

Bestimmungsgrößen für Energieeffizienz und -verbrauch in Österreichs Haushalten – Eine Komponentenzerlegung

Influence factors on energy efficiency and energy use in private households in Austria – A decomposition analysis

Unterstützt durch Fördergelder des Jubiläumsfonds der Oesterreichischen Nationalbank (Projektnummer: 13603)

Verfasser: Univ.-Doz. Dr. Kurt Kratena (Wifo – Österreichisches Institut
Wirtschaftsforschung) - Gesamtleitung
Mag.^a Angela Holzmann
Dr. Leonardo Barreto-Gomez
Dr. Martin Baumann
Dr. Heimo Bürbaumer
Mag. Gregor Thenius
DI Herbert Tretter

Auftraggeber: Jubiläumsfonds der Oesterreichischen Nationalbank

Impressum

Herausgeberin: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency,
Mariahilfer Straße 136, A-1150 Wien; Tel. +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 340;
E-Mail: office@energyagency.at, Internet: <http://www.energyagency.at>

Für den Inhalt verantwortlich: DI Peter Traupmann

Gesamtleitung: Univ.-Doz.Dr. Kurt Kratena (Wifo – Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung)

Gesamtleitung Energieagentur: Mag.^a Angela Holzmann

Lektorat: Dr.ⁱⁿ Margaretha Bannert

Herstellerin: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency

Verlagsort und Herstellungsort: Wien

Nachdruck nur auszugsweise und mit genauer Quellenangabe gestattet. Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

1	Zusammenfassung	2
1.1	Ausgangspunkt und Motivation	2
1.2	Methodik	6
1.3	Ergebnisse	11
2	Disseminationsaktivitäten – Überblick Projektoutput	18
2.1	Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Raumwärme der privaten Haushalte Österreichs	18
2.1.1	Auszüge aus dem wissenschaftlichen Aufsatz	18
2.1.2	Posterpräsentation der Ergebnisse auf der Second European Conference on Energy Efficiency and Behaviour im September 2012 in Helsinki	21
2.1.3	Posterpräsentation der Ergebnisse auf der 8. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien (IEWT 2013) im Februar 2013	22
2.2	Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Warmwasser der privaten Haushalte Österreichs	23
2.2.1	Auszüge aus dem Bericht	23
2.3	Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Verkehr der privaten Haushalte Österreichs	25
2.4	Telefonumfrage zum Thema Heizen und Warmwasser in Österreichs privaten Haushalten	25
	Literaturverzeichnis	27

1 Zusammenfassung

Abstract

Sowohl die „Europa 2020 Strategie“ als auch das österreichische Regierungsprogramm (Gesetzgebungsperiode XXIV) betonen die Notwendigkeit eines effizienten Energieeinsatzes. Die Energieeffizienz und damit der Energieverbrauch der privaten Haushalte sind von einer Vielzahl unterschiedlicher Bestimmungsgrößen abhängig (u.a. Effizienz der eingesetzten Technologie, Komfortniveau oder Wirtschaftsleistung). Um Maßnahmen zur Beeinflussung des Energieverbrauchs optimieren zu können, müssen diese Bestimmungsgrößen und ihre Wirkung auf den Energieverbrauch bekannt sein. Ziel des durchgeführten Projekts ist es, die Bestimmungsgrößen der Energieeffizienzentwicklung und des Energieverbrauchs der Haushalte zu analysieren, um so die Wirkungen von Maßnahmen zur Energieverbrauchssteuerung abschätzen zu können. Dazu wurde eine Komponentenerlegung durchgeführt, mit deren Hilfe unter anderem auch Reboundeffekte untersucht werden können. Bisherige Methodenansätze wurden weiterentwickelt, in die so genannte „Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI)“-Methode überführt und erstmals in diesem Detaillierungsgrad auf Österreich angewandt. Um Einblick in das Heiz- und Warmwassernutzungsverhalten der österreichischen Haushalte zu erlangen und somit die vorhandenen Datengrundlagen zu ergänzen, wurde darüberhinaus eine telefonische Befragung von 1006 österreichischen Haushalten durchgeführt.

1.1 Ausgangspunkt und Motivation

Ausgangspunkt

Die EU-Richtlinie über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen (European Commission, 2006) verpflichtet die Mitgliedstaaten, bis 2016 jährlich 1 % ihres Endenergieverbrauchs durch Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz einzusparen. Eine Ausdehnung dieses Ziels auf 20 % bis 2020 war aufgrund des dritten Energiepakets schon geraume Zeit absehbar (European Council, 8/9 March 2007). Im Oktober 2012 ist zur Umsetzung des 20%-Ziels die neue Richtlinie zur Energieeffizienz (European Commission, 2012) beschlossen worden. Österreich muss damit – will es diese internationalen Verpflichtungen einhalten – verstärkt Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Senkung des Energieverbrauchs setzen.

Das Österreichische Einsparziel im Rahmen der EU-Richtlinie über Energieeffizienz und Energiedienstleistungen liegt bei 80,4 PJ oder 22,34 TWh im Jahr 2016 (Federal Ministry of Economy and Labour, 2007). Um die Einhaltung dieser Vorgabe zu messen, wurden verschiedene Methoden entwickelt (Austrian Energy Agency, 2012; European Commission, 2010). Die damit berechneten Einsparungen wurden im Rahmen des 2. Nationalen Energieeffizienzaktionsplanes (Austrian Energy Agency, 2011) zusammengefasst und im Sommer 2011 an die Europäische Kommission übermittelt. Der Nationale Aktionsplan beschreibt eine umfassende Anzahl an Maßnahmen, die in Österreich bereits zur Energieverbrauchsreduktion gesetzt worden sind. Die mittels Bottom-up-Methoden berechneten Einsparungen belaufen sich insgesamt auf 49 PJ und auf 39 PJ für den privaten Gebäudesektor.

Trotz dieser bereits unternommenen Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz (z.B. im Bereich der thermischen Wohnbau- und Wohnhaussanierungsförderung, Steigerung

der Wirkungsgrade eingesetzter Heizungsanlagen) hat sich der Heizenergiebedarf der Haushalte zwar stabilisiert, sinkt jedoch nicht im erwarteten Maße. Klimabereinigt stieg der Heizenergieverbrauch im Beobachtungszeitraum 1993 bis 2011 sogar um 4,5 % an (s. Abbildung 1).

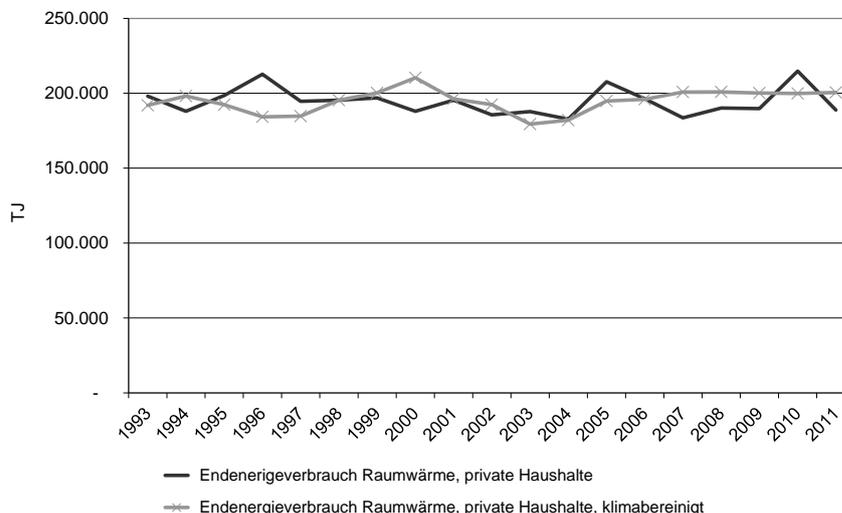


Abbildung 1: Endenergie Raumwärme in Österreich, klimabereinigt und nicht klimabereinigt, 1993–2011

Die Energieeinsparungen bereits umgesetzter Maßnahmen zur Steigerung der technischen Energieeffizienz bleiben also oft hinter den Erwartungen zurück.

Eine mögliche Erklärung dafür ist der so genannte Rebound-Effekt: Die Effizienzverbesserung von Energieanwendungen führt häufig zu einer verstärkten Inanspruchnahme der Anwendung bzw. zu einem höheren Komfortbedürfnis und bewirkt damit eine Reduktion der technisch möglichen Einsparung. So kann zum Beispiel die Dämmung eines Wohngebäudes dazu führen, dass mehr Fläche beheizt wird und/oder dass höhere Raumtemperaturen gewünscht werden.

Darüberhinaus ist der Wirtschaftssektor „Private Haushalte“ im Hinblick auf eine Energieverbrauchsreduktion von zentraler Bedeutung für Österreich. Er benötigt rund ein Viertel des österreichischen Endenergieverbrauchs (Statistik Austria, 2013), siehe Abbildung 2, und ist dadurch ein treibender Faktor von energiespezifischen Problemen wie Umweltbelastung und Klimaveränderung. Darüber hinaus können Maßnahmen zur Energieverbrauchsreduktion im Bereich der privaten Haushalte vielfach auf nationaler Ebene gesetzt werden.

Bestimmungsgrößen für Energieeffizienz und verbrauch in Österreichs Haushalten

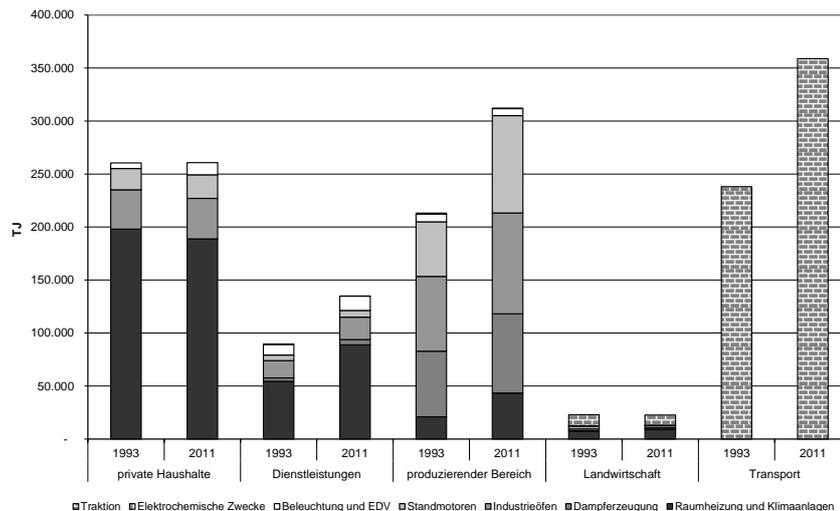


Abbildung 2: Endenergie nach Anwendungskategorien und Wirtschaftssektoren in Österreich, 1993 und 2009, Quelle: Statistik Austria (2011)

Es stellt sich daher die Frage, welche Bestimmungsgrößen für den Energiebedarf der Haushalte ausschlaggebend sind und welche Maßnahmen erfolgreich zur dauerhaften Stabilisierung oder sogar zur Reduktion des Energieverbrauchs eingesetzt werden sollen.

Projektziel

Um Maßnahmen zur Energieverbrauchssteuerung planen und optimieren zu können, müssen die Bestimmungsgrößen des Energieverbrauchs und ihre Wirkung auf diesen bekannt sein. Eine eingehende Analyse der Bestimmungsgrößen ist erforderlich, um jene Maßnahmen zu forcieren, die erfolgreich zur dauerhaften Stabilisierung oder sogar zur Reduktion des Energieverbrauchs eingesetzt werden können.

Ziel des dargestellten Projekts war es daher, die Bestimmungsgrößen der Energieeffizienzentwicklung und des Energieverbrauchs der österreichischen Haushalte der letzten Jahre mit dem Instrument der Dekompositionsanalyse zu analysieren und quantitativ zu evaluieren, um so die Wirkungen von Maßnahmen zur Energieverbrauchssteuerung besser abschätzen zu können.

Der Projektoutput beschreibt die Entwicklung des Energieverbrauchs in verschiedenen Anwendungsbereichen der privaten Haushalte (Raumwärme, Warmwasser) und zeigt den quantitativen Einfluss der verschiedenen Bestimmungsgrößen auf diese Entwicklung. Gezeigt wird die Energieverbrauchsreduktion durch technische Effizienzverbesserungen (z.B. der Gebäudehülle) sowie die etwaige Reduktion dieser Einsparung beispielsweise durch Strukturänderungen (z.B. mehr Singlehaushalte), Komfortverbesserungen (z.B. mehr beheizte Nutzfläche) oder geändertes Ausstattungsniveau (z.B. größere Wohnungen).

Die Projektergebnisse ermöglichen das bessere Verständnis der Energieverbrauchsentwicklung der privaten Haushalte. Vor allem die Verbesserung des Wissens über langfristige Entwicklungen der Energieeffizienz und des Energieverbrauchs stehen dabei im Vordergrund.

Durch die quantitative Abschätzung der wichtigsten Bestimmungsgrößen des Energieverbrauchs wird eine zielgerichtete Maßnahmensetzung zur Energieverbrauchssteuerung (verbraucherseitige Maßnahmen) ermöglicht und die Ableitung

von Empfehlungen für politische Entscheidungsträger erleichtert. Darüber hinaus werden durch die quantitative Abschätzung der Determinanten des Energieverbrauchs die Grundlagen geschaffen, um Potenzialstudien durchzuführen. Die zielgerichtete Maßnahmensetzung und das verbesserte Wissen über die Wirkung von verbraucherseitigen Maßnahmen erhöht die Erfolgchancen der Maßnahmen und verbessert dadurch das Kosten-Nutzen-Verhältnis der gesetzten Politiken maßgeblich. Dies bringt einen ökonomischen Vorteil bei gesteigerter Energieeffizienz.

Innovationsgehalt und Forschungslücke

Während bestehende Lösungen die Einflussgrößen des Energieverbrauchs entweder top-down über Makromodelle oder bottom-up über die Betrachtung einzelner Technologien untersuchen, stellt die angewandte Dekompositionsanalyse eine Kombination beider Ansätze dar. Es fließen Informationen einzelner Technologien (z.B. Wirkungsgrade der Heizsysteme, Effizienz der Gebäudehüllen) in die Analyse ein und gleichzeitig werden makroökonomische Größen wie etwa die Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt, um daraus relevante Erkenntnisse zum Energieverbrauch dieses Sektors zu gewinnen.

Die zur Komponentenerlegung im Projekt angewandte Methode, die Index-Dekompositionsanalyse (IDA), wurde bereits in den 1970er Jahren entwickelt und in vielen Ländern und Zusammenhängen zur Analyse des Energieverbrauchs verwendet (siehe dazu u.a. Ang (2004), Choi Ki-Chong et al. (1995), Karakaya et al. (2005), Ma Chunbo et al. (2006), Neelis M. et al (2007), Wadeskog et al. (2003)). Allerdings wird die konkrete Formulierung des verwendeten Index laufend verbessert (siehe dazu z. B. Ma Chunbo et al. (2006)) und die Anwendung der Methode erfordert eine Anpassung dieser an die konkrete Fragestellung.

Obwohl international ein weit verbreitetes Instrument, ist die Analyse des österreichischen Energieverbrauchs mit Hilfe der Index-Dekompositionsanalyse eine Seltenheit. Die Ergebnisse der Literaturanalyse zeigen, dass bisher lediglich die Internationale Energieagentur eine Index-Dekompositionsanalyse für den Heizenergieverbrauch Österreichs durchgeführt hat (International Energy Agency, 2011). Die Arbeit beinhaltet eine Dekompositionsanalyse für den Raumwärmeverbrauch für 18 IEA-Mitgliedsländer und quantifiziert die Bedeutung von vier Einflussfaktoren auf den Pro-Kopf-Energieverbrauch. Weiters führten Kratena and Meyer (2007) eine Dekompositionsanalyse der CO₂-Emissionen verschiedener Wirtschaftssektoren Österreichs durch. Dabei wurde der Sektor der privaten Haushalte in seiner Gesamtheit analysiert, ohne jedoch auf die einzelnen Verbrauchskategorien näher einzugehen.

Das vorliegende Projekt geht über die bisherigen nationalen und internationalen Forschungsergebnisse hinaus, indem eine weitaus umfangreichere Analyse des Energieverbrauchs der österreichischen Haushalte auf einem sehr disaggregierten Niveau durchgeführt wurde. Es werden acht Einflussfaktoren auf den Raumwärmebedarf und vier Einflussfaktoren auf den Warmwasserbedarf quantifiziert. Es werden Energieverbrauchsreduktionen durch technische Effizienzverbesserungen, wie etwa Verbesserungen an der Gebäudehülle oder Modernisierungen der Heizsysteme, behandelt, andererseits wird gezeigt, dass diese Reduktionen etwa durch Strukturänderungen oder höhere Komfortansprüche wieder ausgeglichen werden. Vor allem der Einfluss des Konsumentenverhaltens wird deutlicher identifiziert als in vorangegangenen Publikationen.

Weiters wurde erstmals sowohl der Heizenergieverbrauch als auch der Warmwasserverbrauch nach Energieträgern analysiert.

Der Innovationsgehalt dieses Vorhabens liegt demnach einerseits in der Anwendung der Index-Dekompositionsanalyse auf Österreich und der Analyse der Bestimmungsgrößen des österreichischen Energieverbrauchs. Andererseits stellt die dafür erforderliche Erweiterung der IDA auf weitere Komponenten bzw. Bestimmungsgrößen des Energieverbrauchs wie z. B. das Komfortniveau im Bereich der Haushalte eine methodische Innovation dar.

1.2 Methodik

Um die oben genannten Zielsetzungen zu erreichen, wurde der Lösungsweg in die in Abbildung 3 dargestellten Schritte unterteilt:

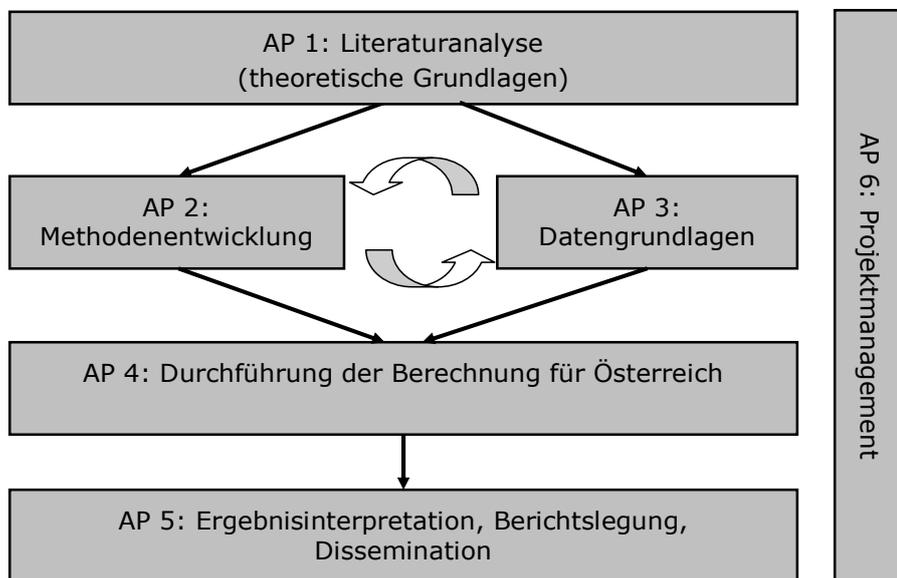


Abbildung 3: Projekttablaufplan

Literaturanalyse

Die Methodik der Index-Dekompositionsanalyse blickt auf eine weit zurück reichende historische Entwicklung zurück. Überdies ist die Methodik aufgrund der Entwicklung der Klima- und Energiepolitik und der damit verbundenen neu auftretenden Fragestellungen einer laufenden Entwicklung unterworfen. Um diese Entwicklungen zu berücksichtigen und auf dem aktuellen Wissenstand aufzubauen, wurden internationale und nationale Veröffentlichungen analysiert und einem Vergleich unterzogen.

Details zu den Ergebnissen der Literaturanalyse siehe Holzmann et al. (2012).

Methodenentwicklung

Um den Einfluss der Bestimmungsgründe der Energieeffizienzentwicklung abzuschätzen, wird die so genannte Index-Dekompositionsanalyse (IDA) angewandt. Diese gibt Aufschluss darüber, *warum* sich die Energieeffizienz und damit auch der Energieverbrauch mit der Zeit ändert und zeigt dadurch Handlungsspielräume für energie- und klimapolitische Maßnahmen auf.

Die Index-Dekompositionsanalyse ist eine Methode, die die Entwicklung der Energieeffizienz relativ schnell und mit vergleichsweise geringem Aufwand in deren Bestimmungsgrößen zerlegt. Die Methode selbst wurde bereits in den 1970er Jahren entwickelt (Ang and Zhang, 2000) und in vielen Ländern und Zusammenhängen zur Analyse des Energieverbrauchs verwendet (siehe dazu u.a. Ang (2004), Choi Ki-Chong et al. (1995), Karakaya et al. (2005), Ma Chunbo et al. (2006), Neelis M. et al (2007), Wadeskog et al. (2003)). Durch die langjährige Anwendung der IDA haben sich unterschiedliche methodische Ansätze entwickelt. Ang (2004) empfiehlt die Anwendung der so genannten „Logarithmic Mean Divisia Index I (LMDI I)“-Methode. Dieser Ansatz weist verglichen mit anderen Ansätzen diverse Vorteile auf: Pfadunabhängigkeit wird vermieden, die Additivität der Ergebnisse ist gewährleistet, Nullwerte sind möglich und die Ergebnisse weisen keine Residuen auf (Ang, 2004; Ang and Liu, 2001). Allerdings verlangte die Anwendung der Methode eine Anpassung an die konkrete Fragestellung. Der Ansatz der „Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI)“-Methode wurde aufgegriffen und wo notwendig erweitert. Details hierzu siehe Holzmann et al. (2012) sowie Holzmann und Kratena (2013a).

Der Endenergieverbrauch der Haushalte wurde abhängig vom Aktivitätsniveau, gemessen an der Anzahl zu versorgender Personen, berechnet und in folgende Bestimmungsgrößen zerlegt:

- Technischer Fortschritt, gemessen in Endenergieverbrauch je Nutzungsniveau (z. B. Endenergieverbrauch für Raumwärme je m² Wohnfläche)
- Ausstattungsniveau (z. B. m² beheizte Wohnfläche je Haushalt)
- Komfortniveau (z. B. höhere Raumtemperaturen)
- Struktureffekte (z. B. Zunahme an Singlehaushalten)

Da diese Bestimmungsgrößen je nach Anwendung unterschiedlich sind, wird der Energieverbrauch der Haushalte getrennt nach den folgenden Energieverbrauchskategorien untersucht:

- Raumwärme
- Warmwasser

Aufgrund der schlechten Datenlage wurde von der ursprünglich geplanten Analyse der Einflussfaktoren auf den Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für **Verkehrszwecke** Abstand genommen. Nachforschungen haben ergeben, dass die Daten für die Anwendung der Dekompositionsanalyse nicht ausreichen: ein Teil der Daten kann nicht gemessen werden, sondern nur in Stichproben beobachtet und hochgerechnet werden, so etwa die Personenkilometer oder die Fahrzeugbesetzung. Weiters muss gerade im Verkehrssektor auf eine Vielzahl an verschiedenen Datenquellen zurückgegriffen werden, deren Kompatibilität, bei aller gebotenen Sorgfalt, oft nicht gewährleistet werden kann. Die Aussagekraft der Dekompositionsanalyse wäre durch die schlechte Datenlage in Frage gestellt.

Der **Endenergieverbrauch für Raumwärme** wird als Produkt folgender Faktoren ausgedrückt:

$$FE^{observed} = \sum_{BD} \sum_f \left[P \times FS \times BS_{BD} \times HD_{BD} \times F_f \times HSE_f \times W \times CB \right] \quad (1)$$

Veränderungen im Endenergieverbrauch für Raumwärme $FE^{observed}$ werden also durch folgende Effekte erklärt:

(1) Der Bevölkerungs-Effekt P zeigt den Einfluss wachsender Bevölkerungszahlen.

(2) Der Nutzflächen-Effekt FS ($FS = \frac{m^2}{P}$) beschreibt den Einfluss von wachsender Nachfrage nach Nutzfläche (m^2) pro Person.

(3) Der Gebäudestruktur-Effekt BS_{BD} ($BS_{BD} = \frac{m_{BD}^2}{m^2}$) zeigt Änderungen in den Lebensgewohnheiten, gemessen in Nutzfläche je Gebäudegröße BD; BD steht für Einfamilienhäuser (1–2-Familienhäuser), Mehrfamilienhäuser (3–9-Familienhäuser) und großvolumigen Wohnbau (mehr als 9-Familienhäuser).

(4) Der Heizbedarfs-Effekt HD_{BD} ($HD_{BD} = \frac{UE_{BD}^{HDD^{ref}}}{m_{BD}^2}$) beschreibt den Einfluss von Änderungen des jährlichen Heizwärmebedarfs pro m^2 , berechnet mit Referenz-Heizgradtagen (HDD^{ref}) und gemessen in Nutzenergie (UE) je m^2 (Effizienz der Gebäudehülle).

(5) Der Energieträger-Effekt F_f ($F_f = \frac{UE_f^{HDD^{ref}}}{UE^{HDD^{ref}}}$) beschreibt den Einfluss eines Energieträgerwechsels und ist gegeben durch den Quotienten aus Nutzenergieverbrauch pro Energieträger und dem gesamten Nutzenergieverbrauch ($UE^{HDD^{ref}}$); f steht für Kohle, Öl, Gas, Elektrizität, Fernwärme, Biomass und Umgebungwärme.

(6) Der Heizsystemeffizienz-Effekt HSE_f ($HSE_f = \frac{FE_f^{cal, HDD^{ref}}}{UE_f^{HDD^{ref}}}$) zeigt den Einfluss von Änderungen der Effizienz der Heizsysteme auf den Endenergieverbrauch für Raumwärme, ausgedrückt als Quotient aus dem berechneten Endenergieverbrauch (FE^{cal}) je Energieträger und dem berechneten Nutzenergieverbrauch (UE) je Energieträger.

(7) Der Wetter-Effekt W ($W = \frac{FE^{cal, HDD^{act}}}{FE^{cal, HDD^{ref}}}$) zeigt den Einfluss der jährlichen Klimaschwankungen; gemessen werden diese Klimaschwankungen durch das Verhältnis der Referenzheizgradtage (HDD^{ref}) und der beobachteten tatsächlichen Heizgradtage.

(8) Der Verbrauchsverhaltens-Effekt CB ($CB = \frac{FE^{observed}}{FE^{cal, HDD^{act}}}$) ist ein Residualeffekt und definiert als der Quotient aus dem beobachteten Endenergieverbrauch ($FE^{observed}$) und dem berechneten theoretischen Endenergieverbrauch (FE^{cal}). Der Effekt zeigt auf, wie das Konsumentenverhalten den Endenergieverbrauch für Raumwärme beeinflusst. Darüberhinaus inkludiert dieser Effekt fehlerhafte Annahmen betreffend den berechneten Energieverbrauch, die bei aller gebotenen Sorgfalt nicht vollkommen ausgeschlossen werden können.

Der **Endenergieverbrauch für Warmwasser** wird als Produkt folgender Faktoren ausgedrückt:

$$FE^{observed, HW} = \sum_f [P \times I \times F_f \times E_f] \quad (2)$$

Veränderungen im Endenergieverbrauch für Raumwärme $FE^{observed}$ werden also durch folgende Effekte erklärt:

(1) Der Bevölkerung-Effekt P zeigt den Einfluss wachsender Bevölkerungszahlen.

(2) Der Intensitäts-Effekt I ($I = \frac{UE}{P}$) beschreibt den Einfluss des spezifischen Energieverbrauchs, ausgedrückt in Nutzenergie für Warmwasser je Person.

(3) Der Energieträger-Effekt F_f ($F_f = \frac{UE_f}{UE}$) beschreibt den Einfluss eines Energieträgerwechsels und ist gegeben durch den Quotienten aus dem Nutzenergieverbrauch pro Energieträger und dem gesamten Nutzenergieverbrauch (UE); f steht für Kohle, Öl, Gas, Elektrizität, Fernwärme, Biomass und Umgebungwärme.

(4) Der Systemeffizienz-Effekt E_f ($E_f = \frac{FE_f^{observed, HW}}{UE_f}$) zeigt den Einfluss von Änderungen

der Effizienz der Systeme zur Warmwasserbereitung auf den Endenergieverbrauch für Warmwasser, ausgedrückt als Quotient aus dem berechneten Endenergieverbrauch (FE) je Energieträger und dem berechneten Nutzenergieverbrauch (UE) je Energieträger;

Wendet man die LMDI-Methode auf Gleichung (1) an, so resultiert dies in Gleichung (3):

$$\begin{aligned} \Delta FE_{t,t-1}^{observed} &= FE_t^{observed} - FE_{t-1}^{observed} = \sum_i \Delta FE_{i,t,t-1}^{observed} = \\ &\sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \times \sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{FS_t}{FS_{t-1}}\right) \times \\ &\sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{BS_{BD,t}}{BS_{BD,t-1}}\right) \times \sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{HD_{BD,t}}{HD_{BD,t-1}}\right) \times \\ &\sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{F_{f,t}}{F_{f,t-1}}\right) \times \sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{HSE_{f,t}}{HSE_{f,t-1}}\right) \times \\ &\sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{W_t}{W_{t-1}}\right) \times \sum_{BD} \sum_f F\tilde{E}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln\left(\frac{CB_t}{CB_{t-1}}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

wobei $i_t \in \{P, FS, BS_{BD}, HD_{BD}, F_f, HSE_f, W, CB\}$

und $t \in \{1993, \dots, 2009\}$, jährliche Zeitschritte

Gleichung (4) zeigt den Einfluss auf den Endenergieverbrauch bei Änderung des Faktors i.

$$\Delta FE_{i,t,t-1}^{observed} = \sum_{BD} \sum_f \tilde{FE}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \times \ln \left(\frac{i_t}{i_{t-1}} \right) \quad (4)$$

wobei \tilde{FE} den logarithmischen Durchschnitt des Endenergieverbrauchs zu den Zeitpunkten t und t-1 darstellt:

$$L(FE_{BD,f,t}^{observed}, FE_{BD,f,t-1}^{observed}) = \frac{(FE_{BD,f,t}^{observed} - FE_{BD,f,t-1}^{observed})}{(\ln FE_{BD,f,t}^{observed} - \ln FE_{BD,f,t-1}^{observed})} = \tilde{FE}_{BD,f,t,t-1}^{observed} \quad (5)$$

Details zu den Ableitungen finden sich in Holzmann et al (2012).

Schaffung der Datengrundlagen

Zeitgleich mit der Methodenentwicklung erfolgte die Datenrecherche. Für den Bereich der privaten Haushalte kann zu einem großen Teil auf Daten der Statistik Austria zurückgegriffen werden. Wo diese nicht vorhanden waren, wurden sie mittels Literaturrecherchen ergänzt.

Angaben zur Anzahl, Art und Qualität der durchgeführten Sanierungen, Angaben zu Alter und Effizienz der Heizsysteme oder Angaben zum Verbrauchsverhalten (Innenraumtemperaturen, beheizte Wohnnutzfläche) lagen nur in sehr begrenztem Ausmaß vor. Auch Änderungen im Verbrauchsverhalten, ausgelöst durch eine Sanierung der Gebäude oder der Heizsysteme, wurden bisher nicht erhoben. Um diese Daten zu erheben, beauftragte die Österreichische Energieagentur ein Marktforschungsinstitut mit einer fragebogenbasierten Telefonumfrage. Eine Zufallsstichprobe von 1006 österreichischen Haushalten wurde ausgewählt und zu Wohnsituation, Heizsystem und Verbrauchsverhalten befragt. Die Umfrage wurde im Zeitraum von März bis April 2011 durchgeführt.

Details zur durchgeführten Telefonumfrage siehe Holzmann und Kratena (2013b), Details zu verwendeten Daten siehe Holzmann et al. (2012) sowie Holzmann und Kratena (2013a).

1.3 Ergebnisse

An dieser Stelle findet sich ein kurzer Überblick über die Ergebnisse der durchgeführten Analysen. Für Detailergebnisse und ausgiebige Ergebnisinterpretationen siehe Holzmann et al. (2012), Holzmann und Kratena (2013b) und Holzmann und Kratena (2013a).

Dekompositionsanalyse

Tabelle 1 sowie Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die aggregierten Ergebnisse der Dekompositionsanalysen.

Positive und negative Effekte auf den Endenergieverbrauch für **Raumwärme** heben einander beinahe auf. Insgesamt sinkt der Raumwärmeverbrauch von 1993 bis 2009 um 7.708 TJ oder um 4 %. Diese Reduktion wurde vor allem durch sinkende Heizgradtage ausgelöst. Bereinigt um Heizgradtage steigt der Endenergieverbrauch für Raumwärme um 5 % im Beobachtungszeitraum (siehe auch Abbildung 1). Die Ergebnisse zeigen, dass nur drei von acht analysierten Einflussfaktoren einen reduzierenden Effekt auf den Raumwärmeverbrauch haben: die Effizienz der Gebäudehülle (HD), die Effizienz der Heizsysteme (HSE) und Wetterschwankungen (W). Steigende Bevölkerungszahlen (P), erhöhter Bedarf nach Nutzfläche je Person (FS), die bevorzugte Gebäudegröße (BS) sowie sich änderndes Konsumentenverhalten (CB) gleichen diese reduzierenden Effekte beinahe aus.

Der Endenergieverbrauch für **Warmwasser** ist von 1993 bis 2009 um 1.994 TJ oder 6 % angestiegen. Die Ergebnisse zeigen in diesem Fall, dass zwei der vier analysierten Faktoren einen reduzierenden Einfluss auf den Warmwasserverbrauch haben: Änderungen im Energieträgermix (F) und Verbesserungen der Effizienz der Heizsysteme (E). Allerdings werden diese Effekte durch steigende Bevölkerungszahlen (P) und steigenden Verbrauch pro Person (I) mehr als aufgehoben.

Tabelle 1: Aggregierte Ergebnisse der Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser 1993–2009

Änderung des Endenergieverbrauchs									
Raumwärme	Gesamt	ΔFE_P	ΔFE_{FS}	ΔFE_{BS}	ΔFE_{HD}	ΔFE_F	ΔFE_{HSE}	ΔFE_W	ΔFE_{CB}
Absolute Änderung in TJ	-7.708	10.750	48.751	6.068	-48.254	31	-33.419	-17.855	26.219
Relative Änderung in % (bezogen auf 1993)	- 4 %	5 %	25 %	3 %	-24 %	0,02 %	-17 %	-9 %	13 %
Warmwasser	Gesamt	ΔFE_P	ΔFE_I	ΔFE_F	ΔFE_E				
Absolute Änderung in TJ	1.994	1.868	14.117	-9.741	-4.249				
Relative Änderung in % (bezogen auf 1993)	6 %	6 %	46 %	- 31 %	- 14 %				

Bestimmungsgrößen für Energieeffizienz und verbrauch in Österreichs Haushalten

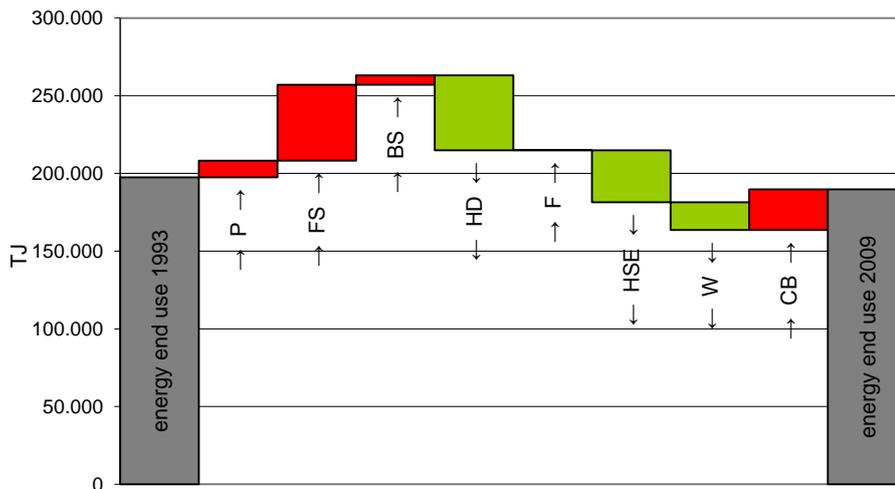


Abbildung 4: Aggregierte Ergebnisse der Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Raumwärme 1993-2009

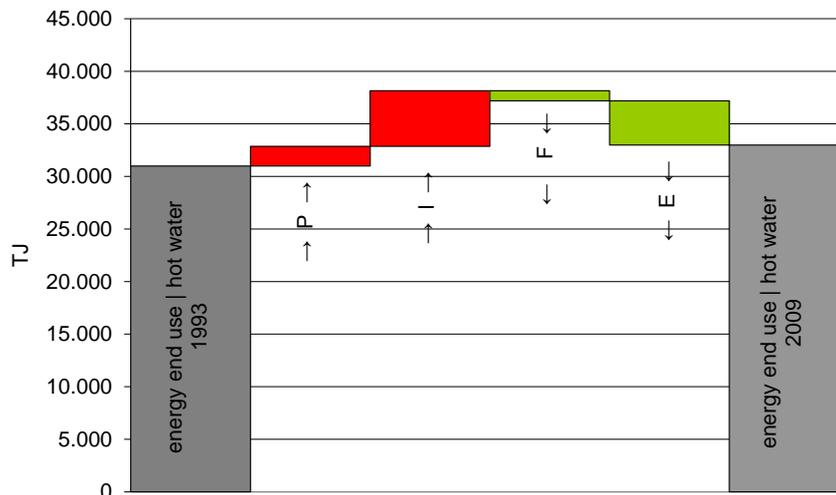


Abbildung 5: Aggregierte Ergebnisse der Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Warmwasser 1993-2009

Die oben dargestellten aggregierten Resultate zeigen, warum sich der Endenergieverbrauch in den analysierten Anwendungsbereichen trotz vieler gesetzter Maßnahmen nicht reduziert hat. Einerseits zeigen die erreichten Einsparungen durch technische Verbesserungen, dass die energiepolitisch gesetzten Maßnahmen in Österreich erfolgreich sind. So wurde der Endenergieverbrauch für Raumwärme etwa durch Verbesserungen der Gebäudehülle um 24 % reduziert, durch Effizienzverbesserungen der Heizsysteme zusätzlich um 17 %. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss zwar berücksichtigt werden, dass es sich bei den zugrunde liegenden technischen Daten um Ergebnisse einer Literaturrecherche handelt und nicht um gemessene Daten, trotzdem kann man davon ausgehen, dass technische Einsparungen eine Reduktion des Energieverbrauchs bewirkt haben. Auf der anderen Seite stehen die wachsenden Komfortbedürfnisse, die die erreichten Einsparungen mindern. So erhöht etwa der wachsende Bedarf nach Nutzfläche pro Person den Endenergieverbrauch für Raumwärme um 25 % im Beobachtungszeitraum und hebt damit die gesamte Reduktion

durch effizientere Gebäudehüllen wieder auf. Der Residual- oder Konsumentenverhaltens-Effekt erhöht den Endenergieverbrauch um 13 % und reduziert damit die erreichten Einsparungen weiter.

Das überraschendste Ergebnis der Analyse ist der Einfluss des Konsumentenverhaltens-Effekts auf den Endenergieverbrauch für Raumwärme. Dieser Effekt ist ein Residualeffekt und beschreibt inwieweit der theoretisch berechnete Endenergieverbrauch von dem beobachteten Endenergieverbrauch (Statistik Austria, 2011) abweicht. Das Konsumentenverhalten hat zwei wesentliche Auswirkungen auf den Endenergieverbrauch für Raumwärme: (1) Es reduziert den berechneten Endenergieverbrauch im Durchschnitt um 45 % im Beobachtungszeitraum, (2) es gleicht Teile der Wetterschwankungen aus (siehe Abbildung 6).

Ein möglicher Grund für (1) ist etwa, dass nicht die gesamte vorhandene Nutzfläche beheizt wird, sondern nur Teile davon. Diese Hypothese wird von den Ergebnissen der durchgeführten Telefonumfrage unterstützt. Die Ergebnisse besagen, dass weniger als 90 % der vorhandenen Nutzfläche beheizt werden. Amtmann (2011) fand noch stärker abweichende Ergebnisse für den österreichischen Gebäudebestand: lt. den Ergebnissen der Studie werden nur rund 65 % der vorhandenen Nutzfläche beheizt.

Des Weiteren gleicht das Konsumentenverhalten Wetterschwankungen teilweise aus (2). Die ausgewerteten Daten zeigen, dass das Konsumentenverhalten mit Ausnahme von drei Jahren im gesamten Betrachtungszeitraum den Einfluss des Wetters abschwächt. Der Endenergieverbrauch für Raumwärme reagiert also auf Wetterschwankungen, aber in einer abgeschwächten Form. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass Konsumenten auf Wetterschwankungen in beiden Richtungen (kälter/wärmer) reagieren, aber nicht in dem Ausmaß, in dem sich das Wetter tatsächlich ändert. Zu erkennen ist dieser Effekt in Abbildung 6: Die Schwankungen des mit gemessenen Heizgradtagen berechneten Endenergieverbrauchs fallen wesentlich stärker aus als jene des in offiziellen Statistiken veröffentlichten Endenergieverbrauchs.

Das Konsumentenverhalten reduziert zwar im Durchschnitt den Endenergieverbrauch für Raumwärme erheblich, die Änderung des Konsumentenverhaltens hat jedoch einen erhöhenden Effekt auf den Endenergieverbrauch (siehe Ergebnisse Abbildung 4 und Tabelle 1). Hat sich der Endenergieverbrauch im Jahr 1993 durch den Einfluss des Konsumentenverhaltens noch um 49 % reduziert, so hat sich diese Reduktion bis ins Jahr 2009 auf 40 % abgeschwächt. Die Auswirkung dieser Änderung ist in Abbildung 6 zu sehen: während sich der berechnete theoretische Endenergieverbrauch im Laufe der Jahre reduziert, bleibt der tatsächliche Endenergieverbrauch beinahe konstant.

Bestimmungsgrößen für Energieeffizienz und verbrauch in Österreichs Haushalten

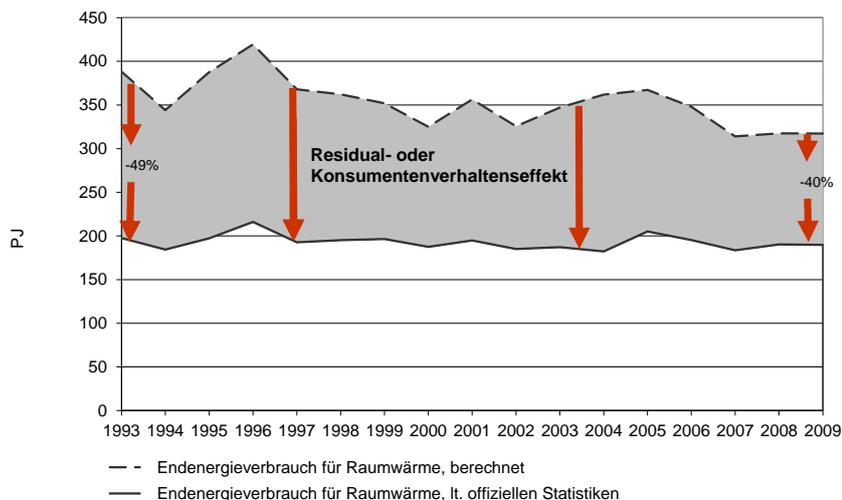


Abbildung 6: Endenergieverbrauch für Raumwärme, berechnet und lt. offiziellen Statistiken, 1993–2009

Die Vernachlässigung des individuellen Konsumverhaltens in den Berechnungen der Energieeinsparpotenziale führt zu erheblichen Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Einsparungen. Sowohl der Endenergieverbrauch als auch die Endenergieeinsparungen werden ohne Berücksichtigung des Konsumverhaltens tendenziell überschätzt. Über den betrachteten Zeitraum (1993-2009) nimmt der Einfluss des Konsumverhaltens ab. Wird davon ausgegangen, dass sich dieser Trend fortsetzt, reduziert auch dies mögliche theoretische Einsparpotenziale.

Ziel dieses Berichts ist es, einen Überblick über die Ergebnisse zu liefern, weitere Detailresultate, ausgiebige Ergebnisdiskussionen und Schlussfolgerungen finden sich daher in den zu Beginn des Kapitels erwähnten Publikationen.

Telefonumfrage

Obwohl die Datenlage im Bereich der privaten Haushalte im Vergleich zu anderen Wirtschaftssektoren relativ umfangreich ist (siehe etwa Gebäude- und Wohnungszählung, Nutzenergieanalyse usw.), fehlten für eine umfangreiche Analyse der Energieeffizienzentwicklung in den Bereichen Raumwärme und Warmwasser spezifische Daten. Um diese Daten zu erheben, beauftragte die Österreichische Energieagentur ein Marktforschungsinstitut mit einer fragebogenbasierten Telefonumfrage. Eine Zufallsstichprobe von 1006 österreichischen Haushalten wurde ausgewählt und zu Wohnsituation, Heizsystem und Verbrauchsverhalten befragt.

Die Ergebnisse der Telefonumfrage wurden zuerst einer Plausibilitätsprüfung unterzogen, indem die erhobenen Daten – wo möglich – mit veröffentlichten Daten der Statistik Austria verglichen wurden. Dazu gehören etwa Angaben zur Aufteilung der Stichprobe auf Frauen und Männer, auf Bundesländer, auf Haushaltstypen, auf Gebäudetypen oder auf Energieträger. Die Plausibilitätsprüfung zeigte prinzipiell eine sehr gute Übereinstimmung der Daten. Lediglich bei der Anzahl der Personen, die in den befragten Haushalten leben, gab es Abweichungen zu den statistischen Daten. Vor allem die größeren Haushalte (mehr als 5 Personen) waren in der Telefonumfrage mit 19 % (7 % bei Statistik Austria) stark über-

repräsentiert. Diese erhöhte Anzahl geht auf Kosten der Einpersonen-Haushalte, welche mit 13 % in der Telefonumfrage eine stark unterschätzte Gruppe darstellen (36 % bei Statistik Austria). Diese Abweichung spiegelt sich in einer Verzerrung hin zu Einfamilienhäusern, in einer Verzerrung der Energieträgeranteile und letztendlich in einer Verzerrung einzelner Umfrageergebnisse wider.

Dieser Bericht soll, wie bereits angesprochen, einen Einblick in die wichtigsten Ergebnisse geben. Detailresultate der Telefonumfrage und eine Interpretation der Ergebnisse finden sich daher in den zu Beginn des Kapitels erwähnten Publikationen. Im Folgenden wird ein kurzer Einblick in die Ergebnisse der Telefonumfrage gegeben.

Die Ergebnisse der Telefonumfrage legen den Schluss nahe, dass der Energieverbrauch kein wichtiges Thema für die Haushalte ist. Lediglich 11 % der Befragten besitzen einen **Energieausweis** für ihr Gebäude. 7 % der Befragten (75 Personen) gaben an, ihren **Heizwärmebedarf** zu kennen.

Die UmfrageteilnehmerInnen wurden weiters befragt, ob und, wenn ja, welche **Sanierungsmaßnahmen** in den Bereichen Wärmedämmung, Heizung oder Warmwasser seit dem Jahre 1993 durchgeführt wurden. Dabei war es irrelevant, ob sie selbst oder der Vermieter/Eigentümer die Sanierung veranlasst hat. Die überwiegende Mehrheit (72,7 %) hat Sanierungsmaßnahmen getroffen, nur in 27,8 % der Fälle fand keine Sanierung statt.

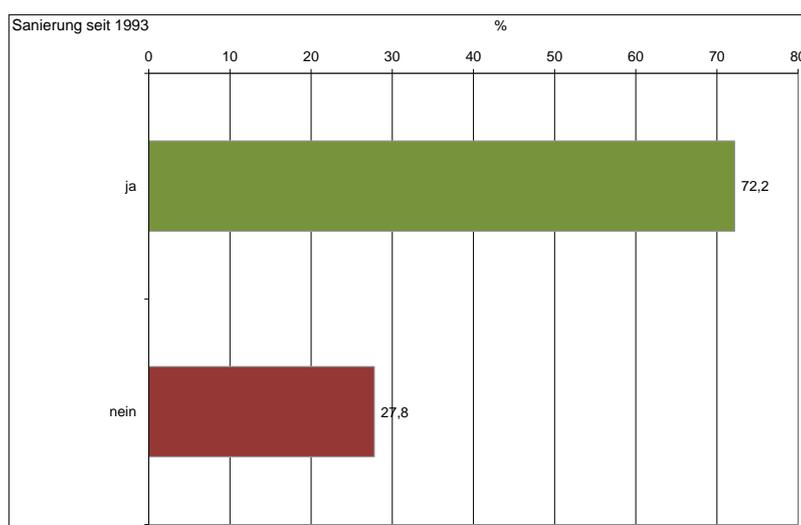


Abbildung 7: Sanierungsmaßnahmen seit 1993

Bei Hochrechnungen des Endenergieverbrauchs bzw. bei Abschätzungen des Einsparpotenzials durch Sanierung basierend auf dem Heizwärmebedarf wird meist davon ausgegangen, dass die gesamte Nutzfläche eines Hauses/einer Wohnung beheizt wird. Tatsächlich werden jedoch oft nicht benützte Räume von der Raumheizung ausgeschlossen. Ein weiteres Ziel der Telefonumfrage war es daher herauszufinden, inwieweit die tatsächlich beheizte Nutzfläche von der gesamten Nutzfläche abweicht. Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse für jene Personen, deren Gebäude im Beobachtungszeitraum einer Sanierung unterzogen wurden (n=726). Im Durchschnitt hatten diese Gebäude eine Nutzfläche von 152 m². Von diesen 152 m² wurden vor der Sanierung durchschnittlich 134 m² oder 88 % der Nutzfläche beheizt. Nach der Sanierung stieg dieser Wert geringfügig auf durchschnittlich 138 m² oder 90 %.

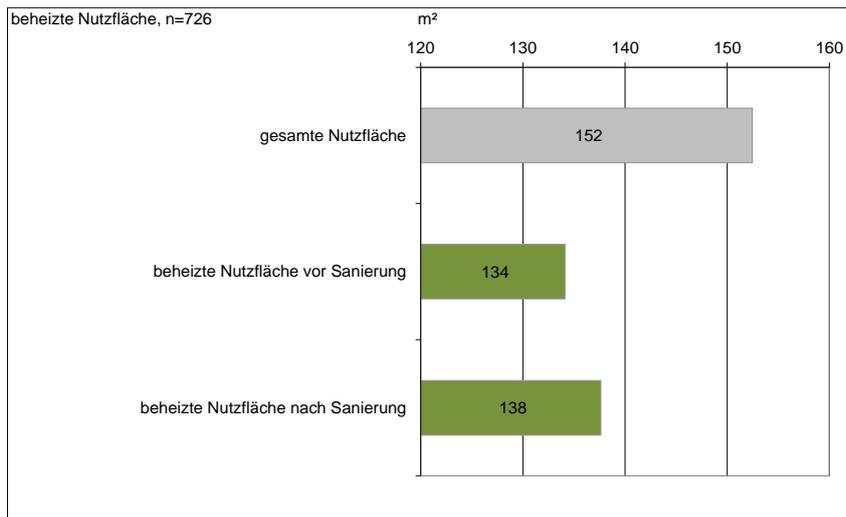


Abbildung 8: Nutzfläche gesamt, beheizt vor Sanierung und beheizt nach Sanierung

Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes wird von einer Norm-Innen-temperatur von 20 °C ausgegangen. Ein Ziel der durchgeführten Telefonumfrage war es herauszufinden, inwieweit die tatsächlich geheizte Temperatur von dieser Norm-Innen-temperatur abweicht. Dazu sollten die TeilnehmerInnen der Umfrage angeben, auf wie viel Grad sie den Großteil ihrer Wohnung/ihrer Hauses im Durchschnitt heizen. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse. 28 % der Befragten geben an, eine Raumtemperatur von 20 °C oder weniger zu haben. 68 % der Befragten heizen auf Temperaturen über dem Normwert von 20 °C, wobei Temperaturen über 24 °C nur mehr bei einer sehr geringen Personenanzahl (4 %) vorkommen. Die durchschnittliche Raumtemperatur liegt bei 21,5 °C.

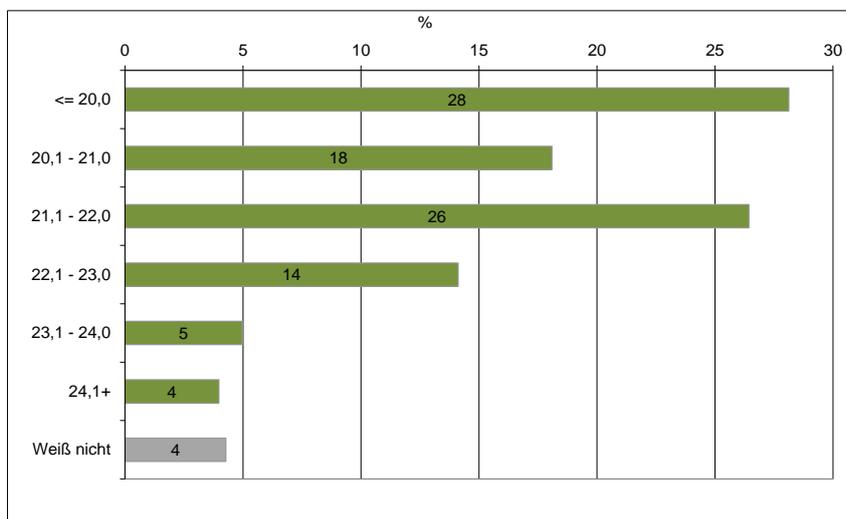


Abbildung 9: Durchschnittliche Innenraumtemperatur

Jene Personen, die angaben, eine Sanierung – nicht ausschließlich im Bereich Warmwasser (n=710) – durchgeführt zu haben, wurden nach ihrer subjektiven Einschätzung bezüglich der Änderung ihres Heizverhaltens befragt. 48 % schlossen eine Änderung des Heizverhaltens nach der Sanierung aus. Dahingegen änderten 33 % ihr Heizverhalten wenigstens geringfügig.

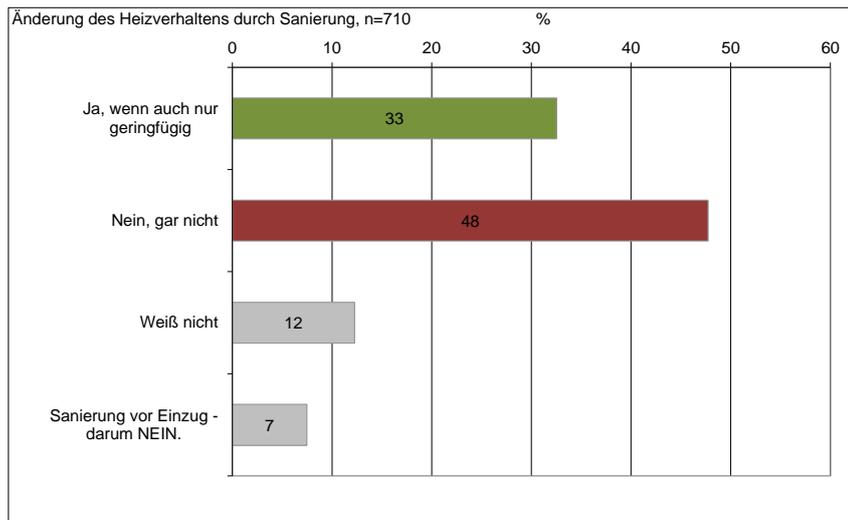


Abbildung 10: Änderungen des Heizverhaltens durch Sanierung

2 Disseminationsaktivitäten – Überblick Projektoutput

Wie im Projektantrag beschrieben, erfolgte eine umfangreiche Dissemination der Projektergebnisse im Rahmen von englischsprachigen und deutschsprachigen Veröffentlichungen und Konferenzbeiträgen. Im Folgenden wird ein Überblick über diese Disseminationsaktivitäten gegeben.

2.1 Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Raumwärme der privaten Haushalte Österreichs

Die Analyse der Einflussfaktoren auf den Endenergieverbrauch für Raumwärme der privaten Haushalte Österreichs ist abgeschlossen. Es wurden insgesamt acht Einflussfaktoren auf den Heizenergieverbrauch identifiziert und deren Einfluss mittels einer Index-Dekompositionsanalyse (Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI I)) quantifiziert. Der Hintergrund der Analyse, Methodik, Datenquellen und Ergebnisse wurden in englischer Sprache in Form eines wissenschaftlichen Aufsatzes zusammengefasst und im August 2012 bei der Zeitschrift „Energy Policy“ zur Veröffentlichung eingereicht (Verlag Elsevier, siehe <http://www.journals.elsevier.com/energy-policy/>). Der gesamte Aufsatz wird in einem separaten Dokument gemeinsam mit diesem Bericht an den Jubiläumsfond übermittelt. Nachstehend finden sich ausgewählte Auszüge („Abstract“ und „Conclusions“).

2.1.1 Auszüge aus dem wissenschaftlichen Aufsatz

Title:

Decomposing final energy use for heating in the residential sector in Austria

Abstract:

In Austria a considerable number of measures have been implemented to reduce final energy use for residential heating since the 1990s. The aim of this analysis is to investigate, why – despite these implemented measures – final energy use for heating has not decreased in the expected way. The impact of eight factors on final energy use for heating is quantified by applying the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI I) method. The dataset covers the sector of private households in Austria for the period from 1993 to 2009. The main findings of the analysis are: (1) While technical improvements reduce final energy use for heating significantly, rising comfort needs nearly outweigh these savings. (2) Consumer behaviour reduces calculated final energy use considerably. (3) The extent of this reduction is declining significantly in the period observed. (4) The growing share of single-family houses has increased energy demand for heating in the observed period, though a reversal of this trend is detected from 2007 onwards. (5) Growing floor space per person is the major effect revealed by the analysis. (6) Weather conditions have a major impact on annual fluctuations of energy consumption.

Conclusions and further research

In this article we have analysed the impact of eight different factors on final energy use for heating in Austria's private households. We have applied the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI I) method to a dataset compiled by different sources and covering the period from 1993 to 2009. The question to be answered by the decomposition analysis was why final

energy use for heating has not declined, despite many measures to improve energy efficiency have already been implemented.

The results obtained reveal that positive and negative effects have almost outweighed each other. This was to be expected due to the relatively constant final energy use in the period. On the one hand, results reveal that energy policy in Austria seems to be effective considering the energy savings caused by technical measures. Improvements in building shell insulation account for a decrease of final energy use of 48 PJ or 24% in the last 16 years. Additionally, more efficient heating systems have reduced final energy use by 33 PJ or 17%. When interpreting these results, it must be taken into account that detailed data on technical measures are not available and are mainly based on a literature review. On the other hand, growing comfort needs, represented by the floor space effect and the consumer behaviour effect have led to a massive increase in final energy use. Growing floor space per person is the major contributing effect on final energy use. Annual results show that the demand for floor space per person has been steadily growing since 1993, whereas the growth rate is constantly declining. Growing floor space per person increases final energy use by 49 PJ or 25% and thus slightly outweighs technical savings due to building shell insulation. The most surprising finding is the impact of the residual or consumer behaviour effect on final energy use for heating. First, this effect weakens the weather impact on final energy use. This leads to the conclusion that people react to changes in weather in both directions, but to a lesser extent than weather actually changes. Second, consumer behaviour reduces calculated final energy use substantially (45% on average). Third the extent of the consumer behaviour effect is declining over time. While the calculated final energy use for heating decreases considerably over time, actual heating demand remains constant except for small fluctuations. Changing consumer behaviour leads to the implication that the demand for thermal comfort has increased over time. Available data does not allow a quantification of the reasons for the changes in consumer behaviour. However, likely causes are a higher share of heated floor space or higher indoor temperatures. Considering refurbished buildings, this could be called rebound effect: improvements in energy efficiency might cause a higher intensity or frequency of final energy use or higher levels of comfort, and therefore reduce possible technical savings. Changed consumer behaviour has further reduced technical savings by 26 PJ or 13% in the period. The quantified effects explain why final energy use for heating has not diminished as expected. While technical improvements represented by changes in building shell efficiency and heating system efficiency decrease final energy use for heating to a great extent, rising comfort needs (floor space effect and consumer behaviour effect) nearly outweigh these energy savings. This verifies the hypothesis that comfort effects outweigh savings caused by technical improvements to a great extent.

A further interesting finding is that the annual effects of weather changes on final energy use for heating are by far the biggest effects revealed by the decomposition analysis. Furthermore, it is the most highly fluctuating effect. The annual impacts fluctuate between - 24.6 PJ (lowest value observed) in 1997 and +22.7 PJ (highest value observed) in 1995. This leads to the conclusion that final energy use for heating needs to be adjusted to climatic conditions when assessing achievements of national or international policy targets.

The analysis further shows that the trend towards single-family houses in Austria and the corresponding rise in energy demand for heating have diminished in recent years. In 2008

and 2009, floor space in single-family houses has decreased for the first time in the observation period, mainly in favour of floor space in apartment blocks.

However, limited data availability has restricted the decomposition analysis. The planned analysis of the impact of eleven influence factors on final energy use for heating had to be reduced to eight factors, because of a lack of annual data. Data to distinguish between total floor space and actually heated floor space could be identified for recent years but no historical data dating back to 1993 is available. The same applies to data on the difference between reference indoor temperature (20° Celsius) and actually heated indoor temperatures. Therefore, these two effects have been subsumed with other residual effects under the consumer behaviour effect. Data on floor space and heating demand for different building periods would provide deeper insights into heating demand development.

We identified three areas for further research: (1) The consumer behaviour effect leaves many questions unanswered. Due to the massive impact on final energy use for heating, further research would be highly beneficial. Examining the relation between the different components of the decomposition analysis and explaining variables (e.g. energy prices) in an econometric analysis would provide more insights into consumer behaviour. (2) More information on the effectiveness of policy measures would be revealed by analysing building shell efficiency separately for existing building stock and new buildings. (3) Field studies to gain insights into actual heating demand and heating habits in private household would facilitate the analysis and improve results.

2.1.2 Posterpräsentation der Ergebnisse auf der Second European Conference on Energy Efficiency and Behaviour im September 2012 in Helsinki

$$FE_{observed} = \sum_{BD} [P \times F \times S \times B \times S]_{BD} \times [H \times D]_{BD} \times [F \times H \times S \times E]_{f \times W \times X \times C \times B}$$

Does consumer behaviour offset technical energy savings?

Factors influencing heating demand in the residential sector – a Decomposition Analysis

Angela Holzmann^a, Heidelinde Adensam^b, Kurt Kratena^c, Erwin Schmid^d

BACKGROUND AND AIM

In Austria a considerable number of measures have been implemented to reduce final energy use for residential heating since the 1990s. However, adjusted for climatic conditions, final energy use for heating increased by 5% from 1993 to 2009. The aim of this analysis is to investigate, why – despite many implemented measures – final energy use for heating has not decreased.

INFLUENCE FACTORS ANALYSED

- (1) growing population
- (2) changing floor space per person
- (3) changes in building size (single, multi-family house or apartment blocks)
- (4) changes in annual heating demand per square metre of floor space
- (5) a shift in the fuel mix
- (6) improvements of the heating system efficiency
- (7) weather fluctuations (climate effect)
- (8) changes in consumer behaviour (residual effect)

METHOD

The impact of eight factors on final energy use for heating is quantified by applying an Index Decomposition Analysis (IDA), the so called logarithmic Mean Divisia Index (LMDI I) method. The analysis covers the sector of private households in Austria for the period from 1993 to 2009.

MAIN FINDINGS – general (Fig. 1)

- The results obtained reveal that positive and negative effects have almost outweighed each other in period observed:
- **Technical effects** account for significant energy savings from 1993 to 2009:
 - building-shell-efficiency effect: -48 PJ or -24%
 - heating-system-efficiency effect: -33 PJ or -17%
- **Growing comfort needs** have led to massive increase in final energy use:
 - floor-space effect: +49 PJ or +25%
 - consumer-behaviour effect: +26 PJ or +13%
- The **growing share of single-family houses** has increased energy demand for heating, though a reversal of this trend is detected from 2007 onwards.
- **Weather conditions** have a major impact on annual fluctuations of energy consumption.

MAIN FINDINGS – consumer behaviour (Fig 2)

- **Definition:** The consumer behaviour effect is a residual effect and defined as the quotient of observed final energy use for heating and calculated final energy use for heating.
- The consumer behaviour has **two implications** on final energy use for heating:
 - it **reduces the calculated final energy use** by 45% on average;
 - it **levels out parts of the weather effect:** Data shows that annual changes in the consumer effect offset the influence of changing weather in all but three years in the period → people react to changes in weather in both directions, but to a less extent than weather actually changes.
- Despite of the decreasing impact on final energy use, **aggregate changes in the consumer behaviour effect have an increasing impact on final energy use.** Consumer behaviour reduces final energy use to a large extent, but the extent of that impact is declining over time (see decreasing grey area in Fig. 2). While consumer behaviour caused a reduction of final energy use of 49% in 1993, the reduction decreased to 40% in 2009.
- Available data does not allow a quantification of the reasons for the changes in consumer behaviour. However, likely causes are a higher share of heated floor space or higher indoor temperatures.

LIMITATIONS

The planned analysis of the impact of ten influence factors on final energy use for heating had to be reduced to eight factors, due to a lack of annual data. Data to distinguish between total floor space and actually heated floor space could be identified for recent years but no historical data dating back to 1993 is available. The same applies to data on the difference between reference indoor temperature (20° Celsius) and actually heated indoor temperatures. Therefore, these two effects have been subsumed with other residual effects under the consumer behaviour effect.

Fig. 1: Aggregate decomposition of final energy use for heating in private households in Austria, 1993-2009; Source: prepared by the authors

Fig. 2: Calculated final energy use for heating vs. observed final energy use for heating in private households in Austria, 1993-2009; Source: prepared by the authors based on Statistics Austria

^a Energy Economics Division, Austrian Energy Agency, Heuberggasse 136, 1150 Vienna, Austria
^b Ministry of Economic Affairs and Work, Seidenstr. 1, 1011 Vienna, Austria
^c Institute for Economic Research, Altmühlstr. 11, 1020 Vienna, Austria
^d Institute for Sustainable Economic Development, University of Applied Sciences, Fildorferstrasse 4, 1150 Vienna, Austria

contact: Angela Holzmann, angela.holzmann@energyagency.at, 0643 1 5941524-151
 Supported by funds of the Österreichische Nationalbank (Österreichischer Fond, project number: 12002)

www.energyagency.at

www.monitoringstelle.at

2.1.3 Posterpräsentation der Ergebnisse auf der 8. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien (IEWT 2013) im Februar 2013

Do rising comfort requirements offset technical energy savings?

Factors influencing heating demand in the residential sector – a Decomposition Analysis

Angela Holzmann^a, Heidelinde Adensam^b, Kurt Kratena^c, Erwin Schmid^d

BACKGROUND AND AIM
 In Austria a considerable number of measures have been implemented to reduce final energy use for residential heating since the 1990s. However, adjusted for climatic conditions, final energy use for heating increased by 5% from 1993 to 2009. The aim of this analysis is to investigate, why – despite many implemented measures – final energy use for heating has not decreased.

METHOD
 The impact of eight factors on final energy use for heating is quantified by applying an Index Decomposition Analysis (IDA), the so called Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI II) method. The analysis covers the sector of private households in Austria for the period from 1993 to 2009. Changes in final energy use for heating are explained by the following effects:

$$FE^{observed} = \sum_{BD} \sum_{F} [P \times FS \times BS_{BD} \times HD_{BD} \times F_f \times HSE_f \times W \times CB]$$

- (1) P shows the impact of growing population numbers
- (2) FS describes the impact of changing demand for floor space per person
- (3) BS_{BD} accounts for changes in living habits, measured in shares of floor space located in buildings of different size BD
- (4) HD_{BD} represents the impact of changes in annual heating demand per m²
- (5) F_f shows the effect of fuel shifts
- (6) HSE_f accounts for the impact of changes in heating system efficiency
- (7) W shows the impact of annual climatic variations
- (8) CB is a residual effect and defined as the quotient of observed and calculated final energy use for heating. This effect reveals how consumer behaviour causes final energy use to differ from calculated energy demand. It could also include inaccurate assumptions regarding the calculated final energy use, which, despite all accuracy, cannot be ruled out completely.

MAIN FINDINGS

- (1) While technical improvements reduce final energy use for heating significantly, rising comfort needs nearly outweigh these savings (Fig 1):
 - **Technical effects 1993 to 2009:**
 - building-shell-efficiency effect: -48 PJ or -24%
 - heating-system-efficiency effect: -33 PJ or -17%
 - **Comfort effects 1993 to 2009:**
 - floor-space effect: +49 PJ or +25%
 - consumer-behaviour effect: +26 PJ or +13%
- (2) The growing share of single-family houses has increased energy demand for heating, though a reversal of this trend is detected from 2007 onwards.
- (3) The impact of growing floor space per person is the major effect revealed by the analysis.
- (4) **Weather conditions** have a major impact on annual fluctuations of energy consumption.
- (5) The **consumer behaviour/residual effect** has two implications on final energy use for heating:
 - it reduces the **calculated final energy use** by 45% on average;
 - it **levels out parts of the weather effect**: Data shows that annual changes in the consumer effect offset the influence of changing weather in all but three years in the period 1993-2009. People react to changes in weather in both directions, but to a less extent than weather actually changes.
- (6) Despite of the decreasing impact on final energy use, aggregate changes in the consumer behaviour effect have an increasing impact on final energy use. While consumer behaviour caused a reduction of final energy use of 49% in 1993, the reduction decreased to 40% in 2009 (see decreasing grey area in Fig. 2).

LIMITATIONS
 The planned analysis of the impact of ten influence factors on final energy use for heating had to be reduced to eight factors, due to a lack of annual data. Data to distinguish between total floor space and actually heated floor space could be identified for recent years but no historical data dating back to 1993 is available. The same applies to data on the difference between reference indoor temperature (20° Celsius) and actually heated indoor temperatures. Therefore, these two effects have been subsumed with other residual effects under the consumer behaviour effect.



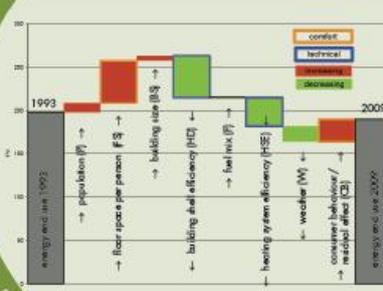


Fig. 1: Aggregate decomposition results of final energy use for heating in private households in Austria, 1993-2009; Source: prepared by the authors

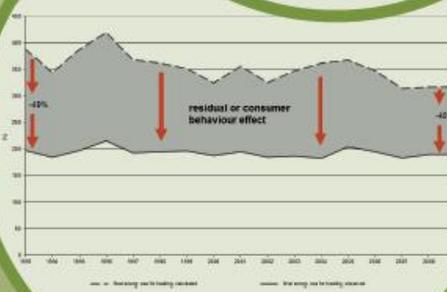


Fig. 2: Calculated final energy use for heating vs. observed final energy use for heating in private households in Austria, 1993-2009; Source: prepared by the authors based on Statista Austria

© Energy Research Division, Austrian Energy Agency, Murtelschloß Straße 136, 1150 Vienna, Austria
 a Ministry of Economy, Family and Youth, Sukbarrgasse 1, 1011 Vienna, Austria
 b Institute for Economic Research, Arsenal Straße 39, 1020 Vienna, Austria
 c Institute for Sustainable Economic Development, University of Applied Sciences, Fildernstraße 4, 1150 Vienna, Austria
 d Institute for Energy Efficient Buildings, Inffeldgasse 21a, 10435 Vienna, Austria
 Supported by funds of the Österreichische Nationalbank (Research/Ink, project number 12992)



www.energyagency.at



www.monitoringstelle.at

2.2 Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Warmwasser der privaten Haushalte Österreichs

Die Analyse der Einflussfaktoren auf den Endenergieverbrauch für Warmwasser der privaten Haushalte Österreichs ist abgeschlossen. Es wurden insgesamt vier Einflussfaktoren auf den Heizenergieverbrauch identifiziert und deren Einfluss mittels einer Index-Dekompositionsanalyse (Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI I)) quantifiziert. Der Hintergrund der Analyse, Methodik, Datenquellen und Ergebnisse wurden in englischer Sprache zusammengefasst und auf www.energyagency.at veröffentlicht.

Der gesamte Bericht wird in einem separaten Dokument gemeinsam mit diesem Bericht an den Jubiläumsfond übermittelt. Nachstehend finden sich ausgewählte Auszüge.

2.2.1 Auszüge aus dem Bericht Holzmann und Kratena (2013a)

Methodology

“Changes in final energy use for hot water, $FE^{observed,HW}$, are thus explained by the following effects:

- (1) The population effect P shows the impact of growing population numbers on final energy use for hot water;
- (2) The intensity effect I ($I = \frac{UE}{P}$) describes the impact of unit energy consumption, expressed as useful energy consumption per person, on final energy use for hot water generation.
- (3) The fuel share effect F_f ($F_f = \frac{UE_f}{UE}$) shows the effect of a shift in fuel shares, given by the quotient of useful energy demand per fuel and total useful energy demand (UE); f represents coal, oil, gas, electricity, district heating, biomass and ambient heat;
- (4) The efficiency effect E_f ($E_f = \frac{FE_f^{observed,HW}}{UE_f}$) accounts for the impact of changes in system efficiency on final energy use for hot water generation, expressed as the quotient of final energy use (FE) per fuel and useful energy demand (UE) per fuel; “

Results and discussion

“ Table 2 and Fig. 11 present aggregate results of the decomposition analysis.

In total, final energy use for hot water increased by 1,994 TJ or 6% from 1993 to 2009; this means an average increase of 0.39% per year.

The results show that changes in the fuel share mix and changes in system efficiency have a decreasing effect on final energy use for hot water. However, changes in population numbers, and changes in the unit consumption per person more than offset these energy savings.

Table 2: Aggregate decomposition of final energy use for hotwater 1993–2009

Contribution to change in final energy use	Total	ΔFE_p	ΔFE_I	ΔFE_F	ΔFE_E
Absolute contribution in TJ	1.994	1.868	14.117	-9.741	-4.249
Relative contribution (in terms of final energy use 1993)	6%	6%	46%	-31%	-14%

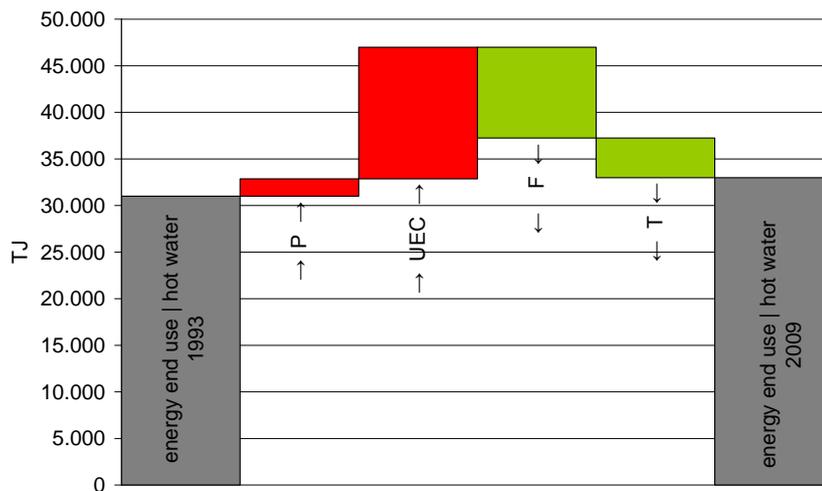


Fig. 11: Aggregate decomposition of final energy use for hot water 1993–2009; without consideration of weather; Source: prepared by the authors

Growing population numbers have an increasing effect on final energy use for hot water. Austria's population grew by 6% from 1993 to 2009, which means an average annual increase of 0.4%. Compared to the other analysed effects, population growth has the smallest influence on energy demand for hot water. In total, it caused a rise in final energy use for hot water of 1,868 TJ or 6% compared to 1993.

The intensity effect combines various effects. While the other analysed effects are calculated based on data from both official statistics and literature research, the intensity effect is obtained as residual. The most important interpretation of the intensity effect is that it is a convenience effect, thus showing changes in consumer behaviour. These changes can be due to changes in the daily hygiene habits, changes in the age structure of the population, technical improvements in sanitary systems and so on. Furthermore, as residual effect, this effect could also include inaccurate assumptions regarding collected data, which, despite all accuracy, cannot be ruled out completely. On the one hand, system efficiencies are based on a literature review and a telephone survey. On the other hand, statistical data concerning hot water is at least partially based on estimations and calculations. Total correspondence of the data with reality is therefore unlikely.

The intensity effect is the major effect found in the decomposition analysis. It accounts for 14,117 TJ of final energy use increase from 1993 to 2009 and increases final energy use by 46% compared to 1993.

Changing fuel shares have a decreasing effect on final energy use for hot water. In total, the fuel share effect caused a fall in final energy use for hot water of 9,741 TJ or 31% compared to 1993.

The system efficiency effect represents changes in hot water system efficiencies. These changes are explained by (1) changes in the age, and (2) the efficiency of the technology. Data on boilers do not allow showing both effects separately. The heating system efficiency effect accounts for 4,249 TJ of final energy use decrease from 1993 to 2009. This means a reduction of 14% of the final energy use compared to 1993. ”

2.3 Dekompositionsanalyse des Endenergieverbrauchs für Verkehr der privaten Haushalte Österreichs

Aufgrund der schlechten Datenlage wurde von einer Analyse der Einflussfaktoren auf den Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für Verkehrszwecke Abstand genommen. Wie schon im Projektantrag beschrieben, ist die Datenlage für den Verkehrssektor eher schlecht. Weitere umfangreiche Nachforschungen haben ergeben, dass die Daten für die Anwendung der Dekompositionsanalyse nicht ausreichen: Ein Teil der Daten kann nicht gemessen, sondern nur in Stichproben beobachtet und hochgerechnet werden, so etwa die Personenkilometer oder die Fahrzeugbesetzung. Weiters muss gerade im Verkehrssektor auf eine Vielzahl an verschiedenen Datenquellen zurückgegriffen werden, deren Kompatibilität, bei aller gebotenen Sorgfalt, nicht immer gewährleistet werden kann. Die Aussagekraft der Dekompositionsanalyse wäre durch die schlechte Datenlage in Frage gestellt.

2.4 Telefonumfrage zum Thema Heizen und Warmwasser in Österreichs privaten Haushalten

Ziel der Telefonumfrage war es, Einblick in das Heiz- und Warmwassernutzungsverhalten der österreichischen Haushalte zu erlangen. Als Basis zur Gewinnung aussagekräftiger statistischer Daten wurde eine telefonische Befragung von 1006 österreichischen Haushalten durchgeführt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Telefonumfrage wurden in Form einer deutschsprachigen Zusammenfassung veröffentlicht. Der gesamte Bericht wird in einem separaten Dokument gemeinsam mit diesem Bericht an den Jubiläumsfonds übermittelt. Ausgewählte Ergebnisse finden sich in Kapitel 1.3.

Literaturverzeichnis

Amtmann, M., 2011. Reference buildings-The Austrian building typology A classification of the Austrian residential building stock. Austrian Energy Agency.

Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy* 32, 1131-1139.

Ang, B.W., Liu, F.L., 2001. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy* 26, 537-548.

Ang, B.W., Zhang, F.Q., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy* 25, 1149-1176.

Austrian Energy Agency, 2011. Second National Energy Efficiency Action Plan of the Republic of Austria 2011. Austrian Energy Agency/Monitoring body on behalf of the Federal Ministry of Economy, Family and Youth.

Austrian Energy Agency, 2012. Methods for assessing the achievement of energy savings targets in accordance with the energy services directive 2006/32/EG - Bottom Up methods (in German).

European Commission, 2006. Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC.

European Commission, 2010. Preliminary Draft Excerpt - Recommendations on measurement and verification methods in the framework of directive 2003/32/EC on energy end-use efficiency and energy services

European Commission, 2012. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.

European Council, 8/9 March 2007. Council Conclusions, Document 7224/1/07, REV 1. p. 20.

Federal Ministry of Economy and Labour, 2007. 1. Energy Efficiency Action Plan of the Republic of Austria in accordance with EU Directive 2006/32/EC.

Holzmann, A., Adensam, H., Kratena, K., Schmid, E., 2012. Decomposing final energy use for heating in the residential sector in Austria. *Energy Policy*, submitted.

Holzmann, A., Kratena, K., 2013a. Decomposing final energy use for hot water in the residential sector in Austria

Holzmann, A., Kratena, K., 2013b. Telefonumfrage zum Thema Heizen und Warmwasser in Österreichs privaten Haushalten

International Energy Agency, 2011. IEA Scoreboard.

Kratena, K., Meyer, B., 2007. Energy consumption and CO₂-emissions in Austria, the role of energy efficiency and fuel substitution (in German). *Wifo-monthly report* 11, 893-907.

Statistik Austria, 2011. Nutzenergieanalyse 2009.

Statistik Austria, 2013. Nutzenergieanalyse 2011.



Versorgungssicherheit
Wettbewerbsfähigkeit
Nachhaltigkeit
Perspektiven

