

Leitfaden



Effizientes Monitoring von Energiedaten im Bereich des Facilitymanagements

Praxisnaher Leitfaden zu Design, Aufbau und Betrieb eines Energie-monitoring-Workflows – mit Ergebnissen aus 5 Demonstrator-Liegenschaften.



Entstanden im Rahmen des vom BMBF geförderten KMU-innovativ-Projektes EffMon (www.effmon.de)

Stand: Juli 2020

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	2
Zusammenfassung	5
1 Planung und Design eines Energiemonitoring-Systems.....	8
1.1 Grundstruktur	8
1.2 Entscheidungshilfe für Umsetzungstiefe des Monitorings	9
1.3 Gesetzliche Vorgaben und Haftungsfragen	11
1.4 Verantwortlichkeiten im Projekt-Team	12
1.5 Entscheidungsgrundlagen zur Auswahl der Messtechnik	12
1.5.1 Diskret oder Protokoll? Die modernen Datenübertragungsprotokolle.....	13
1.5.2 Workflow zur Auswahl von Datenübertragungsprotokollen.....	14
1.6 Data Warehouse: Software für Sammlung, Speicherung und Harmonisierung von Daten.....	17
1.7 Software für Datenanalyse, Visualisierung und Reporting	18
2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – Schritt für Schritt	19
2.1 Erhebung und Planung / Messkonzept	19
2.1.1 Energieleistungskennzahlen.....	19
2.1.2 Energieflüsse bilanzieren.....	20
2.1.2.1 Temporäre Messungen für die Energiebilanz.....	21
2.1.2.2 Beispiele zur Energieverbrauchsbewertung	21
2.1.3 Auswahl gewünschter Messstellen für das Monitoring	22
2.1.4 Potenzielle Einsparpotenziale durch Monitoring identifizieren.....	23
2.2 Anbindung von Zählern und Sensoren	24
2.3 Integration der Messdaten in ein Data Warehouse	26
2.3.1 Schritte zur Datennutzung im Data Warehouse.....	28
2.4 Monitoring- und Reporting-Tools.....	29
2.4.1 Datenanalyse: Aufgaben der Werkzeuge.....	30
2.4.2 Anbindung von Datenanalyse-Tools an das Data Warehouse.....	32
2.4.3 Funktionen der Tools: Visualisierungen.....	32
2.5 Laufender Betrieb: Regelmäßiger Check und Berichtswesen	38
2.6 Ausbau des Systems	39

GEFÖRDERT VOM

Betreut von:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



DLR Projektträger

3	Praxisbeispiele	40
3.1	Analyse Außentemperatur-Messung (als Steuergröße für Heizkreise)	40
3.2	Analyse Temperatursteuerung	42
3.3	Analyse Raumtemperatur	43
3.4	Analyse Abschaltbedingungen Heizkreis	44
3.5	Analyse Kältemaschine / Kaltwassernetz	45
3.6	Analyse Kühlturm: Umschaltung von Rückkühlwerk zu Kältemaschine	48
3.7	Analyse Druckluftkompressor: Leckage-Erkennung	51
3.8	Auswertungen mittels webbasierten Monats-Reports	51
3.8.1	Monats-Übersicht.....	53
3.8.2	Monatsreport Wärmeverbrauch	56
3.8.3	Monatsreport Stromverbrauch.....	59
3.8.4	Monatsreport Kühlturm.....	62
3.8.5	Monatsreport Warmwasser-Erzeugung.....	65
4	Anhang	67
4.1	Kennwerte und mögliche Auswertungen (Basis)	67
4.1.1	Kältetechnik.....	68
4.1.2	Kennwertrecherche am Beispiel von Gesundheitseinrichtungen	71
4.2	Gesetzliche Vorgaben und Haftungsfragen	73
4.2.1	Stromsteuer.....	74
4.2.2	Konzessionsabgabe	75
4.2.3	EEG-Umlage.....	75
4.2.4	KWKG-Umlage.....	75
4.2.5	§ 19 StromNEV-Umlage.....	75
4.2.6	Offshore-Netzumlage.....	76
4.2.7	Umlage für abschaltbare Lasten.....	76
4.3	Abkürzungen	77
4.4	Literatur	77

Zusammenfassung

Der Klimawandel gehört zu den größten globalen Herausforderungen unserer Zeit. Auch in Deutschland steigt die Durchschnitts-Temperatur in den letzten Jahrzehnten erheblich, siehe Abbildung 1.. Gemäß dem Pariser Klimaabkommen hat sich Deutschland zur Klimaneutralität bis 2035 verpflichtet¹.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden die maßgeblichen nationalen und europäischen Verordnungen zunehmend verschärft. Es werden unter anderem erhöhte Anforderungen an die Gebäudehülle und Gebäudetechnik sowie ein wachsender Anteil erneuerbarer Energien gefordert.

Der Energieverbrauch in größeren Liegenschaften kann durch ein Monitoring von Energie- und Betriebsdaten signifikant gesenkt werden. Der vorliegende Leitfaden soll Liegenschaftsbetreiber beim Aufbau eines Monitoring-Systems unterstützen. Der Leitfaden entstand im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes **EffMon – Effizientes Monitoring und optimierte Betriebsführung von Liegenschaften mittels einfach handhabbarer, nutzerspezifischer Monitoring-Tools** (Projekt-Webseite: www.effmon.de).

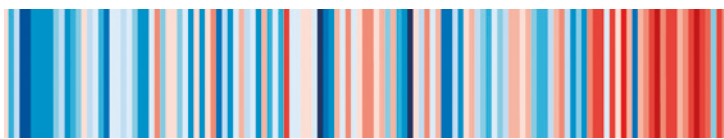


Abbildung 1: Klimawandel in Deutschland: Jährliche Temperaturmittelwerte von 1881-2017 (dunkelblau 6,6°C bis dunkelrot 10,3°C). Quelle: Climate lab book 2018 warming stripes

Doch wie kann man die zu hebenden Potentiale erkennen und auszuschöpfen? Wie können Energie-Verschwendungen aufgespürt und mit bekannten oder auch innovativen Lösungen beseitigt werden? Und wie wird Energieverbrauch präzise und richtig bewertet? Viele Antworten stecken in Messdaten. Messdaten vertragen beispielsweise, ob Regelkreise tatsächlich optimal konfiguriert sind oder ob Anlagen bedarfsgerecht aktiviert und energieeffizient betrieben werden..

Ziel eines systematischen Monitorings in Liegenschaften ist es, Energie und damit CO₂-Emissionen und Kosten einzusparen. Dazu gibt es zwar eine Vielzahl an Datenerfassungssystemen und technischen Ansätzen. Was jedoch fehlt, ist eine durchgängige und kostengünstige Lösung zur Steigerung der Energieeffizienz für den Gebäudebestand. Diese sollte von der Messtechnik bis zur Auswertung möglichst einfach umsetzbar sein. Die Entwicklung und Erprobung eines solchen durchgängigen Monitoring-Workflows war das Ziel des Projektes EffMon.

Die Herausforderungen beim Aufbau eines Monitoring-Systems sind vielfältig: In einer Bestandsaufnahme ist zu klären, welche Bereiche und Anlagen lohnend für ein Monitoring erscheinen. In der Regel müssen zahlreiche Datenquellen (z.B. die Datenerfassung von unterschiedlichen Leitsystemen) zusammengeführt werden. Wird der Energieverbrauch von wichtigen Anlagen oder Gebäudebereichen nicht erfasst, so müssen Zähler oder Sensoren neu installiert werden. Um Potentiale zur Energie-Einsparung aufzudecken, müssen die Daten visualisiert und möglichst automatisiert ausgewertet werden – am besten mit Hilfe von aussagekräftigen Kennzahlen. Der Aufbau eines solches Monitoring-System kann nur gelingen, wenn Liegenschafts-Betreiber sehr eng mit Energieberatern, IT- und Hardware-Fachleuten kooperieren.

Im Projekt EffMon wurde daher ein Monitoring-Workflow entwickelt, der Lösungen und Best-Practice-Beispiele in folgenden Bereichen bietet:

- Aufbau einer Dateninfrastruktur

¹⁾ Prof. Stefan Rahmstorf, Potsdam Institut, 2019, <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/wie-viel-co2-kann-deutschland-noch-ausstossen/> (Stand 29.05.2020)

- Vereinfachte Nachrüstung von Zählern und Sensoren
 - Datenarchivierung
 - Automatisierte Auswertungen und Kennwert-Berechnung
 - Effizientes Energie-Monitoring und die Betriebsoptimierung
- Die Verwendung von leistungsfähigen Data-Warehouse-Systemen ermöglicht es, zahlreiche Liegenschaften durch einen Energiemanager zentral zu überwachen. Dies reduziert die Kosten deutlich.

Das EffMon-Konzept ist modular aufgebaut und deckt alle diese Bereiche ab: von der Erstanalyse der Gebäude und Anlagen, über die automatisierte Erstellung von Kennzahlen und Berichten bis zur Umsetzung der Optimierung. Der Leitfaden hat zum Ziel, die wichtigsten Erkenntnisse, die im Rahmen des Projektes gewonnen wurden, anhand von Praxisbeispielen zur Verfügung zu stellen. Der Ablauf des Monitorings Workflows wurde dabei an 5 Demonstratoren evaluiert: an 2 Kliniken, einem Metallverarbeitenden Betrieb, einer Produktionsfirma für Kühlgeräte und der Liegenschaft des Fraunhofer IOSB in Karlsruhe.

Aus dem Projekt EffMon wurden folgende wesentliche Erkenntnisse gewonnen:

- Einzel-Maßnahmen zur Energie-Einsparung sind die bessere Wahl, wenn keine ausreichende Motivation und Ressourcen (Geld, Personal) für Einführung und Betrieb eines Monitoring-Systems vorhanden sind.
- Ein Monitoring-System sollte möglichst technologieunabhängig durch die Verwendung von Standard-Schnittstellen aufgebaut werden.
- Das Messkonzept muss auf die wesentlichen Messstellen und Verbraucher ausgerichtet sein, um relevante Kennzahlen für einen optimierten Betrieb zu ermöglichen.
- Die Schaffung einer geeigneten Dateninfrastruktur ist eine wichtige Basis und gleichzeitig eine große Herausforderung beim Aufbau eines Monitoring-Systems.
- Kennzahlberechnungen und Auswertungen sollten möglichst automatisiert erfolgen, um die Effizienz des Monitorings zu erhöhen.
- Die Einbeziehung eines externen Energieexperten ist für den Aufbau eines Energie-Monitoring-Systems empfehlenswert.

Der Leitfaden ist wie folgt aufgebaut:

Kapitel 1 beschreibt die Schritte bei der Planung und des Designs eines Energiemonitoring-Systems. Ausgehend von der grundsätzlichen Grundstruktur eines Monitorings wird eine Entscheidungshilfe für die Umsetzungstiefe eines aufzubauenden Monitorings gegeben.

Kapitel 2 widmet sich Schritt für Schritt dem Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – vom Messkonzept über den Aufbau eines Data Warehouse bis zu Betrieb und Ausbau des Monitoring Systems.

Kapitel 3 fasst Praxisbeispiele aus dem Forschungsvorhaben zusammen.

Projektkonsortium

Am Projekt EffMon – und damit auch an der Erstellung des vorliegenden Leitfadens – waren folgende Partner beteiligt:

- **Fraunhofer IOSB:** Projektkoordination, Tools & Methoden zur Kennzahlengenerierung
- **Effizienzborse Deutschland:** Energieberatung, Messkonzepte, Definition Kennzahlen / Auswertemodule
- **Gossen Metrawatt GmbH:** Datensammler Smart-Control: Erweiterung um neue Schnittstellen
- **Klaus Weiss Elektroanlagen GmbH:** Anbindung von Zählern und Sensoren sowie existierender Gebäudeleittechnik
- **Steinhaus Informationssysteme GmbH:** Plattform TeBIS: Datenspeicherung, Visualisierungen, Bedieninterface
- **KEK – Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur gGmbH:** Projektbegleitung aus Anwendersicht; Durchführung von Workshops

1 Planung und Design eines Energiemonitoring-Systems



Abbildung 2: Monitoring-Kreislauf von der Ersterfassung bis zur Dokumentation

1.1 Grundstruktur

Ein Monitoring lässt sich grob mit den 5 Schritten beschreiben, die in Abbildung 2 gezeigt sind:

Schritt 1: Erfassung des Gebäudes bzw. der Anlagen nach einem individuellen Messkonzept zum Monitoring von Energiebezügen, Lüftungs-, Kälte-, Heizungs-, Druckluftanlagen o.ä.

Schritt 2: Erfassung von relevanten Zählern und Sensoren über Gebäudeleittechnik (GLT) bzw. Datenlogger.

Schritt 3: Archivierung der Daten auf einer Datenplattform, Berechnung von sinnvollen Kennzahlen und Auswertung

Schritt 4: Visualisierung der Ergebnisse z.B. über Dashboards und automatisierte Berichtserstellung, Alarm-Funktion bei erheblichen Abweichungen

Schritt 5: Rechtskonforme Ausführung und Dokumentation über das Energieteam bzw. den Facilitymanager.

1.2 Entscheidungshilfe für Umsetzungstiefe des Monitorings

Die Motive für ein Monitoring können vielfältig sein, siehe Abbildung 3. Neben der Pflicht zum Energiemanagementsystem (DIN EN ISO 50001) sind finanzielle Aspekte wie die Einsparung von Energie im Unternehmen, die Rückforderung der EEG-Umlage und der Energiesteuer bei energieintensiven Betrieben relevant (siehe Abschnitt 1.3). Ein anderes Motiv ist die rechtskonforme Nachweisführung, um Haftungsfragen einzugrenzen bzw. Transparenz im Unternehmen zu schaffen. Zudem fordern Mitarbeiter eines Unternehmens zunehmend einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen.

Der Umfang eines Energiemonitorings hängt vor allem von der Größe des Unternehmens, der Komplexität der Anlagenstruktur, dem Zählerbestand und den vorhandenen Ressourcen ab. Der Entscheidungsbaum (siehe Abbildung 4) bietet eine Hilfe für das Vorgehen. Handelt es sich um einen KMU-Betrieb mit Energiekosten von weniger als 50.000 € im Jahr, können Einzelmaßnahmen umgesetzt werden. Ein umfassendes Monitoring würde wirtschaftlich nicht im Verhältnis stehen. Bei KMU-Unternehmen mit Energiekosten von mehr als 50.000 € ist nach Einschätzung der Autoren ein Energiemonitoring sinnvoll.

Entscheidend ist die Frage der Ressourcen. Sind diese in personeller, finanzieller und technischer Art vorhanden und besteht der Wille, diese Basis zu schaffen? Der

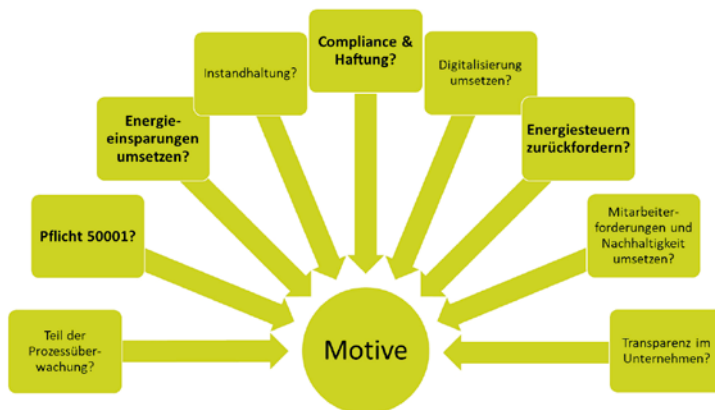


Abbildung 3: Motive für ein Monitoring

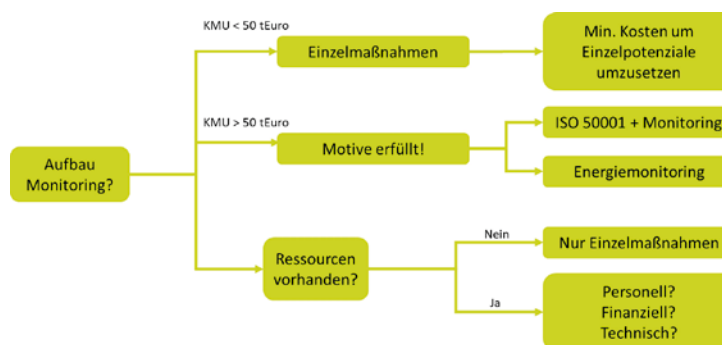


Abbildung 4: Ressourcenfestlegung

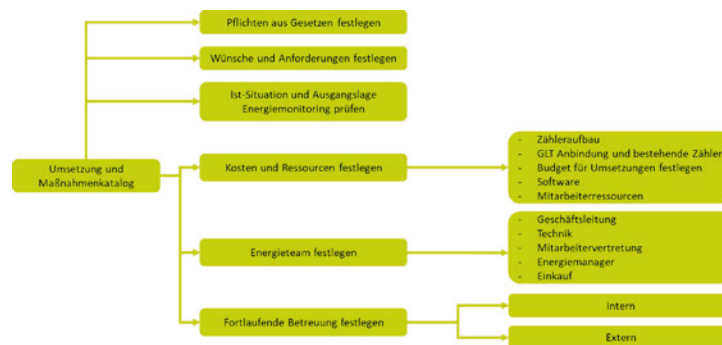


Abbildung 5: Umsetzung und Maßnahmenkatalog

zweite Entscheidungsbaum (siehe Abbildung 5) zeigt das Vorgehen bei der Umsetzung und führt entsprechende Maßnahmen auf.

Bei den Demonstratoren, die im Rahmen des EffMon-Projektes betrachtet wurden, konnte zwischen einem Kleinmonitoring, einem Anlagenmonitoring mit GLT (Gebäudeleittechnik) und einem Monitoring ohne GLT unterschieden werden.

In kleineren Liegenschaften mit einem überschaubaren Bestand an Zählern und Sensoren wurden diese über einen Datenlogger angebunden, was eine Übertragung

1 Planung und Design eines Energiemonitoring-Systems

von Messwerten in eine Datenbank mit anschließender Auswertung ermöglicht („Klein-Monitoring“).

In größeren Liegenschaften mit einer GLT fallen regelmäßig viele Daten an. Hier werden die Daten über ein Anlagenmonitoring mit GLT in die Datenplattform überführt. Das erfordert mehr Investition in die Struktur und das Personal, damit eine systematische und rechtskonforme Auswertung möglich ist.

Ist keine GLT bei größeren Liegenschaften vorhanden, dann ist das Monitoring grundsätzlich aufwendiger, da verschiedene Datenquellen anzubinden sind. Auf der anderen Seite können bei vorhandener GLT Hürden aufgrund von Abschottungsmechanismen bei der Auslesung von Sensoren bestehen.

Hinsichtlich Entscheidungsgrundlagen zur Auswahl der Messtechnik siehe auch Abschnitt 1.5

1.3 Gesetzliche Vorgaben und Haftungsfragen

Aufgrund der verschiedenen Umlagen, Abgaben und Steuern, welche insbesondere dem Energieträger Strom in Deutschland zugeschlagen werden, ist zur Nachweisführung von Strommengen die von unterschiedlichen Parteien genutzt werden, ob unentgeltlich oder nicht, grundsätzlich eine rechtskonforme Bewertung dieser Strommengen notwendig. Je Gesetz, Nachweispflicht oder Entlastungsanspruch, reichen die Anforderungen an die Nachweisführung von geschätzten Bagatellmengen, Worst-Case-Betrachtungen, ungeeichten und geeichten Messungen bis hin zum exakten Zeitvergleichen (in ¼-Stunden Auflösung) von z. B. Erzeugungsmengen, Eigenverwendungsmengen und dem Bezug von Strommengen. Für große Abnehmer mit Jahresverbräuchen über 1.000.000 kWh p. a. und produzierende Unternehmen gibt es zudem in Verbindung mit verschiedenen Gesetzen und Verordnungen diverse Vergünstigungsmöglichkeiten oder Privilegierungen, welche zur Inanspruchnahme ebenso eine oft messtechnische Nachweisführung verlangen. Weitere Erklärungen hinsichtlich der einzelnen Abgaben, Umlagen und Steuern, die dem Strom zugeschlagen werden, sind in Anhang 4.2 etwas tiefergehend beschrieben.

Die verschiedenen „Zuschläge“ sollen in erster Linie unterstützen, um den Ausbau erneuerbarer Energien und rationeller Stromerzeugung voran zu treiben, unverhältnismäßige Belastungen verschiedener „Letztverbrauchergruppen“ zu entschärfen und für einen Ausgleich zwischen verschiedenen Akteuren des Energiemarkts zu sorgen. Umlagen und Abgaben, die entsprechend privilegierten Anlagenbetreibern oder Verwendern von umweltfreundlichen Strommengen

zugutekommen oder wegen unverhältnismäßiger Belastungen nach bestimmten Kriterien reduziert bzw. entlastet werden können, betreffen i. d. R. nur eine rechtliche Person. Sobald also mehr als eine rechtliche Person den Strom an einer Lieferstelle oder einem Arealnetz nutzt, könnte hinsichtlich jeder einzelnen gesetzlichen Vergünstigung eine Prüfung erfolgen, ob z. B. ein Verwender von Drittmengen ein geringeren oder gar kein Anspruch auf Vergünstigung hat und dieser regelmäßig auszugleichen ist.

Soweit mehr als eine rechtliche Person den Strom nutzt (z. B. durch Vermietung, Funkantenne, Dauerbaustelle, Kantinenbetreiber, unentgeltliche Nutzung von Räumlichkeiten durch Dienstleister oder verschwierte Unternehmen, Laden von Elektrofahrzeugen usw.), aber auch bei einer rechtlichen Person (z. B. zur Abgrenzung von besonders begünstigten Prozessen), ist eine rechtskonforme Bewertung und ggf. Nachweisführung der unterschiedlichen Abnehmer und Verbrauchsstellen an einer Lieferstelle notwendig. Nichtbeachtung kann zu finanziellen Nachteilen, empfindlichen Bußgeldern, Verwehren von Fördergeldern oder Nachforderungen von zu Unrecht erhalten Vergünstigungen führen.

» RECHTSKONFORME MESSKONZEPTE

Insbesondere **bei (dritten) Letztverbrauchern**, die Strom und/oder Wärme einer Lieferstelle mitnutzen (weitergeleitet bekommen) und beim Betrieb von **Eigenerzeugungsanlagen**, ist die Erstellung von rechtskonformen Messkonzepten von großer Bedeutung, um finanziellen Nachteilen vorzubeugen.

1.4 Verantwortlichkeiten im Projekt-Team

Eine bedeutende Voraussetzung für ein erfolgreiches Monitoring ist die Klärung der Verantwortlichkeiten im Projektteam. Die Schritte von der Installation der Messstellen, Zusammenführung der Daten, Anbindung der IT und Auswertung der Daten benötigen die Zusammenarbeit aller Beteiligten. Die Aufgaben sind fachübergreifend und ein reibungsloses Zusammenspiel zwischen der technischen Leitung, dem Facility Management, der IT und dem Elektrobereich ist erforderlich. Dabei ist auch die Rückendeckung der Führungsebene entscheidend, sich mit dem Monitoring zu identifizieren und bei Hürden in der Kommunikation und Priorisierung von Aufgabenfeldern ggf. eine moderierende Rolle einzunehmen.

» ZIELEDEFINITION

Der Erfolg eines Energiemanagements und -monitorings hängt vornehmlich von dem **Willen und der Identifikation auf der Führungsebene** ab. Mit der Zieledefinition auf Geschäftsführerebene lässt sich ein maßgeschneidertes Konzept für die entsprechende Liegenschaft, mit individuellen Leistungen und Detaillierungsgrad und unter Berücksichtigung der geforderten Nachweis- und Meldepflichten, erstellen. Eine klare Zuordnung der Verantwortlichkeiten ist dabei entscheidend.

Das Hinterfragen erster Auswertungen/bestimmter Situationen hat insbesondere beim Diakoniekrankenhaus Stuttgart (DKS) gezeigt, dass erst durch eine Diskussion die Informationen zu verschiedenen Möglichkeiten einer rationellen Energieverwendung zur technischen Leitung transportiert wurden. Das Monitoring bildet also eine wichtige Schnittstelle, damit verantwortliche Personen faktenbasiert mit dem technischen Personal ins Gespräch kommen und so sinnvolle Maßnahmen vorantreiben können.

Weiterhin ist zu klären, welche Leistungen intern betreut und welche nach außen vergeben werden. Für die internen Leistungen sollte den verantwortlichen Personen ausreichend Zeit gewährt werden. Gelder für externe Leistungen sind einzuplanen, die beispielsweise für Detailplanungen, Umsetzungsbegleitung und Fördermittelberatung eingesetzt werden können.

1.5 Entscheidungsgrundlagen zur Auswahl der Messtechnik

Befasst man sich mit dem Gedanken, ein Energiemonitoringsystem aufzubauen, so kann als grobe Kennzahl für die Vorermittlung der Kosten zwischen 200 – 1000€ je Messpunkt für Investition und Anbindung gerechnet werden. Die Kosten hängen stark von der Komplexität der jeweiligen Messstelle ab.

Je nach Umfang der Anlagentechnik und Liegenschaften errechnen sich schnell hohe Investitionskosten. Eine gute Entscheidungsgrundlage ist notwendig, um diese Investitionskosten den Entscheidungsträgern transparent und plausibel darzulegen.

Für die Auswahl der passenden und notwendigen Sensoren müssen objektspezifische Vorbetrachtungen berücksichtigt werden. Sieht man sich die Vorgehensweise aus Sicht der Optimierung von Anlagen und der

daraus resultierenden Energieeinsparung an, ergeben sich folgende Fragen:

- Was soll optimiert werden, wo sollen Einsparpotenziale gefunden werden?
- Welche physikalischen Größen müssen dazu in das Monitoring eingebunden werden?
- Gibt es schon Messstellen, die zum Monitoring verwendet werden können?
- Wie sieht die Infrastruktur bezüglich eventuell notwendiger Installationen aus?
- Besteht die Möglichkeit Sensoren mit Funktechnik einzusetzen?
- Gibt es bereits Direct Digital Control (DDC) Systeme, auf deren Daten zugegriffen werden kann?

In der Regel geht es darum, den Verbrauch der Primärenergien wie Strom, Gas und Heizöl zu reduzieren. Dementsprechend sind die messtechnischen Sensoren für die Strommessung, den Gasverbrauch und die Erfassung von Temperaturen aller Art auszuwählen.

Für diese Sensoren werden permanent neue Komponenten mit allen dem Stand der Technik entsprechenden Möglichkeiten entwickelt, die gemessene Größen an die vorhandenen Monitoring Systeme zu übermitteln.

Grundsätzlich muss entschieden werden, ob diese Übermittlung konventionell (analoge Signale) oder in Bus-Technik ausgeführt werden soll. Dies hängt, wie oben erwähnt, davon ab, welche Voraussetzungen das Objekt mitbringt.

Je genauer diese Vorbetrachtungen durchgeführt werden, desto besser ist das zu erwartende Ergebnis bezüglich der Effektivität in Bezug zur Kosten-/Nutzungsbetrachtung.

1.5.1 Diskret oder Protokoll?

Die modernen Datenübertragungsprotokolle

Die dem heutigen Stand der Technik entsprechenden DDC-Controller sind in der Lage, alle gängigen Protokolle aufzuschalten. Die in der Gebäudetechnik etablierten Protokolle sind:

BACnet IP, Modbus TCP oder Modbus RTU, M-Bus, KNX, DALI (nur für Lichtsteuerungen) und EnOcean (Datenübertragung per Funksignal). Können Protokolle nicht direkt an einen DDC-Controller angebunden werden, so bietet die Industrie eine Vielzahl von Protokollumsetzern an, die dann eine Anbindung ermöglichen.

Die für das Energiemonitoring gebräuchlichsten Protokolle werden im Folgenden kurz umrissen.



1 Planung und Design eines Energiemonitoring-Systems

Im **BACnet-Protokoll** sind fast alle Funktionen enthalten, die ein modernes Facility Management benötigt. Hier können Fehlermeldeklassen, Kalenderfunktionen und vieles mehr definiert werden. Es wurde dafür entwickelt, Geräte und Anlagen der Gebäudeautomatisierung miteinander zu verbinden, ohne aufwendige Systeme darüber setzen zu müssen. Jedes Gerät kann mit jedem Gerät kommunizieren.

Das **Modbus-Protokoll** bietet eine einfache Möglichkeit, Daten zwischen aktiven Baugruppen (wie z. B. Pumpen, Frequenzumformern, Sensoren und einer DDC-Steuerung) zu übertragen. Es kann digitale und analoge Signale (bspw. Betriebszustände, Störmeldungen oder Soll- und Istwerte) auszulesen und zuschreiben.

Das **EnOcean Protokoll** wird verwendet, wenn keine kabeltechnische Infrastruktur vorhanden und die Kabelverlegung aufwendig ist. In der Regel kommt dieses Protokoll zur Werteübermittlung von Temperaturfühlern oder Ansteuerung von Heizventilen zum Einsatz.

Gas-, Wasser- und Energiezähler sind häufig mit einer **M-Bus** Schnittstelle ausgestattet (drahtgebunden oder per Funk). Die Anbindung dieser Komponenten ist in der Regel einfach, da viele Hersteller von DDC-Controllern Funktionsbausteine anbieten, in denen die Endgeräte direkt parametrierbar sind. Dann muss nur noch die serielle Schnittstelle, die Baudrate und die Bus-Adresse angegeben werden. Können die Geräte nicht direkt ausgewählt werden, muss zusätzlich die Indexadresse des auszulesenden Wertes parametrierbar werden.

1.5.2 Workflow zur Auswahl von Datenübertragungsprotokollen

Um die Auswahl der Sensoren zu optimieren wurde ein Workflow entwickelt, der die Entscheidungshilfen für die Vorbetrachtung der Monitoring-Aufgaben aufzeigt.

Bei der Vorplanung eines Monitoring-Systems müssen die vorhandenen Strukturen ermittelt werden. Mit dieser Information startet man und arbeitet sich dann durch den Workflow. Sind die einsetzbaren Möglichkeiten ermittelt, müssen die entsprechenden Datenerfassungskomponenten bestimmt werden. Es können Datensammler zum Einsatz kommen, die Daten bspw. an ein Cloud-basierendes Monitoring-System übermitteln, mit dem sich die Daten dann individuell aufbereiten lassen.

Sollen die ermittelten Daten unmittelbar auf die Steuerungs- und Regelungsprozesse von Anlagen einwirken, werden diese eher in DDC-Steuerungen erfasst und verarbeitet.

1.6 Data Warehouse: Software für Sammlung, Speicherung und Harmonisierung von Daten

Über moderne Messtechnik (Zähler, Sensoren) werden physikalische Größen in digitale Informationen (Daten) übersetzt. Ziel des Energiemonitoring ist es, aus diesen Daten über Analysen und Betrachtungen Erkenntnisgewinne zu erzielen und letztlich eine Reduktion des Energieverbrauchs zu ermöglichen. Bevor eine Auswertung der Daten erfolgen kann, müssen diese gesammelt, vereinheitlicht und gesichert werden. Ideal ist die Datenbündelung in einem Data Warehouse. Dieses „Gesamtwarenlager“ der Daten dient allen „Kunden“ im Unternehmen, die Daten für Reports und Analysen benötigen. Das Data Warehouse ist also die „Datendreh-scheibe“. Alle „digitalen Quellen“ werden hier angebunden und liefern ihre Daten ab. Digitale Quellen können einzelne Zähler bzw. Sensoren sein, aber auch Automatisierungsstationen, Datenbanken oder Leitsysteme.

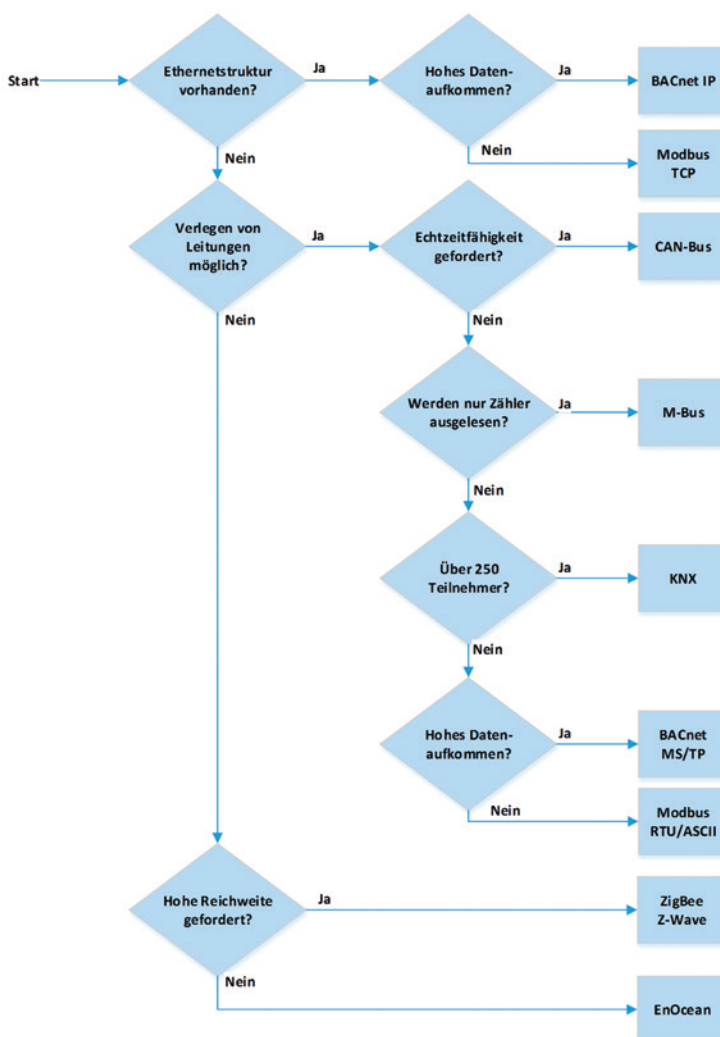


Abbildung 6: Entscheidungsbaum zur Auswahl von Datenübertragungsprotokollen

Diese Daten werden im Data Warehouse und in nachgeschalteten Systemen analysiert. Somit ist das Data Warehouse der Schlüssel für die Wertschöpfung des Energiemonitoring-Systems.

Im Projekt EffMon übernahm das TeBIS®-System der Steinhaus Informationssysteme GmbH diese Aufgaben. Das TeBIS®-System deckt die Funktionen Sammlung, Harmonisierung und Sicherung vollständig ab:

- Das **Sammeln der Daten** aus allen verfügbaren digitalen Quellen ermöglicht einen maximierten Überblick über Energieverbräuche sowie Zustände von Anlagen, Prozessen und Regelungen.
- Die **Harmonisierung der Daten** ist der Schlüssel zur Nutzung der Daten. Sie sorgt dafür, dass Daten überhaupt erst in Bezug gesetzt werden können. Ein wesentlicher Punkt ist hierbei die Umrechnung von gleichartigen Messstellen in identische physikalische Einheiten, denn dies ermöglicht vergleichende Analysen unterschiedlicher Art.
- Die **Sicherung der Daten** in einheitlichem und systemübergreifendem Format liefert Transparenz und Flexibilität in der Datennutzung. Sie ermöglicht sichere Nachweise, z.B. für Abrechnungen Dritter oder für beantragte Fördermittel. Sind die Daten leicht abrufbar, werden Vergleichsanalysen über lange Zeiträume und mit sehr großen Datenmengen möglich.

Die Architektur der Nutzung von TeBIS® im EffMon-Projekt wird in Abbildung 7 gezeigt. Sensor- und Zählerdaten werden über unterschiedliche Schnittstellen (z. B. OPC, verschiedene Feldbus-Systeme, CSV-Dateien) eingelesen und im TeBIS-internen Datenformat gespeichert. Flexible Datenexporte in nachgeschaltete Systeme (manuelle Exporte und/oder Anbindung über Datenschnittstellen) gewährleisten Transparenz und weitere Datennutzung über die Analysefunktionen des

TeBIS® Systems hinaus. So wurden im EffMon-Projekt über eine REST-Schnittstellen nachgelagerte Auswertesysteme und Dashboards angebunden (Power-BI, Tableau und Excel-Tools).

1.7 Software für Datenanalyse, Visualisierung und Reporting

Die Auswahl einer geeigneten Monitoring-Software ist naturgemäß stark abhängig von den gestellten Anforderungen. Sollen z. B. nur Verbrauchsmengen erfasst, bilanziert und auf wählbare Zeiträume ausgewertet werden, so genügen relativ einfache Produkte. Derartige Auswertungen können oftmals bereits mit MS-Excel vorgenommen werden.

Mit wachsender Anzahl von Messpunkten, längeren Betrachtungsperioden und verkürzten Messintervallen steigen die Anforderungen an die Softwaretools rasch an. Neben der sauberen Datenerfassung spielen dann die Performanz und Struktur der Datenablage eine wichtige Rolle. Statt in großen Listen zu suchen oder lange zu laden, sollten die Daten zur Verfügung stehen, sobald der Anwender sie braucht.

Neben Werkzeugen zur Datenverwaltung und grundlegender Datendarstellung sollten zusätzlich Schnittstellen zur Weiterverarbeitung der Daten durch Drittsysteme (z.B. Power BI, Qlick-View, Excel) vorhanden sein. Für weitere Datenanalysen (z.B. Anlernen von Lastprofilen in Abhängigkeit des Nutzungsverhaltens und der Außentemperatur) sollten spezialisierte Tools oder Softwarebibliotheken angebunden werden können. Im EffMon-Projekt wurden Analysen mit Python, R und Matlab realisiert.

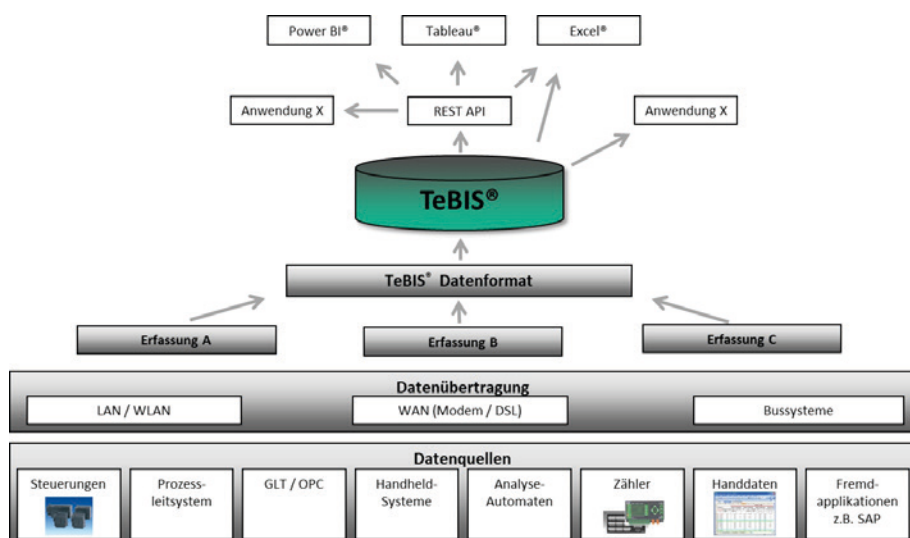


Abbildung 7: Flexible Datenerfassung und breite Datenverfügbarkeit am Beispiel von TeBIS®

Bei der Analyse der Daten für das Reporting und Monitoring kommen bereits im Vorfeld existierende Fragen zum Tragen, zudem ergeben sich weitere Fragestellungen aus dem Monitoring selbst. Die eingesetzten Tools sollten daher schnell und leicht an eine sich ändernde Umwelt angepasst werden können.

2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring- Systems – Schritt für Schritt

Im Folgenden wird beschrieben, wie die einzelnen Bereiche eines Monitoring-Systems aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Es versteht sich von selbst, dass dies nur als grobe Handlungsempfehlung gedacht ist. Viele Empfehlungen haben sich aus dem Forschungsprojekt EffMon herauskristallisiert.

2.1 Erhebung und Planung / Messkonzept

Die Planung eines Messkonzeptes ist ein vielschichtiger Prozess, um unter Berücksichtigung der individuellen Ausgangssituation und der Bedürfnisse ein maßgeschneidertes Konzept zu entwickeln. In den nachfolgenden Unterabschnitten (2.1.1-2.1.4) wird dargestellt, welche Überlegungen zu wichtigen Auswahlkriterien führen und mit welchen Bewertungen und Hilfsmitteln sinnvolle Entscheidungen getroffen und begründet werden können.

2.1.1 Energieleistungskennzahlen

Im ersten Schritt auf dem Weg zu einem Monitoring ist sicherlich die Betrachtung interessant, wie eigene Gesamtkennzahlen (Energieleistungskennzahlen bezogen auf Gesamtverbräuche eines Energieträgers) im Vergleich zu statistischen Kennzahlen (unter Berücksichtigung kategorischer Vergleichsgrößen und Tätigkeitsbereichen der entsprechenden Objekte) stehen. Die einfachste Kennzahlbildung wäre den Strom- oder Wärmebedarf in [kWh] je m² beheizter/genutzter Nettofläche umzulegen, wobei der Wärmebedarf zusätzlich entsprechend Witterungsverhältnissen zu bereinigen wäre. Je nach Branche oder Tätigkeitsbereich gibt es auch individuelle Kennwerte, die bei einer Bäckerei z. B. nach Tonnen Mehl oder bei Krankenhäusern nach Bettenzahl oder tatsächlichen Belegungszahlen gebildet werden.

Energieleistungskennzahlen, auch EnPI (energy performance indicator) genannt, helfen dabei, fortlaufende Betrachtungen der Energieverbräuche im Unternehmen oder der Organisation zu installieren. Optimaler Weise geben die ausgewählten EnPIs bereinigte Werte wieder, sodass im Idealfall die Effekte von energetischen Verbesserungen auch dann sichtbar werden, wenn eine Veränderung der Produktivität (durch Mehr- und Minderungen) eintritt. Je nach Situation kann eine sachgerechte Bereinigung von Energieleistungskennzahlen zu einer sehr komplexen Aufgabe werden. Eine Bereinigung bzgl. klimatischer Einflüsse stellt da u. a. einen einfachen Fall zur Bewertung von Heizenergieverbräuchen dar. Die zu Heizzwecken eingesetzte Energie wird mit einem Faktor oder Divisor verrechnet (welchen man z. B. über den Deutschen Wetterdienst erhält) und führt zu der Heizenergiemenge, die nach Langfristbetrachtung der

Wetterlage (eigentlich) hätte verbraucht werden sollen, wenn sich die Außentemperaturen entsprechend langfristiger Messungen in einer Region verhalten hätten.

Auch ohne Vergleiche von EnPIs vergleichbarer Organisationen, Objekten oder Anlagen zu ziehen, eignet sich ein EnPI, um zu kontrollieren, ob eine stetige Verbesserung erfolgt oder ein effizienter Betrieb sich fortlaufend auf dem gleichen Niveau bewegt. Verschlechtert sich die EnPI, so ist zu analysieren, aus welchem Grund die Abweichung aufgetreten ist (siehe hierzu auch Abschnitt 4.1).

Bei den „einfachen“ Kennwerten, die aus einer Strom-, Brennstoff oder Wärmemenge und einer Fläche gebildet werden, ist die Definition der Fläche ein wichtiger Faktor. So wird zwischen Nutzfläche (NF), Netto-Grundfläche (NGF) und Brutto-Grundfläche (BGF) unterschieden. Insbesondere bei Kennwerten, die sich auf die Nutzfläche beziehen ist zu beachten, dass diese Flächen um Verkehrs- (VF) und Funktionsflächen (FF) reduziert sind (z. B. Flure, Treppenhäuser, Heiz- und Technikräume). Für die Umrechnung von Netto- zu Brutto-Grundflächen gibt es hingegen je Gebäudekategorie entsprechende Umrechnungsfaktoren (z. B. in der Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, vom 7. April 2015 (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie)). Zudem ist bei der eingesetzten Heizenergie ggf. auch zu unterscheiden, ob Vergleiche mit dem Heiz- oder Brennwert

» ENPI-VERGLEICH

Der Vergleich eigener EnPIs (energy performance indicator) mit statistischen EnPIs als Gesamtkennzahl einer Organisation bzw. eines Objekts ist grundsätzlich kritisch zu hinterfragen. Insbesondere die Komplexität der technischen Ausstattung, Baujahre und Ausnutzung der Gebäudeflächen spielen eine große Rolle, um solche Kennwerte als Richtwerte zu verwenden. Besonders beim Stromverbrauch gehen die individuellen Bereiche oft weit auseinander, daher kann die Kenntnis von Hintergründen der Kennzahlenherkunft sehr hilfreich für die Grobbewertung durch EnPIs sein.

des jeweiligen Energieträgers gezogen werden, ob der Energieanteil für Warmwasser separat bewertet wird oder noch weitere Detaillierungen vorgenommen werden sollen. Im Rahmen des praktizierten Energiemanagements (insbesondere ISO 50001) ist es weit verbreitet, Heizenergie mit Wetterdaten zu bereinigen, jedoch nicht weiter zu detaillieren und auch nicht den vom Lieferanten als Brennwert abgerechneten Verbrauch von Erdgas in den Heizwert umzurechnen. Da überwiegend hauseigene Kennwerte unterschiedlicher Zeitperioden miteinander verglichen werden, gehen wir in diesem Leitfaden nicht weiter auf diese Möglichkeiten der Spezifizierung ein. ▶

2.1.2 Energieflüsse bilanzieren

Zur Planung eines Messkonzeptes empfiehlt es sich zunächst einen Gesamtüberblick über wesentlichen Bereiche der energieverbrauchenden Anlagen und Systeme zu verschaffen, was nach ISO 50001 „serial energy use“ (SEU) genannt wird. Was Sie dabei als wesentlich und relevant erachten obliegt zunächst Ihrer individuellen Bewertung (wenn Sie an keine Normvorgaben gebunden sind). In der Praxis werden Anteile von min. 5% am Gesamtverbrauch als wesentlich angesehen, jedoch kann es auch kleinere Bereiche geben, in denen eine Überwachung sinnvoll wäre oder welche die Chance von verhältnismäßig hohen Einsparungen durch ein Monitoring versprechen (z. B. bei Druckluftkompressoren oder Anlagen bei denen nur durch regelmäßige Wartungsarbeiten oder Reinigung ein effizienter Betrieb gewährleistet wird, wie Filter in Lüftungsanlagen oder Verflüssiger von Kältemaschinen oder auch Bereiche, bei denen eine manuelle Abschaltung von Verbrauchern und Verbrauchergruppen überwacht werden sollen.

Um die SEUs herauszufinden ist es sinnvoll eine Erhebung der einzelnen Verbraucher durchzuführen und deren Nennleistungen, regelmäßige Betriebs- und ggf. auch Standby-Dauer im Jahr, sowie die etwaige durchschnittliche Dauerbelastung zu bewerten oder zu schätzen und zu berechnen ($\text{Leistung [kW]} \times \text{durchschnittliche Belastung [\%]} \times \text{Benutzungsdauer [h]} = \text{[kWh]}$). Die Aufstellung nach Querschnittstechnologien und Oberkategorien (z. B. Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Kälteanlagen, Pumpen, Druckluft, Produktion und Sonstigen) sortiert und je Energieträger (Strom, Erdgas, Heizöl, Fernwärme usw.) separat geführt, ergibt eine Energiebilanz vom IST-Zustand und ermöglicht nach detaillierter Bewertung zu erkennen, wo wesentliche Einsparpotenziale verborgen liegen könnten. Die Erhebung ist natürlich mit den tatsächlichen Jahresverbräuchen abzugleichen, wobei auch die Nutzung von eigen erzeugtem Strom dem Energiebezug zuzurechnen ist.

» BILANZIERUNG

Die Bilanzierung der **Verbrauchergruppen** ist elementar, um entsprechend der etwaigen jährlichen Verbräuche (diese können auch realistisch geschätzt werden) bzw. Kosten einen Abgleich mit den etwaigen erzielbaren Einsparpotenzialen vornehmen zu können. Zumindest die Abschätzung, der durch ein Energiemonitoring **möglichen erzielbaren Einsparpotenziale**, verlangt nach Fachwissen aus den unterschiedlichen zu betrachtenden technischen Bereichen.

2.1.2.1 Temporäre Messungen für die Energiebilanz

Temporäre Messungen von Verbrauchern über einen gewissen Zeitraum, während einer repräsentativen Betriebsphase, vorzunehmen, bildet die ideale Bewertungsgrundlage zur Aufstellung einer Energiebilanz. Aufgrund der Vielzahl von verschiedensten Verbrauchern, die heutzutage in einer Organisation zum Einsatz kommen, ist diese Vorgehensweise jedoch mit einem zu hohem Aufwand verbunden.

Es wird daher empfohlen, die temporären Messungen, entsprechend dem individuellen Anspruch auf Genauigkeit, nur für die größeren Verbraucher/Anlagen/Prozesse vorzusehen, für die eine einfachere Bewertung durch Multiplikation von ungefährender Durchschnitts-Leistungsaufnahme und Betriebsstunden pro Jahr zu ungenau wäre. Zur ersten Einschätzung kann aber bei allen Verbrauchern die etwaige durchschnittliche Leistungsaufnahme in Bezug auf die Nennleistung geschätzt werden.

Soweit Messungen von Anlagen oder Teilbereichen vorliegen können diese zum Abgleich herangezogen werden, so dass die Erhebung genauer wird. Auch wenn z. B. Untermessungen von Zonen oder Gebäudeebenen vorliegen, können diese für Zwischenbilanzierungen genutzt werden.

2.1.2.2 Beispiele zur Energieverbrauchs-bewertung

Die Bewertung von Beleuchtungseinrichtungen erfolgt durch die Leistungsangabe des Leuchtmittels in der Regel zu 100% (ggf. mit Zuschlag der Leistungsaufnahme eines Vorschaltgerätes in Höhe zwischen 5–15% der Nennleistung des Leuchtmittels). Bei Leuchtstofflampen, welche durch ein elektronisches Vorschaltgerät betrieben werden, kann auf den Zuschlag für das Vorschaltgerät verzichtet werden. Auch PCs, Server, Bürogeräte, Produktionsanlagen, Verpackungsmaschinen, Elektrowärme, Boiler, Kälteanlagen zur Kühlung und Klimatisierung (usw.), laufen durchschnittlich nur mit einer anteiligen Leistung, wobei es zur Bewertung dieser Anlagen von Vorteil ist auf Erfahrungswerte oder Messungen vergleichbarer Geräte zurückgreifen zu können.

Um nur ein paar Beispiele zur Bewertung zu nennen, so können Verbräuche von Waschmaschine und Trockner entsprechend Herstellerangaben mit kW/Durchlauf x Durchläufe im Jahr und Kühl-/Gefriergeräte entsprechend Herstellerangaben mit kWh/Tag x 365 Tage/Jahr bewertet werden. Als Anhaltspunkt kann eine ungeregelte Heizungspumpe oder ein Ventilator bei guter Auslegung mit 70% durchschnittlicher Belastung (auf der entsprechend betriebenen Leistungsstufe) und eine druckgeregelte Pumpe (je nach Betriebsmodus) mit z. B.

40% im eingestellten Leistungsbereich bewertet werden. Pumpenlaufzeiten ergeben sich z. B. aus der Zahl der Heiztage nach VDI 2067 multipliziert mit 24 Stunden/Tag (= Laufzeit in Stunden pro Jahr) für den entsprechenden Standort (Besonderheiten der Regelungen, z. B. Abschaltbetrieb, sind natürlich zu berücksichtigen). Die Brennerlaufzeit eines Heizkessels mit einstufigem Brenner ergibt sich aus der etwaigen Vollbenutzungszeit, die sich aus Brennstoffverbrauch x Heizwert (also Jahresverbrauch in kWh) geteilt durch die Nennheizleistung ergibt. Für gut dimensionierte Heizungen liegt die Vollbenutzungszeit bei 1.800 bis 2.000 Stunden im Jahr.

Folgende Stromverbraucher lassen sich relativ genau rechnerisch bestimmen:

- Beleuchtungssysteme ohne Helligkeitsregelung nach Benutzungsstunden
- PC-Arbeitsplätze (Annahme der Ø-Leistung bei normaler Verwendung 40–60%)
- Kühlgeräte nach Herstellerangaben (Verbrauch/Tag)
- Wasch-, Spülmaschinen & Trockner nach Herstellerangaben (Verbrauch/Nutzung)
- Standby jeglicher Geräte nach Herstellerangaben (wenn separat bewertet)
- Elektrische Standby Warmwasserbereitung nach Herstellerangaben und Verbrauch nach etwaigem Jahreswarmwasserbedarf [m³] und Ø-Temperaturdifferenz des aufzuheizenden Kaltwassers [K] x der spezifischen Wärmekapazität c [1,163 Wh/kg]. (Beispiel: 100 m³ x 35 °C x 1,163 = 4.070,5 kWh (der Faktor 1.000 kürzt sich durch m³ (zu Liter bzw. kg) und Wh (zu kWh) automatisch heraus)
- Der Verbrauch eines Kaffeeautomaten setzt sich z. B. zusammen aus dem Verbrauch im Standby und entnommener Menge Kaffee, wobei das Wasser um etwa 90 Kelvin (also von ca. 10 °C auf 100 °C) zur Bereitung erhitzt wird

2.1.3 Auswahl gewünschter Messstellen für das Monitoring

Ein weiterer Aspekt, der als Grundlage zur Planung eines Messkonzeptes genutzt werden kann, ist, ob vorhandene Messstellen aus Anlagensteuerungen oder der Gebäudeleittechnik (GLT) genutzt werden können.

Kriterien, um die für Monitoring und Reporting gewünschten Messstellen auszuwählen, sind...

- Bereiche, welche für das Monitoring sinnvoll erscheinen und die ohnehin messtechnisch verfügbar sind;
- Messungen, welche benötigt werden, um Normanforderungen von Zertifizierungssystemen zu erfüllen;
- Verbrauchsbereiche, welche im realistischen Verhältnis bewertet, wirtschaftliche Einsparmöglichkeiten durch das Monitoring versprechen;
- sowie notwendige Messungen, um Nachweispflichten oder Entlastungsmöglichkeiten in Anspruch nehmen zu können.

Die durch die Bilanzierung erkannten SEUs und hinsichtlich anderer Anforderungen ausgewählte Messbereiche können entsprechend dem erwarteten Nutzen in die Kategorien eingeteilt werden, die sinnvoll sind, in das Monitoring mit eingebunden zu werden.

Nach folgenden Kategorien könnte die Auswahl gewünschter Messstellen erfolgen:

- Wesentliche Verbraucher (SEUs) ohnehin messtechnisch verfügbar
- Bereiche zur Abgrenzung der Verwendung (z. B. Strom an Dritte)
- Bereiche zur besonderen Verwendung (Strom- und Energiesteuerentlastungen)
- Nachweis der energiebezogenen Leistung von SEUs und Identifizierung bzw. Validierung relevanter Variablen (ISO 50001:2018, Normpunkt 6.3 c)
- Verbraucher, die wirtschaftliche Einsparmöglichkeiten durch Monitoring versprechen

Der letzte Punkt der vorstehenden Aufstellung verlangt etwas Erfahrung in der Energieberatung, daher wird das Erkennen von potenziellen Einsparpotenzialen durch Monitoring im nächsten Abschnitt etwas genauer behandelt.

2.1.4 Potenzielle Einsparpotenziale durch Monitoring identifizieren

Um neue Messstellen einzurichten sollten sich damit in Verbindung stehenden zusätzlichen Kosten innerhalb eines überschaubaren Zeitraums auch amortisieren können.

Nun gibt es für den Betrieb verschiedenster Anlagen gewisse Richt- oder Erfahrungswerte, mithilfe derer die Höhe von potenziellen Einsparungen einfach zu bewerten sind.

Beispiele:

- Eine Verringerung der Raumtemperatur von 1 °C führt zu Energieeinsparungen von anteilig 7% vom Heizwärmebedarf.
- Eine Anhebung der Verdampfer- oder Kaltwassertemperatur einer Kälteanlage um 1 °C, verringert die Stromaufnahme innerhalb einer gewissen Bandbreite um etwa 3%.
- Eine Verminderung der Verflüssigungstemperatur in einer Kälteanlage um 1 °C verringert die Stromaufnahme, innerhalb einer gewissen Bandbreite, um etwa 3%.
- Optimierungseffekte durch Annahmen bewerten, inwieweit sich Energieeinsparungen durch feinere Einstellung von Sollwerten o. ä. durch Überwachung verbessern lassen könnten.
- Optimierung durch Abschaltung von Anlagen nach unregelmäßigen Benutzungsplänen (für Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Beheizung, Standby-Abschaltung von Maschinen usw.). ▶

2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – Schritt für Schritt

- Hinsichtlich Wartungen oder Reinigungsbedarf bei Anlagen kann auch der Aspekt der Verlängerung der Lebensdauer einer Anlage ein Kriterium sein (z. B. das Erkennen eines verschmutzten Verflüssigers in einer Kälteanlage führt nicht nur zu einem exponentiellen Anstieg des Stromverbrauchs, sondern auch zu höheren Drücken in der Anlage, die negative Auswirkungen auf die Lebensdauer der Kältemaschine haben können).
- Über potenziell mögliche Leckagegrößen eines Druckluftnetzes können Bewertungen vorgenommen werden, in welchem Umfang Einsparungen realistisch sind, wenn durch das Monitoring eine regelmäßige Optimierung der Leckagerate um z. B. 5–10% erzielt werden kann.

» EINSARPOTENZIALE

Die durch ein Energiemonitoring möglichen zu erzielenden Einsparpotenziale sind anhand der zu überwachenden Daten (Welche Parameter werden erfasst? Was kann ich daraus schlussfolgern?), hinsichtlich technischer Aspekte (z. B. Effizienzstand der Anlage) und unter Berücksichtigung der individuellen Betriebsweise zu bewerten.

Die **Einbeziehung moderner Regelparameter und Algorithmen** zur optimierten Fahrweise von Heizungs- und Kälteanlagen birgt durch angepasste Kaltwasserkreisregelungen und Einbeziehung von Wettervorhersagen weitere wesentliche Energieeinsparpotenziale. Hierbei wäre mit Ausgangssignalen auf die Steuerung entsprechend einzuwirken. Gleiches gilt für Lastmanagement, was bei einigen Energiemanagementlösungen bereits als vorbereitetes Tool vorhanden ist.

2.2 Anbindung von Zählern und Sensoren

Innerhalb des Messkonzeptes werden bereits vorhandene Sensoren und Kommunikationsnetzwerke aufgeführt und eine passende Erweiterung, mit dem Ziel eines ganzheitlichen Monitorings, aufgezeigt.

In der Praxis trifft man dabei häufig auf gewachsene Strukturen, unterschiedliche Sensortypen und gewachsene Kommunikationsnetzwerke.

Mithilfe multifunktionaler Datenlogger, welche über die gängigen Schnittstellen und Protokolle verfügen, lassen sich bereits vorhandene Infrastrukturen nutzen und neue Sensoren problemlos integrieren. Fehlt eine Messstelle oder ein zusätzlicher Datenpunkt, kann dieser ohne größeren Aufwand nachgerüstet werden.

Folgende Herausforderungen können dabei auftreten:

1. Bündelung der verschiedenen Sensoren/Technologien

Aufgrund gewachsenen Arealen, verschiedenen Bauabschnitten, unterschiedlichen Planern und ausführenden Firmen, trifft man häufig auf eine Vielzahl unterschiedlicher Sensoren, Kommunikationspfade und Technologien diverser Hersteller. Dies führt zum Einsatz paralleler Kommunikationsnetzwerke mit unterschiedlichen, z.T. proprietären, Protokollen.

Oberste Priorität hat in dieser Situation die Bündelung von Sensoren, um die Kommunikationsinfrastruktur zu vereinheitlichen, wie es z.B. mit dem Einsatz von dezentralen Datenloggern gelingen kann.

2. Schaffung Infrastruktur (Kommunikationsnetze/IT-Netze)

Eine solide Kommunikationsinfrastruktur bildet das Rückgrat einer funktionierenden Datenerfassung und sollte in der Planung nicht außer Acht gelassen werden.

Um hohe Investitionskosten zu vermeiden sollte auf vorhandene Infrastruktur gesetzt werden (z.B. vorhandene, aber nicht mehr verwendete Leitungen, die sich noch mal reaktivieren lassen).

Die frühe Einbindung von entsprechenden Fachabteilungen (IT) zu Beginn der Projektes empfiehlt sich, denn Datenerfassung ist ein IT-Projekt!

3. Anschluss verschiedener Technologien (gewachsenes Netz/Sensoren)

Verschiedene Sensortypen unterschiedlicher Hersteller lassen sich am einfachsten via multifunktionaler Datenlogger bündeln und in ein übergeordnetes, IP-basiertes Netzwerk einbinden. Es gilt darauf zu achten, dass die eingesetzten Datenlogger die vorhandenen Schnittstellen und Protokolle der Sensoren unterstützen oder dass sie um externe Komponenten, z.B. Funkmodule, erweitert werden können.

Gängige Schnittstellen bzw. Kommunikationsprotokolle

Eine Kurzbeschreibung folgender gängiger Schnittstellen und Protokolle ist in Abschnitt 1.5 dieses Leitfadens zu finden.

- So-Impulsausgang
- M-Bus
- Modbus RTU
- BACnet
- TCP (Modbus TCP / BACnet)
- Profinet
- enOcean

Voraussetzungen für eine aufwandsarme Sensoranbindung

Für eine erfolgreiche Anbindung und Konfiguration an den Datenlogger müssen sowohl der/die Logger als

INHALT EINER ZÄHLER-/SENSORLISTE

Identifikation der Messstelle	<ul style="list-style-type: none"> – Lfd. / interne Nummer – Einbauort (Sicherungsnummer) – Identifikationsnummer (Seriennr.)
Spezifikation der Messstelle	<ul style="list-style-type: none"> – Erfasstes Medium – Messintervall – Art der Messung (ggf. Wandlerverhältnisse) – Sensordaten: Fabrikat, Typ, Zusatzeinrichtungen, Genauigkeit, Abmessungen, ...
Kommunikation der Messstelle	<ul style="list-style-type: none"> – Art des Bussystems – Kommunikationseinstellungen (Adressvergabe, ...) – Datenlogger / Summenstation – Netzwerk vorhanden
Aktuelle Situation der Messstelle	<ul style="list-style-type: none"> – Sensor vorhanden / Neuinstallation / Austausch – Priorität
Optionale Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> – Eichung erforderlich / Eichdatum – Ort: Unterbereich, Sicherung, Abgang – Installation: Kabelquerschnitte, Gemessene Phasen, gemessene Größen, .

auch die entsprechenden Sensoren eingebaut, an die Spannungsversorgung angeschlossen und in die jeweiligen Kommunikationsnetzwerke eingebunden sein. Hierzu sind Kenntnisse der Schnittstellenbeschreibungen jedes Sensors sowie der Parametrierungssoftware für die Datenlogger erforderlich.

Je nach Kommunikationsprotokoll ist die Vergabe von eindeutigen Adressen notwendig, um die entsprechenden Sensoren identifizieren zu können. Eine Dokumentation dieser Adressenvergabe ist zwingend notwendig und ist bereits im Messkonzept festgelegt.

Mithilfe einer Zählerliste und den Kommunikationseigenschaften lassen sich Energiezähler und weitere Sensoren über die Parameterierungssoftware des Datenloggers via grafischer Benutzeroberfläche und Blockschaltbildern konfigurieren. Eine Zähler- oder Messstellenliste sollte bereits in einer einfachen Struktur Basis eines Messkonzeptes sein und im Laufe des Projektes sukzessive erweitert werden. Details zur Parametrierung können den entsprechenden Bedienungsanleitungen entnommen werden.

In der obigen Liste sind mögliche Inhalte einer Messstellenliste in Anlehnung an die ISO 50015 zu finden. Je nach Art der Sensoren und der Kommunikationskanäle bieten sich noch weitere Kategorien für eine solche Liste an. Eine spezifische Erweiterung und eine kontinuierliche Prüfung zur Anpassung empfehlen sich daher.

Ist bereits eine Energiemanagement-Software im Einsatz, bieten einige der am Markt verfügbaren Systeme

bereits die Erstellung und Pflege von Messstellenlisten an, zum Teil eingebunden in ein Wartungsmanagement.

2.3 Integration der Messdaten in ein Data Warehouse

Die Grundlage für eine effektive Nutzung von Daten ist der Aufbau einer soliden Dateninfrastruktur mit einheitlicher oder auch harmonisierter Erfassung der Daten. Wie in Abschnitt 1.6 beschrieben, werden im Data Warehouse alle verfügbaren Daten zusammengeführt und für Analysen aufbereitet. Obwohl Daten in einem Data Warehouse meist unstrukturiert sind, helfen Möglichkeiten der Datenstrukturierung und Gruppierung in hohem Maße bei der Identifikation gesuchter Informationen. Innerhalb des Data Warehouse sollten deshalb die Messdaten in einer vereinheitlichten Zeitreihendatenbank gespeichert werden, um schnelle Zugriffe auch bei hoher Datenmenge zu gewährleisten.

Zentrale Bedeutung hat hier die **Vereinheitlichung der Daten aus sehr unterschiedlichen digitalen Quellen**. Idealerweise liegen digitale Messdaten bereits gebündelt und vereinheitlicht gemeinsam mit den Informationen zu den Zeitpunkten der Datenmessung in engmaschigen Zeitrastern vor. Häufig ist das jedoch nicht der Fall oder trifft nur für einen kleinen Anteil der Daten zu. Innerhalb des TeBIS®-Systems werden deshalb abgefragte Daten mit Zeitstempeln versehen und nach festem Zeitraster erfasst, um einen harmonisierte paral- ▶

2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – Schritt für Schritt

lele Datenerfassung für alle angebotenen Messstellen bereit zu stellen.

Neben einem einheitlichen Zeitraster für alle Messung ist die **Dokumentation der Messstellen**, also Verfügbarkeit der wichtigsten Informationen rund um die Messstellen wie Topologie/Ort, Messgröße, Medium, Sensor-/Zählerart etc. (siehe auch Abschnitt 2.2) eine weitere Herausforderung. Diese Informationen sind von zentraler Bedeutung für die Interpretation bei Datenbetrachtung und weiterführenden Analysen. Im Data Warehouse werden die existierenden Informationen zu den Messstellen über Filter automatisiert ausgelesen oder eingepflegt (digital und manuell). Hierbei werden nicht nur physikalische Daten wie bspw. Temperatur, Druck oder Durchfluss, sondern auch relevante logische Informationen, wie z.B. Produktchargennummer, Raumnummer oder Abteilung falls verfügbar erfasst.

Basierend auf Zeitraster und Dokumentation werden so die Daten strukturiert gespeichert.

Durch die Anbindung möglichst vieler Quellen an das Data Warehouse werden heterogene Daten vereinheitlicht und können als Folge regelbasiert weiterverarbeitet oder an weitere Systeme weitergegeben werden. Dies ist in Abbildung 8 anhand des Data Warehouse TeBIS[®] schematisch dargestellt. Statt isolierter Insellösungen entsteht ein homogener Datenraum, der weitläufige und flexible Analysen zulässt, statt ausschließlich Einzelfragestellungen zu begegnen.

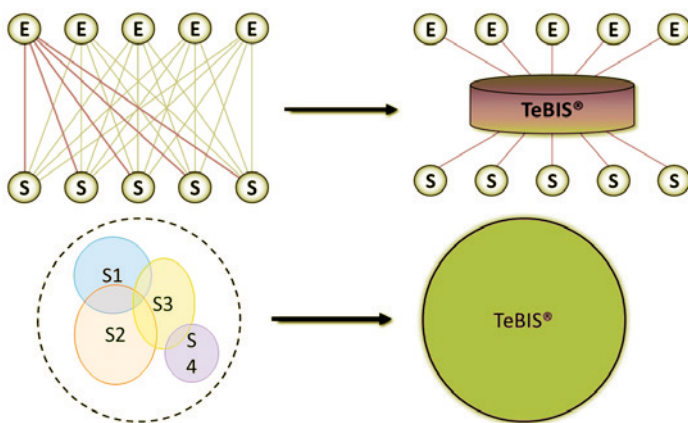


Abbildung 8: Zentrale Anbindung mehrerer Datenquellen an ein Data Warehouse (hier TeBIS[®]) reduziert die Komplexität und vereinheitlicht den Datenraum

2.3.1 Schritte zur Datennutzung im Data Warehouse

Der Datennutzung im Data Warehouse gehen mehrere Arbeitsschritte voraus, die im Folgenden umrissen werden:

Erfassung der digitalen Ausgangslage

Um das Data Warehouse mit maximierter Wertschöpfung zu nutzen, lohnt es sich, **so viele Daten wie möglich** dort zu bündeln, unabhängig ob sie für das angenommene Messkonzept nötig sind, da sie im weiteren Betrieb für das Monitoring relevant werden können.

- Welche im Konzept des Energiemonitorings vorgesehenen Messstellen sind bereits digital aufgezeichnet verfügbar (je nach Ausgangslage müssen zusätzliche Messstellen installiert werden oder angebonden werden, siehe auch Abschnitt 2.2)?
- Für Werte, die notwendig, aber nicht direkt als Messung verfügbar sind, sollte geprüft werden, ob sie aus anderen Messungen ableitbar / berechenbar sind.
- Unnötige Energieverbräuche können oftmals nur identifiziert werden, wenn sie in Bezug zu anderen, parallel erfassten Daten zusammenhängend betrachtet werden (bspw. Auslastungsgrad einer Maschine parallel zum Energieverbrauch). Zusätzlich erhöht sie durch umfassend breite Datenerfassung auch die Aussagekraft und Erfolgsaussichten von datenbasierten Ursachenanalysen.

Identifikation und Behebung von Lücken in den Messdaten

Der Aufbau eines Data Warehouse ist ein fortlaufender Prozess, da mit der Entwicklung einer Unternehmung auch die Anforderung an die Datenerfassung wächst. Auch wird während der Inbetriebnahme die Messlandschaft nicht vollständig sein. Folgende Fragen müssen daher immer wieder an das System gestellt werden können:

- Müssen neue Messstellen installiert werden oder können scheinbar fehlende Messwerte aus anderen Messungen abgeleitet werden?
- Ist die Dokumentation der Messstellen vollständig verfügbar und korrekt (z.B. als Bestandteil einer Messstellenliste)?

Anbindung der Datenquellen an das Data Warehouse

In einem Unternehmen werden in der Regel schon vor dem Aufbau eines Data Warehouse Daten durch unterschiedliche Systeme in verschiedenen Formen aufgenommen. Um diese heterogenen Daten in das Data Warehouse aufzunehmen, müssen die entsprechenden Voraussetzungen geschaffen werden. Dazu sollten die folgenden Fragen geklärt werden:

- Verfügen alle Messstellen über passende Schnittstellen?
- Existiert die notwendige IT-Infrastruktur an der Messstelle?
- Liefern andere IT-Systeme oder Programme Daten, die übernommen werden können?

2.4 Monitoring- und Reporting-Tools

Anforderungen an die Werkzeuge für das Monitoring und Reporting sind ähnlich. Beim Monitoring liegt ein Schwerpunkt auf der Überwachung von Zuständen über die Zeit, während Reporting stärker aggregierte Zeiträume betrachtet (häufig eingebunden in das Controlling). Vereinfacht betrachtet Monitoring im Schwerpunkt den Ist-Zustand und das Reporting die Aggregation über weitläufigere Zeiträume. Die Anforderungen an die Werkzeuge sind häufig ähnlich und unterscheiden sich eher im Detailgrad der Datenanalyse und Datenbetrachtung, der im Monitoring allgemein höher ist als im Reporting. Es ist daher wichtig diesen Detailgrad zu bedenken, um effizientes Monitoring zu ermöglichen. Ein weiterer Aspekt beim Aufbau und Auswahl der Werkzeuge ist der notwendige Detailgrad für Ursachenforschung. Solche Betrachtungen sind meist iterativ und explorativ. Aus Reporting und Monitoring leiten sich viele Fragestellungen ab, denen dann im Detail nachgegangen werden soll. Es ist dann äußerst hilfreich und zeiteffizient, dies gleich im System selbst datengetrieben umsetzen zu können (bspw. der Verbrauch der Heizung des Gebäudes im Reporting ist hoch, im System selbst kann man bei Datenverfügbarkeit direkt überheizte Räume analytisch erfassen und Abschätzungen zu effizienten Maßnahmen anstellen).

Die Bereiche Datenanalyse und -visualisierung greifen in beiden Herangehensweisen stark ineinander und sind die Grundlage für das Reporting und die Überwachung:

- Visualisierungen dienen zur Darstellung von Analyseergebnissen
- Visualisierungen dienen oftmals selbst als Analyse-Tool (z.B. optisch klar ersichtliche und für Filterung markierbare Ausreißer oder Abweichler von Sollwerten).

Einige Beispielaufgaben von Reports bzw. investigativer Analyse:

Suche nach Hauptverbrauchern

In welchen Bereichen (Gebäuden, Zeiten, Aggregate, etc.) tritt der größte Verbrauch auf? Gibt es Verbräuche, die unplausibel hoch sind? Ist eine schleichende (oder plötzliche) Zunahme des Verbrauches festzustellen?

Suche nach kumulativen Effekten

Niedrige Einzelverbräuche können durch große Stückzahl deutliches Einsparpotenzial ergeben („Kleinvieh macht auch Mist“). Beispiele sind zu hohe Temperaturen in vielen Räumen oder der Austausch veralteter Leuchtröhren durch LED-Technik.

Suche nach ungünstig parametrisierten Aggregaten oder Regelungen

Oftmals sind Aggregate (z.B. Heizungen, Kühlungen) verschwiegend parametrisiert (ungünstige Zeitregelungen, oszillierendes Verhalten, falsche Sollwertgrenzen).

Suche nach defekten Sensoren

Liefere Sensoren fehlerhafte oder gar keine Werte, verfälscht das die Datenlage, auf der Entscheidungen für den optimalen Betrieb von Aggregaten oder Regelungen basieren.

2.4.1 Datenanalyse: Aufgaben der Werkzeuge

Die Aufgabe von Datenanalyse-Tools besteht im ersten Schritt darin, gespeicherte Rohdaten aufzubereiten, um weiterführende Analysen durchführen zu können. Hier exemplarische einige Funktionalitäten:

Datenaggregation: Messdaten sollten über unterschiedliche Messintervalle harmonisiert werden. So sollten Daten, die sekundlich aufgezeichnet werden, auch mit Daten, die in einem Viertelstundentakt aufgezeichnet werden, vergleichbar sein. Für die Umrechnung in ein größeres Zeitintervall sollten unterschiedliche Aggregationsvorschriften anwendbar sein (Summe, Mittelwert, Min, Max, ...).

Validierung von Rohdaten: Identifikation von und Umgang mit „leeren“ oder falschen Messwerten, z.B. Anpassung von Mittelwerten durch Extrapolation oder Zensur von betroffenen Datenzeiträumen in weiterführenden Analysen.

Berechnung virtueller Messstellen im Data-Warehouse, manchmal auch „Softsensoren“ genannt:

Virtuelle berechnete Messstellen werden, vergleichbar zu realen Messstellen, kontinuierlich erfasst und gespeichert. Ein einfaches Beispiel ist die Berechnung der Wärmeleistung Q eines Heizkreises aus Vorlauftemperatur T_V , Rücklauftemperatur T_R und Volumenstrom V .

Komplexe Selektion der Messdaten nach bestimmten Kriterien:

Beispiel 1: Finde Messdaten in einem vorgegebenen Zeitraum, bei denen gleichzeitig Heizung und Kühlung aktiviert waren.

Beispiel 2: Finde Messdaten, bei denen die Temperaturspreizung (Differenz von Vor- und Rücklauftemperatur) kleiner als ein bestimmter Wert ist (z.B. 5 K) und bei denen der Volumenstrom größer als ein bestimmter Wert ist (z.B. 100 Liter/h).

Anlernen von Modellen aus Messdaten: Aus den historischen Messdaten können Modelle angelernt werden, die das Verhalten von Aggregaten oder der gesamten Liegenschaft beschreiben. Abbildung 9 zeigt den Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur (es werden jeweils Tagesmittelwerte betrachtet). Die durchgezogene Gerade stellt ein einfaches Modell dar. Damit können aktuelle Verbräuche plausibilisiert und bewertet werden („Ampel-Bewertung“, siehe Abschnitt 3.8). ▶

2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – Schritt für Schritt

Mit Hilfe maschineller Lernverfahren können auch sehr viel komplexere Modelle angelernt werden, beispielsweise typische Verbräuche in Abhängigkeit des Wochentags, der Uhrzeit und der Außentemperatur (Beispiele dazu finden sich in Abschnitt 3.8).

Datenanalyse-Tools (und auch Visualisierungs-Tools) sind in diversen Ausprägungen im Data Warehouse selbst vorhanden. Die im EffMon-Projekt eingesetzte TeBIS® Plattform kann als solche eingesetzt werden, bietet Analysen, Visualisierungen und Reports. Es kann zusätzlich um einige Funktionalitäten im System selbst individuell erweitert werden.

Für komplexere Datenanalysen bietet es sich an, separate, nachgeschaltete Datenanalyse-Plattformen zu verwenden. Ergänzend zu den Werkzeugen im TeBIS®

Bei solchen Verfahren ist es hilfreich, Rückverfolgbarkeit zum Data Warehouse zu bedenken (bspw. Reports listen Messtellen- oder Messgruppen-Identifikatoren, Raumnummern, ...). So können detaillierte Fragestellungen, die sich aus den nachgeschalteten Lösungen ergeben, im Warehouse selbst oder anderen Anwendungen nachgegangen werden.

2.4.2 Anbindung von Datenanalyse-Tools an das Data Warehouse

Für die Anbindung von nachgeschalteten Systemen stehen unterschiedliche Schnittstellen und Möglichkeiten zur Verfügung. Also können den Ansprüchen entsprechend Anwendungen flexibel und passend an das Data Warehouse angebunden werden. Diese anbieterübergreifende Flexibilität ist entscheidend für einen breitgefächerten Einsatz und die Wertschöpfung.

Im EffMon-Projekt wurde ein Online-Zugriff auf die Daten des TeBIS® Systems mittels REST-API realisiert. Für „Offline-Analysen“ (beispielsweise Daten der letzten 12 Monate) können Daten aus dem Data Warehouse manuell exportiert werden (als CSV-Datei, Excel-Datei oder Datenbank-Auszug) und in die Datenanalyse-Plattform importiert werden. Eine weitere Option sind zyklisch laufende programmierte Exporte aus dem TeBIS® Data Warehouse. So können sowohl datenintensive Anwendungen mit sehr großen benötigten Datenmengen über zyklische Exporte (bspw. Machine-Learning-Anwendungen) als auch zeitkritische Anwendungen (kontinuierliche Echtzeitüberwachung über REST-API Schnittstelle) oder auch spontane Datenzusammenstellung händisch abgefragt werden (Excel® Datei, CSV Datei, ...). Dies bietet eine flexible Verwertung der Daten.

Angelernte Modelle

Tages-Wärmebedarf in Abhängigkeit der Außentemperatur

→ damit Verbrauchs-Prädiktion sowie Außentemperatur-Bereinigung historischer Verbräuche

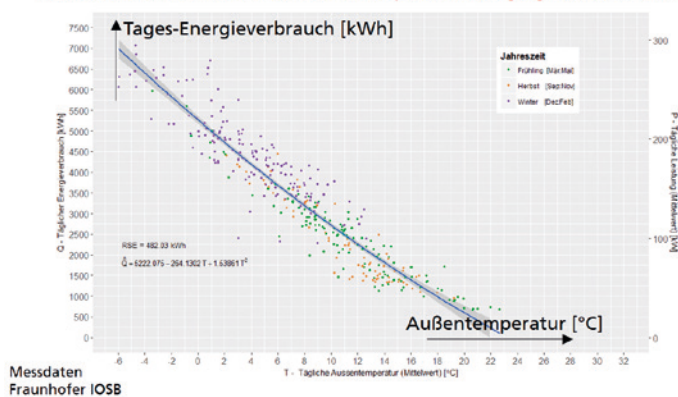


Abbildung 9: Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur (jeweils Tagesmittelwerte). Die durchgezogene Gerade stellt ein einfaches Modell dar (Messwerte einer Büro-Liegenschaft aus 2017).

System selbst besteht die Möglichkeit, weitere Systeme auf unterschiedliche Art und Weise an das TeBIS® System anzukoppeln und Analysen unterschiedlichster Art durchzuführen. Die Anbindung an das Data Warehouse hängt von den Schnittstellen ab, die vom Data Warehouse zur Verfügung gestellt werden. Hier unterscheidet man zwischen aktivem Direktzugriff, zyklischen und manuell ausgelösten Exporten. Manche Werkzeuge werden vornehmlich für Analysen genutzt, andere integrieren Visualisierung mit Analysen oder werden hauptsächlich zur Visualisierung eingesetzt.

Solche Werkzeuge werden häufig auf existierenden Plattformen auf die jeweiligen Ansprüche angepasst. Kostenfreie Plattformen sind Python-Toolboxen oder das Softwarepaket R. Kostenpflichtige Plattformen sind beispielsweise Matlab®, RapidMiner®, Tableau®, Spotfire® oder MS Power BI®.

2.4.3 Funktionen der Tools: Visualisierungen

Darstellung von Daten in Visualisierungen dienen der schnellen Erfassung.

Diverse Visualisierungs-Tools sind bereits im Data Warehouse vorhanden. Insbesondere wenn eine Visualisierung in Echtzeit erfolgen soll, ist dies meist mit dem geringsten Aufwand möglich. Die Daten können als Messstellengruppen mit zu-/abschaltbaren Messstellen oder als Einzelbetrachtung einer Messstelle dargestellt werden. Weitere Beispiele sind die Darstellung chronologischer Abläufe (Echtzeit oder historische Zeiträume), Punktdiagramme für die Häufigkeit von Einzelwerten oder Häufigkeitsverteilungen von Messdaten über definierte Zeiträume.

2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – Schritt für Schritt

Als Beispiele solcher Darstellungen werden in Abbildung 10 und Abbildung 11 beispielhafte Visualisierungen der im EffMon-Projekt eingesetzten Plattform TeBIS® gezeigt:

- Gruppendarstellung von Zeitreihen der Vor- und Rücklauftemperaturen eines Kühlturms
- Temperatur-Dauerlinie einer Raumtemperatur mit Verteilung der Stundenwerte über den Zeitraum eines Jahres

Weitere Visualisierungen (im folgenden auch Plots genannt) können über externe Plattformen realisiert werden. Im Projekt EffMon wurden Skripte implementiert, die Plots zyklisch (täglich, wöchentlich, monatlich) generieren und lokal oder in einer Cloud abspeichern. Ein Beispiel-Plot eines Kühlturms (eine Betriebswoche in 2019), der unter Matlab erstellt wurde, wird in Abbildung 12 gezeigt.

Auswertung Kühlturm

Messung der Kühl- und Kaltwasserkreisläufe, Kühlwasser wird zu warm trotz gleichbleibender Außentemperaturen

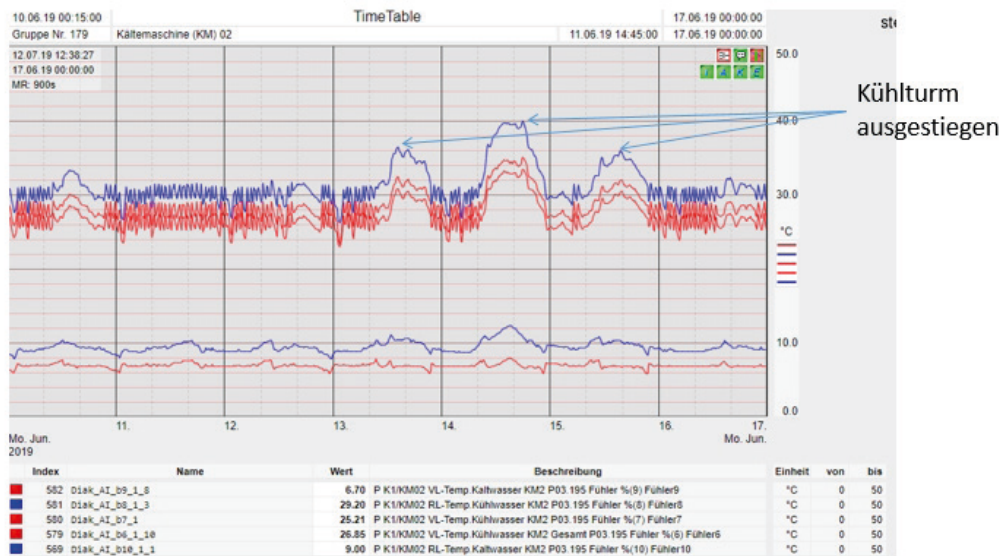
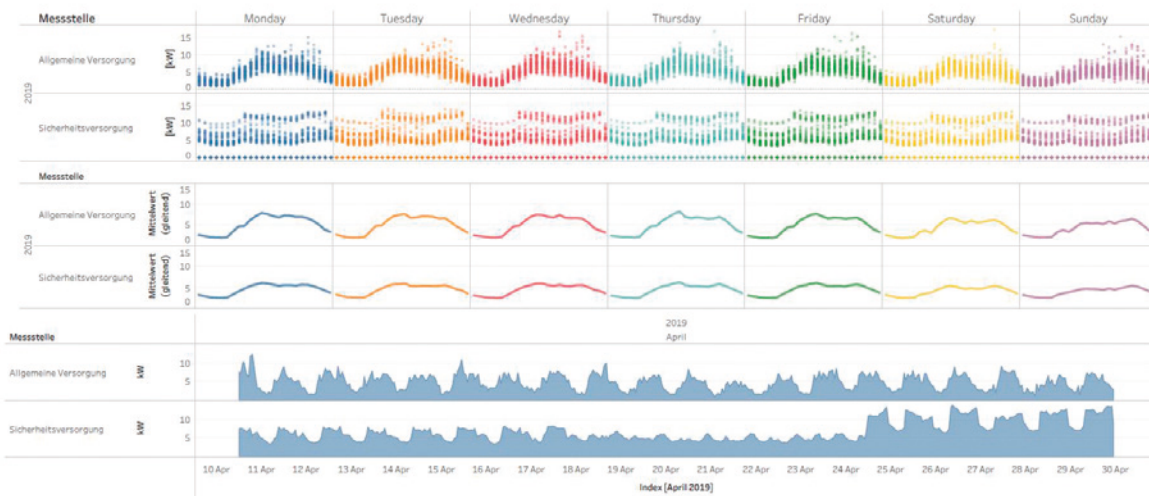


Abbildung 10: Beispielhafte Visualisierung von Zeitreihen eines Kühlturms mittels TeBIS®



Psychiatrisches Zentrum Nordbaden

Gebäude 08: Typische tägliche Strom-Lastprofile



Index 10/04/2019 12:00:00 to 29/04/2019 23:59:59

Abbildung 11: Temperatur-Dauerlinie Raumtemperatur Eingangshalle über ein Kalenderjahr

2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – Schritt für Schritt

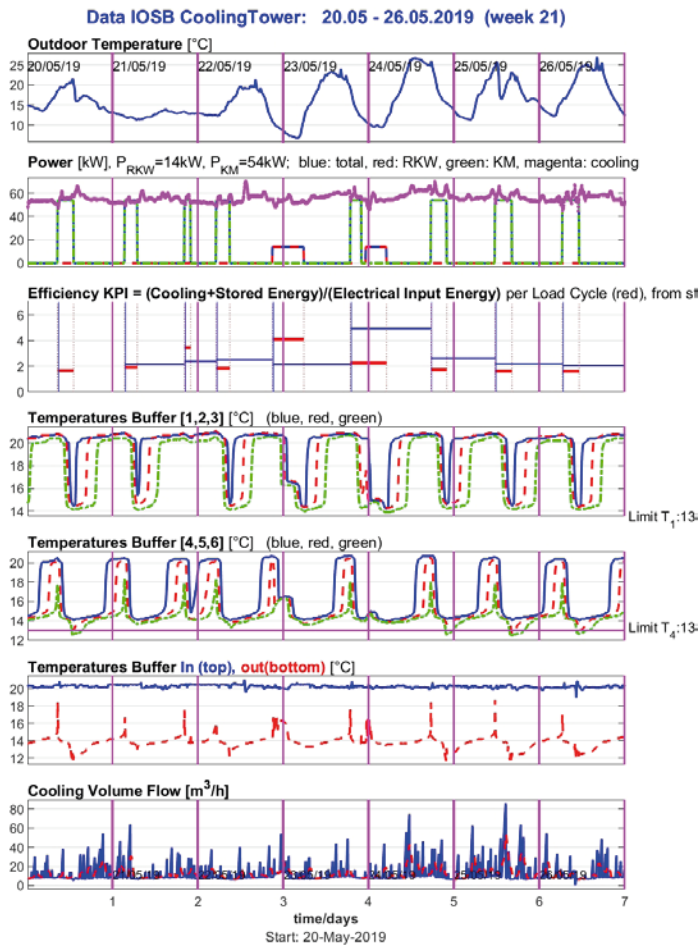


Abbildung 12: Komplexer Auswertungs-Plot eines Kühlturms (eine Woche), erstellt mit Matlab-Script

Eine den Bedürfnissen des Anwenders entsprechend zusammengestellte Sammlung von Plots, Datentabellen und Kennwerten ergibt einen **Report**. Reports liefern Zustandsberichte mit spezifischen Fragestellungen und sind daher meist detaillierter als die Übersichts-Dashboards oder liefern Einzelkomponenten für Dashboards. **Dashboards** kommen besonders für die Übersichts-darstellung zum Einsatz. Diese dienen vorwiegend dem Zweck der Zustandsbetrachtung einer Auswahl von Messstellen und KPIs und dienen einer schnellen Einschätzung der Lage.

Dashboards umfassen meist nur eine Seite, beziehungsweise passen auf einen Bildschirm. Sie sind optisch ähnlich einem Cockpit / Armaturenbrett aufgebaut, können aber auch jede andere Form annehmen. Dashboards sind häufig eng an ihre Messkonzepte gebunden. Sie können vom Design her nur schwer übergreifend und allgemein gültig in einer Standardsoftware umgesetzt werden und werden daher individuell angepasst.

Die Implementierung von Dashboards und Reports erfordern im Regelfall eine gewisse Einarbeitung und individuelle Anpassung an die Liegenschaft und die individuellen Anforderungen.

Dashboards basieren entweder auf grundlegenden Programmierungen (z.B. Python Scripts) oder nutzen modulare Software-Lösungen (z.B. Power BI® oder Tableau®). Eine Integration von mehreren Lösungen ist ebenfalls eine Option (bspw. Python Scripts in Power BI®).

Besonders im Bereich von Onlinedaten bieten sich mehrere Werkzeuge an, die sich auf die Erstellung von Dashboards und Reports spezialisiert haben. Dies ist besonders zur anwenderfreundlichen „Echtzeitüberwachung“ interessant. Für die Anbindung solcher „externer“ (d. h. nicht direkt im Data Warehouse integrierter) Visualisierungs-Tools gilt ähnliches wie bei der Anbindung der externen Datenanalyse-Tools: Eine Anbindung kann beispielsweise über eine REST-Schnittstelle erfolgen. Für das zyklische Generieren von Analyse-Plots ist auch ein Export der Daten als CSV-/Excel-Datei oder Datenbank-Auszug denkbar.

Im Projekt EffMon wurden Tableau® und Power BI® als Werkzeuge zur Generierung von Dashboards und Reports genutzt. Beispiele sind in Abbildung 13 und Abbildung 14 gezeigt.

Anmerkungen zu kommerziell verfügbaren Reporting-Tools

Je nach Anwendung der Software (Monitoring, Controlling, Management) sind die Funktionalitäten mehr oder weniger umfassend. Folgende bestehende Gesetzesvorgaben sind in diesem Kontext relevant:

- Nachweise nach DIN16247 / ISO50001
- Abrechnungen dritter Parteien

» TIPP

Achten Sie auf Transparenz und Exportfähigkeit, damit Sie flexibel bleiben bei der Nutzung von Daten und der Erfüllung gesetzlicher Vorgaben.

Einige Anbieter von Reporting-Tools behaupten, alle Bestandteile für Abrechnungen und Nachweise voll zur Verfügung zu stellen. Meist ist das unter realen Bedingungen nicht gänzlich zutreffend. Eine Teilautomatisierung oder Vereinfachung der Datensammlung und Dokumentation hilft allerdings schon deutlich weiter und spart Zeit und Geld.

Es gibt mehrere spezialisierte Anbieter am Markt, die Energiemanagement-Softwarelösungen anbieten. Bitte achten Sie hier auf den Unterschied von Energiemanagement und Energiemonitoring:

2 Aufbau und Betrieb eines Monitoring-Systems – Schritt für Schritt

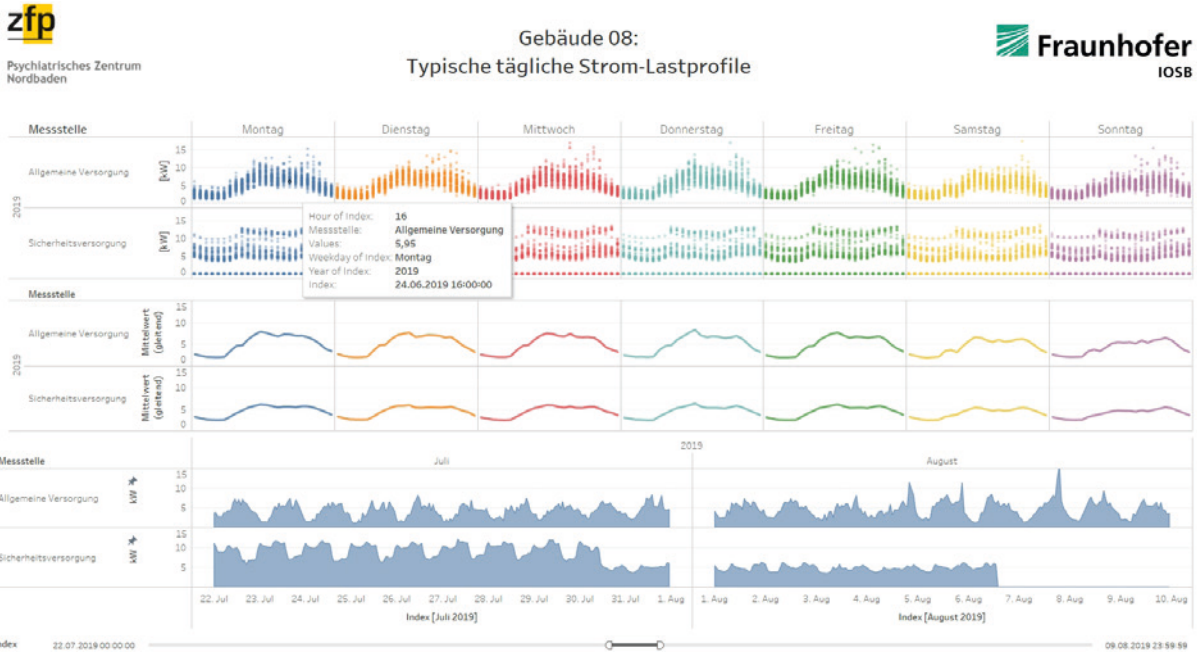


Abbildung 13: Dashboard, erstellt mit Software Tableau®

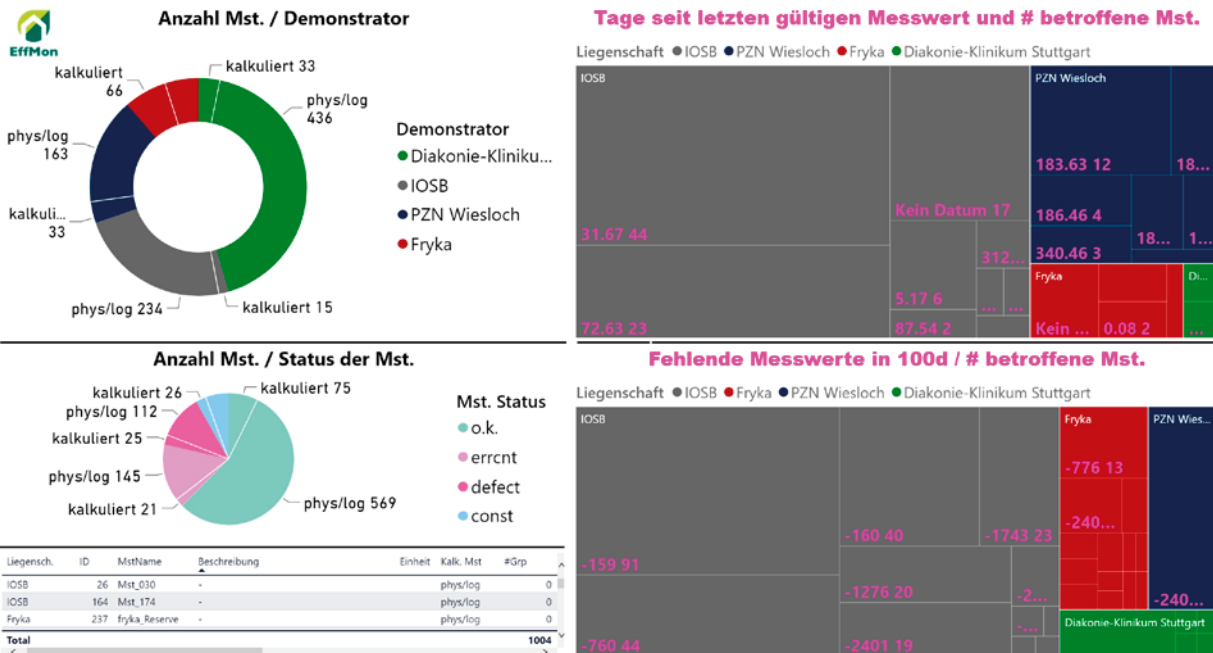


Abbildung 14: Dashboard, erstellt mit Software Power-BI®

Während mittels Energiemonitoring die Detail-Analyse von aufgedeckten Schwachpunkten möglich sein soll, wird mit Energiemanagement-Software oftmals nur eine „grobkörnige“, zusammenfassende Analyse bereitgestellt. Es ist ärgerlich, wenn Sie zwar gute Jahresübersichten und -berichte generieren können, aber für ein Monitoring benötigte Funktionalitäten gar nicht vorhan-

den sind. Hier gilt der Grundsatz von „je breiter, je besser“, also die Verfügbarkeit eines möglichst hohen Detailgrades fürs Monitoring.

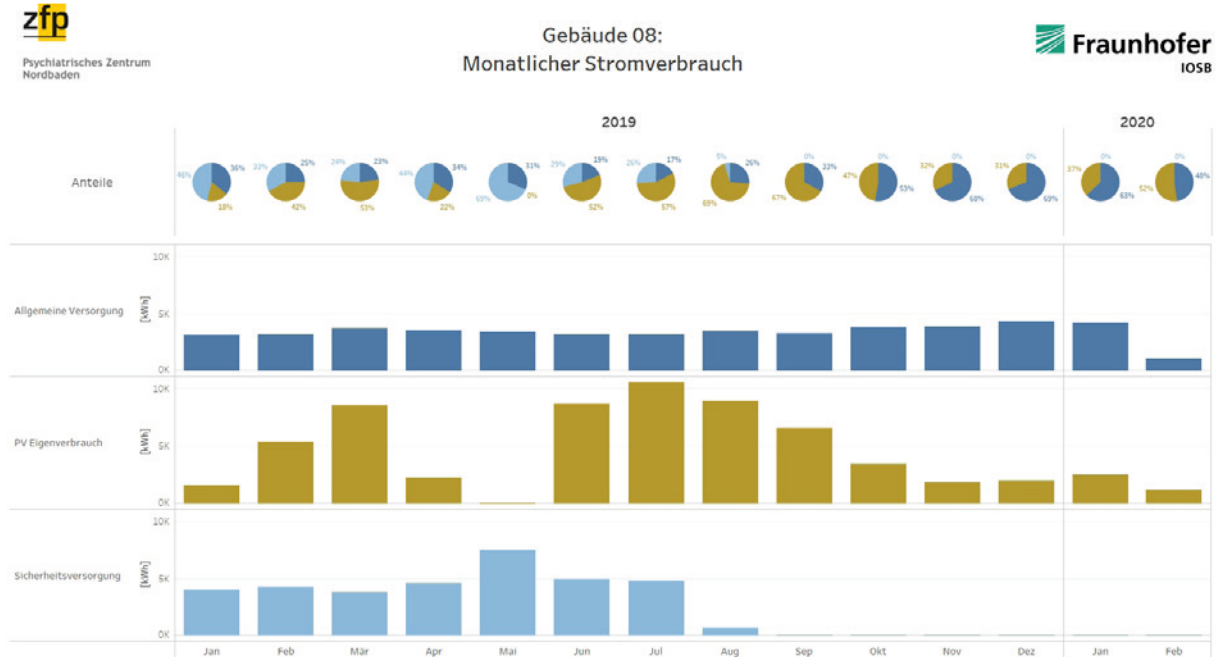


Abbildung 15: Dashboard mit monatlichen Kennzahlen zum Stromverbrauch eines Klinik-Gebäudes (realisiert mit Tableau)

2.5 Laufender Betrieb: Regelmäßiger Check und Berichtswesen

Der Hauptgrund, ein Energiemonitoring in einer Organisation einzuführen, ist, ein regelmäßiges Energiecontrolling einzurichten. Das Energiecontrolling soll dazu führen, dass keine Energie unnötig verbraucht wird, bzw. die betrachteten Bereiche oder Verbraucher effizient arbeiten, sich im Bereich des jeweils erwarteten Verbrauchs bewegen oder sich in einem gewissen Verhältnis zu einer anderen Messgröße verhalten. Ist das Monitoringsystem soweit gereift, dass Kennwerte eingerichtet sind und dass die gewünschten Hauptbereiche und Verbraucher die gewünschten Ausgaben und Bewertungen für eine Berichterstellung liefern, so können, je nach Messungen und Gruppierungen von Messwerten, Schwellenwerte eingerichtet werden, die Rückschlüsse auf eine mutmaßlich saubere Betriebsweise geben. Solche Schwellenwerte können natürlich auch dazu genutzt werden, dass Alarmer oder Benachrichtigungen ausgelöst werden. Beim Über- oder Unterschreiten dieser Schwellenwerte wären dann entsprechend verhältnismäßige Maßnahmen einzuleiten, um die Abweichungen zu erklären. Die Abweichungen können insbesondere auf äußere Einflüsse, geänderte Performance einer Anlage oder Fehler der Messeinrichtungen zurückzuführen sein.

Wenn die Schwellenwerte hinsichtlich der historischen Messungen nach und nach feiner justiert werden, wird

hierdurch auch das Monitoringsystem stetig optimiert. Je nach Messung sind Einflussfaktoren ausfindig zu machen, die sich auf die Verbräuche auswirken könnten. Um die Aussagekraft von Reports zu verbessern sind idealer Weise Bereinigungen von Messwerten durchzuführen. Je nachdem um was für eine Messung es sich handelt, ist individuell zu entscheiden, ob eine Bereinigung zu dem gewünschten Ergebnis führt, um z. B. die Aussagekraft eines Ergebnisses zu verbessern, oder ein schnelleres Erkennen von ineffizienter Betriebsweise zu ermöglichen.

Ein regelmäßiger Check des Verhaltens der aktuellen Messungen, Kennwerte und gesetzter Schwellenwerte ist eine elementare Voraussetzung, um zu erkennen, ob zu erwartende Betriebsweisen vorliegen oder ob sich Abweichungen ergeben, welche zu überprüfen sind. Jede Abweichung von der tatsächlichen erwarteten Datenlage (z. B. durch Unregelmäßigkeiten oder Überschreiten von Sollwerten) ist zu hinterfragen. Ggf. sind Maßnahmen zu ergreifen, um gegenzusteuern, sodass Betriebsweisen stetig verbessert werden.

Die DIN ISO 50006 (Energiemanagementsysteme – Messung der energiebezogenen Leistung unter Nutzung von energetischen Ausgangsbasen (EnB) und Energieleistungskennzahlen (EnPI) – Allgemeine Grundsätze und Leitlinien (ISO 50006:2014)) gibt hierzu verschiedene Anregungen und Empfehlungen. Diese Norm versteht sich als Leitfaden, um aussagekräftige Energieleistungskennzahlen zu erstellen. Außerdem wird in dieser

Norm auch die energetische Ausgangsbasis behandelt, die für das Betreiben eines Energiemanagementsystems nach der ISO 50001 ein weiterer wichtiger und elementarer Normpunkt für die regelmäßige Auditierung darstellt.

Die DIN ISO 50015 (Energiemanagementsysteme – Messung und Verifizierung der energiebezogenen Leistung von Organisationen – Allgemeine Grundsätze und Leitlinien (ISO 50015:2014)) beinhaltet Vorgaben und Richtlinien für die Messung und Verifizierung der Energieleistung einer Organisation. Sie gibt Empfehlungen zu verschiedenen Aspekten, wie Datenerfassung, Genauigkeit und Unsicherheiten, daher liefert auch diese Norm Hilfestellungen bei der Auswahl und Planung von messtechnischer Erfassung.

Normanforderungen der neuen ISO 50001:2018, um wesentliche Energieverbraucher hinsichtlich aktueller und erwarteter Verbräuche zu bewerten, könnten analog zu Abbildung 30 (Lastkurve (Tagesmittelwerte) im Monatsreport zum Fernwärmeverbrauch) erfüllt werden. Um z. B. die energetische Ausgangsbasis mit aktuellen Werten zu vergleichen, könnte analog zu Abbildung 34 (wesentliche Kennzahlen im Monatsreport zum Stromverbrauch) vorgegangen werden.

» PROZESSEINBLICK

Der **systematische und stetige Einblick** in die Prozesse deckt frühzeitig nicht effiziente Vorgänge auf und ermöglicht ein **konsequentes Gegensteuern**. Alarmfunktionen helfen dabei.

2.6 Ausbau des Systems

Wünschenswert für ein Monitoring ist ein erweiterungsfähiges System, welches im Laufe der Zeit auch hinsichtlich des Detaillierungsgrades stetig ausgebaut und verbessert werden kann. Im Rahmen der Planung zum Aufbau eines Energiemonitoring-Systems wäre daher die Mindestanzahl an Messstellen, die die Software verarbeiten kann, als Ausschlusskriterium zu bestimmen.

Neben der Nachrüstung von Messungen, die zur Erweiterung in ein Energiemonitoring-System eingebunden werden, sind weitere Gesichtspunkte für den Ausbau eines Systems von Relevanz, um das Monitoring auszubauen und zu optimieren. Hierbei ist insbesondere zu bemerken, dass die Berechnungen von Kennwerten verfeinert, bereinigt und weitere rechnerische Messwerte gebildet werden können.

Bei grafischen Messauswertungen, bei denen verschiedene Messungen mit unterschiedlichen physikalischen Größen gruppiert werden sollen, sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass auch eine gewisse Anzahl unterschiedlicher Skalierungen der Werteachse unterstützt werden (Leistungen, Volumenströme, Temperaturen, Leistungszahlen von Anlagen, individuell gestaltete Kennwerte usw.).

Die Komplexität der möglichen Betrachtungen wird mit der Weiterentwicklung des Monitoringsystems stetig zunehmen, diese richtet sich aber im Grunde nach den Bereichen, die messtechnisch erfasst werden.

Da der Einsatz von festen Messpunkten für ein Energiemonitoring voranging nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten gestaltet wird, kann auch der Einsatz von umsetzbaren Messeinrichtungen, um mehrere kleinere Anlagen in temporären Abständen zu messen, vorgesehen werden. ▶

3 Praxisbeispiele

In diesem Kapitel werden zunächst verschiedene Beispiele von Auswertungen und Optimierungsansätzen dargestellt, die im Rahmen des Projektes für den Betrieb des Energiemonitorings als verwertbar aufgefallen sind. Des Weiteren werden verschiedene Methoden für eine Auswertung und empfehlenswerte Visualisierungen vorgestellt, die auch als Reporting-Bausteine verwendet werden können.

3.1 Analyse Außentemperatur-Messung (als Steuergröße für Heizkreise)

Nachfolgend sind die Messaufzeichnungen vom 29. und 30.01.2020 von zwei Außentemperaturfühlern und den Temperaturen (Vor- und Rücklauf) eines Heizkreises zu sehen. Bereits die Überprüfung von Basisgrößen (hier Außentemperatur), deren Ausgabewerte zur Steuerung verwendet werden, kann wichtige Erkenntnisse auf die richtige Funktionsweise eines Systems liefern.

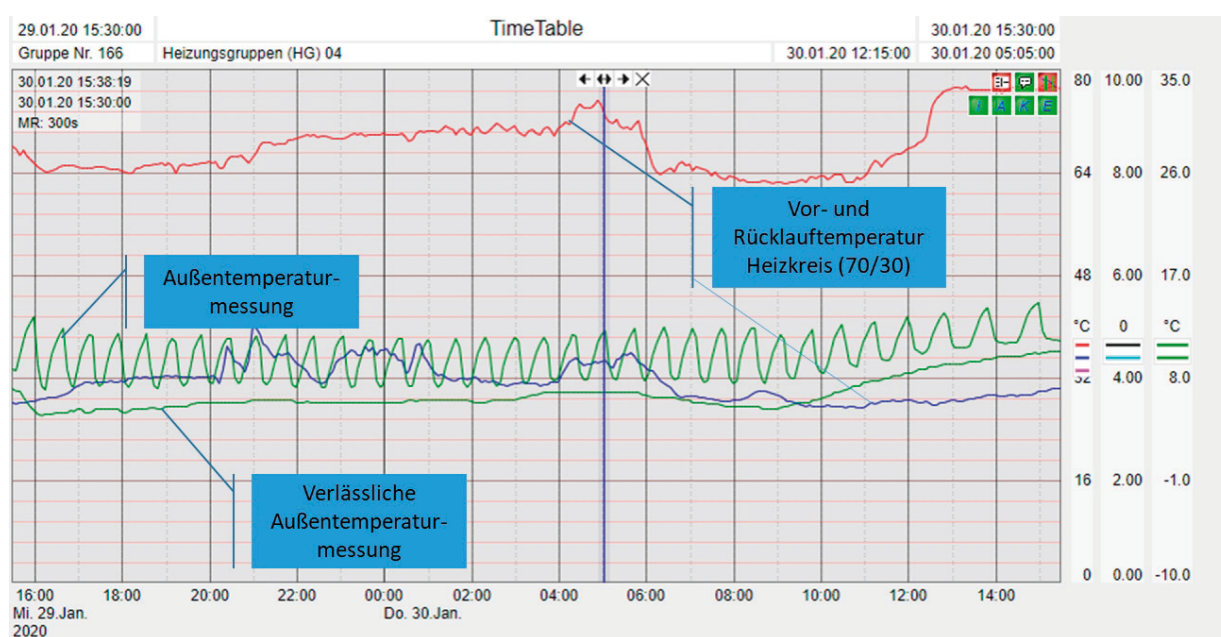


Abbildung 16: Analyse der Außentemperaturmessung, welche u.a. als Steuergröße für Heizkreise verwendet wird

Feststellungen:

Der Außentemperaturfühler (gezackte Kurve in grün) scheint falsch positioniert. Es ist ersichtlich, dass dieser an einer Stelle sitzt, wo er in regelmäßigen Abständen um bis zu 5 °C aufgeheizt wird.

Die Spreizung des Heizkreises (Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauftemperatur) ist mit rund 40 Kelvin bei einer Außentemperatur von etwa 6 °C nicht zu beanstanden.

Ergebnis:

Die Messung über den Außentemperaturfühler (gezackte Kurve in grün) ist als Regelgröße so nicht verwendbar.

Maßnahme/n:

Fühlerfunktion und -position prüfen und Umsetzung veranlassen.

3.2 Analyse Temperatursteuerung

Nachfolgend sind die Messaufzeichnungen vom 29. und 30.01.2020 von einem Außentemperaturfühler und den Raumtemperaturen einer Eingangshalle zu sehen. Als Luftschleuse ist die Funktion des beheizten Eingangsbereichs gegeben, zu Nachtzeiten ist ersichtlich, dass die Temperatursteuerung nicht funktionstüchtig oder zu hoch eingestellt ist.

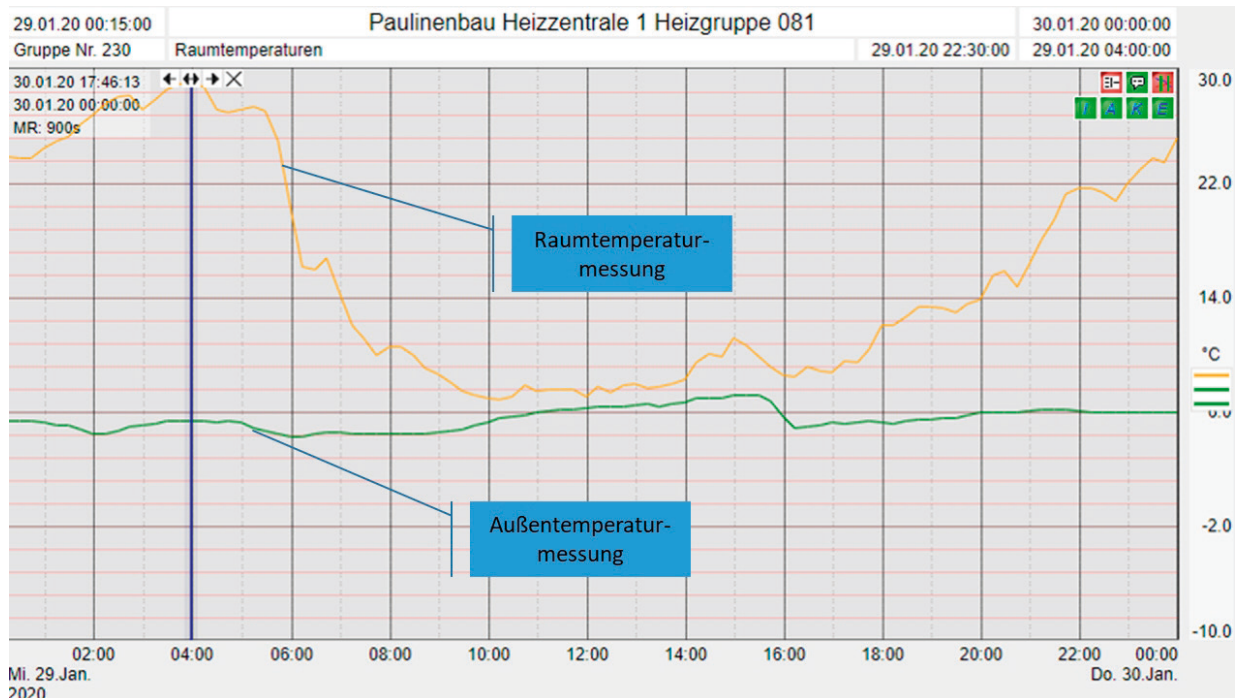


Abbildung 17: Vergleich der Außentemperatur- zur Raumtemperaturmessung

Feststellung:

Raumtemperatur der Eingangshalle (Glasbau) steigt in der Nacht bis auf 29 °C.

Ergebnis:

Beheizung durch Konvektion oder Torluftschleier regelt nicht bzw. schaltet nicht ab.

Maßnahme/n:

Es sollte geprüft werden, ob vorhandene Schalteinrichtung funktionstüchtig ist oder ob zusätzliche Schaltfunktionen vorgesehen werden können (Maßnahme entsprechend der Art der Beheizung Luftheizregister oder Konvektor).

3.3 Analyse Raumtemperatur

Temporäre Messung einer Raumtemperatur vom 08. Februar bis zum 06. April 2019 über 1392 Stunden (58 Tage). Durch Ermittlung der durchschnittlichen Übertemperatur (während der Heizperiode) ist direkt auf die Einsparung zu schließen, die sich ergeben würde, wenn Maßnahmen zu Umsetzung kommen, durch die eine Überheizung vermieden und durch die ggf. eine verbesserte Regelbarkeit erzielt wird.

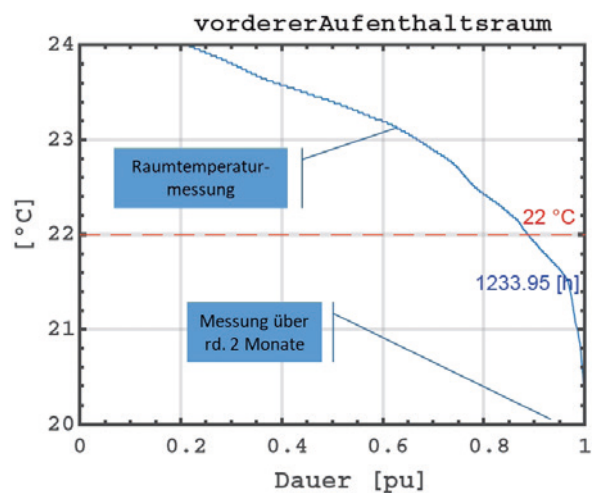


Abbildung 18: Dauerlinie der Raumtemperatur zu Bewertung der Übertemperierung

Feststellung:

Die Raumtemperatur liegt zu 90 % der Zeit über 22 °C , zu 20 % sogar über 24 °C.

Ergebnis:

Eine Einsparung von > 7% der Heizenergie für die entsprechende Fläche ist möglich, wenn die Raumtemperatur dauerhaft auf ≤ 22 °C begrenzt wird.

Maßnahme/n:

Prüfen, ob elektronisch gesteuerte oder fest begrenzte Thermostatköpfe eingesetzt werden können. Bei ungenügender Regelbarkeit den Heizkreis auf die mögliche Absenkung der Vorlauftemperatur überprüfen.



3.4 Analyse Abschaltbedingung Heizkreis

Nachfolgend sind die Messaufzeichnungen vom 23. bis 29.07.2019 von einem Außentemperaturfühler und den Temperaturen (Vor- und Rücklauf) eines Heizkreises zu sehen. Da der Heizkreis statische Heizkörper versorgen soll und die Heizgrenze bei 20 °C liegt, ist ein unnötiger Heizbetrieb in der Sommerzeit zu erkennen.

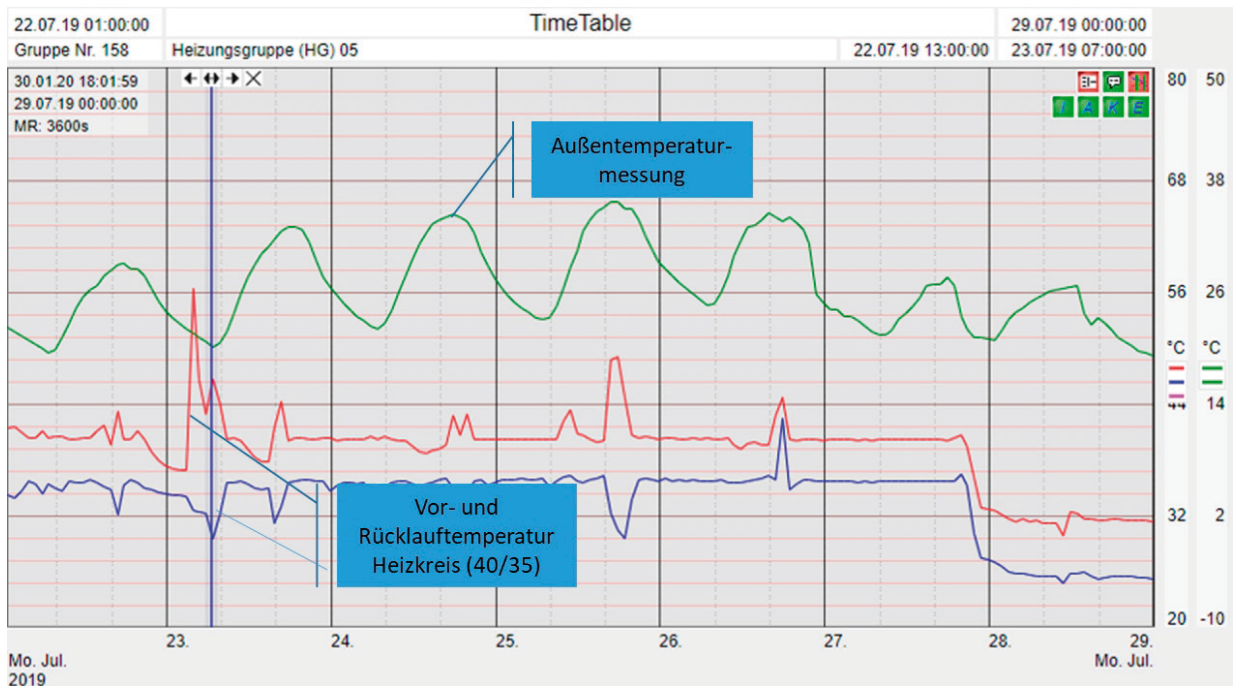


Abbildung 19: Vergleich von Heizkreis- zu Außentemperaturen

Feststellung:

Heizungskreis für statische Heizkörper läuft auch oberhalb 20 °C Außentemperatur. Die Spreizung des Heizkreises (Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf) ist mit rund 5 Kelvin zwischen Vor- und Rücklauf sehr gering. Die Spreizung lässt grundsätzlich Rückschlüsse auf die Auslegung der Umwälzpumpe zu, dies kann jedoch nur bei guter Auslastung der Heizung (also im Winter bei Minustemperaturen) bewertet werden.

Ergebnis:

Heizkreissteuerung ist defekt oder keine Heizgrenze/Abschaltung eingestellt.

Maßnahme/n:

Es sollte geprüft werden, ob vorhandene Schalteinrichtung funktionstüchtig ist, Einstellungen zu ändern sind oder ein Grund für den Betrieb des Heizkreises im Sommer vorliegt.

3.5 Analyse Kältemaschine/Kaltwassernetz

In der folgenden Abbildung sind die Messaufzeichnungen vom 28.05 bis 04.06.2018 einer Kältemaschine zusammen mit der Außentemperatur und den Temperaturen (Vor- und Rücklauf) des dazugehörigen Kaltwassernetzes vor Umsetzung der Maßnahmen zu sehen.

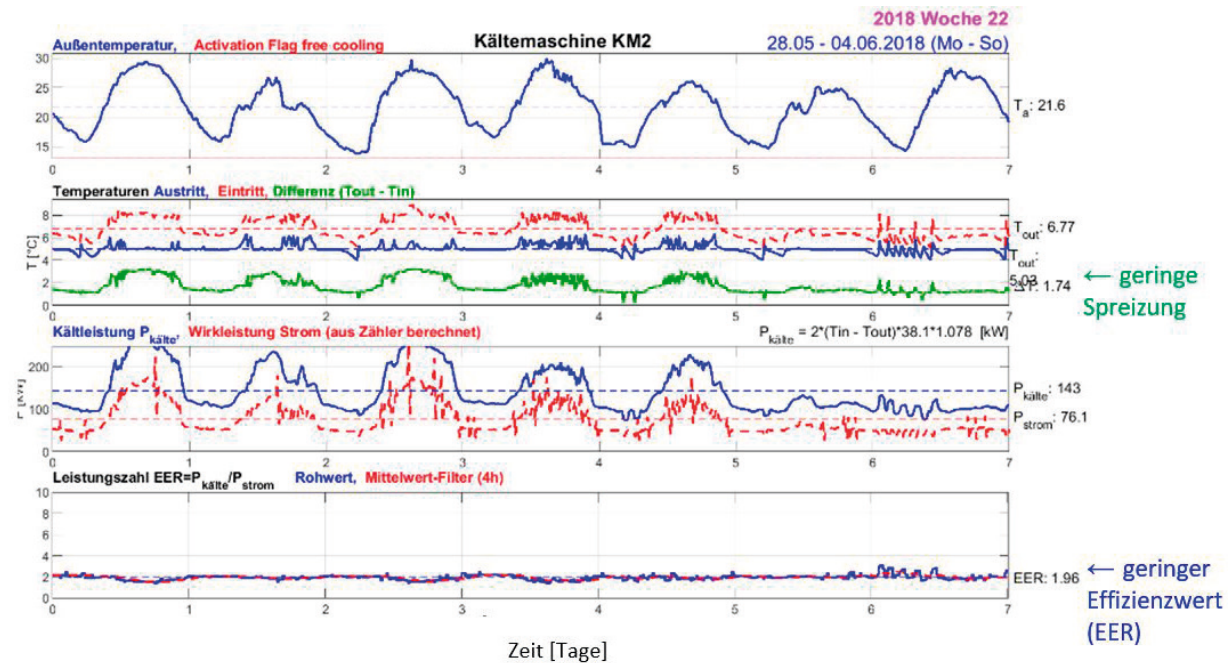


Abbildung 20: Vergleich von Kältemaschine und -kreis (vor der Maßnahme)

Im Frühjahr 2019 wurden Maßnahmen ergriffen, um sowohl die Vorlauftemperatur als auch die Spreizung zu erhöhen, wobei das Ergebnis in der nachstehenden Abbildung zu sehen ist.

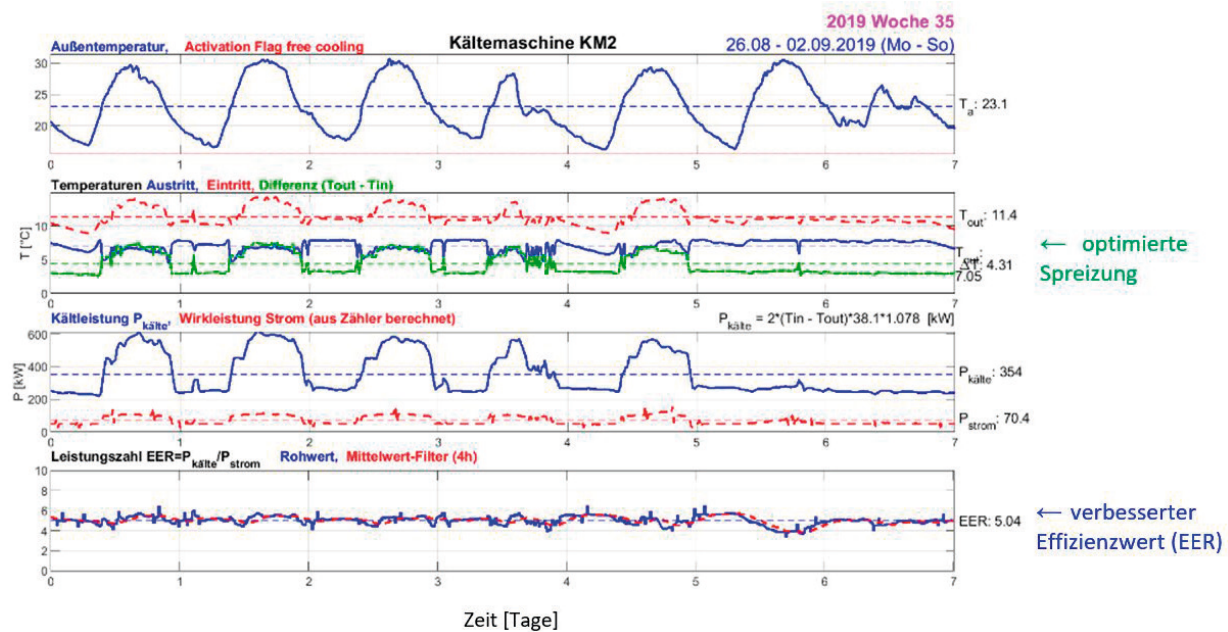


Abbildung 21: Vergleich von Kältemaschine und -kreis (nach der Maßnahme)

3 Praxisbeispiele

Feststellung:

Vor Umsetzung der Maßnahme war zu erkennen, dass zum einen die Vorlauftemperatur mit durchschnittlich 5 °C für eine Klimatisierung auf max. 22 °C und 40 % rel. Feuchte zu gering eingestellt ist und sich eine Differenztemperatur des Kaltwasserkreises mit weniger als 2 Kelvin ebenfalls auf sehr niedrigem Niveau einstellt. Obgleich nur eine vorsichtige Erhöhung der Vorlauftemperatur um durchschnittlich 2 °C erfolgte und die Spreizung um rund 2,6 Kelvin [K] erweitert wurde, hat sich die Kälteleistung bzw. einhergehend damit der EER mehr als verdoppelt. Die rote Kurve der Leistungsaufnahme in Abbildung 20 verläuft, gegenüber Abbildung 19, jeweils im Verhältnis der Kälteleistung, deutlich flacher, was auch eine geringere Belastung der Kältemaschine bei den höheren Tagestemperaturen beschreibt.

Ergebnis:

Mit den relativ vorsichtigen Optimierungen stellte sich (anhand der zur Verfügung gestellten Daten) bereits eine sehr große Verbesserung ein. Die Messungen der Woche KW22/2018 gegenüber KW35/2019 wurden gewählt, da relativ gleiche Tagestemperaturen abgebildet wurden. Hierbei verbesserte sich der EER von 1,96 auf 5,04. Selbst bei einer konventionellen Betrachtung, mit Abschlag von 20 % (da kein 1:1 Vergleich bzgl. Außentemperaturen vorgenommen werden konnte), verbleibt noch eine Verbesserung von rund 106 % bei der Kälteerzeugung.

Durch Erhöhung der Spreizung von 1,74 K auf 4,31 ergibt sich eine hierzu proportionale Reduzierung des Volumenstromes der Pumpe. Bei Anwendung der Proportionalitätsgesetze ergibt sich durch die Reduzierung des Volumenstroms (bei idealer Kennlinie) eine Reduzierung der aufgenommenen Pumpenleistung um > 90%.

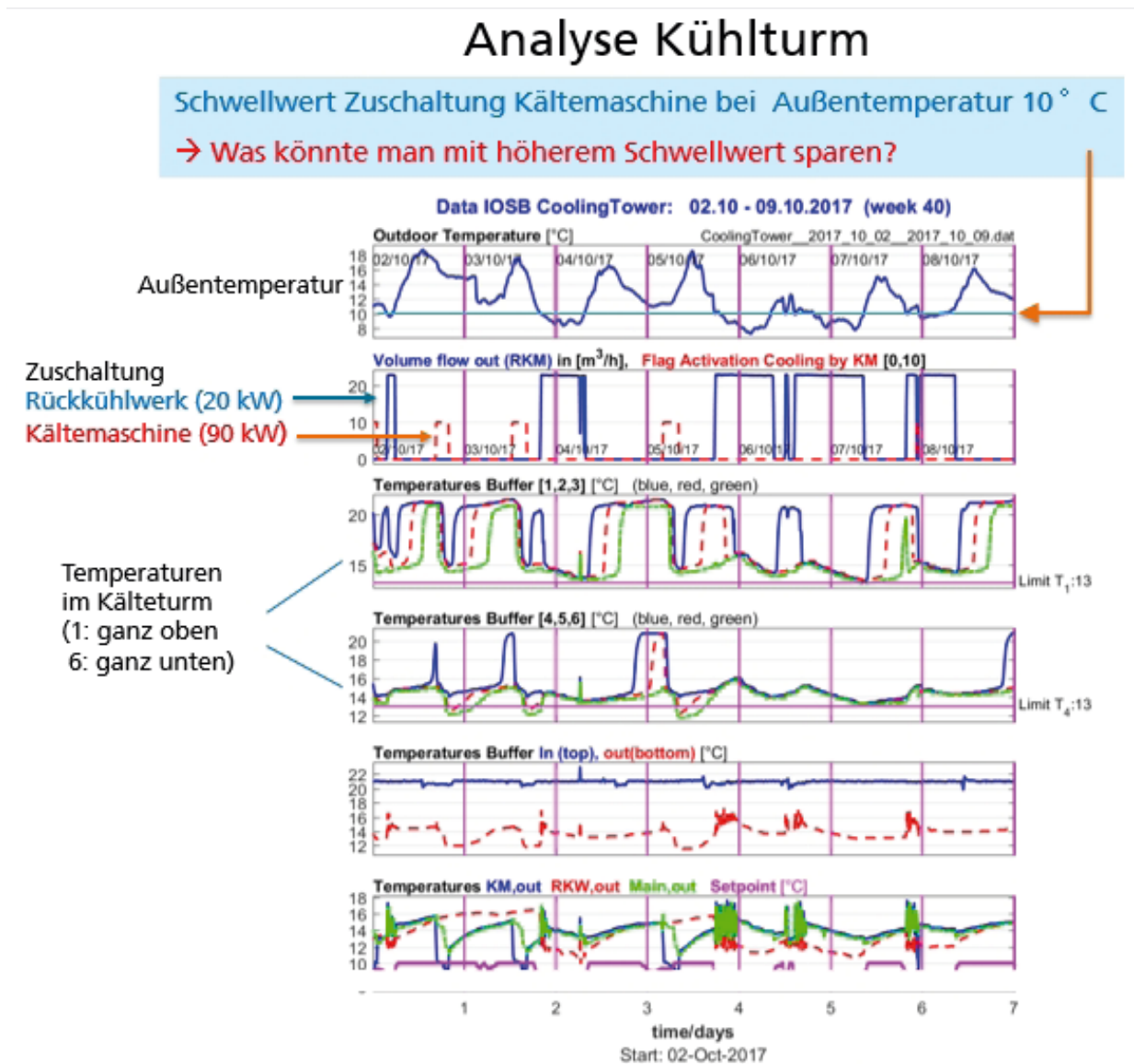


Abbildung 22: Messdaten eines Kühlturmes von einer Woche (2.-9.10.2017). Bei Außentemperatur größer 10°C wird statt des Rückkühlwerkes die Kältemaschine aktiviert – hier könnte ein höherer Wert (z.B. $T_a=18^\circ\text{C}$) viel Energie einsparen.

Maßnahme/n:

Volumenstrom der Pumpe bedarfsgerecht steuern oder vermindern. Vorlauftemperatur anheben und/oder bedarfsgerecht steuern. Differenz- und Vorlauftemperatur wurde deutlich angehoben (von $< 2\text{ K}$ auf $> 4\text{ K}$ und von 5 auf rd. 7 °C) – Geplant war sogar die Vorlauftemperatur auf 12 °C im Winter und 10 °C im Sommer zu erhöhen.

3.6 Analyse Kühlturm: Umschaltung von Rückkühlwerk zu Kältemaschine

Nachfolgend wird bei einem Kühlturm die Umschaltbedingung vom Rückkühlwerk zur Kältemaschine analysiert. Während das Rückkühlwerk nur ca. 20 kW Strom verbraucht, liegt die Leistungsaufnahme der Kältemaschine bei ca. 90 kW . Prinzipbedingt kann das Rückkühlwerk nur bis zu einer bestimmten Außentemperatur eingesetzt werden. Für hohe Außentemperaturen muss die energieintensive Kältemaschine eingesetzt werden. Daher ist es sinnvoll, die Umschaltbedingung von Rückkühlwerk zu Kältemaschine zu analysieren und möglichst so einzustellen, dass der Arbeitsbereich des Rückkühlwerkes so weit wie möglich ausgereizt wird.

Feststellung:

Bei dem hier analysierten Kühlturm lag zum Zeitpunkt der Analyse (Oktober 2017) die Umschaltbedingung bei einem Außentemperaturwert $T_a = 10\text{ °C}$. In Abbildung 22 sind die Messdaten des Kühlturmes einer Woche (2.–9.10.2017) gezeigt. In Subplot 2 ist die Zuschaltung von Rückkühlwerk (blaue Linie) bzw. Kältemaschine (rote Linie) in Abhängigkeit der Außentemperatur zu erkennen.

Ergebnis:

Es wurde für einen Zeitraum von ca. 3 Monaten (28.6.– 9.10.2017) analysiert, wie sich die Zuschaltung der Kältemaschine reduziert hätte, wenn die Außentemperatur-Umschaltbedingung von 10 °C auf 18 °C erhöht worden wäre (Abbildung 23). Für diesen Zeitraum hätte sich eine Einsparung von 1240 € ergeben. Auf ein Jahr hochgerechnet wäre eine Einsparung von ca. 3000 € erreichbar.

Maßnahme:

Die Außentemperatur-Umschaltbedingung wurde von 10 °C zumindest auf 15 °C erhöht.

Analyse Kühlturm

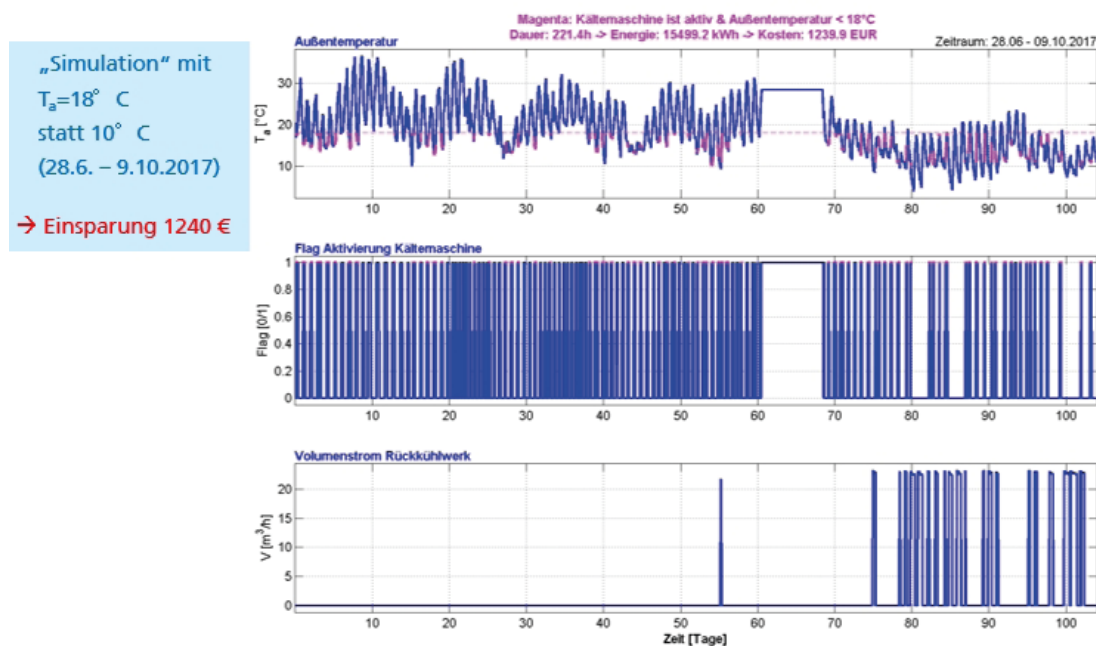


Abbildung 23: Analyse einer veränderten Umschaltbedingung von Rückkühlwerk zu Kältemaschine: Es wurde für einen Zeitraum von ca. 3 Monaten (28.6. – 9.10.2017) analysiert, wie sich die Zuschaltung der Kältemaschine reduziert hätte, wenn die Außentemperatur-Umschaltbedingung von 10 °C auf 18 °C erhöht worden wäre.

3.7 Analyse Druckluftkompressor: Leckage-Erkennung

Nachfolgend sind die Messaufzeichnungen vom 29.05 bis 08.06.2017 von der Leistungsaufnahme eines Druckluftkompressors abgebildet. Bei Systemen, die nur zu bestimmten Betriebszeiten Druckluft liefern sollen (wie hier im 1-Schicht-Betrieb zu sehen), sind Leckagen sehr leicht zu identifizieren. Bei Betriebszeiten von 24h/7 Tage und relativ gleichmäßigen Abnahmestrukturen wäre als Maßstab die kontinuierliche Leistung oder als Kennlinie die Druckluftentnahme im Zustand eines frisch überprüften Druckluftnetzes zu nehmen und mit den zukünftigen Werten zu vergleichen.

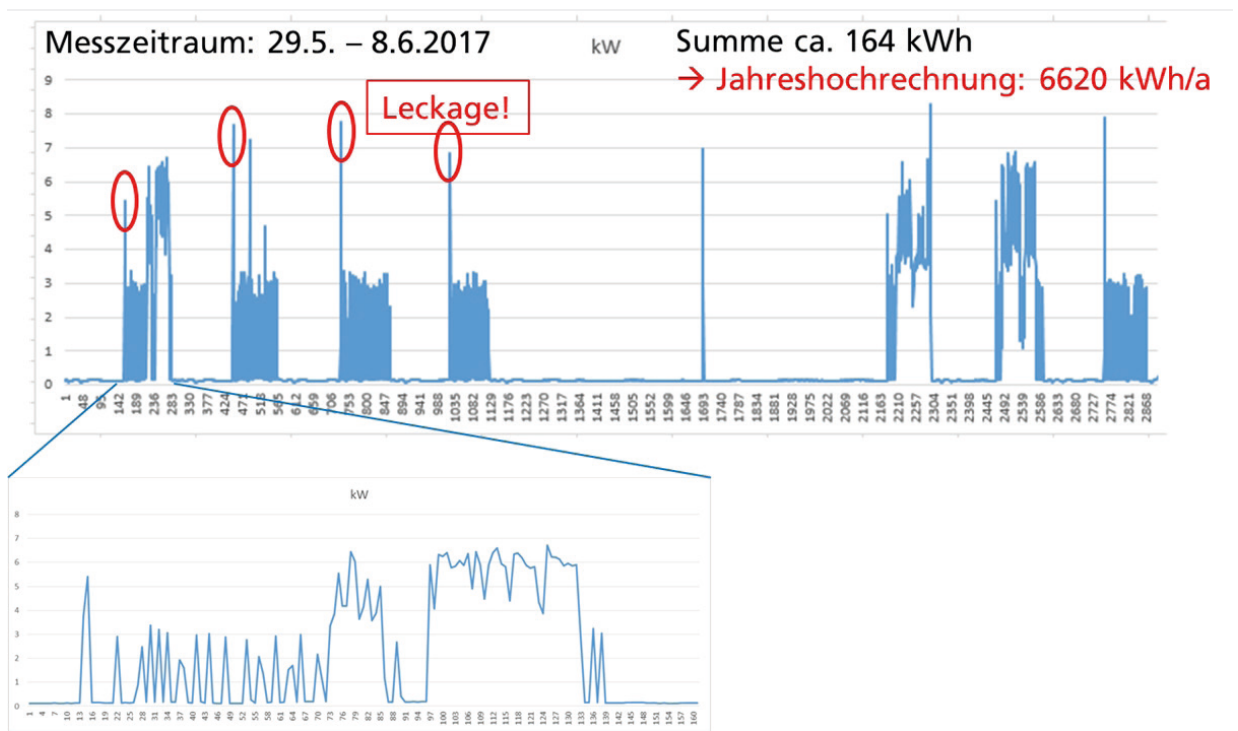


Abbildung 24: Leistungsmessung Druckluftkompressor über 11 Tage

Feststellung:

Temporäre Messung zeigt mit Betriebsbeginn zum jeweiligen Arbeitstag, dass das Druckluftnetz zunächst wieder gefüllt werden muss.

Ergebnis:

Eine gewisse Leckage ist vorhanden.

Maßnahme/n:

Mittels Volumenstrommessung oder durch Umrechnung vom Stromverbrauch außerhalb der Betriebszeit kann auf die genaue Leckagerate geschlossen werden.

3.8 Auswertungen mittels webbasierten Monats-Reports

Im Rahmen des EffMon-Projektes wurde ein Web-basiertes Reporting-Tool entwickelt, welches die wesentlichen Energiebereiche bzw. Medien (z.B. Strom, Fernwärme, Kälte, Warmwasser) anhand von Kennzahlen und Charts analysiert. Die Reports werden automatisiert monatlich aktualisiert. Der webbasierte Report kann über jeden Internet-Browser angezeigt werden. Über eine Einstiegsseite kann man einen bestimmten Monat auswählen (siehe Abbildung 25).

Der Aufbau des Reports wird im Folgenden am Beispiel einer größeren Liegenschaft (Bürogebäude mit ca. 250 Mitarbeitern) vorgestellt. Der Report ist hierarchisch aufgebaut: Es gibt eine Monats-Übersicht, die eine Übersicht über die wichtigsten Eckdaten und Kennzahlen vermittelt (siehe Abschnitt 3.8.1). Für jedes Medium gibt es spezialisierte Reports, in denen detailliertere Kennzahlen bzw. Auswertungen gezeigt werden:

- Monatsreport zu **Wärmeverbrauch**
(siehe Abschnitt 3.8.2)
- Monatsreport zu **Stromverbrauch**
(siehe Abschnitt 3.8.3)
- Monatsreport zum **Kühlturm** (siehe Abschnitt 3.8.4)
- Monatsreport zu **Warmwasser-Erzeugung**
(siehe Abschnitt 3.8.5)

Dabei werden für einzelne Bereiche (Wärme/Strom) auch einfach verständliche Bewertungen vorgenommen (Ampel-Darstellung). Diese basieren z.B. auf einem von der Außentemperatur bereinigten Vergleich der jeweiligen Monats-Daten mit den Werten des Vorjahres. Neben aggregierten Monatswerten werden auch verschiedene Wochen-Plots automatisch generiert. Diese zeigen übersichtlich aufbereitet Zeitverläufe der relevanten Messgrößen (z.B. Analyse Kühlturm: alle relevanten Temperaturen, Volumenströme, Schalthandlungen). Somit können auffällige Monatsergebnisse im Detail analysiert und nachvollzogen werden.

Die Reports werden im Folgenden exemplarisch anhand des Monats Dezember 2019 vorgestellt.



ENERGIE REPORTS

[Zur Plotgalerie](#)

2020

Übersicht	Detaillierte Reports			
2020 JANUAR	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2020 FEBRUAR	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser

2019

Übersicht	Detaillierte Reports			
2019 JANUAR	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 FEBRUAR	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 MÄRZ	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 APRIL	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 MAI	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 JUNI	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 JULI	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 AUGUST	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 SEPTEMBER	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 OKTOBER	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 NOVEMBER	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser
2019 DEZEMBER	Fernwärme	Strom	Kühlturm	Warmwasser

Abbildung 25: Einstiegsseite im Internet-Browser zur Auswahl eines Monats-Reports



3 Praxisbeispiele

3.8.1 Monats-Übersicht

Die **Monats-Übersicht** zeigt folgende Informationen:

- Medien-übergreifende Übersicht über die Monatsverbräuche (Abbildung 26). Energien werden in verschiedene Kennzahlen umgerechnet (kWh, kWh/m², kWh/Mitarbeiter, €)
- Monats-Mittelwerte der Außentemperatur, Heizverbrauch elektrische Leistung im Gebäude, Energieverbrauch Kühlturm, sowie Energieverbrauch für Warmwassererzeugung (Vergleich Werte des aktuellen Jahres mit Vorjahr) (Abbildung 27, Abbildung 28)

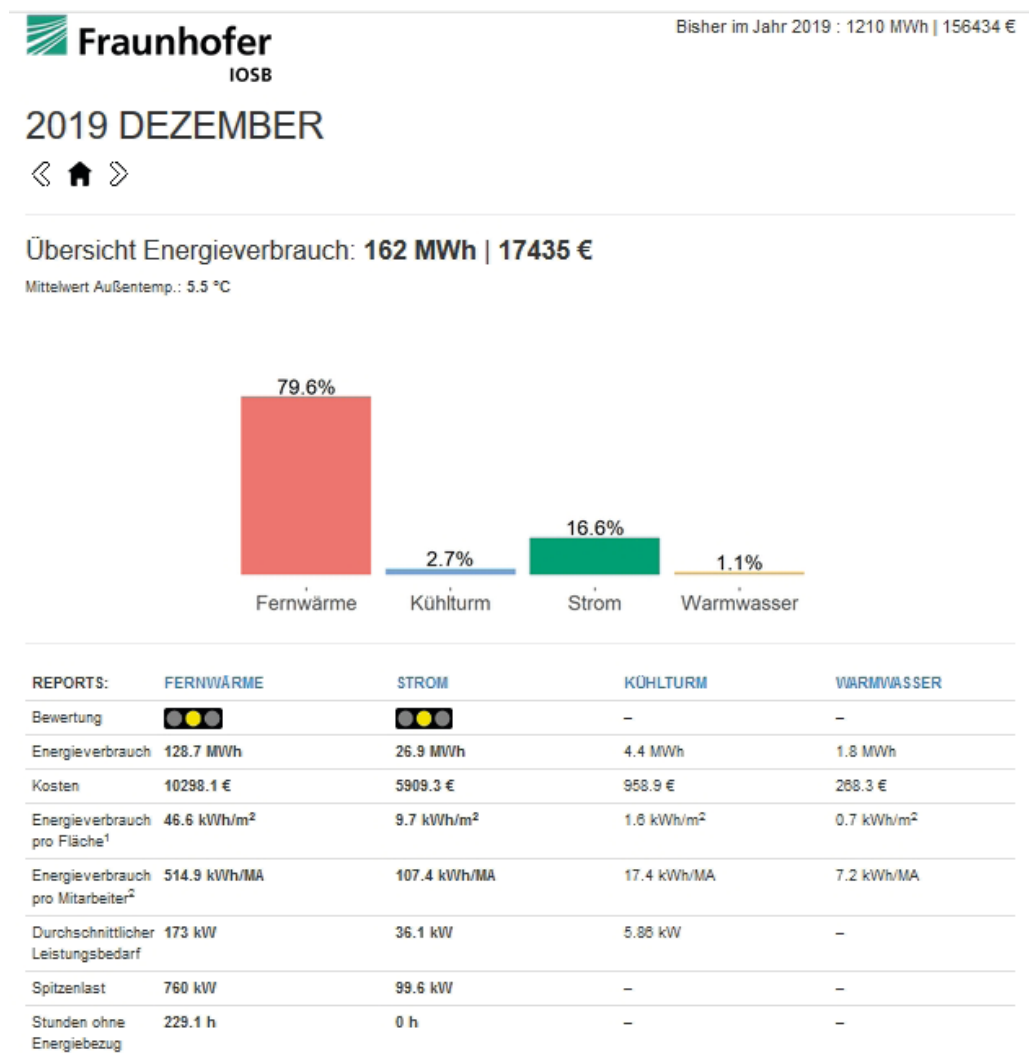
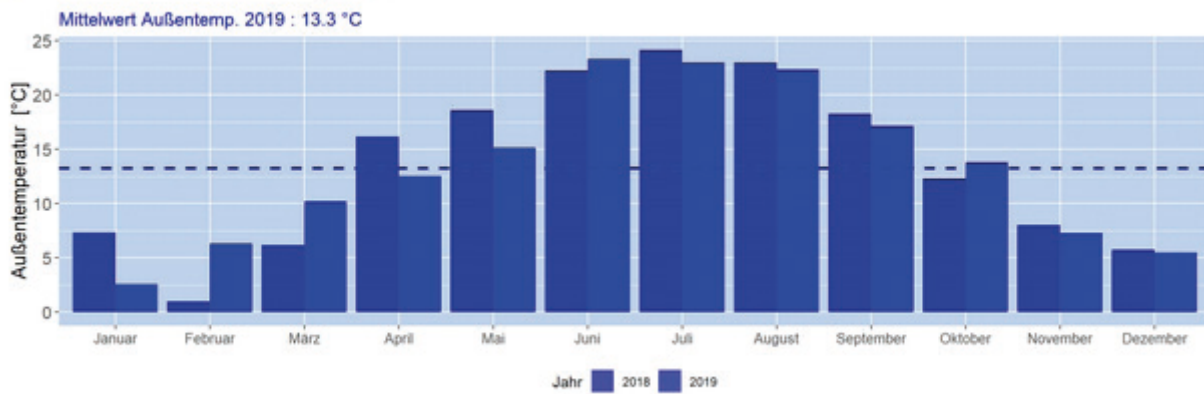


Abbildung 26: Beispielhafte Monatsübersicht zu den wesentlichen Energiebereichen

Durchschnittliche Außentemperatur



Durchschnittliche Heizleistung

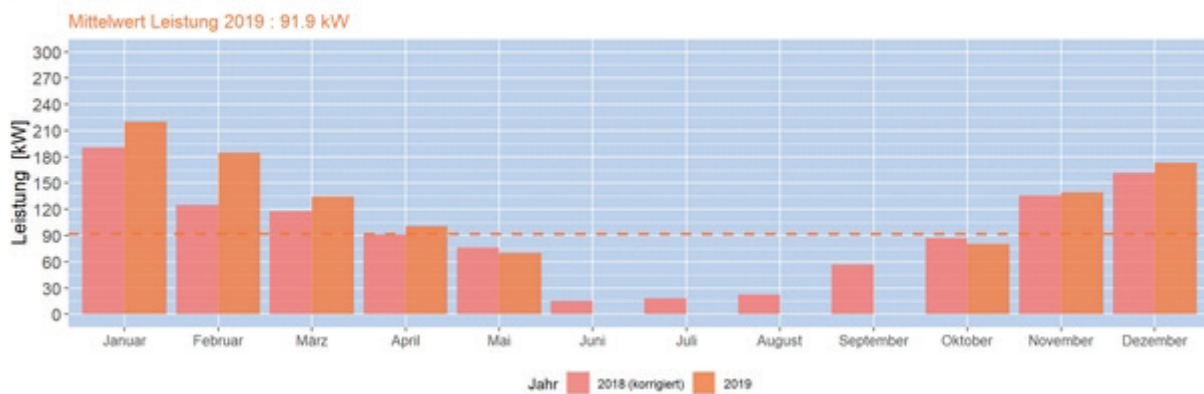
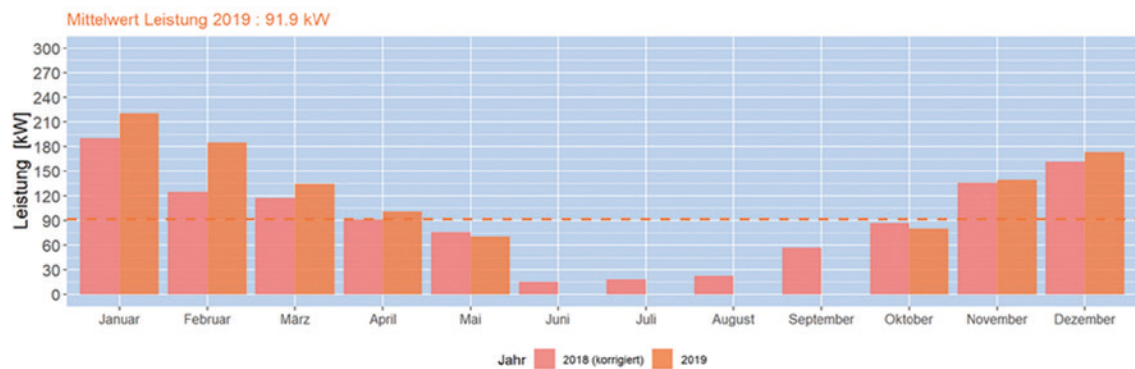


Abbildung 27: Jahres-Übersicht (Teil 1): Monats-Mittelwerte der Außentemperatur und Heizverbrauch (Vergleich Werte des aktuellen Jahres mit dem Vorjahr)

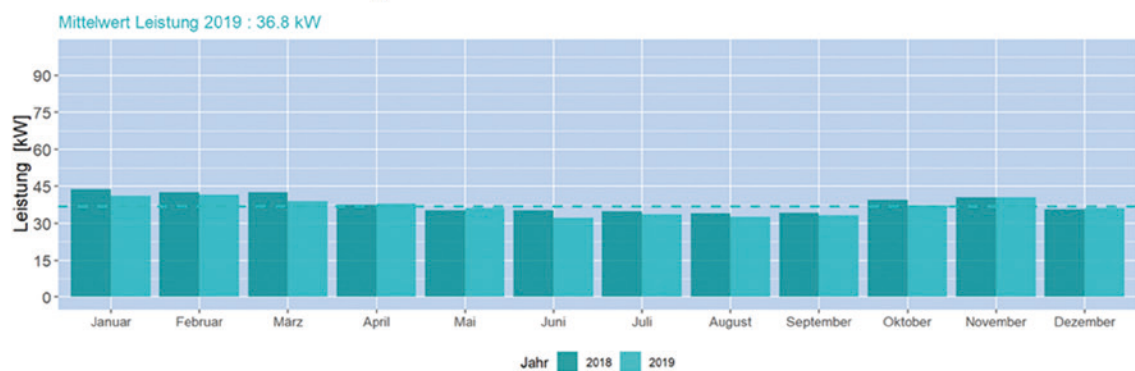


3 Praxisbeispiele

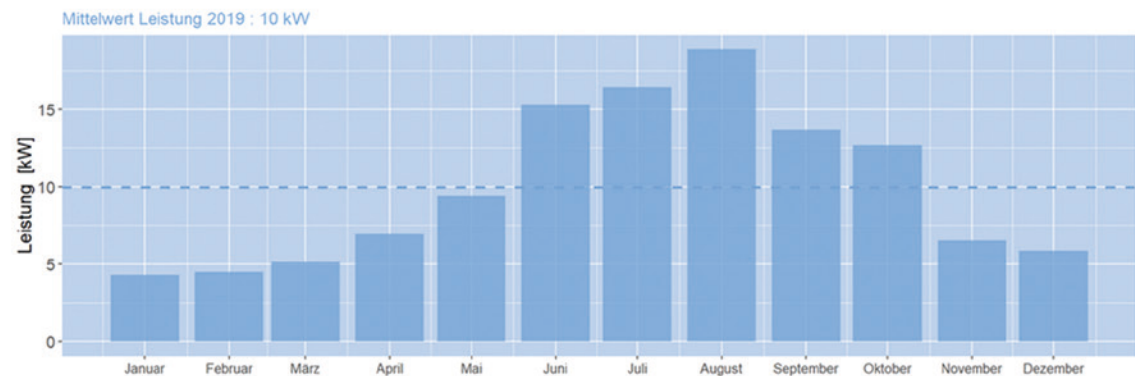
Durchschnittliche Heizleistung



Durchschnittliche Elektrische Leistung



Durchschnittlicher Leistungsbedarf des Kühlturmes



Durchschnittlicher Leistungsbedarf Warmwasser

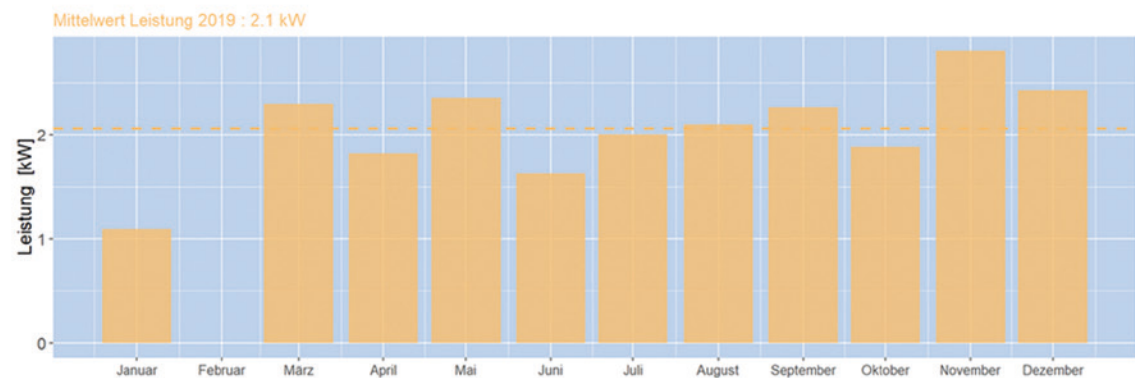


Abbildung 28: Jahres-Übersicht (Teil 2): Monats-Mittelwerte der elektrischen Leistung im Gebäude, Energieverbrauch Kühlturm sowie Energieverbrauch für Warmwassererzeugung (Vergleich Werte des aktuellen Jahres mit dem Vorjahr)

3.8.2 Monatsreport zu Wärmeverbrauch

Der Monatsreport zum Wärmeverbrauch zeigt folgende Informationen:

- Kennzahlen zum Wärmeverbrauch (Abbildung 29)
- Tagesmittelwerte der Fernwärme-Leistung (Abbildung 30); Vergleich aktueller Monat mit Vorjahres-Monat
- Lastdauerlinie des Wärmeverbrauches (Abbildung 31)
- Spektralanalyse (Heatmap) des Wärmeverbrauches (Abbildung 32)
- Tagesmittelwerte der Wärmeleistungen der zwei Hauptpumpen (Abbildung 33)



DEZEMBER 2019



Fernwärme

Index	Dezember 2019	Dezember 2018 (korrigiert)	Dezember 2018 (Original)	Relative Änderung ⁴
Energieverbrauch	128.7 MWh	125.1 MWh	131.4 MWh	+2.9 %
Außentemperatur	5.5 °C	5.5 °C	5.7 °C	0.2 °C (Differenz)
Kosten ¹	10298.1 €	10004.3 €	10512.5 €	+2.9 %
Energieverbrauch pro Fläche ²	46.6 kWh/m ²	45.3 kWh/m ²	47.6 kWh/m ²	+2.9 %
Energieverbrauch pro Mitarbeiter ³	514.9 kWh/MA	500.2 kWh/MA	525.6 kWh/MA	+2.9 %
Durchschnittlicher Leistungsbedarf	173 kW	161.5 kW	176.6 kW	+7.1 %
Spitzenlast	760 kW	–	760 kW	+0 %
Stunden ohne Fernwärmebezug	229.1 h	–	103.8 h	125.3 h (Differenz)

Abbildung 29: Monatsreport zu Fernwärme (Teil 1) – wesentliche Kennzahlen



Lastkurve des Fernwärmeverbrauches mit täglichen Mittelwerten

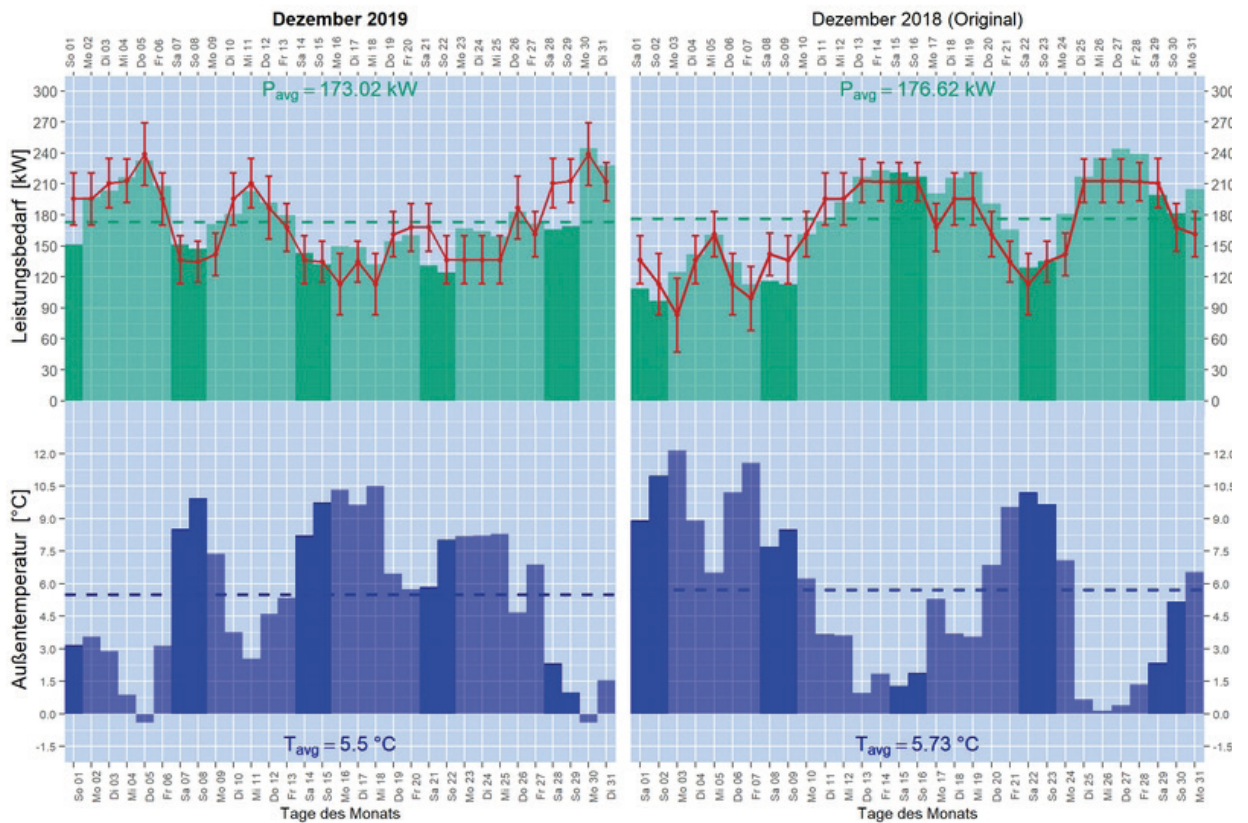


Abbildung 30: Monatsreport zu Fernwärme (Teil 2) - Lastkurve (Tagesmittelwerte): Vergleich aktueller Monat (links) mit Monat des Vorjahres (rechts). Rote Linie: zu erwartende Werte anhand des angelegten Verbrauchmodells (Erwartungswert + Standardabweichung)

Lastdauerlinie des Fernwärmeverbrauches

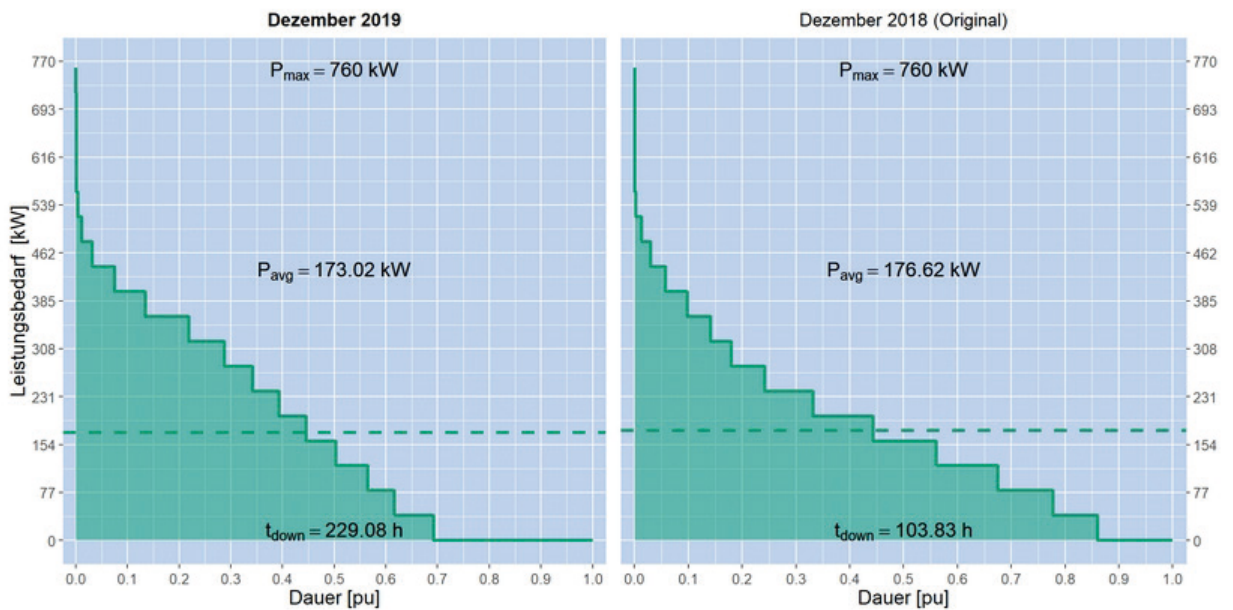


Abbildung 31: Monatsreport zu Fernwärme (Teil 3) - Lastdauerlinie: Vergleich aktueller Monat (links) mit Monat aus Vorjahr (rechts). Rote Linie: zu erwartende Werte anhand des angelegten Verbrauchmodells (Erwartungswert + Standardabweichung)

Spektralanalyse des Fernwärmeverbrauchs

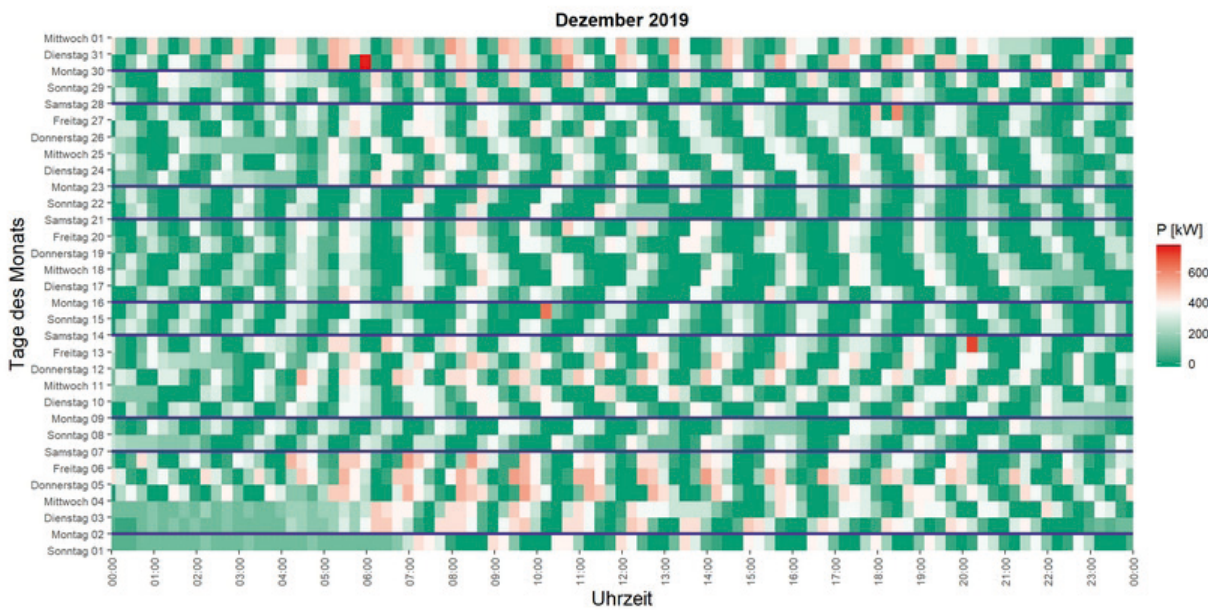


Abbildung 32: Monatsreport zu Fernwärme (Teil 4) - Spektralanalyse (Heatmap): Dargestellt sind 15-Minuten-Mittelwerte als Heatmap (X-Achse: Tageszeit, y-Achse Tag des Monats). Die Wochenenden sind mit horizontalen Linien gekennzeichnet. Aus dem Plot ist ersichtlich, dass es weder eine ausgeprägte Nachtabsenkung noch eine Absenkung am Wochenende gibt.

Hauptpumpen

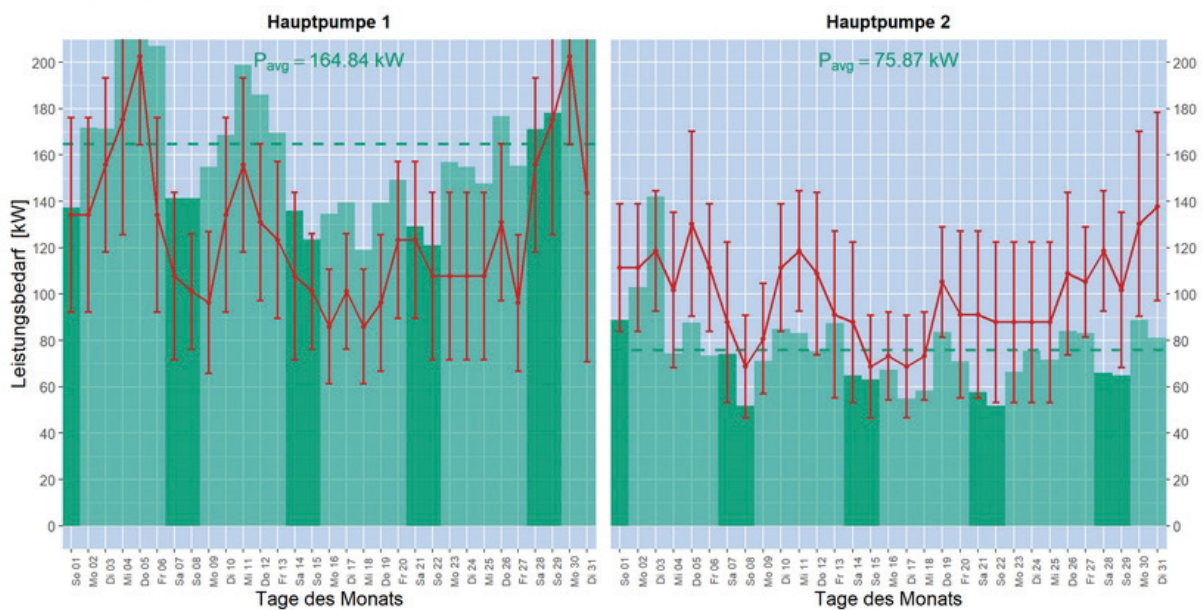


Abbildung 33: Monatsreport zu Fernwärme (Teil 5): Tagesmittelwerte der Wärmeleistungen der zwei Hauptpumpen. Rote Linie: zu erwartende Werte anhand des angelernten Verbrauchmodells (Erwartungswert + Standardabweichung). Dunkelgrüne Balken kennzeichnen die Wochenenden.

3.8.3 Monatsreport zu Stromverbrauch

Der Monatsreport zum Stromverbrauch zeigt folgende Informationen:

- Kennzahlen zum Stromverbrauch (Abbildung 34)
- Tagesmittelwerte der Strom-Leistung (Abbildung 35); Vergleich aktueller Monat mit Vorjahres-Monat
- Lastdauerlinie des Stromverbrauches (Abbildung 36)
- Spektralanalyse (Heatmap) des Stromverbrauches (Abbildung 37)



DEZEMBER 2019



Strom

Index	Dezember 2019	Dezember 2018 (Referenz)	Relative Änderung ⁴
Stromverbrauch	26.9 MWh	26.5 MWh	+1.2 %
Mittelwert Außentemp.	5.5 °C	5.7 °C	0.2 °C (Differenz)
Kosten ¹	5909.3 €	5841 €	+1.2 %
Energieverbrauch pro Fläche ²	9.7 kWh/m²	9.6 kWh/m ²	+1.2 %
Energieverbrauch pro Mitarbeiter ³	107.4 kWh/MA	106.2 kWh/MA	+1.2 %
Durchschnittlicher Leistungsbedarf	36.1 kW	35.7 kW	+1.2 %
Spitzenlast	99.6 kW	94.5 kW	+5.4 %
Stunden ohne Strombezug	0 h	0 h	0 h (Differenz)

Abbildung 34: Monatsreport zu Stromverbrauch (Teil 1) – Wesentliche Kennzahlen

Lastkurve des Stromverbrauches mit täglichen Mittelwerten

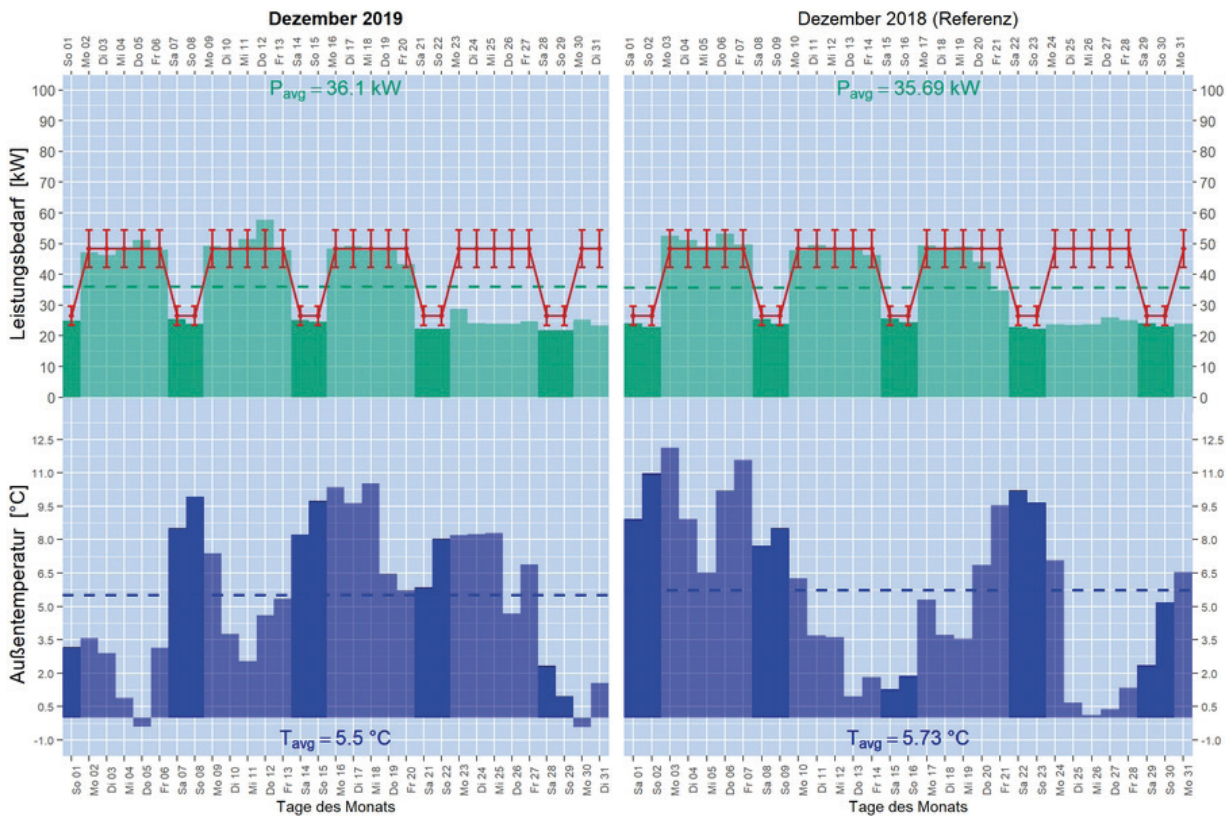


Abbildung 35: Monatsreport zu Stromverbrauch (Teil 2): Lastkurve (Tagesmittelwerte) Vergleich aktueller Monat (links) mit Monat des Vorjahres (rechts). Rote Linie: zu erwartende Werte anhand des angelernten Verbrauchmodells (Erwartungswert + Standardabweichung); dunkle Balken = Wochenende

Lastdauerlinie des Stromverbrauches

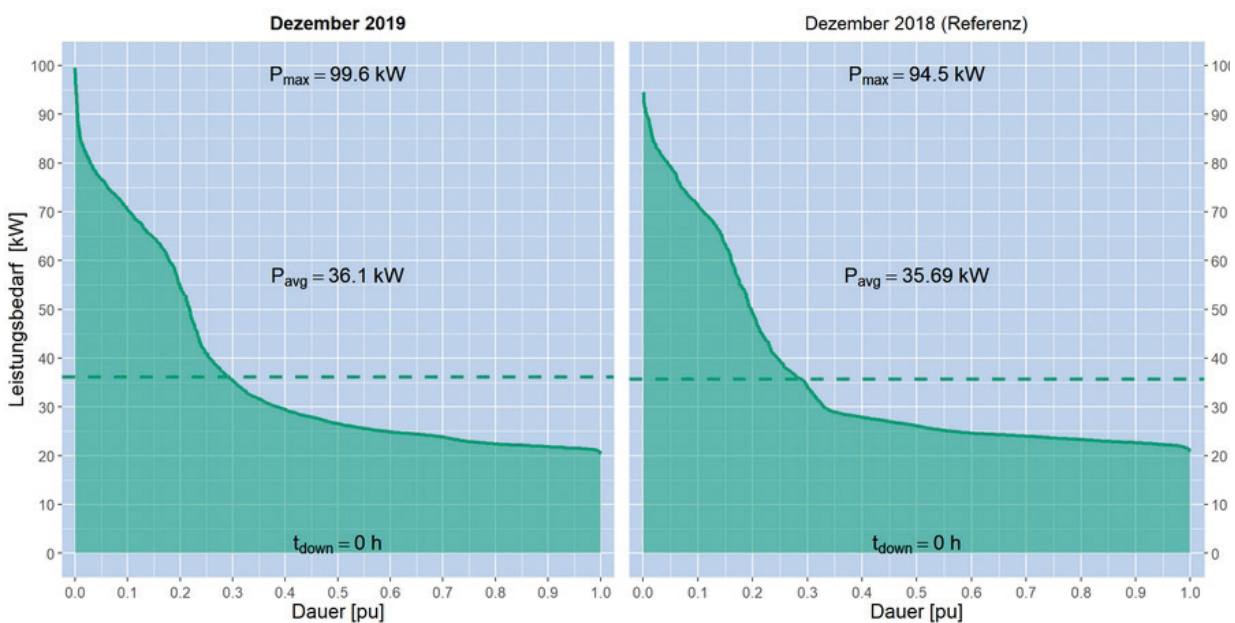


Abbildung 36: Monatsreport zu Stromverbrauch (Teil 3) – Lastdauerlinie: Vergleich aktueller Monat (links) mit Monat aus Vorjahr (rechts). Rote Linie: zu erwartende Werte anhand des angelernten Verbrauchmodells (Erwartungswert + Standardabweichung)

Spektralanalyse des Stromverbrauches

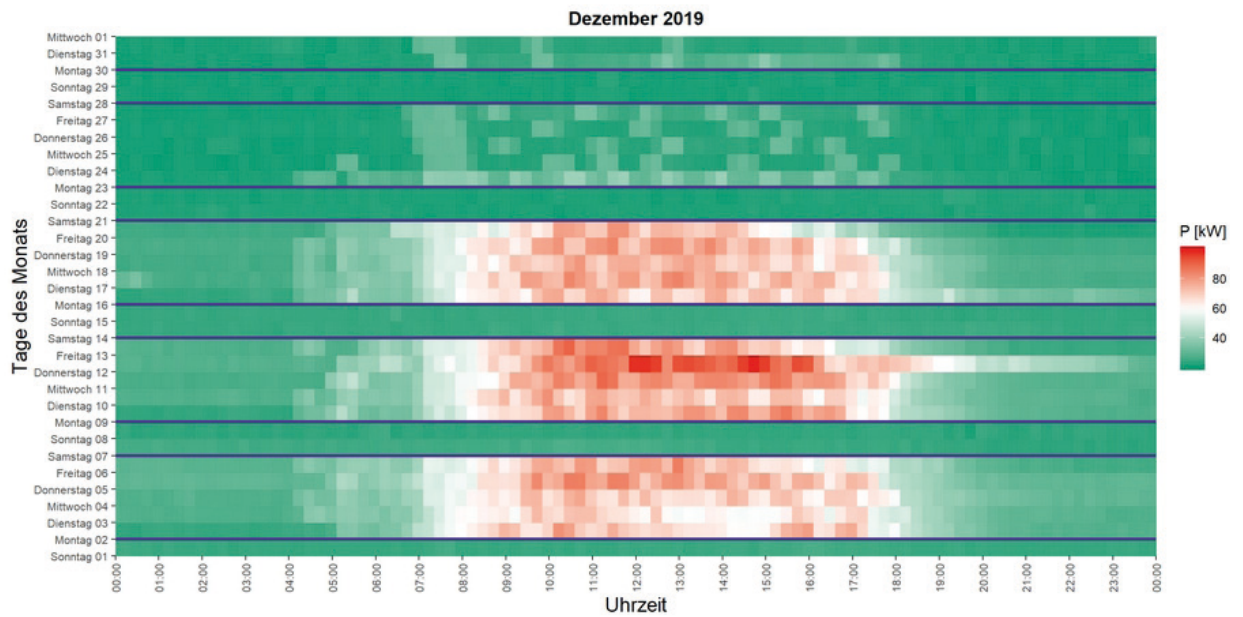


Abbildung 37: Monatsreport zu Stromverbrauch (Teil 4): Spektralanalyse (Heatmap) Dargestellt sind 15-Minuten-Mittelwerte als Heatmap (X-Achse: Tageszeit, y-Achse Tag des Monats). Die Wochenenden sind mit horizontalen Linien gekennzeichnet. Aus dem Plot ist ersichtlich, dass es eine ausgeprägte Nachtabsenkung sowie eine Absenkung am Wochenende sowie an den Feiertagen/Ferien gibt.

3.8.4 Monatsreport zu Kühlturm

Der Monatsreport zum Kühlturm zeigt folgende Informationen:

- Kennzahlen zum Energieverbrauch des Kühlturms (Abbildung 38)
- Tagesmittelwerte von Kältemaschine/Rückkühlwerk, Außentemperatur sowie Effizienz-Kennzahlen (unten) (Abbildung 39)
- Heatmap zur Außentemperatur sowie der Aktivierung von Rückkühlwerk/Kältemaschine (Abbildung 40)
- Spektralanalyse (Heatmap) des Stromverbrauches (Abbildung 41)


			
DEZEMBER 2019			
			
Kühlturm			
Index	Total	Rückkühlwerk	Kältemaschine
Kühlenergie	36.02 MWh	-	-
Durchschnittliche Kühlleistung	48.4 kW	-	-
Mittelwert Außentemp.	5.5 °C	-	-
Stromverbrauch	4.36 MWh	4.36 MWh	0 MWh
Stromkosten ¹	958.91 €	958.91 €	0 €
Stromverbrauch pro Fläche ²	1.58 kWh/m ²	1.58 kWh/m ²	0 kWh/m ²
Stromverbrauch pro Mitarbeiter ³	17.43 kWh/MA	17.43 kWh/MA	0 kWh/MA
Durchschnittlicher Leistungsbedarf	5.86 kW	5.86 kW	0 kW
Betriebszeit	-	311.3 h	0 h
Stillstandszeit	-	432.5 h	743.9 h

Abbildung 38: Monatsreport zu Kühlturm (Teil 1) – Wesentliche Kennzahlen

Durchschnittliche Leistung

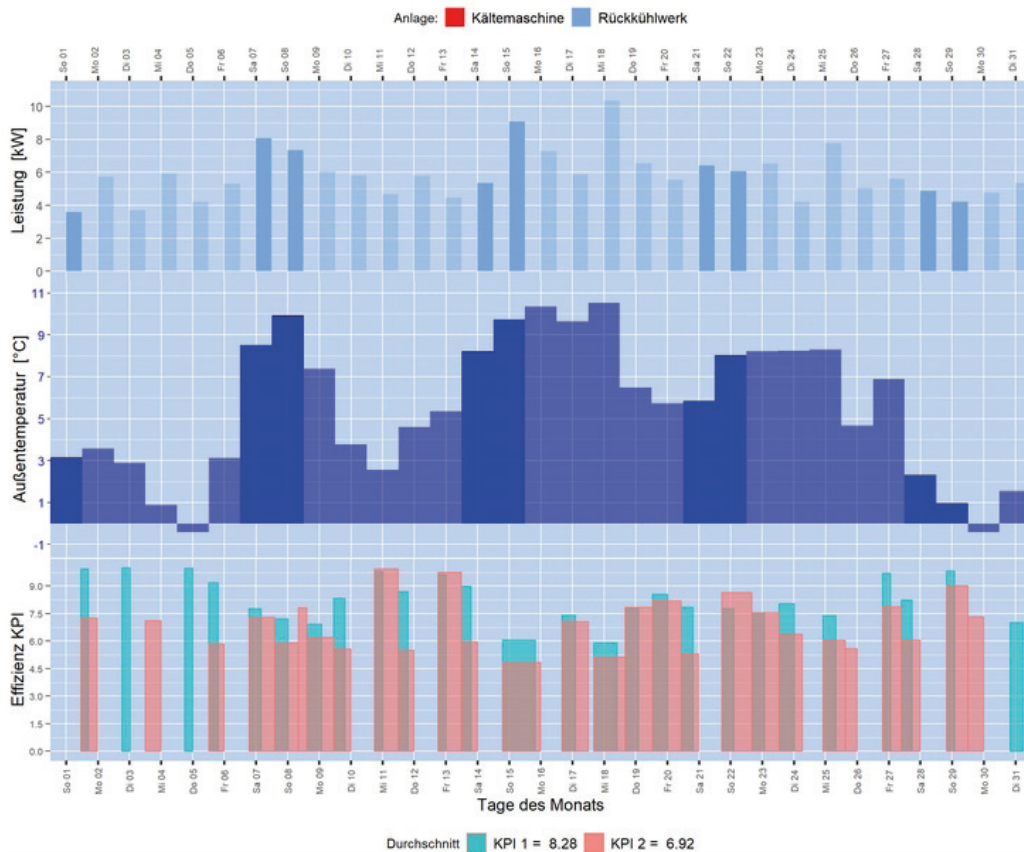


Abbildung 39: Monatsreport zu Kühlturm (Teil 2) – Leistung von Kältemaschine / Rückkühlwerk: Tagesmittelwerte von Kältemaschine / Rückkühlwerk (oben), Außentemperatur (mitte) sowie Effizienz-Kennzahlen (unten)

Außentemperatur & Systemzustand

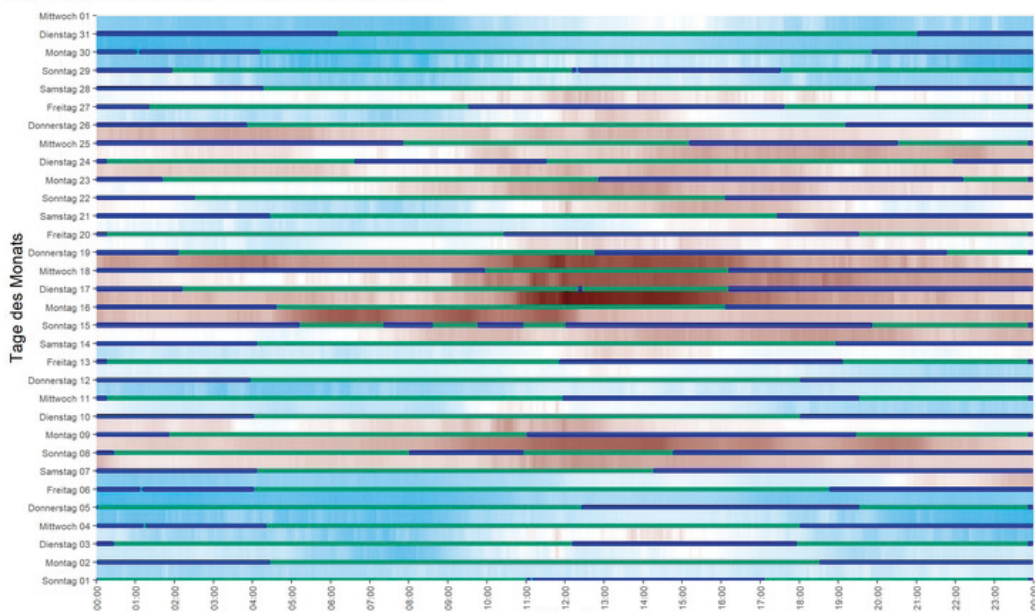


Abbildung 40: Monatsreport zu Kühlturm (Teil 3) – Heatmap zur Außentemperatur sowie der Aktivierung von Rückkühlwerk/Kältemaschine (blaue Linie: Rückkühlwerk an, grüne Linie: aus; Kältemaschine nicht aktiv in diesem Monat)

3.8.5 Monatsreport zu Warmwasser-Erzeugung

Der Monatsreport zur Warmwasser-Erzeugung zeigt wesentliche Kennzahlen (Abbildung 41 oben), sowie eine Übersicht zur benötigten Energie für Zirkulationsverluste und für den Warmwasserverbrauch (Abbildung 41 unten). Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass über 80% der benötigten Energie für Zirkulationsverluste aufgewendet werden.



DEZEMBER 2019



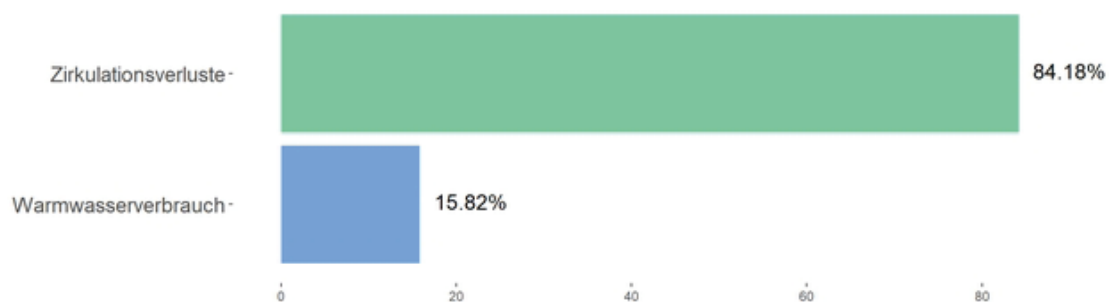
Warmwasser

Energieeintrag



Quelle	Einspeisung
Elektrisch	1209.3 kWh
Heizung	28.63 kWh
Solarthermie	60.16 kWh
Summe	1298.09 kWh

Energieverbrauch



Last	Verbrauch
Warmwasser	285.48 kWh
Zirkulationsverluste	1519.34 kWh
Summe	1804.82 kWh

Abbildung 41: Monatsreport zu Warmwasser-Erzeugung – Wesentliche Kennzahlen (oben) und Energie für Zirkulationsverluste sowie für den Warmwasserverbrauch (unten)

4 Anhang

4.1 Kennwerte und mögliche Auswertungen (Basis)

Unter Abschnitt 2.1.1 (Energieleistungskennzahlen) wurde bereits hinsichtlich Gesamtverbräuchen auf die Verwendung von Kennwerten eingegangen. Mit der untenstehenden Tabelle möchten wir eine kleine Übersicht von hauptsächlichen Kennwerten und Auswertungsmöglichkeiten darstellen, welche hilfreiche Aufschlüsse oder Informationen aus dem Monitoring liefern können und sich somit als Bewertungsgrundlagen oder für die Einrichtung regelmäßiger Reports eignen.

Die hier aufgeführten Kennwerte und Auswertungsmöglichkeiten stellen nur einen Auszug der Möglichkeiten dar. Da die individuellen Voraussetzungen und Bedürfnisse sehr unterschiedlich sind, sind der Ausgestaltung eines Monitorings keine Grenzen gesetzt.

Hinsichtlich der Details der Kennwerte und der Kennwertbildung verweisen wir auf einschlägige Fachliteratur. Im nachfolgenden Abschnitt haben wir lediglich die Kennwertbildung in Zusammenhang mit der Kälteerzeugung und Klimatisierung im Detail aufgearbeitet, da sowohl im Internet als auch in der Fachliteratur noch nicht durchgehend mit einheitlichen Begrifflichkeiten gearbeitet wird.

KENNWERTGENERIERUNG

Monitoring-bereich	Kennwert/ Auswertung 1	Kennwert/ Auswertung 2	Kennwert/ Auswertung 3	Kennwert/ Auswertung 4	Kennwert/ Auswertung 5
Strombezug	kWh/m ²	Jahresdauerlinie, verschiebbare Lasten analysieren	Grundlasten zur Kennwertbereinigung und mögliche Eigennutzung bei Selbsterzeugung	Spektralanalyse/ Headmap; Betriebs- und Nebenzeiten analysieren	Einfluss wesentlicher Verbraucher
Erdgasbezug	kWh/m ²	Jahresdauerlinie, vermeidbare Lasten/ Überdimensionierung analysieren	Grundlasten zur Kennwertbereinigung und mögliche Eigenerzeugung BHKW bewerten	Spektralanalyse/ Headmap; Betriebs- und Nebenzeiten analysieren	Einfluss wesentlicher Verbraucher
Heizung	kWh/m ²	Wirkungs-/ Nutzungsgrad %	$\Delta\theta$ Spreizung (Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf), Systemeffizienz, Pumpendimension	Überwachung Heizkurve, (Erwartungswerte und Standardabweichung)	Überwachung Heizkurve, übergeordnete Regelung nach Wetterprognosen
(Fern-) Wärme- lieferung/ Heizkreise	kWh/m ²	$\Delta\theta$ Spreizung (Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf), Systemeffizienz, Pumpendimension	Spektralanalyse/ Headmap; Betriebs- und Nebenzeiten analysieren	Überwachung Heizkurve, (Erwartungswerte und Standardabweichung)	Überwachung Heizkurve, übergeordnete Regelung nach Wetterprognosen
Raumtemperaturen	Betriebs- und Nebenzeiten analysieren	Überheizung/ Überklimatisierung	Zonenüberwachung bei Nutzungsänderungen		
Lüftungsanlage	kWh/m ³	\emptyset Volumenstrom	SFP-Wert [Ws/m ³] (nur bei Volumenstromerf.)	Predictive Maintenance / Verschmutzung Filter	
Kälte-/ Klimaanlage direkt	AZ / JAZ	EER/ESEER/TEER/ TEPF	Predictive Maintenance / Systemdruck, Verflüssiger-temperaturen		

KENNWERTGENERIERUNG (FORTSETZUNG)

Monitoringbereich	Kennwert/ Auswertung 1	Kennwert/ Auswertung 2	Kennwert/ Auswertung 3	Kennwert/ Auswertung 4	Kennwert/ Auswertung 5
Kälte-/ Klimaanlage Kaltwasser- satz	AZ / JAZ	EER/ESEER/TEER/ TEPF	$\Delta\theta$ Spreizung (Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf), Systemeffizienz, Pumpendimension	Predictive Maintenance / Systemdruck, Verflüssiger- temperaturen	Kältebereitstellung nach übergeordneter Regelung nach Wetterprognosen (Außentemp./-Feuchte)
Druckluftanlage	kWh/m ³	kW / (m ³ / min)	Leehlauf je Betriebszeit	Predictive Maintenance / Leckagen	
BHKW	kWh/a erzeugte Wärme	kWh/a erzeugter Strom	Wirkungsgrad Strom/Wärme	Jahresnutzungsgrad %	
Photovoltaik	Autarkiegrad	kWh/kWp; Verschmutzung, Alterung	Störung		
Sonstige elektr. Anlagen	kWh/spez. Produktionsparameter	Betriebs-/Standbyzeiten	Abschaltkontrolle		

Tabelle 1: Übersicht von hauptsächlichen Kennwerten und Auswertungsmöglichkeiten

4.1.1 Kältetechnik

Leistungszahl

Die Leistungszahl wird auch unter der englischen Bezeichnungen Energy Efficiency Ratio (EER) verwendet. Für Wärmepumpen ist die Bezeichnung Coefficient of Performance (COP) gebräuchlich. Dabei wird jedoch jeweils das gleiche Verhältnis von erzeugter Kälte- bzw. Wärmeleistung zu eingesetzter (i. d. R. elektrischer) Leistung errechnet:

$$EER = \frac{Q}{P}$$

(Q: Kälteleistung in [kW], P: elektrische Leistungsaufnahme in [kW])

Bei thermischen Kälteanlagen ist die Formel auf die Leistungsaufnahme der eingesetzten Wärmeenergie, die zur Regeneration des Kältesystems eingesetzt wird, abzuändern.

Die Leistungszahl ist stark abhängig vom Betriebspunkt. Bei steigenden Außentemperaturen verringert sich die EER einer luftgekühlten Kälteanlage und bei sinkenden Außentemperaturen verringert sich der COP bei luftgekühlten Wärmepumpen und umgekehrt. Schwankende Temperaturbedingungen haben Einfluss auf den Druck im System von mechanischen Kühlanlagen oder Wärmepumpen und sind daher bei Vergleichen immer mit in Betracht zu ziehen.

Für das Monitoring eignet es sich, die individuelle Kälteleistungszahl bzw. der EER einer Anlage und ihr Verhalten bei unterschiedlichen Bedingungen zu betrachten. Werden die erzeugten und eingesetzten Leistungen über eine Zeitspanne betrachtet, so erhält man Auskunft über die Effizienz über den Nutzungszeitraum und bei unterschiedlichen Temperaturbedingungen. Um Systemübergreifend vergleichen zu können, sind auch vorgeschaltete Systeme, wie z. B. Kühlturm oder Kaskade, sowie Antriebe mit einzubeziehen.

Die **Arbeitszahl AZ** ist ein Maß für die Güte einer Kältemaschine über einen längeren Zeitraum, gleich der Jahresarbeitszahl (JAZ), welche jedoch eher für Wärmepumpen Verwendung findet. Bei der AZ wird das Verhältnis von Nutzenergie zu aufgenommener Energie bewertet; es ist gegenüber der EER oder dem COP also der Faktor Zeit mit in der Berechnung enthalten.

AZ = erzeugte Kältemenge/-energie [kWh] / aufgenommene elektrische Arbeit [kWh]

ESEER

Für Kaltwassersätze wird ebenso die EER angewendet. Aber mit dem Wissen, dass ein Kaltwassersatz sehr viele Betriebsstunden im Teillastbereich arbeitet, hat die Eurovent Certification jedoch eine besser zutreffende Methode entwickelt. Für Kaltwassersätze gilt nach dem Zertifizierungsprogramm LCP (Liquid Cooler Package) ▶

die Vergleichszahl ESEER. Die European Seasonal Energy Efficiency Ratio (ESEER) bietet die Möglichkeit, die Effizienz einer Kaltwassermaschine unter Berücksichtigung der wechselnden klimatischen Bedingungen zu bewerten. Dabei wird mit der Definition von vier typischen Betriebszuständen eine durchschnittliche Leistungszahl ermittelt. Das Erreichen einer hohen Leistungszahl nach dieser Methode setzt voraus, dass ein Kaltwassersatz mit energieeffizienten Komponenten, Kältemitteln und vor allem mit einer sehr effizienten Verdichter-Leistungsregulierung ausgestattet ist. Die Anpassung der Verdichterkälteleistung an den effektiven Bedarf, durch saisonale Änderung der Betriebsbedingungen, wird also bei der ESEER berücksichtigt. Die ESEER-Zahlen treffen für europäische Standorte zu.

BEWERTUNGSSCHEMEN FÜR ESEER UND IPLV

	Teillastfaktoren	Lufttemperatur °C	Wassertemperatur °C	Bewertungsanteil
EER A	100 %	35	30	3%
EER B	75 %	30	26	33 %
EER C	50 %	25	22	41 %
EER D	25 %	20	18	23 %

EER = Energy Efficiency Ratio

ESEER = European Seasonal Energy Efficiency Ratio

$ESEER = (3 \cdot EER_{100\%} + 33 \cdot EER_{75\%} + 41 \cdot EER_{50\%} + 23 \cdot EER_{25\%}) / 100$

Tabelle 2: Berechnung des European Seasonal Energy Efficiency Ratio (ESEER) zum Vergleich mit der tatsächlichen Betriebsweise eines Kaltwassersatzes

Um sachlich korrekte Größen der Leistungsbewertung von Kälteanlagen und -systemen vorzunehmen wird vorgeschlagen, folgende (neue) Kenngrößen² zu verwenden.

Aktuell werden energetische Bewertungen von Kältemaschinen bzw. Wärmepumpen in verschiedenen Normen oder Richtlinien basierend auf zum Teil unterschiedlichen und mehrfach verwendeten energetische Kenngrößen vorgenommen, was in der Praxis häufig zur Verwirrung und Verwechslung führt:

TEER

Die leistungsbezogene Kenngröße TEER (Total Energy Efficiency Ratio) wird definiert als das Verhältnis von Nutz-Kälteleistung zur Summe der aufgenommenen

elektrischen Leistungen. Die Größe TEER ist eine Leistungszahl und erlaubt somit eine kontinuierliche Momentanbewertung des Gesamtsystems. Aus vorgenanntem Grund eignet sich diese Kenngröße gut für ein Monitoring.

TEPF

Die energiebezogene Kenngröße TEPF (Total Energy Performance Factor) ist das Verhältnis der Kälteenergie zu dem erforderlichen Energieaufwand (also Leistungsgrößen TEER x Zeit). Die Größe TEPF ist somit eine Arbeitszahl, wobei als Zeitperiode ein Tag, eine Woche, ein Monat, ein Jahr oder z.B. die Kühlperiode gewählt werden kann. Da mit dieser Größe alle elektrischen Energien inkl. der Hilfsenergien erfasst und mit der bereitgestellten Nutz-Kälteenergie ins Verhältnis gesetzt werden, ist mit dem TEPF eine Effizienzbewertung einer Kältemaschine (KM) oder eines kompletten Kälteanlagen-Gesamtsystems (KAS) im laufenden Betrieb möglich. Daher eignet sich der TEPF auch ideal für ein Langzeitmonitoring bzw. für einen regelmäßigen Report, durch welchen auch der Einfluss von Teilloptimierungen im System kontinuierlich nachgewiesen werden kann.

» KENNZAHLWAHL

Bei der **Wahl einer Kennzahl**, die Qualität eines Kälteerzeugungssystems widerspiegeln soll, ist in die ideale Ausgestaltung das gesamte System mit einzubeziehen. Hierbei würde durch die Kennzahl dann jede Detailoptimierung (z. B. durch einen neuen Ventilator im Kühlsystem, eine neue Pumpe im Kühl- oder Kältekreislauf) sowie jede sonstige Verbesserung technischer oder organisatorischer Art (natürlich auch Verschlechterung), **nachweisbar** sein.

4.1.2 Kennwertrecherche am Beispiel von Gesundheitseinrichtungen

Um die energetische Situation eines Hauses über öffentlich verfügbare Vergleichskennwerte grob bewerten zu können, haben wir für Gesundheitseinrichtungen die Ergebnisse in den nachstehenden Übersichten nach 3 Größenkategorien dargestellt. Allerdings sind die Unterschiede zu den verschiedenen Quellen (den statistischen Erhebungen) zum Teil sehr groß. Das Material für detailliertere Auskünfte bzw. Kennwerte, welche nach weiteren Kategorien sortiert wurden, ist meist nur kostenpflichtig zu erhalten. Ein Augenmerk beim Vergleich von Kennwerten sollte daher auch auf die Vergleichbarkeit hinsichtlich technischer Ausstattung und zugrundeliegender Baujahre gelegt werden.

²⁾ Vgl. Verfahren zur Bewertung der Energieeffizienz von Kälteanlagen Prof. Dr.-Ing. Martin Becker, M.Sc. Thomas Köberle, Hochschule Biberach, Studienfeld Energie & Klima, Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE), Fachgebiet Gebäudeautomation und Energiemanagement

KENNWERTE STROM

Fundstelle / ca. Erhebungsjahr	Ø	Richtwert (z.B. 25% Quantil)	Kategorie und Einheit
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, EnergieAgentur NRW (2. Auflage Oktober 2009), Kennwerte s. Seite 107 ff., Kategorien s. Seite 35	11.340	8.162	[kWh/Bett]
Begleitstudie Kennwerte zur Energieeffizienz in KMU, s. Seite 63 ff. (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH, Wien 2010)	8.257	–	[kWh/Bett]
AGES Studie 1999 (Münster 2000) KH allgemein (kategorisiert = VDI 3807), Krankenhäuser (Flächendurchschnitt 435m ²)	6.781	–	[kWh/Bett]
VDI 3807 (ca. 1999)	5.529	3.775	[kWh/Bett]
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, EnergieAgentur NRW (2. Auflage Oktober 2009), Kennwerte s. Seite 107 ff., Kategorien s. Seite 35	5.350	3.550	[kWh/Bett]
TGA (Quelle: Energiewirtschaftliche Beratungsstelle der OFD Frankfurt/Main)	43	–	[kWh/m ² BGF]
Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 7. April 2015		80	[kWh/m ² BGF]

Tabelle 3: Sortierung für Häuser von 251-450 Betten

KENNWERTE STROM

Fundstelle / ca. Erhebungsjahr	Ø	Richtwert (z.B. 25% Quantil)	Kategorie und Einheit
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, EnergieAgentur NRW (2. Auflage Oktober 2009), Kennwerte s. Seite 107 ff., Kategorien s. Seite 35	13.129	10.322	[kWh/Bett]
Begleitstudie Kennwerte zur Energieeffizienz in KMU, s. Seite 63 ff. (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH, Wien 2010)	8.249	–	[kWh/Bett]
AGES Studie 1999 (Münster 2000) KH allgemein (kategorisiert = VDI 3807), Krankenhäuser (Flächendurchschnitt 435m ²)	6.781	–	[kWh/Bett]
VDI 3807 (ca. 1999)	6.352	3.952	[kWh/Bett]
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, EnergieAgentur NRW (2. Auflage Oktober 2009), Kennwerte s. Seite 107 ff., Kategorien s. Seite 35	5.450	3.900	[kWh/Bett]
TGA (Quelle: Energiewirtschaftliche Beratungsstelle der OFD Frankfurt/Main)	43	–	[kWh/m ² BGF]
Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 7. April 2015		80	[kWh/m ² BGF]

Tabelle 4: Sortierung für Häuser von 451-650 Betten

KENNWERTE WÄRME/HEIZENERGIE

Fundstelle / ca. Erhebungsjahr	Ø	Richtwert (z.B. 25% Quantil)	Kategorie und Einheit
AGES Studie 1999 (Münster 2000) KH allgemein (kategorisiert=VDI 3807), Krankenhäuser (Flächendurchschnitt 435m ²)	27.629	–	[kWh/Bett]
Begleitstudie Kennwerte zur Energieeffizienz in KMU ,s. Seite 63 ff. (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH, Wien 2010)	23.991	–	[kWh/Bett]
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, EnergieAgentur NRW (2. Auflage Oktober 2009), Kennwerte s. Seite 107 ff., Kategorien s. Seite 35	23.044	17.563	[kWh/Bett]
VDI 3807 (ca. 1999)	20.129	14.252	[kWh/Bett]
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, EnergieAgentur NRW (2. Auflage Oktober 2009), Kennwerte s. Seite 107 ff., Kategorien s. Seite 35	20.100	14.600	[kWh/Bett]
Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 7. April 2015		175	[kWh/m ² NGF]

Tabelle 5: Sortierung für Häuser von 251-450 Betten

KENNWERTE WÄRME/HEIZENERGIE

Fundstelle / ca. Erhebungsjahr	Ø	Richtwert (z.B. 25% Quantil)	Kategorie und Einheit
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser, EnergieAgentur. NRW, 2. Auflage Oktober 2009	28.100	18.000	[kWh/Bett]
nach AGES Studie 1999 (Münster 2000) KH allgemein (kategorisiert=VDI 3807)	27.629	–	[kWh/Bett]
Begleitstudie Kennwerte zur Energieeffizienz in KMU (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH, Wien 2010)	27.031	–	[kWh/Bett]
nach VDI 3807 (ca. 1999)	26.044	16.907	[kWh/Bett]
nach EnergieAgentur NRW (2. Auflage Oktober 2009)	24.585	17.798	[kWh/Bett]
Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 7. April 2015		175	[kWh/m ² NGF]

Tabelle 6: Sortierung für Häuser von 451-650 Betten

4.2 Gesetzliche Vorgaben und Haftungsfragen

Um die verschiedenen Anforderungen der spezifischen Gesetze und Verordnungen hinsichtlich Nachweisführung und Meldepflichten verstehen zu können, soll nachfolgend am Beispiel des Energieträgers Strom ein kurzer Überblick der verschiedenen Umlagen, Abgaben und Steuern gegeben werden.³ In den kurzen Erklärungen finden Sie Informationen zu den Sachverhalten unter-

schiedlicher Preisgestaltungen und hinsichtlich nicht, teilweise oder voll privilegierter Verbrauchergruppen, welche veranschaulichen sollen, warum es die verschiedenen Melde- und Bewertungsverpflichtungen gibt.

³⁾ Ohne Gewähr und Anspruch auf Vollständigkeit. Die genannten Situationen betreffen energiewirtschaftliche Bewertungsgrundlagen, stellen aber keine Steuer- oder Rechtsberatung dar!

4.2.1 Stromsteuer

Jede Kilowattstunde (kWh) Strom wird derzeit mit einer Stromsteuer von 2,05 Cent belegt. Insbesondere für produzierende Unternehmen, land- und forstwirtschaftliche Betriebe, öffentlichen Personennahverkehr sowie der landseitigen Stromversorgung von Wasserfahrzeugen für die Schifffahrt, werden spezielle Entlastungen oder Befreiungen auf die Stromsteuer gewährt, wenn entsprechend den vorgegebenen Verfahren diese Ansprüche geltend gemacht werden.

Die Abgrenzungen von Strommengen zur „besonderen“ Stromverwendung in der Produktion, um entsprechende Entlastungsansprüche nach dem Stromsteuergesetz in Anspruch nehmen zu können, aber auch Strommengen, welche zur Verwendung durch Dritte durchgeleitet werden, sind i. d. R. zur Nachweisführung messtechnisch zu erfassen. Bei einer Vielzahl von begünstigten Prozessen in einem Unternehmen hätte eine automatisierte Auswertung einen hohen Zusatznutzen zum Monitoring.

Betreiber von Eigenerzeugungsanlagen werden ab einer gewissen Anlagengröße dazu verpflichtet sich für die steuerfreie Verwendung des eigenerzeugten Stroms eine förmliche Erlaubnis einzuholen (z. B. ab 1.000 kW einer Photovoltaikanlage oder 50 kW elektrisch eines Blockheizkraftwerks), um nicht in die Pflicht genommen zu werden Stromsteuer zahlen zu müssen. Ferner besteht in vielen Fällen, im Zusammenhang mit der Weitergabe (Durchleitung) von Strom an Dritte oder Weitergabe von eigenerzeugtem Strom, die Pflicht einer genauen Abgrenzung der Strommengen. Bei dem eigenerzeugten Strom besteht im Falle einer Nachweispflicht u. U. sogar die Notwendigkeit einer Nachweisführung mittels Abgleich von 15-Minuten Zeitintervallen von Erzeugung und Belieferung. Diese Pflichten ergeben sich aus den Regelungen für subventionierten Strom, durch Entlastung oder Vergünstigung, welcher eben nur einem bestimmten Personenkreis zusteht. Die Regelungen waren in der Vergangenheit auch öfters Thema zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der EU-Kommission, um entsprechende Gleichbehandlung zu gewährleisten.

» NACHWEISPFlicht ERMITTELN

Damit auch nur der **Stromsteueranteil begünstigt** wird, für den entsprechende gesetzliche Regelungen gelten, ist für **jeden Empfänger/Verwender zu ermitteln, welche Nachweispflichten bestehen und in welcher Weise eine eventuelle Nachversteuerung oder verminderte Entlastung zu begleichen oder auszugleichen ist.**

4.2.2 Konzessionsabgabe

Die Konzessionsabgabenverordnung (KAV) regelt die Höhe der Konzessionsabgabe (KA), welche ein „Letztverbraucher“ für den Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz zu begleichen hat. Diese Abgabe wird vom Netzbetreiber abgerechnet. Für Sondervertragskunden mit einer jährlichen Stromabnahmemenge von > 100.000 kWh wird eine deutlich geringere KA (von 0,11 Ct/kWh) fällig als für kleine und mittlere Abnehmer (Tarifkunden) unter dieser Schwelle (0,61 – 2,39 Ct/kWh je nach Größe der Kommune).

Ob Dritte, welche Strom über einen Sondervertragskunden weitergeleitet bekommen nun zwangsweise auf Grund Ihrer Abnahmemenge (im Falle < 100.000 kWh/a) der Verordnung nach als Tarifkunde gelten, scheint derzeit noch nicht klar geregelt. Jedoch gibt es vereinzelt Netzbetreiber, die entsprechend solcher Konstellationen eine Abgrenzung und gesonderte Bepreisung fordern.

4.2.3 EEG-Umlage

Jede Kilowattstunde (kWh) Strom wird derzeit mit einer EEG-Umlage von 6,756 Cent (2020) belegt. Sehr energieintensive Unternehmen können sich regelmäßig, unter gewissen Voraussetzungen, von dieser Umlage beim Stromverbrauch oberhalb von 1.000.000 kWh/a nahezu befreien lassen. Bei den Bewertungen der jeweiligen IST-Situation sind Strommengen, die nicht durch den entsprechend begünstigten Unternehmensteil verwendet werden, genau zu erfassen und zu berücksichtigen.

Für den Betrieb von Eigenerzeugungsanlagen besteht zudem die Pflicht für die Verwendung des eigenerzeugten Stroms einen Zuschlag von 40% der jeweils geltenden EEG-Umlage an den Netzbetreiber abzuführen (Ausnahmen bestehen derzeit insbesondere für Anlagen kleiner 10 kW und für „Bestandsanlagen“ die vor dem 01.08.2014 erstmals Strom erzeugt haben). Kraftwärmekopplungsanlagen müssen zudem hocheffizient sein, um nur mit der reduzierten EEG-Umlage belegt zu werden. Über verschiedene Daten solcher Eigenerzeugungsanlagen sind regelmäßige Meldungen an das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) sowie an den Netzbetreiber vorzunehmen, welche mit einer Frist belegt sind. Wird die Frist nicht eingehalten droht die volle EEG-Umlage auf den selbstverbrauchten Strom, sowie ggf. das Aussetzen von sonst beanspruchten Einspeisevergütungen nach dem EEG.

4.2.4 KWKG-Umlage

Mit den Einnahmen aus der KWKG-Umlage werden die entsprechenden Kosten aus der Förderung von Kraft-Wärme gekoppelten Kraftwerken gedeckt. ▶

Neuerdings ist eine Reduzierung der KWKG-Umlage nur noch über die besondere Ausgleichsregelung gem. §§ 63 ff. EEG möglich. Alle Stromverbraucher, die keine Privilegierung im Rahmen der besonderen Ausgleichsregelung in Anspruch nehmen, müssen für den gesamten Stromverbrauch die volle KWKG-Umlage zahlen. Bei Privilegierung wird eine deutlich vergünstigte Umlage oberhalb von 1.000.000 kWh/a gewährt.

4.2.5 § 19 StromNEV-Umlage

Nach der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV) können Letztverbraucher ein individuelles Netzentgelt gemäß § 19 Abs. 2 Satz 1 bzw. Satz 2 StromNEV beantragen. Die Betreiber von Übertragungsnetzen sind verpflichtet, entgangene Erlöse, die aus individuellen Netzentgelten resultieren, nachgelagerten Betreibern von Elektrizitätsverteilernetzen zu erstatten. Die Übertragungsnetzbetreiber haben diese Zahlungen sowie eigene entgangene Erlöse untereinander auszugleichen. Die entgangenen Erlöse werden als Aufschlag auf die Netzentgelte (§ 19 StromNEV-Umlage) anteilig auf alle Letztverbraucher (LV) umgelegt.

Für große Abnehmer gibt es zudem die Möglichkeit, durch regelmäßige Meldungen, eine deutlich vergünstigte Umlage oberhalb von 1.000.000 kWh/a in Anspruch nehmen zu können. Soweit mehr als eine rechtliche Person den Strom nutzt (z. B. durch Vermietung, Funkantenne, Dauerbaustelle, Kantinenbetreiber, unentgeltliche Nutzung von Räumlichkeiten durch Dienstleister oder verschwierte Unternehmen, Laden von Elektrofahrzeugen usw.), ist eine rechtskonforme Bewertung und ggf. Nachweisführung der unterschiedlichen Abnehmer und Verbrauchsstellen an einer Lieferstelle notwendig.

4.2.6 Offshore-Netzumlage

Mit den Einnahmen aus der Offshore-Netzumlage werden die entsprechenden Kosten aus Entschädigungen bei Störungen oder Verzögerung der Anbindung von Offshore-Anlagen sowie die Kosten aus der Errichtung und dem Betrieb der Offshore-Anbindungsleitungen gedeckt.

Neuerdings ist eine Reduzierung der Offshore-Netzumlage nur noch über die Besondere Ausgleichsregelung gem. §§ 63 ff. EEG möglich. Alle Stromverbraucher, die keine Privilegierung im Rahmen der besonderen Ausgleichsregelung in Anspruch nehmen, werden für den gesamten Stromverbrauch die volle Offshore-Umlage zahlen. Bei Privilegierung wird eine deutlich vergünstigte Umlage oberhalb von 1.000.000 kWh/a gewährt.

4.2.7 Umlage für abschaltbare Lasten

Die Übertragungsnetzbetreiber haben durch die Abschaltbare Lasten Verordnung (AbLaV) die Möglichkeit eine Ausschreibung durchzuführen, an der Anbieter teilnehmen können, die zuverlässig ihre Verbrauchsleistung auf Anforderung der Übertragungsnetzbetreiber um eine bestimmte Leistung reduzieren können. Die Kosten für die Bereitstellung und die Abschaltung der Last werden über die Abschaltbare Lasten-Umlage gedeckt. Die Umlage findet auf den gesamten Letztverbrauch je Abnahmestelle Anwendung.

4.3 Abkürzungen

ABKÜRZUNGEN UND BEDEUTUNG

BACne	Building Automation and Control Networks
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Blockheizkraftwerken
BNetzA.	Bundesnetzagentur
DDC	Direct Digital Control
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnPI	Energy performance indicator
GLT	Gebäudeleittechnik
KA	Konzessionsabgabe
KAV	Konzessionsabgabenordnung
KPI	Key-Performance-Indicator bzw. Leistungskennzahl
KWK	Kraftwärmekopplungsanlagen
KWKG	Kraftwärmekopplungsgesetz
M-Bus	Meter Bus
NB	Netzbetreiber
Profinet	Process Field Network
SEU	Serial energy use
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
StromStG	Stromsteuergesetz
TeBIS	Technisches Betriebs-Informationssystem (Data Warehouse der Steinhilfs Informationssysteme GmbH)

Tabelle 7: Im Leitfaden verwendete Abkürzungen

4.4 Literatur

Weitere Leitfäden im Bereich Energiemanagement:

- Energiemanagementsysteme in der Praxis, Vom Energieaudit zum Managementsystem nach ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen, Dezember 2019 (Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit)
- KomEMS-Leitfaden 2018, Energiemanagement in Kommunen, Eine Praxishilfe (Herausgeber: Energieagenturen KEA, LENA, SAENA, ThEGA)
- Messleitfaden ENERGIEWENDEBAUEN, Hrg.: Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN, 2018, www.energiewendebauen.de (Zugriff 14.5.2020), ISBN 978-3-942789-87-5
- Monitoring Leitfaden Supermarkt, Monitoring-Leitfaden für die energetische Bewertung von Supermarkt und Discounter-Gebäuden, Dezember 2014 (Hochschule Biberach, Prof. Dr.-Ing. Becker und Prof. Dr.-Ing. Koenigsdorff)
- Betriebsoptimierung in komplexen Nicht-Wohngebäuden, September 2014 (Forschungsinitiative Zukunft Bau, Dr.-Ing. Plesser)
- Technisches Monitoring 2017, Technisches Monitoring als Instrument der Qualitätssicherung, (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, Berlin)
- In 18 Schritten und 5 Stufen zum effizienten Energiemanagement nach ISO 50001, ein Leitfaden November 2009 (Prof. Dr.-Ing. Lieback, GUTcert Berlin)
- Energiemanagement Potenziale zur Energieeinsparung Mai 2010 (EnergieAgentur NRW)
- Planungsleitfaden energetisches Monitoring von gebäudetechnischen Anlagen, Oktober 2012 (Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V., Fachverband Gebäude Klima e.V.)



VERÖFFENTLICHUNGEN MIT KENNWERTBETRACHTUNGEN UND-AUSWERTUNGEN

Titel	Infos
Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand	Herausgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Auftraggeber: Dr. Worm und Rathert Ausgabe: EnEV Nr. 133, S. 3136 bis S. 3163, 7. April 2015 Verlags- und Herstellungsort: Berlin URL (Zugriff 7.7.2020): http://www.coaching-kommunaler-klimaschutz.de/fileadmin/inhalte/Dokumente/StarterSet/BMVBS_Energieverbrauchskennwerte_und_der_Vergleichswerte_im_Nichtwohngeb%C3%A4udebestand.pdf
Umweltbundesamt, Klimafreundliche Gebäudeklimatisierung	Herausgeber: Umweltbundesamt Fachgebiet III 1.4, Postfach 14 06, 06844 Dessau-Roßlau Ausgabe: ISSN 2363-8311/ISSN 2363-8311, Juli 2014 Autoren: Myrea Richter, Dr. Mathias Safarik, Carsten, Heinrich Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gGmbH Verlags- und Herstellungsort: Dessau-Roßlau
Modal- und Richtwertnutzungsspezifischer Energieverbräuche / Nutzungsarten nach VDI 3807	Herausgeber: ages GmbH, Klosterstraße 3, 48143 Münster
Endbericht Begleitstudie Kennwerte zur Energieeffizienz in KMU, Energieinstitut der Wirtschaft GmbH	Herausgeber: Energieinstitut der Wirtschaft GmbH Webgasse 29/3, 1060 Wien Autoren: DI Friedrich Kapusta, Mag. Sonja Starnberger, DI Doris Mandl Auftraggeber: Klima- und Energiefonds Verlags- und Herstellungsort: Wien 2010
Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser	Herausgeber: EnergieAgentur.NRW / Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes NRW Haroldstraße 4, 40213 Düsseldorf Ausgabe: 2. Auflage 10/2009 und 03/2010 Verlags- und Herstellungsort: Düsseldorf
Kriterien für das BUND-Gütesiegel „Energie sparendes Krankenhaus“	Herausgeber: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Landesverband Berlin e.V. Crellestraße 35, 10827 Berlin Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Ausgabe: 16. Januar 2017 Energiewende, Klimawandel, Nachhaltigkeit, Ressourcen & Technik Verlags- und Herstellungsort: Berlin URL (Zugriff 7.7.2020): https://energiesparendes-krankenhaus.de/download/2018_Projektinformation%20zum%20BUND-Siegel_farbig.pdf
Teilenergiekennwerte – Neue Wege in der Energieanalyse von Nichtwohngebäuden im Bestand	Herausgeber: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt Ausgabe: 1. Auflage 2014, ISBN: 978-3-941140-38-7, IWU- Bestellnr.: 05/14 Verlags- und Herstellungsort: Darmstadt, 29.04.2014 URL (Zugriff 7.7.2020): https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/tektool/TEK_Zusammenfassung_HLH_Endfassung.pdf
Kälte effizient erzeugen - Das Wichtigste zur Kälteerzeugung nach SIA 382/1	Herausgeber: EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen Ausgabe: 2014 Verlags- und Herstellungsort: CH - Ittigen

VERÖFFENTLICHUNGEN MIT KENNWERTBETRACHTUNGEN UND-AUSWERTUNGEN

Titel	Infos
Druckluft; Störungsfreie, kostengünstige und energieeffiziente Bereitstellung, Teilnehmerunterlage aus dem Impuls-Programm RAVEL	Herausgeber: Energieagentur NRW REN Impuls-Programm RAVEL NRW Kasinostraße 19–21, 42103 Wuppertal Verlags- und Herstellungsort: Wuppertal URL (Zugriff 7.7.2020): http://www.energie-im-unternehmen.de/downloads/druckluft.pdf
Leistungszahlen für Kälte-, Klima- und Wärmepumpensysteme	Herausgeber: Friscaldo Industriekälte, Gewerbekälte, Klimakälte Ausgabe: 01/2008 URL (Zugriff 7.7.2020): http://www.reftec.ch/downloads/Leistungszahlen.pdf
Verfahren zur Bewertung der Energieeffizienz von Kälteanlagen sowie Typisierung der Wärme und Kälteversorgung	Herausgeber: © Prof. Dr.-Ing. Martin Becker, M.Sc. Thomas Köberle, Hochschule Biberach Karlstraße 11, 88400 Biberach Auftraggeber: ZVKKW Bahnhofstraße 27, 53721 Siegburg Ausgabe: 5. ZVKKW Supermarkt - Symposium 2014, Darmstadt, 27. März 2014 Verlags- und Herstellungsort: Darmstadt
Energieeffizienz konkret. – nach EURO-VENT-Richtlinie oder RLT-Richtlinie des Herstellerverbands RLT-Geräte e.V.	Herausgeber: robatherm Industriestrasse 26, 89331 Burgau Ausgabe: 04/ 2016 Verlags- und Herstellungsort: Burgau URL (Zugriff 7.7.2020): https://www.robatherm.com/de/system/files/robatherm_Energieeffizienz_deu.pdf
Komfortlüftung.at Info Nr. 24 SFP von Lüftungsanlagen	Herausgeber: Verein komfortlüftung.at Stuttgarterstr. 43, 6330 Kufstein Ausgabe: 15.2.2014 Autoren: DI Andreas Greml, DI Roland Kapferer, Ing. Wolfgang Leitzinger Verlags- und Herstellungsort: Kufstein URL (Zugriff 7.7.2020): http://www.komfortlüftung.at/fileadmin/komfortlueftung/EFH/komfortlueftung.at_-_Info_Nr._24_SFP_V_2.0.pdf
Leitfaden für Audits an Lüftungsanlagen, klima: aktiv, Österreichische Energieagentur	Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft , Umwelt und Wasserwirtschaft Stubenbastei 5, A-1010 Wien Verfasser: Christoph Gerstbauer, B.Sc., Österreichische Energieagentur Mitarbeit: Mag. DI Konstantin Kulterer, DI (FH) Georg Geissegger, Österreichischer Energie Agentur, Ing Sighart Brunner Walter Bösch GesmbH& Co KG, Christian Gorbach Ziehl Abegg GesmbH Verlags- und Herstellungsort: Wien
Lindab GmbH, Energieeinsparung in RLT-Anlagen, Verbesserung der spezifischen Ventilatorleistung mit dichteren Luftleitungen	Herausgeber: Lindab GmbH Carl-Benz-Weg 18, 22941 Bargteheide Autoren: Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Luft Ausgabe: Taschenbuch für Heizung+Klima Technik, Recknagel, Sprenger, Schramek, Oldenbourg Industrieverlag, ISBN 3-486-26534-2 Verlags- und Herstellungsort: Oldenbourg



Redaktion

Fraunhofer-Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
Dr. Thomas Bernard, Jorge Thomas
Fraunhoferstraße 1, 76131 Karlsruhe

Effizienz Börse Deutschland GmbH
Christoph Schüring, Philippe Redlich
Ölschlägerweg 3, 73773 Aichwald

Gossen Metrawatt GmbH
Sebastian Otte
Südwestpark 15, D-90449 Nürnberg

Klaus Weiss Elektroanlagen GmbH
Peter Wöhr
Schurwaldstraße 7, 73765 Neuhausen

Steinhaus Informationssysteme GmbH
Marc und Alexander Steinhaus, Dr. Martin Beisiegel
Zum Wetterschacht 55, 45711 Datteln

KEK – Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur gGmbH
(Herausgeber)
Monika Wilkens, Hannah Ritter
Hebelstraße 15, 76133 Karlsruhe



Das Projekt EffMon wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderprogrammes KMU innovativ Ressourceneffizienz und Klimaschutz, Themenfeld Energieeffizienz/Klimaschutz (Förderkennzeichen 01LY1513A-G, betreut vom DLR Projektträger).

DOI: [10.24406/iosb-n-618598](https://doi.org/10.24406/iosb-n-618598)

Gestaltung:
ms-simply.media, Gaggenau

Bildquelle:
Vom Konsortium erstellt, das Urheberrecht für die Grafiken liegt beim Projektkonsortium