

Energieffektivitet: Eldrevet bus vs. elbil

NOTAT

ADRESSE COWI A/S
 Parallevej 2
 2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Formål	1
2	Energiforbrug i en elbus	1
3	Energiforbrug i en elbil	3
4	Figurer til præsentation	5

1 Formål

Energiforbrug pr. personkm

I det følgende ser vi nærmere på energiforbruget pr. personkm i elbiler og eldrevne busser. Vi belyser og illustrerer, hvor mange passagerer, der skal være med bussen for at den er mest effektiv ud fra et energimæssigt perspektiv.

Energiforbruget i en bil og en bus afhænger af en lang række forhold, herunder lasten – altså antallet af passagerer. Vægten af passagererne i en fyldt bus udgør procentvist mere af bussens samlede vægt end vægten af 4-5 personer gør i en typisk personbil. Men da bussen har plads til langt flere rejsende, er det hypotesen, at bussen ender med at være mere energivenlig end bilen, når passagererne når et vist antal.

2 Energiforbrug i en elbus

Oplysninger om energiforbruget i eldrevne busser uden passagerer viser for samme typer af busser et spænd mellem forskellige mærker og modeller¹.

¹ F.eks. opgives forbruget i en Yutong 12 meter bybus til ca. 1,1 kWh/km (<https://www.sustainable-bus.com/news/roskilde-danish-city-switching-to-full-electric->

PROJEKTNR.

DOKUMENTNR.

A132936

4

VERSION

UDGIVELSESDATO

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

KONTROLLERET

GODKENDT

3

21. januar 2020

Delopgave 4

CANG

OLEK

CANG

Herudover bestemmes energiforbruget af en lang række faktorer, som bl.a. omfatter hastighed, acceleration, stoppestedsmønster, passagerbelastning, temperatur, topografiske forhold, komfortelementer og kørestil.

Kilder

Der findes ikke mange undersøgelser, der med en videnskabelig tilgang har belyst spørgsmålet om brændstofforbruget i en eldrevet bus ved forskellige passagerbelastninger. Vi har taget afsæt i en ret nylig analyse fra september 2018, hvor energiforbruget i blandt andre en 12 m 2-akslet plugin hybridelektrisk bus (Volvo) er blevet simuleret ved belastningsgrader på 20/40/60/80/100 %².

I simuleringerne er der udover passagerbelastningen taget hensyn til forskellige ruter og kørecykluser og til effekten af forskellige topografiske udfordringer på en given, eksisterende BRT-rute.

Den analyserede bus er en hybridbus, der i perioder kører på diesel. Det betyder, at vi ikke umiddelbart kan anvende det opgjorte, specifikke energiforbrug fra analyserne. Vi benytter alene resultaterne til at estimere et realistisk bud på betydningen af stigende passagerbelastning. De fundne resultater fra simuleringen er vist i Tabel 1.

Tabel 1 Simulering: Energiforbrug for en plugin-hybridbus (Volvo) på 12 m og med samlet passagerkapacitet på 96 Pax. For baggrundsdata se henvisningen i fodnote 1.

Andel af passagerer	Antal passagerer	Energiforbrug: Simulering af 12 m Plugin-hybridbus fra Volvo				
		MJ/km	MJ/Pax/km	% -vis ændring ved stigende passagerbelastning	kWh/km	kWh/Pax/km
0 %	0	3,99	-	-	1,11	-
20 %	19	4,38	0,228	+ 9,8%	1,22	0,063
40 %	38	4,76	0,124	+ 19,3%	1,32	0,034
60 %	58	5,08	0,088	+ 27,3%	1,41	0,024
80 %	77	5,37	0,07	+ 34,6%	1,49	0,019
100 %	96	5,57	0,058	+ 39,6%	1,55	0,016

public-transport/), mens forbruget for en tilsvarende Mercedes bus ligger opgives til ca. 1,6 kWh/km (<https://www.heise.de/newsticker/meldung/eCitaro-Daimlers-Elektrobus-soll-150-Kilometer-weit-reichen-4107884.html>)

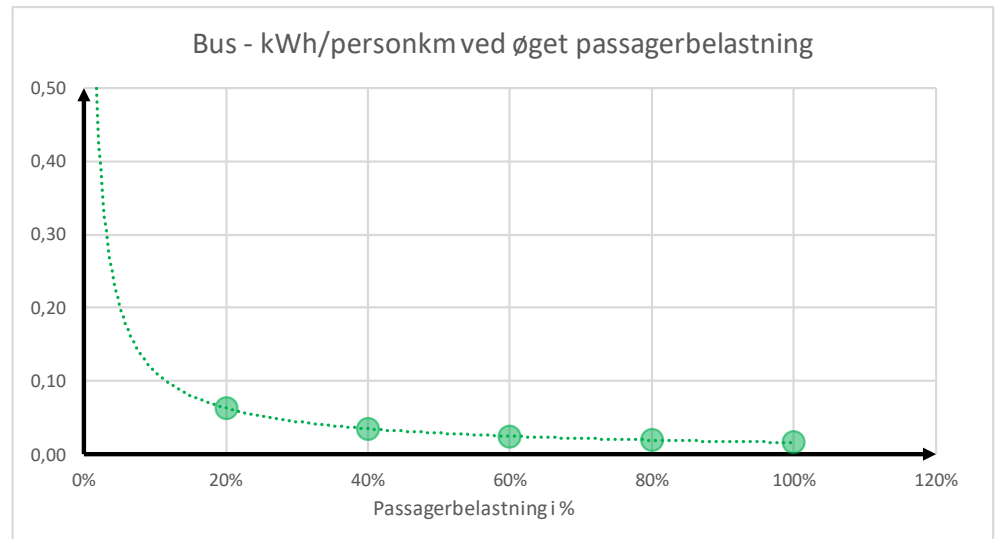
² 'The influence of passenger load, driving cycle, fuel price and different types of buses on the cost of transport service in the BRT system in Curitiba, Brazil', sept. 2018, Dennis Dreier, Semida Silveira, Dilip Khatiwada, Keiko V. O. Fonseca, Rafael Nieweglowski, Renan Schepanski, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11116-018-9925-0>.

Resultater

I Movia er erfaringen, at en eldrevet bus bruger ca. 1,3 kWh/km som et gennemsnit af mærker og modeller. Det anvender vi som et udgangspunkt for beregningerne. Når vi efterfølgende indregner de forventede effekter af øget vægt som følge af flere rejsende, får vi forbrugstallene for en elbus, se Tabel 2 og Figur 1.

Tabel 2 Energiforbrug for en elbus med et gennemsnitligt energiforbrug på 1,3 kWh/km i udgangspunktet, som oplyst af Movia. Der er taget afsæt i en eldrevet bybus på 12 m med en samlet passagerkapacitet på 96 Pax

Andel af passagerer	Antal passagerer	Energiforbrug	
		kWh/km	kWh/Pax/km
0 %	0	1,30	-
20 %	19	1,43	0,074
40 %	38	1,55	0,040
60 %	58	1,66	0,029
80 %	77	1,75	0,023
100 %	96	1,81	0,019



Figur 1 Energiforbrug pr. personkm for en elbus ved øget passagerbelastning

3 Energiforbrug i en elbil

Kilder

Vi har screenet for videnskabelige undersøgelser, der kan belyse energiforbruget ved varierende belastning i typiske elbiler. Der findes mange opgørelser over energiforbruget for forskellige bilmodeller, både fra producenterne selv og især fra private brugere. Men ingen umiddelbart tilgængelige tal på nettet, der angiver energiforbruget ved varierende passagerbelastning. De fleste officielle

opgørelser er kombinationstal for energiforbruget ved kørsel i byer og udenfor byer, eller energiforbruget opgjort ved specifikke hastigheder.

ADAC har den 3. Januar 2020 offentliggjort "*Aktuelle Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch*"³, hvor energiforbruget testes i en lang række populære og aktuelle elbilmodeller. Testen viser, at energiforbruget varierer fra ca. 14,7 kWh/100 km for Hyundai Ioniq Elektro Style til 27,6 kWh/100 km for Jaguar i-Pace EV400 S AWD. Og testresultaterne viser endvidere, at det reelle strømforbrug – ligesom vi har set med fossile biler – er 20-30% højere end opgivelserne fra producenterne.

Vi anvender de fundne testresultater hos ADAC til at beregne forbruget pr. passager som et spænd mellem opgivelserne for den mest sparsommelige og den mindst sparsommelige bil i testen.

Herudover viser en anden tysk udredning, at betydningen af øget vægt i form af flere passager i en bil især handler om, at bilens rullemodstand ændres, når vægten ændres⁴. Undersøgelsen dokumenterer, at det er andre faktorer som kørestil, accelerationer og hastighed, der primært betyder noget for det faktiske energiforbrug.

Men alt andet lige vil energiforbruget stige, når bilens samlede vægt øges. I mangel af bedre har vi lagt til grund, at effekten af bussers energiforbrug ved øget belastning også kan anvendes for biler. Men for at være forsigtige, har vi kun indregnet halvdelen af den effekt, som er set i busser.

Resultater

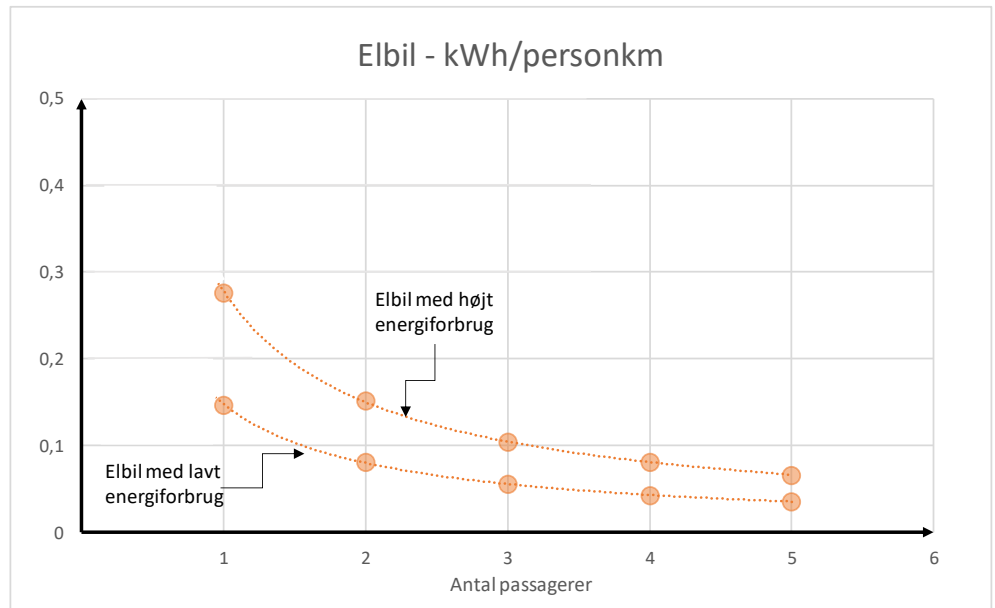
Resultaterne er vist i Tabel 3 og illustreret i Figur 2.

Tabel 3 *Energiforbrug for en elbil med lavt hhv. højt energiforbrug. Udgangspunkt er en Hyundai Ionic og en Jaguar I-pace. Data bearbejdet fra ADAC*

Andel af passagerer	Antal passagerer	Elbil med lavt energiforbrug		Elbil med højt energiforbrug	
		kWh/km	kWh/Pax/km	kWh/km	kWh/Pax/km
0 %	0	-	-	-	-
20 %	1	0,15	0,147	0,28	0,276
40 %	2	0,16	0,081	0,30	0,151
60 %	3	0,17	0,056	0,31	0,105
80 %	4	0,17	0,043	0,32	0,081
100 %	5	0,18	0,035	0,33	0,066

³ <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

⁴ <http://www.elektronikinfo.de/diverses/kraftstoffverbrauch.htm>, senest opdateret 28. januar 2018



Figur 2 Energiforbruget illustreret for en elbil med lavt hhv. højt energiforbrug. Der er taget udgangspunkt i en Hyundai Ionic og en Jaguar I-pace. Data bearbejdet fra ADAC. Antal passagerer er inkl. føreren

Som det ses, er spændet i energiforbrug mellem den sparsomme elbil og den mindre sparsomme elbil større end for bussen.

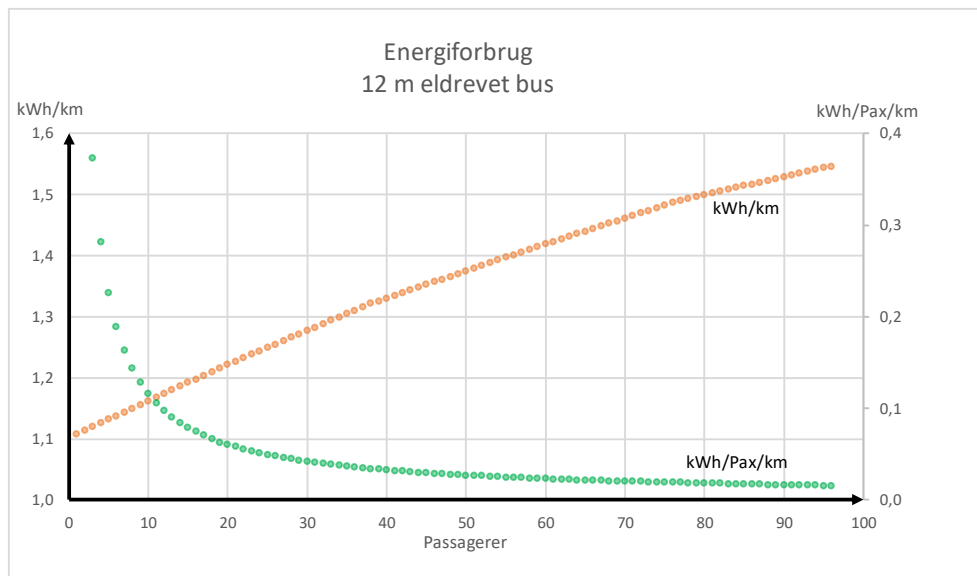
Hvis der er 5 personer i en elbil, er det gennemsnitlige elforbrug pr. passager ca. 0,05 kWh/km. Det svarer til, at der skal mere end 25 passagerer i en elbus, for at bussen er et bedre alternativ.

Den gennemsnitlige belægningsgrad i danske personbiler er dog kun ca. 1,3⁵, svarende til et energiforbrug pr. passager på mellem ca. 0,13 – 0,23 kWh/km. Og så skal findes break-even punktet omkring 5-9 passager i bussen.

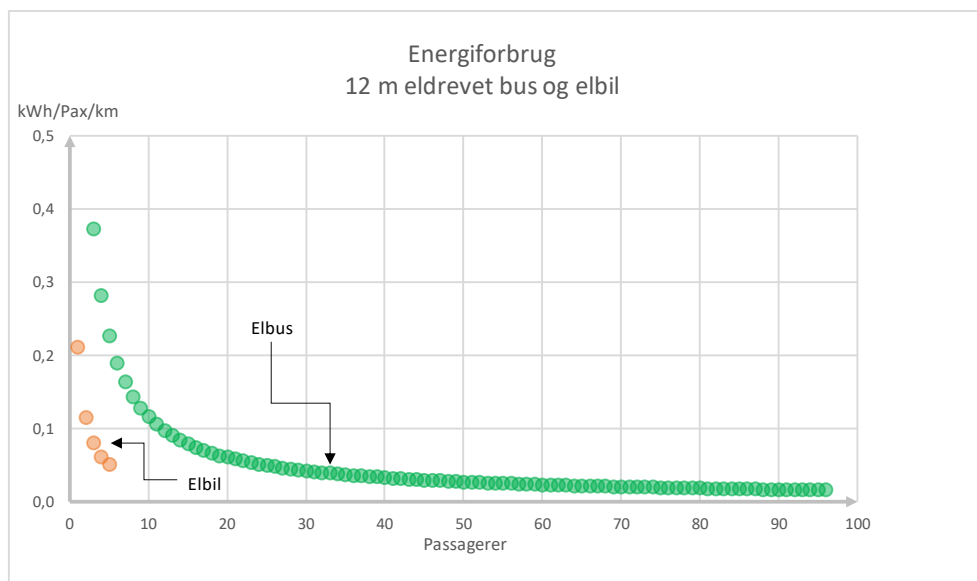
4 Figurer til præsentation

Udover de foregående figurer, foreslår vi følgende figurer til en præsentation:

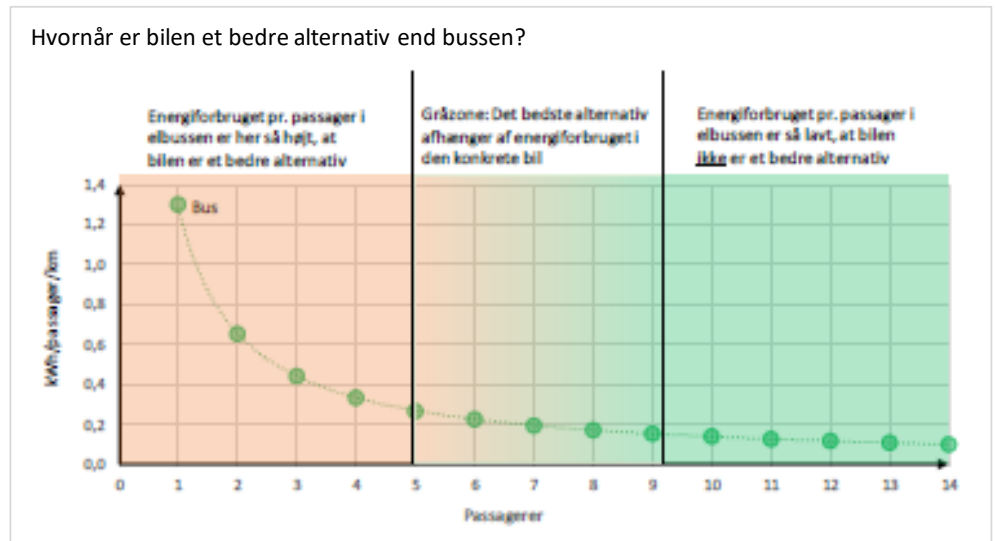
⁵ Det gennemsnitlige antal passagerer per bil i myldretiderne er ifølge DTU endnu lavere, ca. 1,05 passager. DTU Transport: Transportvaneundersøgelsen - Faktaark om antal personer per køretøj, maj 2015, TU0614v1



Figur 3 *Energiforbrug for en elbus afhængigt af passagerbelastning. Fra de tidligere omtalte simuleringer er energiforbruget opgjort ved en passagerbelastning på 20/40/60/80/100%. Passagerbelastningen har vi efterfølgende omregnet til antal passagerer, og dernæst har vi lavet lineær interpolation for energiforbruget for passagertal, der ligger i spændet fra 0-20 %, fra 20-40 % osv.*



Figur 4 *Energiforbruget for elbussen: Se figurtekst til Figur 3.*



Figur 5 Det er her antaget, at der sidder 1,3 person i personbilen. For energiforbruget for elbusser se figurtekst til Figur 3