

Dette udvidet resumé er udgivet i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

<https://journals.aau.dk/index.php/td>

trafikdage
NY VIDEN & NETVÆRK

Forbrugerpræferencer for Vehicle-to-Grid opladning i Europa

Anders Fjendbo Jensen, Stefan Eriksen Mabit, Jeppe Rich

1 Baggrund og Formål

Transportsektoren gennemgår en markant omstilling mod elektrificering, hvilket har store miljømæssige og økonomiske konsekvenser. Teknologiske fremskridt har forbedret elbilers ydeevne, udvidet modeludvalget og øget opladningsmulighederne. Smart charging-systemer og køretøj-til-net (V2G)-teknologi gør det muligt for elbiler ikke kun at oplades fra nettet, men også at tilbagelevere strøm, hvilket kan stabilisere elnettet og reducere omkostninger samt miljøpåvirkning. Dog kan dette kræve reduceret fleksibilitet for elbilejere, og en bæredygtig implementering afhænger af attraktive forretningsmodeller og forbrugerincitamenter.

Forskningen i forbrugernes præferencer for smart opladning og V2G-løsninger er begrænset. Tidligere undersøgelser viser, at brugere kræver økonomisk kompensation for at afgive kontrol over opladningen, men at lavere emissioner kan reducere denne kompensationskrav. Desuden spiller tekniske udfordringer og manglende forståelse af opladningssystemet en væsentlig rolle som barrierer.

Denne undersøgelse har til formål at kvantificere individuelle præferencer for V2G-opladning i flere europæiske lande ved hjælp af stated preference-eksperimenter. Da V2G-produkter endnu ikke er kommercielt tilgængelige, giver denne metode en værdifuld indsigt i forbrugeradfærd på tværs af lande.

2 Anvendte metoder, analyser og fremgangsmåde

Vi undersøger, hvor villige individer er til at indgå en langsigtet aftale med en elnetudbyder og de faktorer, der påvirker deres kontrol over opladningsprocessen og mobilitetsfrihed. I et stated choice-eksperiment (se eksempel i Figur 1) bliver respondenterne bedt om at forestille sig, at de har mulighed for at indgå en kontrakt om vehicle-to-grid (V2G) opladning på deres primære opladningssted, som kan være hjemme, på arbejde eller ved offentlige ladestander. Kontrakten indebærer, at elbilen skal være tilsluttet elnettet i en vis periode, hvor flere variable definerer fleksibiliteten i aftalen. De undersøgte faktorer inkluderer bl.a. opladningsomkostninger, kompensation for at stille batterikapacitet til rådighed, varighed og hyppighed af tilslutning, samt garanteret rækkevidde under og efter V2G-perioden. Derudover vurderes, hvordan yderligere batterinedbrydning påvirker villigheden til at deltage.

Respondenterne vælger mellem seks forskellige alternativer i fire scenarier, hvor disse variable varierer. I hvert scenarie inkluderer valgmulighederne perioder om dagen, aftenen eller natten, og der tilbydes en kompensation for at stille batteriet til rådighed. Kompensationen tilpasses prisniveauet i

	Contract options						
V2G time period	Day (10-15)	Day (10-15)	Evening (17-22)	Evening (17-22)	Night (22-06)	Night (22-06)	
Cost							
Average charging cost (at main charging location)	①	4.39 DKK/kWh					
Vehicle-to-grid (V2G) characteristics							
Car should be plugged in	①	5 hours (between 10-15) 7 days out of 10	5 hours (between 10-15) 7 days out of 10	1 hours (between 17-22) 5 days out of 10	1 hours (between 17-22) 7 days out of 10	6 hours (between 22-06) 8 days out of 10	6 hours (between 22-06) 7 days out of 10
	①	469 DKK/month	375 DKK/month	750 DKK/month	500 DKK/month	312 DKK/month	125 DKK/month
Compensation		Provided as reduced electricity bill	Provided as reduced electricity bill	Provided as reduced electricity bill	Provided as reduced electricity bill	Provided as pay-out	Provided as reduced electricity bill
Guaranteed range - End of period: - During period:	①	100 km 62.5 km	125 km 37.5 km	125 km 37.5 km	150 km 37.5 km	200 km 100 km	100 km 25 km
Battery degradation per year (due to V2G)	①	1.5%	0%	1.5%	0.5%	0.5%	1%
Which of these would you prefer?		☐	☐	☐	☐	☐	☐

Figure 1: Eksempel på et valgscenarie

de seks deltagende lande: Danmark, Tyskland, Italien, Spanien, Tjekkiet og Irland. Valgmulighederne er designet på baggrund af data om bilpriser, driftsomkostninger og elpriser samt diskussioner med projektpartnere i de respektive lande.

Dataindsamlingen blev faciliteret gennem en online survey-platform, udviklet og testet i flere omgange for at sikre teknisk funktionalitet og spørgeskemaets klarhed. Valgekspperimentet blev placeret tidligt i spørgeskemaet for at minimere respondenttræthed. Efter eksperimentet blev der indsamlet information om respondenterne, herunder alder, køn og bilbrug. En professionel markedsanalyse-virksomhed stod for kodningen af undersøgelsen og rekrutterede deltagere fra de seks lande. Efter to pilotstudier i Danmark blev der indsamlet besvarelser fra 250 respondenter pr. land, hvor hver deltager gennemførte fire valgscenarier.

For at kvantificere præferencer anvendes diskrete valgmodeller, der antager en underliggende nytte-funktion for hver valgmulighed. Vi benytter mixed logit-modeller for at tage højde for panelstrukturen i data. Modellerne estimerer, hvordan forskellige kontraktbetingelser påvirker sandsynligheden for at vælge en given V2G-aftale. Der blev testet for interaktionseffekter af alder, køn og bopælsland, men uden højere ordens interaktioner. En særlig variabel blev inkluderet for at identificere respondenter, der ikke kan oplade hjemme, hvilket kan have betydning for deres præferencer.

For at vurdere respondenternes villighed til at betale (WTP) for specifikke kontraktbetingelser beregnes trade-offs mellem forskellige attributter, eksempelvis hvor meget compensation der kræves for at acceptere reduceret batterikapacitet. Undersøgelsen bidrager med en kvantitativ forståelse af, hvilke faktorer der er afgørende for forbrugernes villighed til at indgå V2G-aftaler på tværs af europæiske lande.

3 Resultater

Dataindsamlingen fandt sted mellem den 16. april 2024 og den 2. maj 2024 og en oversigt over respondenterne er vist i Tabel 1. Inden for hvert land er der en forholdsvis jævn kønsfordeling, og gennemsnitsalderen er mellem 44 og 50 år. Den gennemsnitlige indkomst er lavest i Tjekkiet og højest i Danmark og Irland.

I Tabel 2 ses antallet af respondenter i de forskellige lande og hvor ofte de indikerede de reelt ville vælge den præsenterede V2G løsning. En regressionsmodel for tilbøjeligheden til at acceptere en V2G-aftale er vist i Tabel 3 og denne model viser, at respondenter i Danmark, Tyskland og Irland er mindre tilbøjelige til at acceptere en V2G-aftale sammenlignet med dem i Tjekkiet, Spanien og Italien. Derudover er personer med adgang til at installere en privat oplader mere tilbøjelige til at acceptere en sådan aftale, mens personer, der kører bil dagligt eller kører mere end 16.000 km om året, også har

Table 1: Number of respondents and category shares

country	CZ	DK	DE	IR	IT	ES	Total
Respondents	275	284	276	275	277	278	1665
Can install a private charger	0.47	0.65	0.55	0.86	0.69	0.72	0.66
Gender is Female	0.48	0.50	0.49	0.49	0.50	0.48	0.49
Age 18-35 years	0.23	0.33	0.26	0.27	0.23	0.24	0.26
Age 36-48 years	0.31	0.17	0.21	0.40	0.27	0.32	0.28
Age 49-61 years	0.22	0.22	0.21	0.16	0.23	0.22	0.21
Age 62+ years	0.24	0.27	0.32	0.17	0.28	0.22	0.25
Education: Primary or secondary	0.66	0.45	0.41	0.16	0.38	0.24	0.38
Education: Higher non-university	0.07	0.26	0.26	0.21	0.30	0.24	0.22
Education: University (B.Sc.) or higher	0.27	0.29	0.32	0.63	0.32	0.51	0.39
Inc./Month < \$2,000	0.48	0.02	0.22	0.09	0.32	0.24	0.23
Inc./Month \$2,000-\$4,999	0.35	0.35	0.58	0.41	0.53	0.63	0.48
Inc./Month \$5,000-\$7,999	0.04	0.24	0.11	0.21	0.07	0.05	0.12
Inc./Month \$8,000+	0.04	0.15	0.05	0.24	0.03	0.06	0.09
Inc./Month "Do not know"	0.09	0.25	0.04	0.04	0.05	0.02	0.08
Main charging location: Home	0.48	0.74	0.59	0.68	0.51	0.61	0.60
Main charging location: Work	0.14	0.12	0.19	0.18	0.23	0.26	0.19
Residential situation includes children	0.42	0.32	0.29	0.55	0.48	0.57	0.44
Primary occupation is home-based	0.31	0.28	0.38	0.19	0.35	0.32	0.30
Primary occupation is self-employed	0.08	0.04	0.05	0.10	0.15	0.06	0.08
Number of cars in Household	1.35	1.50	1.32	1.41	1.47	1.42	1.41
Resp. drive more than 16,000km per year	0.26	0.34	0.16	0.14	0.28	0.31	0.25
Resp. use a car daily	0.44	0.50	0.46	0.60	0.58	0.59	0.53
Resp. use a car a few times per month or less	0.13	0.12	0.07	0.03	0.08	0.07	0.08

Table 2: Acceptance Rates by Country

	Acceptance Rate	Total Observations
Czech Republic	85.73%	1100
Denmark	53.87%	1136
Germany	65.31%	1104
Ireland	82.27%	1100
Italy	86.37%	1108
Spain	88.49%	1112
Total	76.91%	6660

en højere tilbøjelighed til at indgå en V2G-aftale.

I Tabel 4 præsenterer vi resultaterne fra vores modelestimeringer baseret på et datasæt med valg fra 6.016 observationer fordelt på 1.504 respondenter på tværs af lande. Som i V2G-acceptmodellen testede vi interaktionseffekter mellem alle kategorier af de tilgængelige variable. Vi brugte dummykodning til at angive, om en respondent tilhører en bestemt gruppe eller et bestemt land. Højereordens interaktioner, som forskelle mellem kvinders valg på tværs af lande, blev ikke testet for at undgå over-specifikation.

Modelresultaterne fremgår af tabel 4. Vi finder, at en højere månedlig compensation øger sandsynligheden for at vælge en V2G-kontrakt, hvilket er forventeligt, da kontrakten kan begrænse bilens daglige anvendelse. Der er en tendens til, at højere indkomst øger behovet for compensation med ca. 10 eurocent pr. 1.000 euro indkomststigning, men denne interaktion var ikke signifikant i den endelige model.

For hver alternativ-specifik konstant og de resterende attributter præsenterer vi en referenceparameter og en interaktionsparameter, hvor det var relevant. Vi beregner også den nødvendige compensation pr. enhed af attributten, som er givet ved parameteren divideret med parameteren for compensation ved gennemsnitsindkomst. Interaktionseffekterne repræsenterer forskellen i kompensationsbehov fra referencegruppen.

Table 3: Regressionsmodel for accept af den valgte V2G løsning

Parameter	Value	T-Statistic
ASC_1	4.80	7.85
STD_ASC_1	5.09	16.10
beta_Denmark	-6.16	-10.35
beta_Germany	-4.28	-8.05
beta_Ireland	-2.62	-4.32
beta_House	2.03	4.79
beta_MainChWork	1.05	1.95
beta_car_Daily	0.91	2.38
beta_car_dist	1.05	2.24
beta_inc_2	1.35	2.70
beta_inc_3	1.42	2.00
beta_inc_4	2.49	3.28
beta_inc_99	-0.63	-0.79
beta_numcars	-0.97	-3.22
Log-Likelihood		-1845.94
Number of Parameters		14
Sample size		1504
Init log likelihood		-1853.61
Rho-square for the null model		0.56
Rho-square-bar for the null model		0.55
Rho-square for the init. model		0.00
Number of respondents		1504

For referencegruppen er V2G-ladning om dagen mindre foretrukket end om natten og en bruger kræver således 109 Euro mere i kompensation for at indgå en kontrakt hvor bilen stilles til rådighed om dagen. Den største modstand mod dagladning findes blandt dem, der primært oplader hjemme og dem, der kører over 16.000 km årligt. Derimod foretrækker de, der oplader på arbejdspladsen, i højere grad dagladning. Dette valg er også mere udbredt i Tyskland, blandt personer med høj indkomst og hjemmearbejdende.

For V2G-ladning om aftenen ser vi samme mønster som for dagladning. De, der primært oplader på arbejdspladsen, kræver mindre kompensation. Denne periode er også foretrukket af personer, der kan installere en privat oplader, selvstændige og dem med højest uddannelsesniveau. Til gengæld kræver respondenter fra Spanien og husholdninger med flere biler højere kompensation.

Behovet for en garanteret køreradius under V2G-perioden var kun signifikant for daglige bilbrugere, dog på et lavt signifikansniveau (10%). En garanteret køreradius efter V2G-perioden er dog vigtig for alle segmenter. For referencegruppen reduceres kompensationsbehovet med 0,48 euro pr. ekstra km garanteret køreradius. Denne attribut er vigtigst for selvstændige og ældre respondenter, mens den er mindst vigtig for dem, der primært oplader hjemme, lavindkomstgrupper samt respondenter fra Irland og Spanien.

V2G-kontrakterne varierede også med hensyn til V2G-periodens daglige varighed. For referencegruppen kræves ca. 18 euro ekstra kompensation pr. ekstra V2G-time, mens unge kræver 7,5 euro mere. Personer i Tjekkiet, Tyskland og dem med privat opladningsmulighed kræver mindre kompensation. Forbindelse til elnettet i en ekstra dag ud af en 10-dages periode vurderes til 4,34 euro.

Endelig finder vi, at danskere vurderer batterinedbrydning mest kritisk og kræver 24 euro ekstra i månedlig kompensation pr. procent nedbrydning sammenlignet med referencegruppen. Svagere interaktionseffekter antyder, at kvinder, daglige bilbrugere og respondenter i den højeste indkomstgruppe kræver mindre kompensation for batterinedbrydning.

Table 4: Mixed Logit model for valg af V2G løsning samt beregnede WTP værdier

Group	Interaction Term	Value	Rob. t-test	WTP	Unit
Monthly compensation	Reference	0.68	4.07	-	Euro/Month
	no income	-0.21	-0.50	0.31	Euro/Month
	higher income	0.00	1.54	-0.00	Euro/Month/Euro
ASC for daytime V2G	Reference	-0.74	-2.79	109.21	-
	Germany	0.82	2.91	-121.14	-
	MainChHome	-1.14	-4.22	168.18	-
	MainChWork	0.99	2.94	-146.63	-
	car_Rarely	-0.56	-1.48	82.10	-
	car_dist	-0.65	-2.55	96.69	-
	inc.4	0.69	1.74	-101.86	-
	inc.99	-0.27	-0.71	39.60	-
	occ_home	0.44	1.85	-65.50	-
ASC for evening V2G	Reference	-0.56	-2.15	83.42	-
	House	0.50	2.52	-74.53	-
	MainChWork	0.61	2.40	-90.01	-
	Spain	-0.47	-1.92	70.12	-
	edu_3	0.36	1.94	-53.59	-
	numcars	-0.33	-2.15	48.82	-
	occ_self	0.45	1.38	-66.58	-
Guaranteed range during V2G period	Reference	0.07	0.85	-0.11	km
	car_Daily	0.19	1.67	-0.29	km
Guaranteed range after V2G period	Reference	0.33	4.15	-0.48	km
	Germany	0.23	2.30	-0.34	km
	Ireland	-0.22	-2.17	0.32	km
	Spain	-0.14	-1.51	0.21	km
	MainChHome	-0.16	-2.24	0.24	km
	age_3	0.26	3.05	-0.39	km
	age_4	0.16	1.93	-0.24	km
	inc.1	-0.19	-2.28		
	inc.99	0.05	0.36	-0.07	km
	occ_self	0.40	3.18	-0.59	km
Additional battery degradation	Reference	-0.31	-6.41	46.29	Percentage
	Denmark	-0.16	-2.35	24.06	Percentage
	Female	0.08	1.55	-12.00	Percentage
	car_Daily	0.10	1.92	-14.87	Percentage
	inc.4	0.15	1.71	-21.86	Percentage
	inc.99	0.04	0.38	-6.04	Percentage
Daily V2G duration	Reference	-0.12	-5.76	17.72	Hours
	Czech	0.07	2.42	-9.68	Hours
	Germany	0.05	1.87	-7.72	Hours
	House	0.05	2.33	-7.43	Hours
	age_1	-0.05	-2.20	7.48	Hours
	car_dist	0.08	3.60	-11.29	Hours
Days the car has to be plugged in	Reference	-0.29	-2.33	4.34	Days
Model Statistics	Number of parameters			46	
	LogLikelihood			-9129.55	
	Sample			1504	
	LL NULL			-10779.23	
	LL Init			-9161.82	
	LR NULL			3299.35	
	Rho Square NULL			0.15	
	Rho Square Bar Null			0.15	
	Rho Square Bar Init			0.00	
	Sample Size			1504	