

EKG für gebäudetechnische Anlagen

Ein standardisiertes prozessorientiertes Verfahren der messwertgestützten Analyse von gebäudetechnischen Anlagen nach DIN EN 15378 zur Verbesserung der Energieeffizienz im geringinvestiven Bereich

Das auf Grundlage der DIN EN 15378 entwickelte ratioenergie®-Anlagen-EKG analysiert den Wärmeerzeuger in Interaktion mit dem hydraulischen System und dem Nutzer ohne Eingriff in das Gesamtsystem, zeigt Anlagenmängel auf und gibt Hinweise zu Optimierungsmöglichkeiten. Unterstellt man einen – durch Einsatz des ratioenergie®-Anlagen-EKG in Verbindung mit der Umsetzung geringinvestiver Maßnahmen – vermeidbaren Mehrverbrauch an Energie von ca. 15 %, ergibt sich bei ca. 19 Mio. Heizanlagen in Deutschland ein jährliches Einsparpotenzial von ca. 3.800 Mio. Liter Heizöl und ca. 4.300 Mio. m³ Erdgas. Das entspricht einer Reduzierung der CO₂-Emissionen von 20 Mio. Tonnen bzw. Einsparungen von 5 Mio. €. Die von allen Seiten zu Recht geforderte Reduzierung der CO₂-Emissionen im Bereich der Wärmeversorgungsanlagen rückt damit in greifbare Nähe.



Dr. Stephan Ruhl,
RUHL Gebäudetechnik
GmbH.

Dr.-Ing. Martin Donath,
ratioservice AG.

dulen die notwendige Abstimmung von Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe meist nicht erfolgt bzw. mangelhaft durchgeführt wird. Dies führt zu erheblichen Mängeln im Betriebsverhalten, die nicht nur negative energetische Effekte, sondern auch erhöhten Verschleiß oder häufigen Funktionsausfall mit entsprechenden Kosten für Reparatur und Wartung zur Folge haben. Überdimensionierte Wärmeerzeuger, überhöhte Systemtemperaturen und zu große Pumpenleistungen seien an dieser Stelle nur beispielhaft erwähnt. Die im Bild 2 dargestellte Fehlerkette zeigt, wie bei der Erstellung einer Anlage die Fehler

aufsummiert werden und dementsprechend eine Kette von „Verursachern“ entsteht. Das Koordinatensystem zeigt auf der Ordinate die Anlageneffizienz und auf der Abszisse die Zeit. Die technische Entwicklung wurde als abstrahierte e-Funktion hinterlegt. Damit ist auch erkennbar, dass der energetische Sollzustand einer Anlage nur auf den technischen Stand geführt werden kann, auf dem das Konzept erstellt wurde.

Die Abweichung des Anlagen-Ist-Zustandes von dem bei Anlagenkonzeption definierten Soll-Zustand zeigt das Energieeinsparpotenzial auf. In der Konsequenz eröffnet sich für

Problemstellung

Bei einem erheblichen Teil der technischen Anlagen in Gebäuden besteht eine signifikante Differenz zwischen energetischem Soll-Zustand und energetischem Ist-Zustand. Die Soll-Ist-Abweichung kann sich aus Anlagenmängeln, nutzungsbedingtem Verschleiß, technischem Fortschritt, veränderten Nutzungsanforderungen oder auch veränderten gesetzlichen Bestimmungen ergeben. Dies bewirkt in der Heizungstechnik einen signifikanten Mehrverbrauch an Energie in der Größenordnung von durchschnittlich 15 %.

Das folgende Energieflussbild (Bild 1) demonstriert an einem Beispiel die Verluste, die bei der Erwärmung von Trinkwasser in einem untersuchten Gebäude der öffentlichen Hand entstanden sind. Aus der Energie des verbrannten Heizöls sind in diesem Fall nur 13 % Wärme in das Trinkwasser übertragen worden, 87 % sind Energieverluste.

Die Ursachenanalyse zeigt, dass bei der Errichtung der Anlagentechnik, einer Sanierung oder einem Austausch von Mo-

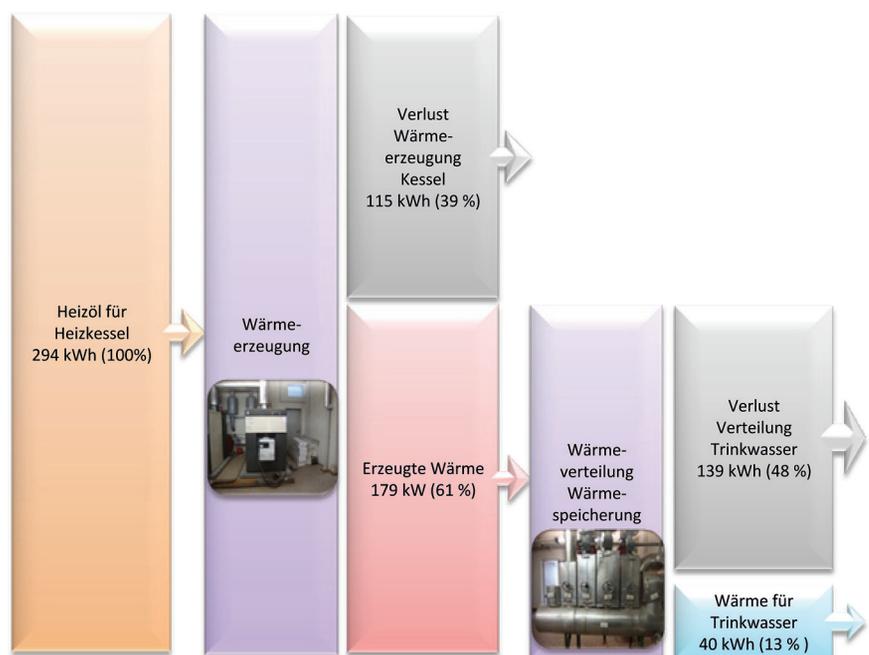


Bild 1: Energieflussbild Trinkwassererwärmung.

den Anlagenbetreiber damit ein erhebliches Energie- und Kosteneinsparpotential durch geringinvestive Maßnahmen, das es systematisch zu heben gilt. Geringinvestiv oder nichtinvestiv bedeutet, dass sich die Maßnahmen innerhalb kurzer Zeit, meist unterjährig amortisieren. Andererseits verursacht das Hinauszögern von Optimierungsschritten kumulierende Kosten.

Erfahrungsgemäß waren die Nutzer bzw. Betreiber der Gebäude bisher kaum in der Lage, dieses Einsparpotential durch eine Optimierung zu erschließen. Erst die prozessgeführte systematische Analyse des Anlagen-Ist-Zustandes und damit die Erfassung und Bewertung der Abweichung vom anlagentechnischen Optimum ist für den Anlagenbetreiber Voraussetzung, um das Einsparpotential zu quantifizieren und mögliche Energieeinsparungen generieren zu können. Das Bild 3 „Optimierungskette“ zeigt die einzelnen Prozessphasen.

Es wird wieder das gleiche Koordinatensystem verwendet. Zunächst werden alle Gebäude innerhalb des verwalteten Bestandes mittels einer Grobanalyse nach Kriterien gewichtet. Dies kann z. B. der verbrauchsbasierte Energieausweis sein. Die „Ausreißer“ werden selektiert und einer Feinanalyse unterzogen, aus der sich die konkreten Einsparpotenziale und Handlungsempfehlungen ergeben. Aus dem zeitlichen Abstand zwischen der damaligen Errichtung der Anlage und dem Beginn des Prozesses der Energieeinsparung ergibt sich eine Weiterentwicklung des Standes der Technik, so dass die Möglichkeit der Energieeinsparung durch eine investive Erneuerung der Anlage nach Analyse des Ist-Zustandes in Betracht zu ziehen ist. Dies ist der Fall, wenn die Anlage technisch so verschlissen ist, dass sich eine Optimierung nicht mehr lohnt. Alternativ kann durch die nicht- oder geringinvestiven Maßnahmen die Anlage optimiert werden und der geeignete Zeitpunkt für die Erneuerung vorbereitet werden. In dieser Periode werden jedoch schon in hohem Maße Kosten eingespart.

Aus der Komplexität und Verschiedenheit der eingesetzten Systemtechnik, der meist kaum dokumentierten Historie der Maßnahmen am Gebäude und der Anlage und der notwendigen Einbeziehung des Nutzerverhaltens ergaben sich in der Praxis das bisher nicht gelöste Problem einer wirtschaftlichen Analyse des Ist-Zustandes und das Problem, den Sollzustand der jeweiligen Anlage zu definieren. Limitierende Faktoren sind dabei speziell die Verfügbarkeit und die Kosten der dafür benötigten Experten sowie die Verfüg-

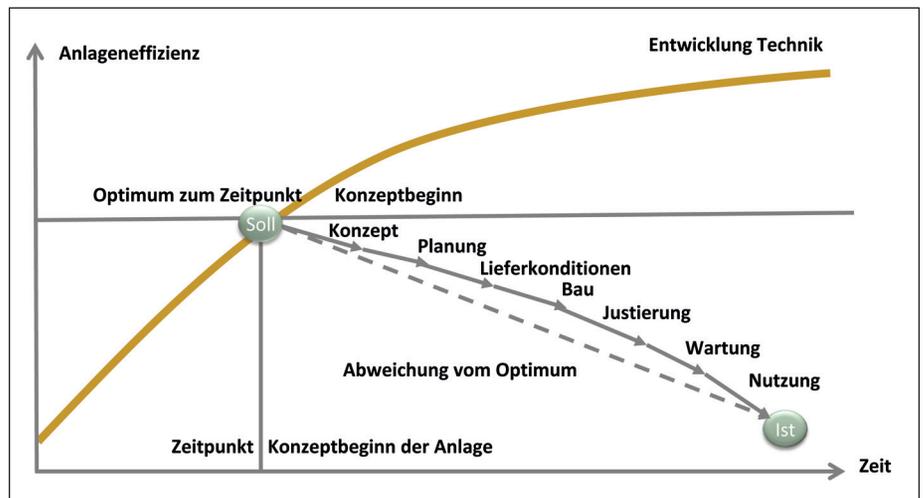


Bild 2: Fehlerkette.

barkeit von anwendbaren Mess- und Datenverarbeitungssystemen.

Lösungsansatz

Zur Ermittlung des Ist-Zustandes von Anlagen sind konkrete Verfahrenshinweise in der im Juli 2008 veröffentlichten Norm „Heizungssysteme in Gebäuden – Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen“ in der deutschen Fassung EN 15378:2007 zu entnehmen. Die DIN EN 15378 unterscheidet dabei zwischen einer wiederkehrenden Inspektion und einer einmaligen Inspektion.

Während sich die wiederkehrende Inspektion lediglich auf die energetische Effizienz des Wärmeerzeugers bezieht und dabei die Trinkwasserbereitung unberücksichtigt lässt (vgl. 1. BImSchV sowie KÜO), umfasst die im weiteren näher betrachtete einmalige

Inspektion die gesamte Heizungs- und Trinkwassererwärmungsanlage und hat das Ziel, das Energieeinsparpotential der Anlagentechnik zu ermitteln, um sinnvolle Alternativen zur Verbesserung der Energieeffizienz der gesamten Anlagentechnik abzuleiten. Hierbei stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl, die sich bezüglich des Aufwandes und der Qualität der erzielten Ergebnisse unterscheiden:

- Inspektion über ein vereinfachtes Verfahren mittels Checkliste (geeignet)
- Inspektion nach einem Analyseverfahren (exzellent)
- Inspektion im Rahmen der Aufnahme eines Gebäudes und der Heizungsanlage zur Ermittlung des Energiebedarfs nach DIN V 4701-10 in Verbindung mit DIN V 4701-12 und PAS 1027 bzw. DIN V 18599 (exzellent)

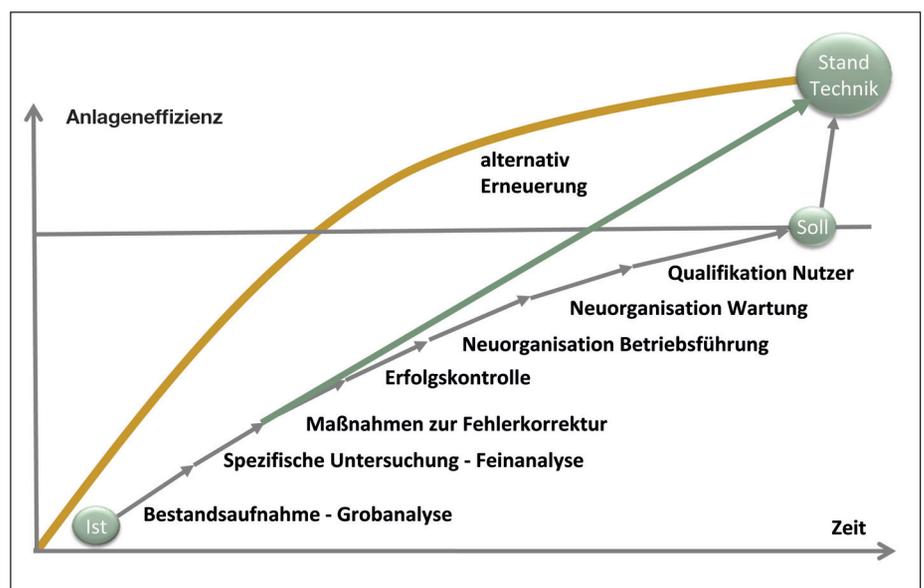


Bild 3: Optimierungskette.

Das „ratioenergie®-Anlagen-EKG“ entspricht dabei der als „exzellent“ bewerteten Inspektion mittels Analyseverfahren. Im Einzelnen sind beim Analyseverfahren

- alle wesentlich relevanten Komponenten der Anlage zu erfassen,
- eine messtechnisch gestützte hochauflösende Erfassung des Betriebsverhaltens über einen typischen Temperaturzyklus von mindestens 24 Stunden vorzunehmen,
- subjektiv bedingte Faktoren weitgehend auszuschließen,
- die Reproduzierbarkeit von Datenerfassung und Berechnung zu gewährleisten, sowie
- eine hohe Ergebnisgenauigkeit, Neutralität und eine positive Kosten-Nutzen-Relation sicher zu stellen.

Im Ergebnis fordert die Norm

- die Ermittlung des Nutzungsgrades der Wärmeerzeugung unter Berücksichtigung der energetisch relevanten Größen,
- die Ermittlung der Parameter des Betriebsverhaltens der Anlagentechnik mit differenzierter Herausarbeitung der regelungstechnischen und komponentenbedingten Mängel,
- Ermittlung der Heizlast bzw. des Gebäudeanschlusswerts, und
- die Berechnung und Bewertung der objektbezogenen Energieeffizienz und des anlagentechnisch bedingten Einsparpotenzials.

Vorgehensweise

Mit dem messwertgestützten mobilen Datenerfassungs- und Auswertesystem ratioenergie®-Anlagen-EKG wird durch die ratioservice AG eine direkte und für jedes Fachunternehmen praktikable Verfahrensumsetzung der DIN EN 15378 zur Verfügung gestellt. Die bisherige unstrukturierte und objektorientierte Vorgehensweise bei der Entscheidungsfindung, Planung und Durchführung von Energieeinsparmaßnahmen in der Anlagentechnik wurde durch eine standardisierte prozessorientierte Vorgehensweise ersetzt und ein universell

anwendbares Werkzeug zur Energieeinsparung durch Optimierung von Heizungsanlagen entwickelt. Das Anlagen-EKG wurde vom TÜV Rheinland unter der ID 27441 als geprüfte technische Dienstleistung unter „www.tuv.com“ registriert und wird mittlerweile deutschlandweit angeboten.

Zu beachten ist, dass auch bei der Anwendung des Verfahrens nach DIN EN 15378 die Norm DIN ISO 50001 Energiemanagementsysteme zu berücksichtigen ist. Danach ist die energetische Optimierung einer Anlage nicht als einmaliger Akt sondern als Prozess der kontinuierlichen Verbesserung zu betrachten, er wird daher auch als PDCA-Prozess entsprechend Bild 4 bezeichnet. PDCA steht für Plan, Do, Check, Act. Die in den nachfolgenden Beschreibungen zur besseren Übersichtlichkeit linear dargestellten Abläufe sind deshalb in diesen Kreisprozess einzubinden.

Die Abbildung in Bild 5 zeigt den Verfahrensablauf des Mess- und Analyseprozesses, beginnend mit der Daten- und Messwertfassung, auf deren Grundlage die computerunterstützte Expertenanalyse erfolgt, die dann im Rahmen der Anlagendiagnose in einem Gutachten dokumentiert wird. Die Durchführung dieser Mess- und Analyseleistung wird dabei durch verschiedene miteinander verknüpfte Softwaremodule unterstützt.

Die Messwertfassung erfolgt mit Hilfe einer mobilen Messeinheit. Über einen Messzyklus von 24 Stunden werden im 12-Sekundenintervall Abgasparameter des Wärmeerzeugers, Volumenströme der Wärmeverteilung, Vor- und Rücklauftemperaturen der Verbraucher, Außentemperaturen und Raumreferenztemperaturen erfasst. Für die Messung werden mobile Fühler, Datenlogger

und Messboxen verwendet sowie Daten von fest installierten Systemen genutzt.

Im standardisierten Verfahren werden die Messstellen in Abhängigkeit von der Anlagenkomplexität und der Analysezielsetzung definiert. Das Bild 6 zeigt ein im Verfahren elektronisch erstelltes Fühlerschema für eine einfache Anlage mit einem Wärmeerzeuger, einem Heizkreis und einer Warmwasserbereitung. Die Bedeutung ist in Tabelle 1 erklärt. Mit diesen Messwerten und den anschließenden Berechnungsschritten kann der Energiefluss in der Anlage abgebildet und ausgewertet werden.

Zur Vorbereitung einer zielführenden Optimierung, Sanierung, Modernisierung oder eines Energieträgerwechsels erfolgt nach der Messwertfassung eine softwarebasierte Analyse durch einen qualifizierten Ingenieur mit Hilfe des ratioservice-Expertensystems. Das „Anlagen-EKG“ entspricht im Modell dem aus der Medizin bekannten EKG.

Während in der Medizin eine messwertbasierte Analyse des Messobjektes „Herz“ in Interaktion mit dem Blutkreislauf ohne Eingriff in den Organismus erfolgt, wird beim ratioenergie®-Anlagen-EKG eine messwertbasierte Analyse des Messobjektes „Wärmeversorger“ in Interaktion mit dem hydraulischen System und dem Nutzer ohne Eingriff in die Anlage vorgenommen. Im Ergebnis liefert das Anlagen-EKG eine grafische Darstellung des Betriebsverhaltens der Anlage, wie in Bild 7 (rechts) dargestellt.

Die grafische Darstellung der Messwerte ermöglicht dem Techniker eine erste Bewertung der Anlage und dient dem Experten als Ausgangsbasis für den weiteren Auswertungsprozess. Mit Hilfe des interaktiven Expertensystems werden alle Messwerte im

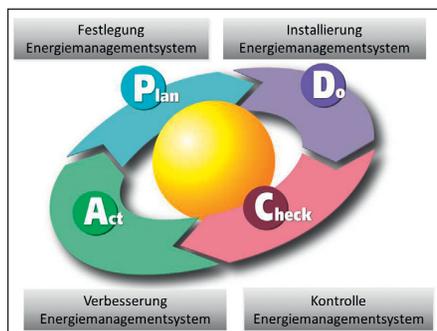


Bild 4: PDCA Prozess.

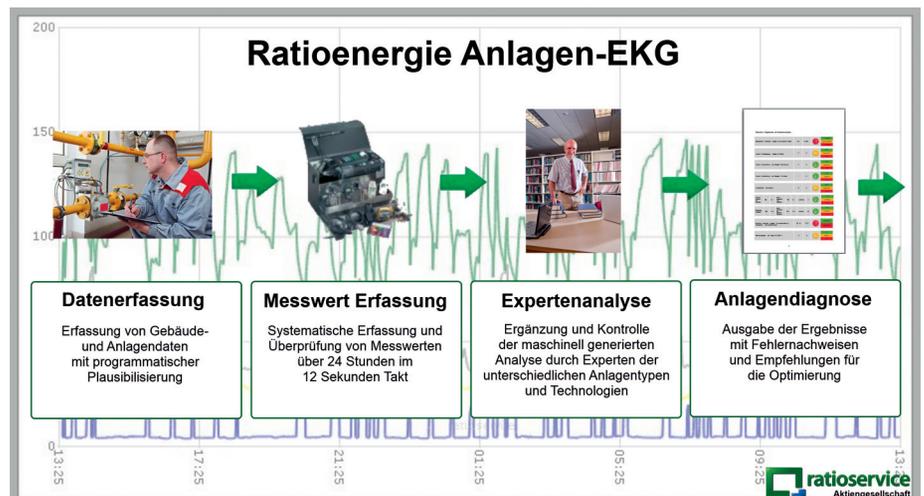


Bild 5: Verfahrensablauf des Mess- und Analyseprozesses.

Rahmen der Expertenanalyse hinsichtlich erkennbarer Anlagenmängel analysiert. Das Expertensystem ist im derzeitigen Entwicklungsstand in der Lage ca. 120 unterschiedliche Anlagenmängel regelbasiert zu erkennen. Das System wird ständig weiterentwickelt.

Die automatisch detektierten Anlagenmängel werden in einem zweiten Schritt durch den Experten teilautomatisiert validiert und im Rahmen der Detailanalyse weiter spezifiziert. Es erfolgt eine teilautomatisierte Bewertung der detektierten Anlagenmängel hinsichtlich erzielbarer Energieeinsparungen. Dies ermöglicht die Zuordnung anlagenspezifischer Optimierungsempfehlungen. Dabei wird zwischen nichtinvestiven und geringinvestiven Optimierungsmaßnahmen sowie investiven Maßnahmen im Rahmen eines Anlagensatzes unterschieden.

Die dann im Rahmen der Expertenanalyse erstellte Expertise gibt nicht nur Auskunft über die aktuellen Anlagenparameter, das hydraulische System, die reale Heizlast bzw. den Gebäudeanschlusswert, sondern enthält auch optimierte Einstellparameter für die Heizkurven und gibt mit dem berechneten Nutzungsgrad Auskunft über die Energieeffizienz der Gesamtanlage. Aus dem Vergleich der Energieverbrauchswerte vor und nach Optimierung wird eine Prognose der Energieeinsparung nach DIN EN 15378 vorgenommen.

Auf Basis dieser Expertise kann der Anlagenbetreiber bzw. der Gebäudeeigentümer die technische Umsetzung der Empfehlungen entsprechend des vereinbarten Servicelevels zur Fehlerbeseitigung und Optimierung auslösen und damit das objektspezifische Einsparpotenzial nutzen. Die Nachkontrolle erfolgt im Rahmen eines Optimierungsschecks. Der Verfahrensablauf wird in Bild 8 dargestellt.

Um langfristig die Energieeffizienz der Anlagen sicherzustellen, kann im Anschluss an die Optimierung eine Permanentüberwachung installiert werden. Dabei wird die bereits erstellte Sollwertstruktur aus der vorangegangenen Analyse genutzt, die Zahl der Messstellen auf die für die Permanentüberwachung signifikanten Indikatoren reduziert und so die ständige und autarke Überprüfung der Nachhaltigkeit der erzielten energieeffizienten Arbeitsweise ermöglicht. Den Betreibern werden diese tagesaktuellen Informationen über den energieoptimalen Betrieb sämtlicher Anlagen über eine Software oder einen Internetzugang zur Verfügung gestellt. Dazu erfolgt eine kontinuierliche automatisierte Auswertung der

Kurzzeichen	Bedeutung	Dimension
M	Brennstoffmassenstrom (z. B. Erdgas H)	[m ³ /h]
VL	Temperatur Verbrennungsluft	[°C]
AT	Abgastemperatur	[°C]
O2	Konzentration Sauerstoff im Abgas	[%]
CO	Konzentration Kohlenmonoxid im Abgas	[ppm]
VK	Vorlauftemperatur Kessel	[°C]
RK	Rücklauftemperatur Kessel	[°C]
VS	Vorlauftemperatur Speicherladung	[°C]
RS	Rücklauftemperatur Speicherladung	[°C]
VZ	Entnahmetemperatur Warmwasser	[°C]
RZ	Eintrittstemperatur Zirkulation	[°C]
VH	Vorlauftemperatur Heizkreis	[°C]
RH	Rücklauftemperatur Heizkreis	[°C]
TeAu	Außentemperatur	[°C]
FRA	Relative Luftfeuchte im gemessenen Referenzraum	[%]
TRA	Temperatur im gemessenen Referenzraum	[°C]

Tabelle 1: Bedeutung der Fühlerbezeichnungen.

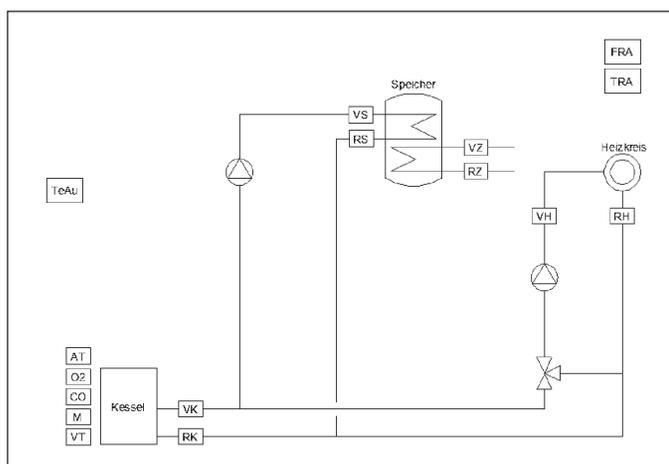
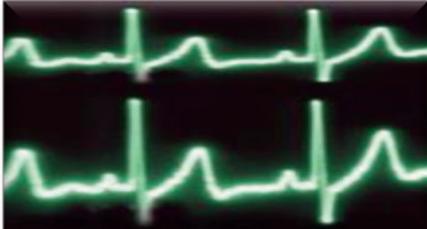


Bild 6: Fühlerschema einer Kesselanlage mit Warmwasserbereitung.

Arzt:
Herz - EKG
als messwertbasierte
Analyse des Objektes Herz
in der Interaktion mit dem Blutkreis
ohne Eingriff in den Organismus



Ingenieur:
Anlagen - EKG
als messwertbasierte
Analyse des Objektes Kessel
in der Interaktion mit dem System
ohne Eingriff in die Heizanlage

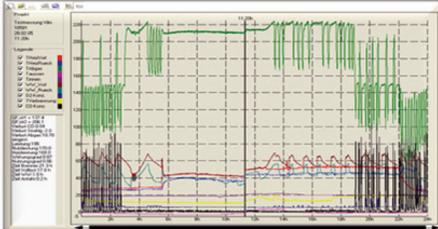


Bild 7: Modell Anlagen-EKG.

energetisch relevanten Anlagendaten analog zu der vorangegangenen ratioenergie® Anlagendiagnose und – bei einer Grenzwertüberschreitung – eine entsprechende Information an den Betreiber.

Am folgenden Beispiel wird erkennbar, welche Effekte durch eine Optimierung erzielbar sind. Ausgangspunkt der Analyse war die Feststellung des Betreibers, dass bei einer Nahwärmanlage nach der Umstellung von Heizöl EL auf Erdgas ein sprunghafter Anstieg des Verbrauchs erfolgte. Mit der Anlage wurde ein Gebäudekomplex mit

734 Wohnungen mit einer Nutzfläche von 49.462,70 m² versorgt. Das Bild 9 zeigt das Betriebsverhalten der Kessel vor der Optimierung. Die grün gezeichneten Linien stellen die Abgastemperatur und die blau gezeichneten die Sauerstoffkonzentration dar.

Innerhalb von 24 Stunden wurde festgestellt, dass die Anlage mit einem niedrigen Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung von ca. 68 % durch fehlerhafte Brennereinstellung gefahren wurde, hohe Bereitschaftsverluste durch fehlerhafte Abstimmung der Kessel-

fahrweise mit der Regelung der Einspeisung entstanden sind und ein überhöhtes Temperaturniveau der Gesamtanlage vorlag. Weiterhin war die eingesetzte Gebäudeleittechnik teilweise defekt. Bei Jahresenergiekosten von 475.000 € entstanden damit 152.000 € Verluste in der Wärmeerzeugung. Das Beispiel zeigt, dass eine „kleine“ nicht erkannte Regelungsabweichung von 4 K zu derartigen Mehrkosten geführt hat. Die Art und Häufigkeit der bisher durch die ratioservice AG festgestellten Fehler veranlasste das Unternehmen das entwickelte Verfahren mit dem Zusatz: „Wir sehen das, was andere nicht sehen“ zu charakterisieren.

Nach der Analyse und Fehlerbeseitigung zeigte die Anlage bei der Kontrolle das in Bild 10 dargestellte Verhalten und der wetterbereinigte Verbrauch sank um 23 %.

Hierbei zeigte sich, dass eine weitere Iteration erforderlich war, um das Einsparpotenzial von insgesamt 27 % vollständig zu erschließen. Auf diese Weise amortisierte sich die Maßnahme, einschließlich der Erneuerung von Brennteilen, innerhalb von 1 Monat.

Anwendungsmöglichkeiten: Das ratioenergie®-Anlagen-EKG kann für die einmalige Inspektion von Kessel und Heizungssystemen gemäß DIN EN 15378 eingesetzt werden. Dabei können sowohl brennstoffbefeuerte Ein- oder Mehrkesselanlagen als auch Fernwärmanlagen oder Wärmepumpen überprüft werden. Eingesetzt wurde das ratioenergie®-Anlagen-EKG bereits in Ein- bzw. Mehrfamilienhäusern, Wohnanlagen, Hotels, Krankenhäusern, Seniorenstiften, Schulen, Schwimmbädern, Verwaltungsgebäuden und Industriebetrieben um die Energieeffizienz der jeweiligen Anlagen zu überprüfen, Anlagenmängel zu erkennen und mit nicht-investiven bzw. gering-investiven Optimierungsmaßnahmen zu beseitigen. Die erzielbaren Einsparungen im nicht-investiven bzw. gering-investiven Bereich liegen erfahrungsgemäß bei durchschnittlich 15 Prozent. Das ratioenergie®-Anlagen-EKG kann auch vor einer Anlagenerneuerung die notwendigen Grundlagen für das auszuwählende Heizungssystem und die Dimensionierung des Wärmeerzeugers schaffen und damit auch z.B. bei Contracting Projekten die erforderliche Planungssicherheit geben. Im Rahmen der Abnahme nach Errichtung einer Wärmeversorgungsanlage kann das ratioenergie®-Anlagen-EKG Auskunft darüber geben ob der vom Bauherren gewünschte Soll-Zustand hinsichtlich Inbetriebnahme, Regelungseinstellung und hydraulischem Abgleich erreicht wurde. ▶

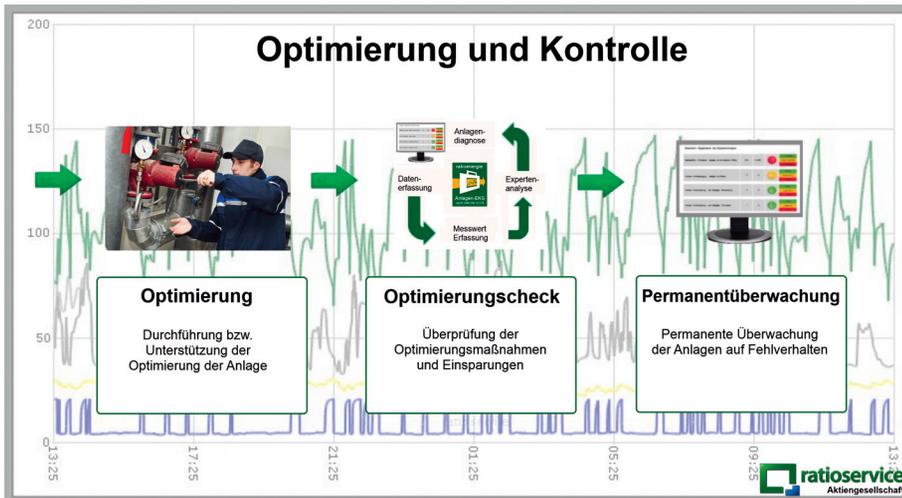


Bild 8: Verfahrensablauf Optimierung und Kontrolle.

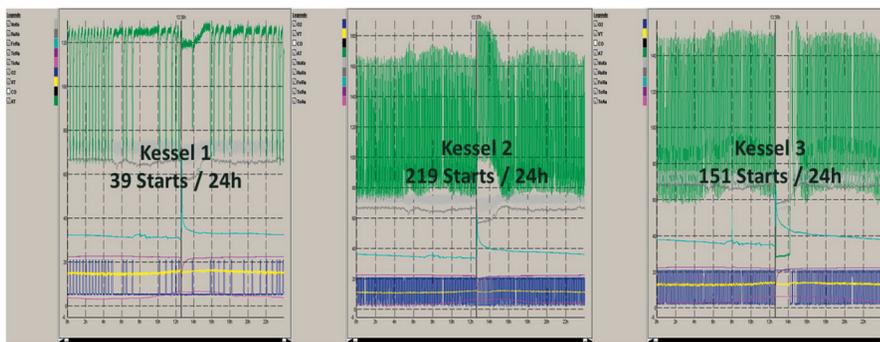


Bild 9: Betriebsverhalten der Heizkessel vor Optimierung.

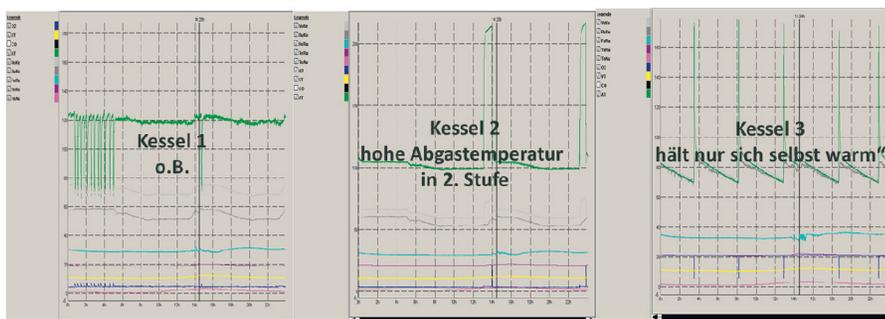


Bild 10: Betriebsverhalten der Kessel nach Optimierung.