



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Jahresbericht 25. November 2011

LoReMA

Load Recognizing Meter and Actor

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung / Konsortium / Steering Committee:

iHomeLab - Hochschule Luzern, CH-6048 Horw-Luzern
BKW-FMB, CH-3000 Bern
EWZ, CH-8050 Zürich
Swisscom, CH-3050 Bern
Landis + Gyr, CH-6001 Zug
Feller - Schneider Electric, CH-8810 Horgen

Auftragnehmer:

iHomeLab - Hochschule Luzern
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw-Luzern
www.ihomelab.ch

Autoren:

Pascal Walther, iHomeLab – Hochschule Luzern, Pascal.Walther@iHomeLab.ch
Stephan Tomek, iHomeLab – Hochschule Luzern, Stephan.Tomek@iHomeLab.ch
Alexander Klapproth, iHomeLab – Hochschule Luzern, info@iHomeLab.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser
BFE-Programmleiter: Roland Brüniger
BFE-Vertragsnummer: SI/500585-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Projektorganisation.....	5
Projektziele	6
Anforderungen und Design-Spezifikation (WP1).....	6
Drahtloskommunikation (WP2)	6
Energiemessung (WP3).....	7
Schaltaktor (WP4)	7
Durchgeführte Arbeiten und erarbeitete Ergebnisse	7
Anforderungen und Design-Spezifikation.....	7
NIALM-Recherche	8
Drahtloskommunikation	9
Energiemessung.....	9
Schaltaktor	11
Erster Prototyp im iHomeLab (Showcase)	11
Nationale Zusammenarbeit.....	12
Bewertung 2011 und Ausblick 2012	12

Zusammenfassung

Projektziel:

Das Forschungsprojekt LoReMA hat das Ziel, den Stromverbrauch in Gebäuden und Häusern detailliert und unmittelbar zu erfassen. Damit kann die Energieeffizienz gesteigert werden.

Vorgehen:

In einem ersten Schritt wurde mit der Definition der Anforderungen sowie der Erarbeitung der Design-Spezifikation begonnen. Das weitere Vorgehen bestand aus Recherchetätigkeiten in den Bereichen Energiemessung, drahtlose Kommunikation und NIALM (Non-Intrusive Appliance Load Monitoring).

Für die Energiemessung wurden Energiemesschips verschiedener Hersteller evaluiert und entsprechend den Anforderungen bewertet. Bei der Analyse bot ein Energiemesschip von Analog Devices die geeignetste Voraussetzung für den weiteren Projektverlauf; dies mitunter wegen der schnellen Verfügbarkeit eines Evaluations-Boards. Im Bereich drahtlose Kommunikation untersuchten wir die Möglichkeiten und Voraussetzungen von ZigBee zur Kombination des Smart Energy Profiles mit dem Home Automation Profile. Die Erkenntnis ist, dass sich diese Profiles nicht kombinieren lassen, und dass der ZigBee-Standard angepasst werden muss. Die NIALM-Recherche hatte zum Ziel, verschiedene Verfahren und Techniken zur Lasterkennung elektronischer Verbraucher zu eruieren. Dazu wurden auch Anstrengungen und Tätigkeiten anderer Forschungsinstitutionen analysiert und ausgewertet.

Mit dem Bau eines ersten Prototyps konnte die Energiemessung verifiziert werden. Untersuchungen zur Messqualität, Einflüsse von Störgrößen und anderen Abhängigkeiten wurden durchgeführt.

Als nächster Projektschritt folgten die Optimierung der Schaltung und die damit verbundene Miniaturisierung des Prototyps mit dem Ziel, dass die Schaltung in einem Steckdosengehäuse Platz findet.

Start, Dauer, Abschluss:

Im Januar 2011 wurde mit dem Projekt LoReMA gestartet. Es dauert 19 Monate und wird im August 2012 abgeschlossen.

Projektorganisation

Die Projektorganisation des Projekts LoReMA (siehe Fig. 1).

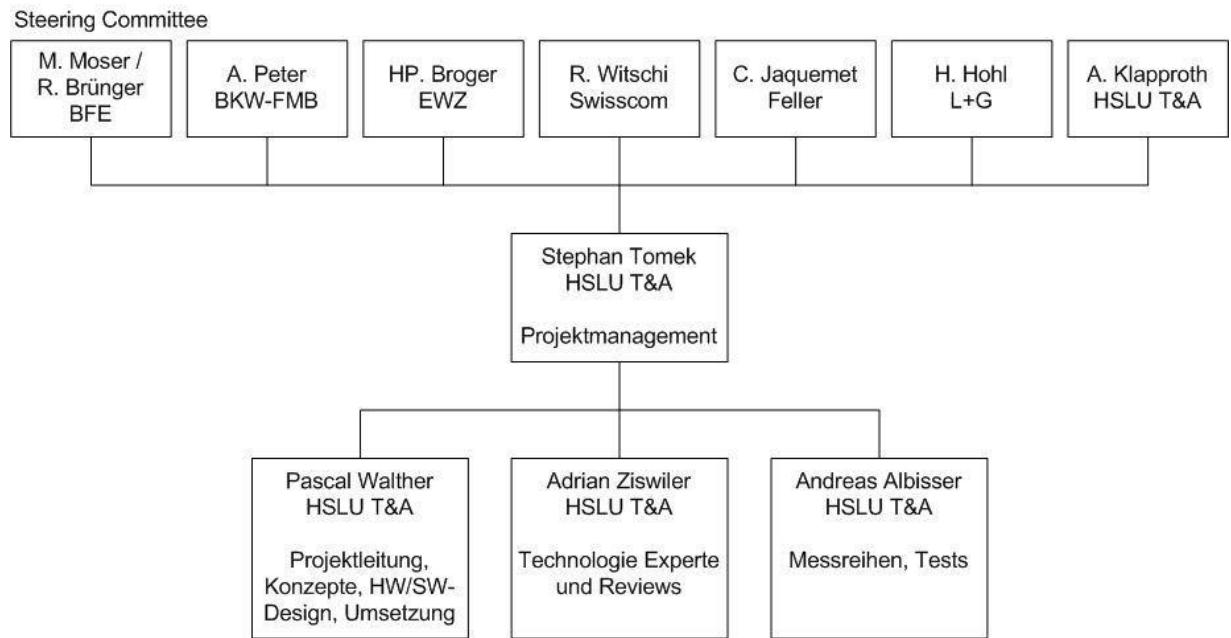


Figure 1: Projektorganisation

Projektziele

Ziel des LoReMA-Projekts ist es, lückenlos von jeder einzelnen elektrischen Last in einem Gebäude den Energieverbrauch in Echtzeit zu erfassen, ohne Eingriff in den Verbraucher vorzunehmen. Das Submetering von LoReMA ist in der Zuleitung zu den Geräten, z.B. in der Steckdose eingebaut. Die Erforschung und Entwicklung dieser massentauglichen „intelligenten“ Steckdose soll mithelfen, die Energieeffizienz im Haushalt zu steigern. Mit einem geeigneten System zur Energiemessung und einer aufschlussreichen Visualisierung, welche aktuelle und präzise nach Verbrauchern aufgeschlüsselte Energieverbrauchszzahlen liefert, soll der Benutzer für seinen Energiehaushalt sensibilisiert werden.

Das Projekt umfasst vier Phasen: Zum einen die Konzeptphase, in welcher die Anforderungen zu definieren und die Design-Spezifikation zu entwickeln sind. In der zweiten Phase geht es um die schrittweise Systementwicklung. Dabei werden sowohl die drahtlose Kommunikation, die Energiemessung wie auch der Schaltaktor der Steckdose entwickelt. In einer weiteren Phase folgt die Entwicklung eines intelligenten und zuverlässigen NIALM-Algorithmus zur Erkennung der elektrischen Verbraucher. Die letzte Phase vor der Verifikation des Gesamtsystems bilden die Gesamtintegration aller Systemkomponenten und der damit verbundene Bau von 10 Prototypen der LoReMA-Steckdose.

Folgende Arbeiten wurden für das Jahr 2011 definiert:

Anforderungen und Design-Spezifikation (WP1)

Anforderungen an die LoReMA-Infrastruktur

- Use Case Definition
- Definition der Messdaten für die Lasterkennung
- Nichtfunktionale Anforderungen (z.B. Reaktionszeiten, Datendurchsatz, externe Schnittstellen usw.)

Design-Spezifikation

- Entwicklung der Systemarchitektur für ein Low-Cost und Low-Power System (max. 300mW Standby-Verbrauch)

Drahtloskommunikation (WP2)

ZigBee Smart Energy (SE) Profile und Home Automation (HA) Profile

- Profilanalyse, Eignung für LoReMA
- Profilanpassungen, -Erweiterungen
- Konformitätsprüfung
- Übertragungsbandbreite

Systemaspekte

- Inbetriebsetzung, Management der Funkknoten
- Notwendige Parameter
- Vorbereitung, Installation, Konfiguration, Bedienung, Stromausfall, Wartung, Reparatur

ZigBee-Drahtloskommunikationsplattform

- Evaluation eines geeigneten ZigBee Funk-Chips
- Inbetriebnahme der Funkplattform

Energiemessung (WP3)

Konzept der Energiemessung

- Definition der Rahmenbedingungen (Messdaten, Messintervalle, Präzision, Lasttypen, Eigenverbrauch usw.)
- Umsetzung einer einfachen und kostengünstigen Lösungsvariante

Evaluation Energiemesschips

- Evaluation eines geeigneten Energiemesschips

Laboraufbau und Funktionstests

- Laboraufbau und Funktionsprüfung der Energiemessung
- Durchführung erster Testmessungen (Verifikation der Energiemessung in Bezug auf Robustheit und Messqualität)
- Auswertung der Messdaten bezüglich NIALM
- Aufbereitung der Messdaten (FFT-Berechnung, Vorselektion)

Schaltaktor (WP4)

Elektronisches Leistungsteil

- Evaluation einer passenden Aktorik
- Entwicklung eines elektronischen Leistungsteils
- Laboraufbau und Funktionsprüfung

Durchgeführte Arbeiten und erarbeitete Ergebnisse

Anforderungen und Design-Spezifikation

Anforderungen

Die Grundanforderungen an das dezentrale Messsystem sind wie folgt:

- Schaltfunktionalität der angeschlossenen Verbraucher (ON/OFF)
- Maximale Standby-Verlustleistung von 300mW
- Schaltstrom bis 10A
- Energiemessung der Verbraucher zur Lasterkennung mit folgenden Parametern:
 - o Wirkleistung
 - o Blindleistung
 - o Grundwelle des Stroms I1 (50Hz)
 - o Stromoberwellen I3 – I11 (150Hz – 550Hz → nur die ungeraden)
- Drahtlose Datenkommunikation (ZigBee)
- Plug'n'Play-Funktionalität zur einfachen Installation

Design- und System-Spezifikation

Nachfolgende Abbildung zeigt die LoReMA-Systemübersicht (siehe Figure 2). Die einzelnen LoReMA-Messknoten (Steckdosen) dienen zur Energiemessung und Lasterkennung. Gemessen werden die Wirk-/Blindleistung und die Stromgrundwelle sowie ungeraden Stromoberwellen. Die gesammelten Daten werden bei Laständerungen drahtlos über ein IEEE 802.15.4 / ZigBee-Netzwerk an die Zentrale geschickt. Die Zentrale führt über den NIALM-Algorithmus eine Lasterkennung durch. Heute ist LoReMA noch ein geschlossenes

System. In den Projekttätigkeiten hat sich abgezeichnet, dass die Messdaten auch mit Herstellerdatenbanken verglichen werden können. Der Aufbau solcher internationalen Datenbanken ist nicht Bestandteil von LoReMA. Folgeprojekte, die das Thema NIALM weiter vertiefen, sind bereits in der Initialisierungsphase.

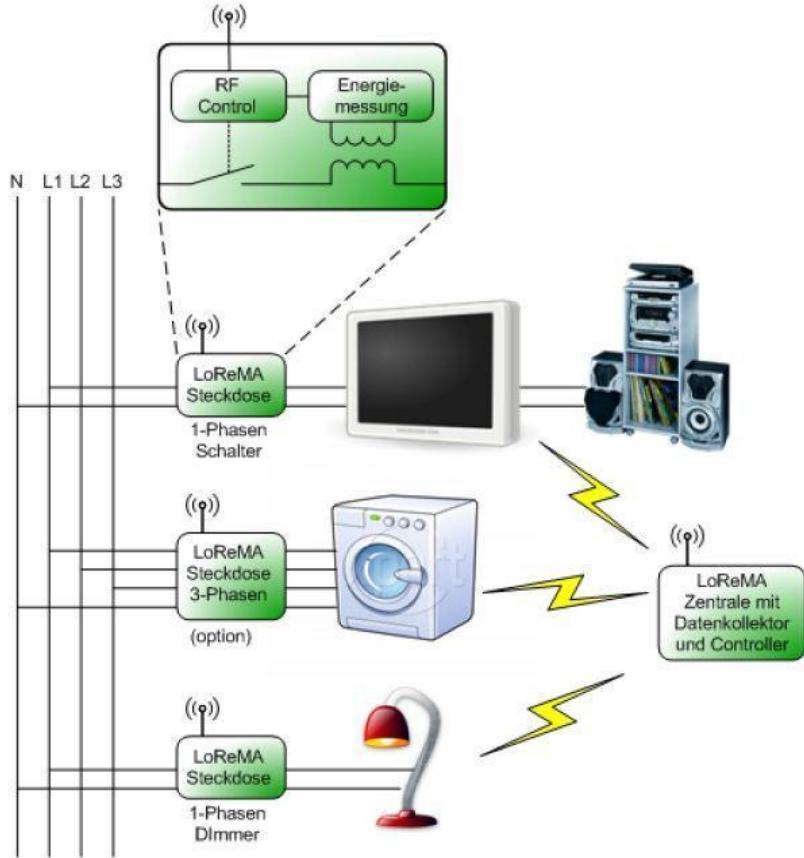


Figure 2: LoReMA Systemübersicht

NIALM-Recherche

Advanced Metering Infrastructures (AMI) sind integrierte Systeme, die Energiedaten messen, sammeln und verarbeiten. Mit NIALM werden Softwarealgorithmen bezeichnet, die anhand dieser gemessenen Energiedaten eine Lasterkennung durchführen. Das Ziel ist, die einzelnen an das System angeschlossenen Verbraucher zu identifizieren. Eine mögliche Identifikation erfolgt über die Analyse elektrischer Parameter wie die Wirkleistung, die Blindleistung oder die Stromoberwellen. Anhand der Schaltmuster beim Schalten und den einzelnen Zuständen der Verbraucher auch „Fingerprint“ oder „Signatur“ genannt, lassen sich Lastprofile der einzelnen betriebenen Geräte erstellen, mit deren Hilfe die Algorithmen die einzelnen Geräte identifizieren. Es gibt eine Reihe verschiedener Ansätze der NIALM-Algorithmen. Unterschieden werden können diese unter anderem in der Art und Anzahl der Messgrößen, der Häufigkeit der Messungen oder der Vielfalt der zu erkennenden Verbraucher.

In LoReMA haben wir uns für das Verfahren entschieden, welches die Leistung und die harmonischen Oberwellen auswertet.

Aus den Recherchen ging auch hervor, dass weitere Forschungslabors im Thema NIALM forschen, darunter das Fraunhofer Institut aus den USA und die Universität Brüssel. Beide Institutionen verwenden den Ansatz der zentralen Energiemessung (LoReMA misst dezentral an jeder einzelnen Steckdose). In Brüssel versucht man anhand des Lastgangs der Wirkleistung und einer Eventdetektion eine Lasterkennung durchzuführen. Das Fraunhofer Institut in den USA verfolgt derzeit zwei verschiedene Ansätze. Einer beruht ebenfalls auf der Auswertung des Lastgangs der Wirkleistung und zielt auf eher grössere Verbraucher. In einer zweiten Stossrichtung werden die Messsignale mit einer Abtastrate

von bis zu 100kHz abgetastet. Dadurch können die Verläufe der Verbraucher sehr detailliert aufgezeichnet werden. Der Nachteil ist aber die grosse Datenmenge, die erzeugt wird. Aus diesem Grund handelt es sich hierbei ausschliesslich um einen Laboraufbau, mit welchem verschiedene Möglichkeiten der Lasterkennung geprüft werden (z.B. Transienten oder hochfrequente Stromoberwellen). Die Erkenntnis ist, dass sich die Anforderungen von LoReMA mit den Ansätzen beider Institutionen nicht erfüllen lassen. Mit einer zentralen Energiemessung ist die geforderte detaillierte Lastaufschlüsselung nicht möglich. LoReMA verwendet des Weiteren zusätzliche Parameter wie die Blindleistung und die Stromoberwellen zur Lasterkennung. Eine hohe Abtastrate wie beim Fraunhofer Institut ist aufgrund der Zielsetzungen Low-Power, Low-Cost und der Absicht, das System in eine Steckdose zu integrieren, nicht möglich.

Drahtloskommunikation

ZigBee-Profile und Kombination von Smart Energy (SE) + Home Automation (HA)

Im Workpackage der ZigBee-Kommunikation wurden sowohl das Smart Energy-Profile als auch das Home Automation-Profile für die Verwendung in LoReMA analysiert. Der Wunsch war, die beiden Profiles miteinander zu kombinieren. Die Erkenntnis ist, dass dies nach ZigBee-Standard nicht möglich ist. Die Kombination der beiden Profile würde den ZigBee-Standard verletzen, dies vor allem wegen unterschiedlicher Security-Levels. Aufgrund dieser Feststellung wird in LoReMA ausschliesslich das SE Profile implementiert. Das SE Profile gestattet lediglich die Übertragung der Wirkleistung. Blindleistung und komplexe Stromoberwellenwerte können nicht untergebracht werden. Aus diesem Grund haben wir bei der ZigBee-Alliance ein Amendment zur Erweiterung der SE Profiles eingereicht.

Ebenfalls nicht unterstützt wird eine Dimmfunktion. Deshalb haben wir uns in Absprache mit dem Steering Committee dazu entschieden, auf die Dimmfunktion zu verzichten.

Evaluation eines passenden RF-Chips

Die Evaluation verschiedener RF-Chips hat den CC2530 von TI als passenden Funk-Chip für die ZigBee-Kommunikation hervor gebracht. Gründe dafür sind ein niedriger Preis, der robuste ZigBee-Stack, das Vorhandensein eines Evaluation-Boards und das vorhandene Know-how am iHomeLab.

Energiemessung

Evaluation Energiemesschip

Eine Nutzwertanalyse basierend auf den Systemanforderungen hat gezeigt, dass der Energiemesschip ADE5169 von Analog Devices der geeignete Energiemesschip für die Entwicklung der LoReMA-Steckdose ist.

Gründe für die Wahl des ADE5169 waren:

- SoC, was die Berechnung der FFT auf dem Chip ermöglicht
- Verfügbare Energiemesswerte (interne Register): P, Q, S, Irms, Vrms, Waveforms (Samples)
- Niedriger Energieverbrauch (~15mW)
- Preis 3.66\$ / 1000 units

Analog Devices bietet zusätzlich ein Evaluation-Board des ADE5169 mit dazugehöriger Evaluations-Software an, was einen schnellen und pragmatischen Weg zu den ersten Ergebnissen in der Energiemessung bot.

Da die Energiemessung und die Lasterkennung (NIALM) mittels einer klar definierten Schnittstelle voneinander getrennt sind, wäre es jederzeit möglich, die Messplattform zu wechseln.

Konzept der Energiemessung

Bei der Energiemessung werden das Spannungs- sowie das Stromsignal (Spannungsabgriff über Shunt Widerstand) mit den ADC-Eingängen des Energiemesschips abgetastet (Waveform-Samples). Mittels interner Register kann auf die verschiedenen Energiemesswerte (P , Q , Waveform-Samples) zugegriffen werden, was anschliessend auch die Berechnung der Stromoberwellen über eine FFT ermöglicht (siehe. Fig. 3).

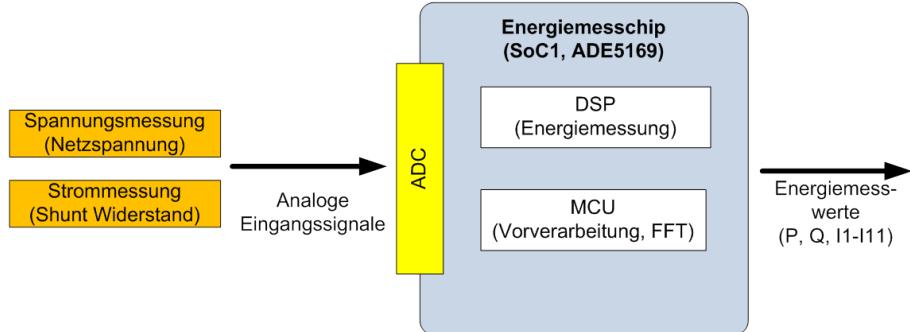


Figure 3: Messprinzip Energiemessung

Die Signalabtastung erfolgt mit einer Sample-Rate von 3.2kHz. Bei einer Periodendauer von 20ms (50Hz) ergibt dies 64 Samples pro Periode.

Messgenauigkeit

Um früh erste Testmessungen machen und die Energiemessung verifizieren zu können, wurde ein erster Prototypaufbau realisiert (siehe Fig. 4). Grundlage bildete das Evaluations-Board des Energiemesschips ADE5169.

Anhand verschiedener Messungen am iHomaLab (mit und ohne Störeinfluss) an unterschiedlichen Lasten wurde die Genauigkeit des Systems geprüft.

Die wichtigsten Resultate sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet

Table 1: Messgenauigkeit des LoReMA Systems

Standardabweichung der Wirkleistung	1.9W
Mittlere prozentuale Abweichung der Wirkleistung	0.2%
Standardabweichung der Blindleistung	0.7var
Mittlere prozentuale Abweichung der Blindleistung	14.4%
Die prozentual hohe Abweichung der Blindleistung lässt sich damit erklären, dass noch nicht genügend Messgrößen mit Blindleistungsanteil ausgemessen werden konnten. Noch folgende Messreihen werden die Messgenauigkeit der Blindleistung präzisieren und validieren.	
Standardabweichung von V_{rms}	0.7V
Mittlere prozentuale Abweichung von V_{rms}	0.14%
Standardabweichung von I_{rms}	7.4mA
Mittlere prozentuale Abweichung von I_{rms}	0.6%

Abhängig ist die Energiemessung auch von verschiedenen Störeinflüssen und Netzrückwirkungen. Verbraucher, welche ans Versorgungsnetz angeschlossen werden, verursachen Rückwirkungen auf das Netz. Zu den Störeinflüssen gehören unter anderem Frequenzschwankungen, Spannungsänderungen, Oberschwingungen sowie Überspannungen oder Spannungseinbrüche. Auf diese richtig zu reagieren wird im weiteren Projektverlauf eine grosse Herausforderung darstellen. Die Schwierigkeiten liegen darin, die Störgrößen zu identifizieren und deren Einfluss zu ermitteln, um rückwirkend darauf

reagieren zu können. Noch folgende Messreihen sollen die Möglichkeiten und Grenzen des Systems diesbezüglich aufzeigen.

Schaltaktor

Bei der Analyse nach einer passenden Aktorik für LoReMA wurden verschiedene Lösungsansätze untersucht. Einzig ein bistabiles-mechanisches Relais kann die Anforderungen des Schaltstromes von 10 A und die tiefe Verlustleistung des Gesamtknotens von >300 mW erfüllen. Einziges Manko des bistabilen-mechanischen Relais ist, dass für den Steuerimpuls eine Impulsleistung von 200-250mW aufgebracht werden muss. Diese ist aber nur kurzzeitig nötig. Halbleiterlösungen haben das Problem, dass die Verlustleistung bei einem Laststrom von bis zu 10A nicht abgeführt werden kann. Normale mechanische Relais dagegen haben zu grosse Verluste im Steuerkreis.

Erster Prototyp im iHomeLab (Showcase)

Im Sommer 2011 wurde der Prototyp der LoReMA-Steckdose im iHomeLab installiert. Die Resonanz sowie das Echo, welches der Showcase in den Medien auslöste waren gross. Er ist nun fester Bestandteil im iHomeLab (siehe Fig. 4). Der Showcase besteht aus 3 Verbrauchern (Ventilator, Glühlampe und Bildschirm) sowie einem Laptop als Zentrale und der LoReMA-Steckdose (weisse Box mit transparentem Deckel hinten rechts).

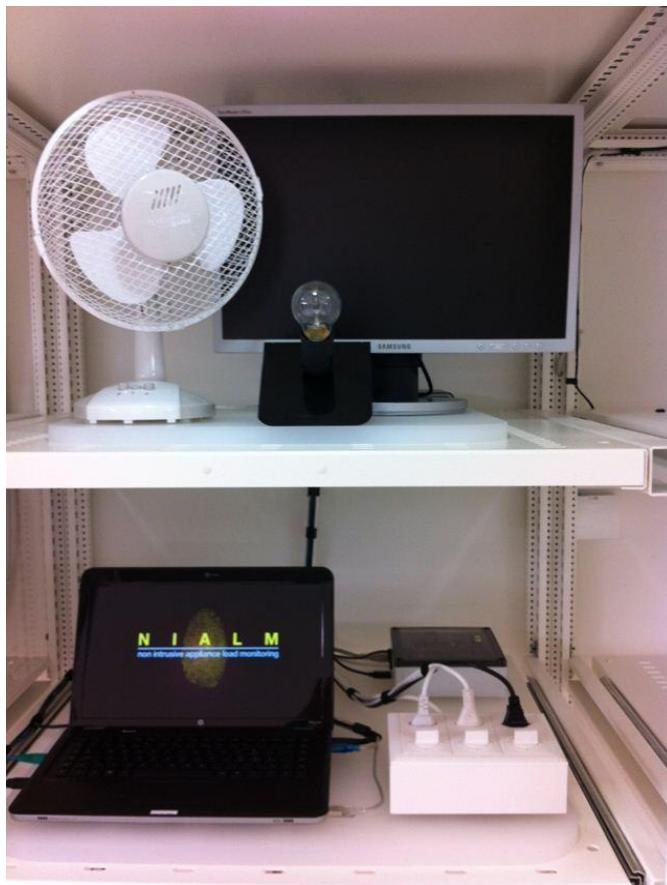


Figure 4: LoReMA Showcase im iHomeLab (1. Prototyp)

Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt LoReMA wird vom BFE und dem Industriekonsortium, bestehend aus BKW-FMB, EWZ, Swisscom, Landis + Gyr und Feller – Schneider Electric, unterstützt. Dieses Konsortium bildet zusammen mit dem BFE das Steering Committee.

Bewertung 2011 und Ausblick 2012

Der Projektstart erfolgte im Februar 2011. Gemäss Planung ist das Projekt gut im Zeitplan. Das Systemkonzept und die verschiedenen Arbeitspakete konnten weitgehend abgeschlossen werden und ein erster Prototyp wurde entwickelt. Testmessungen lieferten die ersten wichtigen und nützlichen Ergebnisse in der Energiemessung und der Lasterkennung. Sie erbrachten die Erkenntnis, dass verschiedene Störeinflüsse die Messparameter erheblich beeinflussen. Diesbezüglich konnten noch nicht für alle Störfälle Lösungen entwickelt werden. Die Analyse der ZigBee-Profile erbrachte die Erkenntnis, dass der aktuelle ZigBee-Standard nicht für NIALM ausgelegt ist. Hier wurden Anstrengungen unternommen, den Standard diesbezüglich mit den nötigen Energieparametern anzupassen.

Anfang 2012 ist die Herstellung der ersten integrierten LoReMA-Steckdosen geplant. Mit den Prototypen sind umfangreiche Testmessungen und Funktionsvalidierungen vorgesehen. Ein wichtiger Bestandteil bildet die Entwicklung eines intelligenten NIALM-Algorithmus zur Lasterkennung. Der Projektabschluss ist auf August 2012 geplant. Bis dahin wird eine ausgereifte, integrierte LoReMA-Steckdose entwickelt und im iHomeLab präsentiert.