

EVISU - Energievisualisierung
Literaturrecherche – Empirische Studien

Auftraggeber
Bundesamt für Energie
Rolf Moser

Auftragnehmer
Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

Verfasser
Curdin Derungs
Reto Marek
Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Einleitung | 3 |
| 2. | Interventionsmodelle | 3 |
| 2.1. | Der vernünftige Mensch | 3 |
| 2.2. | Der zielorientierte Mensch | 4 |
| 2.3. | Der moralische Mensch | 4 |
| 2.4. | Gaps and Nudging | 5 |
| 3. | Rückmeldungen zum Energieverbrauch | 7 |
| 3.1. | Einflussfaktoren auf Seiten des Nutzenden | 8 |
| 3.2. | Einflussfaktoren auf Seiten der Rückmeldung | 9 |
| 4. | Visualisierungen des Energieverbrauchs | 13 |
| 4.1. | Aggregierte vs. disaggregierte Visualisierungen | 14 |
| 4.2. | Monitor-Vergleich | 14 |
| 4.3. | Rasche Lesbarkeit | 16 |
| 5. | Erkenntnisse | 17 |
| 6. | Literaturverzeichnis | 18 |

1. Einleitung

Es gibt eine ungleich grössere Anzahl empirischer Studien zur Wirksamkeit von Rückmeldungen zum Energieverbrauch im Allgemeinen, im Vergleich zu Studien über den Einfluss von Visualisierungen im Speziellen (z.B. Herrmann et al. 2018). Die meisten empirischen Studien beider Gruppen nehmen Bezug auf Interventionsmodelle aus der Psychologie, um das grundsätzliche Verhältnis zwischen Rückmeldung und Verhaltensänderung zu erklären. Die Auswahl an Interventionsmodellen ist gross und schwierig zu Überblicken. In diesem Kapitel werden deshalb in einem ersten Schritt die gängigsten Interventionsmodelle der Psychologie ohne Bezug auf die Energievisualisierung zusammengefasst, bevor die Resultate von empirischen Studien zu Rückmeldungen im Allgemeinen, und dann zu Visualisierungen im Speziellen erläutert werden.

2. Interventionsmodelle

Interventionsmodelle sind eine Untergruppe der allgemeinen und breit gefassten Lerntheorie (Mowrer 1960). Diese beschäftigt sich mit der Frage, wie Wissen angeeignet wird und wie auf Wissen zugegriffen wird, um Entscheidungen zu fällen oder das Verhalten zu ändern. Interventionsmodelle decken nur den Teilbereich «Einfluss von Rückmeldungen auf Verhaltensänderung» ab. Dieser Teilbereich ist für das Projekt von zentraler Bedeutung.

Interventionsmodelle können aufgrund zugrundeliegender Prämissen unterteilt werden in Modelle, die i) auf der Vernunft basieren, die ii) ein Ziel in den Vordergrund stellen und die iii) auf der menschlichen Moral aufbauen. Die folgende Auflistung ist nicht abschliessend und die Unterteilung in die drei Prämissen ist nicht in jedem Fall eindeutig.

2.1. Der vernünftige Mensch

Ein einfaches Modell um Handeln zu verstehen, ist die Annahme des vernünftig Handelnden Menschen. Eine Sammlung solcher Modelle sind in der *Rational-Choice Theory* (RCT) zusammengefasst (Simon 1955). Zu grösster Bekanntheit hat es der *Homo Oeconomicus* aus den Wirtschaftswissenschaften gebracht. Die Annahme der Rationalität kann viele Verhaltensmuster im Grundsatz erklären, scheitert jedoch oft an der Komplexität der Realität, wie im Falle des *Homo Oeconomicus* hinreichend bekannt ist.

Theory of reasoned action (TRA) ist eines der klassischen Modelle um den Einfluss von Wertvorstellungen aufs Handeln und Verhalten zu untersuchen (Fishbein und Ajzen 1977). Insofern würde TRA auch zu den später besprochenen *moralischen Modellen* zählen. Wie in der RCT wird der Mensch in der TRA jedoch als vorrangig rationales Wesen verstanden. TRA fand vor allem in der Marktforschung Anwendung um die Beziehung zwischen Einstellung und Kaufverhalten zu untersuchen. Die Theorie hat ihre Schwäche im Erklären von impulsivem und emotionalem Handeln.

Um diese Lücke zu schliessen hat Ajzen (1991), einer der Co-Autoren von TRA, eine Erweiterung vorgeschlagen (*Theory of planned behavior* (TPB)). TPB umfasst die Möglichkeit, dass eine Handlung nicht objektiv vernünftig sein muss, wie in TRA angenommen. Es ist ausreichend, dass der Handelnde die Handlung als vernünftig einordnet. Die eigentliche Motivation des Handelns kann TPB zufolge auch intuitiv oder emotional sein.

2.2. Der zielorientierte Mensch

Die Annahme des zielorientierten Menschen muss dem Modell des vernünftigen Menschen, wie oben kurz zusammengefasst, nicht widersprechen. Der Fokus der *Goal-Setting Theory* (GST) (Locke & Latham 1990) liegt jedoch, wie der Name sagt, auf dem Ziel der Handlung. Die GST basiert auf einer Studie von Bandura (1969) und ist eine der frühen Theorien zum Einfluss von Rückmeldung auf das Verhalten. Es steht die Beobachtung im Zentrum, dass Verhaltensänderungen oft zielorientiert sind. Entsprechend steht das Fehlen eines klaren Zieles der Anpassung des Verhaltens im Wege.

Die *Feedback-Intervention Theory* (FIT) (Kluger und DeNisi 1996) als lediglich zielorientiert darzustellen ist zu kurz gegriffen. Die FIT ist eines der häufigsten referenzierten Interventionsmodelle in der Energie-Literatur (z.B. Karlin et al. 2015). Sie hat den Ursprung in einer Literaturübersicht der Autoren Kluger und DeNisi (1996). Diese haben festgestellt, dass Untersuchungen zur Wirksamkeit von Rückmeldungen sehr gemischte, manchmal gar widersprüchliche Ergebnisse erzielen. FIT versucht diese Variation in einem Modell zu erfassen. Das zentrale Element von FIT ist der *Feedback-Standard-Gap*. Die Lücke, die zwischen der Sollvorstellung (Standard) und der Realität klafft. Ist diese Lücke gross, ist die Motivation entsprechend gross, diese zu schliessen. Wie und wie effizient diese Lücke geschlossen werden kann hängt von den konkreten Zielen und dem Grad an Aufmerksamkeit ab, welcher der Lücke beigemessen wird.

2.3. Der moralische Mensch

Augenscheinlich sind Normen und Moralvorstellungen ein wichtiger Antrieb für menschliches Handeln. Wiederum ist eine Abgrenzung von den obigen Modellen nicht eindeutig. Normatives Handeln kann sowohl rational als auch zielorientiert sein. In der Literatur finden sich jedoch mehrere Modelle, welche die Moral explizit in den Vordergrund stellen.

Schwartz (1977) fokussiert im Rahmen des *Norm-Activation Model* (NAM), auf die Herkunft und die Auswirkung von sozialen Normen oder Moralvorstellungen auf unser Handeln. Moralvorstellungen haben darum einen hohen Stellenwert, weil sie als «feelings of moral obligation not as intentions» (S. 227, Schwartz 1977) wahrgenommen werden. NAM zufolge fühlen wir uns unserer Moralvorstellung gegenüber verpflichtet. Nicht zuletzt, weil wir die Erfahrung gemacht haben, dass ein Zuwiderhandeln negative Konsequenzen hat. Umgekehrt ist unsere Moralvorstellung stark von erfahrenen Konsequenzen abhängig.

Moralvorstellungen und Rückmeldungen auf unser Handeln stehen NAM zufolge also in einem Wechselspiel.

Ein weiteres Beispiel für den Einfluss von Moral auf unser Handeln ist die *Action-Identification Theory* (AIT) (Vallacher und Wegner 1987). AIT macht allerdings den Umweg über die Identifikation. AIT geht davon aus, dass sich Menschen mit ihrem Handeln, in unterschiedlicher Ausprägung, identifizieren. Der Fokus von AIT liegt auf dem komplexen Prozess, wie Menschen der Ambiguität einer Handlung eine Eindeutigkeit zuweisen. Fragt man beispielsweise Menschen in einem Einkaufszentrum nach ihrem Handeln, variieren die Antworten zwischen «Geld aus der Geldbörse nehmen», «Kleider kaufen» bis hin zu «ein ansehnliches Äusseres wahren». Die unterschiedlichen Deutungen der gleichen Handlung haben einen Einfluss darauf, wie ausgeprägt die Identifikation mit der Handlung ist. Je nach Identifikation ist eine Handlung schwieriger oder weniger schwierig zu ändern. AIT kann deshalb Aufschluss darüber geben, ob Verhaltensänderungen, bei gegebener Identifikation, einfach zu bewerkstelligen oder kaum umsetzbar sind.

Das *Attitude-Behaviour-Context Model* (ABC) (Guagnano et al. 1995) erweitert das klassische Weltbild des moralischen Menschen um den Faktor Kontext. Handlung wird als interaktives Produkt von sowohl Moralvorstellungen, also auch externen Einflüssen verstanden. Wenn beispielsweise die externen Einflüsse ein grosses Hemmnis darstellen - z.B. eine Energiesanierung ist mit sehr hohen Kosten verbunden -, kann ein Nicht-Handeln nicht mit der Moralvorstellung – z.B. Energieeffizienz - erklärt werden. ABC schliesst also eine wichtige Lücke zwischen der Innen- und Aussensicht auf den Menschen, welche beispielsweise dem NAM oder der AIT zu eigen sind.

2.4. Gaps and Nudging

Nicht alle der oben erläuterten Modelle haben einen unmittelbaren Bezug zu Rückmeldung und zum Einfluss von Rückmeldung aufs Handeln. Den Bezug herzustellen ist hingegen einfach, da jedem der obigen Modelle ein Menschenbild zugrunde liegt und dieses wiederum die Motivation zum Handeln erklärt. Abhängig vom Menschenbild, muss eine Rückmeldung die Ratio ansprechen, einem klaren Ziel folgen oder die Moralvorstellung ins Zentrum rücken, um eine Handlung oder Verhaltensänderung zu bewirken.

Die drei vorangehenden Beispiele von Interventionsmodellen legen die Vermutung nahe, dass nicht ein einzelnes Modell die gesamte Komplexität des menschlichen Handelns zu erklären vermag. Zum einen stellt jedes Modell einen Mittelweg zwischen Erklärungsgrad und Modellkomplexität dar. Zum anderen weiss man aus praktischen Untersuchungen, dass es sowohl einen *Knowledge-Action Gap* (z.B. Kennedy et al. 2004), als auch ein *Value-Action Gap* (z.B. Kollmuss und Agjemann 2002) gibt, welche das Resultat einer Intervention massgeblich beeinflussen können. Modelle, die vom rationalen Menschen ausgehen, übersehen beispielsweise oft, dass Wissen alleine oft nicht zu einer Verhaltensänderung führt (Knowledge-Action Gap). Normative Modelle würden daher argumentieren, dass Wissen erst in eine Moralvorstellung übersetzt werden muss. Untersuchungen haben jedoch auch

hier gezeigt, dass oft eine Lücke zwischen der Moralvorstellung eines Menschen und dem tatsächlichen Handeln klafft, der *Value-Action Gap*. Die beiden *Gaps* müssen vorsichtig interpretiert werden. Sie stellen einzig den kausalen Zusammenhang zwischen Wissen und Handeln oder Moral und Handeln in Frage. Es steht nicht zur Debatte, dass kein Zusammenhang besteht.

Es gibt auch Interventionsmodelle, die ohne vereinfachendes Menschenbild auskommen. Thaler und Sunstein (2008) beschreiben *Nudge* als Methode, das Verhalten von Menschen zu beeinflussen, ohne dabei auf Vernunft oder Moral zurückgreifen zu. Die Autoren gehen von der Annahme aus, dass der Menschen nicht in der Lage sind, optimale Entscheidung zu treffen. Es ist deshalb einfacher, Verhaltensänderungen durch Anreize oder Information «anzustossen», als diese aufgrund eines Menschenbildes zu erwarten. Möchte man, dass Schüler Obst essen, muss Obst präsent und greifbar sein.

Im folgenden Kapitel wird erläutert, wie die obigen Interventionsmodelle in angewandter Forschung zum Einfluss von Rückmeldung auf die Energieeffizienz berücksichtigt werden.

3. Rückmeldungen zum Energieverbrauch

Die obige Zusammenfassung von Interventionsmodellen aus der Psychologie ist allgemeiner Natur und nimmt keinen Bezug auf das Thema Energieeffizienz. Rückmeldungen zur Energieeffizienz können dem Thema Eco-Feedback zugeordnet werden. Hierunter ordnen sich alle Arten von interaktiven Hilfsmitteln, die gezielt auf Rückmeldungen zu Ökologischen Faktoren ausgerichtet sind, um damit nachhaltige Verhaltensweisen anzuregen (Pierce et al. 2008).

Karlin et al. (2015) argumentieren, dass es aufgrund des sehr breiten Angebotes an psychologischen Modellen wichtig sei zu beachten, was die zugrundeliegenden Charakteristiken vom Energieverbrauch sind. Diese sollen bei der Auswahl und Verwendung eines, meist allgemein verfassten, psychologischen Modelles beachtet werden. Die Autoren identifizieren die folgenden Charakteristiken von Energieeffizienz:

- **Energie ist abstrakt:** Die kausale Beziehung zwischen Energieverbrauch und beispielsweise dem damit verbundenen CO₂ Ausstoss ist im Alltag nicht direkt beobachtbar.
- **Energie ist unsichtbar** (und allgemein unfühlbar): Die Geräte, welche wir im Alltag benützen, verbrauchen Energie. Das ist Teil unseres Wissens. Der Energieverbrauch an und für sich liegt aber ausserhalb der Reichweite unserer sensorischen Fähigkeiten.
- **Energieverbrauch ist omnipräsent:** Energieeffizientes Verhalten kann sehr unterschiedliche Ausprägungen haben. Der Verzicht auf Mobilität, Komfort oder Konsum sind Beispiele, sowie das Ausweichen auf effizientere Technologien oder das Optimieren des Verhaltens. Diese Mannigfaltigkeit von Energieeffizienz erschwert das Formulieren eines Zieles, um die Energieeffizienz als Ganzes abzudecken.
- **Energieeffizienz führt zu Interessenskonflikten:** Energieeffizientes Verhalten steht oft im Konflikt zu anderen Interessen des Alltags. Ein typisches Beispiel ist der Individualverkehr. Dieser ist deutlich weniger Energieeffizient als öffentliche Verkehrsmittel, bietet jedoch mehr Flexibilität und Privatsphäre.

Bei den genannten Charakteristiken des Energieverbrauchs handelt es sich um Hemmnisse, welche sich dem Sparen von Energie erschwerend in den Weg stellen. Dem gegenüber stehen eine Reihe von «Katalysatoren», welche einem energieeffizienten Verhalten eher Antrieb geben. Allen voran die Moral (siehe Kapitel 2.3). Die Endlichkeit natürlicher Ressourcen und die Rolle des Energieverbrauchs beim Klimawandel sind längst Teil einer öffentlichen Debatte (Hardin 1968). Aktuelles Zeugnis davon sind die globalen Klimaproteste, welche zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichtes grosse mediale Aufmerksamkeit erhalten¹.

Die Dominanz von Katalysatoren über Hemmnisse kann in einer Vielzahl empirischer Studien gezeigt werden. Rückmeldung zum Energieverbrauch führen oft zu einer Verhaltensänderung und einer Reduktion des Energieverbrauchs (Faruqui et al. 2010,

¹ [theguardian.com](https://www.theguardian.com): Climate crisis - 6 million people join latest wave of global protests (2019-09-27)

Schleich et al. 2013). Die genauen Zahlen variieren jedoch stark zwischen den Studien. Als Beispiel werden hier die Zahlen aus vier vielbeachteten Metastudien präsentiert. Faruqui et al. (2010) fassen ein Duzend Studien zusammen und zeigen, dass die Energiereduktion je nach Art der Rückmeldung zwischen 3 % und 13 % liegen kann. Darby (2006) konnte eine Reduktion von 0 % bis maximal 15 % feststellen. Fischer (2008) fasst fünf Review-Studien, darunter die von Darby (2006), und mehr als weiteren 20 Publikationen zusammen und kommt zum folgenden Schluss:

« One result, at least, seems clear: feedback stimulates energy (and specifically, electricity) savings. Not all studies discuss actual savings; but those who do generally find savings ranging from 1.1% to over 20%. Usual savings are between 5 and 12% »

(S. 82, Darby 2006)

In einer Metastudie von 42 einzelnen Untersuchungen kommen Karlin et al. (2015) zum Schluss, dass Rückmeldungen meist einen klar positiven (in über 80% der Studien), mitunter aber auch keinen oder gar einen negativen Effekt auf den zukünftigen Energieverbrauch haben.

Diese Variation ist nicht weiter erstaunlich, beachtet man die grosse Anzahl an Einflussfaktoren, welche in den Experimenten variiert werden kann. Im Folgenden wird zwischen Einflussfaktoren auf Seiten des Nutzenden und Einflussfaktoren in Bezug auf die eigentliche Rückmeldung unterschieden.

3.1. Einflussfaktoren auf Seiten des Nutzenden

Eine ganze Reihe von Untersuchungen haben gezeigt, dass eine wichtige Determinante energieeffizienten Handelns der soziale Status des Empfängers ist. Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass Hauseigentümer, Familien und ältere Bevölkerungsschichten, bestenfalls in Kombination, eine besonders starke Reaktion auf Rückmeldungen zum Energieverbrauch zeigen (z.B. Black et al. 1985). Wer Zeit und Geld hat und um die Zukunft (der eigenen Kinder) besorgt ist, hat die Mittel und die Motivation, sich für Energieeffizienz stark zu machen. Abrahamse und Steg (2009) argumentiert zudem, dass Energiesparen ein reflektiertes Handeln voraussetzt und deshalb neben soziodemographischen Aspekten die psychologische Prädisposition von Bedeutung ist.

Julia Blasch von der ETH Zürich und Kollegen konnten in einer schweizweiten Studie zeigen, dass *Energy Literacy*, also Energie-Alphabetisierung der Nutzenden, einen Einfluss auf die Energieeffizienz hat (Blasch et al. 2017). Haushalte mit einem grösseren Fundus an Wissen über Energie und Energieeffizienz konsumieren durchschnittlich weniger (elektrische) Energie. Die Quintessenz der Studie ist dann auch, dass Energie-Bildung ein wichtiger Schritt hin zur Energieeffizienz ist. Ob die vorgeschlagene Massnahme auch wirksam ist, oder ob eine Spreizung des *Knowledge-Action Gap* droht, wird in der Publikation nicht weiter erörtert.

Je nach Affinität und Wissensstand können Rückmeldungen auch einen negativen Effekt auf den Energieverbrauch haben. McClelland und Cook (1980) konnten in einer frühen Studie nachweisen, dass eine Rückmeldung an bereits sparsame und energie-affine Nutzende eher zu einer negativen Verhaltensänderung führt.

Im Übrigen werden Einflussfaktoren auf Seiten der Nutzenden häufig nicht im Detail beachtet. Uns sind beispielsweise keine Untersuchungen bekannt, in denen eine Unterscheidung zwischen Teilnehmenden mit ausgeprägter oder nur gering vorhandener Affinität für Energiethemen gemacht wird, wie dies beispielsweise in Kognitionsstudien anhand von standardisierten Tests Usus ist (z.B. der «Spatial Ability Test» in der Raumkognition, Vandenberg et al. 1978).

3.2. Einflussfaktoren auf Seiten der Rückmeldung

Wie bereits erwähnt, liegt die grösste Varianz zwischen den Studien in der eigentlichen Rückmeldung. Die Liste an Variationsmöglichkeiten ist lange. Einige Beispiele werden im Folgenden näher beschrieben.

3.2.1. Art der Energie

Ein Grossteil der Studien befasst sich mit Elektrizitätsverbrauch. In den oben erwähnten Metastudien von Darby (2006), Fischer (2008) und Karlin et al. (2015) finden sich beispielsweise fast ausschliesslich Studien zum Elektrizitätsverbrauch. In einer kürzlich publizierten Review kommen Delzendeh et al. (2017) nicht überraschenderweise zum Schluss:

« The majority of studies focused on one or more particular types of occupant's interaction, such as the use of electricity and plug loads (31 %), window opening behaviour (18%) and use of fans/ air conditioning (15%) »
(S. 1062, Delzendeh et al. 2017)

Neben diesem Fokus sind auch verschiedenste Studien zum Thema Wasserverbrauch, insbesondere Warmwasser verfasst worden: Ferraro and Price (2013), Mitchell and Chesnutt (2013), Bernedo et al. (2014), Schultz et al. (2016), Brent et al. (2015) und Tiefenbeck et al. (2016).

Der ausgeprägte Fokus auf Elektrizität mag unterschiedliche Ursachen haben. Ein pragmatischer Grund ist die Verfügbarkeit von Daten. Zudem zeigen Elektrizitätswerke, beispielsweise aus Gründen der Netzstabilität, ein grundsätzliches Interesse an Untersuchungen zum Verbraucherverhalten.

In vielen Studien ist allerdings nicht eindeutig klar, was dem «Elektrizitätsverbrauch» untergeordnet wird. Umfasst dies den gesamthaften Verbrauch im Gebäude, inklusive der Erzeugung von beispielsweise Warmwasser? Oder bezieht sich der Elektrizitätsverbrauch

ausschliesslich auf den «Haushaltsstrom» (Licht, Waschen, Kochen, usw.)? Diese Mehrdeutigkeit könnte eine Erklärung für die Variation zwischen den Studien sein.

Der ausgeprägte Fokus auf den Elektrizitätsverbrauch könnte auch zu einer Verfälschung des geschätzten Einsparpotentials durch Rückmeldungen führen. Interventionen im Bereich Elektrizität haben bezüglich Energieeinsparung ein weit kleineres Potential, als deren Präsenz in der Literatur vermuten. Zwei Beispiele sind der Warmwasserverbrauch und die Heizenergie, welche zusammen 80 % des gesamten Energiebedarfs im Haushalt ausmachen. Elektrizität deckt dagegen nur gerade 6.5 % ab (BfE 2017).

Amphiro ist ein Echtzeit-Messgerät des Warmwasserverbrauchs beim Duschen (Details siehe Kapitel 4.2). In einer Reihe von Studien konnte gezeigt werden, dass durch diese einfache Massnahme in Haushalten mehr als 20 % (Tiefenbeck et al. 2016) und unter schwierigeren Umständen, in Hotelzimmern, mehr als 10 % (Tiefenbeck et al. 2019) an Wärmeenergie gespart werden kann.

Die Heizenergie macht 2/3 des Energieverbrauchs beim Wohnen aus und ist damit der weitaus bedeutendste Verbrauch. Oft findet man im Wohnbau Temperaturen weit über 21°C vor. Eine Temperaturreduktion von nur einem Grad Celsius spart je nach Gebäude mindestens 6% (Becker und Knoll 2011). Gerade in Bezug auf die Heizenergie finden sich jedoch nur sehr wenige Beispiele von Interventionen durch Rückmeldungen. In einer umfassenden Studie von Delzendeh et al. (2017) finden sich unter 100 Publikationen nur gerade zwei Studien zu Heizungs-Interventionen.

3.2.2. Informationseinheit für Energie

Mit Informationseinheit ist gemeint, mit welcher Grösse oder auf welche Art und Weise der Energieverbrauch dem Nutzenden kommuniziert wird. Vieles ist denkbar. Der Verbrauch kann als eigentliche Energiemasseinheit angezeigt werden, beispielsweise in Wh, oder die Energie kann in ein Äquivalent umgerechnet werden. Häufiges Beispiel ist das CO₂-e (CO₂-Äquivalent) oder das Ausweisen einer Energieeffizienzklasse². Eine andere Möglichkeit ist, den Energieverbrauch als relative Zahl auszudrücken, beispielsweise in % eines durchschnittlichen schweizerischen Verbrauchs, des eigenen, vergangenen Verbrauches oder des Verbrauches in einer Siedlung oder eines Mehrfamilienhauses. Weiter kann der Energieverbrauch auch als Bezugsgrösse, beispielsweise auf die Ziele der 2000-Watt Gesellschaft³ oder auf personalisierte Ziele angezeigt werden. Schlussendlich ist Energieverbrauch immer auch mit monetären Kosten verbunden, welche ebenfalls visualisiert werden können.

Die obigen Beispiele implizieren unterschiedliche Motivationen zur Energieeffizienz und sprechen deshalb unterschiedliche Menschenbilder an. Absolute Verbrauchszahlen oder

² Z.B. <https://de.wikipedia.org/wiki/Energieverbrauchskennzeichnung>

³ <https://www.local-energy.swiss/programme/2000-watt-gesellschaft/>

Geldbeträge passen eher in das Weltbild des vernünftigen Menschen (Kapitel 2.1). Ein CO₂-Äquivalent spricht die Moralvorstellung an (Kapitel 2.3) und Ziele als Bezugsgrösse gehen selbstredend von einem zielorientierten Handeln aus (Kapitel 2.2).

Die Studie von Karlin et al. (2015) hat gezeigt, dass lediglich konkrete Ziele einen Effekt auf Verhaltensänderungen haben, die nicht bloss mit einfacher Rückmeldung zum absoluten Verbrauch erklärt werden können. Die Darstellung des Energieverbrauches in Relation zu anderen Verbrauchern oder die Änderung des eigenen Verbrauches über die Zeit haben laut Karlin et al. keinen signifikanten Einfluss aufs Handeln.

Die zentrale Rolle von Zielen wurde auch in anderen Studien festgestellt (Dwyer et al. 1993, Raw und Ross 2011). Zudem hat sich aber auch gezeigt, dass sowohl Vergleiche mit anderen Verbrauchern (Peschiera et al. 2010), wie auch das Aufzeigen von Kosten (Stern 1992) zu energieeffizientem Verhalten führen können. Der Zusammenhang mit den Kosten mag in der Schweiz angezweifelt werden, da das Sparpotential von Energie im Haushaltsverbrauch selten einem relevanten Geldbetrag gleichkommt. Der Vergleich mit anderen Verbrauchern, insbesondere aus dem eigenen Umfeld kann hingegen soziale Normen aktivieren und Energiesparen zu einer persönlichen Herausforderung machen (Peschiera et al. 2010). Andere Studien sprechen in diesem Zusammenhang auch vom positiven Einfluss von sozialem Druck (Tsang et al. 2012).

In einer Reihe von Studien konnte zudem gezeigt werden, dass eine Kombination unterschiedlicher Rückmeldungen zu den besten Ergebnissen führt (Gardner und Stern 1996, Abrahamse et al. 2007, Darby 2006). Karlin et al. (2015) relativieren und argumentieren, dass es für eine solche Aussage zu wenig vergleichbare Untersuchungen vorliegen.

3.2.3. Häufigkeit und Dauer der Rückmeldung

Zum Einfluss der Häufigkeit einer Rückmeldung oder der Präsenz von Rückmeldung im Alltag besteht in der Literatur Konsens. Je häufiger eine Rückmeldung stattfindet oder vom Nutzenden aktiv aufgerufen wird, desto wirkungsvoller ist die Intervention (Fischer 2008, Martiskainen 2007). Kluger und DeNisi (1996) ergänzen, dass eine Rückmeldung im Idealfall in echt-zeit geschehen soll, also zeitgleich mit dem Energieverbrauch. Dies ermöglicht es dem Nutzenden einen direkten Zusammenhang zwischen Verbrauch und Handeln herzustellen. Gleiches wird in einer Reihe von Studien hervorgehoben, beispielsweise in Bezug auf die Wirksamkeit des Amphiro Messgerätes (Tiefenbeck et al. 2016, Tiefenbeck et al. 2019), im Schlussbericht des umfassenden «Energy Demand Research Project» (Raw und Ross 2011) oder im Projekt MEGA des iHomeLab (Fercu et al 2010).

Die Häufigkeit einer Rückmeldung hat einen direkten Einfluss auf das Medium, auf welchem der Energieverbrauch angezeigt werden soll. Eine häufige Rückmeldung ist nur möglich, wenn die Information gut zugänglich ist. Karlin et al. (2015) sehen in digitalisierten Rückmeldungen das grösste Potential, beispielsweise in Form von Portalen, Smartphone-Apps oder auf separaten Bildschirmen. Separate Bildschirme sind besonders präsent im

Haushalt stossen bei den Nutzenden jedoch manchmal auf Widerwillen, dass sie einen physischen Eingriff in die Privatsphäre des Wohnens bedeuten (Hargreaves et al. 2010).

Die Dauer von Interventionen sowie die Nachhaltigkeit ist ein häufig thematisiertes Problem. Die meisten Studien zur Effizienz von Rückmeldungen zum Energieverbrauch haben oft eine Laufzeit von weniger als drei Monaten (60 %, Delmas et al. (2013) zufolge). Aussagen zur Wirksamkeit von Rückmeldungen und dem resultierenden Sparpotential sind daher fast immer Aussagen zur Kurzzeitwirkung. Einzelne Studien mit einer längeren Laufdauer lassen erahnen, dass der anfänglich positive Effekt nach einer gewissen Zeit nachlässt oder ganz verschwindet (Van Dam et al. 2010). Es scheint eine grosse Herausforderung zu sein, Systeme zur Verfügung zu stellen, deren Interesse nicht nach kurzer Zeit verblasst.

4. Visualisierungen des Energieverbrauchs

Die wichtige Rolle von Echtzeit-Information, in Bezug auf die Wirksamkeit von Rückmeldungen, wurde bereits im vorhergehenden Kapitel erläutert. Eine Rückmeldung in Echtzeit, also eine unmittelbare Rückmeldung beim Verbrauch, ist fast in jedem Fall auch eine visualisierte Rückmeldung. Dies betrifft alle oben genannten Beispiele welche Echtzeit als wichtiges Charakteristikum hervorheben, so die Studien mit Amphiro (z.B. Tiefenbeck et al. 2016), das Projekt MEGA oder die Untersuchung im Rahmen des «Energy Demand Project» (Raw und Ross 2011). In allen Fällen, und in unzähligen mehr, wird der Energieverbrauch visuell dargestellt und dem Nutzenden präsentiert.

Damit ist Visualisierung eine wichtige Komponente von Rückmeldungs-Systemen. Das bedeutet aber nicht, dass strukturiert zum Thema «Visualisierung von Energieverbrauchsdaten» geforscht wird. Nur in den seltensten Fällen wurde beispielsweise der Einfluss von unterschiedlichen Arten der Visualisierung verglichen (nicht der Einfluss von unterschiedlichen Arten von Information, dieses Thema wurde bereits in einem früheren Kapitel erörtert, Kapitel 3.2). Herrmann et al. (2018) motivieren eine aktuelle Studie zum Einfluss von Energievisualisierungen mit folgenden Worten:

« Yet, the manner of presentation of the feedback information to consumer is a core consideration, which has been much overlooked in the literature. »

(Herrmann et al. 2018, S. 240)

Ein Grund für diese offensichtliche Forschungslücke sind die schier unbegrenzten Vergleichsmöglichkeiten. Es können beispielsweise alle Primitiven, aus der graphischen Perzeption (siehe Dokument Literaturrecherche «Visuelle Kommunikation») in Visualisierungen kombiniert und verglichen werden. Dazu zählt Länge, Fläche, Farbe, Position oder Symbolik zur Darstellung von quantitativen Werten. Hinzu kommen alle möglichen Arten von Graphiken (Linien, Balken, Kreise, Kacheln, usw.) und viele unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten (Fokussieren, Schieben, Hervorheben, Relativieren, usw.). Kurz gesagt: eine Kombination aller denkbaren erklärenden Variablen sprengt den Rahmen einer jeden Studie, insbesondere in Bezug auf Anzahl Teilnehmer.

Es ist aus diesem Grund nicht erstaunlich, dass die wenigen verfügbaren Studien einen eher partikulären Charakter haben und nur einzelne Aspekte, isoliert voneinander, vergleichen. Im Folgenden werden die verfügbaren Studien und Vergleiche diskutiert. Die wenigen Beispiele erlauben es jedoch nicht, grundsätzliche Erkenntnisse abzuleiten.

4.1. Aggregierte vs. disaggregierte Visualisierungen

Herrmann et al. (2018) ziehen einen Vergleich zwischen Visualisierungen von aggregierten und disaggregierten Elektrizitätsverbräuchen. Aggregiert bedeutet, dass der gesamte Haushaltsverbrauch, aller Geräte und Verbraucher, als Gesamtsumme, aber in detaillierter zeitlicher Auflösung, gezeigt wird. Die aggregierte Visualisierung könnten als Status-Quo, wie sie von den meisten Monitoring-Systemen gezeigt wird, verstanden werden. Die disaggregierte Visualisierung zeigt den Verbrauch separat pro Haushaltsgerät. Die einzelnen Verbräuche werden ungeschickterweise übereinander und halbtransparent dargestellt.

Die Motivation für den Vergleich unterschiedlicher inhaltlicher Aggregationen ist gut verankert in Erkenntnissen aus der empirischen Forschung. Es kann beispielsweise gezeigt werden, dass das Verständnis von Menschen von Energieverbräuchen meist einen Umweg über alltägliche Aktivitäten macht (z.B. Darby 2001). Ein Waschgang oder eine Tasse Tee können einfach mit einem Energieverbrauch assoziiert und als Wissen gespeichert werden. Eher als die Energiemenge, die benötigt wird, um 50 l Wasser auf 40 °C zu wärmen oder 3 dl auf 90 °C. Die Disaggregation pro Haushaltsgerät soll die Assoziation mit Aktivitäten unterstützen. Die Studie steht deshalb unter der Hypothese, dass disaggregierte Visualisierungen einen stärkeren Lerneffekt haben, als aggregierte.

Die Studie kann die Hypothese aber nicht stützen. Die beiden Arten von Visualisierungen zeigen einen vergleichbaren Lerneffekt. Das Resultat kann eigentlich nur mit einem Cluttering-Effekt erklärt werden (z.B. Ellis und Dix 2007). Die sich überlagernde Information in den disaggregierten Visualisierungen erschwert die Lesbarkeit.

4.2. Monitor-Vergleich

Hargreaves et al. (2010) unterziehen drei unterschiedlichen Monitoren zur Anzeige von Echtzeit-Energieverbräuchen einem Praxistest. Wiederum wird die Rarität ähnlicher Untersuchungen herausgestrichen:

« This paper represents one of the first qualitative field studies to be carried out with households who are learning to live with a visual energy display. »

(S. 6111, Hargreaves et al. 2010)

Der Vergleich ist qualitativer Natur und es werden nur 15 Haushalte befragt. Zum Vergleich stehen drei Monitoren mit zunehmendem Detaillierungsgrad.



Abb. 1. Die drei Monitore. Nach aufsteigendem Detaillierungsgrad der Visualisierung angeordnet (von links nach rechts)

Im einfachsten Fall (Abbildung 1, links) wird der momentane Verbrauch und der Tagesverbrauch in unterschiedlichen Masseinheiten angezeigt (kWh, ppm CO₂, usw.). Der Monitor mittleren Detaillierungsgrades zeigt das Gleiche wie der einfachere Monitor. Zusätzlich sind die Betriebszeiten von Boiler und Heizung ersichtlich (Abbildung 1, Mitte). Der dritte Monitor zeigt alle relevanten Energieströme im Haushalt als Balkendiagramme (Abbildung 1, rechts). Die Auswahl dieser drei Monitore hat sich aus dem Marktangebot ergeben und ist nicht das Resultat einer gezielten Auswahl an visuellen Parametern.

In der Studie wird erstaunlicherweise kein Vergleich zwischen den drei Monitoren und deren Möglichkeiten zur Visualisierung gezogen. Die wichtigste Erkenntnis bezieht sich dann auch auf Designaspekte. Niemand scheint gewillt zu sein, einen unansehnlichen Monitor in der Wohnung zu installieren. Des Weiteren wird in der Studie beschrieben, wie die «Präsenz» von Energieverbräuchen zu Auseinandersetzungen und Diskussionen zwischen den Bewohnern führt. Die Autoren beschreiben ein Zutage treten von typischen Rollenbildern, indem beispielsweise der Grund und die Legitimität unterschiedlicher Energieverbräuche verhandelt wird.

Ein wichtiger Aspekt, der in einer Studie von Buchanan et al. (2015) hervorgehoben wird, findet in der Untersuchung von Hargreaves et al. (2010) keine Erwähnung. Buchanan et al. stellen fest, dass Interventionen mit Monitoren grundsätzlich nur zu geringer Verhaltensänderung führen, da die Unmittelbarkeit der Information fehlt und damit die direkte Verbindung zwischen Information und Handeln. Ähnliches gilt für alle Arten der Visualisierungen, die nicht in Echtzeit, während des Verbrauchs angezeigt werden. Die Bedeutung von Echtzeit-Rückmeldung wurde bereits in Kapitel 3.2.3, im Zusammenhang mit der Häufigkeit von Rückmeldungen, diskutiert und hat selbstredend einen direkten Einfluss auf die Art der Visualisierung.

Den Autoren dieser Studie ist nur ein Beispiel bekannt, in welchem der Effekt von Echtzeit-Visualisierung und Live-Rückmeldung getestet wird. Dabei handelt es sich um die erwähnten Studien mit dem Messgerät Amphiro (Tiefenbeck et al. 2016, 2019). Während des Duschvorgangs wird der aktuelle Verbrauch von Warmwasser in Liter Wasser und Wärmeenergie angezeigt. Zudem wird der Verbrauch einer Energieeffizienzklasse zugewiesen und ein Eisbär auf einer schmelzenden Eischolle versinnbildlicht die Nachhaltigkeit des Verbrauches (siehe Abbildung 2).



Abb. 2. Das Amphiro Messgerät. Angezeigt werden Verbrauch in Liter, Wassertemperatur, ein Verbrauchssymbol (Eisbär auf schmelzender Scholle), der Verbrauch in Wärmeenergie (nicht dargestellt) und die Energieeffizienzklasse (nicht dargestellt).

Die Visualisierung ist äusserst einfach gehalten und besteht vornehmlich aus Zahlen, die im Verlauf des Duschvorganges aufwärts zählen⁴. Die Zahlen werden dem Verbraucher jedoch ins Auge springend präsentiert. Der Effekt von Amphiro ist mit mehr als 20 % Reduktion des Wärmeenergieverbrauchs beim Duschen in Haushalten (Tiefenbeck et al. 2016) und mehr als 10 % in Hotels (Tiefenbeck et al. 2019) im Vergleich zu anderen Studien zum Effekt von Rückmeldungen auf den Energieverbrauch als hoch zu bewerten (siehe Kapitel 3). Die Autoren führen als erklärende Variable die Echtzeit-Visualisierung ins Feld:

« In all cases [vergleichbaren Studien], the feedback information is aggregate and not delivered at the point where the decision is being made, blurring the link between the current action and its impact on resource consumption. »

(S. 1459, Tiefenbeck et al. 2016)

Die unmittelbare Sichtbarkeit des Verbrauches hat bestimmt eine grosse Wirkung. Beide Studien haben jedoch gemein, dass ein Vergleich mit Nicht-Echtzeit Visualisierungen des Energieverbrauches beim Duschen fehlt. Es kann somit nicht unterschieden werden, ob die Wirksamkeit der Studie so gross ist, weil Interventionen beim Duschverhalten grundsätzlich besser funktionieren als bei anderen Verbräuchen, oder ob tatsächlich der gesamte Effekt mit der Art der Visualisierung erklärt werden kann. Dieser Verdacht wird dadurch bestärkt, dass wohl kein anderer Energieverbrauch im Haushalt so «spürbar» ist, wie die Menge und Wärme von Wasser das beim Duschen über den Körper läuft.

4.3. Rasche Lesbarkeit

Visualisierungen sind stets eine Abstraktion der Realität. Im Beispiel des Energieverbrauches handelt es sogar um eine abstrakte Darstellung eines abstrakten Sachverhaltes. Tiffany Holmes (2007) kommt in ihrer Arbeit zu Eco-Visualisierungen zum Schluss, dass visuelles Feedback zur Reduktion des Energieverbrauchs führt, wenn die Darstellung ansprechend ist und rasch verstanden wird. Dies wären bedeutende Richtlinien für zukünftige Visualisierungsprojekte. Ein Problem im Themenfeld des Eco-Feedback ist jedoch, dass es vordergründig um die konzeptionelle Verneinung von wissenschaftlicher Information mit design Aspekten geht. Visualisierungen werden nicht strukturiert auf ihre Wirksamkeit getestet. Folglich können keine Lehren aus den Vorschlägen gezogen werden.

Die Wirksamkeit rascher Verständlichkeit wurde nicht statistisch getestet, entspricht jedoch Erkenntnissen aus den Kognitionswissenschaften, wonach die menschliche Denkweise in zwei Systeme unterteilt werden kann (Kahnemann and Egan 2011). Den Autoren zufolge arbeitet System 1 automatisch, weitgehend schnell und ohne willentliche Steuerung. System 2 ist bewusst gesteuert, arbeitet langsam, unter Anstrengung, kann aber schwierige Probleme lösen. Beide Systeme haben in Entscheidungssituationen ihre Vor- und Nachteile. Das schnelle, intuitive System liefert Eindrücke, die oftmals zu Überzeugungen werden und daher, dem Weltbild des moralischen Menschen zufolge (Kapitel 2.3), das Verhalten prägen.

⁴ Ein Verlauf des Verbrauches oder Vorschläge zum Verhalten können über eine Smartphone-App angezeigt werden. Diese Funktionalität ist jedoch nicht Teil der Studien.

5. Erkenntnisse

Aus dieser Zusammenfassung der empirischen Studien zu Rückmeldungen zum Energieverbrauch lassen sich eine Reihe von Erkenntnissen ableiten, welche im weiteren Verlauf der Studie Beachtung finden sollten:

- Den meisten Interventionen liegt ein vereinfachendes Menschenbild zugrunde. Die Menschenbilder werden der Komplexität der Realität nicht gerecht (Stichwort Homo Oeconomicus), ermöglichen jedoch das Testen von klaren Hypothesen.
- Das Thema Energieeffizienz birgt eine Reihe von Hindernissen (unsichtbar, multikausal, usw.) und Katalysatoren (Soziale Normen) für die Wirksamkeit von Interventionen. Die Letzteren scheinen zu überwiegen, da die meisten Studien eine Reduktion des Energieverbrauches zeigen können. Es gilt bei der Visualisierung von Energiedaten die Hindernisse zu antizipieren und die Katalysatoren zu nutzen.
- Was hat funktioniert?
 - Grundsätzlich wirken Interventionen nur bei gewissen soziodemographischen Gruppen (nicht zu jung, zukunftsbesorgt, zahlkräftig). In manchen Fällen kann eine Rückmeldung zum Energieverbrauch gar einen negativen Effekt haben.
 - Je «spürbarer» und «konkreter» der Energiestrom, desto einfacher scheint eine Intervention. Warmwasser-Interventionen zeigen den grössten Effekt. Grundsätzlich wurden die meisten Studien aber zum Elektrizitätsverbrauch durchgeführt.
 - Konkrete und erreichbare Ziele, eine Wettbewerb-Situation, das Ansprechen sozialer Normen, eine Anzeige in Echtzeit, einfacher Zugang zu der Information, eine rasche Lesbarkeit und ein ansprechendes Design sind der Wirksamkeit dienlich.
- Studien zur Wirksamkeit von Visualisierungen, nicht Rückmeldungen im Allgemeinen, sind selten und stellen eine Forschungslücke dar.

6. Literaturverzeichnis

- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., & Rothengatter, T. (2007). 'The effect of tailored information, goal setting, and tailored feedback on household energy use, energy-related behaviors, and behavioral antecedents'. *Journal of environmental psychology*, 27(4), pp. 265-276.
- Abrahamse, W., & Steg, L. (2009). 'How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings?'. *Journal of economic psychology*, 30(5), pp. 711-720.
- D'Agostino, A. L. et al. (2011) 'What's the state of energy studies research?: A content analysis of three leading journals from 1999 to 2008'. *Elsevier*, 36(1), pp. 508–519.
- Ajzen, I. (1991). 'The theory of planned behavior'. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), pp. 179-211.
- Bandura, A. (1969). 'Principles of behavior modification'. New York, NY.: Holt, Rinehart & Winston.
- Becker, M., & Knoll, P. (2011). 'Kurzzusammenfassung der Studie "Energieeffizienz durch Gebäudeautomation mit Bezug zur DIN V 18599 und DIN EN 15232"'. Hochschule Biberach-Institut für Gebäude-und Energiesysteme (IGE)(Hrsg.). ZVEI-Zentralverband Elektrotechnik-und Ekelektronikindustrie e. V.(Hrsg.).
- Bernedo, M., Ferraro, P.J., Price, M. (2014). 'The persistent impacts of norm-based messaging and their implications for water conservation', *Journal of Consumer Policy* volume 37, pp. 437–452
- BfS (2017) 'Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2016'.
- Black, J. S., Stern, P. C., & Elworth, J. T. (1985). 'Personal and contextual influences on household energy adaptations'. *Journal of applied psychology*, 70(1), pp. 3.
- Blasch, J., Boogen, N., Filippini, M., & Kumar, N. (2017). 'Explaining electricity demand and the role of energy and investment literacy on end-use efficiency of Swiss households'. *Energy Economics*, 68, pp. 89-102.
- Brent, D.A., Cook, J.H., Olsen, S. (2014). 'Social Comparisons, Household Water Use, and Participation in Utility Conservation Programs: Evidence from Three Randomized Trials', *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 2, no. 4 (December 2015) pp. 597-627
- Brounen, D., Kok, N., & Quigley, J. M. (2013). 'Energy literacy, awareness, and conservation behavior of residential households'. *Energy Economics*, 38, pp. 42-50.
- Buchanan, K., Russo, R., & Anderson, B. (2015). 'The question of energy reduction: The problem (s) with feedback'. *Energy Policy*, 77, pp. 89-96.
- Burgess, J. and Nye, M. (2008) 'Re-materialising energy use through transparent monitoring systems'. *Energy Policy*. Elsevier, 36(12), pp. 4454–4459.
- Cleveland, W. S., & McGill, R. (1984). 'Graphical perception: Theory, experimentation, and application to the development of graphical methods'. *Journal of the American statistical association*, 79(387), pp. 531-554.
- Van Dam, S. S., Bakker, C. A., & Van Hal, J. D. M. (2010). 'Home energy monitors: impact over the medium-term'. *Building Research & Information*, 38(5), pp. 458-469.
- Darby, S. (2001). 'Making it obvious: designing feedback into energy consumption'. *Energy efficiency in household appliances and lighting* (pp. 685-696). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Darby, S. (2006). 'The effectiveness of feedback on energy consumption. A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and direct Displays', 486(2006), pp. 26.
- Delmas, M. A., Fischlein, M., & Asensio, O. I. (2013). 'Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012'. *Energy Policy*, 61, pp. 729-739.
- Delzendeh, E., Wu, S., Lee, A., & Zhou, Y. (2017). 'The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, pp. 1061-1071.
- Dwyer, W. O., Leeming, F. C., Cobern, M. K., Porter, B. E., & Jackson, J. M. (1993). 'Critical review of behavioral interventions to preserve the environment: Research since 1980'. *Environment and behavior*, 25(5), pp. 275-321.
- Ellis, G., & Dix, A. (2007). 'A taxonomy of clutter reduction for information visualisation'. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 13(6), pp. 1216-1223.
- Faruqui, A., Sergici, S. and Sharif, A. (2010) 'The impact of informational feedback on energy consumption—A survey of the experimental evidence', *Energy*. Pergamon, 35(4), pp. 1598–1608.
- Fercu, M, Kistler R., Egli, A., Gallati, J., (2010). 'MEGA – Mehr Energieeffizienz durch gezielte Anwender-Information', Hochschule Luzern Technik & Architektur, iHomeLab
- Ferraro, P., Price, K. (2013). 'Using Nonpecuniary Strategies to Influence Behavior: Evidence from a Large-Scale Field Experiment'. *The Review of Economics and Statistics* 2013 95:1, pp. 64-73.
- Fischer, C. (2008). 'Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy?'. *Energy efficiency*, 1(1), pp. 79-104.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1977). 'Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research'.
- Gardner, G. T., & Stern, P. C. (1996). 'Environmental problems and human behavior'. Allyn & Bacon.
- Guagnano, G. A., Stern, P. C., & Dietz, T. (1995). 'Influences on attitude-behavior relationships: A natural experiment with curbside recycling'. *Environment and behavior*, 27(5), pp. 699-718.
- Hargreaves, T., Nye, M., & Burgess, J. (2010). 'Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors'. *Energy policy*, 38(10), pp. 6111-6119.
- Hartung, G., Herrgen, M. eds. (2016). 'Interdisziplinäre Anthropologie: Jahrbuch 4/2016: Wahrnehmung'. Springer-Verlag.
- Herrmann, M. R., Brumby, D. P., Oreszczyn, T., & Gilbert, X. M. (2018). 'Does data visualization affect users' understanding of electricity consumption?'. *Building Research & Information*, 46(3), pp. 238-250.
- Heiskanen, E., Johnson, M. and Vadovics, E. (2013). 'Learning about and involving users in energy saving on the local level'. *Journal of Cleaner Productio*. Elsevier, 48, pp. 241–249.
- Holmes, T. G. (2007). 'Eco-visualization: combining art and technology to reduce energy consumption'. *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition*, pp. 153-162. ACM.
- Jain, R. K., Gulbinas, R., Taylor, J. E., & Culligan, P. J. (2013). 'Can social influence drive energy savings? Detecting the impact of social influence on the energy consumption

- behavior of networked users exposed to normative eco-feedback'. *Energy and Buildings*, 66, pp. 119-127.
- Kahneman, D., & Egan, P. (2011). 'Thinking, fast and slow (Vol. 1)'. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Kahneman, D., Slovic, S. P., Slovic, P., & Tversky, A. (Eds.). (1982). 'Judgment under uncertainty: Heuristics and biases'. Cambridge university press.
- Karlin, B., Zinger, J. F. and Ford, R. (2015). 'The effects of feedback on energy conservation: A meta-analysis'. *Psychological Bulletin. American Psychological Association*, 141(6), pp. 1205.
- Kavousian, A., Rajagopal, R. and Fischer, M. (2013). 'Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants behavior'. *Energy. Elsevier*, 55, pp. 184–194.
- Kennedy, T., Regehr, G., Rosenfield, J., Roberts, S. W., & Lingard, L. (2004). 'Exploring the gap between knowledge and behavior: a qualitative study of clinician action following an educational intervention'. *Academic Medicine*, 79(5), pp. 386-393.
- Khashe, S. et al. (2016). 'Exploring the effectiveness of social messages on promoting energy conservation behavior in buildings'. *Building and Environment*.
- Kluger, A. N. and DeNisi, A. (1996). 'The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory', *Psychological bulletin. US: American Psychological Association*, 119(2), pp. 254.
- Kollmuss, A. and Agyeman, J. (2002). 'Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?', *Environmental education research. Taylor & Francis*, 8(3), pp. 239–260.
- Lehmann, M., Ott, W., Ménard, M., Reimann, W. (2016). 'Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015'. Bern: Bundesamt für Energie.
- Locke, E. A., & Latham, G. P. (1990). 'A theory of goal setting & task performance'. Prentice-Hall, Inc.
- Lynham, J. et al. (2016). 'Why does real-time information reduce energy consumption?', *Energy Economics*. doi: 10.1016/j.eneco.2015.11.007.
- Macdonald-Ross, M. (1977). 'How numbers are shown'. *AV Communication Review*, 25(4), pp. 359-409.
- Martiskainen, M. (2007). 'Affecting consumer behaviour on energy demand'.
- Michie, S., Van Stralen, M. M., & West, R. (2011). 'The behaviour change wheel: a new method for characterising and designing behaviour change interventions'. *Implementation science*, 6(1), pp.42.
- Mitchell, D., Chessnutt, T. (2013). 'Evaluation of East Bay Municipal Utility District's Pilot of WaterSmart Home Water Reports'. freshwater.issuelab.org
- Mowrer, O. (1960). 'Learning theory and behavior'.
- Murtagh, N., Gatersleben, B. and Uzzell, D. (2014). '20:60:20 - Differences in Energy Behaviour and Conservation between and within Households with Electricity Monitors', *PLoS ONE*.
- Peschiera, G., Taylor, J. E., & Siegel, J. A. (2010). 'Response-relapse patterns of building occupant electricity consumption following exposure to personal, contextualized and occupant peer network utilization data'. *Energy and Buildings*, 42(8), pp. 1329–1336.
- Raw, G. J., & Ross, D. I. (2011). 'Energy demand research project: Final analysis'.

- Schleich, J. et al. (2013). 'Effects of feedback on residential electricity demand—Findings from a field trial in Austria'. *Energy Policy*. Elsevier, 61, pp. 1097–1106.
- Simon, H. A. (1955). 'A behavioral model of rational choice'. *The quarterly journal of economics*, 69(1), pp. 99-118.
- Rosch, Eleanor. (1978). 'Principles of categorization'
- Schultz, P. W., Messina, A., Tronu, G. (2016). 'Personalized Normative Feedback and the Moderating Role of Personal Norms: A Field Experiment to Reduce Residential Water Consumption', *Environment and Behavior*, 48(5), pp. 686–710.
- Schwartz, S. H. (1977). 'Normative influences on altruism'. *Advances in experimental social psychology* Vol. 10, pp. 221-279. Academic Press.
- Sovacool, B. K. (2014). 'What are we doing here? Analyzing fifteen years of energy scholarship and proposing a social science research agenda'. *Energy Research & Social Science*, 1, pp. 1-29.
- Sovacool, Benjamin K., et al. (2015). 'Integrating social science in energy research.' *Energy Research & Social Science* 6 (2015): pp. 95-99.
- Stern, P. C. (1992). 'Psychological dimensions of global environmental change'. *Annual review of psychology*, 43(1), pp. 269-302.
- Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2009). 'Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness'. Penguin.
- Tiefenbeck V. et al. (2016). 'Overcoming Salience Bias: How Real-Time Feedback Fosters Resource Conservation'. Published online in *Articles in Advance* 28, Nov 2016.
- Tiefenbeck, V., Wörner, A., Schöb, S., Fleisch, E., & Staake, T. (2019). 'Real-time feedback promotes energy conservation in the absence of volunteer selection bias and monetary incentives'. *Nature Energy*, 4(1), pp. 35.
- Tsang, F., Burge, P., Diepeveen, S., Guerin, B., Drabble, S., & Bloom, E. (2012). 'What Works in Changing Energy-Using Behaviours in the Home?'
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). 'Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization'. *Perceptual and motor skills*, 47(2), pp. 599-604.
- Vallacher, R. R., & Wegner, D. M. (1987). 'What do people think they're doing? Action identification and human behavior'. *Psychological review*, 94(1), pp. 3.
- Walker, J.S. (2014). 'Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think'. Taylor & Francis.