

EnergieMonitoring – eine notwendige Massnahme für einen effizienten Gebäude- und Anlagenbetrieb

Prof. Uli Spindler
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



EnergieMonitoring – eine notwendige Massnahme für einen effizienten Gebäude- und Anlagenbetrieb

1. Einleitung

Der Gebäudebereich verursacht laut IEA weltweit etwa 40 % der direkten und indirekten CO₂-Emissionen [1], für das Erreichen jeglicher Klimaziele also eine wichtige Stell-schraube. Gleichzeitig gibt es im Gebäudebereich extrem große Fortschritte, was den Energieverbrauch von neuen Gebäuden betrifft, in der Jahresbilanz sind sogar Plusenergiehäuser zumindest im Ein- und Zweifamilienhausbereich problemlos realisierbar. Das Gebäude wird immer mehr zum Energieerzeuger.

Die Reduzierung des Energieverbrauchs wird vor allem durch zwei Entwicklungen erreicht, wesentliche Verbesserungen der Gebäudehülle und eine immer effizientere Gebäudetechnik. Bei der Hülle wurden in den letzten 25 Jahren einfach durch passive Maßnahmen die Dämmwerte und die Gebäudedichtheit in etwa um den Faktor 10 erhöht. Bei der Gebäudetechnik werden die Verbrauchsreduktionen durch eine zunehmende Technisierung einhergehend mit immer aufwändigeren Anlagen und komplexerer Regelung erreicht. Durch die rasende Entwicklung der digitalen Vernetzung werden Gebäude auch immer mehr auf die Anforderungen der Versorgungsnetze reagieren können, um so z.B. auch Energie zu speichern und damit für Entlastung der Versorgungsnetze zu sorgen. Das bedeutet, dass die Gebäude auch auf Quartiersebene in eine komplexe Regelung eingebunden werden.

Ein gerade entstehender Entwicklungstrend ist die prädiktive Regelung. Die thermisch meistens sehr trägen Gebäude sollen so geregelt werden, dass Wettervorhersagen mit in die Regelung einbezogen werden und so noch mehr Energie gespart wird, weil beispielsweise die Heizung vorab die Wärmezufuhr reduziert, wenn ein sonniger Tag mit hohen solaren Gewinnen vorhergesagt ist. Auch hier wird sich eine weitere Zunahme der Komplexität in der Regelung und im Zusammenspiel verschiedener Anlagen ergeben.

2. Die Realität

Soweit die Theorie, doch wie sieht die Realität aus? Ehrlicherweise muss man sagen, man weiß es nicht, denn es wird kaum nachgeschaut. Bei den wenigsten Gebäuden werden überhaupt Daten aufgezeichnet. Und dann gibt es noch viele größere Gebäude, in denen die Gebäudeleittechnik die Daten zwar aufzeichnet, diese aber von niemandem analysiert werden. Man kann also nur von den wenigen Gebäuden, die gemonitort werden, auf die übrigen schließen und das lässt auf erhebliches Einsparpotential durch Optimierung des Gebäudebetriebs schließen. In allen Monitorings, die von unserer Forschungsgruppe durchgeführt wurden, haben wir bis jetzt immer Fehler in den Anlagen und Regelungen gefunden, die ohne ein Monitoring sicherlich unentdeckt geblieben wären. Von anderen Forschungsgruppen hört man ähnliches.

Im Folgenden sind exemplarisch Fälle aus verschiedenen Bereichen mit unterschiedlichen Ursachen dargestellt, um zu zeigen wie sich die Problematik über alle Gewerke erstreckt.

2.1. Solarthermie

Das technische Prinzip einer Solarthermieanlage ist eigentlich sehr einfach. Erstaunlicherweise scheinen trotzdem häufig Probleme aufzutreten. Jedenfalls gab es in jedem der drei Forschungsmonitorings der TH Rosenheim Solarthermieanlagen, die unter ihren Möglichkeiten blieben. Fehlerursache waren entweder Temperaturfühler, Regelung oder hydraulische Einbindung. Interessant ist, dass sich bei zwei unterschiedlichen Anlagen ein ähnliches Fehlermuster ergab. In beiden Fällen war der Wärmeabtransport nicht ausreichend, so dass die Anlagen oft schon beim Anfahren überhitzten. Aufgrund der dadurch

einsetzenden Dampfblasenbildung waren die Anlagen dann für den Rest des Tages hydraulisch blockiert und konnten frühestens nach Abkühlung, meist am nächsten Morgen, wieder Wärme liefern.

Im einen Fall wurde das Problem zuerst im Sommerbetrieb entdeckt. Die Solarpumpe war zu niedrig eingestellt, so dass durch die geringe Durchströmung bei hohen solaren Einstrahlungen die Temperatur am Austritt der Solaranlage zu groß wurde und die Schutzschaltung ansprach, obwohl sekundärseitig der Speicher die Wärme problemlos abnehmen hätte können. Nach Behebung des Fehlers wurde bei dieser Anlage im Winterbetrieb nochmal das gleiche Problem gefunden. Die Ursache war nun eine stark reduzierte Anfahrschaltung der Solarpumpe im Winterbetrieb, die eigentlich verhindern soll, dass unnötig Wärme verloren geht, weil die Solarpumpe bereits läuft, obwohl die Solaranlage noch nicht genügend Wärme liefert. An sonnigen Wintertagen war die Leistung der Röhrenkollektoren jedoch schon so groß, dass die Abschaltungstemperatur erreicht wurde, bevor die Solarpumpe hochgeregelt wurde.

Bei der anderen Anlage lag das Problem auf der Abnahmeseite. Diese Anlage speist in ein Wärmenetz ein und die Hauptpumpe im Netz erzeugte einfach einen höheren Druck als die sekundärseitige Pumpe der Solaranlage, mit der die Wärme der Solaranlage in das Netz gepumpt werden sollte. Im Ergebnis konnte die Wärme aus der Solaranlage, diesmal sekundärseitig, auch nicht abgeführt werden und die Anlage überhitzte ebenfalls. Gelöst werden konnte das Problem durch einen reduzierten Betrieb der Hauptpumpe in Zeiten, in denen die Solaranlagen Wärme ins Netz liefern.

2.2. Wärmepumpe

Viele Wärmepumpen erreichen die Planwerte nicht. Bei den meisten liegt es daran, dass die Heizungsvorlauftemperaturen auf Grund von Regelungs- oder Hydraulikfehlern zu hoch sind. Im gezeigten Beispiel (Abb. 1) zweier Grundwasserwärmepumpen aus einem Plusenergiegebäude war die hydraulische Einbindung und Regelung gut, was an den geringen Abweichungen zwischen den gemessenen und geplanten Arbeitszahlen zu sehen ist. Sobald man den Energieverbrauch für die Grundwasserpumpe mit in die Arbeitszahl einrechnet, sinken jedoch die Arbeitszahlen auf Werte, die im untersuchten Gebäude auch problemlos mit guten Luftwärmepumpen zu erreichen gewesen wären. Der Grund für den hohen Strombedarf der Grundwasserpumpe hat einen einfachen Grund, das Grundwasser befindet sich dort in einer Tiefe von 30 Metern. Im Gegensatz zu Tiefensonden, bei denen die Sonden ein geschlossener Kreislauf sind und die Tiefe keine Rolle spielt, ist der Grundwasserkreis nicht geschlossen, so dass mit zunehmender Tiefe der Pumpaufwand steigt.

Den Hinweis in der Installationsanleitung des Herstellers, dass von Grundwasserwärmepumpen abzuraten ist, wenn das Grundwasserspiegel tiefer als 15 m liegt, hatte offensichtlich niemand gelesen.

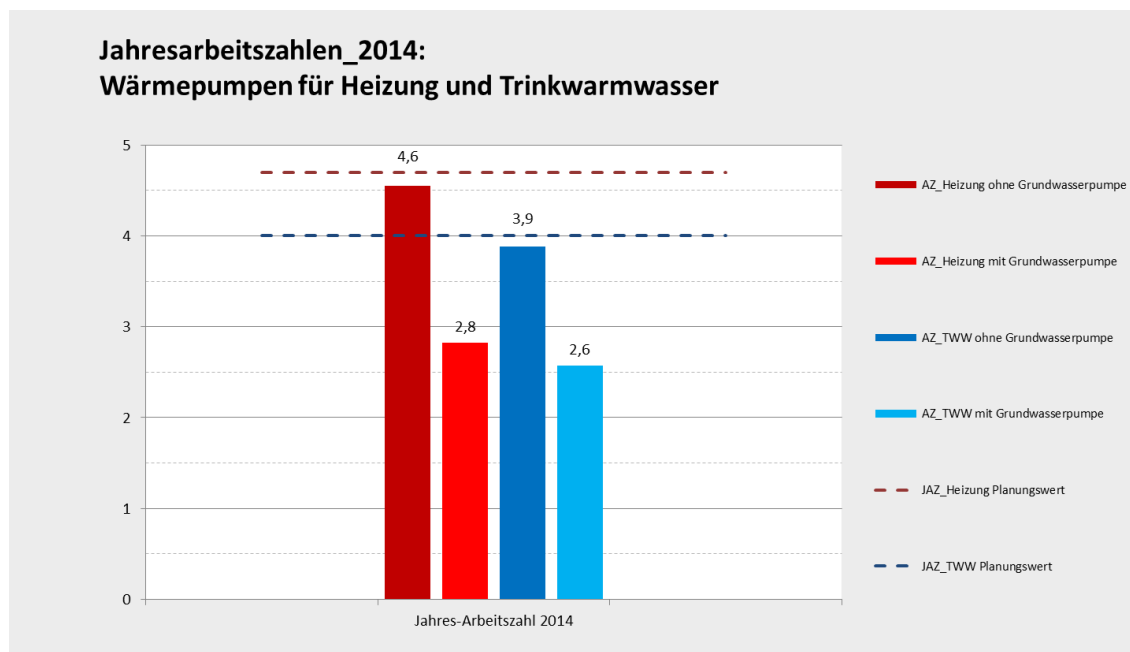


Abbildung 1: Jahresarbeitszahlen der Heizungs- und Trinkwasserwärmepumpe mit und ohne Grundwasserpumpe [2]

2.3. Lüftungsanlage

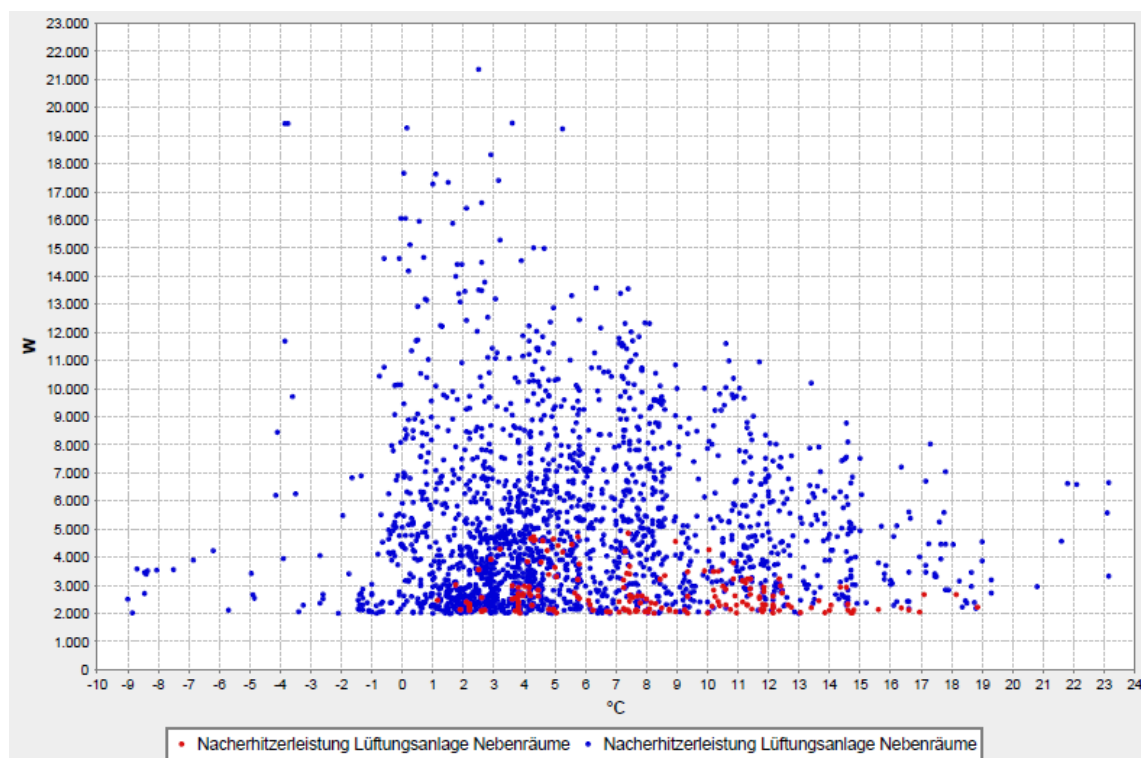


Abbildung 2: Nacherhitzerleistung in Abhängigkeit von der Außentemperatur: Eine klare Abhängigkeit zwischen Außentemperatur und der Leistung des Nacherhitzers ist nicht erkennbar. Es treten außentemperaturunabhängig hohe Nacherhitzer-Leistungen auf [3]

Aus demselben Gebäude stammt auch das nächste Beispiel. Das Gebäude besitzt eine Lüftungsanlage mit einem regelbaren Wärmerückgewinnungsgrad. Für ein hochgedämmtes Gebäude mit hohen solaren Gewinnen eine sehr sinnvolle Eigenschaft. Auf die Wärmerückgewinnung folgt ein Nacherhitzer, um auch bei kalten Außentemperaturen die Luft auf die gewünschte Zulufttemperatur bringen zu können. Bei der Analyse der Lüftungsanlagen fiel auf, dass der Nacherhitzer mit erheblicher Heizleistung lief, obwohl die Wärmerückgewinnung nur auf einen geringen Rückgewinnungsgrad geregelt hat (blaue Punkte

in Abb. 2). Das heißt, eigentlich hätte zuerst die Wärmerückgewinnung auf maximale Leistung regeln müssen und nur die fehlende Restwärme durch den Nacherhitzer erbracht werden dürfen (rote Punkte).

Als Ursache konnte ein Fehler in der Regelungsstrategie ausgemacht werden. Sowohl der Nacherhitzer als auch die Wärmerückgewinnung regelten auf die Lufttemperatur nach dem Nacherhitzer. Da tendenziell die Erwärmung durch den Nacherhitzer schneller erfolgte als durch die trägere Wärmerückgewinnung, wurde die Wärmerückgewinnung gedrosselt, da die Solltemperatur der Zuluft ja schon erreicht war. Ein klassisches Beispiel für einen Regelungsfehler bei Mehrfachanlagen.

2.4. Beleuchtung

Da sich im Gebäude auch bei der Beleuchtung deutliche Abweichungen des Verbrauchs von der Bedarfsprognose ergeben haben (+25%), wurde auch dieser Bereich genauer untersucht. Geplant war in einem Großteil der Räume eine tageslichtabhängige Regelung der Deckenleuchten, die die Beleuchtungsstärke entsprechend dem Tageslichtangebot dimmen sollte.

Im Diagramm (Abb. 3) ist der Dimmwert über die Globalstrahlung für den November aufgetragen. Deutlich kann man einen Bereich sehen, in dem das Licht mit zunehmendem Tageslicht zwischen etwa 20 und 70% geregelt wird. Man sieht aber auch ebenso gut die Ursache des erhöhten Verbrauchs. Es gibt einen Bereich, in dem die Beleuchtung unabhängig vom Tageslicht auf fast 100% Beleuchtungsstärke eingestellt ist.

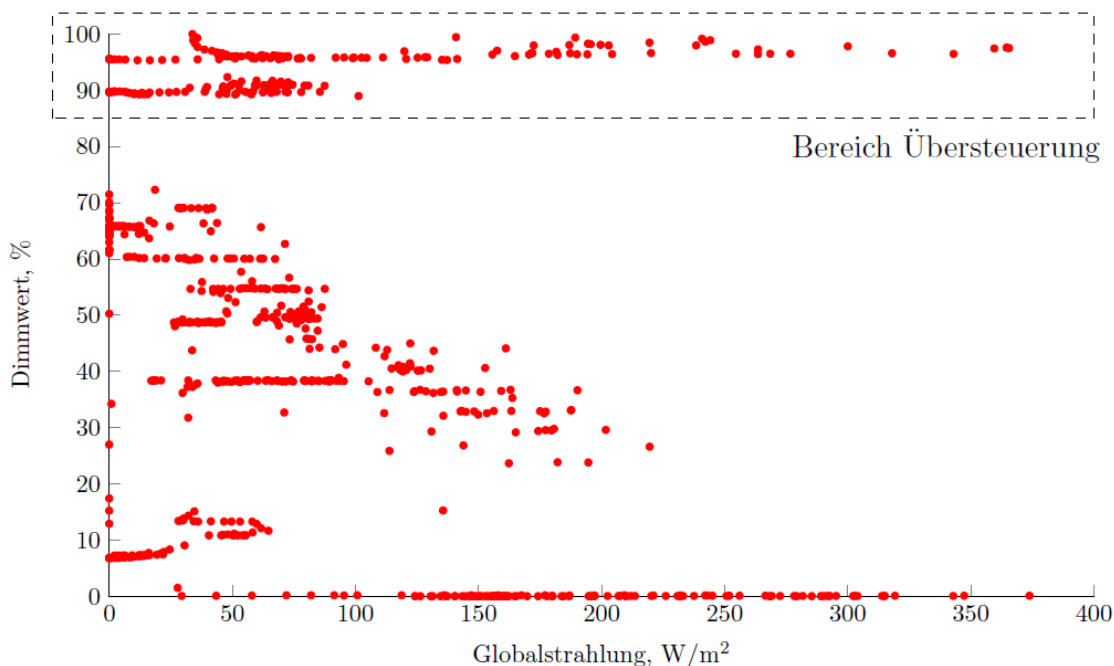


Abbildung 3: Dimmwert in Abhängigkeit vom Strahlungsangebot im November 2014: Während die Dimmwerte im Bereich zwischen 0 % und 70 % bei zunehmendem Strahlungsangebot abnehmen, gibt es bei annähernd 100 % Dimmwert eine große Anzahl an tageslichtunabhängigen Beleuchtungseinstellungen [3]

Eine genauere Vermessung der Räume zeigte folgendes Fehlerbild: die Räume waren ungleichmäßig ausgeleuchtet, da keine Zonierung der Beleuchtung vorgesehen war. Der Sensor für die Tageslichtregelung war relativ nahe am Fenster eingebaut und die Regelung konnte vom Nutzer übersteuert werden und behielt diesen Wert anschließend bis zum manuellen Ausschalten des Lichts bei. Durch die ungleichmäßige Ausleuchtung wurde der fensterferne Teil des Raumes von den Nutzern oft als zu dunkel empfunden und daher manuell übersteuert, was durch die Struktur der Regelung meist für den Rest des Tages beibehalten wurde. Da die verbauten Sensoren sogar mehrzonig messen konnten, wurde die Lichtsteuerung auf zwei Zonen umgestellt, die auch vom Nutzer unabhängig gedimmt werden konnten. Dadurch ergab sich eine gleichmäßigere Ausleuchtung des Raumes und

die Nutzer greifen nun seltener in die Regelung ein. Da die Übersteuerung meist die fensterferne Zone betrifft, die sowieso mehr Kunstlicht benötigt, ist für diese Zone der Zusatzverbrauch durch die Übersteuerung nicht so hoch. Leider konnten keine vergleichenden Verbrauchsmessungen mehr gemacht werden, da die Umsetzung erst gegen Ende des Monitorings erfolgte.

2.5. Heizkessel

In einem Monitoring, das ein Kollege schon vor längerer Zeit durchgeführt hatte, zeigte sich, dass der verbaute 450 kW Pelletkessel deutlich mehr Pellets verbrauchte als prognostiziert war. Die in Abbildung 4 dargestellte mitaufgezeichnete Abgastemperatur zeigt, dass bei höheren Leistungen die Abgastemperatur über 300°C stieg. Mit 62% fiel der mittlere Kesselwirkungsgrad entsprechend niedrig aus. Ein hinzugezogener Gutachter bestätigte, dass der Kessel nicht dem Stand der Technik entsprach, der Kessel war eigentlich nur für kleinere Leistungen geeignet. Hier wurde geplant, durch einen Abgaswärmtauscher und zusätzliche Dämmmaßnahmen am Kessel, das Problem zu lösen.

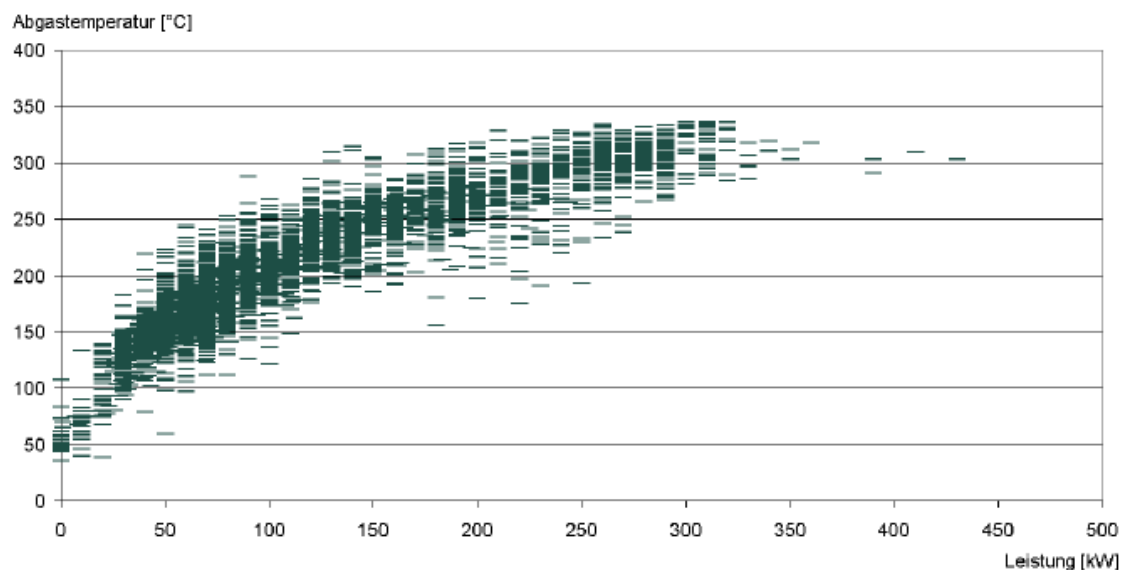


Abbildung 4: Stundenmittelwerte der Abgastemperatur des Holzessels aufgetragen über der Leistung [4]

3. Zusammenfassung und Fazit

Gerade Fehler in mehrstufigen Anlagen wie in den Beispielen der Lüftung und Solarthermie sind dafür prädestiniert, ohne Monitoring unentdeckt zu bleiben, da die regenerativen Wärmeerzeuger mit einem zweiten Wärmeerzeuger kombiniert sind, der bei unzureichendem regenerativen Wärmeangebot die fehlende Wärmeversorgung übernimmt. Die Gesamtanlage tut ja, was sie soll, nämlich ausreichend Wärme zu liefern, allerdings mit einem höheren Verbrauch des zweiten, üblicherweise nicht-regenerativen Wärmeerzeugers.

Die meisten der gezeigten Beispiele wären vermutlich ohne Monitoring nur durch Zufall entdeckt worden. Im Normalfall wären also die Gebäude ineffizient weiter betrieben worden. Es ist also davon auszugehen, dass bei vielen Gebäuden ein Potenzial zur Energieeinsparung nicht gehoben wird, da es durch fehlendes Monitoring unentdeckt bleibt. Leider gibt es auch Beispiele, bei denen die gefundenen Fehler nicht behoben wurden. Üblicherweise sind dies Fälle, in denen die Mängelbeseitigung zu teuer ist und die Schuldfrage nicht geklärt werden kann oder die Schuldigen durch die Abnahme schon aus der Pflicht entlassen worden sind.

Gerade beim letzteren scheint es sich um ein strukturelles Problem der zunehmend komplexen Technik im Gebäudebereich zu handeln. Die Anlagen der verschiedenen Gewerke sind über eine aufwändige Regelung miteinander gekoppelt, werden allerdings oft genug nur mit einfachen Funktionstests abgenommen. Ob die Anlage aber in den vielfältigen Betriebsmodi im Zusammenspiel mit den anderen Anlagen richtig reagiert, wird nicht geprüft. Vielfach wäre das auch nicht möglich, da hierzu keine ausreichenden detaillierten

Planungsunterlagen erstellt wurden. Es gibt zwar erste systematische Ansätze wie z.B. den Energie-Naviator, die aber noch keine große Verbreitung gefunden haben. Eine Lösung wäre hier sicher, wie von einigen gefordert, eine «HOAI-Phase 10», in der eine Leistungsbeschreibung für eine Inbetriebnahmephase geregelt werden sollte.

Nachdem gezeigt wurde, dass Monitoring für den effizienten Betrieb von modernen Gebäuden dringend notwendig ist, bleibt die Frage zu klären, warum so wenige Gebäude gemonitort werden. Es gibt sicherlich viele Gründe, aber vorrangig dürfte im Moment die Wirtschaftlichkeitsfrage sein. Ein Monitoring verursacht Kosten, auf der Investitions- als auch Personalseite, und es kann, ohne schon Daten gesammelt zu haben, nie sicher gesagt werden, ob es überhaupt Einsparpotenziale gibt und wie hoch diese sein können – eine echte Herausforderung für jeden Verkäufer. Sicher kann nur gesagt werden, dass die Wahrscheinlichkeit der Rentabilität eines Monitorings mit den Betriebskosten und damit mit der Gebäudegröße steigt.

Abschließend lässt sich feststellen, dass für den effizienten Betrieb von modernen Gebäuden mit komplexer Analgentechnik energetisches Monitoring nötig ist, jedoch aus wirtschaftlichen und auch personellen Gründen im Normalfall nicht praktiziert wird. Der einzige Weg, um Monitoring zum Normalfall zu machen, kann nur über Kostenreduktion oder gesetzliche Vorschriften führen. Durch die gesetzliche Einführung von Smartmetern in der EU werden zumindest die Abrechnungszähler soweit ertüchtigt, dass sie sich für ein Basismonitoring eignen. Mit Hilfe eines Basismonitorings kann dann überprüft werden, wie weit das Gebäude von den vorhergesagten Planungswerten abweicht. Über die Differenzen lässt sich das Einsparpotential abschätzen und es kann dann eine zahlenbasierte Entscheidung über ein weitergehendes Monitoring zur Fehlersuche getroffen werden.

Nachteil bei dieser Methodik ist allerdings, dass der Einbau der Messtechnik für ein Monitoring während der Bauphase durch den verringerten Verdrahtungsaufwand einen Bruchteil der Kosten verursacht gegenüber einer Nachrüstlösung. Durch die steigende Omnipräsenz von funkbasierter Sensorik und wachsenden Smarthome-Anwendungen zeichnet sich allerdings auch hier eine Trendwende ab. Der zweite große Kostenverursacher bei Monitorings ist die Datenanalyse. Interessant wird, ob sich hier durch die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz in absehbarer Zeit eine Kostenreduktion erreichen lässt.

4. Literaturverzeichnis

- [1] IEA, Energy Efficiency: Buildings:
<https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/>
Abgerufen am: 17.2.2019
- [2] Plus-Energie-Kinderhaus in Höhenkirchen-Siegertsbrunn – Vorbild für eine neue Generation; Andreas Hack, Mathias Wambsganß, Uli Spindler; OTTI Energieeffizienzhaus Fachforum, 14. - 15.07.2015, Hamburg
- [3] Abschlussbericht: Plus-Energie-Kinderhaus Höhenkirchen-Siegertsbrunn, Teilprojekt der Hochschule Rosenheim: Monitoring; Mathias Wambsganß, Andreas Hack, Uli Spindler; BMWi FKZ 0327430P; 2016, Rosenheim
- [4] Abschlussbericht: Neubau "Ostarkade" der KfW Bankengruppe, Frankfurt a.M.; Prof. Dipl.-Ing. Andreas Wagner, Dipl.-Ing. Michael Kleber, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Gropp; BMWi, FKZ 0335007F; 2006, Karlsruhe