

BEDIENERVERHALTEN UND FEEDBACKQUALITÄT BEI DER STEUERUNG EINER COMPUTERSIMULIERTEN HEIZUNGSANLAGE

Claudia Schmeink

Institut für Psychologie
TU Darmstadt
Hochschulstraße 1
64289 Darmstadt
c.schmeink@web.de

Jürgen Sauer

Institut für Psychologie
TU Darmstadt
Hochschulstraße 1
64289 Darmstadt
sauer@psychologie.tu-
darmstadt.de

David Wastell

Information Systems Institute
University of Salford
Salford, M5 5WT
Great Britain
d.wastell@salford.ac.uk

ABSTRACT

Untersucht wurde der Einfluss unterschiedlicher Feedback-Qualitäten eines computersimulierten Heizungssystems auf das Steuerungsverhalten von Nutzern. Aufbereitetes Feedback unterstützte effizientes Steuerungsverhalten insofern, als eine detaillierte Rückmeldung über den Gesamtenergieverbrauch dabei zu einer besseren Steuerungsleistung führte. Weiterhin unterstützte eine graphische Darstellung der erreichten Raumtemperaturen im Vergleich zu den vorgegebenen den Nutzer bei der Systembedienung. Quantitative und qualitative Daten wurden bei der Untersuchung erhoben. In einer Nachbefragung zu der Bedieneroberfläche ergaben sich noch wesentliche Verbesserungsvorschläge. Gewünscht wurde u. a. ein Richtwert für die Menge an Energie, die normalerweise gebraucht wird, ein höherer Automatisierungsgrad und eine Anleitung, wie das Verschwenden von Energie zu vermeiden ist.

Keywords

Computersimulation, User Interface Design, Home-Environment

1. EINLEITUNG

Bei der Suche nach Forschungsarbeiten zur Entwicklung und Gestaltung privat genutzter Geräte und Systeme findet man einige Veröffentlichungen (für einen Überblick: [1]). Untersuchungen zu Heizungssystemen gibt es jedoch nur wenige (z. B.

[2]). Das ist erstaunlich, weil nahezu jeder Haushalt eine Heizung besitzt und zudem durch ungünstiges Heizverhalten Energie verschwendet wird. Damit gibt es Belastungen auf zwei Ebenen: gesellschaftlich durch die Umweltbelastung und durch das unnötige Verbrauchen von Ressourcen, und individuell durch vermeidbare Heizkosten. Unsere Untersuchung möchte einen Beitrag zur sinnvollen Gestaltung von Heizungssystemen leisten.

In einer Voruntersuchung an 40 Haushalten in Südhessen stellten wir fest, dass derzeitige Heizungssysteme, falls sie überhaupt zugänglich sind, meist nicht transparent und damit für Laien nicht gut bedienbar sind. Ein Heizungsinstallateur riet dem Kunden beim Einbau des neuen Systems gar, dieses nicht zu verstellen, da es optimal eingestellt sei. Die Nutzer bekommen außer der jährlichen Heizkostenabrechnung und der tatsächlichen Temperatur in der Wohnung bei Anwesenheit keine Rückmeldung über die Güte des Heizverhaltens. Der Nutzer kann meist nicht nachvollziehen, ob er sparen könnte, wie viel und vor allem durch welche Maßnahmen. Laut Norman [3] jedoch soll der Benutzer leicht erkennen, wie das System funktioniert, welches Modell dahinter steht und zusätzlich den aktuellen Zustand des Systems feststellen können. Unangemessene Bedienung ist schließlich nicht das Erkennungszeichen eines schlechten Nutzers sondern eines suboptimalen Systems [4].

Unser Ziel ist es, Gestaltungsrichtlinien für Heizungssysteme zu entwickeln, die den Ansprüchen der Transparenz und der Bedienbarkeit gerecht werden. Das Problem der kostenintensiven Entwicklung komplexer Systeme für experimentelle Untersuchungen lässt sich durch den Einsatz von Simulationen umgehen (z. B. [5]). Diese bieten den Vorteil, mehrere mit Hilfe von qualitativen Daten entwickelte Benutzeroberflächen innerhalb kurzer Zeit von mehreren Nutzern parallel an verschiedenen Computern testen zu lassen. Zusätzlich ergeben sich ohne Mehraufwand verlässliche quantitative Daten, welche die Güte der Transparenz und Bedienbarkeit durch Leistungsmaße widerspiegeln.

Es ist erlaubt digitale und Kopien in Papierform des ganzen Papers oder Teilen davon für den persönlichen Gebrauch oder zur Verwendung in Lehrveranstaltungen zu erstellen. Der Verkauf oder gewerbliche Vertrieb ist untersagt. Rückfragen sind zu stellen an den Vorstand des GC-UPA e.V. (Postfach 80 06 46, 70506 Stuttgart).

Proceedings of the
1st annual GC-UPA Track
Stuttgart, September 2003

© 2003 German Chapter of the UPA e.V.

2. SIMULATIONS-AUFGABE CHESS

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen und Rückmeldungen aus den Haushalten der Vorfelduntersuchung haben wir drei Bedieneroberflächen kreiert, die mit einem eigens dafür entwickelten computersimulierten Heizungssystem CHESS (Central Heating System Simulation) getestet werden können. Aufgabe der Benutzer ist es, eine 3-Zimmer Wohnung zu beheizen. Ihr Ziel ist es, ein vorgegebenes Temperaturniveau zu erreichen und zugleich den Energieverbrauch zu minimieren.

Die Testpersonen stellen die Heizung zentral für jeden Raum der zu beheizenden Wohnung ein. Die Einstellung wird in einem Koordinatensystem vorgenommen, dessen Abszisse die 24 Stunden eines Tages und dessen Ordinate die zu erreichende Temperatur abbildet (siehe Abb. 1). Der Nutzer kann mit Hilfe der Maus einen Block markieren, der die gewünschte Betriebsdauer der Heizung und die zu erreichende Zieltemperatur darstellt. Diese Einstellungen können als Vorlagen gespeichert und modifiziert werden.

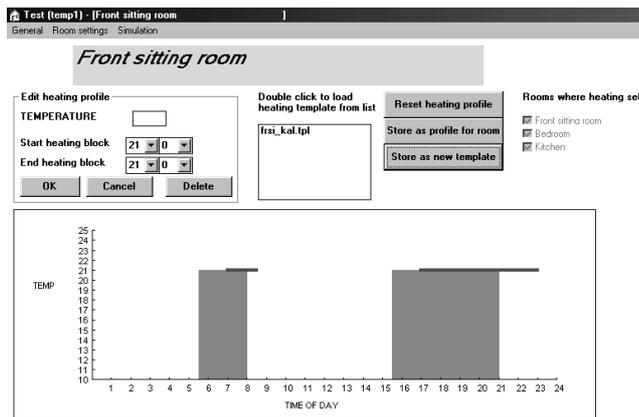


Abbildung 1: Einstellen der Heizung.

Die drei getesteten Oberflächen unterscheiden sich im Grad der Transparenz des Systems. Die Systemtransparenz ist realisiert durch unterschiedlich detaillierte Rückmeldequalitäten über die erzielten Effekte der vorgenommenen Einstellungen (siehe Tab. 1).

Feedback	Rückmeldung zusätzlich zum erreichten Komfort
F0	Keine
F1	Energieverbrauch / Kosten
F2	Energieverbrauch / Kosten + Verschwendung

Tabelle 1: Detailliertheit der Feedbackqualitäten.

Rückmeldung über das Erreichen der vorgegebenen Zieltemperatur, im folgenden Komfort genannt, wird als grundsätzlich verfügbare Information angesehen und daher bei allen Rückmeldequalitäten konstant gegeben. Bei Feedbackqualitätsstufe F0 kann der Nutzer den Energieverbrauch am Ende eines simulierten Tages abrufen. In der Feedbackqualitätsstufe

F1 erhält der Nutzer in einer Monatsübersicht Rückmeldung über den Energieverbrauch und die Kosten aller simulierten Tage. Bei Feedbackqualitätsstufe F2 erhöht sich die Detailliertheit des Feedbacks noch um ein Maß für die geschätzte Energieverschwendung.

Die Rückmeldungen werden unterschiedlich präsentiert. Alle Testpersonen bekommen für den jeweils zuletzt simulierten Tag eine Graphik, in der die erreichte Raumtemperatur für den Tag und Raum in einem der Heizungseinstellung entsprechenden Koordinatensystem abgetragen ist (siehe Abb. 2). Als zusätzliche Information erhalten die Nutzer die Außentemperatur des Tages.

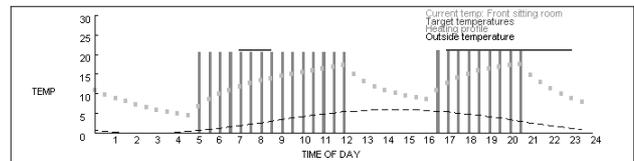


Abbildung 2: Graphische Rückmeldung über die erzielte Raumtemperatur.

In einem Monatsbericht erhalten die Versuchspersonen eine tabellarische Rückmeldung über ihre Ergebnisse (siehe Abb. 3). Diese ist unterschiedlich für die einzelnen Bedingungen.

Day	Max Temp	Min Temp	Consump	Cost (Euro)	% Comfort	Est. Waste
1	10	3	270,8	4,1	49,1	4,1%
2	9	4	551,6	8,3	50,7	4,1%
3	9	2	298,4	4,5	55,9	3,8%
4	9	2	298,4	4,5	55,8	3,8%
Total energy/average comfort			1419	n/a	52,8	3,9%

Abbildung 3: Tabellarische Rückmeldung im Monatsbericht, hier am Beispiel der Feedbackstufe F2.

Versuchspersonen mit der Feedbackqualität F1 und F2 haben die Möglichkeit, Ihre Heizeffekte zusätzlich in einem Tagesbericht zu überprüfen. In dem Tagesbericht können Ergebnisse für alle Räume und Tage auch rückwärtig abgerufen werden (siehe Abb. 4).

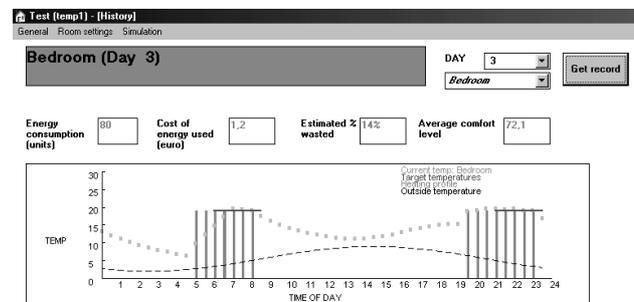


Abbildung 4: Tagesbericht am Beispiel der Feedbackstufe F2.

3. FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN

Ziel ist es zu ermitteln, welche Feedbackqualitätsstufe es dem Nutzer am einfachsten macht, die Heizung effizient zu regulieren. Effizient regulieren bedeutet in dem Experiment, zu genau definierten Zeiträumen in den einzelnen Zimmern genau vorgegebene Temperaturen zu erreichen und gleichzeitig möglichst wenig Energie zu verbrauchen.

Unsere Hypothese ist, dass die Versuchspersonen mit den detaillierteren Rückmeldungen aus System F2 bessere Ergebnisse erzielen, also die vorgegebenen Temperaturen mit weniger Energie erreichen. Zudem prüfen wir, ob durch Übung implizites Systemwissen erworben wird und differenziertes Feedback überflüssig macht.

4. METHODE

4.1 Versuchspersonen

Es nahmen 45 Studentinnen und Studenten an dem Versuch teil, die dafür mit 25 € entlohnt wurden. Die Stichprobe besteht aus 58% Ingenieursstudenten, 31% Psychologiestudenten und 11% Studierende anderer Studiengänge. An der Untersuchung haben 37,8% Frauen teilgenommen.

4.2 Versuchsdesign und Durchführung

Unsere Untersuchung basiert auf einem 3x4 Versuchsplan. Die Variable *Feedbackqualität* hat drei Abstufungen (F0, F1 und F2), die Variable *Durchführungsphase* vier (Phase 1 bis 4). Der Versuchsplan ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Versuchspersonen durchlaufen in unserem Design jeweils 4 Phasen. Jede Phase besteht aus von 30 simulierten Tagen. Aufgabe ist es, für diese 4 x 30 Tage eine 3-Zimmer Wohnung zu beheizen. Das Ziel ist dabei, die für jeden Raum vorgegebene Temperatur mit möglichst wenig Energie zu erreichen. Alle Personen bedienen in der ersten Phase das System F0, in dem außer dem Komfortlevel lediglich der Energieverbrauch des zuletzt simulierten Tages rückgemeldet wird. Diese Phase gilt als Baseline. Die nächsten zwei Phasen sind für je 15 VP entweder System F0, System F1 oder System F2. Die vierte Phase ist für alle Personen wieder gleich und besteht aus dem System F0.

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Gruppe F0	F0	F0	F0	F0
Gruppe F1	F0	F1	F1	F0
Gruppe F2	F0	F2	F2	F0

Tabelle 2: 3 x 4 Versuchsdesign (Feedbackqualität x Durchführungsphase)

Durch die Computersimulation erhalten wir für jede Testperson und jeden simulierten Tag (also 4 x 30) Ergebnisse über den erreichten Komfort in Prozent,

die dafür benötigte Menge an Energie (virtuelles Maß), die entstandenen Kosten in Euro und den geschätzten Anteil unnötig verbrauchter Energie. Im Anschluss an die experimentelle Phase erheben wir mit einem kurzen Fragebogen das gewöhnliche Heizverhalten der Versuchspersonen und das mentale Modell, mit dem die Heizung bedient wird. Zum Schluss befragen wir die Versuchspersonen in einem halbstrukturierten Interview noch zu den positiven und negativen Eigenschaften der Bedieneroberfläche und wie diese verbessert werden könnte.

5. ERGEBNISSE

Bisherige Auswertungen scheinen zu bestätigen, dass sich eine erhöhte Rückmeldequalität positiv auf die Steuerungsleistung auswirkt (siehe Abb. 5).

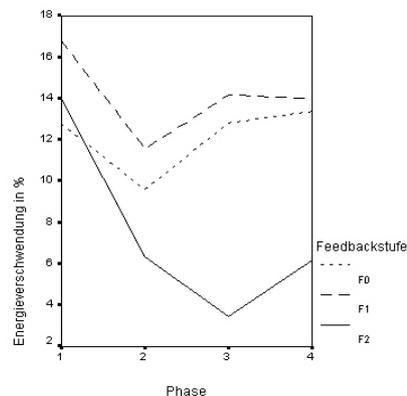


Abb. 5: Effizienz der Steuerungsleistung als Funktion von Feedbackstufe und Bearbeitungsdauer.

Die Nachbefragung ergab interessante Einblicke in das Nutzungsverhalten und Anregungen zur Verbesserung. Von allen Teilnehmern positiv bewertet wurde die Möglichkeit, die Heizung in einem Koordinatensystem durch Erzeugen von Heizblöcken einzustellen. Dies wurde als sehr anschaulich beschrieben. Entsprechend positiv fiel die Bewertung der graphischen Rückmeldung über den Temperaturverlauf (siehe Abb. 2) aus. Sowohl die graphische wie die tabellarische Rückmeldung über den prozentualen Grad der Komforterreicherung wurde von allen Teilnehmern als Informationsquelle genutzt. Auch die Vorgehensweise ähnelte sich laut Interviewausagen: war der erreichte Komfort auffällig gering, schauten die Personen in den graphischen Darstellungen nach, wodurch das Ergebnis verursacht ist, um Gegenmaßnahmen einzuleiten. Hierfür sahen sich die Teilnehmer mit Feedbackqualität F1 und F2 den Tagesbericht an, während die Teilnehmer mit Feedbackqualität F0 die graphische Darstellung des Temperaturverlaufs des letzten Tages nutzten. Die Rückmeldung über die verbrauchte Energie wurde von den Versuchspersonen weniger stark berücksichtigt, was nach Aussagen einiger Personen daran lag, dass kein Richtwert zur Bewertung der gebrauchten Energie zur Verfügung stand. Eine Rückmeldung von beispielsweise 394 verbrauchten Energieeinheiten gab keinen direkten Hinweis darauf,

ob das als ein gutes oder schlechtes Ergebnis zu interpretieren ist. Die entstandenen Kosten spielten bei der Evaluation der eigenen Bedienerstrategie eine sehr untergeordnete Rolle, da sie dem Energieverbrauch proportional entsprach. Das in der Feedback-Qualitätsstufe F2 rückgemeldete Maß für die Verschwendung wurde von allen Teilnehmern, die dieses Maß abrufen konnten, genutzt und als Informationsquelle sehr positiv bewertet. Einige Teilnehmer gaben an, in der letzten Phase, in der diese Information nicht mehr zur Verfügung stand, sensibilisiert gewesen zu sein für dieses Maß und mehr auf den Energieverbrauch geachtet zu haben.

Insgesamt zeigten sich die Testpersonen zufriedener mit dem Feedbacksystem F2, dem System mit dem höchsten Transparenzgrad. Es ergaben sich aus der Nachbefragung wertvolle Hinweise zur Verbesserung der Bedieneroberfläche. Eine wichtige Anregung war, der Information zur Energieverschwendung den Grund für die Verschwendung hinzuzufügen. Als hilfreich wurde eine Anleitung für zukünftige Sparmaßnahmen gesehen. Diese sollte möglichst graphisch dargestellt werden. Weiterhin wurde eine automatische Anpassung des Systems auf sich verändernde Außentemperaturen angeregt. Einige Testpersonen wünschten sich insgesamt einen höheren Automatisierungsgrad des Systems. Kritisiert wurde vielfach die Umständlichkeit mit verschiedenen Fenstern arbeiten zu müssen. Angeregt wurde von diesen Personen, alle Funktionen und Rückmeldungen in einem Fenster zu integrieren. Vielfach wurde ein Richtwert für den durchschnittlichen Verbrauch gewünscht, der es dem Nutzer vereinfacht, die Verbrauchsangaben zu bewerten. In der Weiterentwicklung könnte das bedeuten, den Energieverbrauch direkt zu bewerten.

6. DISKUSSION

Methodisch beinhaltete die Untersuchung die Erhebung quantitativer Daten durch die rechnergestützte Simulation und die Erhebung qualitativer Daten, einerseits durch das Aufzeichnen eines Journals mit dem alle Arbeitsschritte der Versuchspersonen nachvollzogen werden können, andererseits durch die Nachbefragung der Testpersonen. Diese Daten ergeben ergänzend ein umfassendes Bild über die Qualität der Benutzeroberfläche.

Qualitative Daten zur Bedienbarkeit gaben wichtige Informationen zur Weiterentwicklung der Systemoberfläche. Die Erhebung von qualitativen Daten bietet zusätzlich die Möglichkeit, zu prüfen, welcher Transparenzgrad nötig und welche Feedbackinformationen relevant sind für die umweltgerechte Steuerung eines Heizungssystems.

Das Ziel der Untersuchung war es, Gestaltungsrichtlinien für Heizungssysteme abzuleiten. Einige Aspekte der Untersuchungsergebnisse können auf die in der Regel eher kleinen Displays von Heizungsanlagen übertragen werden. Die Ergebnisse sind natürlich besonders relevant für die Gestaltung von PC gestützten Steuerungssystemen von Heizungsanlagen. Durch die Untersuchung sollten Hinweise für effektive Informationen und deren optimale Darstellung gewonnen werden.

Das Heizungssystem wurde von den meisten Testpersonen möglichst automatisiert gewünscht. Dem Wunsch der Vollautomatisierung steht der Verlust der Kontrolle über das System dann entgegen, wenn es für den Nutzer nicht mehr transparent ist. Hohe Transparenz löste sowohl größere Zufriedenheit bei den Testpersonen aus, als auch bessere Regulationsergebnisse aus. Heizungssysteme sollten also

1. einen hohen Automatisierungsgrad erreichen,
2. Systemfunktionen und Effektgrößen transparent darstellen,
3. Kontrollmöglichkeiten bieten und
4. detaillierte Hinweise darüber geben, wie das Heizverhalten optimiert werden kann.

Letztendlich würde eine Bewertung der aktuellen Einstellungen des Systems dem Nutzer Anhaltspunkte für die Optimierung der Systemanwendung geben.

Eine Weiterentwicklung des untersuchten Systems mit besonderem Fokus auf die praktische Umsetzbarkeit der Gestaltungsrichtlinien ist notwendig und wird folgen.

7. REFERENCES

- [1] Sauer J. und Rüttinger B., Nutzerorientierte Gestaltung von Gebrauchsgütern. In B. Zimolong und U. Konradt (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie: Ingenieurpsychologie*. Göttingen: Hogrefe (2003). Zur Begutachtung eingereichtes Manuskript.
- [2] Kempton W., Two theories of home heat control. *Cognitive Science*. **10**, 75-90 (1986).
- [3] Sauer J., Wastell D., Hockey G.R.J., Crawshaw C.M. and Downing J.C., Designing micro-worlds of transportation systems: the computer-aided bridge operation task. *Computers in Human Behaviour*. **19** (2), 169-183 (2003).
- [4] Wandmacher J., *Software-Ergonomie*. Berlin: Walter de Gruyter & Co. (1993).
- [5] Norman D., *The Design Of Everyday Things*. Cambridge, MIT Press (1988).

Referenten



Claudia Schmeink studiert seit 1998 Diplom - Psychologie am Institut für Psychologie der TU Darmstadt. Sie ist seit 1999 als wissenschaftliche Hilfskraft in der Arbeitsgruppe für MCI bei Herrn Prof. J. Wandmacher tätig. Ihr Praktikum absolvierte sie in der Abteilung für Personalentwicklung der Commerzbank AG, Frankfurt. Sie leitet seit 2000 für die innerbetriebliche Aus- und Weiterbildung der TU Darmstadt sowohl EDV-Schulungen, als auch Seminare zum Thema „Argumentieren und Verhandeln“.

Die Untersuchung ist zentraler Bestandteil ihrer Diplomarbeit, welche betreut wird von Dr. J. Sauer.



Dr. Jürgen Sauer arbeitet als Hochschulassistent in der Arbeitsgruppe Arbeits- und Organisationspsychologie am Institut für Psychologie der TU Darmstadt. Zuvor war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an den Universitäten Bochum und Hull (GB) tätig. Seine Promotion schloss er im Jahre 1997 an der Universität Hull zum Thema „Human skill maintenance in complex work environments“ ab. Er studierte Psychologie in Giesen und erhielt einen M.Sc. in „Occupational Psychology“ von der Universität Sheffield.

Seine Forschungsinteressen gelten der nutzerorientierten und umweltgerechten Gestaltung von Gebrauchsgütern und den Auswirkungen von Arbeit in komplexen hochautomatisierten Arbeitsumgebungen. In diesen Forschungsfeldern hat er zahlreiche Fachzeitschriftenartikel und Buchbeiträge veröffentlicht.



David Wastell gained his Ph.D. in Psychology from the University of Durham in 1978. He then moved to the Applied Psychology Unit in Cambridge where he undertook a major project involving the psychophysiological analysis of stress and technological change in British Telecomm. In 1980, he moved to Manchester taking up a lectureship in Medical Informatics. He was promoted to Senior Lecturer in Information Systems in 1990, and in July 2000 took up his present position as Professor of the Information Society at the University of Salford. He is currently moving to the University of Manchester to take up a chair in the School of Computation.