



Doctoral Thesis

## **Behavioral Interventions to Reduce Residential Energy and Water Consumption Impact, Mechanisms, and Side Effects**

**Author(s):**

Tiefenbeck, Verena

**Publication Date:**

2014

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010263933> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22054

# **Behavioral Interventions to Reduce Residential Energy and Water Consumption: Impact, Mechanisms, and Side Effects**

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

VERENA TIEFENBECK

Dipl-Ing., Technische Universität München & Ecole Centrale Paris

born on 25.12.1983

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Elgar Fleisch, ETH Zurich (advisor)

Prof. Dr. Lorenz Goette, University of Lausanne

Prof. Dr. Thorsten Staake, University of Bamberg

2014

# Abstract

Natural resources and the benefits derived from their utilization are fundamental for human life. Since the advent of industrialization, the global demand for energy and water in particular has been continuously growing. This development fuels a variety of well-known environmental and geopolitical problems (e.g., carbon emissions, energy security, access to water), creating a growing policy interest in resource conservation. Aside from technical parameters, behavior has been identified as the most important factor governing energy consumption. While the development and implementation of technological innovations is often slow, costly, and risky, pricing mechanisms and regulations often face acceptance issues and political opposition. Against this background, behavioral interventions are increasingly viewed as a politically feasible instrument to promote resource conservation and to increase energy efficiency quickly, at scale, and in addition to technological efficiency gains. In particular, feedback, i.e., providing information about one's own or other people's behavior, has been identified as a cost-effective, scalable, and relatively persistent tool to influence consumer choices. As a result, such behavioral interventions have been rolled out to millions of households. Among feedback programs, the most widespread approach consists in monthly or quarterly mailed reports that compare households' utility consumption with similar homes. While the average conservation impact between 1% and 3% may seem low at first glance, these programs are highly cost-effective and scalable (1% opt-out rate).

Given the scale of the programs that have been rolled out to date, it is all the more astonishing that key aspects of feedback interventions are still unclear. In particular, the underlying psychological mechanisms that drive people to adopt efficient technologies or to engage in curtailment behaviors are not well understood. Furthermore, evidence on the influence of household characteristics and demographics is also not conclusive. Little is known about potential side effects of behavioral interventions, whether the effect of such programs is contained to the target behavior(s), or whether these interventions also have positive or negative repercussions into other behavior domains, as studies conducted in laboratory settings suggest. Furthermore, while *behavior-specific real-time* feedback has been identified as a powerful instrument to influence consumer choices in a series of small-scale pilots, a demonstration of the cost-effectiveness and scalability of that approach is still missing.

To explore these questions in a real-world setting, two separate randomized controlled trials are designed and implemented as part of this thesis. In both studies, water and energy (resp. electricity) measurements of 697 (resp. 154) households over two (resp. three) months serve as the dependent variables. While the second study investigates side effects of a behavioral intervention, the first one explores the effectiveness of behavior-specific real-time feedback, the underlying psychological mechanisms, and the influence of household characteristics. To that end, extensive survey data are combined with granular resource consumption measurements related to a specific behavior (showering).

The results of the first study provide quantitative evidence for a growing intensity of resource use of daily behaviors due to changing norms and conventions: The data indicate that the resource intensity per shower increased to the 2.3-fold within a single generation. At the same time, the findings suggest that behavior-specific feedback can help address these issues. The results show that behavior-specific real-time consumption feedback can prompt substantial behavior changes, inducing an average reduction of 23% in both energy and water consumption for the target behavior. The effect is persistent throughout the duration of the study. Projected to one year, this amounts to energy savings of 443 kWh and a conservation of 8,500 liters of drinking water per household. Both in relative and in absolute numbers, the impact is substantially higher than that achieved by traditional feedback programs. Thanks to the large effect size, it is possible to disentangle the underlying psychological mechanisms and the role of household characteristics to explain the heterogeneity in the treatment effect. The results state that positive mechanisms drive the conservation effect, not psychological pressure. The findings also manifest that the savings are not driven by a small group of environmentalists: The net conservation effect is independent of environmental attitudes. In addition to its direct impact on behavior, real-time consumption feedback also appears to substantially increase knowledge about resource consumption.

However, the findings of the second study provide evidence that behavioral interventions can also cause measurable negative side effects. Moreover, the study shows that adverse outcomes can more than offset the benefits on the primarily targeted behavior if the program does not focus on the behaviors which are most relevant to households' resource consumption.

This thesis advances the theoretical foundation of behavioral interventions by contributing essential and far-reaching insights into underlying mechanisms and potential side effects, which are relevant for several research disciplines. At the same time, the findings entail important guidelines and recommendations for policymakers, utility companies, technology and program developers, and other practitioners. The insights into the underlying psychological mechanisms suggest that behavior-specific real-time feedback is highly scalable (without compromising conservation impact) and amenable to widespread adoption. Furthermore, profiling, e.g., targeting households with an above-average baseline consumption, can double the treatment effect, raising the cost-effectiveness of future deployments even further.

These insights can be vital for other innovative technologies and companies to overcome existing barriers to market entry. Furthermore, the outcomes of both studies emphasize the importance of behavioral programs achieving a) a high degree of effectiveness, by focusing on environmentally significant behaviors, combined with b) a high degree of efficiency through powerful instruments. That way, it is possible to maximize program impact, while reducing the potential of adverse outcomes. On the one hand, the example of real-time feedback on shower behavior demonstrates that this combination can have a substantial impact on resource consumption, also in absolute numbers. On the other hand, the second study shows that adverse outcomes can loom large: Focusing on the most relevant behaviors reduces the room for negative side effects. The mechanisms indicate that under these circumstances, behavioral interventions are able to unambiguously enhance social welfare (e.g., by reducing emissions) *and* individual utility: They help many individuals act in line with their preferences without decreasing utility for anyone, making such interventions a particularly normatively desirable policy instrument. From a policy perspective, the evidence for the massive growth in resource intensity for showering given in the first study, as well as the insights into adverse side effects presented in the second study, both point out the importance of adopting a comprehensive view in the evaluation of studies, behavioral programs, and resource demand projections.

This thesis also paves the way for follow-up research, e.g., on the long-term persistence of the effects. Altogether, these insights may equally be applied to other environmentally significant domains like space heating or electricity smart metering - and beyond, e.g., to fields like nutrition and exercise.

In conclusion, this thesis provides strong evidence that behavioral interventions are powerful, scalable, and cost-effective tools to promote resource conservation. When applied wisely, these programs can be beneficial for the individual and contribute to society. As a result, they hold the potential to play a significant role in the pursuit of environmental and geopolitical goals.

# Kurzfassung

Natürliche Ressourcen und die mit ihrer Nutzung verbundenen positiven Aspekte sind essenziell für das menschliche Dasein. Seit dem Zeitalter der Industrialisierung ist der weltweite Energie- und Wasserverbrauch kontinuierlich angestiegen. Diese Entwicklung verstärkt eine Reihe wohlbekannter Probleme umwelt- und geopolitischer Natur (wie CO<sub>2</sub>-Ausstoss, Energieversorgungssicherheit, oder Zugang zu Wasser), was zu einem wachsenden Interesse der Politik am sparsamen Umgang mit Ressourcen führt. Neben technischen Parametern wird der Energieverbrauch massgeblich von Verhaltensweisen bestimmt. Während die Entwicklung und Einführung technischer Innovationen oft langsam, kostspielig und mit Risiken verbunden ist, stossen Preismechanismen und gesetzliche Regulierung häufig auf Akzeptanzprobleme und politischen Widerstand. Vor diesem Hintergrund werden Massnahmen, die das Verhalten betreffen ("Verhaltensinterventionen") mehr und mehr als politisch durchsetzbares Instrument gesehen, um einen sparsameren Umgang mit Ressourcen zu erwirken und um Energieeffizienz zügig, in grossem Umfang, und zusätzlich zu technologiebedingten Effizienzgewinnen zu erhöhen. Insbesondere Feedback, d.h. das Zurverfügungstellen von Informationen zum eigenen Verhalten oder dem anderer Personen, wurde als kostengünstiges, skalierbares und relativ beständiges Instrument identifiziert, um das Verbrauchsverhalten zu beeinflussen. Infolgedessen wurden derartige Verhaltensinterventionen bereits bei Millionen von Haushalten durchgeführt. Der verbreitetste Ansatz bei solchen Feedbackprogrammen besteht darin, Haushalten monatlich oder quartalsweise Berichte zu senden, die den jeweiligen Ressourcenverbrauch mit demjenigen ähnlicher Haushalte vergleichen. Wenngleich der durchschnittliche Einspareffekt von 1 bis 3% auf den ersten Blick gering anmuten mag, sind diese Programme höchst kostengünstig und skalierbar (1% Ausstiegsquote).

Angesichts des Umfangs der bis dato durchgeführten Programme ist es umso erstaunlicher, dass zentrale Aspekte von Verhaltensinterventionen noch nicht ergründet sind. Insbesondere die zugrundeliegenden psychologischen Mechanismen, die Menschen dazu bewegen, effiziente Technologien zu nutzen oder sich ressourcensparsam zu verhalten, sind wenig ergründet. Aussagen zum Einfluss von Haushaltscharakteristika und demographischer Aspekte sind widersprüchlich. Auch über das mögliche Auftreten von Nebeneffekten bei Verhaltensinterventionen ist wenig bekannt: Nämlich ob die Wirkung auf die Verhaltensbereiche beschränkt ist, auf die das Programm (eigentlich) abzielt, oder ob diese Programme darüber hinaus posi-

tive oder negative Nebenwirkungen auf andere Verhaltensbereiche ausüben, worauf Laborstudien hinweisen. Darüber hinaus hat eine Reihe kleinerer Pilotstudien ergeben, dass *Echtzeit-Feedback zum Ressourcenverbrauch bei einer konkreten Handlung* ein besonders wirksames Instrument ist, um Verbrauchsverhalten zu beeinflussen; ein Nachweis der Kosteneffizienz und der Skalierbarkeit dieses Ansatzes wurde jedoch bislang noch nicht erbracht.

Um diesen Fragen in der Praxis auf den Grund zu gehen, wurden im Rahmen dieser Dissertation zwei voneinander unabhängige randomisierte kontrollierte Studien konzipiert und durchgeführt. In beiden Studien dienen Wasser- und Energie- (bzw. Strom-)verbrauchswerte von 697 (bzw. 154) Haushalten über zwei (bzw. drei) Monate hinweg als abhängige Variablen. Während die zweite Studie die Nebenwirkungen von Verhaltensinterventionen untersucht, ermittelt die erste Studie die Wirkung von verhaltensspezifischem Echtzeit-Feedback, sowie die psychologischen Mechanismen, die diesem zugrunde liegen und den Einfluss von Haushaltscharakteristika. Hierzu werden umfangreiche Umfragedaten mit detaillierten Messwerten zum Ressourcenverbrauch bei einem konkreten Verhalten (Duschen) kombiniert.

Die Ergebnisse der ersten Studie liefern einen quantitativen Nachweis für die wachsende Ressourcenintensität alltäglicher Verhaltensweisen, vermutlich hervorgerufen durch sich wandelnde Normen und Konventionen: Die Daten zeigen, dass die Ressourcenintensität pro Duschvorgang innerhalb von nur einer Generation auf das 2,3-fache angestiegen ist. Die Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass von verhaltensspezifisches Echtzeit-Feedback dazu beitragen kann, dies zu adressieren. Die Resultate zeigen, dass verhaltensspezifisches Echtzeit-Feedback erhebliche Verhaltensänderungen bewirken kann: Die durchschnittliche Einsparung an Energie und Wasser beim anvisierte Verhalten beträgt 23%. Der Effekt ist während der gesamten Studiendauer stabil. Auf ein Jahr hochgerechnet ergeben sich somit Einsparungen von 443 kWh an Energie und von 8.500 Liter Trinkwasser. In relativen wie absoluten Zahlen ist die Wirkung somit massgeblich höher als bei konventionellen Feedbackprogrammen. Dank der grossen Effektstärke ist es möglich, die zugrunde liegenden psychologischen Mechanismen und den Einfluss von Haushaltscharakteristika zu analysieren, um die Varianz im Behandlungseffekt (treatment effect) zu erklären. Die Ergebnisse offenbaren, dass *positive* Mechanismen den Einsparungseffekt bedingen, nicht psychologischer Druck. Zudem zeigen die Resultate, dass der Einspareffekt nicht nur von einer kleinen Teilgruppe besonders umweltbewusster Teilnehmer getrieben werden: Die Nettoeinsparung ist unabhängig von der Umwelteinstellung. Abgesehen von der direkten Wirkung auf das Verhalten scheint Echtzeit-Feedback auch das Wissen zum Ressourcenverbrauch massgeblich zu steigern.

Die Ergebnisse der zweiten Studie liefern jedoch Indizien dafür, dass Verhaltensinterventionen auch messbare negative Nebenwirkungen verursachen können. Darüber hinaus zeigt die Studie, dass die negativen Nebenwirkungen die positive Wirkung des primär anvisierten Verhaltens mehr als zunichte machen können, wenn das Programm nicht auf die Verhaltensbereiche abzielt, die den Ressourcenverbrauch im Haushalt am massgeblichsten beeinflussen.

Diese Dissertation erweitert die theoretischen Grundlagen zu Verhaltensinterventionen, indem sie essentielle und weitreichende Erkenntnisse zu den zugrunde liegenden Mechanismen und zu möglicherweise auftretenden Nebeneffekten beiträgt. Zugleich leiten sich wichtige Leitfäden und Handlungsempfehlungen für Politik, Energieversorger, Technologie- und Projektentwickler sowie weitere Interessensgruppen ab. Die Erkenntnisse bezüglich der psychologischen Mechanismen legen nahe, dass verhaltensspezifisches Echtzeit-Feedback in hohem Masse skalierbar ist (ohne dabei den Einspareffekt zu schmälern) und sich für einen grossflächigen Einsatz eignet. Zudem kann eine intelligente Segmentierung ("Profiling") - also eine gezielte Ansprache von Haushalten mit einem Verbrauch oberhalb des Durchschnitts - die Effektgrösse verdoppeln und somit die Kosteneffizienz künftiger Programme noch weiter erhöhen. Diese Erkenntnisse können auch für andere innovative Technologien und Unternehmen überlebenswichtig sein, um vorhandene Markteintrittsbarrieren zu überwinden.

Darüber hinaus betonen beide Studien, dass Verhaltensinterventionen zugleich ein hohes Mass erzielen müssen a) an Effektivität, indem sie auf besonders umweltrelevante Handlungsbereiche abzielen und b) an Effizienz durch besonders wirksame Interventionen. Dies ermöglicht es, die positive Wirkung der Programme zu maximieren und gleichzeitig das Potential von negativen Nebenwirkungen zu reduzieren. Zum einen veranschaulicht das Beispiel von Echtzeit-Feedback zum Duschverhalten, dass diese Kombination - auch in absoluten Zahlen - einen massgeblichen Effekt auf den Ressourcenverbrauch haben kann. Wie jedoch die zweite Studie zeigt, können negative Nebenwirkungen eine grosse Rolle spielen. Indem man auf die umweltrelevantesten Verhaltensbereiche abzielt, reduziert man gleichzeitig die verbleibende Einflussmöglichkeit negativer Nebenwirkungen. Die psychologischen Mechanismen deuten darauf hin, dass Verhaltensinterventionen unter diesen Umständen gleichzeitig sowohl das gesellschaftliche Wohl (z.B. durch reduzierte Emissionen), als auch den Nutzen des Einzelnen steigern: Sie können vielen Einzelpersonen helfen, im Einklang mit ihren Präferenzen und Zielvorstellungen zu handeln, ohne dies auf Kosten anderer Menschen zu tun; solche Verhaltensinterventionen sind infolge dessen ein normativ besonders anzustrebendes Politikinstrument. Beide Studien zeigen, wie wichtig eine ganzheitliche Betrachtungsweise ist bei der Auswertung von Verhaltensinterventionen und bei Bedarfsprognosen bezüglich des Ressourcenverbrauchs: Dies zeigen sowohl der in der ersten Studie erbrachte Nachweis der massiv wachsenden Ressourcenintensität beim Duschen, als auch die Erkenntnisse aus der zweiten Studie zu negativen Nebenwirkungen von Verhaltensinterventionen.

Diese Arbeit ebnet auch den Weg für weitere Forschungsaktivitäten, beispielsweise zur Langzeitstabilität der Effekte. Zudem lassen sich die Erkenntnisse auf andere umweltrelevante Bereiche wie Raumheizung oder Strom-Smart-Metering übertragen - auch darüber hinaus auf Bereiche wie Ernährung und Bewegung.

Insgesamt zeigt die vorliegende Arbeit, dass Verhaltensinterventionen wirksame, skalierbar und kosteneffektive Instrumente sind, um den sparsameren Umgang mit Ressourcen massge-



blich voranzutreiben. Sinnvoll ein- und umgesetzt, können Verhaltensinterventionen sowohl das gesellschaftliche Wohl, als auch das Wohl des Einzelnen erhöhen. Infolgedessen haben sie das Potential, einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung umwelt- und geopolitischer Ziele zu leisten.