

## **Dílčí výzkumná vědecká stat' - Trvalá udržitelnost a inovace**

**č. S 6/2011**

**Joachim Schleich**

**Marian Klobasa**

**Marc Brunner**

**Sebastian Gölz**

**Konrad Götz**

**Georg Sunderer**



Smart metering v Německu a Rakousku – výsledky analýzy zkoumající reakce na poskytnutou zpětnou vazbu v rámci terénního průzkumu



## **Abstrakt**

**V tomto článku představujeme výsledky terénního průzkumu v oblasti smart meteringu (inteligentních elektroměrů) v Německu a Rakousku, zaměřeného na vlivy poskytnuté zpětné vazby na průměrnou spotřebu elektrické energie. K tomu byly využity ekonometrické analýzy, které tak monitorovaly reprezentativní průřez více než 2000 domácnostmi, jenž byly zásobovány elektrickou energií od devíti dodavatelů elektrické energie. Více než polovina těchto domácností obdržela zpětnou vazbu o své spotřebě společně s informací o možných úsporných opatřeních (pilotní skupina). Zbytek domácností sloužil jako kontrolní skupina. Abychom byli schopní vyhodnotit dopady zpětné vazby, stanovili jsme si pomocí ekonometrických pravidel předběžnou spotřebu elektrické energie jedné domácnosti. Vysvětlující proměnné pracují s velkým množstvím socioekonomických faktorů (příjem, vzdělání, věk, velikost domácnosti, věkové složení, atd.), a dále také s rozsahem vybavení domácnosti domácími spotřebiči (objemné spotřebiče, elektrické ohřivače vody, počítače, TV, atd. ...). Shromážděné výsledky dokazují skutečnost, že v případě poskytnutí zpětné vazby, informující o možných úsporných opatřeních, se snižuje spotřeba elektrické energie o ca. 3,7%.**

## **Klíčová slova**

**Smart metering/ inteligentní elektroměr, zpětná vazba, spotřeba elektrické energie v domácnosti**

---

## Obsah

	<b>Strana</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Koncepce terénního průzkumu.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Zpětná vazba .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1 Internetový portál .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Technická realizace .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Dostupnost dat a ekonometrické odhady .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Závislá proměnná .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Vysvětlující proměnné.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Výsledky .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Závěr .....</b>	<b>12</b>
<b>5 Reference .....</b>	<b>14</b>

## 1 Úvod

Podle evropské směrnice o energetické účinnosti 2006/32/EC musí být inteligentní elektroměry (smart metery) instalovány v zemích EU všude tam, kde je nahrazován již existující elektroměr, kde je nová budova připojována do rozvodné sítě nebo když existující budova podstupuje významnou renovaci. Zde však pouze v případě, že je toto technicky proveditelné a ekonomicky racionální. Kromě jiného musí konečný zákazník obdržet informace o aktuální spotřebě elektrické energie a nákladech s ní spojených. Zmiňované evropské nařízení požaduje, aby bylo v členských zemích EU do roku 2010 smart metery vybaveno až 80% spotřebitelů elektrické energie, i když se členské státy EU směřují samy rozhodnout o vlastních strategiích implementace. Následkem toho se členské státy Evropské unie začaly ubírat rozličnými cestami a postupy co do načasování a technologických předpisů. Například, Švédsko již téměř dokončilo vybavování domácností, zatímco v Německu je prozatím v oblasti smart meteringu testována celá řada konceptů v rozličných pilotních projektech. Pokud bychom se zaměřili na minimální nutná opatření, pak je v Německu zavedení smart meteringu závislé na tržní síle, která by vyvíjela odpovídající měřicí systémy a další přidružené výrobky a služby. Konkrétně to znamená, že tyto směrnice v Německu umožňují odběratelům elektrické energie, aby si sami zvolili preferovaného provozovatele měřicí stanice (Metering Point Operator - MPO) nebo eventuálně dodavatele měřících služeb (Measuring Service Provider - MSP). Co se měření a následné fakturace týče, dokazuje v současné době praxe, že odběratelé elektrické energie dostávají pouze minimální informace o své spotřebě elektrické energie – zpravidla jednou ročně – a že častější a pravidelnější zpětná vazba nebo také výhodnější výběr nejzpůsobivějšího provozovatele měřících služeb (MPO) zvyšují připravenost a zlepšení kvality informací o využití energii a nákladech za ni. Tento druh zpětné vazby by měl napomoci k překonání informační bariéry a vést ke snížení spotřeby elektrické energie. Tyto směrnice navíc požadují po dodavatelích elektrické energie, aby do konce roku 2010 zavedli tarify na míru, které by zákazník mohl obměňovat podle daného období nebo spotřeby elektrické energie. Tím by mohlo například být docíleno toho, že spotřeba elektrické energie v tarifech s vyššími marginálními náklady v době špičky, by mohla být přesunuta do tarifu se spotřebou elektrické energie mimo špičku.

Poslední posudky uváděné v (několika) výzkumných pracích, hodnotících dopady zpětné vazby na spotřebu elektrické energie, dokazují úspory v rozmezí 5-15% (Darby 2006, Ehrhardt et al. 2010) a 5-12% (Fischer 2008). Nižší dopad byl zaznamenán u Matsukawy (2004) pro Japonsko (1.5%) a u Glerupa et al. (2010) pro Dánsko (3%). Široká škála odhadovaných dopadů může být, kromě jiného, vysvětlena rozdílnými hodnotícími metodami (např. očekávané hodnocení ex ante versus dodatečné hodnocení ex post, regulovaný experiment versus porovnání spotřeby elektrické energie před a potom, definicemi kontroly či danými skupinami zpracovatelů) nebo do jakého rozsahu dané analýzy sledují faktory jako cena energií, socioekonomická charakteristika domácnosti či rozsah vybavení domácími spotřebiči. Efektivita zpětné vazby závisí rovněž na typu

poskytnuté zpětné vazby (Fischer 2008, Darby 2010). Fischer (2008) ve své literární recenzi shrnuje poznatky vedoucí k tvrzení, že správná zpětná vazba umožňuje uživateli výběr z několika alternativ, jako například zahrnutí interaktivních prvků, poskytnutí zpětné vazby na velmi dlouhou dobu při pravidelnějších intervalech (a to častěji než jednou měsíčně) pro daný spotřebič nebo porovnání informací s předchozí spotřebou elektrické energie (benchmarking). Abrahamse et al. (2005) poukazují na skutečnost, že zpětná vazba je ještě mnohem efektivnější v kombinaci s dalšími strategiemi, jako je informování o účinných opatřeních k úspoře elektrické energie. A tak ačkoliv mohou směrnice o smart meteringu vytvářet nové trhy a marketingové příležitosti pro provozovatele měřících stanic, čímž by vedly k celé řadě nových výrobků a služeb, měli by na druhou stranu rovněž poskytovat užitečné a výhodné výrobky a služby šité na míru každému zákazníkovi a jeho specifickým potřebám a odpovídat tak socioekonomickým podmínkám.

Německý výzkumný projekt „Intelliekon - *Trvale udržitelná spotřeba elektrické energie v domácnostech a užití chytrých měřících technologií a komunikačních a tarifních systémů*“ (Intelliekon - Sustainable energy consumption in households through intelligent metering, communication and tariff systems) byl zahájen roku 2008 s cílem nahlédnout mezi potenciálními cílovými skupinami, jejich potřeby a priority ohledně informovanosti o spotřebě elektrické energie a následném chování při využívání zpětné vazby, kterou obdrží prostřednictvím inteligentních elektroměrů. Všechny zúčastněné domácnosti byly rozděleny do dvou skupin – domácnosti v pilotní skupině dostávaly informace o spotřebě elektrické energie a následných opatřeních k úspoře elektrické energie, zatímco domácnosti v kontrolní skupině žádné takové informace neobdržely. Tato dílčí výzkumná stať představuje první výsledky studie zpětné vazby související s úsporou elektrické energie. Abychom byli schopní zhodnotit dopady zpětné vazby, musela být spotřeba elektrické energie odhadnuta podle ekonometrického modelu, přičemž bylo přezkoumáno široké spektrum socioekonomických faktorů stejně jako rozsah vybavení domácností elektrickými spotřebiči. Zároveň jsme testovali, zda u známých veličin vedly rozdíly mezi domácnostmi v pilotní skupině a domácnostmi ve skupině kontrolní k jistému zkreslení či vychýlení od odhadu díky neznámým parametrům (zkreslení sebraných vzorků).

Zbývající část této statě je rozdělena následovně: 2. kapitola podrobně popisuje terénní průzkum a druhy poskytnuté zpětné vazby. Data, ekonometrické analýzy a výsledky jsou uvedené ve 3. kapitole. Závěrečná kapitola shrnuje a rozebírá hlavní zjištění a indikuje cestu dalšího výzkumu.

## 2 Koncepce terénního průzkumu

Terénní experiment pod hlavičkou projektu Intelliekon probíhal v osmi německých městech ležících v pěti německých spolkových státech: Celle, Hassfurt, Kaiserslautern, Krefeld, Münster, Oelde, Schwerte a Ulm. Kromě osmi německých dodavatelů elektrické energie spolupracoval s projektem Intelliekon rovněž jeden z Rakouska (Linz). Nábor domácností, které se měly podílet na daném průzkumu, probíhal ve třech fázích. V první fázi byla v každém příslušném okrsku určena výchozí skupina potenciálních účastníků a ta byla následně náhodně rozdělena do pilotní a kontrolní skupiny. V druhé fázi bylo nutné vytvořit pozvánky a zformulovat další informace o tomto experimentu, které byly následně během listopadu 2008 rozeslány domácnostem v pilotní skupině. Domácnosti v kontrolní skupině obdržely písemnou pozvánku k účasti na studii sledující spotřebu elektrické energie samozřejmě také, avšak nebyly informovány o experimentu se zpětnou vazbou. Ve třetí fázi jsme ještě jednou telefonicky kontaktovali všechny domácnosti a vyzvali je k aktivní účasti a závazné registraci na experimentu a požádali je o souhlas s použitím jejich osobních údajů. Z tohoto důvodu nemusí být účast na projektu považována za zcela nahodilou. Domácnosti v pilotní skupině si kromě toho mohly zvolit preferovaný způsob obdržení zpětné vazby, to znamená přes internetový portál nebo písemnou formou prostřednictvím pošty.

Terénní průzkum byl spuštěn během měsíců května a června 2009 ve všech okrscích kromě Münsteru. Technické problémy, které se zde vyskytly, nám dovolily zahájit náš experiment v Münsteru teprve v listopadu 2009. Takže vzhledem k tomuto prodlení jsme ukončili terénní průzkum ve všech okrscích až v listopadu 2010, aby se na něm každá domácnost podílela minimálně po dobu 12 měsíců. Pilotní domácnosti dostaly přístup na internetový portál nebo jim byla doručována písemná zpětná vazba prostřednictvím pošty. V obou skupinách domácností (pilotní i kontrolní) byla spotřeba elektrické energie pečlivě zaznamenávána. Během terénního experimentu jsme v domácnostech pilotní skupiny provedli tři dotazníkové pohovory: na začátku, uprostřed a na konci terénní fáze. Domácnosti v kontrolní skupině byly dotázány pouze dvakrát, na začátku a na konci. Konkrétně se jednalo o počítačově asistovanou telefonní komunikaci, pracující na způsobu standardizovaného dotazníku zjišťujícího rozsah vybavení domácnosti domácími spotřebiči, způsob chování a sociodemografické údaje.

### 2.1 Zpětná vazba

Koncepce našeho výzkumu dokazuje, že technologie smart meteringu je součástí sociotechnického systému (Emery and Trist 1965). Což má za následek, že informace, které jsou u konkrétních případů poskytovány systémy se zpětnou vazbou, vedou k jejich dalšímu zpracování pouze v případě, že mohou být sociálně a kognitivně integrovány v každodenní rutinní činnosti příjemců této zpětné vazby. Vývoj nástrojů zpětné vazby probíhal v tomto

projektu podle vzoru Kemptona a Layna (1994), kteří předpokládají, že jak odběratelé tak instituce (společnosti dodávající elektrickou energii, výzkumné instituty) mají určité schopnosti a znalosti, jak analyzovat spotřebu elektrické energie. Kempton a Layne (1994) nechali celé jednání a rozhodování na domácnostech, protože předpokládali, že domácnosti se budou samy informovat o všech dostupných možnostech k úspoře elektrické energie. Právě toto zmiňované jednání má vycházet z informací (např. o spotřebě elektrické energie), které jim poskytnou dané instituce. V rámci daného projektu byla tato myšlenka dále rozšířena pomocí hypotézy, která se opírá o skutečnost, že odběratelé mohou využít výhod ze zjištění spotřeby elektrické energie a možných úsporných opatření, které by vedly k jejímu snížení, pouze v případě, že je informace o zpětné vazbě ušitá na míru jejich schopnostem a potřebám a zkoncipována přesně podle jejich sociálního, socioekonomického a kognitivního prostředí. Proto bylo jedním z úkolů tohoto projektu vyvinout vhodné nástroje zpětné vazby. Abychom byli schopni lépe stanovit názory zákazníků a cíle dodavatelů elektrické energie, bylo se členy domácností ve třech lokalitách provedeno 76 podrobných rozhovorů. Tyto rozhovory nám dovolily pořídit primární evidenci vytvořenou na základě rozličných možností zpětné vazby v různých sociálních skupinách a sledovat potřeby uživatelů s ohledem na nástroje a vizualizaci zpětné vazby (Birzle-Harder et al. 2008). Výsledky ukázaly zcela jasně, že poskytování informací o stávající spotřebě elektrické energie není až tak užitečné, protože někteří jednotlivci nebudou schopni adekvátně zpracovat a interpretovat nabízená data (Gölz a Götz 2009). Místo toho by se informace o spotřebě elektrické energie měla opírat o snadno zvládnutelné časové intervaly a benchmarking. Poskytování informací, jako je právě spotřeba elektrické energie za určitý časový úsek, může například ve formě určitých grafů vyvolat pozitivní praktickou změnu ve zvyklostech odběratelů. Nejeefektivnějším se jeví výběr a předání několika málo, avšak pečlivě zvolených, dat a správně zprostředkovaných názorných příkladů. Výsledkem těchto podrobných rozhovorů jsou dva typy nástrojů zpětné vazby, které byly použity pro pilotní skupinu: jednak přístup na internetový portál a pak také písemná zpětná vazba prostřednictvím pošty. Systémy podávající okamžitou zpětnou informaci o spotřebě elektrické energie jako jsou speciální hodiny k měření okamžité spotřeby elektrické energie či aplikace mobilních telefonů s obdobnými funkcemi nebyly k dispozici.

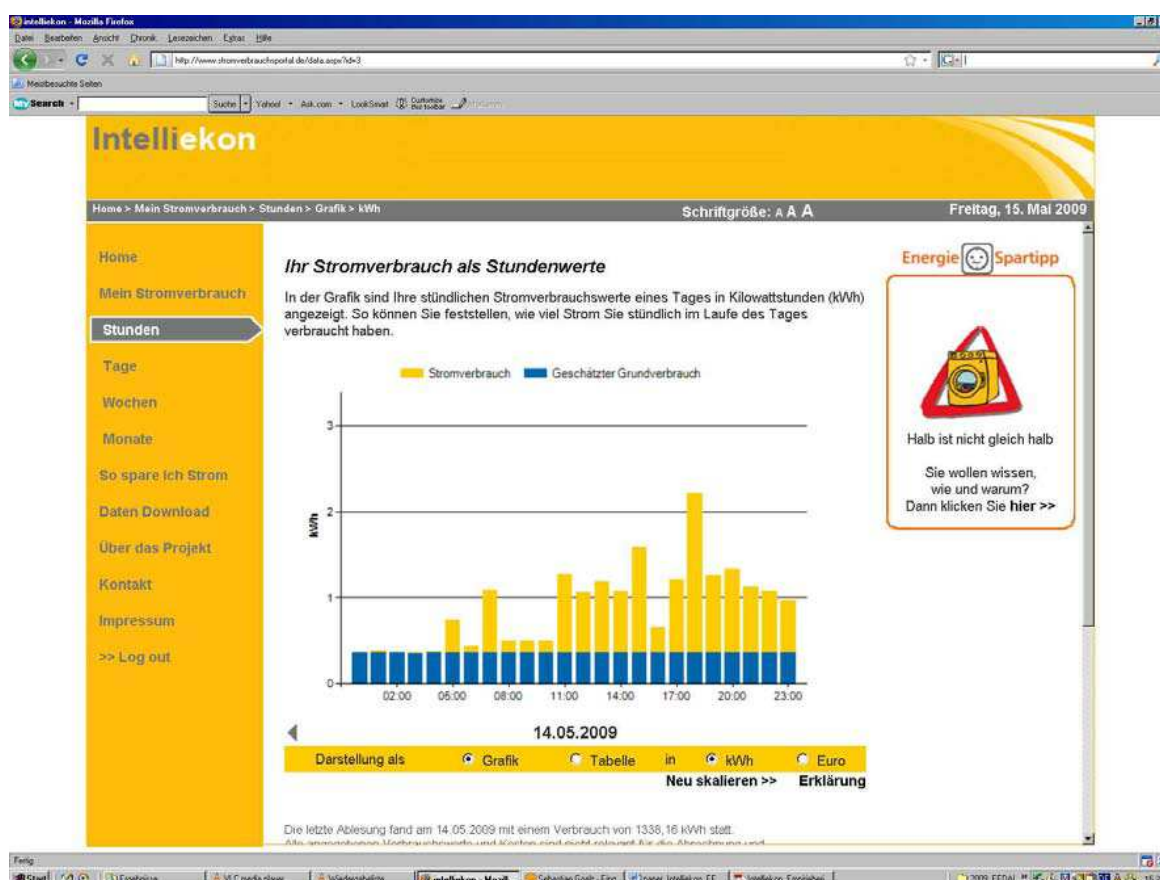
### 2.1.1 Internetový portál

Internetový portál byl navržen tak, aby domácnostem co nejvíce usnadnil snížení jejich spotřeby elektrické energie a náklady s tím spojené a to pomocí jasných srozumitelných informací, vzorců spotřeby energie a praktických opatření. Domácnosti dostávaly informace o spotřebě elektrické energie a nákladech za ní prostřednictvím souhrnných dat umožňujících porovnání spotřeby elektrické energie během delšího časového úseku (měsíce, dny, hodiny) a podle typu zátěže správnou identifikací spotřebních vzorců. Uživatelé si mohli zvolit své nejoblíbenější grafy pro znázornění roční spotřeby (ve srovnání s měsícem),



půlroční spotřeby (ve srovnání s týdnem), měsíční spotřeby (ve srovnání se dnem) nebo denní spotřeby (ve srovnání s hodinou). Dále si mohli zvolit mezi grafickým znázorněním (sloupcovými grafy) a kombinací tabulek a grafů a přepínat mezi ukazateli znázorňujícími spotřebu elektrické energie (v kWh) a náklady za energii (v eurech). Na závěr byla vyobrazena přerušovaná spotřeba a (odhadované) základní zatížení (ledničky a mrazničky) v podobě podílů celkové spotřeby elektrické energie (viz. graf č. 3).

**Graf 1:** Aktuální screenshot znázorňující internetový portál se zobrazenou zpětnou vazbou



Ke zvýšení motivace a k získání praktických znalostí v rámci úsporných opatření elektrické energie byla zavedena řada podpůrných prvků. Obrazovku internetového portálu jsme rozdělili na několik polí a to z důvodu snadné navigace, přehledné prezentace dat o spotřebě elektrické energie a s dalšími doporučeními na zajímavé odkazy o její úspoře. Dokonce jsme zde použili i malou grafickou ukázkou spočívající ve speciálně řešeném dopravním značení, které mělo za úkol pomocí zajímavého překvapení vyvolat zvědavost a upoutat pozornost na praktické informace. Uživatelé se kromě toho také mohli zúčastnit online hry a stát se virtuálním „energetickým králem/královnou“. Hra

měla zvýšit motivaci k úspoře elektrické energie. V každé místnosti domu či bytu (kuchyň, obývací pokoj, ...), dle přístrojů typických pro německou domácnost, se objevovaly pokyny a rady k ušetření elektrické energie. Zvědavci měli šanci narazit na doplňující informace k úspoře elektrické energie ještě v kategorii „Věděli jste ...?“. A v neposlední řadě nabízel internetový portál možnost stažení informací a kontaktní údaje pro případ dalších dotazů.

### **Zpětná vazba písemnou formou**

Volba zpětné vazby písemnou formou obsahovala informace týkající se měsíční spotřeby elektrické energie. Jednalo se o grafy, tabulky a další doporučení k úspoře elektrické energie prezentované rovněž na internetovém portálu, které byly přehledně vytištěny na barevné dvoustraně. Tato písemná zpětná vazba byla účastníkům průzkumu zasílána prostřednictvím pošty v pravidelném intervalu jednou měsíčně.

Bohužel však ani široká škála možností k analyzování spotřeby elektrické energie v domácnostech nedovoluje přesné sledování změn ve spotřebě elektrické energie přímo u samotného jednotlivce, kde by bylo možné pozorovat jeho individuální chování či rozhodování v oblasti dalšího investování. Pro odborníky na elektrickou energii rovněž nebylo snadné udílet odběratelům takové rady, aby byli schopní jednoduše porozumět všem informacím týkajících se spotřeby a následným opatřením k úspoře elektrické energie v jednotlivých domácnostech.

## **2.2 Technická realizace**

Systémy měřící techniky byly vybrány jednotlivými zúčastněnými dodavateli elektrické energie, přičemž se od sebe v daných lokalitách nepatrně lišily. Všechny systémy splňovaly požadavky projektu, což znamenalo, že byly schopné poskytnout každou hodinu údaje o spotřebě elektrické energie, které byly na konci každého dne odečteny pomocí vzdálených systémů. Každý tento systém obsahoval jeden inteligentní elektroměr, který sloužil zároveň jako energetická brána sbírající údaje z digitálních plynoměrů a vodoměrů (multi utility communication). Zpravidla byly elektroměry instalovány do sklepů, a tak nebyl displej měřiče, v případě že uživatel nevyvinul další dodatečné úsilí, na první pohled patrný. Údaje o spotřebě elektrické energie byly ve smart meteru ukládány a jednou denně posílány po elektrické síti do koncentrátoru dat prostřednictvím úzkopásmového přenosu dat (narrow band power line communication). Koncentrátor dat shromažďoval údaje z několika měřičů a dvakrát denně je předával na datový server daného dodavatele elektrické energie. Aby byl zajištěn totožný systém zpětné vazby ve všech lokalitách, sestrojili naši techničtí partneři z firmy EVB Energy Solutions serverovou platformu, která hostila náš internetový portál a generovala z něj měsíční písemné zpětné vazby do PDF dokumentů. Tyto dokumenty pak byly rozesílány těm pilotním domácnostem v dané oblasti, které požádaly o tuto formu

poskytování zpětné vazby. Údaje o spotřebě elektrické energie byly dále předávány prostřednictvím automatického přenosu dat (automated data export) ze serveru daného dodavatele elektrické energie na serverovou platformu našeho projektu. Původně jsme zamýšleli spustit terénní průzkum začátkem dubna 2009, přičemž celá řada zvolených okrsků instalovala měřicí systém včas. Avšak v testovací fázi vyšlo najevo, že automatický přenos dat nebyl spolehlivý a že údaje potřebné pro zpětnou vazbu nebyly na internetovém portálu k dispozici tak, jak bylo zamýšleno. Také ne zcela všichni dodavatelé elektrické energie stihly nainstalovat elektroměry včas. A nakonec se ještě ukázalo, že v dubnu 2009 nemělo ještě velké množství domácností spolehlivý management měření, bezpečné snímání dat a řádnou datovou komunikaci. V důsledku toho se počátek terénního průzkumu lišil od lokality k lokalitě. Všichni účastníci z pilotní skupiny, kteří si k poskytování zpětné vazby zvolili internetový portál, obdrželi přihlašovací heslo a přístupové informace poštou. Účastníci, kteří si vybrali písemnou zpětnou vazbu prostřednictvím pošty, obdrželi první informace ihned po prvním měsíci průzkumu. Proto bylo možné očekávat dopady zpětné vazby teprve od druhého měsíce průzkumu dále.

### 3 Dostupnost dat a ekonometrické odhady

Dostupnost dat v socioekonomické rovině a informovanost o rozsahu vybavení domácností domácími spotřebiči poskytují komplexní údaje, které jsou pro vyhodnocování efektivity zpětné vazby naprosto jedinečné. Údaje socioekonomického a technického charakteru, které jsou využívány v ekonometrických posudcích a odhadech, byly do průzkumu zařazeny ihned po prvním dotazníku po započetí terénní fáze. Během terénního průzkumu se 38 domácností přestěhovalo, čímž tak bylo vyjmuty z následných rozborů. Údaje o celkové spotřebě elektrické energie všech domácností byly od počátku terénního průzkumu uchovávány v sekundární databázi. Tím je například možné spočítat energii spotřebovanou v jednom daném dni tak, že se jednoduše odečte celková spotřeba za jeden den od celkové spotřeby dne předchozího. Protože údaje zaznamenávané elektroměrem v daném okamžiku přesně odrážejí celkové množství elektrické energie spotřebované do této doby, lze pomocí interpolace snadno zrekonstruovat chybějící údaje vzniklé krátkodobou systémovou chybou. Konečné údaje obsahovaly data k 977 domácnostem v kontrolní skupině a 1114 domácnostem v pilotní skupině, z čehož obdrželo zpětnou vazbu prostřednictvím internetového portálu 533 domácností pilotní skupiny a písemnou prostřednictvím pošty 581 domácností.

Přestože nebylo ve všech lokalitách poskytování zpětné vazby započato ve stejnou dobu, dostávaly všechny domácnosti v pilotní skupině zpětnou vazbu déle než jeden rok. Jelikož nejsou údaje o spotřebě elektrické energie k dispozici v dostatečné kvalitě, nelze provést vyhodnocení účinků zpětné vazby na spotřebu elektrické energie podle modelu známého jako difference-in-difference approach jak navrhuje Glerup et al. (2010). Náš průzkum se naopak zakládá na informacích pocházejících z průřezových dat.

### 3.1 Závislá proměnná

Závislou proměnnou představuje v rámci ekonometrické analýzy roční spotřeba elektrické energie domácnosti.

### 3.2 Vysvětlující proměnné

Aby bylo možné určit vzorec pro spotřebu elektrické energie, dosadili jsme závislou proměnnou *elektřina* do množiny vysvětlujících proměnných jako jsou domácnost, rozsah vybavení domácími spotřebiči a trvalý pobyt. Proměnné, odrážející vlastnosti dané domácnosti, se vztahují na faktory jako příjem<sup>1</sup>, stupeň vzdělání<sup>2</sup>, počet osob v domácnosti podle šesti následujících věkových kategorií: 0-5, 6-17, 18-30, 31-45, 46-60, > 60; užitnou plochu z hlediska počtu pater a metrů čtverečních, což umožňuje výpočet lineárních a nelineárních vlivů obytné plochy na spotřebu elektrické energie; číselné proměnné udávají počet následujících elektrických spotřebičů v domácnosti: lednice, sušička, mraznička, myčka, elektrický ohříváč vody, počítač a televize. Dále jsme zahrnuli proměnnou, která eviduje dodatečné přístroje v domácnosti jakými jsou například mikrovlnná trouba, play stationy nebo kávovary. Umělé (dummy) proměnné nula-jedničkového typu byly použity pro zachycení určitých specifických vlivů dané lokality na spotřebu elektrické energie. Aby se zabránilo singularitě u matice regresorů, nebyla u kolonky Celle určena žádná dummy proměnná. Protože jsou ceny za elektrickou energii pro všechny domácnosti v dané lokalitě totožné, nebyly zahrnuty do regresivní analýzy. V neposlední řadě byla dummy proměnná „*smart*“ použita pro souhrn vlivů zpětné vazby získané ze smart meteringu. V případě, že domácnost dostává zpětnou vazbu prostřednictvím internetového portálu nebo pošty, má *smart* hodnotu 1. Hodnota *smart* se však nemění podle druhu informace. Všechny proměnné jsou postupně doplňovány do regresivní rovnice.<sup>3</sup> Údaje všech vysvětlujících proměnných byly dostupné celkem pro 1379 domácností.<sup>4</sup>

---

1 Příjem domácností byl rozdělen do třech skupin. Proměnná *příjem* byla znázorňována číslicemi 1, 2 a 3 podle měsíčního disponibilního příjmu (včetně platebních převodů) buď pod 1500 €, mezi 1500 € a 2500 € a nad 2500 €.

2 Umělá dummy proměnná udává dosažené vzdělání. V případě, že obsahuje číslo 1, jedná se o respondenta se středním či vyšším stupněm vzdělání. Nulu naopak obsahuje respondent se vzděláním nižším. Vyšším vzděláním máme na mysli maturitu a vyšší vzdělání (včetně titulů z vyšších odborných škol); středním stupněm pak ukončené střední vzdělání (10letá školní docházka).

3 Dodatečné analýzy (nezmiňované v této stati z důvodu úspory místa) nepodpořily domněnku, že existují rozdíly v účincích zpětné vazby podle různých typů analýz.

4 Například, více než 150 domácností nevedlo informaci o příjmu domácnosti. Abychom tak odhlédli od „nepřiměřené“ spotřeby elektrické energie, stanovili jsme roční spotřebu v rozpětí od 700 do 8000 kwh. Z čehož vyplynulo, že výsledky dvou pozorování tak nebyly zohledněny.

Tabulka 1 představuje deskriptivní statistiku proměnných, použitých v našich ekonometrických analýzách. Například, střední hodnota o velikosti 0.55 pro proměnnou *smart* znamená, že 55% vzorových domácností našeho výběru obdrželo zpětnou vazbu o spotřebě elektrické energie. Podobné je to u dalšího údaje, střední hodnota 0.17 u kolonky *věk 0-5* znamená, že ve vzorové domácnosti bylo průměrně 0.17 dětí ve věku 5 let nebo mladších. Sděluje rovněž, že téměř 80% vzorových domácností pochází z Lince.

**Tabulka 1: Deskriptivní statistika použitých proměnných**

Proměnná	Jednotka	Celkem				Pilotní skupina	Kontrolní skupina
		Obs. Mean	Standar d.odch.	Min.	Max.	Střední hodnota	Střední hodnota
Elektrická energie	kwh/rok	3.289	1.498	703	7.965	3.284	3.295
Smart	0/1 proměnná dummy	0.55	0.50	0.00	1.00	1.00	0.00
Věk 0-5	počet	0.17	0.46	0.00	3.00	0.14	0.20
Věk 6-17	počet	0.42	0.76	0.00	4.00	0.40	0.44
Věk 18-30	počet	0.37	0.64	0.00	4.00	0.35	0.40
Věk 31-45	počet	0.63	0.79	0.00	3.00	0.64	0.62
Věk 46-60	počet	0.55	0.76	0.00	3.00	0.53	0.57
Věk 61 a více	počet	0.37	0.70	0.00	3.00	0.41	0.32
Obytná plocha	m <sup>2</sup>	106	46.5	25	538	109	102
Příjem	1/2/3 proměnná dummy	2.16	0.79	1.00	3.00	2.16	2.15
Vzdělání	0/1 proměnná dummy	0.58	0.49	0.00	1.00	0.55	0.61
Lednice	počet	1.24	0.48	0.00	4.00	1.26	1.21
Sušička	počet	0.43	0.49	0.00	1.00	0.44	0.42
Mraznička	počet	0.73	0.57	0.00	3.00	0.76	0.70
Myčka	počet	0.85	0.39	0.00	2.00	0.88	0.82
El. ohřívač vody	počet	0.36	0.57	0.00	4.00	0.35	0.37
Televize	počet	0.88	0.80	0.00	5.00	0.90	0.85
Počítač	počet	1.26	0.93	0.00	5.00	1.29	1.23
Elektrické přístroje	počet	7.65	2.94	2.00	29.00	7.77	7.50
Hassfurt	0/1 proměnná dummy	0.06	0.23	0.00	1.00	0.05	0.06
Schwerte	0/1 proměnná dummy	0.02	0.14	0.00	1.00	0.02	0.02
Oelde	0/1 proměnná dummy	0.01	0.07	0.00	1.00	0.01	0.00
Ulm	0/1 proměnná dummy	0.01	0.12	0.00	1.00	0.00	0.03
Kaiserslautern	0/1 proměnná dummy	0.03	0.17	0.00	1.00	0.01	0.05
Münster	0/1 proměnná dummy	0.04	0.19	0.00	1.00	0.03	0.04
Krefeld	0/1 proměnná dummy	0.04	0.19	0.00	1.00	0.03	0.04
Celle	0/1 proměnná dummy	0.03	0.16	0.00	1.00	0.05	0.00
Linz	0/1 proměnná dummy	0.78	0.42	0.00	1.00	0.80	0.75

Hodnoty v tabulce 1 všeobecně dokazují, že domácnosti v kontrolní a pilotní skupině jsou velmi podobné, ale přesto existují malé rozdíly, například u věkového složení. Obecně lze říci, že různorodost sledovaných a nesledovaných domácností v pilotní a kontrolní skupině může vyplývat z odchýlených odhadů neznámých parametrů. Pomocí ekonometrických analýz jsme prověřovali tyto možné spolupůsobící výchyly u sebraných vzorků.

### 3.3 Výsledky

K provedení ekonometrických analýz jsme využili statistický software STATA 11. Aby bylo možné prověřit koncept nepozorované heterogenity, museli jsme nejprve určit vzájemné rozložení tzv. probitového modelu pomocí selekce v pilotní skupině a vzorec spotřeby elektrické energie prostřednictvím metod maximální věrohodnosti (např. Mills and Schleich, 2009)<sup>5</sup>. Výsledky však neobsahují žádnou odchylku sebraných vzorků pro nepozorovanou heterogenitu.<sup>6</sup> A proto je vzorec odhadu spotřeby elektrické energie prostřednictvím metody nejmenších čtverců (OLS) odpovídající (např. Imbens 2004). Tabulka 2 prezentuje odhady parametrů na základě principů OLS regrese včetně heteroskedasticity – robustních směrodatných chyb.<sup>7</sup>

---

5 Vysvětlující proměnné pro odhad probitové rovnice jsou uvedeny v tabulce 1.

6 Nepodařilo se nám vyvrátit hypotézu o nezávislosti vzorce u metody selekce a spotřeby ( $\chi^2(1) = 0.76$ , pravděpodobnost  $> \chi^2 = 0.3823$ ) zakládající se na Waldově testu.

7 Abychom mohli objasnit pozorovanou heterogenitu, museli jsme rovněž určit vzorec spotřeby elektrické energie a to pomocí *observation weights*. Přesněji řečeno, metoda *propensity score* k odstranění omylů vycházející z probitového modelu účasti v pilotní skupině byla využita k tomu, aby mohli být vytvořeny individuální *observation weights* (např. Price 2005, Mills a Schleich 2009). Výsledky jsou však téměř identické s naměřenými hodnotami uvedenými v tabulce 2. Z toho plyne, že proměnné, používané při odhadování spotřeby elektrické energie, slouží k adekvátnímu vyhodnocení pozorované heterogenity v domácnostech účastnících se projektu se zpětnou vazbou. Všechny zjištění a závěry, které nejsou uvedené v naší stati, je k dispozici na vyžádání.

**Tabulka 2:** Výsledky regresivní analýzy pomocí metody nejmenších čtverců v kWh/rok

	Odhady parametrů			Odhady parametrů	
	(robustní chyby)	směrodatné		(robustní chyby)	směrodatné
Smart	-125,40 (62,65)	**	Hassfurt	39,13 (249,50)	
Věk 0-5	165,68 (70,67)	**	Schwerte	354,54 (299,95)	
Věk 6-17	301,69 (53,09)	***	Oelde	253,89 (400,295)	
Věk 18-30	315,57 (63,17)	***	Ulm	-140,03 (292,63)	
Věk 31-45	447,22 (72,24)	***	Kaiserslautern	259,76 (272,43)	
Věk 46-60	474,56 (67,95)	***	Münster	-70,47 (256,09)	
Věk 61 a více	520,60 (66,57)	***	Krefeld	525,06 (280,91)	*
Obytná plocha	6,07 (0,93)	***	Linz	139,97 (217,07)	
Příjem	73,03 (46,34)		Konstanta	-213,74 (251,34)	***
Vzdělání	-115,12 (64,65)	*	R <sup>2</sup>	0,4666	
Lednice	252,32 (89,85)	***	Velikost vzorku	1379	
Sušička	478,67 (66,91)	***			
Mraznička	225,49 (60,09)	***			
Myčka	129,39 (90,41)				
El. ohřívač vody	281,53 (56,58)	***			
Televize	101,71 (42,33)	**			
Počítač	147,05 (43,19)	***			
Elektrické přístroje	68,32 (17,63)	***			

Poznámka:

\*\*\* signifikantní při hodnotě  $p=0.01$ ; \*\* signifikantní při hodnotě  $p=0,05$  a \* signifikantní při hodnotě  $p=0,1$  (v t-testu shod středních hodnot).

Korigovaná hodnota  $R_2 = 46.66\%$  udává, že model vykazuje celkem mnoho různých variant ve spotřebě elektrické energie.

Odhady parametrů u kolonky *smart* byly signifikantní při  $p=0.05$ . Bodový odhad určil, že zpětná vazba prováděná v rámci smart meteringu, vedla k úspoře elektrické energie okolo 125 kWh. To lze jednoduše přeložit do průměrné procentuální úspory okolo 3.7% celkové průměrné spotřeby elektrické energie v pilotní skupině domácností. Spotřeba elektrické energie jednoznačně závisela na počtu členů v domácnosti a to v každé věkové skupině a s věkem se měla tendenci zvyšovat. Větší obydlí souviselo s vyšší spotřebou elektrické energie o ca. 6 kWh ročně a dodatečnými m<sup>2</sup> obytné plochy. Vyšší vzdělání je spojené s nižší spotřebou elektrické energie ( $p=0.1$ ). Ve srovnání s tím je však příjem statisticky signifikantní při  $p=0.12$ . Zřejmě se zde z větší míry odráží vliv příjmu na velikosti obydlí a rozsahu vybavení domácími spotřebiči, což se následně projevuje i na spotřebě elektrické energie. Odhady parametrů u kolonky elektrické přístroje dokládají očekávaný pozitivní vývoj - jsou statisticky signifikantní při minimální hodnotě  $p=0.1$  (myčka při  $p=0.15$ ) a vykazují adekvátní hodnotu. Pouze samosprávní dummy proměnná u lokality Krefeld je statisticky signifikantní ( $p=0.1$ ).

#### 4 Závěr

Pro hodnocení vlivu zpětné vazby na stávající pilotní studii smart meteringu v osmi německých lokalitách byla pro ekonometrickou analýzu zvolena spotřeba elektrické energie v domácnostech. Výsledky naší průřezové analýzy dokazují skutečnost, že zpětná informace týkající se spotřeby elektrické energie vede k jejímu snížení o ca. 3.7%. To lze v roční úspoře elektrické energie přeložit jako úsporu o přibližné částce ca. € 30 pro průměrnou domácnost. Naše odhadované úspory elektrické energie se nacházejí na spodní hranici údajů, než jaké uvádí literatura (např. Darby 2006 nebo Ehrhardt-Martinez 2010), a přibližně ve stejné relaci jako stávající studie pro Dánsko (Gleerup et al. 2010)<sup>8</sup>. Nicméně je nutné poznamenat, že nám naše ekonometrická analýza neumožnila rozluštit účinky zpětné vazby na spotřebu elektrické energie a vyvodit z těchto účinků informace o prostředcích k úspoře elektrické energie. Kromě toho je při porovnávání výsledků napříč studii nutné brát v úvahu, že se nástroje sloužící ke zprostředkování zpětné vazby významně liší. Darby (2006) tvrdí, že nejefektivnější programy zprostředkovávající zpětnou vazbu obsahují tzv. přímé prostředky zpětné vazby jako je např. self-meter reading neboli samoodečítání dat, přímé zobrazení (výuka pomocí pozorování nebo čísel), interaktivní zpětná

---

<sup>8</sup> Zatímco naše kontrolní skupina obsahovala pouze domácnosti, které nedostávaly žádný druh možné zpětné vazby, měly domácnosti v kontrolní skupině ve studii Gleerupa et al. (2010) přístup na internetový portál. A pilotní skupina se u Gleerupa et al. (2010) skládala pouze z domácností, které dostávaly zpětné informace písemnou formou prostřednictvím pošty. Skutečnost, že by domácnosti přizpůsobovaly spotřebu elektrické energie v reakci na zpětnou vazbu z internetového portálu lze částečně vysvětlit relativně nízkým odhadem vlivu zpětné vazby, uváděnou ve studii Gleerupa et al. (2010).



vazba (např. prostřednictvím PC), vedlejší přístroje (např. alarm nebo blikající světlo v případě, že spotřeba elektrické energie překročí daný limit), energetické konzultace (prostřednictvím auditů) nebo časově závislé tarify.

Výsledky dále dokazují, že naše odhady nevykazují žádná zkreslení, která by vycházeli z nepozorované nebo pozorované heterogenity domácnosti v případě obdržení zpětné vazby o spotřebě elektrické energie. Přesto může vést použití tzv. metody difference-in-difference, založené na získání panelových dat, k rozdílným výsledkům, protože ekonometrie panelových dat umožňuje eliminaci rovněž nepozorovaných a časově pevně stanovených vlivů (např. Gleerup et al. 2010). Pomocí průřezové analýzy je možné dokázat, že tyto vlivy mohou působit na neznámé parametry včetně těch, které zachycují účinky zpětné vazby.

V naší modelové specifikaci, která obsahuje nejen obytnou plochu bytu ale i celou řadu dalších informací o rozsahu vybavení domácnosti domácími spotřebiči coby vysvětlující proměnné, bylo zjištěno, že příjem domácnosti neovlivňuje spotřebu elektrické energie. Z toho důvodu nevedla neúplnost či vynechání příjmu domácnosti ke zkreslení parametrů, pokud byl příjem domácnosti nahrazen vysvětlující proměnou.

Naše regresivní modely zprostředkovávají průměrné účinky napříč všemi domácnostmi. Budoucí výzkumné projekty mají možnost zkoumat, zda se reakce na zpětnou vazbu liší podle typu domácnosti. To znamená, že domácnosti mohou být více či méně vnímavé informacím o spotřebě elektrické energie a úsporným opatřením (van Dam et al. 2010), nebo že se možnosti ke snížení spotřeby elektrické energie liší od jedné domácnosti ke druhé. Především se však naše analýza vůbec nezaměřuje na rozdílnost pohnutek k ochraně životního prostředí, spotřebě či úspoře elektrické energie. Dále jsme nezaznamenali žádné doklady toho, zda byly naměřené úspory, docílené prostřednictvím zpětné vazby, zachovány i po ukončení našeho průzkumu. Cílem dalších výzkumných projektů by mohlo být zjištění dopadů zpětné vazby v dlouhodobější časové rovině. Na jednu stranu se můžeme domnívat, že dopad zpětné vazby by mohl vykazovat pouze krátkodobější účinky, protože se domácnosti postupně navrátí ke svým permanentním návykům. Van Dam et al. (2010) například zjistil, že počáteční úspory elektrické energie, pohybující se okolo 7.8%, nejsou v dlouhodobém ani střednědobém měřítku udržitelné již po pouhých 4 měsících. Nadruhou stranu je však možné, že pokud zpětná vazba povede k trvalé změně vžitých návyků, budou mít tyto návyky dlouhodobý vliv na spotřebu elektrické energie (Darby 2006). Trvalé účinky lze rovněž dosáhnout změnou investičního chování spotřebitelů na základě zpětné vazby (např. nákupem efektivnějších elektrických spotřebičů). Tímto způsobem se tak mohou tyto vlivy a socioekonomické proměnné opět vzájemně ovlivňovat. Bylo například zjištěno, že domácnosti s vyšším příjmem preferují spíše změnu investičního chování, než aby měnily své každodenní návyky (Poortinga et al. 2003). Další otázkou, kterou by se budoucí průzkumy mohly zabývat, je způsob zpracování zpětné vazby a informací v dané domácnosti. Tyto analýzy by mohly stanovit

souvislosti mezi četností zpětných vazeb popřípadě přihlášením na internetový portál a změnou chování. Nebo by rovněž mohlo být prozkoumáno, jak ovlivňuje zpětná vazba chování spotřebitele při sbírání a zpracovávání informací. Aby však mohl být posouzen celkový dopad smart meteringu na domácnosti, je třeba provést komplexní analýzu účinků zpětné vazby a v neposlední řadě také změny tarifních struktur na spotřebním modelu.

## 5 Reference

- Abrahamse, W.; Steg, L. (2005): A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology* 25, 273–291.
- Birzle-Harder, B; J. Deffner; Götz, K. (2008): Lust am Sparen oder totale Kontrolle? Akzeptanz von Stromverbrauchs-Feedback. Ergebnisse einer explorativen Studie zu Feedback-Systemen in vier Pilotgebieten im Rahmen des Projektes Intelliekon. ISOE, Frankfurt/Main.
- Darby, S. (2006): The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption. A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford.
- Darby, S. (2010): Smart metering: what potential for householder engagement? *Building Research & Information* 38 (5), 442–457.
- Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. A. and Laitner, J.P. (2010): Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities. Report No. E105. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C.
- Emery, F.; Trist, E. (1965): The causal texture of organizational environments. *Human Relations* 18, 21–32.
- Fischer, C. (2008): Feedback on household electricity consumption: A tool for saving energy? *Energy Efficiency* 1, 79104.

- Gleerup, M.; Larsen, A.; Leth-Petersen, S.; Togeby, M. (2010): The Effect of Feedback by Text Message (SMS) and Email on Household Electricity Consumption: Experimental Evidence. *The Energy Journal* 31 (3), 111–130.
- Gölz, S.; Götz, K. (2009): Smart Metering – a means to increase sustainable energy consumption? Socio-technical research and development on feedback-systems, paper presented at the 5th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL'09), Berlin, June 2009.
- Imbens, G.W. (2004): Non parametric estimation of treatment effects under exogeneity: a review. *Review of Economics and Statistics* 86,4–29.
- Kempton, W.; Layne, L., (1994): The consumer's energy analysis environment. *Energy Policy* 22 (10), 857–866.
- Matsukawa, I. (2004): The Effects of Information on Residential Demand for Electricity. *The Energy Journal* 25 (1), 1–17.
- Mills, B. and Schleich, J. (2009): Profits or Preferences? Assessing the Adoption of Residential Solar Thermal Technologies: *Energy Policy* 37, 4145-4154.
- Poortinga, W.; Steg, L.; Vlek, C.; Wiersma, G. (2003): Household preferences for energy-saving measures: A conjoint analysis, *Journal of Economic Psychology* 24, 49–64.
- Price, G. (2005): The causal effects of participating in the American economic association summer minority program. *Southern Economic Journal* 72,78–97.
- Statistisches Bundesamt (2010): *Statistisches Jahrbuch (Statistical Yearbook 2010) - Für die Bundesrepublik Deutschland*. Wiesbaden, Germany.
- van Dam, S. S.; Bakker, C. A.; van Hal, J. D. M. (2010): Home energy monitors: impact over the medium-term, *Building Research & Information* 38 (5), 458–469.

## **Poděkování**

Děkujeme účastníkům 34. mezinárodní energetické konference IAEE (34rd International Conference of the International Association for Energy Economists), konané 19.-23. června 2011 ve Stockholmu ve Švédsku, Stockholm, Sweden, a Letního studijního setkání Evropského výboru pro energeticky hospodárnou ekonomiku 2011 (2011 Summer Study of the European Council for Energy-Efficient Economy) konaného 6.-11. června 2011 v Presqu'île de Giens ve Francii, za získané poznatky. Obzvláště bychom chtěli poděkovat Bradu Millsovi za jeho užitečné poznámky a komentáře a Gillian Bowman-Köhler za vynikající korektury. Za finanční podporou stojí německé Federální ministerstvo pro vzdělávání a výzkum (BMBF) v programu socioekonomického výzkumu „Od znalostí k činům – nové cesty k dlouhodobě udržitelné spotřebě energie („Vom Wissen zum Handeln – Neue Wege zum nachhaltigen Konsum“) podle smlouvy 01 UV0804 (zkratka: Intelliekon).

## Autoři a příslušné instituce

Joachim Schleich  
Marian Klobasa  
Marc Brunner

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)  
Competence Center Energiepolitik und Energiesysteme

Sebastian Gölz

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE)

Konrad Götz  
Georg Sunderer

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)

Kontakt: Brigitte Kallfass

Fraunhofer Institute for Systems  
and Innovation Research (Fraunhofer ISI)  
Breslauer Strasse 48  
76139 Karlsruhe  
Deutschland

Tel.: +49 / 721 / 6809-150  
Fax: +49 / 721 / 6809-203  
E-Mail: [brigitte.kallfass@isi.fraunhofer.de](mailto:brigitte.kallfass@isi.fraunhofer.de)  
URL: [www.isi.fraunhofer.de](http://www.isi.fraunhofer.de)

Karlsruhe 2011