerangabe Energiever-brauch (bei jeweiligem Druckbereich)
Optimierung des Netzdrucks Option B:	Mittlere elektrische Leistungsaufnahme pro Tag oder pro Schicht (8 h) - Kontrolle Druck
Verbesserung der Steuerung Option B:	Mittlere elektrische Leistungsaufnahme pro Tag oder pro Schicht (8 h) - Kontrolle Druck
Senkung des Leerlaufanteils Option B:	Mittlere elektrische Leistungsaufnahme pro Tag oder pro Schicht (8 h) - Kontrolle Druck
Wärmerückgewinnung Option B:	Energiebedarf Warmwasserbereitung und Heizsystem (Verbrauchszähler-Warmwasser)
Abschalten der Anlage und Verbraucher Option A:	Messung Laufzeiten (Vollast) aller Kompressoren außerhalb der Betriebszeiten / geschätzte Leistungsaufnahme laut Hersteller

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Abschalten der Anlage und Verbraucher Option A (Verbraucher):	Messung Fördervolumen an einer Messstelle Abschätzung Leistung oder Energiebedarf pro Volumen, Messzeitraum: sieben bis zehn Tage
Abschalten der Anlage und Verbraucher Option B:	Mittlere elektrische Leistungsaufnahme pro Tag oder pro Schicht (8 h) - Kontrolle Druck
Optimierung Druckluftverbraucher Option A (Verbraucher):	Messung Fördervolumen an einer Messstelle, Abschätzung Leistung oder Energiebedarf pro Volumen
Optimierung Druckluftverbraucher Option B:	Mittlere elektrische Leistungsaufnahme pro Tag oder pro Schicht (8 h) - Kontrolle Druck

Tabelle 18: Parameter für alle Maßnahmen nach Relevanz

Unabhängige Variable	Betriebszeit (in h während Messdauer), Produktion, Temperatur, Feuchte der angesaugten Luft
Statische Faktoren	Anzahl, Kapazität und Nutzungsmuster aller mit Druckluft betriebenen Geräten, Produktionsgeschwindigkeit und Produktmix, Systemdruck-Änderung
Messdauer	Eine Woche (bis zehn Tage), ein Monat

5.3 Einsparbewertung Dampfsysteme

Tabelle 19: Einsparmaßnahme Dampfsysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden)

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Verringerung der Abgastemperatur Option A:	Einstufiger Eco: Abgastemperatur über gesamten Modulationsbereich (vor/nach Einbau) (dann Verwendung der Siegertschen Formel) (wenn Speisewasser kontinuierlich in Betrieb, Gasverbrauch für ein Jahr (z. B. Zähler); Zweistufiger Eco: wie oben plus Überprüfung, ob Abwärmenutzung gegeben; LuVo: Temperaturmessung Ansaugluft (oder außentemperaturabhängig)

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Verringerung der Abgastemperatur Option B:	Gasverbrauchsmessung, Dampfmengenmessung (oder abhängige Variable) über längeren Zeitraum vorher und nachher (ein Monat) (bei stabilen Produktionsbedingungen)
Reduktion des Sauerstoffgehaltes Option A:	Sauerstoffgehalt über Messbereich (vor nach Einbau O ₂ -Regelung), dann Siegertsche Formel, Annahme über Lastverlauf, Gasverbrauch für ein Jahr (z. B. Zähler)
Reduktion des Sauerstoffgehaltes Option B:	Gasverbrauchsmessung, Messdauer: eine Woche bis ein Monat
Reduktion der Abschlammverluste Option A:	Messung Massestrom der Abschlammung in [kg/s] (über Ventilstellung, Druckmessung (Kessel), Öffnungszeit Ventil (Abschlammzeit) (Einsatz in Formel)
Verringerung der Abstrahlverluste Option A:	Umgebungstemperatur, Oberflächentemperatur, Emissionskoeffizient (Werkstoffabhängig --> Emissionsgrad, also keine Messung), Berechnung
Verringerung der Abstrahlverluste Option B:	Gasverbrauchsmessung, Messdauer: eine Woche bis ein Monat
Verringerung der Durchlüftungsverluste Option A:	Kesselleistung (ohne Economizer), Temperaturdifferenz zwischen Ansaugluft und Temperatur im Kessel, Messung der Brennerstarts, Berechnung über Formel
Verringerung der Durchlüftungsverluste Option B:	Gasverbrauchsmessung, Messdauer: eine Woche bis ein Monat
Verringerung der Abdampfverluste im Entgaser Option A:	Verringerung der Abdampfmenge Massenstrom der Abdampfmenge in [kg/h]; Installation Brüdenkondensator
Verringerung der Abdampfverluste im Entgaser Option B:	Verringerung der Abdampfmenge Wärmemengenmessung
Isolierung von Rohrleitungen Option A:	Messung Länge der Rohrleitung, Dimension, Berechnung über Software, Schätzung Laufzeit
Reduktion von Leckagen Option A:	Messung des Dampfverbrauchs; Abschätzung Brennstoffverbrauch; (eine Woche bis ein Monat)
Reduktion von Leckagen Option B:	Messung Gasverbrauch
Reparatur von Kondensat-Ableitern Option A:	Messung des Dampfverbrauchs; Abschätzung Brennstoffverbrauch; (eine Woche bis ein Monat)
Reparatur von Kondensat-Ableitern Option B:	Messung Gasverbrauch

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Optimierung der Kondensat-Rückführung Option A:	Messung Temperatur und Massenstrom Kondensat vor und nach Maßnahme, Abschätzung Brennstoffnutzungsgrad
Nutzung der Nachverdampfung Option A:	Messung Massenströme (Kondensat), Druckniveaus (vor nach Entspannung)
Nutzung der Nachverdampfung Option B:	Messung Gasverbrauch
Optimierung Dampfverbraucher Option A:	Maßnahmenabhängig! Z. B. Messung des Dampfverbrauchs, Abschätzung Brennstoffverbrauch (eine Woche bis ein Monat)
Optimierung Dampfverbraucher Option B:	Messung Gasverbrauch

Tabelle 20: Parameter für alle Maßnahmen

Unabhängige Variable (nach Relevanz)	Betriebszeit, Produktion, Temperatur, Feuchte
Statische Faktoren	Anzahl, Kapazität und Nutzungsmuster aller mit Dampf betriebenen Geräten, Produktionsgeschwindigkeit und Produktmix, Systemdruck-Änderung
Messdauer	Eine Woche bis ein Monat (bis zehn Tage)

5.4 Einsparbewertung Pumpsysteme

Tabelle 21: Einsparmaßnahme Pumpsysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden)

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Abstimmung Betrieb der Pumpe mit Verbrauchern Option A:	Reduzierte Laufzeiten Betriebszeit/Lastprofil messen, elektrische Leistung (Herstellerangaben)
Abstimmung Betrieb der Pumpe mit Verbrauchern Option B:	Reduzierte Laufzeiten Leistungsmessung, Betriebszeitmessung

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Abstimmung Betrieb der Pumpe mit Verbrauchern Option A:	Reduzierte Förderhöhe/reduzierte Volumenstrom Messung Förderhöhe (Druck)/Volumenstrom (je nach Maßnahme), Leistung und Betriebszeiten abschätzen ODER elektrische Leistung messen. Betriebszeiten schätzen für beide Möglichkeiten
Abstimmung Betrieb der Pumpe mit Verbrauchern Option B:	Reduzierte Förderhöhe/reduzierte Volumenstrom Leistungsmessung, Betriebszeitmessung
Pumpentausch Option A:	Messung elektrische Leistung (Messdauer so lange wie nötig, z. B. 15 sec bis 3 h), Schätzung Betriebsstunden
Pumpentausch Option B:	Leistungsmessung, Betriebszeitmessung
Regelung und Leistungsanpassung Option A:	Frequenzumrichter für Pumpe Aufgenommene Leistung, Abschätzung Lastprofil, Betriebszeit oder gesamte gelieferte Menge
Regelung und Leistungsanpassung Option B:	Frequenzumrichter für Pumpe Leistungsmessung jede Minute bis eine Woche, Betriebszeit messen
Motortausch Option A:	Messung elektrische Leistung (Messdauer 15 sec bis 3 h), Schätzung Betriebsstunden (IPMVP AA-2, NSW pumps A)
Motortausch Option B:	Leistungsmessung, Betriebszeitmessung
Optimierung des Rohrleitungssystems Option A:	Optimierung Förderhöhe Druckreduktion messen und Leistungsreduktion abschätzen ODER Leistungsreduktion messen
Optimierung des Rohrleitungssystems Option B:	Optimierung Förderhöhe Leistungsmessung, Druckreduktionsmessung beziehungsweise Druckmessung, Betriebszeitmessung
Wartung und Instandhaltung Option A:	Abhängig von der Maßnahme, Messung: Leistung, Druck, oder Volumen)
Wartung und Instandhaltung Option B:	Leistungsmessung, Betriebszeitmessung

Tabelle 22: Parameter für alle Maßnahmen nach Relevanz

Unabhängige Variable	Betriebszeit, Produktion, benötigter Volumenstrom und Druck
Statische Faktoren	Anzahl, Kapazität und Nutzungsmuster aller versorgter Anlagen (falls relevant: Produktionsgeschwindigkeit und Produktmix, Systemdruck-Änderung)
Messdauer	Kurzzeitmessung während relevanter Zeitperioden

5.5 Einsparbewertung Ventilatorsysteme

Tabelle 23: Einsparmaßnahme Ventilatorsysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden)

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Betriebszeiten Reduktion Option A:	Betriebszeit messen, Abschätzung elektrischer Leistung (z. B. Momentanmessung, Datenblatt unter Annahme oder Messung von Volumenstrom und/oder Druck etc.)
Betriebszeiten Reduktion Option B:	Leistungsmessung, Betriebszeitmessung
Volumenstromanpassung Option A:	Volumenstrom messen, Abschätzung elektrischer Leistung, Betriebsstunden schätzen
Volumenstromanpassung Option B:	Leistungsmessung jede Minute, eine Woche, Betriebszeit messen, (eventueller Belegung messen)
Tausch von Anlagenteilen Option A:	Motor- und Ventilortausch Messung elektrischer Leistung (Messdauer 15 sec bis 3 h), Schätzung Betriebsstunden
Tausch von Anlagenteilen Option B:	Motor- und Ventilortausch Leistungsmessung, Betriebszeitmessung
Tausch von Anlagenteilen	Effizienzbewertung: Messung Ventilatormotorleistung, Volumenstrom, Gesamtdruckerhöhung
Wärmerückgewinnung Option B:	Energiebedarf Warmwasserbereitung und Heizsystem, (Verbrauchszähler-Warmwasser)
Be- und Entfeuchtung Option B:	Energieverbrauch für die Be- und Entfeuchtung - vor und nach der Umsetzung der Maßnahme (z. B. Einsatz elektrischer Energie für Sprühbefeuchtung)
Wartung und Instandhaltung	abhängig der Maßnahme (Leistung, Druck, Volumen)

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Option A:	
Wartung und Instandhaltung Option B:	Leistungsmessung, Betriebszeitmessung

Tabelle 24: Parameter für alle Maßnahmen

Unabhängige Variable (nach Relevanz!)	Betriebszeit, Produktion, Nutzerverhalten etc.
Statische Faktoren	Anzahl, Kapazität und Nutzungsmuster aller versorgter Anlagen, falls relevant: Produktionsgeschwindigkeit und Produktmix, Systemdruck-Änderung, Normvorgaben für Luftqualität
Messdauer	Kurzzeitmessung während relevanter Zeitperioden beziehungsweise Betriebszuständen

5.6 Einsparbewertung Kältesysteme

Tabelle 25: Einsparmaßnahme Kältesysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden)

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Reduktion der Kühllast Option A:	(falls Lastprofil leicht abschätzbar) Kühllast vor und nach der Umsetzung der Maßnahme (im Verh. zu Produktion oder Außentemperatur), Abschätzung: Betriebsstunden, COP, jährliches Lastprofil
Reduktion der Kühllast Option B:	Messung Energieverbrauch, thermische Last, Außentemperatur (rückgewonnene Wärme)
Anhebung der Verdampfungstemperatur Option A:	Messung Energieverbrauch, Lasttest, Abschätzung: thermische Last
Anhebung der Verdampfungstemperatur Option B:	Messung Energieverbrauch, thermische Last, Außentemperatur (rückgewonnene Wärme)
Senkung der Verflüssigungstemperatur Option A:	Messung Energieverbrauch, Lasttest, Abschätzung: thermische Last

Einsparmaßnahme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	Vorschlag für zu messende und/oder zu schätzende Parameter Weitere zu berücksichtigende Variablen und Faktoren siehe unten!
Senkung der Verflüssigungstemperatur Option B:	Messung Energieverbrauch, thermische Last, Außentemperatur (rückgewonnene Wärme)
Verdichterregelung optimieren Option B:	Messung Energieverbrauch, thermische Last, Außentemperatur (rückgewonnene Wärme)
Ventilatoreffizienz und Regelung Option A:	Reduktion Laufzeit von Verdampferventilatoren Messung Laufzeit pro Tag, Abschätzung aufgenommene Leistung des Verdampferventilators (alt und neu), Abschätzung: Betriebszeit in Tagen, COP
Ventilatoreffizienz und Regelung Option A:	Stufenlose Regelung von Ventilatoren Messung aufgenommene Leistung des Ventilators, Abschätzung oder Messung: Laufzeit Ventilator pro Tag
Ventilatoreffizienz und Regelung Option B:	Stufenlose Regelung von Ventilatoren Messung Energieverbrauch der Komponenten
Nutzung der Abwärme - Wärmerück-gewinnung Option B:	Energiebedarf Warmwasserbereitung und Heizsystem, (Verbrauchszähler-Warmwasser)

Tabelle 26: Parameter für alle Maßnahmen

Unabhängige Variable (nach Relevanz!)	Betriebszeit, Produktion...
Statische Faktoren	Anzahl, Kapazität und Nutzungsmuster aller versorgter Anlagen, falls relevant: Produktionsgeschwindigkeit und Produktmix, Systemdruck-Änderung
Messdauer	Zwei Wochen bis drei Monate, saisonal zu wiederholen (falls relevant)

5.7 Anmerkungen zu Parametern je Technologie

Folgende Liste gibt nach Technologien geordnet, die aus den technologiespezifischen Dokumenten des NSW Government, Office of Environment & Heritage entnommenen Anmerkungen zu Schlüsselparametern je nach Technologie. Diese Schlüsselparameter enthalten Entscheidungshilfen bei der Erstellung von Messkonzepten.

5.7.1 Schlüsselparameter Beleuchtungssystem

Aufgenommene Leistung

- Muss für Komponenten, die die Leistungsaufnahme beeinflussen, gemessen werden.
- Dies umfasst die gesamte Installation, inkl. Lampe, Vorschaltgerät, Regelung und Transformatoren innerhalb des Beleuchtungssystems.
- Für Maßnahmen zur Reduktion der Last sollte die Leistung gemessen werden. Während der Optimierung kann es sein, dass weitere Komponenten installiert oder entfernt werden. Daher muss die Messgrenze und der Messpunkt vor und nach dem Projekt definiert werden.
- Für Beleuchtungsregelprojekte kann die Leistung als konstant angenommen werden.

Betriebsstunden

- Bei Beleuchtungsregelprojekten sind die Betriebsstunden zu messen.
- Betriebsstunden können manuell oder automatisiert über Bewegung, Zeit und Tageslicht gesteuert werden.
- Einfluss auf die Betriebszeiten haben: Art der Beleuchtung (Büro, Besprechungsraum, Sicherheitsbeleuchtung und so weiter), Belegungszeiten (Büroöffnungszeiten, Saison, 24/7); Typ, Platzierung und Verwendung der Steuerung, Saisonalität (Wechsel des Tageslichts), Mitarbeiterkultur.

5.7.2 Schlüsselparameter Motor, Pumpen, Ventilatoren

Aufgenommene Leistung und Energiebedarf

- Bei Maßnahmen, die die aufgenommene Leistung beeinflussen ist der Schlüsselparameter die aufgenommene Leistung.
- Für vereinfachte M&V kann die Systemanforderung als konstant angenommen werden: Durchfluss, Druckverlust.
- Für komplexere, z. B. VSD-Projekte muss die Messung über einen repräsentativen Zeitraum erfolgen.

Betriebsstunden

- Bei Maßnahmen, die die Betriebsstunden beeinflussen, sind die Betriebsstunden relevant.

- Die Steuerung beziehungsweise Regelung der Betriebsstunden kann über manuelle Steuerung, automatisiertes Ein- und Ausschalten über Zeitschaltuhren, Steuerungssystemen, Feedback Sensoren oder Kombinationen erfolgen.

Die tatsächlichen Betriebszeiten werden beeinflusst von:

- Art der Anwendung (Klimaanwendung, industrielle Prozesse, andere Betriebsmittelprozesse)
- Belegungszeiten (Öffnungszeiten, Betriebszeiten, Saisonale Änderungen, Ferienzeiten)
- Art, Platzierung und Anwendung der Steuerung;
- Wettereffekte
- Nutzerkultur und Verhalten

5.7.3 Druckluft, Dampf, Heizkessel

Aufgenommene Leistung/Eingesetzte Energiemenge

- **Für Einsparmaßnahmen, die die Effizienz der Anlage verbessern** (Energieverbrauch pro gelieferte Leistung): Leistung sollte gemessen werden.
- **Für Einsparmaßnahmen, die die Systemlast ändern**, kann die Leistung gemessen oder abgeschätzt werden.
- Für Maßnahmen
 - zum Ersatz von Kompressoren oder Steuerungsinstallation oder
 - zu einer Änderung, die zu einem effizienteren Betrieb führen, ist die Leistungsmessung nicht einfach, da die aufgenommene Leistung mit unabhängigen Variablen schwankt.

Temperatur der zu komprimierenden Luft/Speisewassertemperatur (für Dampfkessel)

- Kühlere Ansaugluft hat eine höhere Dichte, der Kompressor kann ein höheres Volumen fördern.
- In Dampfsystemen kann die Speisewassertemperatur durch Abwärme oder Kondensat-Rücklauf erhöht werden.

Betriebszeit

Anmerkungen siehe Motoren, Pumpen, zusätzlich: tägliche Anforderung von Prozessen und Betrieb plus Saisonalität

Systemlast

Kompressor-, Kesselsysteme beinhalten Feedback-Mechanismen, um die Systemlast zu messen und den Betrieb zu steuern.

Die Schwankungen der Systemlast können aufgrund unterschiedlicher Faktoren erfolgen, die als Annäherung für die Systemlast (nach Prüfung über Regressionsanalyse) benutzt werden können:

- Umgebungstemperatur
- Produktanzahl und -typen
- Systemverluste
- Produktivität und Verwendung von pneumatischen Werkzeugen (für Druckluft)

Betriebseffizienz

- Energieinput und nutzbarer Output
- Sinnvoll: Schlüsselparameter bei stark schwankender Last während des Messzeitraums
- Energieeinsatz [MJ/Dampf in kg bei Druck]
- Energieeinsatz [kWh/Durchfluss Nm³ Druckluft bei Druck über die Zeit]

Die Effizienz kann aufgrund Herstellerangaben über Effizienzverläufe geschätzt werden oder an bestimmten Punkten gemessen werden.

5.7.4 Kälteanlagen

Gemessene Leistung

Nur Schlüsselparameter, wenn eine statische Last vorliegt (z. B. bei bestimmten industriellen Anwendungen)

Für bestimmte industrielle Anwendungen ist die gemessene Leistung in Abhängigkeit der Betriebsstunden Schlüsselparameter. Bei Regelungen, die zu reduzierten Betriebszeiten führen, kann die gemessene Leistung als konstant angenommen werden.

Betriebszeiten

- Anzahl der Stunden, während die Kälteanlage in Betrieb ist
- Für Anlagen, die nicht kontinuierlich laufen, ist dieser Parameter der Schlüsselparameter
- Info zu Betriebszeiten siehe oben

Für Maßnahmen, die die statische Last reduzieren, können die Betriebszeiten konstant angenommen werden.

COP

- Input und Output Energie wird gemessen.
- Aufgenommene Leistung/bereitgestellte Kälteleistung

Der jährliche Energiebedarf für Kälte kann als konstant angenommen werden. Die Einsparung wird dann über die Effizienzverbesserung ermittelt

Kühllast

Quellen für die Kühllast sind: Kühllager, Lebensmittelherstellung und -verarbeitung, Herstellprozesse (Kaltwasser zur Prozesskühlung)

Umgebungstemperatur

Kühlanlagen sind sehr oft abhängig von der Außentemperatur.

5.7.5 Heizung, Lüftung, Klima

Gemessene Leistung

Die aufgenommene Leistung und Energieverbrauch ist der Schlüsselparameter.

Diese Leistung wird sich aber für die meisten Maschinen (ausgenommen starre Ventilatoren) mit der erforderlichen Kühl- und Heizlast ändern.

Betriebsstunden

Für Steuerungsprojekte, die die Laufzeiten ändern sollten die Betriebszeiten gemessen werden.

Bei Reduktion statischer Last können die Betriebsstunden als konstant angesehen werden.

Thermische Last

Kühl- und Heizbedarf ändert sich laufend aufgrund:

- Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsänderung (im Gebäude und außerhalb)
- Änderungen in der internen Last (Geräte, Personenanwesenheit)

Effizienz

Sinnvoll, wenn sich die Last während der Messperiode ändert (typisch für Klimaanwendungen)

Aufgenommene und abgegebene Energie muss gemessen werden.

6 Leitfäden und Tools

Um Betriebe bei der Optimierung häufig genutzter Technologien zu unterstützen, wurden im Programm klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe weitere Leitfäden zu folgenden Querschnittstechnologien erstellt:

- Optimierung der Abwärmenutzung
- Optimierung von Druckluftsystemen
- Optimierung von Pumpensystemen
- Optimierung von Ventilatoren und Lüftungssystemen
- Optimierung von Dampfsystemen
- Optimierung von Kältesystemen
- Optimierung von Beleuchtungssystemen
- Messleitfaden I zur Bewertung von Energieeinsparungen
- Messleitfaden II zur Messtechnik
- Optimierung der Wärmeverteilung und Hydraulik
- Technische Isolierung

Weiters bietet klimaaktiv Schulungen und Webinare, in denen Grundlagen und Lösungen zur Optimierung betrieblicher Systeme vermittelt werden. Aktuelle Termine finden Sie auf klimaaktiv.at/betriebe-schulungen.html oder im Energieeffiziente Betriebe Newsletter. Sie können sich unter klimaaktiv.at/service/newsletter-an-abmeldung.html anmelden.

ProTool

Das klimaaktiv ProTool ist ein Tool, das für eine umfassende Erstanalyse der Energieeffizienz im Betrieb eingesetzt werden kann und ermöglicht rasch Einsparpotenziale zu identifizieren.

Pinch Tool

Die Pinch-Analyse ermöglicht eine rasche und unkomplizierte Bestimmung der optimalen Abwärmenutzung. Dieses Werkzeug erleichtert es, ein Wärmetauschernetzwerk basierend auf realen Betriebsdaten von Prozessströmen und Abwärmeströmen aus der Energieversorgung zu kreieren und zu bewerten.

Formelverzeichnis

Formel 1: Bestimmung des Wirkungsgrades.....	41
Formel 2: Energieverbrauch in Abhängigkeit der Produktionszeit	44
Formel 3: Modellierter Energieverbrauch vor und nach der Umsetzung der Maßnahme und diese Werte voneinander abgezogen	44
Formel 4: Einfaches Modell.....	45
Formel 5: Maßnahmen für Reduzierung des Energieverbrauchs	45
Formel 6: Maßnahmen zur Reduktion von konstanter Last bei unveränderten Betriebszeiten.....	45
Formel 7: Maßnahmen zur Reduktion der Betriebszeit bei unveränderter Last.....	45
Formel 8: Maßnahmen die den Wirkungsgrad des Systems erhöhen.....	46
Formel 9: Absolute/Relative Genauigkeit des Messgeräts	47
Formel 10: Kombinierte/Gesamte Unsicherheit bei gleichem Messgerät vor und nach Maßnahme (Subtraktion)	47
Formel 11: Standardfehler der Messung	47
Formel 12: Absolute Genauigkeit.....	48
Formel 13: Kombinierte Unsicherheit der Einsparungen in kW für Summe oder Differenz (Fall 1)	48
Formel 14: Kombinierte Unsicherheit der Einsparungen für Multiplikation und Division (Fall 2)	48
Formel 15: Absolute Unsicherheit der Einsparung (bezogen auf 50 kW):.....	49
Formel 16: Berechnung der Einsparung.....	50
Formel 17: Berechnung Standardfehler	51
Formel 18: Bestimmung Standardfehler	52
Formel 19: Messreihe vorher und nachher mit errechnetem Standardfehler	52
Formel 20: Standardfehler für das Regressionsmodell.....	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorgaben zur Messung im Rahmen von Energieaudits nach der EN 16247-1....	10
Tabelle 2: Beispiel für Plan zur Datenmessung – Verzeichnis der Messeinrichtungen	13
Tabelle 3: Beispiel für einen Plan zur Datenmessung	17
Tabelle 4: Beispiel für Plan zur Datenmessung	18
Tabelle 5: Fragen zur Einsparmaßnahme	21
Tabelle 6: Effekte von Einsparmaßnahmen auf den Energieverbrauch.....	22
Tabelle 7: Überblick über Optionen nach IPMVP.....	24
Tabelle 8: Überblick über zu messende Parameter je nach Einspareffekt Option A.....	25
Tabelle 9: Überblick über zu messende Parameter je nach Einspareffekt Option B	25
Tabelle 10: Überblick über Parameter mit Einfluss auf die Leistung	28
Tabelle 11: Überblick über Messdauern in Abhängigkeit der Systemparameter.....	33
Tabelle 12: Überblick über Messdauer für Beleuchtungssysteme	34
Tabelle 13: Überblick über mögliche Datenquellen.....	37
Tabelle 14: Beispiel für Regression	42
Tabelle 15: Fortsetzung des Beispiels, Berechnung der Energieeinsparung	46
Tabelle 16: t-Werte bei Probenahme mit unendlicher Stichprobenanzahl.....	48
Tabelle 17: Einsparmaßnahme Druckluft (siehe klimaaktiv Leitfaden)	54
Tabelle 18: Parameter für alle Maßnahmen nach Relevanz	55
Tabelle 19: Einsparmaßnahme Dampfsysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	55
Tabelle 20: Parameter für alle Maßnahmen	57
Tabelle 21: Einsparmaßnahme Pumpsysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden)	57
Tabelle 22: Parameter für alle Maßnahmen nach Relevanz	59
Tabelle 23: Einsparmaßnahme Ventilatorsysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden).....	59
Tabelle 24: Parameter für alle Maßnahmen	60
Tabelle 25: Einsparmaßnahme Kältesysteme (siehe klimaaktiv Leitfaden).....	60
Tabelle 26: Parameter für alle Maßnahmen	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Drei Stufen zum Messplan (laut Anhang, EN 16247-3)	11
Abbildung 2: Darstellung der Regressionsgerade (Zusammenhang Energieverbrauch/Produktionsmenge).....	43

Über klimaaktiv

klimaaktiv ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klimaaktiv zeigt, dass jede Tat zählt: jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter klimaaktiv.at

Das klimaaktiv Programm Energieeffiziente Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf Ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good Practice Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter klimaaktiv.at/effizienz

Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klimaaktiv

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Abt. VII/3 – Nachhaltige Finanzen und Standortpolitik

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe

Österreichische Energieagentur

Petra Lackner

eebetriebe@energyagency.at

klimaaktiv.at/effizienz

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)