

## Integrative Betrachtung von Sozialpsychologie und Gebäudetechnik zur Förderung von suffizientem Verhalten – Bewertung eines interaktiven Netzwerkes

Christian Struck<sup>1</sup>, Ronny Hardliz<sup>2</sup>, Behzad Olia<sup>2</sup>, Beat Frei<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Luzern - Technik & Architektur; Technikumstrasse 21, 6048 Horw;  
[christian.struck@hslu.ch](mailto:christian.struck@hslu.ch)

<sup>2</sup> Hochschule Luzern - Design & Kunst; Sentimatt 1, 6003 Luzern

<sup>3</sup> Aicher, De Martin, Zweng AG; Würzenbachstrasse 56, 6006 Luzern

### Zusammenfassung

### Résumé

### Abstract

Suffizienz wird neben der Steigerung der Energieeffizienz und der Nutzung umweltverträglicher Technologien als drittes Standbein der 2000-W-Gesellschaft bezeichnet. Somit rückt der Gebäudenutzer weiter in den Vordergrund der Diskussion zur Reduktion des Energieeinsatzes. Um das mögliche Einsparpotential zu erschliessen, ist es nötig die Perspektive über die Technik hinaus in die Sozialpsychologie auszuweiten. Das Ziel ist dabei den Gebäudenutzer als Akteur im Gebäude so zu stimulieren, dass er sich seines Einflusses auf den Energieverbrauch und Raumluftqualität bewusst wird und über die Entscheidungsgrundlagen verfügt, um gerichtet zu handeln. Der vorliegende Beitrag dokumentiert die Ergebnisse eines explorativen Forschungsprojektes. Das Ziel des Projektes war es den Graben zwischen Gebäudetechnik und dem sozialpsychologischen Handlungsmodell mit einem interaktiven Netzwerk zu schliessen. Als Ergebnisse wurden sowohl die (1) funktionellen Anforderungen an das nötige interaktive Netzwerk formuliert als auch (2) der benötigte Charakter der zu kommunizierenden Zustandsdaten erarbeitet.

Sufficiency is next to energy efficiency and the use of renewable energy sources one factor significantly contributing to achieving the 2000-W society. To sustainably exploit the energy saving potential attributed to the building user it is necessary to provide performance feedback in a format that the building user can relate to. Based on the current socio-psychological models it was found that stimuli are needed to raise awareness towards important parameters to derive a motivational force that leads eventually to a behavioral change. Humans are, for example, stimulated to interact with their environment by emotions or social engagement. This contribution reports research findings which target bridging the gap between technology and human by providing a supportive interactive network. The networks interface thereby relates directly to the anticipated stimuli. The possibility to customize the presentation format as well as a dynamic data presentation has the potential to avoid sensory habituation. A prerequisite for the building user to accept the presentation format is that a suitable abstraction level (human, room, building, district) which fits the context.

## 1. Ausgangslage

Suffizienz wird neben der Steigerung der Energieeffizienz und der Nutzung umweltverträglicher Technologien als drittes Standbein der 2000-W-Gesellschaft bezeichnet [1]. Somit rücken der Mensch und seine Aktivitäten zunehmend in den Vordergrund der Diskussion zur Reduktion des Energieeinsatzes. Die Integration sozialwissenschaftlicher und technologischer Ansätze ermöglicht es, das Potential von vorhandenen Technologien im grossen Massstab ökologisch und ökonomisch nutzbar zu machen, jedoch wird der Integration bis jetzt zu wenig Rechnung getragen [2].

Der vorliegende Beitrag widmet sich explizit dieser Integration. Der Beitrag identifiziert die Schnittstelle zwischen sozial-psychologischen Handlungsmodellen und der Gebäudetechnik und demonstriert auf Forschungsergebnissen basierende Ansätze, um diese Schnittstelle zu stärken. Dabei fokussieren sich die vorgestellten Arbeiten auf das Ermöglichen einer zweistufigen Interaktion des Nutzers mit (1) den Raumzustands- und Anlagenbetriebsdaten und (2) mit dem Nutzerinterface des interaktiven Netzwerkes. Das mittelfristige Ziel ist es, dass prognostizierte nutzerspezifische Energiesparpotential, wie z.B. 18% im Wohnbau [3], zu erreichen.

Die Grundlage zu dem Beitrag liefert ein interdisziplinäres und exploratives Forschungsprojekt an dem Forschende aus den Bereichen Gebäudetechnik, Kunst und Architektur 2013 zusammenarbeiteten. Das Ziel des Projektes war die Beantwortung folgender Forschungsfragen:

- Ist es möglich mittels visueller Stimulation durch ein digitales Netzwerk ein gerichtetes Verhalten des Gebäudenutzers zur Reduktion des Energieverbrauches und zur Erhöhung der Raumluftqualität zu erreichen?
- Welche Funktionalität benötigt ein Netzwerk, welches als zentrales Nervensystem des Gebäude agieren soll, um Gebäudenutzer zu Interaktion mit dem Gebäude und deren Technik zu animieren?
- Wie ist es möglich bestehende Informationsnetzwerke zu nutzen und zu erweitern, um diese als Hilfsmittel zur Erarbeitung und Darstellung generativer Kunst zu nutzen?

## 2. Herangehensweise

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde auf drei wesentlichen Forschungsmethoden aufgebaut (1) Literaturrecherchen zu den Themen Nutzerintervention, Netzwerkkonzepte und Visualisierungskonzepte; (2) Prototyping und (3) Usertesting.

Die *Literaturrecherchen* wurden zur Beantwortung der ersten beiden Forschungsfragen durchgeführt. Dabei wurde darauf abgezielt Kriterien zur Beurteilung von prototypischen Netzwerken zu formulieren sowie die Schnittstelle zu definieren an die es zu überbrücken gilt, wenn eine nachhaltige Nutzerintervention erfolgen soll.

*Iteratives prototyping*: Basierend auf den während der Literaturrecherche definierten Randbedingungen wurden iterativ prototypische Kommunikationskonzepte entworfen, getestet und bewertet. Die Kommunikationskonzepte integrieren sowohl verschiedene Netzwerktypologien als auch verschiedene Entwürfe zur Interaktion mit dem Nutzer. Es wurden drei Iterationen durchlaufen. Der Beitrag fokussiert die Ergebnisse aus dem letzten Iterationsdurchlauf.

Das *Usertesting* wurde als Methode zur Bewertung der Prototypen genutzt. Dabei wurden Experten nach einer Demonstration der Prototypen gebeten einen mit Evasys [4] erarbeiteten Online-Fragebogen auszufüllen. Das Usertesting fand jeweils als Teil der Projektworkshops statt zu denen interne und externe Experten eingeladen wurden. Das Feedback aus den ausgewerteten Fragebögen diente als Input für den folgenden Iterationszyklus.

## 3. Das nutzerspezifische Energiesparpotential

Das Feststellen des Einflusses der Gebäudenutzer auf den Energieverbrauch führte zu einem Anstieg der Forschungsaktivitäten zu Techniken zur Steuerung des Nutzerverhaltens. Während die alleinige Kommunikation des Energieverbrauchs an den Nutzer mittels Smart-Meters mit einem

langfristigen Einspareffekt von 3% [5] ernüchternde Ergebnisse zeigt, sind aktuelle Forschungsaktivitäten auf Interventionsstrategien gerichtet [6-14].

Der Fokus der dokumentierten Aktivitäten liegt auf der Formulierung von Interventionsstrategien zur langfristigen Sicherstellung von Verhaltensänderungen. So haben Ölander and Folke 1995 in [13] mit dem "Motivation-Opportunity-Ability" Model eine allgemeine sozial-psychologische Grundlage für diese Betrachtungen formuliert. Artho hat das MOA Model in [15] um den Faktor der Wahrnehmung erweitert, siehe Abbildung 1. Hier liegt das Novum. Während sich die Sozialpsychologie traditionell mit Aspekten der Motivation, Befähigung und Handlung beschäftigt blieb die Wahrnehmung mit ihren neurologischen Phänomenen unberücksichtigt. Gleichermassen begrenzen sich Fachleute in der Architektur und Gebäudetechnik auf die Verfügbarmachung von Energieverbrauchsdaten ohne den Endnutzer der Daten zu berücksichtigen. Aus der Perspektive der Autoren besteht hier ein Graben, den es zu überbrücken gilt, wenn es gelingen soll, das nutzerspezifische Energiesparpotential nutzbar zu machen.

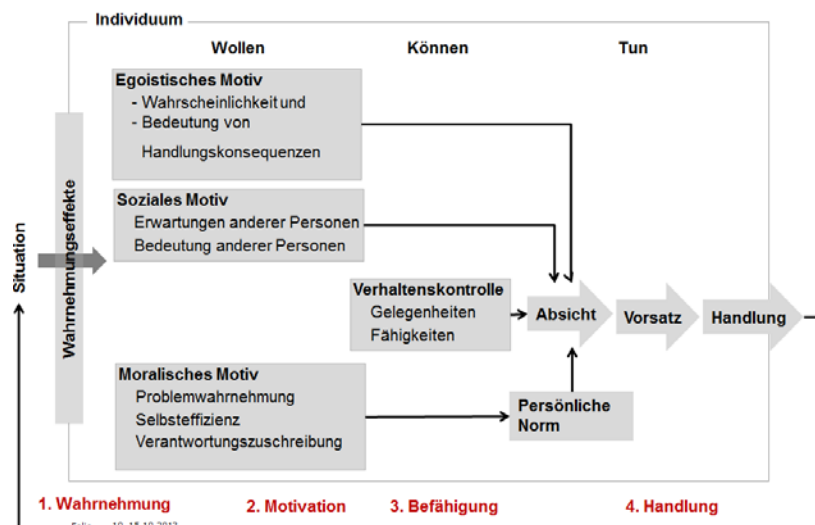


Abbildung 1 Sozial-psychologisches Handlungsmodell von Artho [15]

Die Grenzen der publizierten Interventionsstudien liegen darin, dass diese den Fokus auf freiwillige Verhaltensänderungen legen ohne die makro-ökonomischen TEDIC-Faktoren mit einzubeziehen. Der Term TEDIC-Faktoren leitet sich aus der engl. Übersetzung für technologische Entwicklung, ökonomisches Wachstum, demografischer Wandel, Institutionalisierung und kulturelle Entwicklung ab [14]. Andere beobachtete Aspekte, welche eine erfolgreiche Intervention behindern sind die nicht vorhandene oder begrenzte Darstellung der Dynamik des Nutzereinflusses und die fehlende Möglichkeit des Nutzers mit den dargestellten Parametern zu interagieren [16, 17]. Basierend auf der Literaturrecherche wurden die folgenden Kriterien zur Bewertung von Visualisierungstechniken zur Stärkung der Wahrnehmung als Link zwischen Technik und Psychologie formuliert.

1. **Befähigung des Nutzers zur Beeinflussung relevanter Parameter:** Möglichkeiten schaffen, die dem Nutzer die Einflussnahme auf relevante Parameter erlauben (Sphere of influence)
2. **Vermeidung von Habituation:** Schaffung von Möglichkeiten für den Nutzer mit der Datenvisualisierung zu interagieren.
3. **Kontextualisierung:** Dem Nutzer ermöglichen eine Beziehung zu den Daten aufzubauen, indem man diese auf einen Kontext bezieht, z.B. den Raum, die Zeit bzw. eine bestimmte Situation.
4. **Intuitive Lesbarkeit:** Nutzung intuitiver Datenformate in Bezug auf die menschlich möglichen Datenverarbeitungskapazität.
5. **Künstlerische Intervention:** Nutzung des Potentials des Datenvisualisierungskonzeptes zur künstlerischen Manipulation der Darstellung.

## 4. Prototyping

Zur Umsetzung eines interaktiven Netzwerkes wurden sowohl Visualisierungskonzepte als auch Netzwerktypologien erarbeitet und bewertet. Die am besten geeigneten Konzepte wurden im Anschluss miteinander kombiniert und als Prototyp aufgebaut, diskutiert und bewertet.

Bedingt durch die Art der Studie wurde beim Prototyping Bezug auf Schulhäuser genommen und zwei Perspektiven differenziert: - im Klassenzimmer- und -vor dem Klassenzimmer-. Während die beiden Orte im Gebäude einen starken Bezug zueinander haben, haben sie unterschiedlichen architektonische Charakteristiken und verschiedene Anforderungen an die zu kommunizierenden Informationen.

#### 4.1 Visualisierungskonzepte

Zur Erarbeitung von Visualisierungskonzepten wurden folgende Prinzipien abgeleitet:

- Die Datenkommunikation erfolgt vom Spezialisten zum Nicht-Spezialisten:
- Nutzung von interaktiven Monitoren, Statue ähnlichen Objekten und/oder architektonisch integrierten Displays:
- Aufbauen einer Beziehung des einzelnen Raumes zur Performance des gesamten Gebäudes;
- Vermitteln von Emotionen, um eine Interaktion hervorzurufen:
- Fokus auf das Hervorrufen von gerichteten Handlungen ggü. der Vermeidung des Gefühls überwacht zu werden;

Das für den finalen Prototypen im Klassenzimmer gewählte Darstellungsformat wurde von Ubuntu Mobile's-Willkommen Schirm adoptiert [18] und ähnelt einer Blüte mit Blütenblättern. Die Darstellungsweise erlaubt die Kommunikation verschiedener Parameterwerte in Echtzeit, siehe Abbildung 2. Die 24 kreisförmig angeordneten Punkte werden genutzt um die aktuelle Zeit anzugeben. Die den Kreis begrenzende gestrichelte Linie rotiert in Abhängigkeit des Änderungsverhaltens des dargestellten Parameters – steigend nach rechts – und – fallend nach links –. Die Rotationsgeschwindigkeit ist abhängig vom der Änderungsgeschwindigkeit des Parameters. Der Referenzwert für die Beschleunigung ist der Parametermittelwert der vorgängigen drei Minuten. Die durch die Kinect-Kamera aktivierte Projektion erlaubt es durch Berührung der Projektionsfläche den dargestellten Parameter, z.B. von der aktuellen elektrischen Leistung zur CO<sub>2</sub>-Konzentration zu ändern. Der aufgebaute Prototyp erlaubte zwischen drei Parametern zu wechseln.



Abbildung 2, Datenpräsentation als Blüte –Adaptation von Ubuntu's Mobile Welcome Schirm

Der Fokus der für die Zirkulationsfläche vor dem Klassenzimmer gewählten Darstellungsweise lag auf der Kommunikation der Anzahl Anwesenden im Klassenzimmer sowie deren Energieverbrauch. Das gewählte Visualisierungskonzept entspricht dem eines virtuellen Pilasters. Damit wurde architektonisch auf die im Vorraum des Klassenzimmers vorhandenen Säulen Bezug genommen. Die Verdrehung des Pilasters bezieht sich auf den Energieverbrauch im Klassenzimmer. Ist dieser gering ist der Pilaster leicht verdreht. Ist der Energieverbrauch hoch ist der Pilaster stark verdreht. Die Anzahl der im Klassenzimmer anwesenden Personen wird mit der entsprechenden Zahl sich um den Pilaster bewegenden Blasen dargestellt.



Abbildung 3, Pilaster

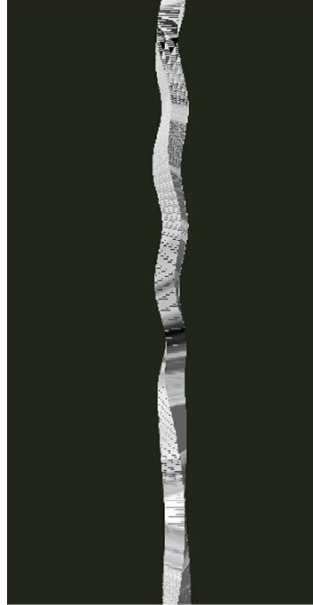


Abbildung 4, Virtuelle Pilaster



Abbildung 5, Projizierte virtuelle Pilaster vor dem Klassenzimmer

## 4.2 Netzwerktopologien

Es wurden fünf technische Ansätze formuliert und bewertet welche die vorgenannten Kriterien erfüllen. Die Ansätze basieren auf verfügbaren Technologien und Nutzen die Funktionalität des „Internet of Things“, also der intelligenten Vernetzung von Sensorik und Kommunikationstechnologien. Die Komplexität und Funktionalität der Ansätze steigt mit der Ordnungszahl. Während Ansatz 1 als Demonstrator für die Interaktion des Menschen mit seiner Umgebung dient, zielt Ansatz 5 darauf ab mehrere Netzwerke zur Erweiterung ihrer Funktionalität zusammenzuführen.

### Typ 1 - Simple Connection

Der Typ „Simple-Connection“ nutzt eine Kinect Kamera mit deren Hilfe die Körper-Koordinaten und Positionen in Echtzeit aufgenommen und an einen Computer gesendet werden. Auf dem Computer werden die Datenpunkte mittels der Software VVVV [19] in Geometrien oder abstrakte Farben und Formen übersetzt und dargestellt. Mittels akustischer Signale, wie z.B. Klatschen, ist es möglich die Darstellungsweise von Formen in Farben zu verändern.

### Typ 2 - Split Signal

Der Typ Split-Signal nutzt einen Splitter und Funkübertragung. Aufbauend auf Ansatz 1 wird das Signal zwischen dem Computer und dem Display geteilt, sodass mehrere Displays bespielt werden können. Ansatz 2 testet hierbei vergleichend die Qualität von Kabel und kabelloser Datenübertragung. Die Herausforderung liegt dabei darin, das ein Hochfrequenz Signal gestreamt wird, was Interferenzen verursachen kann.

### Typ 3, Kommunikation via Internet: Streaming

Dieser Ansatz erprobt die Möglichkeit das Netzwerk durch die Einbindung des Internets zu erweitern. Das Netzwerk ermöglicht dadurch eine verstärkte Interaktion mit dem Nutzer. Um Zugriff auf die Darstellung der Daten zu erhalten, navigiert der Nutzer zu einer Web-Seite mit implementiertem Stream-Player.

### Typ 4, Digital Signage

Typ 4 „Digital signage“ integriert das entwickelte Netzwerk in die vorhandene IT-Infrastruktur in den Gebäuden der Hochschule Luzern. Die Integration benötigt die Zustimmung und die technischen



Die o.g. sowie in den Abbildung 7 und 8 dargestellten Ergebnisse basieren auf Expertenmeinungen. Die Autoren beanspruchen für die dargestellten Daten keine statistische Signifikanz. Jedoch sind die Daten aussagekräftig in Bezug auf eine erste Bewertung von Prototypen in der Produktentwicklungsphase bzw. zur Ableitung von Bedürfnissen einer künftigen Nutzergruppe.

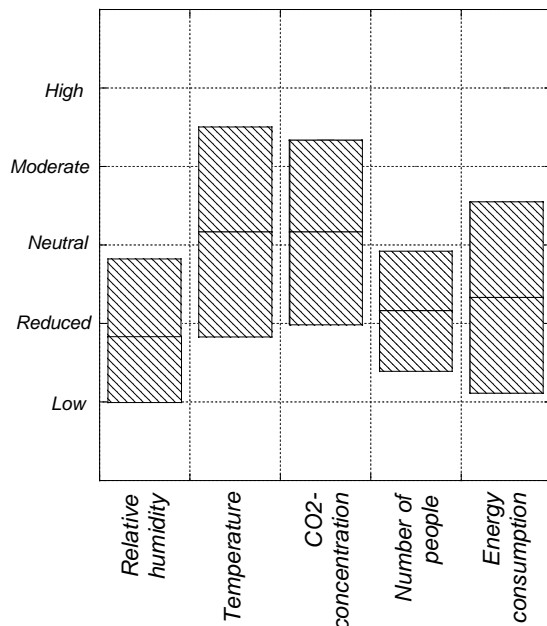


Abbildung 7 Einfluss von Energieverbrauch und vier Raumzustandsparametern auf das Wohlbefinden der Anwesenden (Mittelwert & Standardabweichung)

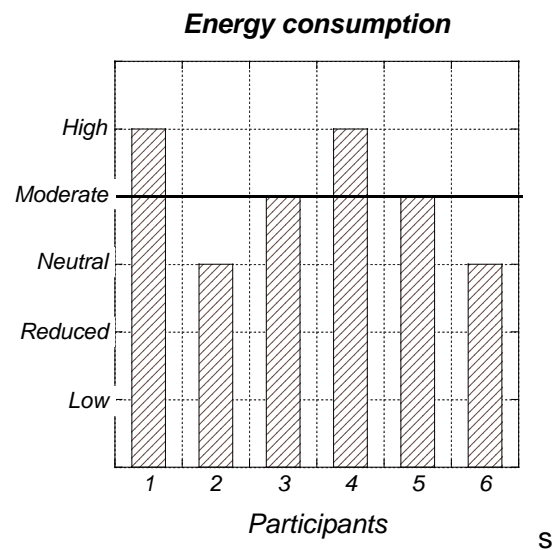


Abbildung 8 Potential in die Zukunft projizierter Trenddaten zur Ableitung gerichteter Handlungen und Reduktion des Energieverbrauchs

## 6. Schlussfolgerungen

Als Projektergebnisse wurden sowohl die (1) funktionellen Anforderungen an das nötige interaktive Netzwerk formuliert als auch (2) der benötigte Charakter der zu kommunizierenden Zustandsdaten erarbeitet. So wurde z.B. durch die quantitative Auswertung von Online-Fragebögen deutlich, dass Gebäudenutzer zusätzliche Werkzeuge benötigen, um ihren Einfluss auf den Energieverbrauch und Raumklima zu erfahren.

Ableitend vom sozial-psychologischen Handlungsmodell von Artho benötigt der Mensch Stimuli hinsichtlich Energieverbrauch und Raumluftqualität, um eine motivierende Kraft zu entwickeln, welchen zu gerichteten Handlungen führt. Menschen sind beispielhaft durch Emotionen (z.B. Blumen) oder sozialem Engagement (z.B. Wettbewerb) zur Interaktion mit ihrer Umgebung zu bewegen. Das gewählte Kommunikationsformat hat damit einen direkten Bezug zu den auszulösenden Stimuli. Die Möglichkeit Einfluss auf das Präsentationsformat zu nehmen und der dynamische Charakter der Datenpräsentation haben das Potential sensorische Habituation zu vermeiden.

Eine Vorbedingung zur Anwendung dieser Grundsätze ist die Verfügbarkeit von Daten im passenden Abstraktionsgrad (z.B. räumlich: Raum, Gebäude, Quartier oder temporär: minütlich, stündlich, täglich). Eine grosse Herausforderung ist hierbei sicher die Verfügbarmachung zukunftsprojizierter Verbrauchsdaten.

Je mehr eine Darstellungsweise in Beziehung zur Architektur gesetzt wird, desto mehr erlaubt es eine intuitive Interpretation der Daten, um ein Verständnis zur Performance eben dieser Architektur abzuleiten. Davon ableitend wird geschlussfolgert, dass gerade die Nutzung architektonischer Elemente wie z.B. Säulen, Sopraporten oder Deckenstück ein großes Potential haben, um ortsbezogene Informationen zu vermitteln. Die Verfügbarkeit von kostengünstiger schnurloser Sensorik und Netzwerktechnologien (*Internet of Things*) hat grosses Potential die Anlagen- und Raumzustandsdaten im gewünschten Abstraktionsgrad zur Verfügung zu stellen.

## Literatur/Referenzen

1. Gessler, R. and A. Altenburger, *Suffizienz als Standbein der 2000-Watt-Strategie*. TEC21 Traces Dossier 2013. **2013**(6): p. 6.
2. Fischer, R., *Energieforschung ohne Geist?*, in *Horizonte – Das Schweizer Forschungsmagazin* 2013, Schweizerischer Nationalfonds: Bern. p. 2.
3. Aumann, A. and H. Gugerli, *Grundlagen zu einem Suffizienzpfad Energie - Das Beispiel Wohnen*, 2012, Amt für Hochbauten Zürich, Fachstelle nachhaltiges Bauen. p. 53.
4. Electric Paper Evaluationssysteme GmbH, *Eduacation Survey Automation Suite*, 2014: Lüneburg/Deutschland.
5. CKW, *Pressemitteilung: Smart Metering-Pilotprojekt stellt Kundennutzen in Frage*, 2014, Centralschweizerische Kraftwerke AG: Luzern. p. 2.
6. Corradi, N., et al., *Oops, I forgot the light on! The cognitive mechanisms supporting the execution of energy saving behaviors*. *Journal of Economic Psychology*, 2013. **34**(0): p. 88-96.
7. European Environment Agency, *Achieving energy efficiency through behaviour change: what does it take?*, 2013, European Environment Agency (EEA): Copenhagen.
8. Graml, T., et al. *Paper 184: Improving residential energy consumption at large using persuasive systems*. in *European Conference on Information Systems (ECIS) 2011* 2011. Helsinki, Finland: ECIS.
9. Han, Q., et al., *Intervention strategy to stimulate energy-saving behavior of local residents*. *Energy Policy*, 2013. **52**(0): p. 706-715.
10. Kok, G., et al., *Changing energy-related behavior: An Intervention Mapping approach*. *Energy Policy*, 2011. **39**(9): p. 5280-5286.
11. Mack, B., *Energiesparen fördern durch psychologische Interventionen: Entwicklung und Evaluation einer Stromsparkampagne in einer Energiesparhaussiedlung* 2007, Münster/ New York: Waxmann.
12. Murtagh, N., et al., *Individual energy use and feedback in an office setting: A field trial*. *Energy Policy*, 2013. **62**(0): p. 717-728.
13. ölander, F. and J. Thøgersen, *Understanding of consumer behaviour as a prerequisite for environmental protection*. *Journal of Consumer Policy*, 1995. **18**(4): p. 345-385.
14. Wilson, T. and L. Hawkins, *CCBRP WORKING PAPER - Changing household energy behaviours: key findings from a review of applied research*, 2011, The Scottish Government: Edinburgh. p. 14.
15. Artho, J., A. Jenny, and A. Karlegger, *Themenbereich Haushalte - Forschungsprojekt FP-1.4*, in *Wissenschaftsbeitrag 2012*, Universität Zürich, Sozialforschungsstelle: Zürich. p. 225.
16. Struck, C., et al., *Towards more effective communication of integrated system performance data*, in *CISBAT 2011, Cleantech for sustainable buildings* 2011, Solar Energy and Building Physics Lab (LESO-PB): Lausanne, Switzerland. p. 6.
17. Struck, C., et al. *User-centric and contextualized communication of integrated system performance data*. in *BauSim 2012 Gebäudesimulation auf den Größenskalen Bauteil, Raum, Gebäude, Stadt, Stadtquartier*. 2012. Universität der Künste Berlin, Germany: IBPSA.
18. Ubuntu *Ubuntu now fits your phone*. 2013.
19. VVVV Group, *vvvv 45beta30.2*, 2013.