

# Erfahrungen beim Aufbau eines Energiedatenmanagementsystems für Einfamilienhäuser

Peter Wagner<sup>1</sup>, Werner Schöffler, Alfons Haber

Wissenschaftszentrum Straubing, Schulgasse 22, 94315 Straubing, Deutschland,  
+49 9421 187-172, p.wagner@wz-straubing.de, alfons.haber@haw-landshut.de,  
www.wz-straubing.de

ARTEMES, Hauptplatz 105, 8552 Eibiswald, Österreich,  
+43 3466 42071, werner.schoeffler@artemes.org, www.artemes.org

## **Kurzfassung:**

Im Zuge einer projektbezogenen Erfassung und Analyse der Energieverbräuche in Einfamilienhäusern gilt es die Energiedaten zeitgleich zu erfassen, um so ein nachvollziehbares und wissenschaftlich auswertbares Energiedatenmanagement zu ermöglichen. In einem Feldversuch werden energetische Sanierungen bei Einfamilienhäusern auf deren energietechnischen Auswirkungen betrachtet. Dabei wird seit dem Februar 2015 der Energieverbrauch vor und nach der energetischen Sanierung erfasst und analysiert. Das Projekt läuft noch voraussichtlich bis Ende 2018. Hierzu bestehen die messtechnischen Aufgaben insbesondere darin, die elektrische Leistung, die Innen- und Außentemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit sowie die akkumulierte abgegebene Wärmemenge der Heizung zu messen, über mehrere Jahre zu speichern, ständig sicher und zuverlässig zu übertragen und in einer Art und Weise zur Verfügung zu stellen, dass die Daten einfach mit üblichen Mathematikprogrammen analysiert werden können.

Um wissenschaftliche Analysen und Vergleiche zeitnah durchzuführen wurde ein neues Energiedatenmanagementsystem entwickelt. Bei diesem wird sowohl Datensicherheit, Verfügbarkeit und Auswertbarkeit bei zahlreichen Panelteilnehmern hinsichtlich der positiven resultierenden Möglichkeiten aber auch der noch zu bewältigen Herausforderungen erprobt. Es wurde festgestellt, dass die Energiedaten zielgerichtet erfasst werden können, allerdings wurden öfter wie ursprünglich vermutet durch Veränderungen des Managementsystems die Messung beeinflusst. Hieraus wurden positive Konsequenzen gezogen und zu bewältigenden Herausforderungen identifiziert.

Bisherige Erfahrungen, wie nachfolgend dargestellt, lassen bereits Rückschlüsse auf das Messkonzept, die Datenqualität und allfällige Adaptierungen für die projektbezogenen Auswertungen und Analysen zu.

**Keywords:** Energiedaten, Cloudmanagement, wissenschaftliche Analysen, Datensicherheit, Erfahrungen, Energiedatenmanagement, Gebäudesanierung, Einfamilienhäuser

---

<sup>1</sup> Jungautor Peter Wagner

## 1 Motivation und zentrale Fragestellung

Im Zuge der durchgeführten Recherchen zu der am Markt befindlichen Messkonzepten hat sich rasch gezeigt, dass hier keine umfassenden Messsysteme nach den geforderten Aufgabestellungen verfügbar sind, welche eine zeitgleiche und über ein Onlineportal zugängliche Aufzeichnung, insbesondere zur fortwährenden Überwachung, ermöglichen. Es wurde ein eigenes und im Moment noch einzigartiges Messkonzept entwickelt, welches im Rahmen eines Projekts intensiv erprobt wird. Dabei wurden die positiven Resultate aber auch die noch zu bewältigenden Herausforderungen, die an das System gestellt werden, identifiziert. Diese Erfahrungen werden in dem hier vorliegenden Paper erörtert.

## 2 Methodische Vorgehensweise und Entwicklung des Messkonzepts

Bei der Entwicklung eines Messkonzepts, welches neben den angeführten Werten eine umfassende, zeitnahe Auswertung ermöglicht, galt es weiterführend eine laufende Überwachung der Messaufzeichnungen und eine hohe Datensicherheit auf wissenschaftlichem Niveau zu gewährleisten. Innovativ hierbei ist, dass die Messdaten der verschiedenen Messstellen zeitgleich erfasst werden und neben der lokalen Sicherung auf den jeweiligen Cloud-Loggern laufend auf den Cloud-Server synchronisiert werden. Der Informations- und Datenfluss ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt [1]. Nachfolgend werden die positiven Konsequenzen, die während eines umfassenden Feldversuchs in Erfahrung gebracht wurden, beschrieben.

Resultierend auf die Analysen der Datenerfassungen mit den einhergehenden Herausforderungen wurden projektspezifische weiterführende Auswertungen durchgeführt und Lösungen für die konzeptionelle und sichere Messdatenerfassung gefunden.

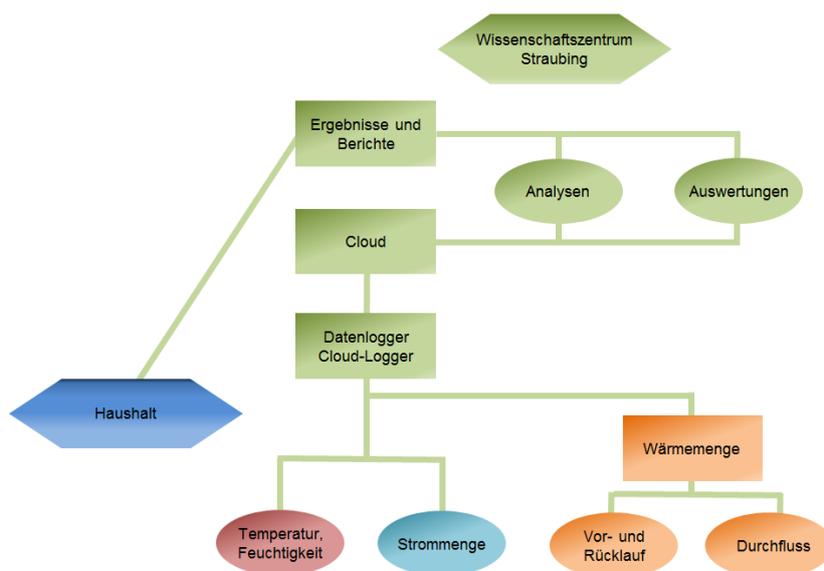


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Informations- und Datenflusses. Die Messwerte werden vom Haushalt über den Cloud-Logger und den Datenserver zur Auswertung an das Wissenschaftszentrum übermittelt. Anschließend können Ergebnisse und Berichte an die Haushalte verteilt werden [1].

Das Messsystem wurde so gestaltet, dass in das bestehende System nicht durch die Messtechnik eingegriffen werden muss, wie z.B. durch das Öffnen von Leitungen. Dieser Aspekt war bei der Akquisition der Panelteilnehmer von großer Bedeutung. Außerdem war es den Panelteilnehmern wichtig, dass das System kompakt sowie platzsparend aber auch optisch und akustisch nicht wahrnehmbar ist (z.B. durch Geräusche der Lüfter oder blinkende LEDs). Das System wurde bewusst so ausgelegt, dass es bei Verwendung vor Ort nicht durch äußere Einflüsse gestört werden kann. Bewusstes Stören, z.B. durch Lösen von Schraubverbindungen oder Lösen von Verbindungen, kann nicht verhindert werden.

Die eingesetzte Technik selbst basiert auf einem Minicomputer mit Linux Betriebssystem, dieser ist von Grund auf stromsparend und ausfallsicher. Der Computer startet automatisch, sobald er eine Stromverbindung hat und setzt zuvor konfigurierte Messungen fort. Wenn eine Internetverbindung besteht, wird ein VPN-Tunnel zu einem zentralen Server, der Cloud, aufgebaut und alle Messdaten dort gespiegelt. Dadurch entsteht eine zentrale und dezentrale Sicherung der Messwerte, von der aus ein Zugriff und die Auswertungen an den Arbeitsplätzen der Forschenden durchgeführt werden können. Weiterführend wurden die Konfigurationsdateien in den Clog-Boxen insofern adaptiert, dass bei möglichen Hardwaredefekten eine bestehende Konfigurationsdatei, also das Messsetup, auf andere Boxen übertragen werden kann. So kann ein neuer Cloud-Logger mit derselben Konfigurationsdatei die Messung fortführen. Selbstverständlich kann auch jedes Mal eine neue Konfigurationsdatei definiert und angelegt werden, allerdings können mögliche Abweichungen (z.B. divergente Messauflösungen oder abweichende logische Kanäle), die dadurch leicht entstehen können, die anschließende automatisierte Auswertung innerhalb einer Messreihe erschweren. Vorteilhaft ist auch, dass die Konfigurationsdatei auch auf die Cloud synchronisiert wird und von dort aus zentral, bearbeitet, kopiert oder ersetzt werden kann.

Die Integration in existierende Smart Building Plattformen ist insbesondere aufgrund der Cloud-Technologie möglich, da die Messdaten direkt über Laderoutinen ausgewertet werden können. Eine multimediale Vernetzung über verschiedene Schnittstellen hinweg ist möglich. Das in der Gebäude- und Raumautomation global übliche BACnet-Protokoll (Building Automation and Control networks Protokoll) kann beispielweise auf dem Linux-Betriebssystem implementiert werden, was die Interoperabilität zwischen Geräten verschiedener Hersteller gewährleistet [3].

Hierdurch können ebenfalls Messungen an unterschiedlichen Messorten durchgeführt werden, die weiträumig auseinanderliegen und mit Kabeln nicht direkt verbunden werden können. Mit mehreren Cloud-Loggern und der Spiegelung der Messdaten zum zentralen Server umgeht man diese Problematik. Von großem Vorteil dabei ist, dass sobald die Messreihen der unterschiedlichen Boxen gleich kodiert werden und diese virtuell mittels gängiger Mathematikprogramme (z.B. Matlab) über Laderoutinen zu „einem“ virtuellen Cloud-Logger zusammengefasst werden können.

### 3 Herausforderungen und Lösungen

Nachfolgend werden die sich gestellten Herausforderungen während des laufenden Messbetriebes mit einhergehenden Lösungen dargestellt, um so weiterführende und für die Zukunft gesicherte Erkenntnisse für ähnliche Messsysteme zu erlangen.

Vorab wird angemerkt, dass das hier beschriebene Messsystem im Rahmen der bisherigen Erfahrungen die gestellten Anforderungen auf die sichere Messdatenerfassung vollkommen und äußerst zuverlässig erfüllt, mit Ausnahme der nicht beeinflussbaren Kommunikation zwischen den Daten-Loggern/Cloud-Loggern und der Cloud. Alle Messdaten werden jedoch zuverlässig erfasst und sind lokal abgespeichert. Die Hauptfehlerquelle war bisher das fehlende WLAN-Signal der Panelteilnehmer, über welches eine Internetverbindung zur Verfügung gestellt werden soll. Deshalb wurden die Ursachen dieser Problematik näher betrachtet und folgend dargestellt.

#### 3.1 Fehlende Internetverbindung

In mehr als 95% der Fälle wurden die fehlenden Internetverbindungen durch die Panelteilnehmer verursacht. So wurden beispielsweise neue Router mit neuen WLAN-Zugangsdaten installiert, der Router außer Betrieb genommen, neu positioniert, oder der Router tageweise oder über mehrere Tage abgeschaltet.

Die Internetverbindung – und hier insbesondere die WLAN-Anbindung der Clog-Boxen – ist ebenfalls durch die räumliche Verteilung des Messsystems herausfordernd. Gerade in Kellerräumen wird das WLAN-Signal aufgrund von dicken Wänden und Decken stark abgeschirmt. Die Herstellung einer soliden Internetverbindung mittels LAN-Kabel kann häufig aufgrund der örtlichen Positionierung der Geräte bzw. der bestehenden Infrastruktur nicht realisiert werden.

Bei aufrechter Internetverbindung kann über die Cloud auf dieses Messsysteme zugegriffen und hier u.a. eine zielführende Fehleranalyse durchgeführt werden. Es zeigte sich jedoch rasch, dass ein direkter (telefonischer) Kontakt mit den Panelteilnehmern herstellt werden musste, um insbesondere die Internetverbindung wieder aufzubauen. Hier werden auch mögliche Fehlerquellen, wie u.a. oben beschrieben, klar bzw. können z.B. über neue WLAN-Zugangsdaten des Panelteilnehmers zielführend gelöst werden.

Es hat sich ebenfalls gezeigt, dass hier aufgrund der Kenntnisse der Panelteilnehmer dennoch Unterstützung vor Ort notwendig sein kann. Dadurch kann zum einen die Internetverbindung wieder gesichert hergestellt werden, z.B. indem die WLAN-Verbindung neu konfiguriert wird, zum anderen z.B. bei Änderung der ursprünglichen Routerpositionierung die Installation eines WLAN-Repeater zur Verstärkung des Signals die fehlende Verbindung wieder ermöglicht.

Längerfristig sowie als wichtige Schlussfolgerung hat sich gezeigt, dass eine unabhängige bzw. zugriffssichere Internetverbindung mit einem eigenen WLAN-Netz für das Messsystem zielführend ist. Hierzu gilt es mittels eines separaten WLAN-Routers, der mit einem UMTS-

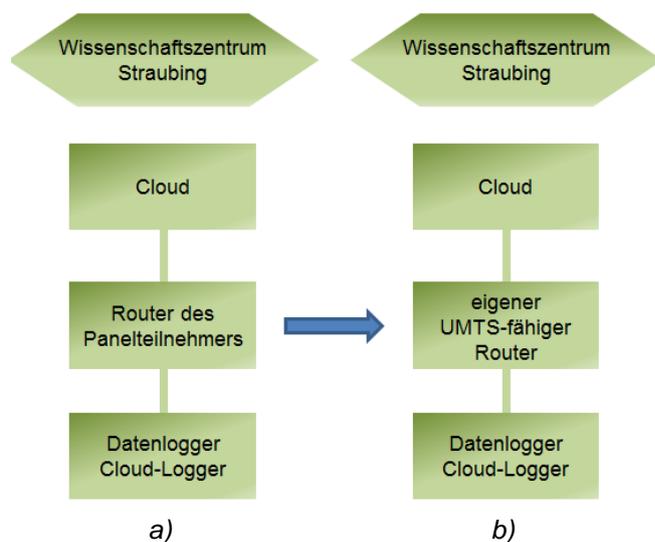


Abbildung 2: Schematische Darstellung  
 a) Datenübertragung über den Router des Panelteilnehmers;  
 b) Datenübertragung mittels eines eigenen UMTS-fähigen Routers  
 [Quelle: eigene Darstellung]

Modem ausgestattet ist, ein eigenes WLAN oder LAN Netzwerk zur Übertragung der Daten an den Cloud-Server aufzubauen, wobei diese Funktion bei den installierten Daten-Loggern bereits verfügbar ist. Zur sicheren Datenerfassung, auch über örtlich differenzierte Messstellen, wird angemerkt, dass diese durch die Verwendungen von mehreren Cloud-Loggern und der Spiegelung der Messdaten zum zentralen Server gesichert ist. Die höheren Verbindungskosten für mobile Datenverbindungen lassen sich über die gesicherte und weiterführende routenmäßige Datenübertragung, ohne eine mögliche beschriebene Fehlerquelle mit einhergehender Bearbeitungszeit, sehr gut rechtfertigen (siehe Abbildung 2).

### 3.2 Fehlende VPN-Verbindung

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass manchmal auf einigen Cloud-Loggern trotz bestehender Internetverbindung dezentral nicht zugegriffen werden kann. In diesem Fall kann keine Synchronisation der lokal gespeicherten Messdaten auf den Cloud-Server stattfinden. Grund dafür ist häufig, dass keine VPN-Verbindung aufgebaut wurde. Alle Cloud-Logger müssen mit einem VPN (Virtuelles Privates Netzwerk) verbunden sein, damit ein geschlossenes logisches Netzwerk aller räumlich voneinander getrennten Teilnehmer mittels eines IP-Tunnels besteht. Die Ursache hierfür lag häufig darin, dass teilweise die Netzwerkdienste der Cloud-Logger nicht richtig gestartet wurden. Unter Umständen wurde der Router der Panelteilnehmer so konfiguriert, dass z.B. aufgrund der Firewall keine VPN-Verbindung nach außen möglich ist. Ein weiteres aufgetretenes Problem war, dass es bei der Anwendung der zertifikatbasierten Authentifizierung zu Komplikationen gekommen ist. In einigen Fällen gab es Schwierigkeiten beim VPN-Routing, wo der Cloud-Logger permanent versucht hat die VPN-Verbindung über ein nicht angeschlossenes LAN-Kabel herzustellen. Sobald bei einem Panelteilnehmer mehrere Cloud-Logger verbaut sind, kann über die noch bestehende VPN-Verbindung eines anderen Cloud-Loggers über das lokale Netzwerk des Panelteilnehmers mithilfe einer SSH-Verbindung (Secure Shell-Verbindung) auf die fehlerbehaftete Box zugegriffen werden. Damit kann die Konfiguration dieser richtig gestellt werden. Außerdem kann so auf die Weboberfläche des Routers zugegriffen und beispielsweise die Zugriffsrechte angepasst werden (siehe Abbildung 3). Sollten alle Cloud-Logger

des Panelteilnehmers über keine VPN-Verbindung verfügen ist ein Vororttermin zur Fehlerbehebung notwendig.

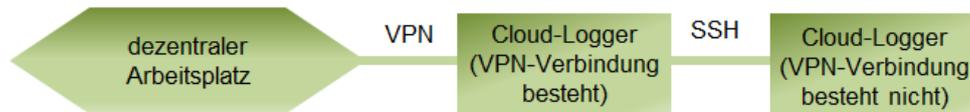


Abbildung 3: Schematische Darstellung - Zugriff auf einen Cloud-Logger mithilfe einer SSH-Verbindung [Quelle: eigene Darstellung]

### 3.3 Probleme beim Zugriff auf den Cloud-Logger im Fehlerfall

Sehr vereinzelt kam es vor, dass auf die Cloud-Logger nicht zugegriffen werden konnte. Die eingesetzte Technik selbst basiert auf einem Minicomputer mit Linux Betriebssystem, dieser ist von Grund her stromsparend und ausfallsicher. Der Computer startet automatisch, sobald er eine Stromverbindung hat und setzt zuvor konfigurierte Messungen fort. In diesen Fällen wurde grundsätzlich wie bei der Erstinstallation vorgegangen sowie im bestehenden System wie folgt vorgegangen. Der Cloud-Logger und der Computer (z.B. Laptop) werden mit einem LAN-Kabel verbunden und es ist eine IP-Adresse notwendig, mit der man auf das Webinterface zugreifen kann. Sollte diese nicht bekannt sein, kann diese mit einem IP-Scanner ermittelt werden. Um die Suche eingrenzen zu können muss der IP-Bereich bekannt sein. Allerdings kommt es vor, dass trotz ausführlicher Suche kein Netzwerkteilnehmer gefunden wird. Häufige Ursache dafür ist, dass der Cloud-Logger bei der Verbindung mit dem Router zwingend so konfiguriert sein muss, dass dieser mit dem DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) arbeitet. Dadurch wird dem Cloud-Logger vom Server oder Router die Netzwerkkonfiguration zugewiesen. Folglich kann bei der IP-Suche nie ein Netzwerkteilnehmer gefunden werden, weil der Cloud-Logger keine feste IP-Adresse besitzt und permanent auf eine Zuweisung wartet. Das Problem kann durch den direkten Zugriff auf die Unix-Shell gelöst werden. Vorteilhaft ist es, wenn der Cloud-Logger über eine sogenannte Notfall-IP, wie es beispielweise schon bei vielen Routern üblich ist, verfügen würde. Mithilfe dieser immer fest stehenden Notfall-IP-Adresse kann im Fehlerfall immer auf die Oberfläche des Gerätes zugegriffen werden. Daher wurde dies auch so nachträglich implementiert.

### 3.4 Veränderung und Beschädigung der Cloud-Logger bzw. der Messinstrumente durch die Panelteilnehmer

Während der bisher mehr als zweijährigen Messungen in unterschiedlichen Einfamilienhäusern hat sich gezeigt, dass die Panelteilnehmer immer wieder teils bewusst oder unbewusst Veränderungen an der bestehenden und funktionsfähigen Messtechnik vornehmen. Nicht nur deshalb ist es wichtig, dass das verfügbare Messsystem Online bzw. über die Cloud abgefragt und so auf deren Funktionsfähigkeit überprüft werden kann.

So hat sich bisher gezeigt, dass Panelteilnehmer nicht nur, wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, Veränderungen an ihrem privaten Router, also an der Internetverbindung, sondern auch weiterführende Eingriffe in das Messsystem vorgenommen haben. So können insbesondere folgende Veränderungen bisher aufgelistet werden:

- Bei der Ablesung der Stromzähler wurde das optische Element zur Erfassung der elektrischen Leistung entfernt und anschließend fehlerhaft wieder angebracht (siehe Abbildung 4 a).
- Im Zuge des Umbaus der Heizungsanlage wurde die verbaute Messtechnik von den beauftragten Handwerkern unsachgemäß entfernt und dadurch beschädigt (siehe Abbildung 4 b und c).
- Der Klimasensor für die Erfassung der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeit wurde in den Innenraum des Hauses gestellt (siehe Abbildung 5).
- Die Cloud-Logger im Wohnraum wurden bei Reinigungsarbeiten ausgesteckt und abgebaut oder nicht wieder eingesteckt (siehe Abbildung 5).
- Aufgrund von Überspannungen oder Kurzschlüssen (z. B. Gewitter, Blitzschlag) wurden Cloud-Logger beschädigt.
- Router wurden über Nacht abgeschaltet bzw. nur stundenweise in der Woche eingeschaltet.

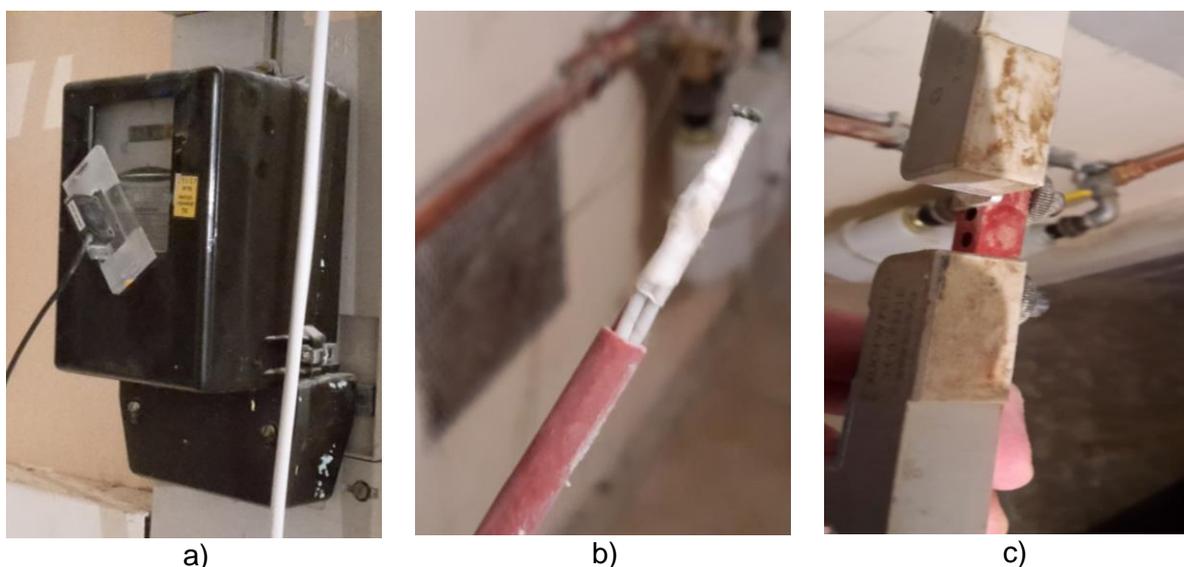


Abbildung 4: a) fehlerhaft angebrachtes optische Element zur Erfassung der durchschnittlichen elektrischen Leistung pro Minute;  
b) abgeschnittener Temperaturfühler;  
c) demontierte und verschmutzte Ultraschallsensoren [Quelle: eigene Aufnahmen]

In Abbildung 5 ist die Innen- und Außentemperatur exemplarisch dargestellt. Man sieht deutlich, dass die Messdaten bis einschließlich Juni 2015 richtig aufgenommen worden sind. Anschließend wurde vom Panelteilnehmer der Cloud-Logger abgesteckt und erst wieder Ende September eingesteckt, sodass diese stromlos war. Deshalb liegen in diesem Zeitraum keine Messdaten vor. Gegen Ende des Jahres wurde der Temperaturfühler außen demontiert und ins Gebäude neben den Temperaturfühler für die Innentemperatur positioniert. Man kann deutlich erkennen wie sich die Temperaturen zu diesem Zeitpunkt nahezu vollständig überlagern. Zur wissenschaftlichen Auswertung wird angemerkt, dass hier diese fehlenden bzw. aufgrund des neuen Aufstellortes des Messsensors über die Datenerfassung von anderen Panelteilnehmer in der räumlichen Nähe gut korrigiert werden kann.

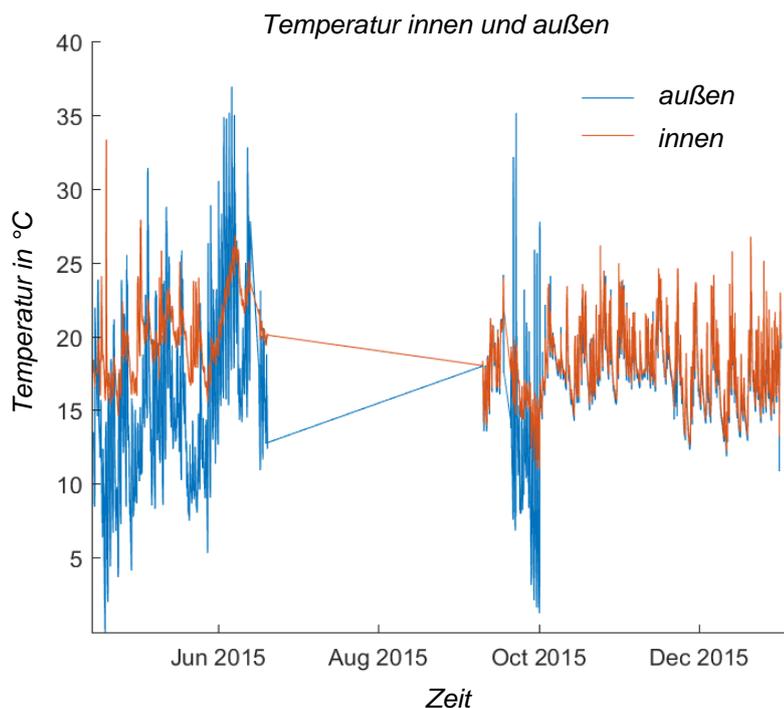


Abbildung 5: Temperaturdaten von Mai 2015 bis Januar 2016 für ein Einfamilienhaus im Süden Deutschlands.

## 4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mit Hilfe des neu entwickelten Messkonzepts konnte neben der gesicherten Erfassung sowie der redundanten Speicherung die Datensicherheit erhöht und ein zielgerichtetes Energiedatenmanagement konzipiert werden. Hierzu können neben den individuellen Messwerten ebenfalls umfassende Auswertungen durchgeführt werden, welche für wissenschaftliche Analysen zielgerichtet und äußerst dienlich sind. Das Vorhaben erlaubt ebenfalls eine zeitsynchronisierte Auswertung von Lastprofilen für Strom und Wärme, welche auch eine Reihe von Korrelationsanalysen zulassen. Weiterführend hat sich gezeigt, dass dieses Messkonzept erweiterbar und ebenfalls für zusätzliche Anwendungen, wie z.B. im Gewerbebereich oder zur Analyse von Lastmanagement, einsetzbar ist [2].

In den Messperioden ist es vorgekommen, dass insbesondere durch die Beeinflussung vor Ort von den Panelteilnehmern die Erreichbarkeit der Cloud-Logger eingeschränkt war. Hauptfehlerquelle war das fehlende WLAN Signal, welches der Panelteilnehmer in 95% der Fälle beeinflusste. Abhilfe kann der Einsatz von WLAN-Routern, die mit einem UMTS-Modem ausgestattet sind, schaffen – wobei angemerkt ist, dass diese Funktion bei den eingesetzten Daten-Loggern bereits vorhanden ist. Zu beachten ist hierbei, dass es in Kellerräumen grundsätzlich schwierig ist eine Funkverbindung mittels UMTS oder WLAN aufrecht zu erhalten. Die zuverlässigste Datenübertragung ist mittels eines LAN-Kabels, der Einsatz über die WLAN-Funktion der Daten-Logger konnte dennoch zuverlässig betrieben werden. Außerdem kam es zu Problemen bei der Herstellung der VPN-Verbindung. Grundsätzlich war eine Fehlerlokalisierung über das eingesetzte Messsystem bereits gegeben, dennoch konnten über die bisherige mehr als zweijährige Messperiode Erfahrungen mit ein-

hergehenden Adaptierungen des Messaufbaus sowie Anpassungen der Konfigurationen gewonnen werden.

Zusätzlich kam es entgegen der ursprünglichen Annahme zu Veränderungen und Beschädigungen der Cloud-Logger bzw. der Messinstrumente durch die Panelteilnehmer.

Es liegen bereits jetzt umfassende Daten für die weiteren wissenschaftlichen Analysen vor, das Messsystem hat sich voll bewährt. Erfahrungen, insbesondere zu den ungewollten Störungen des Messsystems und der Verfügbarkeit der Datenübertragung, konnten gewonnen und viele Herausforderungen umfassend gelöst werden.

#### Literatur:

- [1] Wimmer, P.; Schöffler, W.; Haber, A.: „Aufbau eines Energiedatenmanagementsystems für Einfamilienhäuser“, 14. Symposium Energieinnovation, TU Graz, Österreich, 10.-12. Februar 2016
- [2] Haber, A.; Baier, H.; Banerjee, S.: „Energiewende nur mit Netzen – Neue Rollen für Aggregatoren und die aktive Netzintegration“, 13. Symposium Energieinnovation, TU Graz, Österreich, 12.-14. Februar 2014
- [3] Müller, C.: „BACnet als Standardbussystem in der Gebäudeautomation“, Honeywell AG Haus & Gebäudeautomation, Enterprise Solutions & Services, Vortrag an der TU Berlin, <https://www.ta.hu-berlin.de/res/co.php?id=14081>, aufgerufen am 12. Januar 2017