

Analyse af elbilers forbrug for perioden 2012-2013

Daisy, Institut for Datalogi

Aalborg Universitet

Teknisk rapport

Oktober 2014

Dokument titel:	Analyse af elbilers forbrug for perioden 2012-2013
Bevillingsmyndighed	Energistyrelsen
Version:	1.0
Publiceringsdato:	31. oktober 2014
Type af dokument:	Rapport
Synlighed:	Offentlig
Forfattere:	Ove Andersen, Benjamin B. Krogh, Kristian Torp
Ansvarlig for rapport	Kristian Torp torp@cs.aau.dk
Organisation	Daisy, Institut for Datalogi, Aalborg Universitet

Resumé

Denne rapport analyserer på energiforbruget for kørsel med elbil. Analyserne er baseret på godt 216 millioner GPS og CAN bus målinger opsamlet fra 176 elbiler (Citroen C-Zero, Mitsubishi iMiev og Peugeot Ion) i kalenderårene 2012 og 2013. Rapporten er en udvidelse af en lignende rapport baseret udelukkende på 2012 data. Den nye rapport er udvidet med undersøgelser på flere strækninger, undersøgelse af effekten af årstiderne og en sammenligning af to forskellige værdier til at beregne elbilers forbrug (kaldet *SoC* og *EVPower*).

Brugen af elbiler er sammenlignet med brændstofbiler og konklusionen er, at elbiler generelt kører 10-15 *km/t* langsommere på motorveje end brændstofbiler. Dette er baseret på kørsel på 96 % af motorvejsnettet. I byerne kører elbilerne og brændstofbiler med meget ens hastigheder, men generelt er elbiler lidt hurtigere end brændstofbilerne. Dette er baseret på 6 % af vejnettet, hovedsagligt i de større danske byer: Aalborg, Aarhus, Esbjerg, Kolding, København, Næstved, Odense, Sønderborg og Vejle.

Længden af ture kørt med elbil er sammenlignet med brændstofbiler og ture i elbiler er generelt kortere end ture med brændstofbiler. Der er ingen betydelige variation i længden af ture med årstiden. Generelt køres der under 100 *km/døgnet* i en elbil, dog har en elbil kørt 739 *km* på et døgn.

Detailanalysen af 16 udvalgte strækninger viser klart, at elbilers forbrug varierer kraftigt henover året. Denne variation findes på motorveje, landeveje og byveje. Herudover er der store lokale udsving i energiforbruget f.eks. pga. bakker, hvor forbruget på en strækning kan være 3 gange højere ved kørsel op ad bakke end ved kørsel ned ad bakke.

Summary

This report is an analysis of the energy consumption of electrical vehicles (EVs). The analysis is based on approximately 216 million GPS and CAN bus measurements from 176 EVs (Citroen C-Zero, Mitsubishi iMiev and Peugeot Ion). All data is collected in 2012 and 2013. The report is an extension of a previous report based only on the 2012 data. The current report is extended with analysis on more road stretches, analysis of the impact of the seasons, and a comparison of two different set of values to compute the energy consumption (named *SoC* and *EVPower*).

The driving speed of EVs is compared to the driving speed of vehicles with combustion engines. The conclusion is that EVs drive with 10–15 *km/h* lower speed than combustion-engine vehicles on motorways. In cities, EVs are generally slightly faster than combustion-engine vehicles.

The length of trips driven in EVs is compared to the length of trips from combustion-engine vehicles. Overall the trips with EVs are shorter. There is limited variation in the trips length over the year. Generally, an EV drives less than 100 *km/day*, however, the maximum length driven is 739 *km/day*.

A detailed analysis of the energy consumption on 16 road stretches leads to the conclusion that the range of EVs varies significantly over the year. In addition, the energy consumption is highly effected by how hilly a road stretch is.

Indholdsfortegnelse

Resumé	3
Summary.....	3
Termer	9
1. Introduktion.....	10
2. Datagrundlag	11
2.1. GPS og CAN bus data	11
2.2. Læsning af datafiler	11
2.3. Digitalt kort.....	11
2.4. Opsummering af datagrundlag.....	12
3. Metode	13
3.1. Rensning af GPS data.....	13
3.2. Rensning af CAN bus data.....	15
4. Resultater	17
4.1. Data fordeling over perioden	17
4.2. Dækningsgrad af GPS/CAN bus data	18
4.3. Fordelingen af længden af ture	20
4.4. Energiforbrug pr. tur.....	23
4.5. Hastigheder	27
4.6. Kørte kilometer pr. dag og antal ture pr. dag.....	28
4.7. Strækingsanalyser	31
4.7.1. Esbjerg – Varde.....	33
4.7.2. Esbjerg by	34
4.7.3. Høvejen.....	35
4.7.4. Karrebæk/Næstved	36
4.7.5. Køge Bugt Motorvejen.....	37
4.7.6. Langeskov	38
4.7.7. Limfjordstunnelen	39
4.7.8. Ny Nibevej.....	40
4.7.9. Næstved by.....	41
4.7.10. Næstved/Køgevej	42
4.7.11. Odense/Otterup	43

4.7.12.	Storebæltsbroen.....	44
4.7.13.	Sønderborg.....	45
4.7.14.	Universitetsboulevarden	46
4.7.15.	Varde by.....	47
4.7.16.	Vestmotorvejen	48
4.8.	Korrelationsanalyser af <i>SoC</i> og <i>EVPower</i>	49
4.8.1.	Forbrug over perioder	49
4.8.2.	Sammenligning af ture	50
4.8.3.	Sammenligning af <i>SoC</i> og <i>EVPower</i> vha. strækingsanalyser	53
5.	Diskussion	57
5.1.	Datagrundlaget.....	57
5.2.	Brugen af elbiler	57
5.3.	Elbilers forbrug	58
5.3.1.	Motorvejskørsel.....	58
5.3.2.	Mindre veje.....	59
5.3.3.	Byveje	59
5.4.	Sammenligning af <i>SoC</i> med <i>EVPower</i>	60
6.	Konklusion	62
	Litteraturliste.....	63

Liste af figurer

Figur 1 GPS og CAN bus målinger modtaget pr. måned for 2012 og 2013.	17
Figur 2 Antal aktive køretøjer pr. måned for 2012 og 2013.	18
Figur 3 Dækning med GPS/CAN bus data i 2012.	19
Figur 4 Dækning med GPS/CAN bus data i 2012 og 2013.	19
Figur 5 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler over hele året.	20
Figur 6 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om vinteren.	21
Figur 7 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om foråret.	21
Figur 8 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om sommeren.	22
Figur 9 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om efteråret.	22
Figur 10 Kumulativ fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler for 2012-2013.	23
Figur 11 Total kWh forbrug pr. tur.	23
Figur 12 Total kWh forbrug pr. tur, fordelt på årstider.	24
Figur 13 Akkumulativ fordeling af kWh pr. tur fordelt på årstider.	24
Figur 14 Gennemsnitlig turlængde ift. kWh forbrug over årstiderne	25
Figur 15 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for vinter.	25
Figur 16 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for forår.	26
Figur 17 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for sommer.	26
Figur 18 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for efterår.	27
Figur 19 Sammenligning af hastigheder for el- og brændstofbiler på motorveje for 2012-2013.	28
Figur 20 Sammenligning af hastigheder for el- og brændstofbiler på byveje for 2012-2013.	28
Figur 21 Antal kørte kilometer pr. køredag, 0-150 km.	29
Figur 22 Antal kørte kilometer pr. køredag, 150-750 km.	29
Figur 23 Antal ture pr. køredag.	30
Figur 24 Esbjerg-Varde antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	33
Figur 25 Esbjerg-Varde forbrug henover året for 2012 og 2013.	33
Figur 26 Esbjerg by antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	34
Figur 27 Esbjerg by forbrug henover året for 2012 og 2013.	34
Figur 28 Høvejen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	35
Figur 29 Høvejen forbrug henover året for 2012 og 2013.	35
Figur 30 Karrebæk/Næstved antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	36
Figur 31 Karrebæk/Næstved forbrug henover året for 2012 og 2013.	36
Figur 32 Køge Bugt Motorvejen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	37
Figur 33 Køge Bugt Motorvejen forbrug henover året for 2012 og 2013.	37
Figur 34 Langeskov antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	38
Figur 35 Langeskov forbrug henover året for 2012 og 2013.	38
Figur 36 Limfjordstunnelen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	39
Figur 37 Limfjordstunnelen forbrug henover året for 2012 og 2013.	39
Figur 38 Ny Nibevej antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	40
Figur 39 Ny Nibevej forbrug henover året for 2012 og 2013.	40
Figur 40 Næstved by antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	41
Figur 41 Næstved by forbrug henover året for 2012 og 2013.	41
Figur 42 Næstved/Køgevej antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	42

Figur 43 Næstved/Køgevej forbrug henover året for 2012 og 2013.....	42
Figur 44 Odense/Otterup antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	43
Figur 45 Odense/Otterup forbrug henover året for 2012 og 2013.	43
Figur 46 Storebæltsbroen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.....	44
Figur 47 Storebæltsbroen forbrug henover året for 2012 og 2013.	44
Figur 48 Sønderborg antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	45
Figur 49 Sønderborg forbrug henover året for 2012 og 2013.....	45
Figur 50 Universitetsboulevarden antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	46
Figur 51 Universitetsboulevarden forbrug henover året for 2012 og 2013.....	46
Figur 52 Varde by antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.....	47
Figur 53 Varde by forbrug henover året for 2012 og 2013.	47
Figur 54 Vestmotorvejen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.	48
Figur 55 Vestmotorvejen forbrug henover året for 2012 og 2013.....	48
Figur 56 Udvikling i Wh/SoC over 2012 og 2013.	49
Figur 57 Udviklingen i Wh/km og SoC/km . Bemærk at SoC/km benytter den sekundære justerede y-akse.	50
Figur 58 Forhold og spredning mellem Wh og SoC i forhold til antal SoC pr. tur sammenlignet med det opgivne forhold.	51
Figur 59 Forhold mellem Wh og SoC i forhold til antal SoC pr. tur sammenlignet med det opgivne forhold.	51
Figur 60 Den relative spredning ift. SoC/tur	52
Figur 61 Fordeling af Wh/SoC for ture af længden 10, 20 og 30 SoC	52
Figur 62 Sammenligning af de opgivne 154 Wh/SoC med Wh/SoC for forskellige tur længder.	53
Figur 63 Esbjerg-Varde forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. SoC og $EVPower$	54
Figur 64 Limfjordstunnelen forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. SoC og $EVPower$	55
Figur 65 Næstved by forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. SoC og $EVPower$	55
Figur 66 Universitetsboulevarden forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. SoC og $EVPower$	56

Liste af tabeller

Tabel 1 Ofte brugte termer.	9
Tabel 2 Datamængde modtaget, grupperet på bilmærke/model.....	11
Tabel 3 Beskrivelse af, hvor meget data der kan, og ikke kan, indlæses fra datafiler.	11
Tabel 4 Antallet af unikke målinger.....	13
Tabel 5 Antallet af målinger, der har rapporteret hastighed.	13
Tabel 6 Antallet af målinger, der vurderes til at have et korrekt tidspunkt.....	14
Tabel 7 Antallet af målinger, der er vurderet til at være kørende eller parkeret.	14
Tabel 8 <i>EVMode</i> kolonnen sammenholdt med om et køretøj er parkeret.	14
Tabel 9 Analyse af, hvor meget data der sorteres fra i hver rensningsmetode.	15
Tabel 10 Antal accepterede CAN bus værdier for hver regel.....	16
Tabel 11 Antal vejsegmenter med data for de forskellige vejtyper for 2012 og 2012-2013.	19
Tabel 12 Antal målinger og antal segmenter med dette antal målinger for 2012 og for 2012-2013.	20
Tabel 13 Navn, koordinater og længde på strækninger anvendt i detailanalyser.	31
Tabel 14 Antal ture på strækning total samt antal ture i myldretid på hverdage.....	32

Termer

Term	Beskrivelse
Beskidt data	Data der indeholder overraskende værdier så som en bil, der kører med en meget høje hastigheder, f.eks. 300 km/t, eller meget lave temperaturer f.eks. – 50 grader celsius. Beskidt data forefindes i praksis altid i større datasæt og kan skyldes f.eks. midlertidig apparatfejl eller fejl under kommunikation.
Brændstofbil	Køretøj der udelukkende anvender benzin eller diesel som drivmiddel.
CAN bus data	Controller Area Network (CAN) bus måling, der indeholder værdier for energiforbrug, batterikapacitet tilbage, motortemperatur, pedalpositioner og andre relevante værdier.
CSV	Comma-Separated Values (CSV) et tekstfilsformat, hvor kolonnerne/felterne er adskilt med et specialtegn, såsom ; eller #. Som et eksempel, hvor der er fire kolonner, nemlig køretøjs ID, dato, tid og hastighed: 1234#2014-02-16#12:00:01#80 1234#2014-02-16#12:00:02#82 4444#2014-02-16#12:00:02#45
Elbil	Køretøj der udelukkende anvender el som drivmiddel.
EVPower	CAN bus data værdi, der udtrykker energiforbruget pr. sekund.
EVSoC	CAN bus data værdi State of Charge (SoC) batteriniveau i procenter f.eks. 25 EVSoC er lige 25 procent af batterikapaciteten er brugt.
GPS data	Måling der indeholder breddegrad, længdegrad, kompasretning og andre relevant spatielle værdier.
Header	Den første linje i en CSV fil der angiver kolonne/felt navnene. Som et eksempel viser data herunder kolonnenavnene for data vist for termen CSV. Køretøjsid#dato#tid#hastighed 1234#2014-02-16#12:00:01#80 1234#2014-02-16#12:00:02#82 4444#2014-02-16#12:00:02#45
Køredag	En køredag er fra 00:00 til 23.59 på den samme dato og bruges f.eks. til at finde, hvor mange ture en typisk bilist kører pr. dag. Hvis en bilist kører 1 eller 5 ture på én dag tæller det som én køredag. Hvis en bilist ikke anvender et køretøj på en dag tæller det ikke som en køredag.
Map-matching	Tilpasning af (breddegrad, længdegrad) fra GPS data til et digitalt vejkort. Nødvendigt pga. indbygget unøjagtighed ved GPS modtagere.
Metadata	Data der beskriver grunddata, f.eks. headeren for CSV filer. Se termen <i>header</i> .
Måling	En række fra en CSV fil med kolonner indeholdende GPS og CAN bus data værdier. Se eksempel for termen <i>header</i> .
Parkeret	Et køretøj er parkeret, hvis det har flyttet sig mindre end 50 meter i løbet af 2 minutter.
Privat bil	Køretøj (elbil eller brændstofbil) der udelukkende anvendes til privat kørsel. Det modsat er en taxi eller en varevogn, der anvendes kommercielt.
SoC	State of Charge (SoC) se EVSoC.
Tur	En sammenhængende liste af GPS data, der viser den rute et enkelt køretøj har tilbagelagt i en given tidsperiode. I rapporten skal en tur bestå af mindst 10 målinger med maksimum 5 sekunder mellem hver måling. Alle målinger skal naturligvis være fra det samme køretøj. Hvis et køretøj har holdt stille i 2 minutter start en ny tur.

Tabel 1 Ofte brugte termer.

1. Introduktion

Denne rapport er en detaljeret analyse af elbilers forbrug baseret på GPS og CAN bus data logget direkte fra kørsel. Analysen er baseret på data fra i alt 176 forskellige elbiler, der totalt har logget knap 217 millioner GPS/CAN bus målinger i perioden 1.1.2012 til 31.12.2013.

Datagrundlaget, i form af GPS og CAN bus målinger samt et digitalt vejkort, er beskrevet i kapitel 2.

Kapitel 3 beskriver, hvordan GPS og CAN bus målingerne er rensset for typiske fejl og størrelsen af data grundlaget efter de enkelte rensningstrin er gennemgået. Rensning er baseret på tidligere arbejde beskrevet i (Andersen, Krogh, & Torp, 2013).

Kapitel 4 lister alle resultaterne. Kapitel 4.1 viser distributionen af data og antal unikke køretøjer anvendt pr. måned for perioden 1.1.2012 til 31.12.2013. Kapitel 4.2 viser dækningsgraden af data på et digitalt kort med et fokus på forskellene mellem 2012 og 2013 data. Kapitel 4.3 viser distributionen på længden af ture kørt med elbiler og sammenligner med længden af ture kørt med brændstofbiler (private biler) i den samme periode (2012-2013). Kapitel 4.4 dokumenterer energiforbruget pr. tur for elbilerne både for hele året og for de enkelte årstider. Kapitel 4.5 sammenligner de hastigheder, der køres med i elbiler og brændstofbiler på hhv. motorveje og byveje. Kapitel 4.6 undersøger, hvor mange ture der køres i elbil pr. døgn og hvor mange kilometer den enkelte elbil kører pr. døgn. Kapitel 4.7 analyserer i detaljer 16 strækninger fordelt over hele Danmark. Fokus i strækningsanalyserne er på energiforbruget pr. kilometer fordelt henover året. Kapitel 4.8 sammenligner de to måder, der er at måle energiforbruget for en tur i elbil hhv. *SoC* og *EVPower*. *SoC* er en forholdsvis grov måleenhed, hvor batteriets opladningsgrad i procent bruges (State of Charge (*SoC*)). *EVPower* er en meget finere måleenhed, hvor forbruget for elbilen måles hvert sekund. Der har iht. dataleverandøren ikke været muligt at anvende *EVPower* til analyser på elbilers forbrug derfor er *SoC* brugt. *EVPower* er meget interessant at anvende til at beregne elbilers forbrug pga. den meget finere granularitet. Derfor indeholder rapporten en sammenligning af energiforbruget beregnet vha. *SoC* og *EVPower* for både 2012 og 2013 data.

Kapitel 5 diskuterer resultaterne fra Kapitel 4. Kapitel 5.1 diskuterer datagrundlaget. Kapitel 5.2 ser på, hvordan elbilerne anvendes og sammenligner elbiler med brændstofbiler. Kapitel 5.3 konkluderer på elbilers forbrug på de 16 udvalgte strækninger, hvor der er mange ture med forskellige elbiler. Med både 2012 og 2013 data er det muligt se mere detaljeret på kørsel i byerne. Kapitel 5.4 sammenligner brugen af den grove måleenhed *SoC* og den finere måleenhed *EVPower* herunder en detaljeret undersøgelse på fire strækninger med mange ture.

Kapitel 6 konkluderer rapporten.

2. Datagrundlag

Dette kapitel beskriver den data, der er til rådighed for projektet.

2.1.GPS og CAN bus data

Der er modtaget et datasæt med GPS og CAN bus data fra år 2012 og 2013. Datasættet indeholder data fra tre forskellige bilmodeller, Citroen C-Zero, Mitsubishi iMiev og Peugeot Ion. Alle modellerne er uden varmepumpe til opvarmning af kabinen.

Mærke	Antal filer	Bytes	Antal rækker	Antal køretøjer
Citroen C-Zero	14.416	4.688.539.989	50.799.745	35
Mitsubishi iMiev	20.907	6.115.817.202	67.687.338	63
Peugeot Ion	30.019	8.971.508.997	98.425.944	78
Total	65.342	19.775.866.188	216.913.027	176

Tabel 2 Datamængde modtaget, grupperet på bilmærke/model.

Mængden af data er beskrevet i Tabel 2, hvor det kan ses, at der er 78 Peugeot Ion, 63 Mitsubishi iMiev og 35 Citroen C-Zero. Disse forhold mellem bilmodellerne kan også genfindes i mængden af data. Bemærk, at rækker af data er inklusiv headere (den første række i filerne, der beskriver kolonnerne).

I alt er der data fra 176 køretøjer med knap 217 millioner rækker. Data fylder ca. 20 GB og er modtaget i 65.342 filer. I det efterfølgende vil ordet *måling* blive anvendt for en række med GPS/CAN bus data. Datasættet indeholder altså knap 217 millioner *målinger*.

2.2.Læsning af datafiler

Datafilerne indlæses ved hjælp af et værktøj udviklet specifikt til formålet. Dette har været nødvendigt, da datafilerne har haft nogle uregelmæssigheder, der gør, at eksisterende værktøjer eller standard værktøjer ikke har kunnet genkende tilstrækkeligt med data fra filerne. For yderligere detaljer se (Andersen, Krogh, & Torp, 2013).

	Rækker data fra filer	Data minus headere	Rækker indlæst	data Ikke læsbare rækker	% genkendeligt
Citroen C-Zero	50.799.745	50.785.329	49.393.551	1.391.778	97,3%
Mitsubishi iMiev	67.687.338	67.666.431	64.827.690	2.838.741	95,8%
Peugeot Ion	98.425.944	98.395.925	92.833.901	5.562.024	94,3%
Total	216.913.027	216.847.685	207.055.142	9.792.543	95,5%

Tabel 3 Beskrivelse af, hvor meget data der kan, og ikke kan, indlæses fra datafiler.

Tabel 3 beskriver, hvor mange rækker med data, der er læst for hver køretøjstype. Da der ikke er headere i alle filer er headere talt med i antallet af rækker læst. Dette er trukket fra, så den procentvise mængde af læsbare rækker kun sammenholdes med, hvor mange rækker der faktisk indeholder data. Det kan ses, at i gennemsnit kan 95,5 % af data læses, hvilket betyder, at 4,5 % af alle rækker ikke kan genkendes og læses.

2.3.Digitalt kort

Som digitalt kort er OpenStreetMap (OSM) (OpenStreetMap, 2014) anvendt. Dette er et digitalt kort, der kan anvendes vederlagsfrit dvs. at information kan tilknyttes kort og publiceres uden, at der skal betales licenser. OSM kortet er generelt af en god kvalitet og velegnet til analyserne, der foretages i denne rapport.

OpenStreetMap kortet, downloadet 2014-08-06 fra (Geofabrik GmbH, 2014), er anvendt til at udføre alle analyser i denne rapport. Den tidligere rapport (Andersen, Krogh, & Torp, 2013) anvendte en anden version af OSM kortet og derfor er f.eks. antallet af vejsegmenter ikke ens, da vejnettet kontinuerligt ændres og dette afspejles i det digitale kort.

2.4. Opsummering af datagrundlag

Et specialværktøj er anvendt til at indlæse cirka 96 % af rækkerne fra datafilerne, der er leveret. Som kortgrundlag er anvendt det digitale kort OpenStreetMap. Værtøjet er genbrugt og videreudviklet fra et en tidligere udgave af denne rapport. Det digitale kort er opdateret til nyeste version tilgængeligt ved analysens start.

3. Metode

Dette kapitel beskriver kort, hvorledes datagrundlaget er rensset for velkendt fejl og map-matchet til et digitalt kort for at kunne lave de geografiske analyser, der præsenteres i kapitel 4. Overordnet har de data, der er modtaget gennemgået følgende rensningstrin.

1. Rensning af GPS data for fejl.
2. Rensning af CAN bus data for fejl.
3. Map-matching af GPS data (og hermed også CAN bus data) til et digitalt vejkort.
4. Analyser på rensede og map-matched data.

Rensning er hovedsagligt genbrugt fra (Andersen, Krogh, & Torp, 2013), men tallene i tabellerne i dette kapitel er opdateret til at indeholde informationer for både 2012 og 2013 data.

3.1. Rensning af GPS data

Når der modtages GPS data fra køretøjer er der en række velkendte fejlkilder f.eks. kan GPSen have udfald når der køres i tunneler eller i skove. Det er derfor nødvendigt at rense GPS data før den anvendes i analyser. Disse check er f.eks. hvorvidt en GPS måling er unik og om GPS målingen har en hastighed. Med termen *GPS måling*, menes i det efterfølgende den data, der opsamles for et enkelt køretøj hvert sekund (eller med en anden frekvens).

	Rækker indlæst	Unikke rækker	Duplikater	% unikke rækker
Citroen C-Zero	49.393.873	49.393.551	322	100,0%
Mitsubishi iMiev	93.105.025	92.833.901	271.124	99,7%
Peugeot Ion	65.040.765	64.827.690	213.075	99,7%
Total	207.539.663	207.055.142	484.521	99,8%

Tabel 4 Antallet af unikke målinger.

Tabel 4 viser, at der eksisterer relativt få duplikater i datafilerne. Specielt Citroen C-Zero har meget få duplikater.

	Unikke rækker	Har hastighed	Har ikke hastighed	% har hastighed
Citroen C-Zero	49.393.551	49.390.261	3.290	100,0%
Mitsubishi iMiev	92.833.901	92.829.349	4.552	100,0%
Peugeot Ion	64.827.690	64.824.073	3.617	100,0%
Total	207.055.142	207.043.683	11.459	100,0%

Tabel 5 Antallet af målinger, der har rapporteret hastighed.

Som det kan ses i Tabel 5 er udstyret meget pålideligt, når det angår rapporteringen af hastigheder. Meget få målinger, helt ned i tusindedele procenter har ikke rapporteret en hastighed.

Hvorvidt hastigheden er troværdig eller ej, vurderes under map-matching senere, da en GPS måling skal sammenholdes med et kort for at vurdere på specifikke strækninger om en hastighed er realistisk. Dette uddybes i kapitel 3.3.

	Unikke rækker	Korrekt tidspunkt	Ikke korrekt tidspunkt	% korrekt tidspunkt
Citroen C-Zero	49.393.551	49.393.551	0	100,0%
Mitsubishi iMiev	92.833.901	92.833.901	0	100,0%
Peugeot Ion	64.827.690	64.827.690	0	100,0%
Total	207.055.142	207.055.142	0	100,0%

Tabel 6 Antallet af målinger, der vurderes til at have et korrekt tidspunkt.

Tabel 6 viser, at der ikke er genkendt problemer med tidspunkter i data formatet for nogle af biltyperne.

	Unikke rækker	Rækker kørende	Rækker parkeret	% kørende
Citroen C-Zero	49.393.551	46.693.945	2.699.606	94,5%
Mitsubishi iMiev	92.833.901	87.270.606	5.563.295	94,0%
Peugeot Ion	64.827.690	61.144.233	3.683.457	94,3%
Total	207.055.142	195.108.784	11.946.358	94,2%

Tabel 7 Antallet af målinger, der er vurderet til at være kørende eller parkeret.

I Tabel 7 kan det ses, at generelt er godt 94 % af alle målingerne vurderet til at være opsamlet, mens bilerne er kørende, mens ca. 6 % er vurderet til at være opsamlet mens bilerne er parkeret. Dette er ganske fornuftige tal og antallet af parkerede målinger er relativt lavt. En bil skal have flyttet sig mindre end 50 meter i mindst 2 minutter, førend målingerne bliver markeret som værende fra en parkeret bil.

For at vurdere på hvornår et køretøj er parkeret og kørende, er denne rensning sammenholdt med kolonnen *EVMMode*, som er en del af data, vist i Tabel 8.

Gear	Beskrivelse	Målinger	Kører	% kører	Parkeret	% parkeret
D	Drive	149.047.104	148.326.035	99,5%	721.069	0,5%
B	Brake	10.416.811	10.379.089	99,6%	37.722	0,4%
C	Comfort	3.341.456	3.333.670	99,8%	7.786	0,2%
R	Reverse	4.657.934	4.157.535	89,3%	500.399	10,7%
P	Park	8.081.757	5.486.374	67,9%	2.595.383	32,1%
O	Onboard charger	2.464.001	48.564	2,0%	2.415.437	98,0%
Q	Quick charger	184.064	11.678	6,3%	172.386	93,7%
N	Ukendt	1.501.646	1.119.952	74,6%	381.694	25,4%
X	Ukendt	13.341	10.504	78,7%	2.837	21,3%
<	Ukendt	5	4	80,0%	1	20,0%
	Manglende data	27.347.023	22.234.375	81,3%	5.112.648	18,7%
Total		207.055.142	195.107.780	94,2%	11.947.362	5,8%

Tabel 8 *EVMMode* kolonnen sammenholdt med om et køretøj er parkeret.

Det er beskrevet i specifikation (Clever) af data, at D,B og C er forskellige fremadgående gear, hvor B og C kun eksisterer på Mitsubishi iMiev. R er bakgear og P er parkeret. Opladning foregår ved O og Q, mens *EVMMode* N, X, < og "tom" ikke er beskrevet. (Clever)

Det interessante ved Tabel 8 er, at når bilen er i et fremadgående gear dvs. D, B eller C, så er 99,5 til 99,8 % af målingerne detekteret som værende i kørende tilstand. Dette er et rigtigt højt tal og vidner om, at *EVMMode* er meget sikker og passer ganske godt overens med vores vurdering af, hvornår et køretøj er

kørende. At 67,9 % er bestemt til at være kørende i tilstanden P skyldes sandsynligvis, at P benyttes ved stop for rødt eller meget korte stop ved af- og pålæsninger. At der ved opladning er mellem 93,7 og 98 %, der er parkeret et tilfredsstillende, da et køretøj kan blive detekteret som kørende i et kort stykke tid efter, at køretøjet er stoppet og tilsluttet en oplader.

Der er fire ubeskrevne *EVM* tilstande, N, X, < og "tom", som ikke er med i specifikationen (Clever). Her udgør "tom" over 42 % af alle parkerede målinger og 12 % af alle kørende målinger. Ved nærmere undersøgelser viser det sig, at *EVM* < forekommer kun ved Peugeot Ion, mens N, R, X og forekommer hos alle tre biltyper.

Regel	Udgangspunkt	Accepterede data	Afviste data	% accepteret
Er unik	207.539.663	207.055.142	484.521	99,8%
Har hastighed	207.055.142	207.043.683	11.459	100,0%
Har korrekt tidspunkt	207.055.142	207.055.142	0	100,0%
Er kørende	207.055.142	195.108.784	11.946.358	94,2%
Alle filtre	207.055.142	195.100.977	11.954.165	94,2%

Tabel 9 Analyse af, hvor meget data der sorteres fra i hver rensningsmetode.

For at sammenholde metoderne til rensning af data, viser Tabel 9, hvor meget data der bliver accepteret af hver regel, samt hvor meget der bliver sorteret fra. Bemærk venligst, at når der vurderes, hvor meget data der er unikt tages der udgangspunkt i hele datasættet, mens når der vurderes på hastighed, tidspunkt og om køretøjet er kørende tages der udgangspunkt i antallet af unikke rækker.

Det kan ses, at over 94 % af data går gennem rensningsreglerne, hvilket vidner om få problemer med data. Det er primært i rensningsfasen, at der sorteres parkerede målinger fra. Dette er ganske forventet, da elbiler også opsamler målinger, mens disse er under opladning.

3.2.Rensning af CAN bus data

For at rense CAN bus data undersøger dette kapitel værdierne af bestemte CAN bus kolonner. Formålet med undersøgelserne er, at finde urealistiske målinger (ekstremer) og sortere disse målinger fra. Denne rensning er beskrevet i detaljer i en tidligere rapport (Andersen, Krogh, & Torp, 2013). I det efterfølgende listes resultaterne af rensning på datasættet for både 2012 og 2013.

CAN bus data er rensset iht. følgende kriterier (værdier er inklusive):

- Kolonnen *SoC* skal være sat og denne skal være mellem 0 og 100.
- Kolonnen *EVPower* skal være sat og denne skal være mellem -20.000 og 50.000
- Kolonnen *Odo* skal være sat og denne skal være over 0

Effekten af de enkelte renseregler kan ses i Tabel 10, hvor det er vist, hvor mange rækker der bliver accepteret og hvor meget der bliver frasorteret af de tre regler opstillet for rensningen af CAN bus data. I alt er 207.055.142 rækker tilgængelige, og det kan ses, at de tre regler sortere cirka lige meget data fra. For hver regel, er det først testet om der er en CAN bus værdi tilgængelig for målingen, og dernæst er det testet om værdien er indenfor det accepterede interval. Bemærk at når første en værdi i en måling er forkert er der typiske flere andre værdier, der også er forkerte.

Regel	Alle målinger	Er sat	Er sat %	Opfylder krav	Opfylder krav (%)	Brugbare
SoC	207.055.142	179.708.118	86,79%	179.668.412	99,98%	86,77%
EVPower	207.055.142	179.708.117	86,79%	179.674.741	99,98%	86,78%
Odo	207.055.142	179.708.118	86,79%	179.708.114	100,00%	86,79%
Alle tre regler	207.055.142	179.708.117	86,79%	179.635.061	99,96%	86,76%

Tabel 10 Antal accepterede CAN bus værdier for hver regel.

Heraf kan det ses, at for 179.708.118 målinger er der CAN bus målinger inkluderet, både for hver regel samt de tre regler samlet, og her ud af kan 179.635.061 målinger benyttes. Dvs. ud af de data, hvor der er CAN målinger tilgængelige, der bliver tilgængelige, da kan 99,96 % accepteret som valide CAN bus data og kun 73.056 målinger bliver afvist pga. krav til værdier. I alt kan 86,76 % af de leverede målinger anvendes i analyserne.

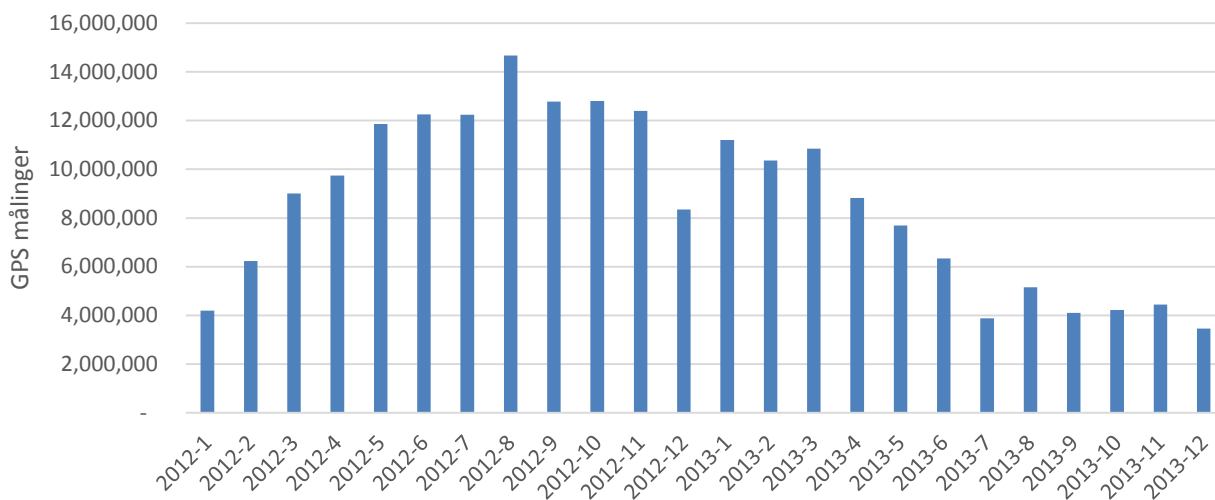
4. Resultater

Dette kapitel beskriver resultaterne af de analyser, der er foretaget på den rensede og map-matchede data. Data vil blive sammenlignet med årstiderne, hvor vinter er månederne december, januar og februar; forår er marts, april og maj; sommer er juni, juli og august, mens efterår er september oktober november.

Forbrugs analyser er foretaget med udgangspunkt i SoC forbrug. Det er opgivet fra data leverandøren, at et forbrug på 1 SoC kan konverteres til et forbrug på 0,154 kWh (Clever, 2013). Derfor vil følgende analyser tage udgangspunkt i kWh eller Wh forbrug. Værdien *EVPower* vurderes i kapitel 4.8.

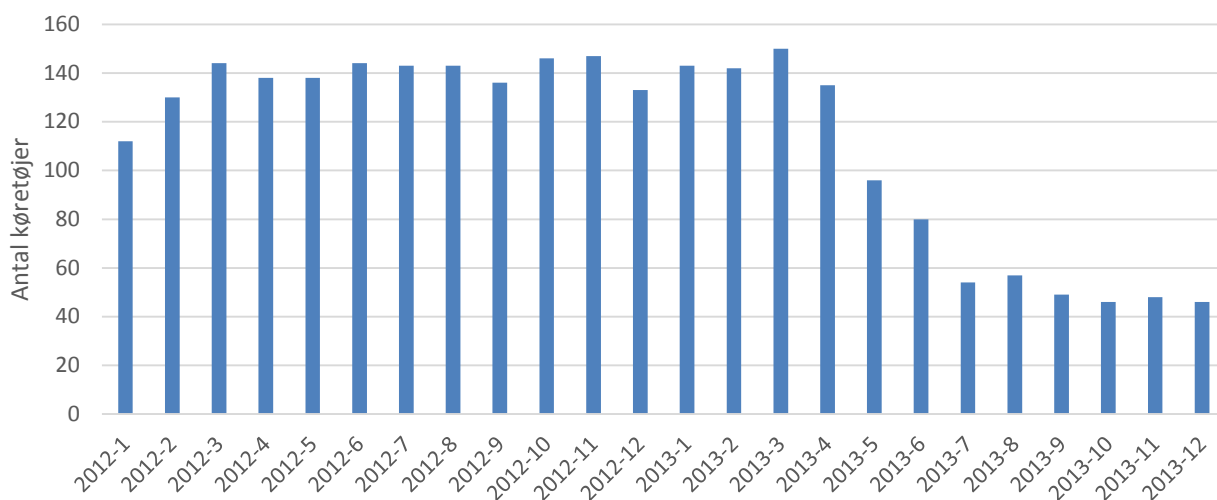
4.1.Data fordeling over perioden

Der er modtaget data for perioden 2012 til 2013 og fordelingen af antal målinger modtaget pr. måned kan ses i Figur 1.



Figur 1 GPS og CAN bus målinger modtaget pr. måned for 2012 og 2013.

Ud fra figuren kan det ses, at i opstarten i begyndelsen af 2012 steg antallet af GPS målinger opsamlet pr. måned jævnt fra omkring 4 millioner om måneden i januar 2012 til 12 millioner om måneden i maj 2012. I august 2012 toppede dataindsamlingen med over 14 millioner GPS målinger, hvorefter mængden af data er svingende og falder indtil et stabilt niveau på mellem 3,5 og 5 millioner målinger pr. måned fra juli 2013 til december 2013.

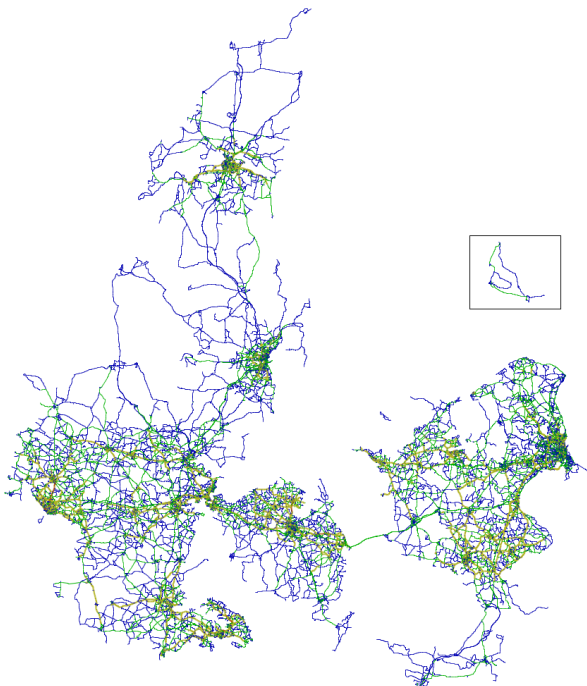


Figur 2 Antal aktive køretøjer pr. måned for 2012 og 2013.

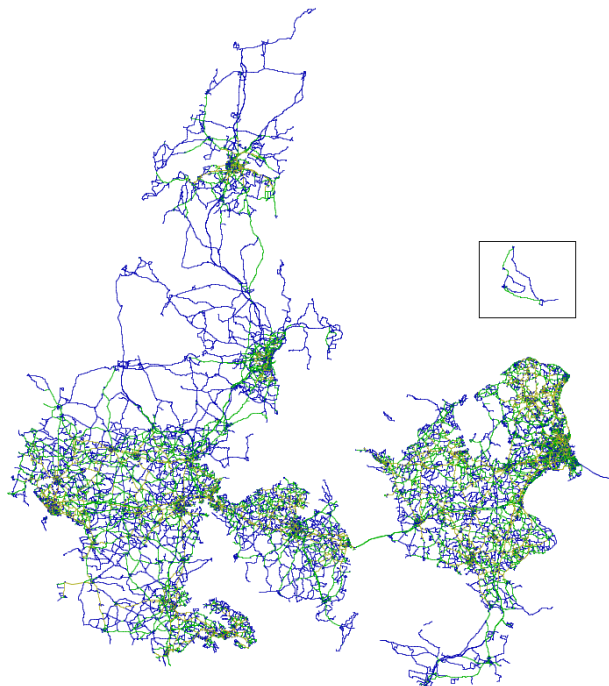
Figur 2 viser hvor mange forskellige aktive køretøjer, der er registreret i løbet af hver måned i perioden. Det kan ses, at ganske hurtigt nåede projektet op på et stabilt niveau med omkring 140 aktive køretøjer. Dette niveau er stabilt fra marts 2012 indtil april 2013. Herefter falder antallet af aktive køretøjer til mellem 46 og 57 fra juli 2013 og resten af perioden.

4.2.Dækningsgrad af GPS/CAN bus data

Dækning af GPS/CAN bus data for hele Danmark i løbet af perioden 2012 er vist i Figur 3 mens Figur 4 viser mængden af data for både 2012 og 2013. Figuren er farvelagt så blå segmenter betyder 1-9 målinger, grønne segmenter 10-99 målinger, gule segmenter 100-999 målinger og orange 1.000-9.999 målinger. Som det kan ses af figuren er der data for alle regioner i Danmark inklusiv Bornholm. Der er mest data i følgende områder: København og Sjælland generelt, Nordfyn, Sønderborg, Vejle, Kolding, Esbjerg, Aarhus og Aalborg.



Figur 3 Dækning med GPS/CAN bus data i 2012.



Figur 4 Dækning med GPS/CAN bus data i 2012 og 2013.

Ved at sammenligne Figur 3 med Figur 4 kan det ses, at Sjælland og bæltet fra Vejle/Kolding til Esbjerg er blevet bedre dækket med data i løbet af 2013. Der er med både 2012 og 2013 data forholdsvis få målinger i Midt- og Vestjylland.

Tabel 11 viser antallet af vejsegmenter pr. kategori (OpenStreetMap, 2014) i alt (kolonnen *Total antal segment*) og hvor mange segmenter, der har GPS/CAN bus data fra elbiler (kolonnen *Segmenter med data*). Den sidste kolonne viser procentsatsen af dækningen. Som det kan ses af Tabel 11 dækker data 96 % af motorvejsnettet, 75 % af det primære vejnet og 78 % af det sekundære vejnet. Det kan konkluderes, at der er kørt på langt de fleste større veje i Danmark. Generelt er dækning med målinger steget fra 22 % af segmenterne med 2012 data til 26 % med både 2012 og 2013 data.

Type	Total antal segmenter	Segmenter med data	% dækket 2012	% dække 2012-2013
Motorvej	2.205	2.113	95%	96%
Primære	13.543	10.126	71%	75%
Sekundær	30.334	23.578	75%	78%
Tertiær	62.359	44.499	66%	71%
Bebyggelse	287.646	63.863	17%	22%
Service	152.208	12.256	6%	8%
Ikke klassificeret	134.129	41.634	26%	31%
Andre typer	98.698	5.906	5%	6%
Totalt	781.122	203.975	22%	26%

Tabel 11 Antal vejsegmenter med data for de forskellige vejtyper for 2012 og 2012-2013.

Tabel 12 viser øverst, at der er 100.566 segmenter, hvor der er mellem 1-9 målinger op til 786 segmenter, med mellem 1.000-9.999 målinger. Der er ingen segmenter med mere end 10.000 målinger. Disse

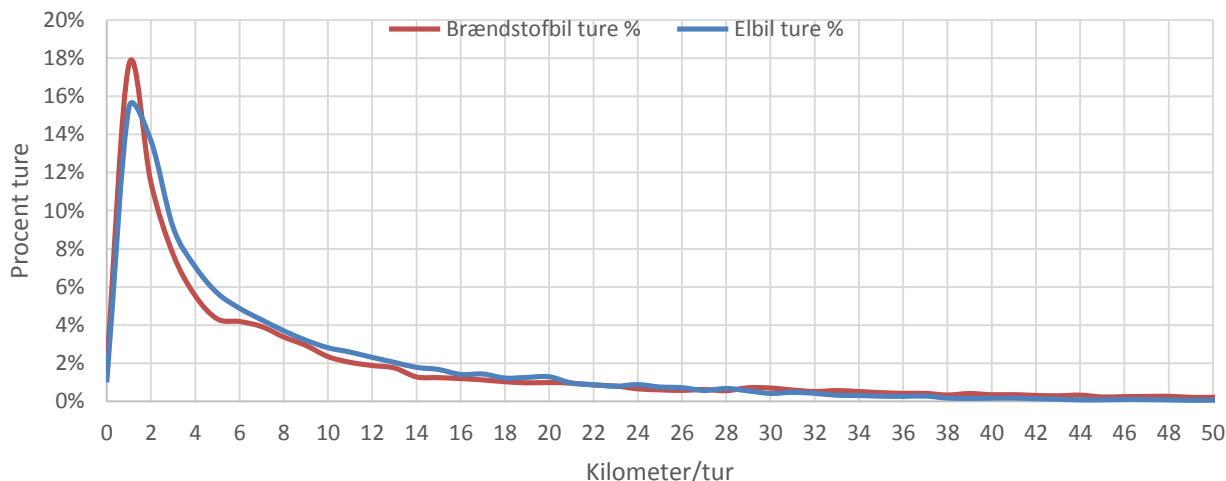
oplysninger er anvendt til at farvelægge kortene, der er vist i Figur 3 og Figur 4. Som det kan ses af Tabel 12 er der kun få steder i landet, hvor der er meget GPS/CAN bus data.

Antal målinger	Antal seg. 2012	Antal seg. 2012-2013	Kort farve
1 - 9	94.102	100.566	Blå
10 - 99	57.610	65.077	Grøn
100 - 999	23.026	37.546	Gul
1.000 - 9.999	295	786	Orange
10.000 -	0	0	-

Tabel 12 Antal målinger og antal segmenter med dette antal målinger for 2012 og for 2012-2013.

4.3.Fordelingen af længden af ture

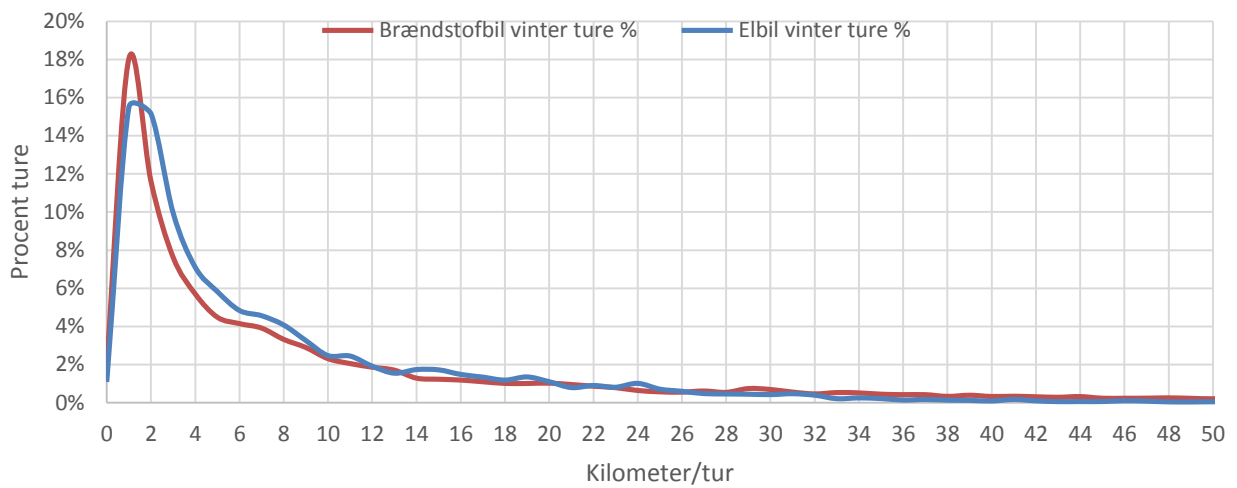
Elbiler har generelt en mindre rækkevidde end brændstofbiler. Det er derfor interessant at se på, hvor lange ture der køres i el- og brændstofbiler. Fordelingen af længden af ture, der køres med el- og brændstofbiler er vist i Figur 5. X-aksen er turens længde i kilometer og y-aksen er frekvensen i procent. I alt viser figuren 244.464 ture for elbiler (2012-2013) og 882.937 ture for brændstofbiler (2012-2013).



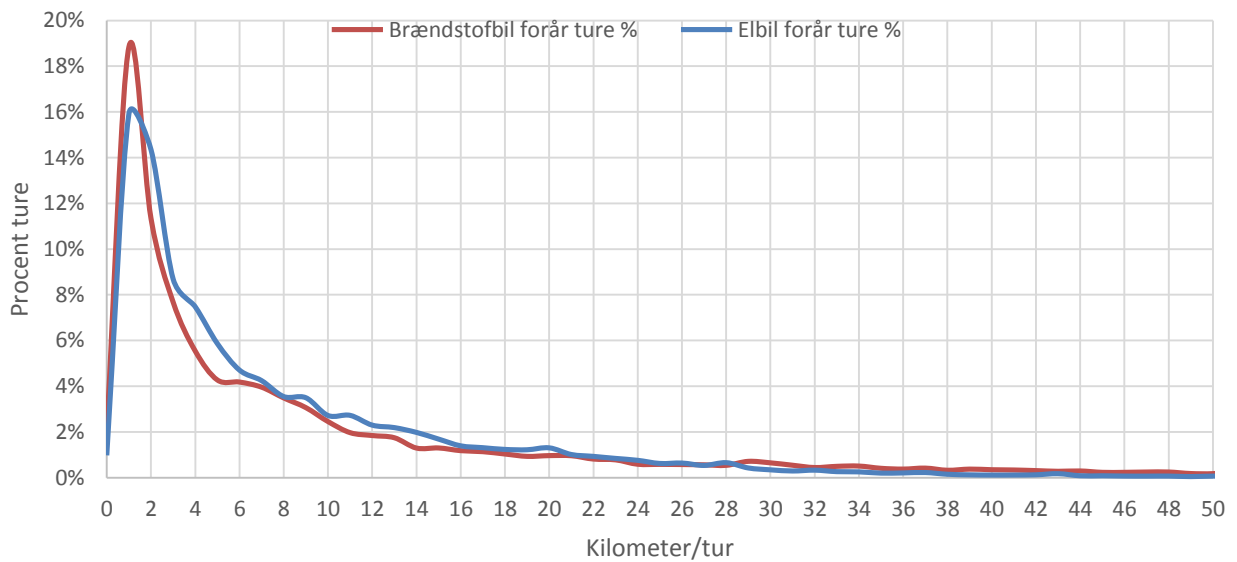
Figur 5 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler over hele året.

Bemærk at både for el- og brændstofbiler er der kun medtaget ture, der er kørt i 2012 og 2013. Generelt har elbilerne kørt over hele landet som vist i Figur 4, mens brændstofbilerne hovedsagligt har kørt i Nord- og Midtjylland. Alle ture er udelukkende fra private biler.

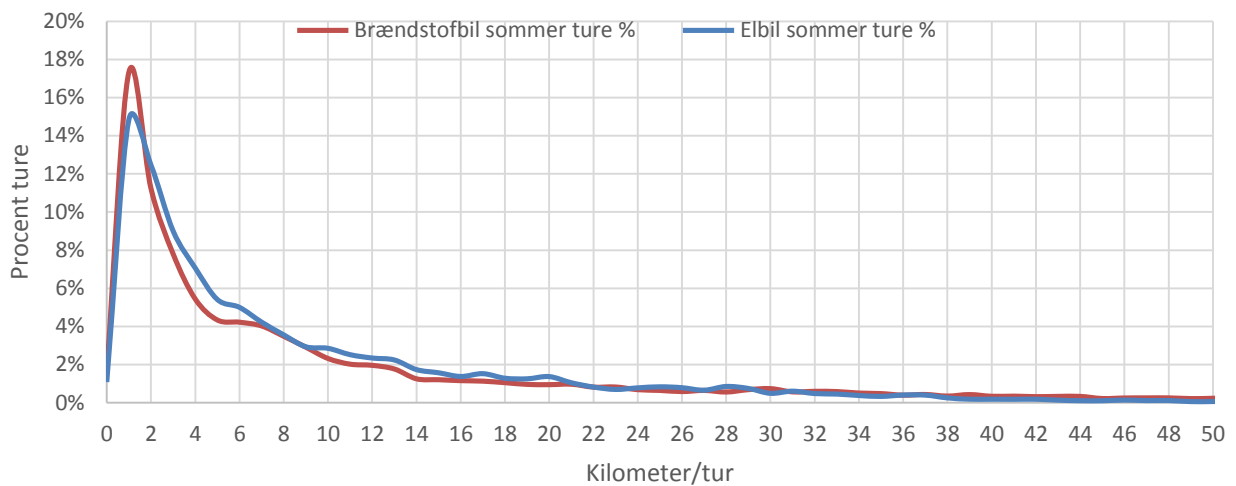
Som det fremgår af Figur 5 er der fleste ture omkring 2 km både for el- og brændstofbiler. Generelt ligner kurverne i Figur 5 meget hinanden. Dog er ture med elbiler generelt kortere end ture med brændstofbiler.



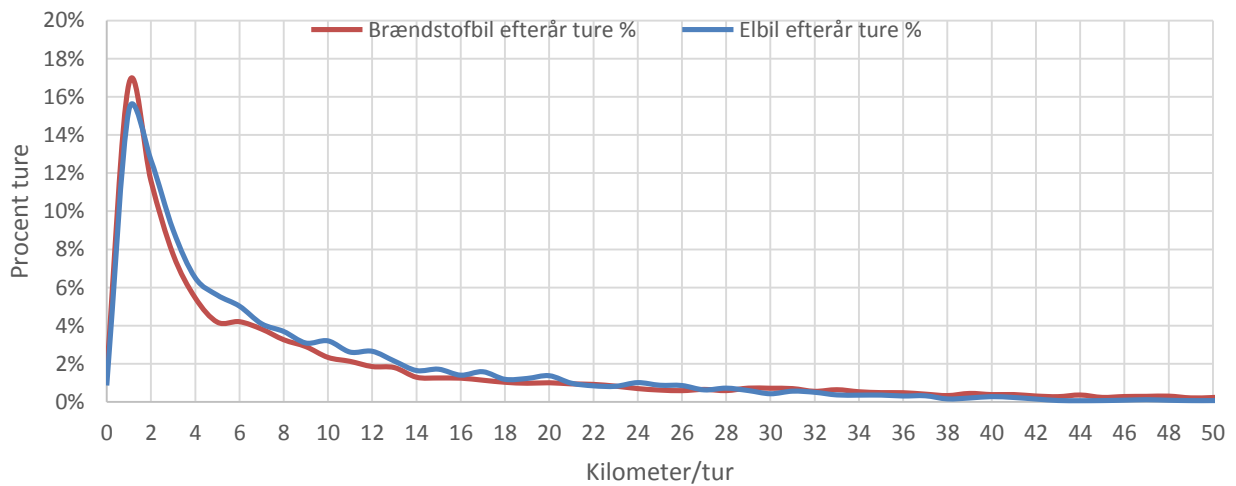
Figur 6 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om vinteren.



Figur 7 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om foråret.



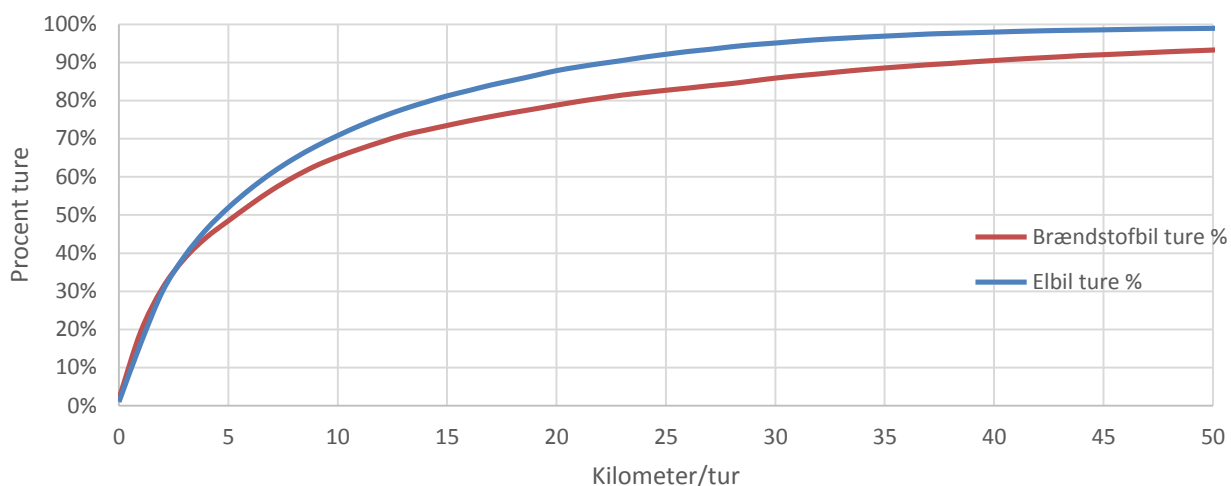
Figur 8 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om sommeren.



Figur 9 Fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler om efteråret.

Figur 6 viser fordelingen af antallet af ture i forhold til længde af turen om vinteren. Sammenlignet med Figur 5 ses det, at der ikke er nogen betydelig forskel mellem vinterture og ture hele året. Det samme gør sig gældende når man sammenligner med Figur 7, Figur 8 og Figur 9, som viser fordelingen af ture om hhv. foråret, sommeren og efteråret.

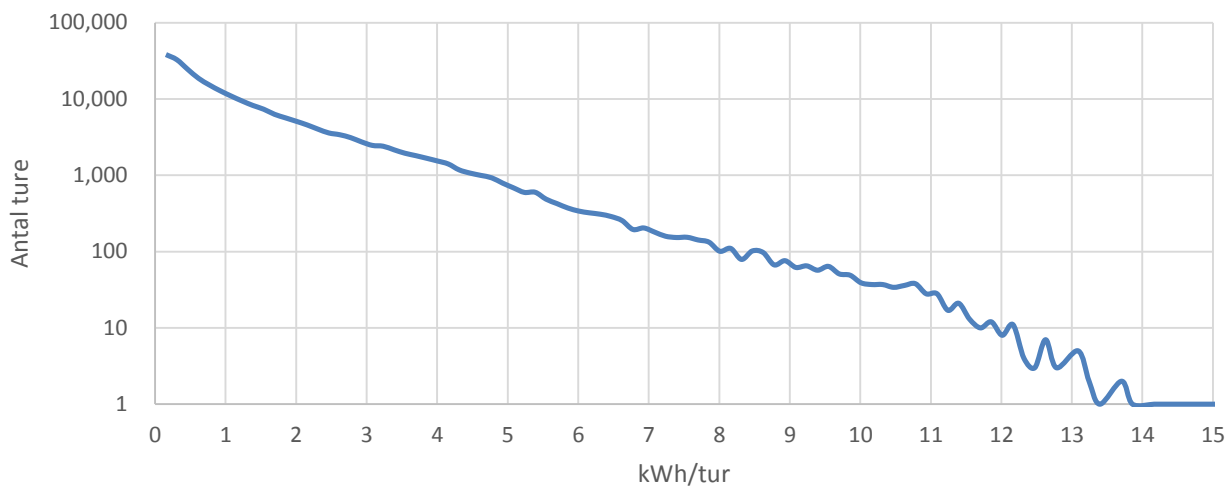
Der er nogen forskel mht. turlængden for el- og brændstofbiler. Denne forskel træder klart frem i Figur 10, som viser den kumulative fordeling på længden af ture. Bemærk at 90 % af turene med elbil er under 23 km og 98 % er under 40 km, mens brændstof biler har nogle forholdsvis længere ture.



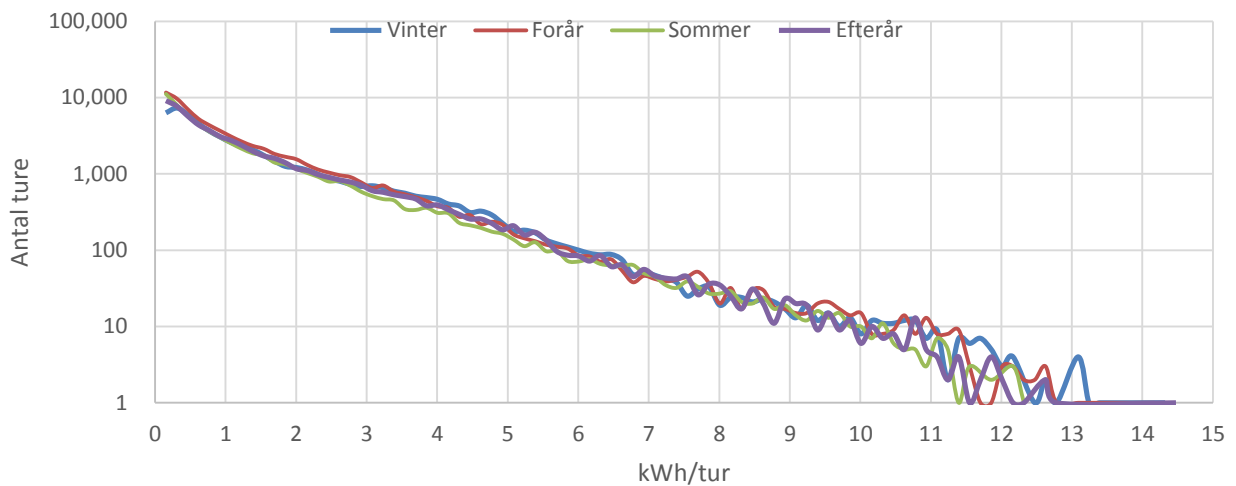
Figur 10 Kumulativ fordeling af længden af ture for el- og brændstofbiler for 2012-2013.

4.4. Energiforbrug pr. tur

En interessant analyse af de kørte ture med elbiler er at undersøge, hvor stort et forbrug der er pr. tur. Denne analyse er vist i Figur 11, hvor x-aksen er kWh pr. tur og y-aksen er antal kørte ture. Bemærk at y-aksen er logaritmisk.

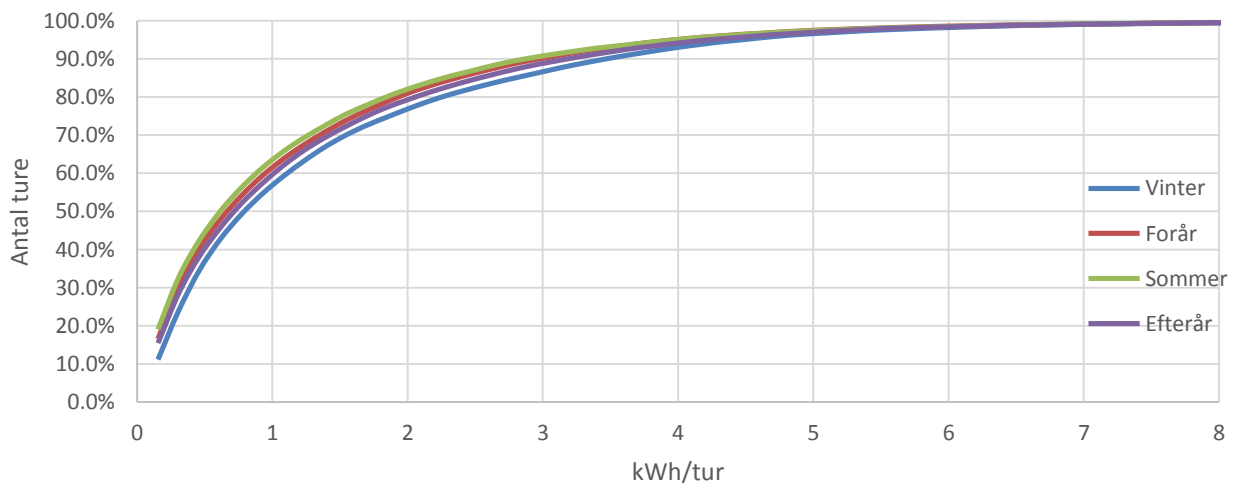


Figur 11 Total kWh forbrug pr. tur.



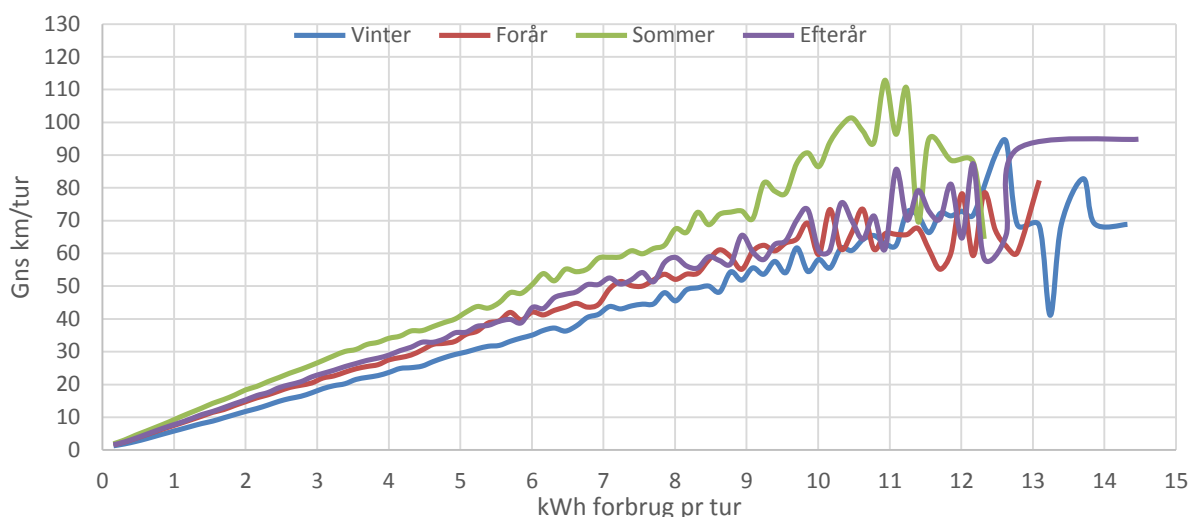
Figur 12 Total kWh forbrug pr. tur, fordelt på årstider.

Figur 11 viser, at der er klart flest ture som har brugt relativt få kWh og der er begrænset med ture, som bruger op til batteriets fulde kapacitet på 16 kWh. Figur 12 viser fordelingen over årstiderne, hvor det kan ses, at der ikke er store forskel på kWh forbruget pr. tur på tværs af årstiderne.



Figur 13 Akkumulativ fordeling af kWh pr. tur fordelt på årstider.

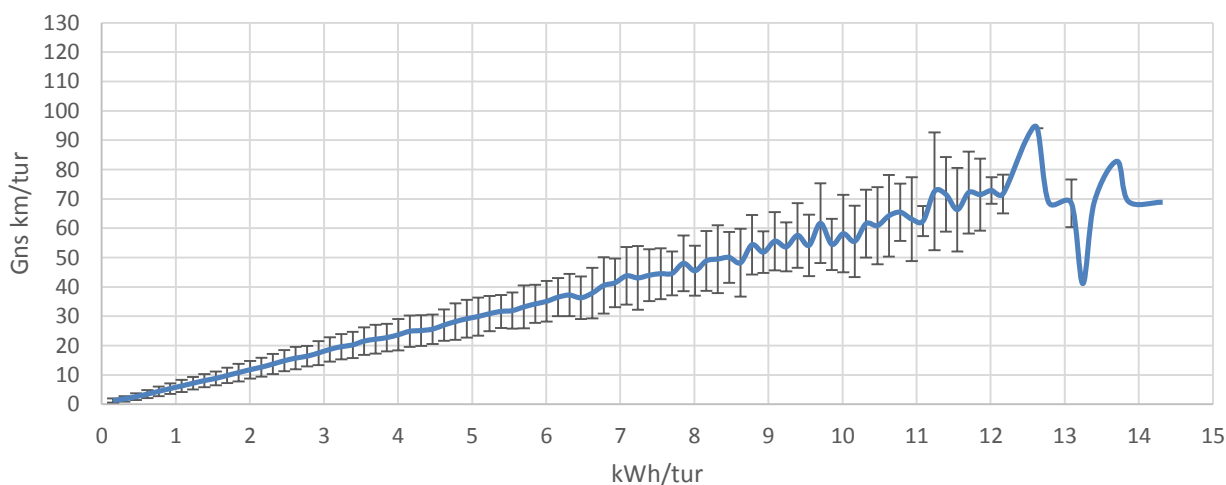
Hvis man ser på de akkumulerede antal ture i forhold til antal kWh pr. tur, som i Figur 13, kan det ses, at både om vinteren foråret, sommeren og om efteråret bruger næsten 80 % af turene under 2 kWh, og 99,5 % af turene bruger under 8 kWh, som er halvdelen af batteriets kapacitet.



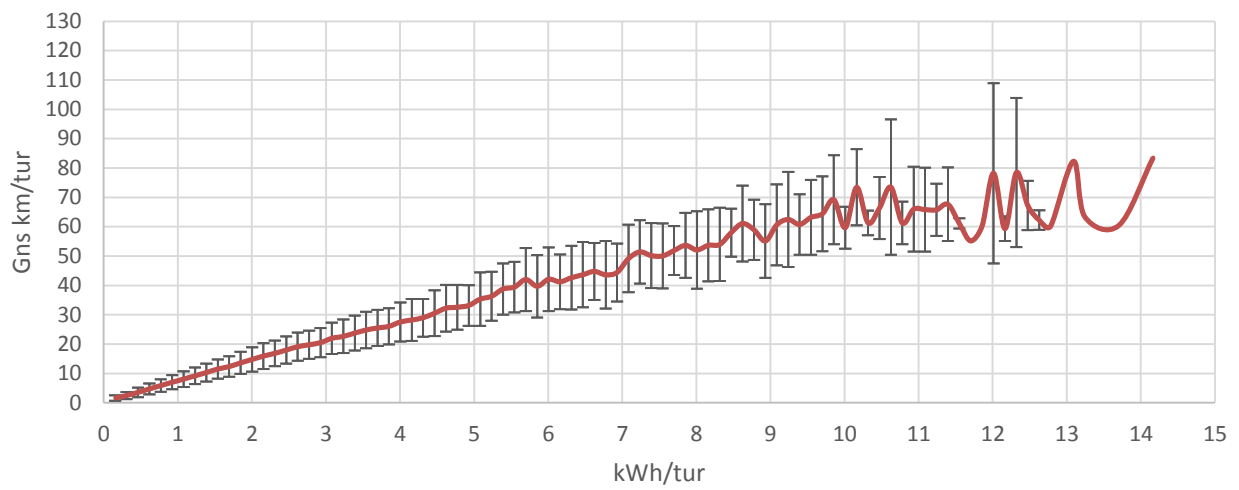
Figur 14 Gennemsnitlig turlængde ift. kWh forbrug over årstiderne

Figur 14 viser, hvor langt der i gennemsnit køres i kilometer som en funktion af kWh, der anvendes på en tur over årstiderne. X-aksen er kWh/tur og y-aksen er antal kørte kilometer i gennemsnit pr. tur.

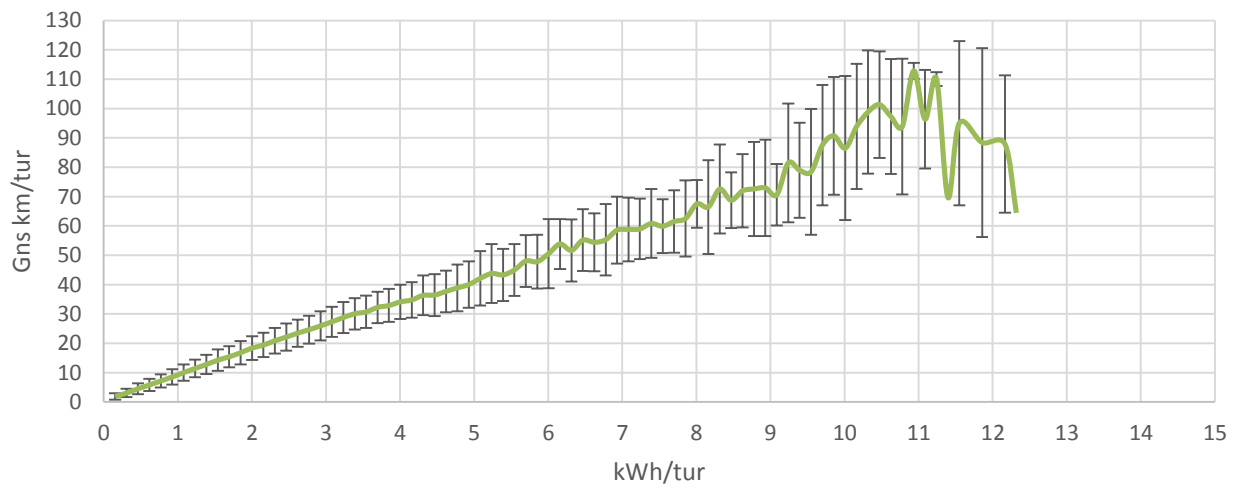
Som et eksempel viser Figur 14, at for de ture, der har brugt 5 kWh, så køres der i gennemsnit 29 km om vinteren, 34 km om foråret, 41 km om sommeren og 36 km om efteråret. Ved 8 kWh er forskellen mellem vinter (den røde graf), og sommer (den grønne graf) op til 50 %.



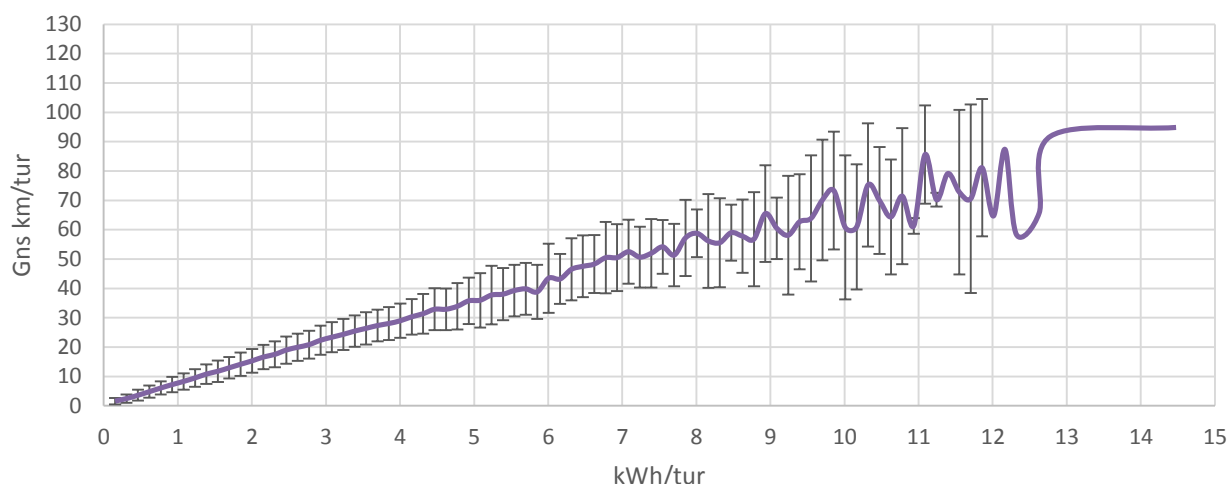
Figur 15 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for vinter.



Figur 16 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for forår.



Figur 17 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for sommer.



Figur 18 kWh og gennemsnit turlængde +/- en standardafvigelse for efterår.

Den blå linje i Figur 15 viser den gennemsnitlige turlængde om vinteren og båndene viser +/- en standardafvigelse (σ) for turlængden. Der er meget store afvigelser på turlængden når forbruget pr. tur er over 12 kWh. Dette skyldes, at der er meget få ture, med så stor et forbrug. Det samme vises for forår i Figur 16, for sommer i Figur 17 og for efterår i Figur 18. Når man sammenligner standardafvigelserne i de fire figurer, er disse grafer meget ens, dvs. spredningen i forbruget er jævnt over årstiderne.

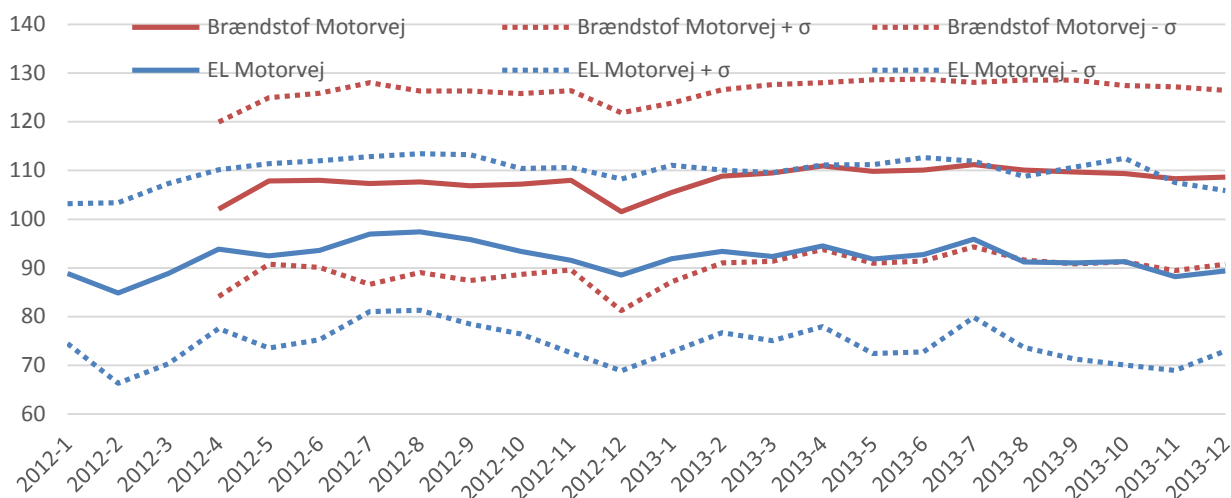
4.5. Hastigheder

Der kan være store udsving i hastigheden for hvor hurtigt elbiler kører i gennemsnit, både i hele landet, men der kan også lokalt være store udsving pga. vejr/vind, trængsel og kvaliteten af vejene. Specielt interessant er det, hvis den gennemsnitlige hastighed elbiler kører med kan sammenlignes med den gennemsnitlige hastighed brændstofbiler kører med i den samme tidsperiode. For at kunne lave en sammenlignende undersøgelse af forskelle i hastigheder med elbiler versus brændstofbiler er følgende gjort.

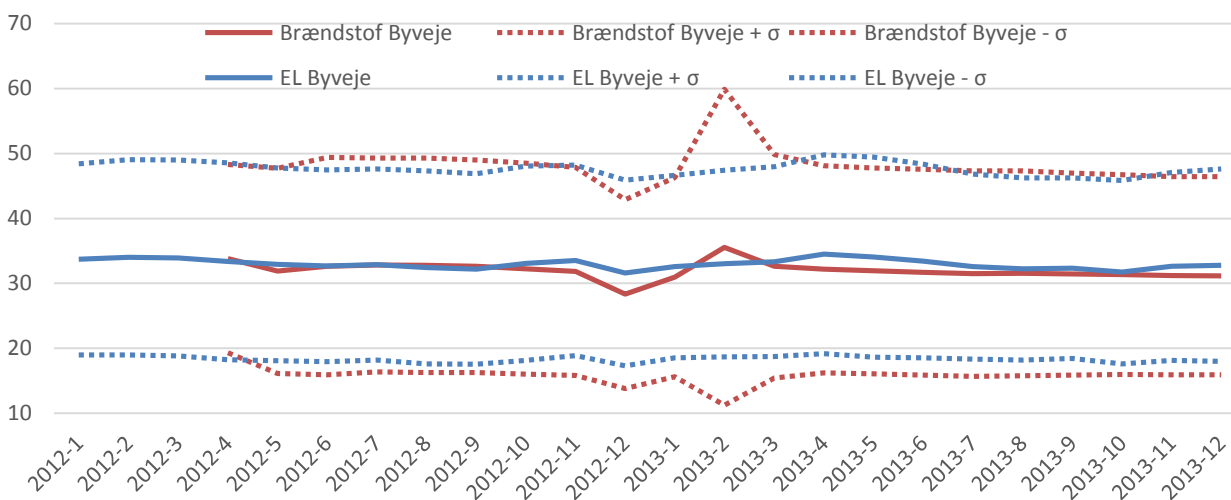
- Motorveje og byveje er udvalgt fordi her det største antal målinger for både el- og brændstofbiler.
- Der anvendes kun vejsegmenter, hvor der både er kørt el- og brændstofbiler.
- Alle vejsegmenter vægtes ens uafhængigt af, hvor mange målinger der er på de enkelte segmenter.

Der er i alt brugt 2.112 segmenter (ud af 2.113 segmenter, med data fra elbiler) på motorvejene i sammenligningen, og 18.654 segmenter (ud af 63.863 segmenter, med data fra elbiler) på byveje. Dette er hhv. 100 % og 29 % af segmenterne, hvor der er data fra både elbiler og brændstofbiler, sammenlignet med segmenter med data kun fra elbiler.

Figur 19 viser den gennemsnitlige hastighed, der køres med på motorveje for elbiler og for brændstofbiler. X-aksen er måned/år og y-aksen er km/t. Bemærk at y-aksen starter ved 60 km/t. Den mørkeblå fuldt optrukne linje er gennemsnittet for elbiler og de to lyseblå fuldt optrukne linjer er +/- en standardafvigelse (σ) for elbiler. Den mørkeblå stiplede linje er gennemsnitlige hastighed for brændstofbiler og de lyseblå stiplede linjer +/- en standardafvigelse (σ) for brændstofbiler. Figur 20 viser en graf for byveje tilsvarende det Figur 19 viser for motorveje.



Figur 19 Sammenligning af hastigheder for el- og brændstofbiler på motorveje for 2012-2013.



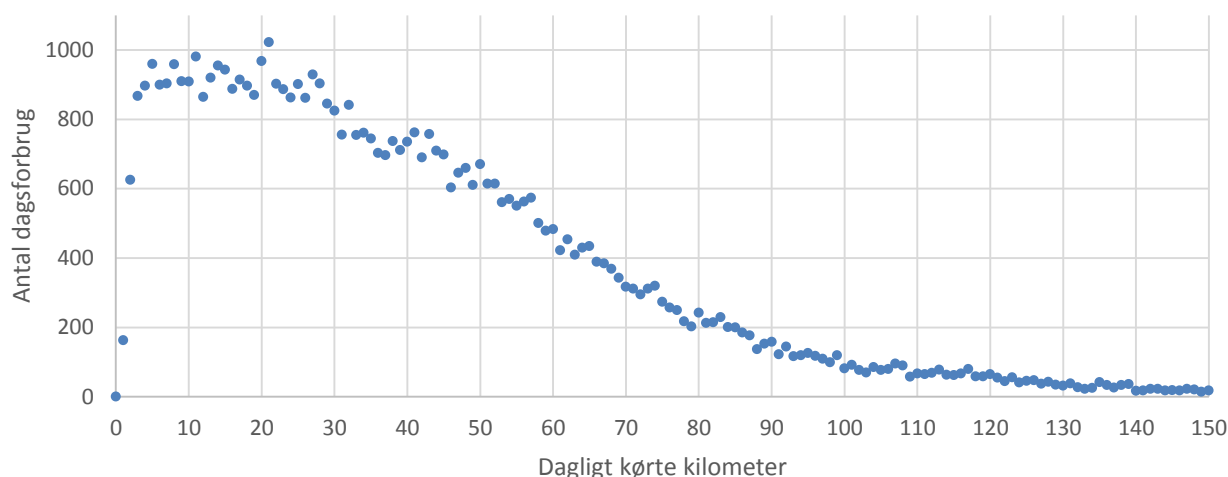
Figur 20 Sammenligning af hastigheder for el- og brændstofbiler på byveje for 2012-2013.

Som det kan ses af Figur 19 kører elbiler generelt langsommere end brændstofbiler på motorvejene. Dette er gældende for hele perioden, hvor der er data fra elbiler dvs. både 2012 og 2013. På byvejene, vist i Figur 20, er de hastigheder el- og brændstofbiler kører næsten ens, dog kører elbiler en anelse stærkere end brændstofbiler. Herudover er standardafvigelseerne for el- og brændstofbiler på byveje meget ens. Figur 19 og Figur 20 indikerer, at elbiler har en lavere tophastighed som kan ses på motorvejene, men at elbiler følger trafikken på byveje.

4.6. Kørte kilometer pr. dag og antal ture pr. dag.

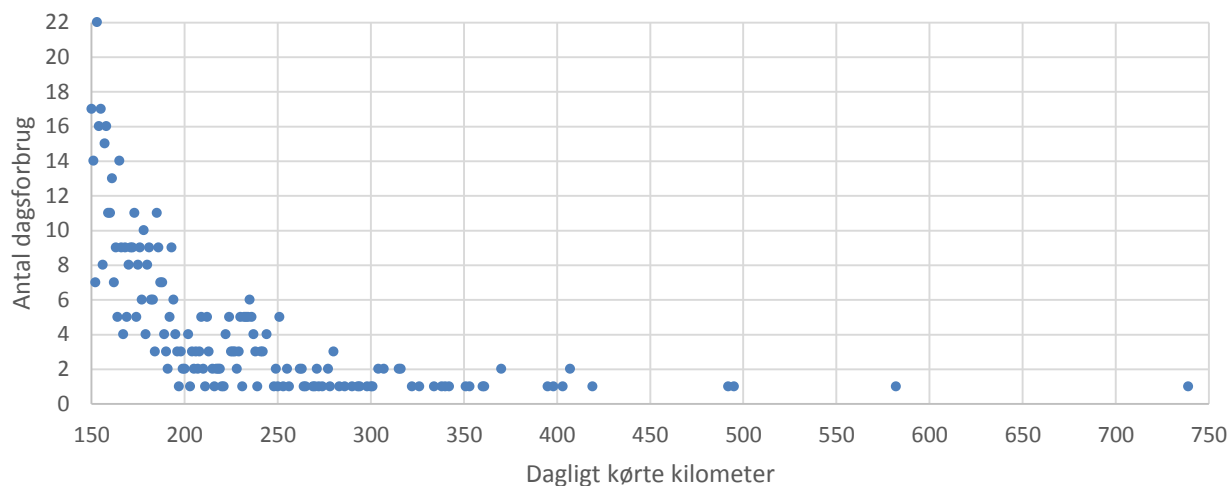
Et interessant emne er, hvor meget en elbil dagligt anvendes. Dette opgøres i dette afsnit på to måder

1. Hvor mange kilometer der køres pr. dag?
2. Hvor mange ture der køres pr. døgn?



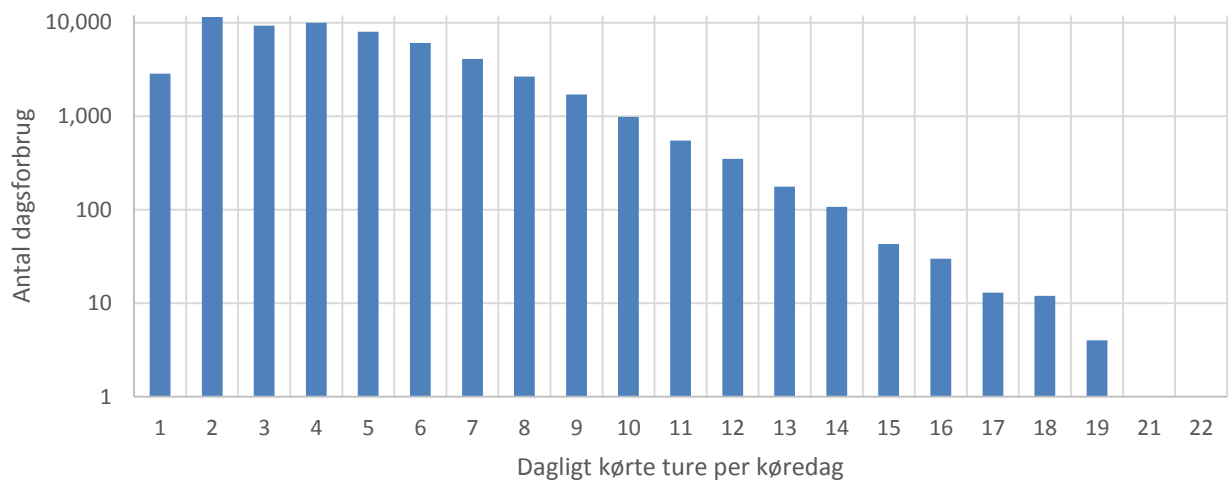
Figur 21 Antal kørte kilometer pr. køredag, 0-150 km.

Figur 21 viser, hvor mange kilometer der køres pr. dag i de enkelte elbiler. X-aksen er antal kørte kilometer pr. dag og y-aksen er antal dage kørt benævnt *køredage*. En køredag er fra 00:00 til 23.59 på samme dato. Som et eksempel viser Figur 21, at der er godt 1.000 køredage hvor elbiler har kørt 20 km og at der er cirka 100 køredage, hvor elbiler har kørt 100 km. Som et kuriosum kan det nævnes, at det maksimale kørte antal kilometer for en elbil på én køredag er 739 km, som kan ses fra Figur 22. Der er i alt 58.521 køredage. Af disse har 3.023 kørt over 100 km på en dag og 605 kørt over 150 km på en dag, som kan ses fra Figur 22.



Figur 22 Antal kørte kilometer pr. køredag, 150-750 km.

Hvis der i stedet for antal kørte kilometer pr. dag ses på antal ture pr. dag er dette vist i Figur 23. X-aksen er antal ture pr. køredag og y-aksen er antal køredage (bemærk skala er logaritmisk). Som det kan se af Figur 23 er der 11.500 køredage, hvor der er to ture og næsten lige så mange, 10.000 med 4 ture. I alt er der registreret 58.521 køredage, hvoraf der 3.984 køredage har mere end 8 ture på en dag. Det maksimale antal ture observeret på en dag er 22. Alle 58.521 køredage er vist i Figur 23.



Figur 23 Antal ture pr. køredag.

4.7.Strækningsanalyser

Dette afsnit præsenterer 16 detailanalyser af strækninger, hvor der er kørt mange ture med elbiler. Bemærk at antal af ture i hver retning ikke nødvendigvis er den samme fordi en bilists valg af ruter ud og hjem kan være forskellige.

Ruterne er valgt ud fra, hvor der er mange målinger tilgængeligt fra forskellige elbiler. Antallet af forskellige elbiler er medtaget for at sikre, at en enkelt bilist, der enten kører langsommere eller hurtigere end gennemsnittet ikke påvirker resultatet kraftigt i en bestemt retning. Ruterne er udvalgt ved at studere dækningsgraden i Danmark som vist i Figur 4. Navn, koordinator og længde på alle udvalgte strækninger er vist i Tabel 13.

Strækningsanalyserne er baseret på den grove måleenhed SoC. Af den årsag er de strækninger, der er udvalgt gerne 3 km eller længere (se Tabel 13) med undtagelse af tre kortere by strækninger (Næstved by, Universitetsboulevarden og Varde by). Strækninger må dog ikke være for lange, da der så er for få ture der har kørt på strækningerne. Af denne årsag er den længste strækning på godt 21 km.

Navn	Fra (Bredde, Længde)	Til (Bredde, Længde)	Længde i km
Esbjerg/Varde	(55,52977; 8,459002)	(55,598676; 8,499813)	8,7
Esbjerg by	(55,473122; 8,445584)	(55,507507; 8,453922)	3,9
Høvejen	(57,088698; 9,955642)	(57,101799; 9,88868)	4,7
Karrebæk/Næstved	(55,211138; 11,584979)	(55,216383; 11,722502)	9,6
Køge Bugt Motorvejen	(55,48214; 12,156799)	(55,606272; 12,310461)	18,5
Langeskov	(55,388649; 10,482244)	(55,321335; 10,774806)	21,4
Limfjordstunnelen	(57,07349; 9,955387)	(57,040908; 9,972429)	6,1
Ny Nibevej	(57,0014; 9,719057)	(57,015665; 9,884504)	10,7
Næstved by	(55,231104; 11,753882)	(55,246971; 11,761267)	2,1
Næstved/Køgevej	(55,255319; 11,80621)	(55,259111; 11,98763)	12,0
Odense/Otterup	(55,423685; 10,371064)	(55,503774; 10,392735)	9,5
Storebæltsbroen	(55,304757; 10,8226)	(55,326721; 10,949436)	12,3
Sønderborg	(55,031695; 9,824296)	(54,932776; 9,81162)	17,5
Universitetsboulevarden	(57,019842; 9,963332)	(57,019223; 9,993507)	2,0
Varde by	(55,609449; 8,493954)	(55,624491; 8,480775)	2,2
Vest Motorvejen	(55,367123; 11,284609)	(55,387974; 11,353684)	5,5

Tabel 13 Navn, koordinater og længde på strækninger anvendt i detailanalyser.

De ture der er fundet er for alle dage i ugen og for alle tidspunkter. Ideelt bør hverdage (mandag-fredag) behandles forskelligt fra weekend (lørdag-søndag) og myldretid (7:00-9:00 samt 15:00-18:00) behandles forskellige fra ikke-myldretid. Desværre er der ikke, med data fra både 2012 og 2013, et stort nok datagrundlag til, at der kan foretages en sådan opsplitning af data. Antal ture på strækningerne total, i morgenmyldretid og eftermiddagsmyldretid i begge retninger er vist i Tabel 14.

Bemærk at det ved optællingen af turene i Tabel 14 er sikret, at alle ture har kørt den nøjagtig samme rute (den samme liste af vejsegmenter er passeret i den samme rækkefølge). Yderligere har ingen af turene kørt om- eller genveje for f.eks. at hente/afsætte passagerer eller været parkeret. Disse restriktioner kaldes i litteraturen for *strenge strækninger* (på engelsk *strict paths*) dvs. ture uden ikke-trafikrelaterede stop eller omveje/genveje.

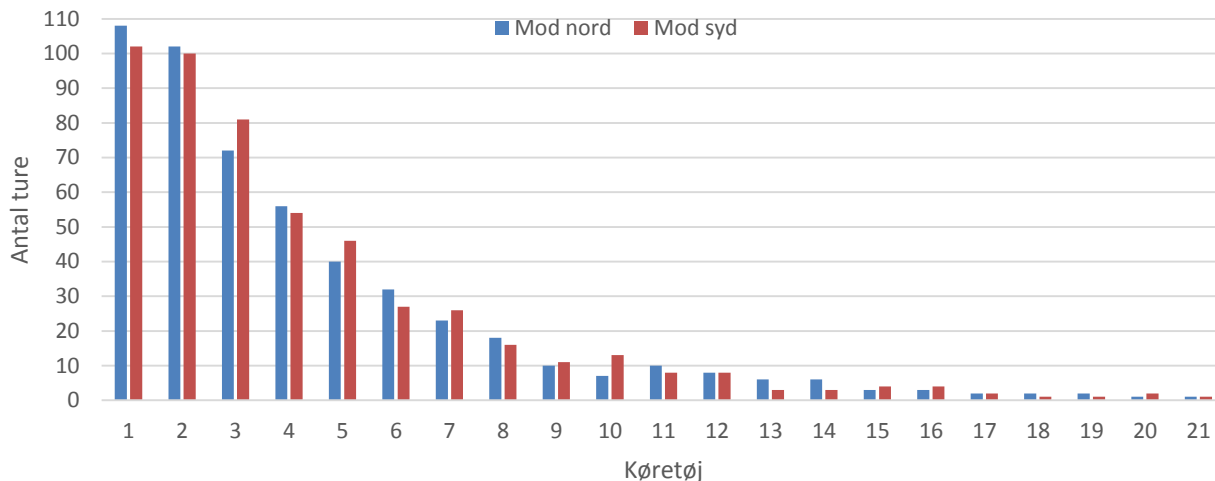
Navn	Retning	Total ture	7:00-9:00 hverdage	15:00-18:00 hverdage
Esbjerg-Varde	Nord	512	4	224
	Syd	513	156	28
Esbjerg by	Nord	190	7	60
	Syd	209	34	47
Høvejen	Vest	78	1	55
	Øst	79	48	3
Karrebæk/Næstved	Øst	105	38	9
	Vest	127	3	70
Køge Bugt motorvejen	Nordøst	184	25	78
	Sydvest	208	19	28
Langeskov	Øst	61	0	27
	Vest	38	21	1
Limfjordstunnelen	Syd	164	46	77
	Nord	132	64	26
Ny Nibevej	Øst	107	77	6
	Vest	58	2	22
Næstved by	Nord	215	5	56
	Syd	251	33	50
Næstved/Køgevej	Øst	210	6	91
	Vest	213	44	22
Odense/Otterup	Nord	470	4	212
	Syd	469	159	51
Storebæltsbroen	Øst	12	0	2
	Vest	9	0	3
Sønderborg	Syd	59	3	30
	Nord	49	34	2
Universitetsboulevarden	Øst	129	9	51
	Vest	142	56	14
Varde by	Nordvest	130	2	40
	Sydøst	220	60	14
Vestmotorvejen	Nordøst	28	0	5
	Sydvest	28	2	2

Tabel 14 Antal ture på strækning total samt antal ture i myldretid på hverdage.

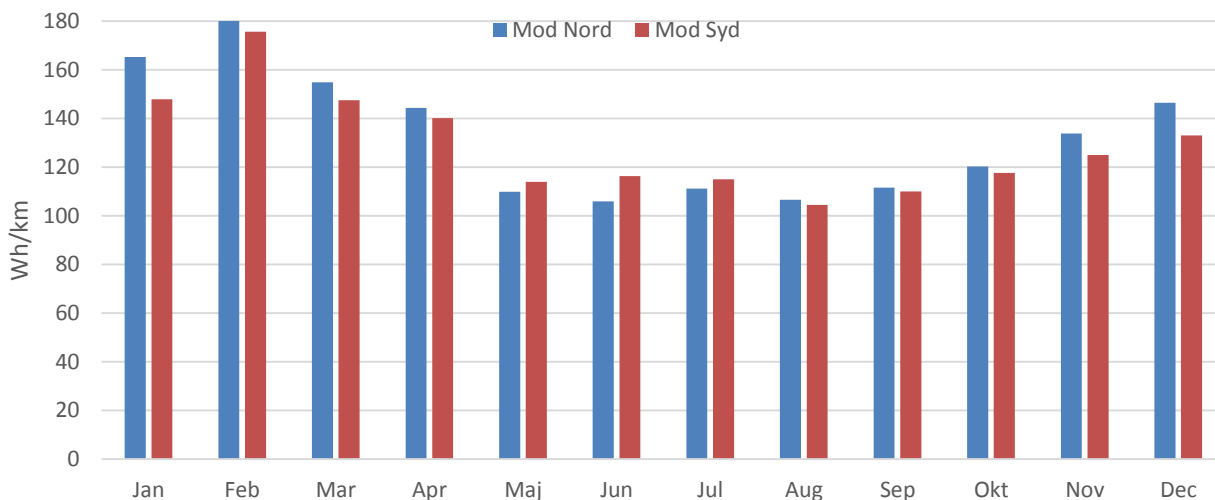
Der vil i det efterfølgende først være en kort præsentation af hver enkelt strækning. Det følges op af en sammenligning af de forskellige strækninger og en generel diskussion af elbilers forbrug.

4.7.1. Esbjerg - Varde

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 1025 tilgængelige ture henover året på den 8,7 km lange strækning er vist i hhv. Figur 24 og Figur 25.



Figur 24 Esbjerg-Varde antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

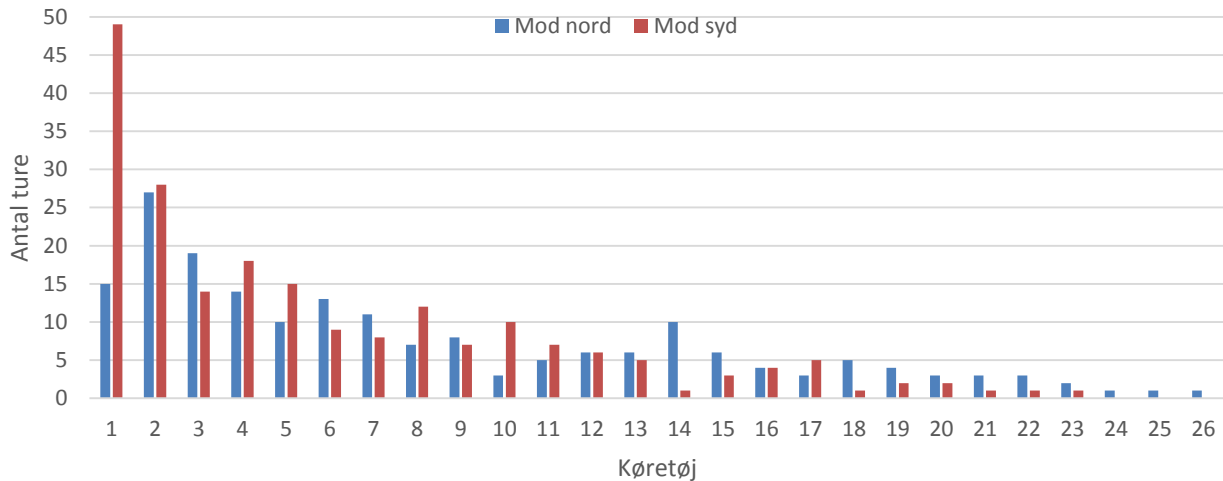


Figur 25 Esbjerg-Varde forbrug henover året for 2012 og 2013.

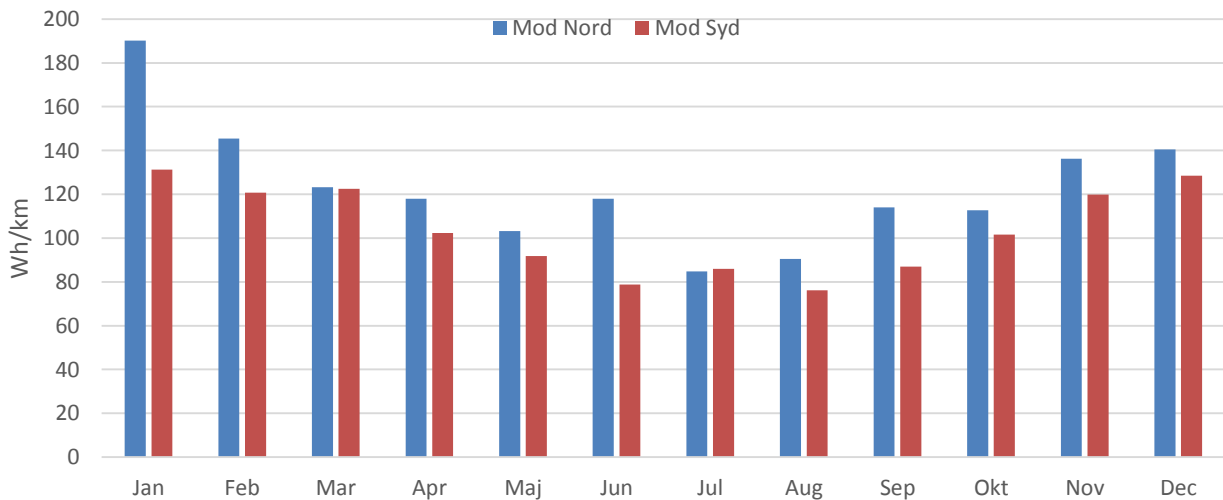
Figur 24 viser, at i alt 21 biler har tilbagelagt strækningen Esbjerg-Varde, hvor to køretøjer, køretøj 1 og 2, står for over 200 af turene hver. Figur 25 viser energiforbruget i Wh/km fordelt over månederne. Det ses tydeligt, at forbruget er størst i vintermånederne, op til 180 Wh/km, mens det i sommermånederne ligger på mellem 110 og 120 Wh/km, altså en forøgelse i energiforbruget på omkring 50 %. Det kan fra Figur 25 ligeledes ses, at der er en tendens til, at det kræver marginalt mere energi at køre mod nord frem for mod syd.

4.7.2. Esbjerg by

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 399 tilgængelige ture henover året på den 3,9 km lange strækning er vist i hhv. Figur 26 og Figur 27.



Figur 26 Esbjerg by antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

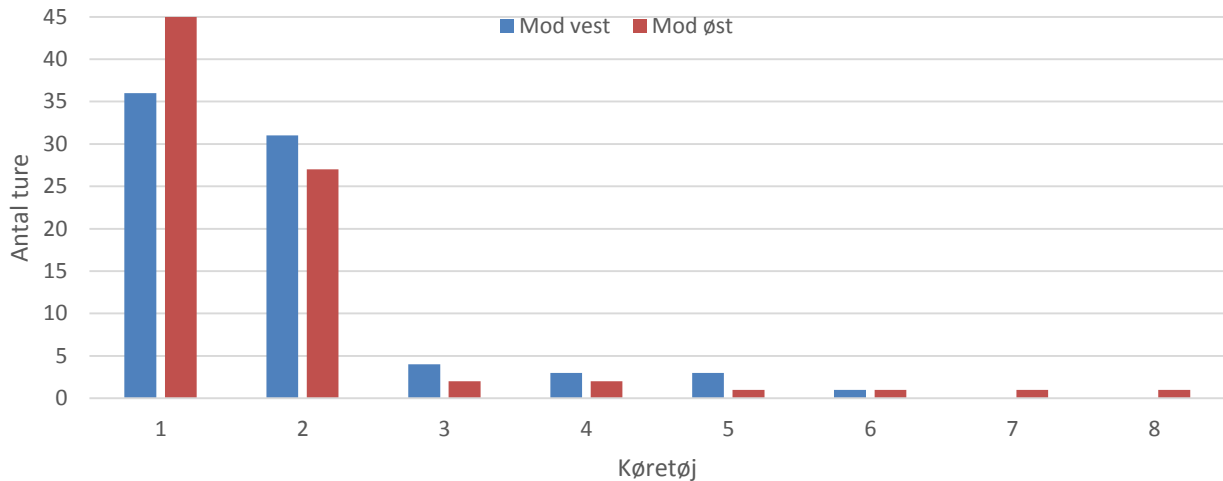


Figur 27 Esbjerg by forbrug henover året for 2012 og 2013.

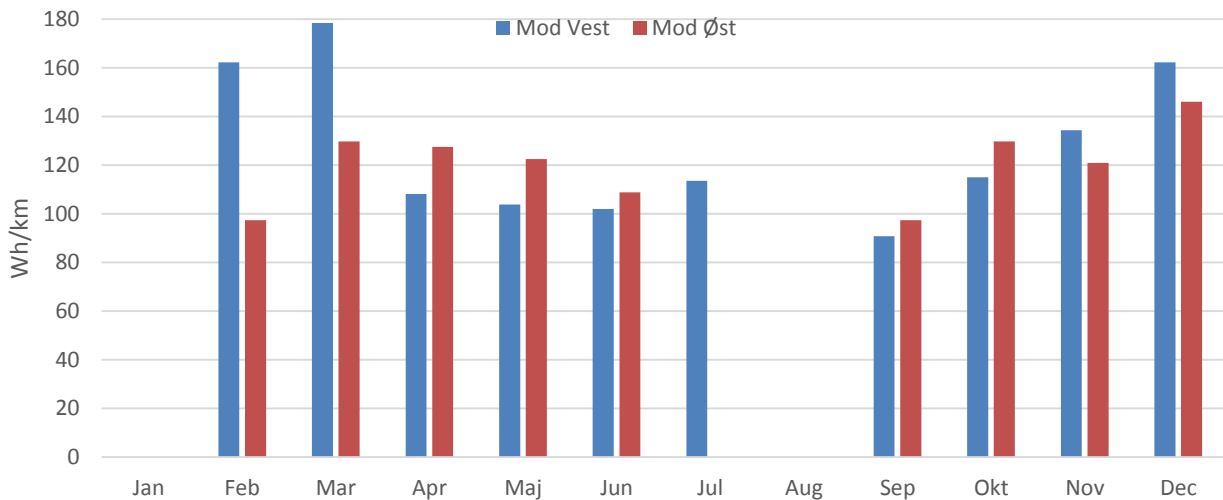
Fra Figur 26 kan det ses, at der for køretøj 1 er et meget ujævnt kørselsmønster, hvor der er kørt 49 ture mod syd, mens der kun er kørt 15 ture mod nord. For resten af de 26 køretøjer er der en mere jævn fordeling af ture i hver retning. Når man kigger på Figur 27 kan det ses, at der ikke er noget entydigt billede af forbruget på de to retninger, dog er det generelt mere energikrævende at gøre mod nord. Sæsonmæssigt er forbruget i januar meget højt.

4.7.3. Høvejen

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 157 tilgængelige ture henover året på den 4,7 km lange strækning er vist i hhv. Figur 28 og Figur 29.



Figur 28 Høvejen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

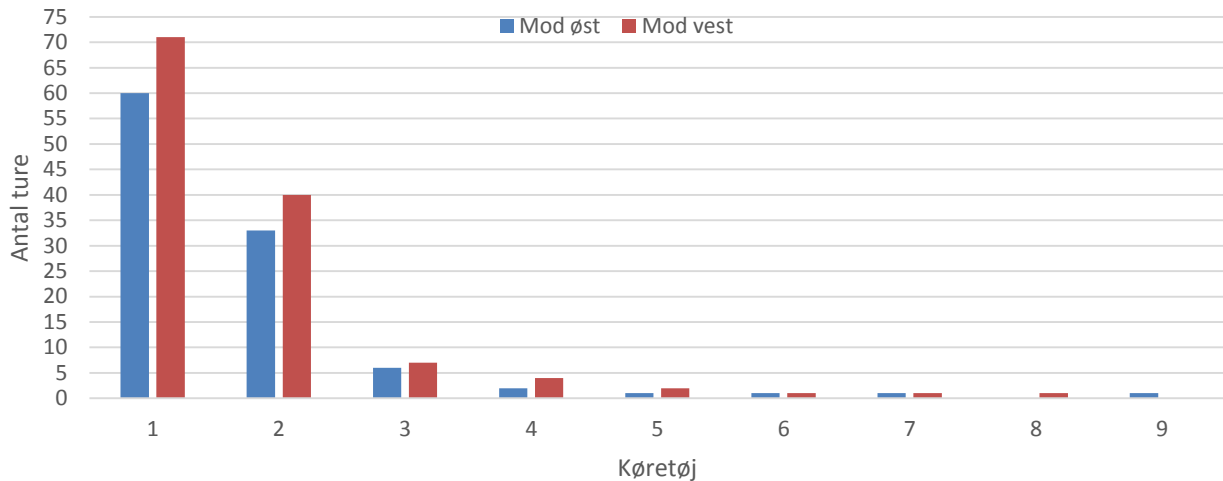


Figur 29 Høvejen forbrug henover året for 2012 og 2013.

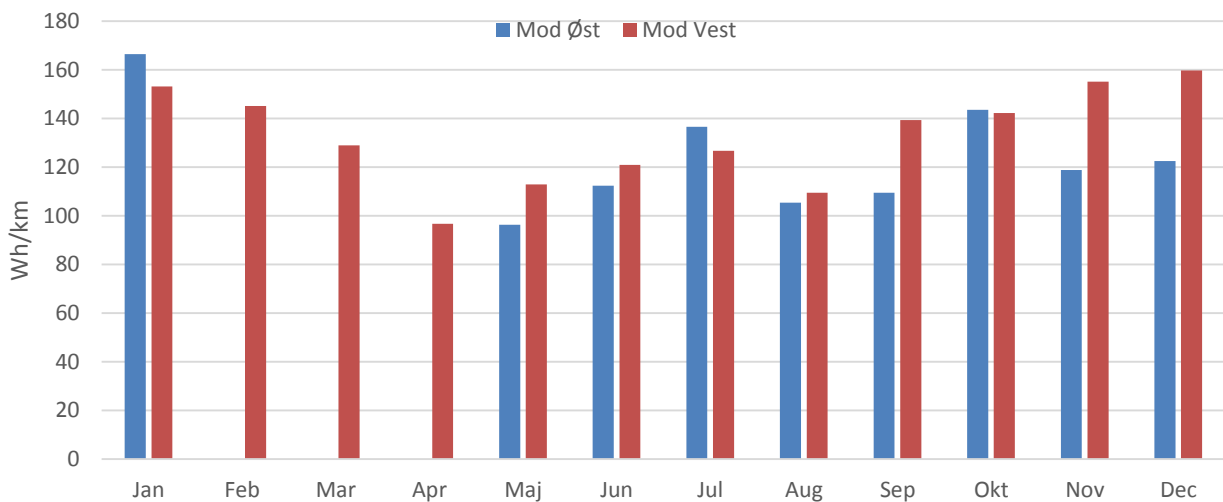
På Figur 28 kan det ses, at på Høvejen er der primært data fra to køretøjer, nemlig køretøj 1 og 2, mens de sidste 6 køretøjer kun få gangen har passeret strækningen. Figur 29 viser forbruget hen over året på strækningen, og det kan ses at der en tendens til, at det er ofte er lidt dyrere at køre mod øst end mod vest. Sæsonmæssigt er forbruget i marts overraskende høj og forbruget i september lavt.

4.7.4. Karrebæk/Næstved

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 232 tilgængelige ture henover året på den 9,6 km lange strækning er vist i hhv. Figur 30 og Figur 31.



Figur 30 Karrebæk/Næstved antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

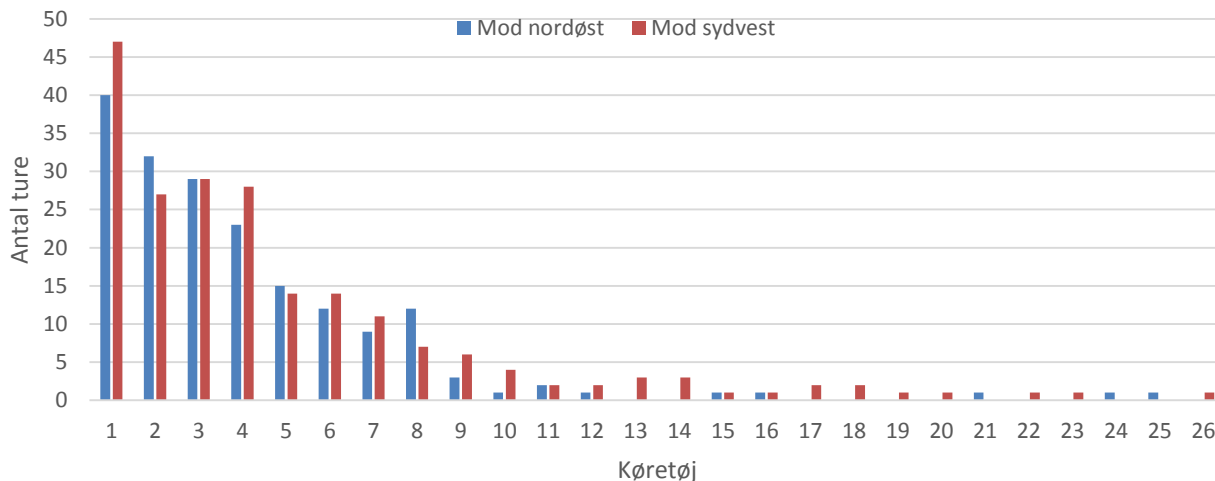


Figur 31 Karrebæk/Næstved forbrug henover året for 2012 og 2013.

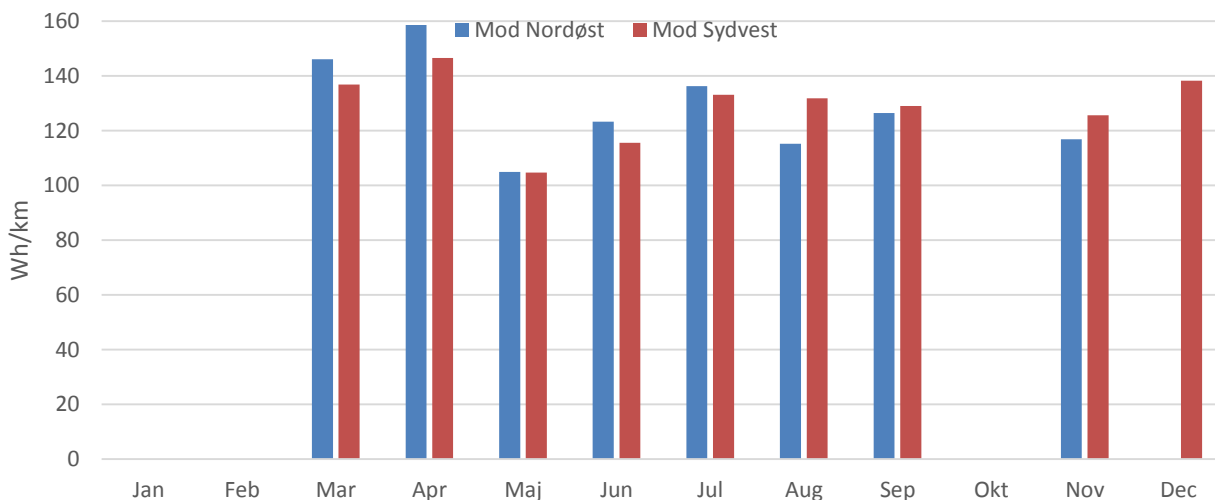
På Figur 30 ses det, at strækningen er domineret af to køretøjer. Generelt kan det ses, at for de fleste køretøjer er der en tendens til at der er flere ture mod vest end mod øst. Figur 31 viser udsvingene hen over året, og det kan ses at der er en tendens til at det er billigere at køre i foråret og sommeren, samt at det ofte kræver mere energi at køre mod vest.

4.7.5. Køge Bugt Motorvejen

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 392 tilgængelige ture henover året på den 18,5 km lange strækning er vist i hhv. Figur 32 og Figur 33.



Figur 32 Køge Bugt Motorvejen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

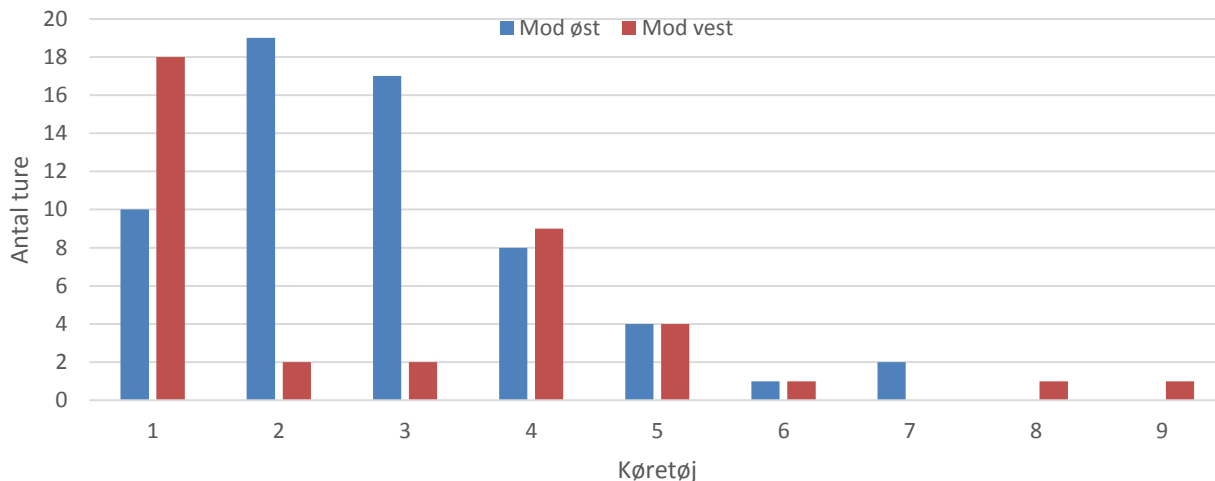


Figur 33 Køge Bugt Motorvejen forbrug henover året for 2012 og 2013.

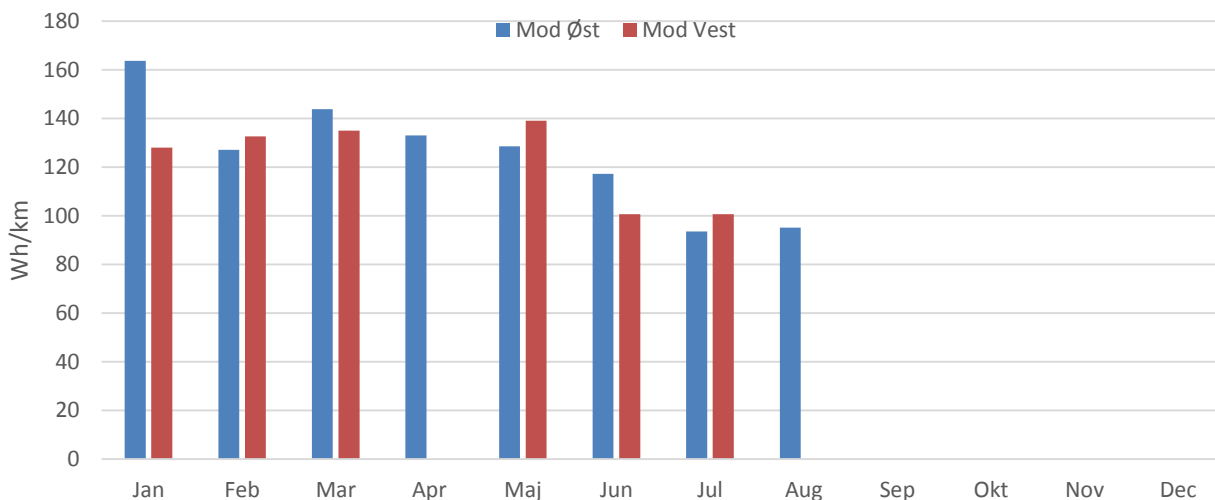
Figur 32 viser, at på denne strækning er turene fordelt på 26 køretøjer, hvor køretøj 1 til 8 har mere end 10 kørte ture på strækningen. Figur 33 viser, at turene primært fordelt over forårs- og sommermånederne, og at der i marts og april kræves mere energi end i sommermånederne. Maj er måneden med det mindste gennemsnitlige *Wh/km*. Det koster oftest lidt mere energi at køre mod nordøst end mod sydvest.

4.7.6. Langeskov

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 99 tilgængelige ture henover året på den 21,4 km lange strækning er vist i hhv. Figur 34 og Figur 35.



Figur 34 Langeskov antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

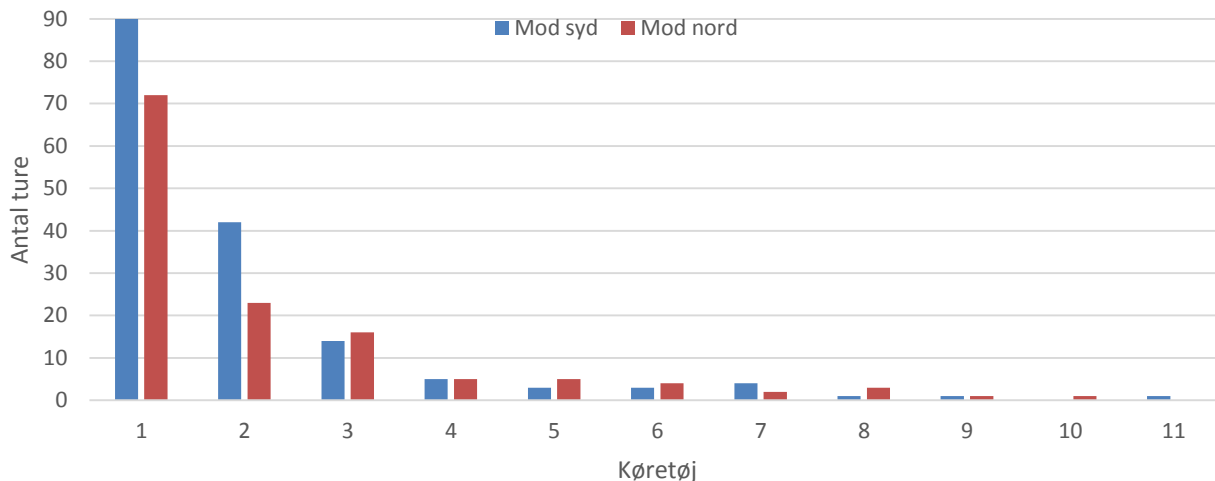


Figur 35 Langeskov forbrug henover året for 2012 og 2013.

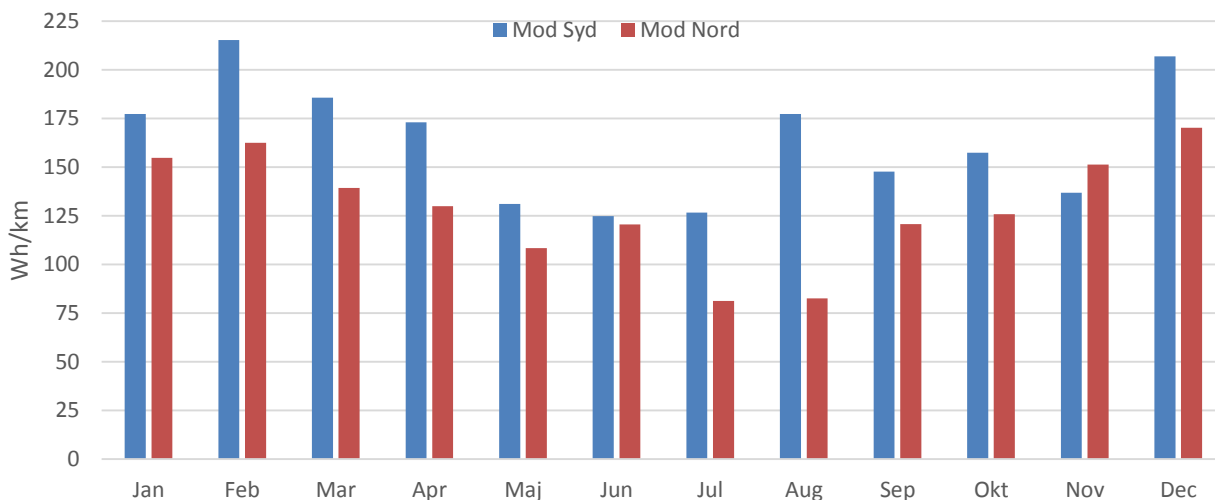
I Figur 34 kan det ses, at kørselsmønstrene for de 9 køretøjer er meget forskellige. Køretøj 1 har flest ture mod vest mens køretøj 2 og 3 har klart flest ture mod øst, hhv. 19 og 17, mens de kun har 2 ture mod vest hver. Køretøj 6 til 9 har kun enkelte ture på strækningen. Figur 35 viser, at fordelingen af ture er spredte, med ture i begge retninger i januar, februar, marts, maj, juni og juli, mens der i april og august kun er ture i en af færdselsretningerne. Der er ikke nogen udbredt tendens, udover at det i januar, februar og marts koster mest energi at køre mod vest, mens det i maj og juni koster mest at køre mod øst. Forbruger over månederne viser heller ikke noget entydigt, udover det er dyrest i marts og maj og billigst i januar, juli og august.

4.7.7. Limfjordstunnelen

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 296 tilgængelige ture henover året på den 6,1 km lange strækning er vist i hhv. Figur 36 og Figur 37.



Figur 36 Limfjordstunnelen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

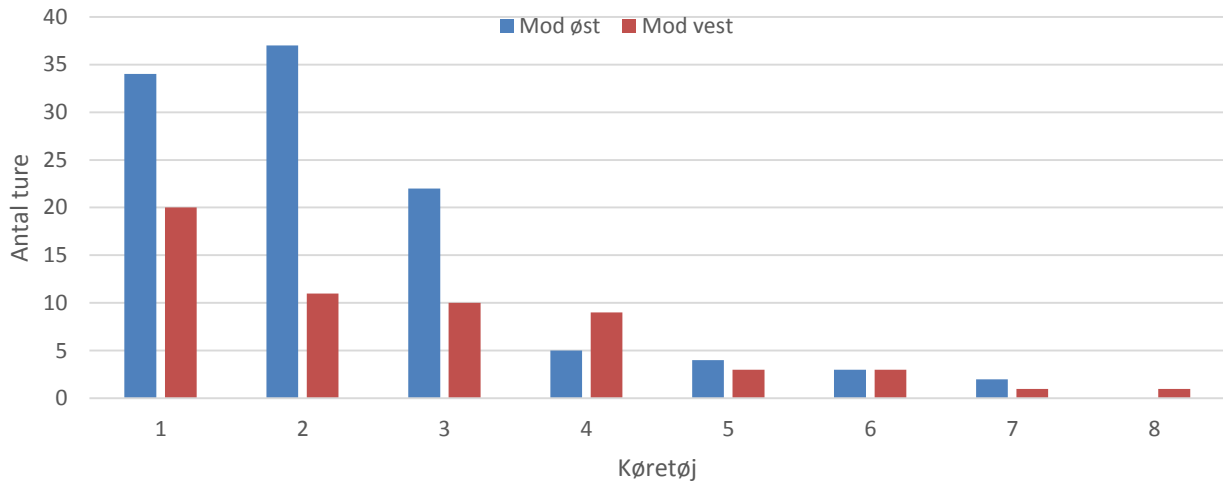


Figur 37 Limfjordstunnelen forbrug henover året for 2012 og 2013.

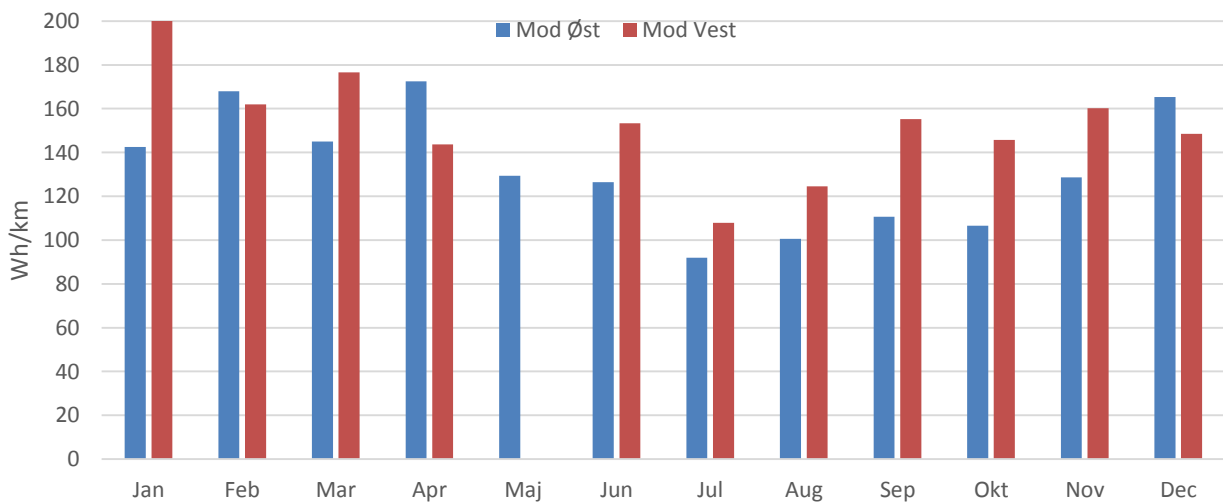
Figur 36 viser, at køretøj 1 har bidraget med næsten 55 % af turene, mens køretøj 2 har leveret over 20 % af turene. Resten af turene er fordelt på 9 køretøjer. Figur 37 viser, at det generelt er dyrest at køre mod syd på strækningen. Dette kan forklares ved, at syd for limfjordstunnelen ligger en bakke, som biler i sydgående retning skal op ad og biler i nordgående skal ned ad. Forbruget over året viser, at det er billigere om sommeren end om vinteren.

4.7.8. Ny Nibevej

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 165 tilgængelige ture henover året på den 10,7 km lange strækning er vist i hhv. Figur 38 og Figur 39.



Figur 38 Ny Nibevej antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

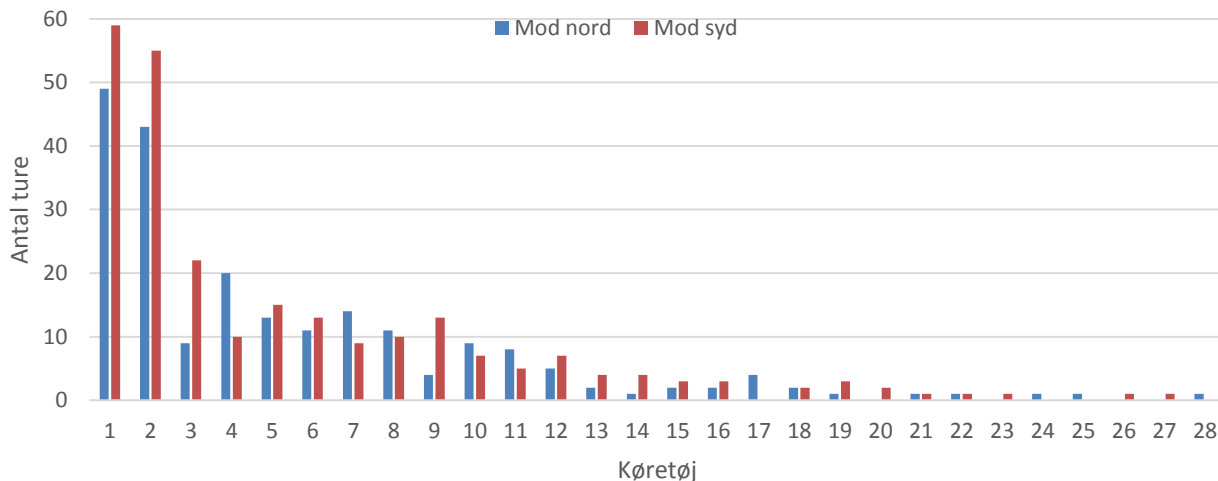


Figur 39 Ny Nibevej forbrug henover året for 2012 og 2013.

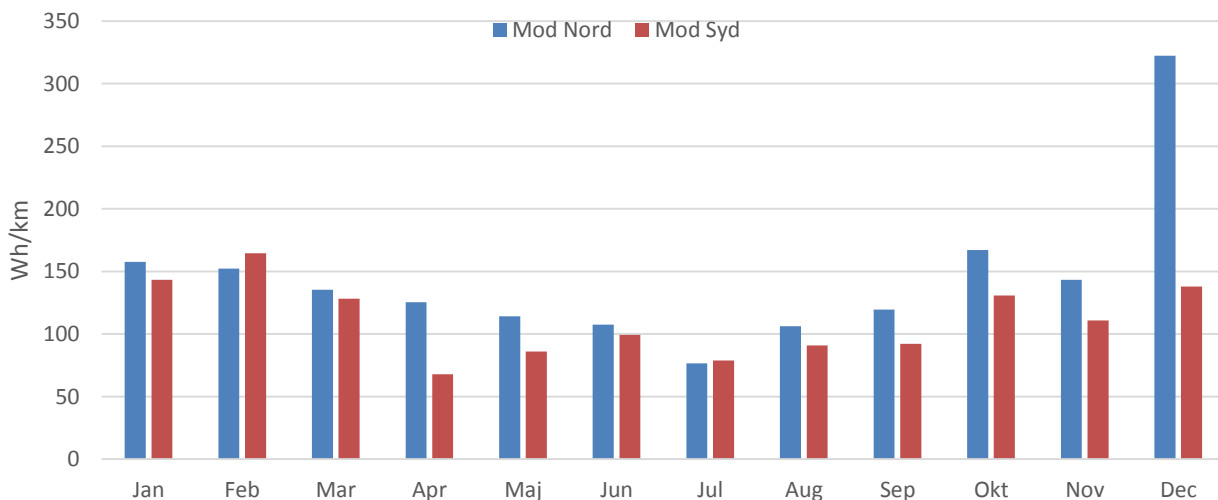
I Figur 38 kan det ses, at turene i hver retning er ganske ujævn fordelt. For de tre køretøjer med flest ture, har de klart flest ture mod øst, mens fordelingen er mere jævn for de sidste fem køretøjer. Figur 39 viser en tendens til, at det er dyrere at køre mod vest end mod øst, samt at det kræver mindre energi at køre om sommeren end om vinteren. Bemærk at april måned har et højt forbrug i østlig retning.

4.7.9. Næstved by

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 466 tilgængelige ture henover året på den 2,1 km lange strækning er vist i hhv. Figur 40 og Figur 41.



Figur 40 Næstved by antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

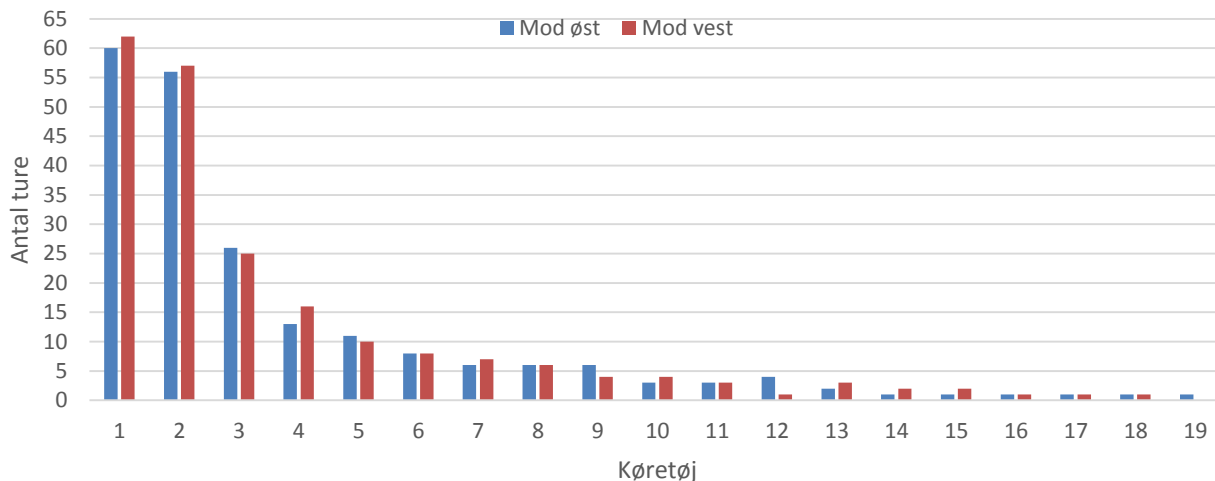


Figur 41 Næstved by forbrug henover året for 2012 og 2013.

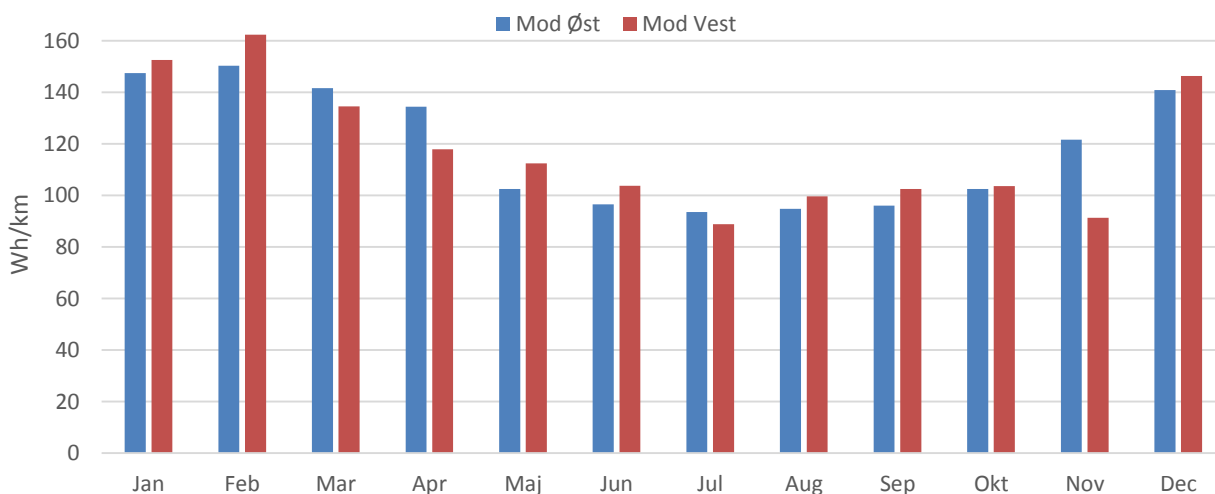
Fra Figur 40 kan det ses, at strækningen domineres af to køretøjer, med hver næsten 100 kørte ture på strækningen. Ud over de to, er der 26 andre køretøjer som leverer ture fra denne strækning. Figur 41 viser, at forbruget er højere i januar, februar, marts og december end for resten af året. Der er ikke store udsving i forbruget mht. kørselsretning. December har et ekstremt højt forbrug, i kørselsretningen mod nord, hvilket ikke umiddelbart kan forklares.

4.7.10. Næstved/Køgevej

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 423 tilgængelige ture henover året på den 12 km lange strækning er vist i hhv. Figur 42 og Figur 43.



Figur 42 Næstved/Køgevej antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

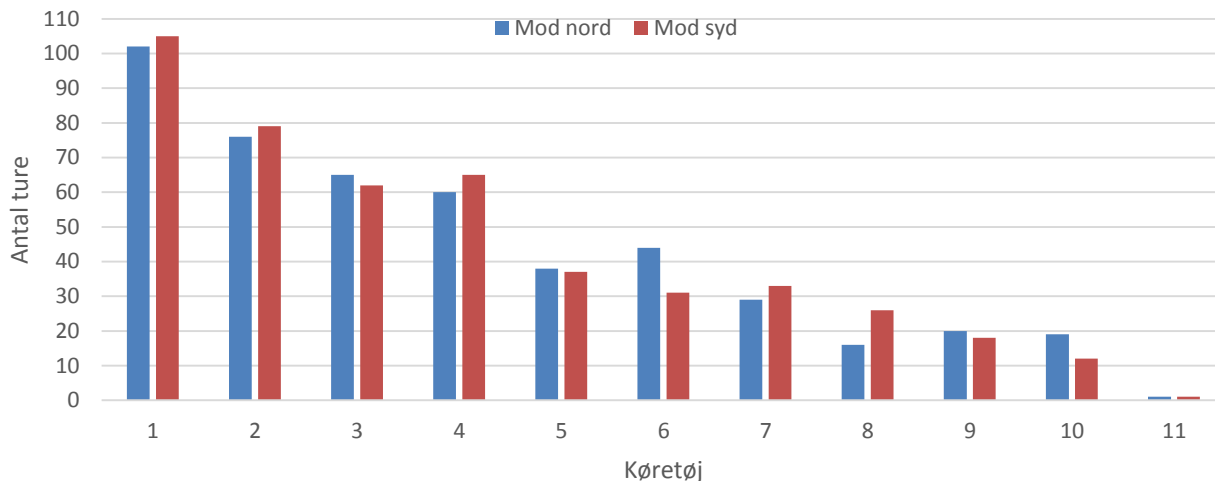


Figur 43 Næstved/Køgevej forbrug henover året for 2012 og 2013.

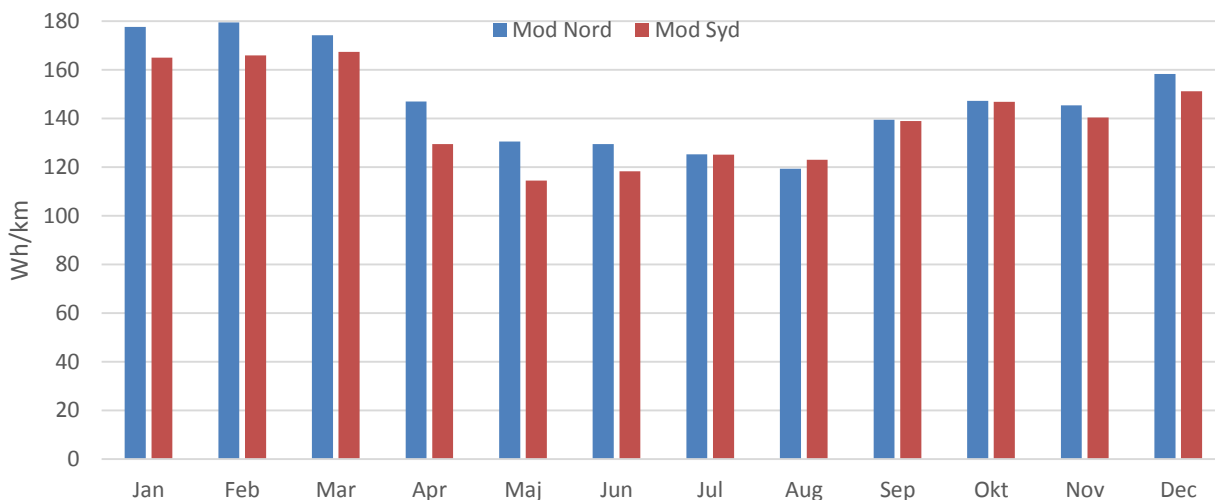
På strækningen kan det se fra Figur 42, at der er en god fordeling af ture over køretøjer, hvor køretøj 1 og 2 har over 100 ture hver, mens resten er fordelt over de sidste 17 køretøjer. Figur 43 viser et klart billede af, at der ikke er den store forskel på kørselsretningerne, men at det er klart at forbruget er mindst om sommeren og højest om vinteren og foråret.

4.7.11. Odense/Otterup

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 939 tilgængelige ture henover året på den 9,5 km lange strækning er vist i hhv. Figur 44 og Figur 45.



Figur 44 Odense/Otterup antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

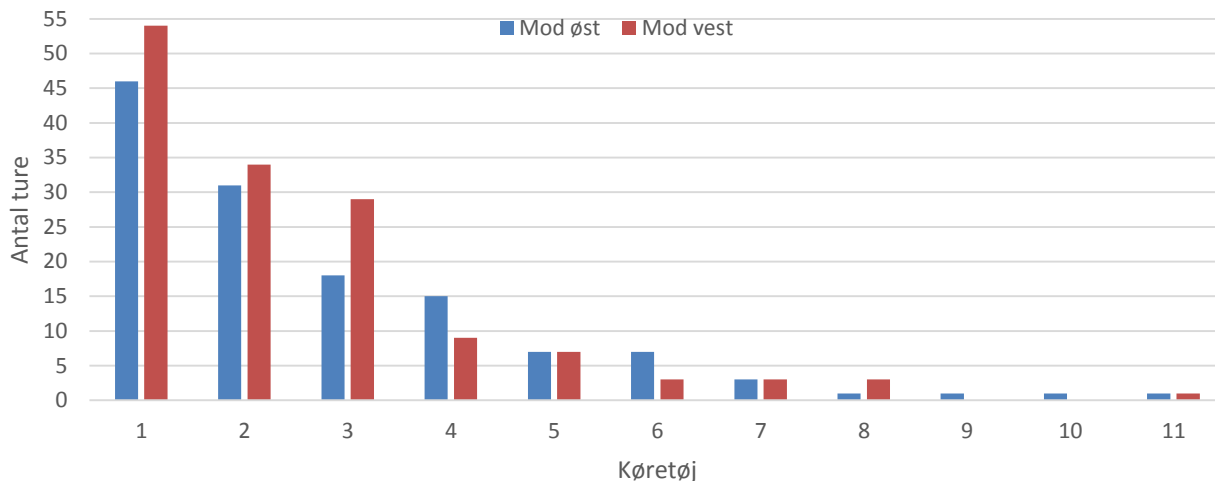


Figur 45 Odense/Otterup forbrug henover året for 2012 og 2013.

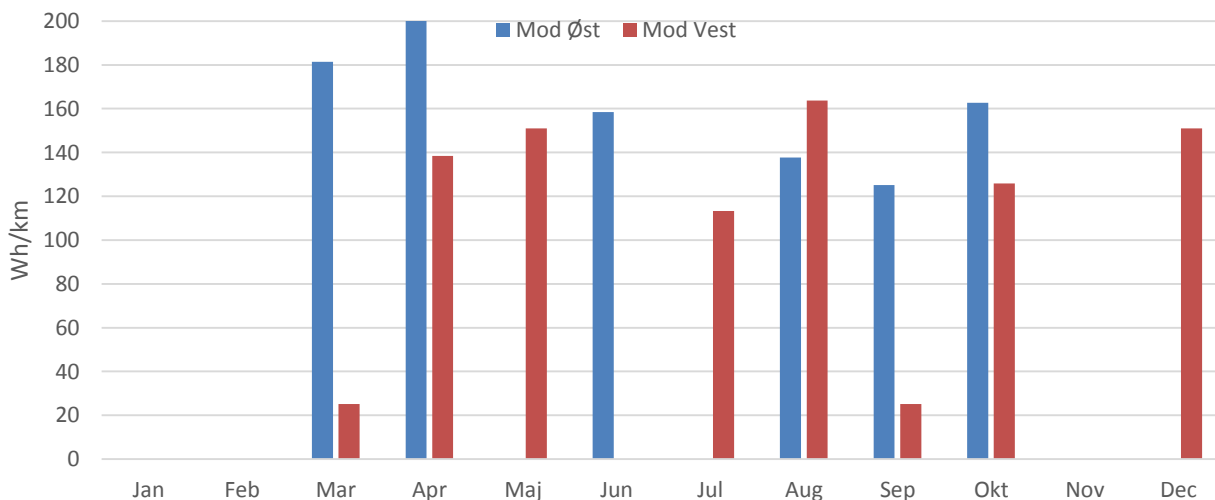
Fra Figur 44 kan det ses, at her er der en flot jævn fordeling af antallet af ture over alle 11 køretøjer. Dette viser sig også i Figur 45, hvor effektforbruget bliver pænt fordelt og giver en glat kurve. Det ses tydeligt, at der er et reduceret forbrug i månederne maj til juli, og at januar til marts er månederne med højest forbrug. Der er ikke store forskelle i forbruget i de to færdselsretninger.

4.7.12. Storebæltsbroen

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 21 tilgængelige ture henover året på den 12,3 km lange strækning er vist i hhv. Figur 46 og Figur 47.



Figur 46 Storebæltsbroen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

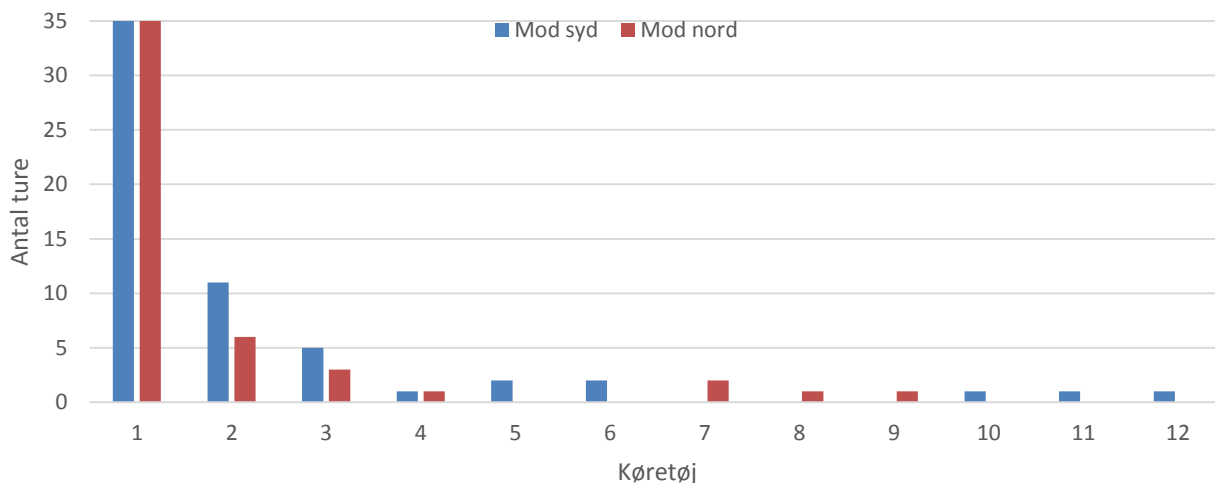


Figur 47 Storebæltsbroen forbrug henover året for 2012 og 2013.

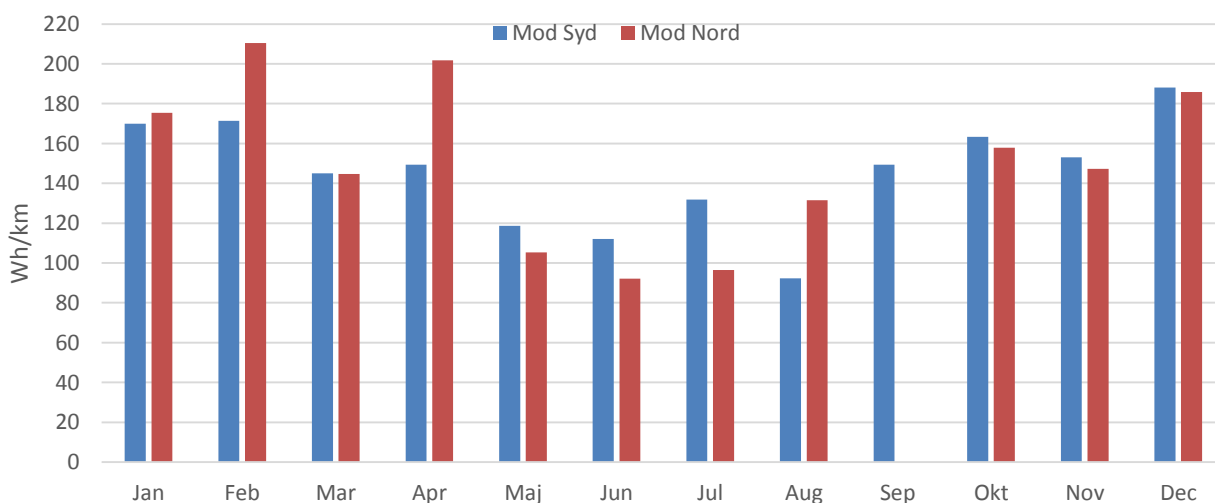
Fra Figur 46 kan det ses, at der er begrænset med køretøjer der har krydset Storebæltsbroen. Dette skyldes muligvis, at det er en relativt lang rejse at krydse Storebælt, når rækkevidden er begrænset. Tre køretøjer har dog leveret en række ture, men de begrænsede data viser sig i Figur 47, hvor kun nogle måneder har data, og i svingende færdssretninger. Det er derfor svært at konkludere noget entydigt på denne strækning.

4.7.13. Sønderborg

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 108 tilgængelige ture henover året på den 17,5 km lange strækning er vist i hhv. Figur 48 og Figur 49.



Figur 48 Sønderborg antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

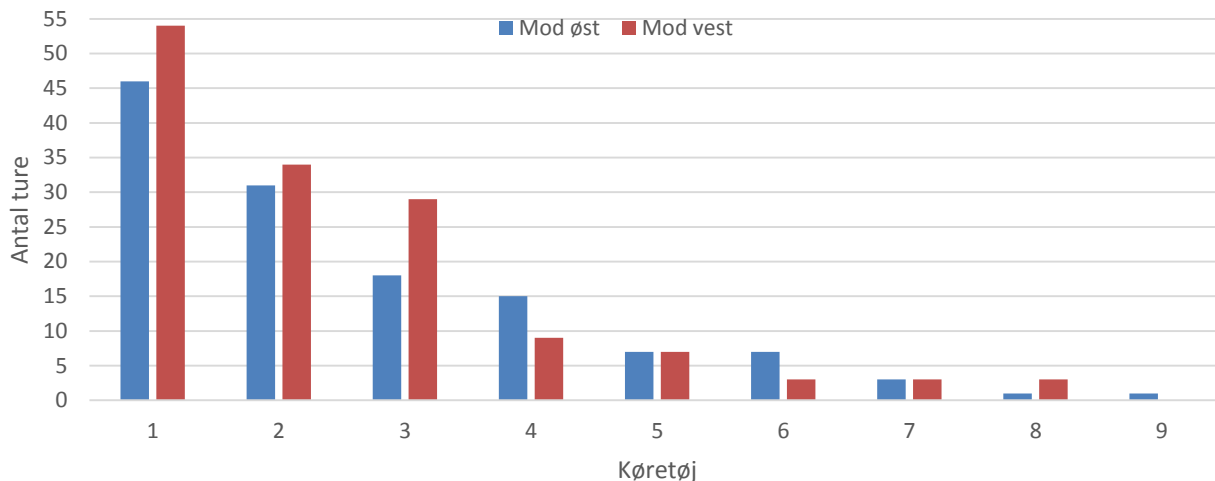


Figur 49 Sønderborg forbrug henover året for 2012 og 2013.

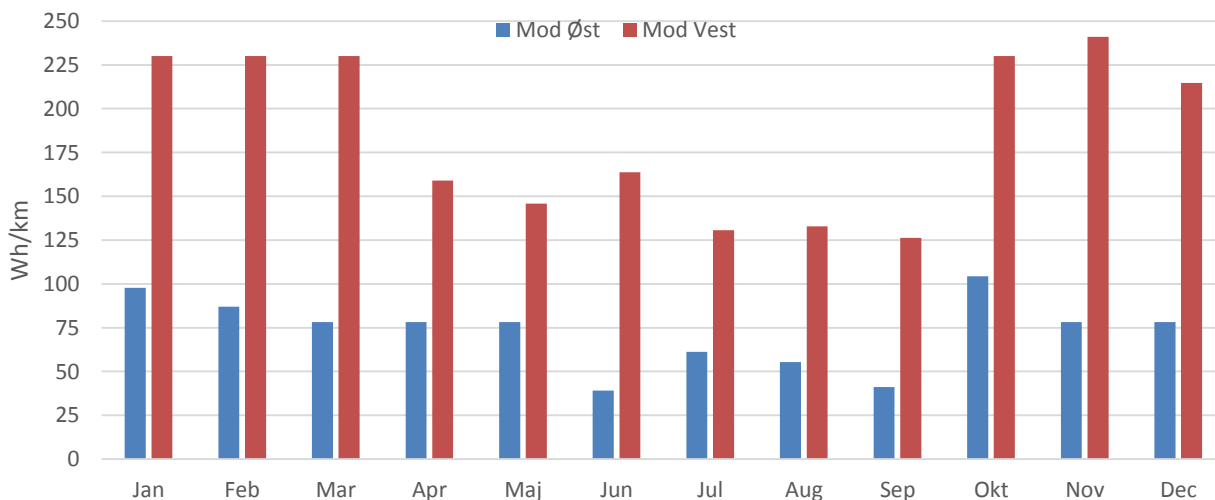
På Figur 48 kan det ses, at det primært er et køretøj, der har leveret målinger fra denne strækning. I Figur 49 kan det ses, at turene er spredt over hele året, dog mangler september måned ture i sydgående retning. Figuren viser, at forbruget er betydeligt lavere i sommermånedene.

4.7.14. Universitetsboulevarden

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 271 tilgængelige ture henover året på den 2,0 km lange strækning er vist i hhv. Figur 50 og Figur 51.



Figur 50 Universitetsboulevarden antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

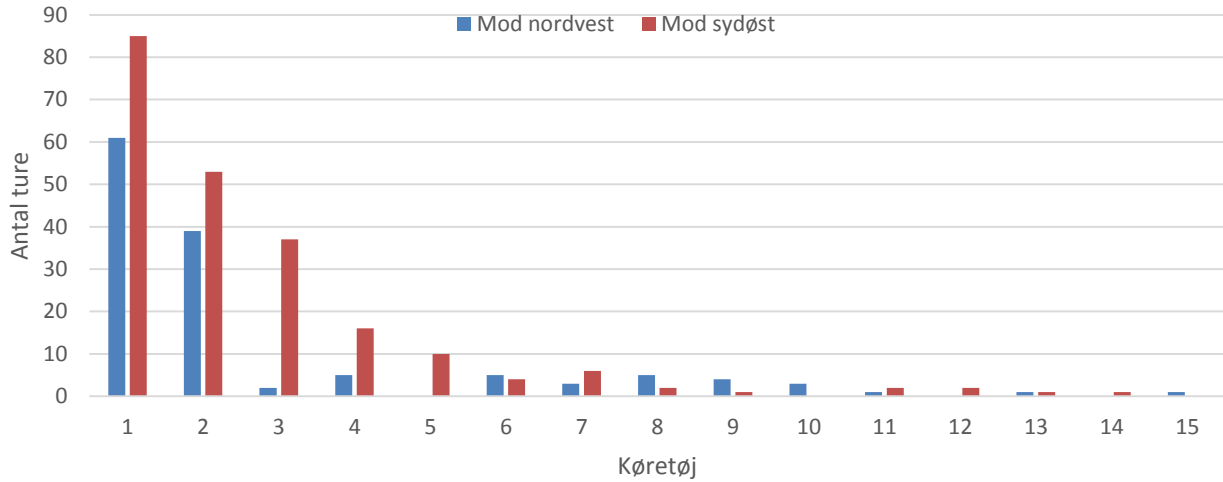


Figur 51 Universitetsboulevarden forbrug henover året for 2012 og 2013.

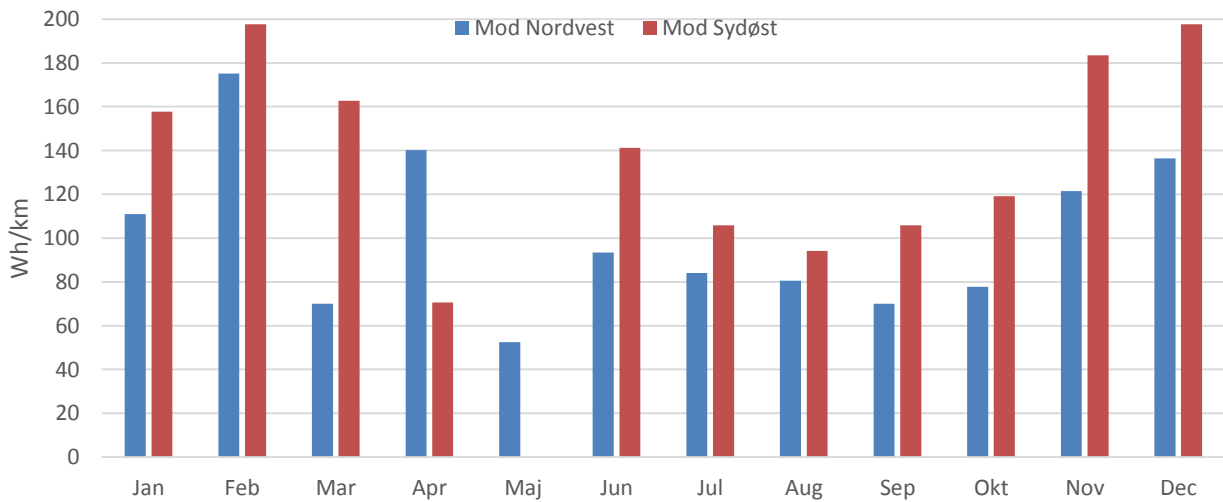
Figur 50 viser, at der er betydeligt mængder data tilgængelig på denne strækning og i begge retninger. Figur 51 viser dog, at energiforbruget i vestgående retning er meget større end i østgående retning, op til en faktor 3 højere. Dette skyldes, at strækningen stiger hele vejen i vestgående retning og derved falder i østgående retning. Dette giver også udslag i, at forbruget i vestgående retning ligger relativt højere end andre strækninger, ofte mellem 200 og 300 Wh/km, mens forbruget i østgående retning er meget lavt, mellem 40 og 100 Wh/km. Der er tegn på en sæsonbetonet variation i forbruget, dog med juni som havende højere forbrug end resten af sommeren mod vest og lavere mod øst.

4.7.15. Varde by

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 350 tilgængelige ture henover året på den 2,2 km lange strækning er vist i hhv. Figur 52 og Figur 53.



Figur 52 Varde by antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.

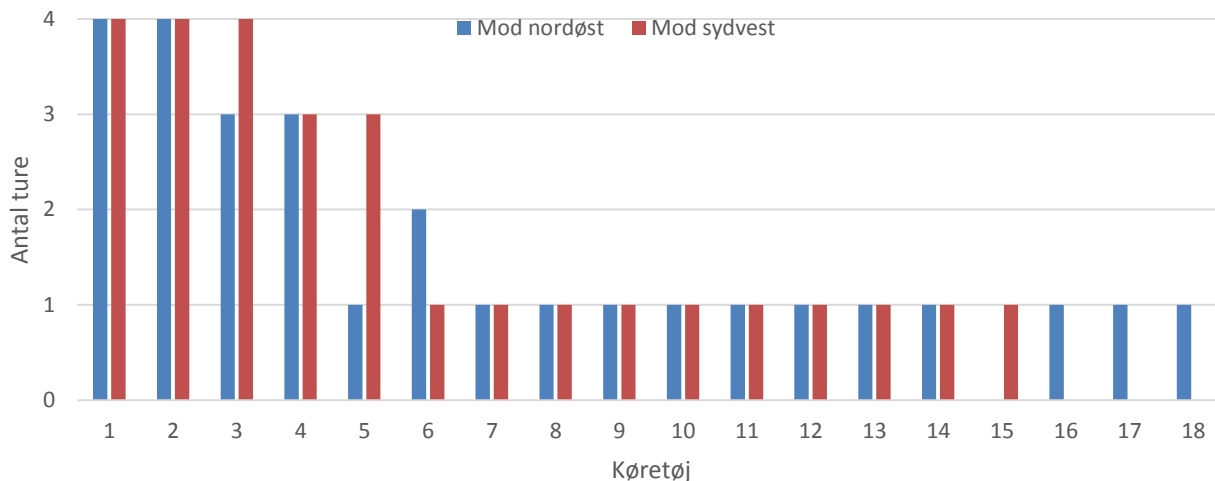


Figur 53 Varde by forbrug henover året for 2012 og 2013.

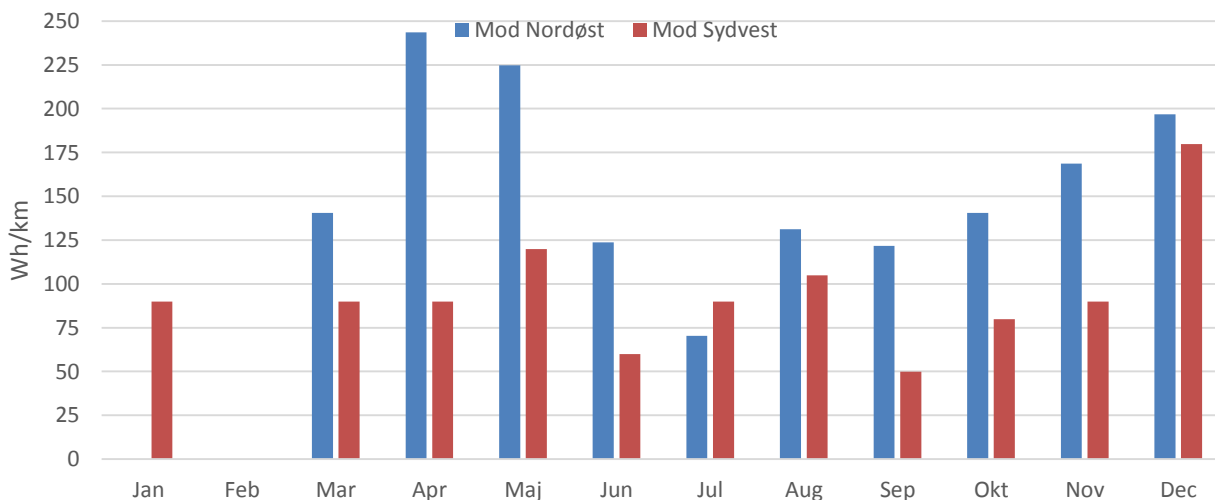
På Figur 52 ses det, at tre køretøjer bidrager med hovedmængden af ture, især i sydøst gående retning. Figur 53 viser, at der oftest er et højere forbrug mod sydøst fremfor mod nordvest, og at forbruget om vinteren er lidt højere.

4.7.16. Vestmotorvejen

Antal ture pr. køretøj og fordelingen af de 56 tilgængelige ture henover året på den 5,5 km lange strækning er vist i hhv. Figur 54 og Figur 55.



Figur 54 Vestmotorvejen antal køretøjer og ture for 2012 og 2013.



Figur 55 Vestmotorvejen forbrug henover året for 2012 og 2013.

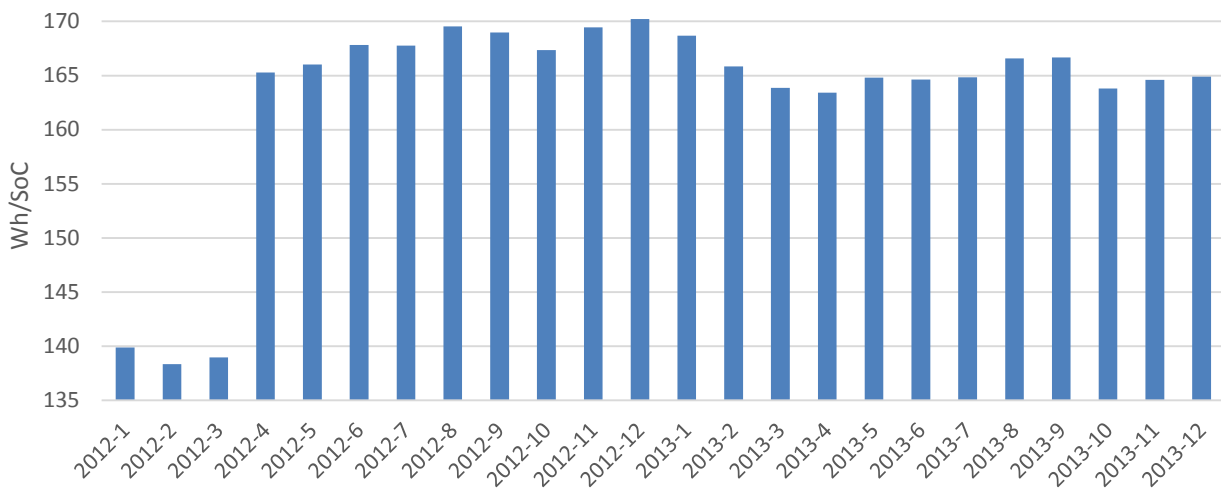
På denne strækning kan det ses fra Figur 54 at der er 18 køretøjer der har passeret strækningen. Fire køretøjer har mindst seks ture, mens to har fire og tre ture og de resterende 12 køretøjer kun har højst to ture, en i hver retning. Figur 55 viser dog, at det tydeligt kan ses at det er mere energikrævende at køre mod nordøst end mod sydvest, men at der ikke helt er noget entydigt sammenhold i forbruget om sommeren sammenlignet med om vinteren.

4.8. Korrelationsanalyser af SoC og EVPower

Det er fra data leverandøren opgivet, at EVPower er upræcis og ikke kan anvendes til analyser (Clever). Derfor er SoC blevet benyttet til analyse af energiforbrug i de hidtil resultater. Følgende vil der blive analyseret på, hvorvidt og hvor stor fejlmarginen på EVPower faktisk er. Dette gøres ved at tage udgangspunkt i, at 1 SoC er blevet oplyst til at svare til 154Wh forbrug.

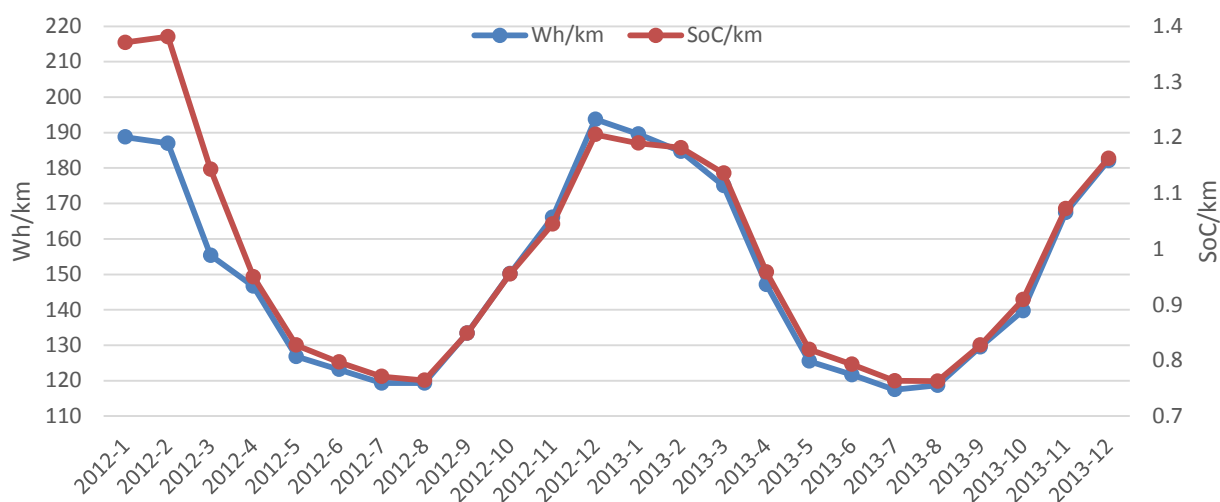
4.8.1. Forbrug over perioder

Dataleverandøren (Clever) beskriver, at udstyret og softwaren brugt til at logge data er blevet opdateret og forbedret løbende. Derfor er det undersøgt om der er en udvikling i forholdet mellem Wh og SoC over de to år i perioden. Alle ture med længden mindst 2 SoC er benyttet og grupperet på månedsbasis. Forbruget Wh/SoC er beregnet ud fra gennemsnittet af hver turs forhold mellem antal SoC brugt og Wh brugt.



Figur 56 Udvikling i Wh/SoC over 2012 og 2013.

Figur 56 viser, at der faktisk har været en udvikling i forholdet mellem EVPower og SoC. I januar, februar og marts 2012 lå forbruget pr. SoC på under 140 Wh, mens fra april 2012 til februar 2013 lå det gennemsnitlige forbrug på mellem 165 og 170 Wh/SoC. Siden marts 2013 har forbruget ligget rimeligt jævnt omkring 165 Wh/SoC. Nærmere analyser viser, at skiftet i forbruget sker den 2. april 2012, hvor forbruget ligger på 150 Wh/SoC og derefter ligger det stabilt over 160 Wh/SoC.



Figur 57 Udviklingen i Wh/km og SoC/km. Bemærk at SoC/km benytter den sekundære justerede y-akse.

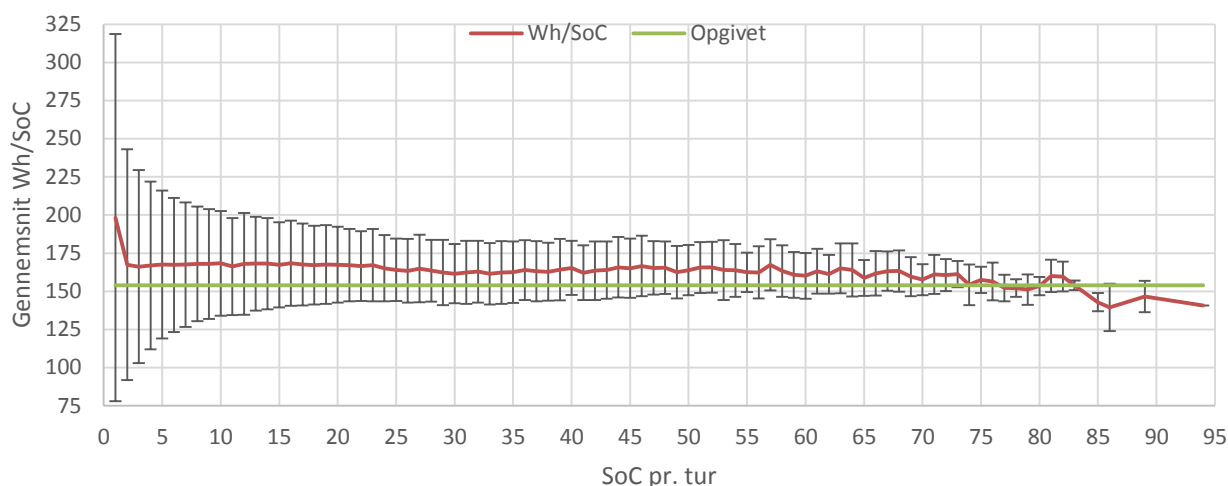
Figur 56 viser en sammenligning af SoC og EVPower, og der ses en forskydning i data fra marts 2012 til april 2012. For at vurdere på de to variable, SoC og EVPower, individuelt er disse normaliseret i forhold til hver turs længde, og gennemsnitsforbruget i Wh/km, den blå graf, og SoC/km, den røde graf, er vist på Figur 57. Bemærk venligst, at værdierne for den røde SoC/km graf tilhører den højre y-akse. Bemærk også, at de to grafer *ikke* kan sammenlignes direkte, men er justeret ud fra resultaterne fra i august 2012 til februar 2013 og at de ligger oven i hinanden skyldes denne justering af de to y-akser. Justeres eksempelvis i forhold til de første tre måneder, vil graferne fra april 2012 være forskudte vertikalt.

Det kan ses ud fra Figur 57 er, at hvis man justerer de to y-akser ind efter de to grafer, så stemmer forbruget Wh/km og SoC/km meget godt overens for perioden fra april 2012 og frem. For perioden januar og februar 2012 viser graferne, at værdierne for SoC/km forbruget er markant højere end for resten af perioden, og at for perioden januar, februar og marts 2012 er målingerne af forbruget højere end de tilsvarende målinger med Wh/km. Hvorvidt EVPower eller SoC er fejlbehæftet og blevet opdateret i starten af april 2012 kan ikke konkluderes ud fra disse analyser, men Figur 57 indikerer, at EVPower er mere jævn over hele perioden, mens SoC har nogle udsving i de første tre måneder af 2012.

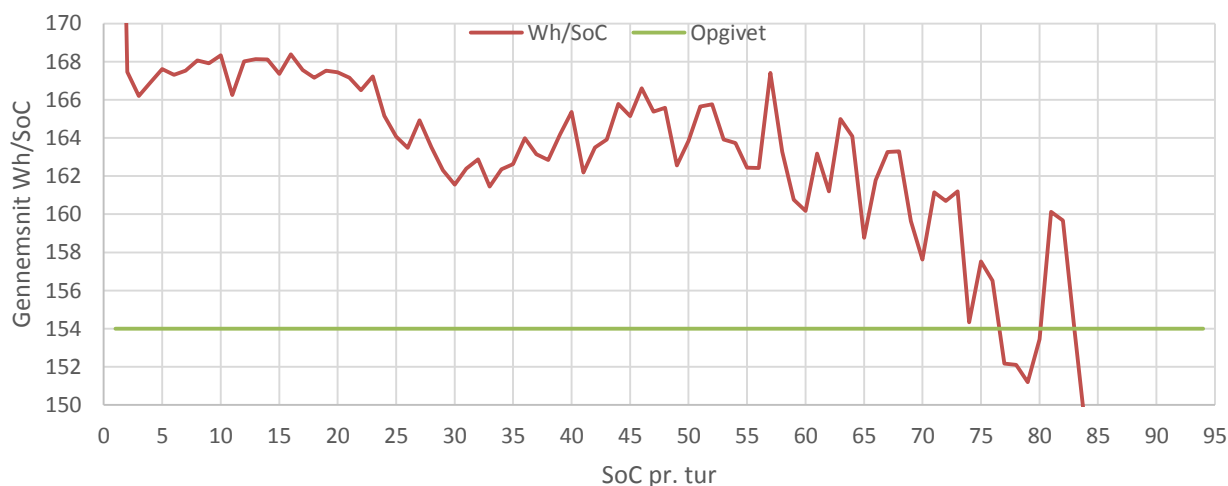
På grund af denne usikkerhed med data i perioden januar til marts 2012, vil resten af afsnittet kun være baseret på data fra 3. april 2012 til 31. december 2013-12-31. Det betyder, at 28.098 ture bliver sorteret fra og at 216.408 ture er tilgængelige for resten af analyserne.

4.8.2. Sammenligning af ture

SoC er en forholdsvis grov måleenhed, da det er et heltal og en ændring på 1 SoC sker først ved kørsel over en strækning på omkring 1 km. Da SoC kun har 100 intervaller fra et batteri er fuldt opladet til helt tomt, mens EVPower registreres hvert sekund, kan det forventes at jo flere SoC en tur indeholder, jo mere præcis bliver forholdet mellem SoC og EVPower. I det følgende er der taget udgangspunkt i sammenligning af alle 216.408 ture med elbil.

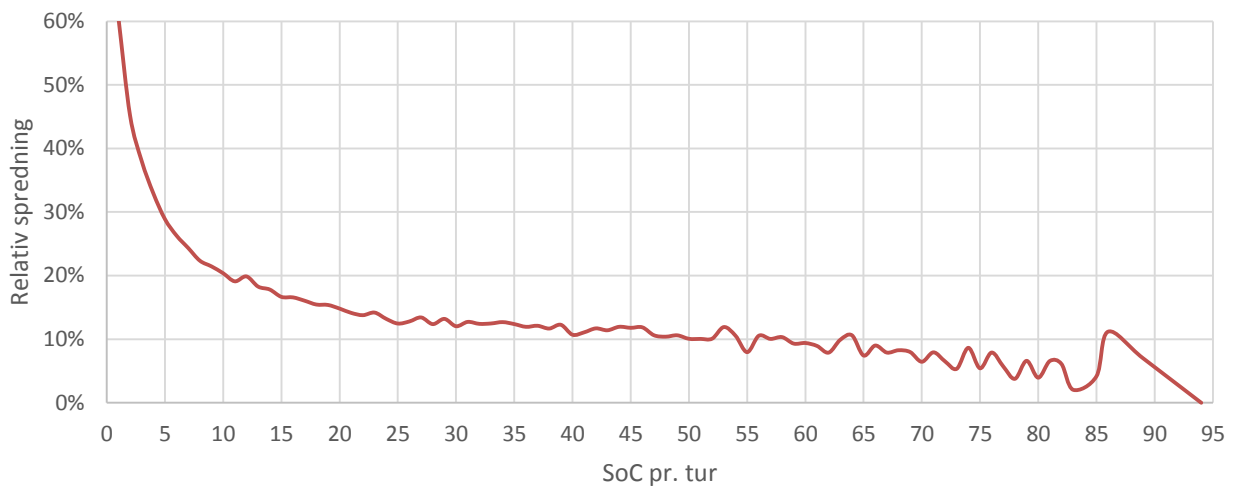


Figur 58 Forhold og spredning mellem *Wh* og *SoC* i forhold til antal *SoC* pr. tur sammenlignet med det opgivne forhold.



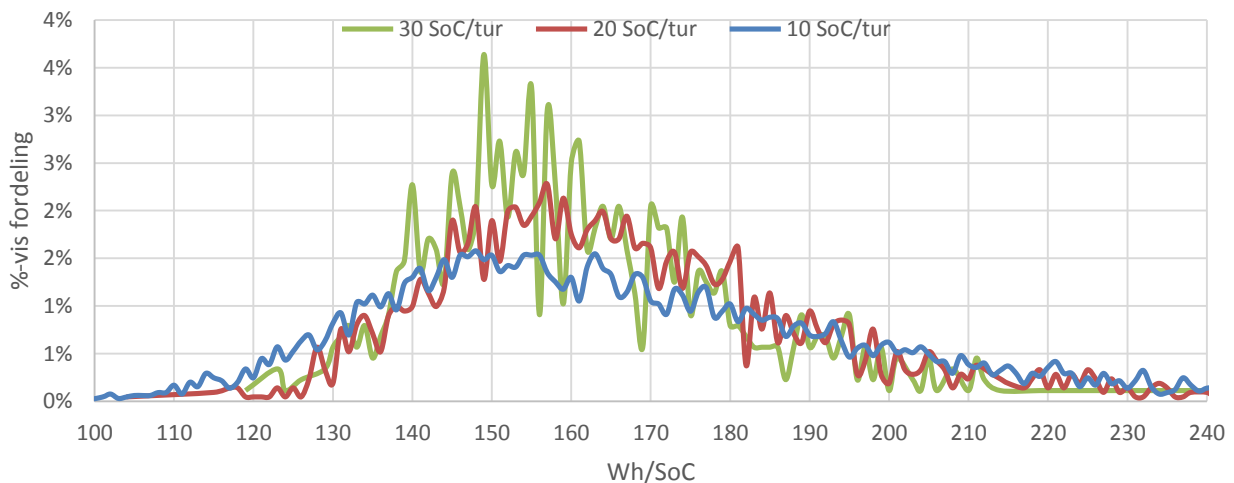
Figur 59 Forhold mellem *Wh* og *SoC* i forhold til antal *SoC* pr. tur sammenlignet med det opgivne forhold.

På Figur 58 vises forholdet mellem *SoC* og *EVPower* med den røde graf. Ud af x-aksen vises, hvor mange *SoC* der er brugt pr. tur og op ad y-aksen vises det gennemsnitlige *Wh/SoC* forbrug. De sorte barer viser en standardafvigelse (σ) spredning, og den grønne graf viser det prædefinerede forbrug på 154 *Wh/SoC*. Den røde graf viser, at ved 1 *SoC/tur* ligger gennemsnitsforbruget på 195 *Wh/SoC* og spredningen er ganske stor, +/-116 *Wh/SoC*. Men allerede fra 2 *SoC/tur* og opad bliver gennemsnitsforbruget meget stabilt og ligger indenfor 10 *Wh/SoC* fra den grønne opgivne graf. Som forventet, så bliver spredningen mindre og mindre jo længere turen bliver (*SoC/tur*). Figur 59 viser mere detaljeret forbruget forholdet mellem *Wh/SoC* og hvor mange *SoC* der benyttes pr. tur. Her ses det igen, at allerede fra 2 *SoC* ligger forbruget på 164 *Wh/SoC*, beregnet ud fra *EVPower* og forbruget pr. *SoC* svinger derefter mellem 159 og 165 *Wh/SoC*.



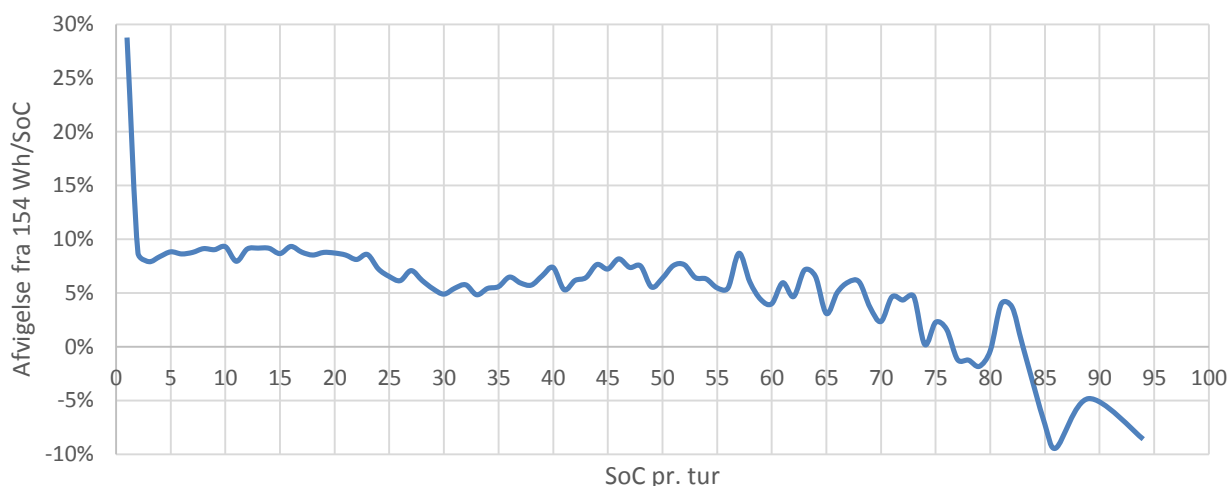
Figur 60 Den relative spredning ift. *SoC/tur*.

For at vise, hvor stor spredningen af målingerne er for forskellige længder af ture, er den relative spredning vist i Figur 60. Her kan det ses, at fra 10 *SoC/tur* ligger en normalfordeling (68 % af alle ture) indenfor +/- 20 % fra gennemsnittet, hvilket tyder på en stor sikkerhed i forholdet mellem *EVPower* og *SoC*. Fra 20 *SoC/tur* ligger en normalfordeling indenfor 15 % og sikkerheden stiger med antallet af *SoC/tur*.



Figur 61 Fordeling af *Wh/SoC* for ture af længden 10, 20 og 30 *SoC*.

For at man kan vurdere på standardafvigelser og sikkerheder er det nødvendigt at bestemme om data er normalfordelte. Figur 61 viser fordelingen af ture ift. forholdet mellem *Wh* og *SoC*. Der er vist tre eksempler af forskellig længde, nemlig 10 *SoC/tur*, hvor der er 7.343 ture, 20 *SoC/tur*, hvor der er 2.459 ture og 30 *SoC/tur*, hvor der er 996 ture. Som det kan ses fra Figur 61 ligger fordelingen af *Wh/SoC* ganske ens for de tre tur længder, og klokkeformen for de tre grafer viser, at der er tale om rimeligt normalfordelte ture.



Figur 62 Sammenligning af de opgivne 154 Wh/SoC med Wh/SoC for forskellige tur længder.

For at sammenligne Wh/SoC for forskellige tur længder med de opgivne 154 Wh/SoC viser Figur 62 den procentvise afvigelse af de målte Wh/SoC med de opgivne 154 Wh/SoC. En positiv afvigelse betyder, at den målte gennemsnitlige Wh/SoC ligger over 154 Wh/SoC, mens en negativ afvigelse ligger under. Det kan ses fra Figur 62, at ved 1 SoC/tur ligger afvigelsen på 27 %, hvilket ikke er overraskende pga. den grove granularitet af SoC. Derimod ligger afvigelsen allerede fra 2 SoC/tur på højst 7 %, hvilket tyder på ganske solide data. Det er overraskende, at afvigelsen ikke er større, men også at den er så konsekvent. Det tyder på, at der er en stabil og høj korrelation mellem EVPower og SoC.

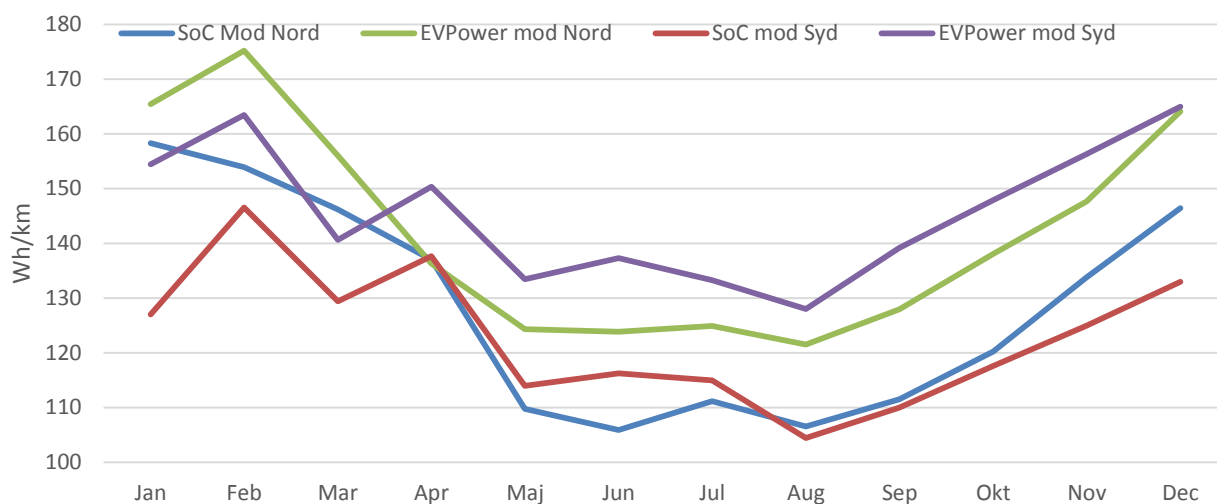
4.8.3. Sammenligning af SoC og EVPower vha. strækingsanalyser

I dette afsnit analyseres fire udvalgte strækninger fra Sektion 4.7 igen. Her vil forbrugsanalyserne blive udvidet med strømforbruget beregnet vha. EVPower og sammenlignet med det tidligere viste forbrug vha. SoC. De røde og blå farver går igen, som værende forbruget beregnet vha. SoC, og grønne og lilla grafer viser forbruget beregnet vha. EVPower.

Begge kørselsretning og forbrugsberegningmetoder i vist en én graf, og graferne der skal sammenlignes er den blå mod den grønne og den røde mod den lilla, da forbruget i hver kørselsretning kan være forskelligt.

4.8.3.1. Esbjerg - Varde

Forbruget udregnet vha. både SoC og EVPower på den tidligere analyserede strækning, Esbjerg-Varde, vises på Figur 63.

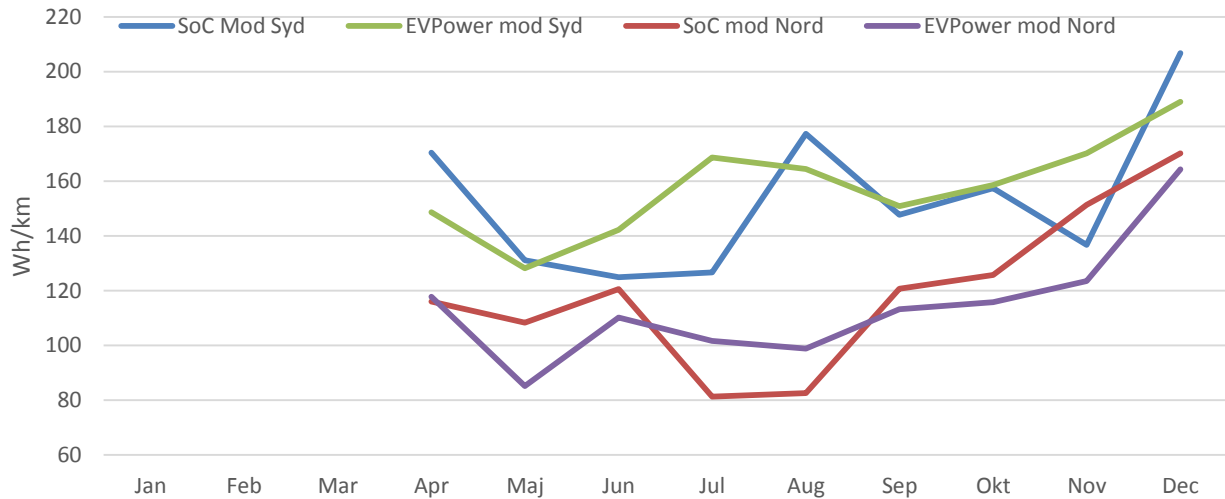


Figur 63 Esbjerg-Varde forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. SoC og EVPower.

Det kan ses, at der er en stor overensstemmelse mellem SoC og EVPower. Begge måleenheder viser, at et reduceret forbrug om sommer sammenlignet med om vinteren. Der er en tendens til, at EVPower viser et lidt forøget forbrug pr. km, især fra maj måned og frem.

4.8.3.2. Limfjordstunnelen

Forbruget udregnet vha. både SoC og EVPower på den tidligere analyserede strækning, Limfjordstunnelen, vises på Figur 64.

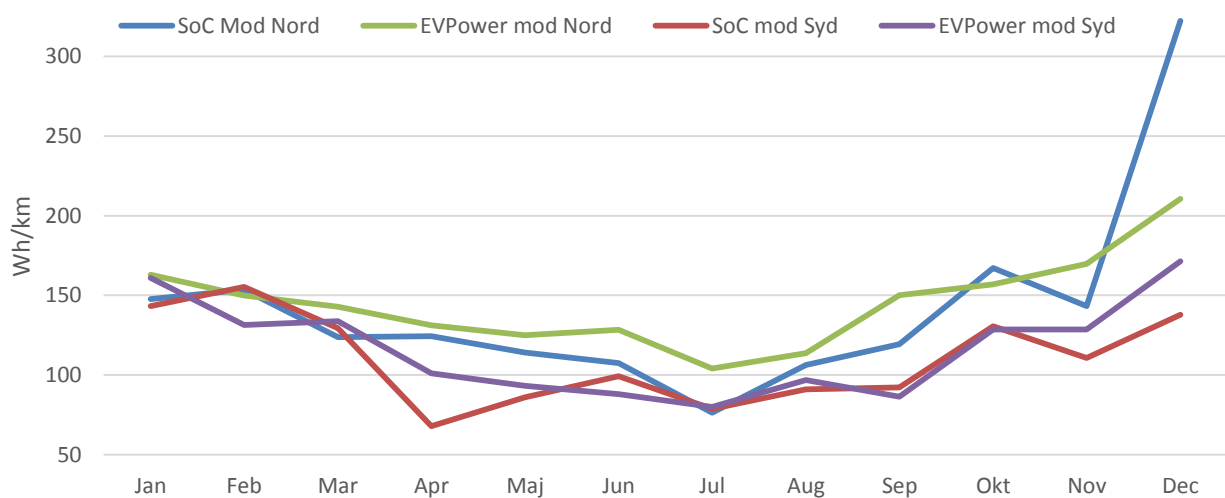


Figur 64 Limfjordstunnelen forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. SoC og EVPower.

På denne strækning er der kun data tilgængelig fra april måned, og det kan ses, at SoC og EVPower skiftevis viser et højest forbrug. Det kan dog ses, at trafik i nordgående retning har et lavere forbrug beregnet både vha. SoC og EVPower, mens forbruget i sydgående retning er højere.

4.8.3.3. Næstved by

Forbruget udregnet vha. både SoC og EVPower på den tidligere analyserede strækning, Næstved by, vises på Figur 65.

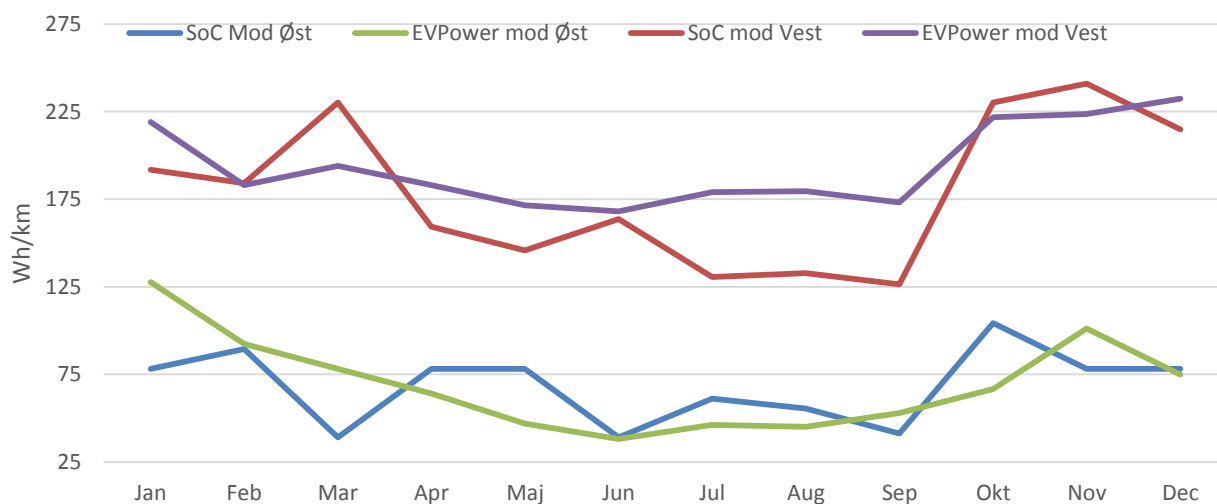


Figur 65 Næstved by forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. SoC og EVPower.

Forbruget beregnet vha. *SoC* og *EVPower* ligger ganske tæt på denne strækning, og de to metoder er enige om, at forbruget i nordgående retning er højere end i sydgående retning. *EVPower* viser dog ikke det kraftige udslag i december, som *SoC* viser.

4.8.3.4. *Universitetsboulevarden*

Forbruget udregnet vha. både *SoC* og *EVPower* på den tidligere analyserede 2 km strækning, Universitetsboulevarden, vises på Figur 66.



Figur 66 Universitetsboulevarden forbrug henover året for 2012 og 2013 udregnet vha. *SoC* og *EVPower*.

På denne strækning er der god korrelation mellem forbruget beregnet vha. *SoC* og *EVPower*. Forbruget er klart større i vestgående retning med begge beregningsmetoder.

5. Diskussion

Dette kapitel diskuterer de resultater, der er præsenteret i det forgående kapitel 4 og datagrundlaget, der er præsenteret i kapitel 2 og 3. Først diskuteres datagrundlaget. Herefter er der en diskussion af brugen af elbiler. Hvor der er data fra både el- og brændstofbiler sammenlignes disse.

5.1. Datagrundlaget

Data kommer fra tre meget ens elbiler (se Tabel 2 og Tabel 3). Det er valgt at slå data fra alle elbiler sammen, da datagrundlaget ikke er stort nok til f.eks. at kunne lave en sammenligning af forbruget for en Citroen C-Zero mod en Peugeot Ion. Det kan ses af Figur 1, at 61 % af data er opsamlet i 2012 (ca. 110 millioner målinger) mod ca. 39 % i 2013 (ca. 70 millioner målinger).

Kapitel 3.1 beskriver rensningen af GPS data. Når datagrundlaget først er læst ind kan der efterfølgende foretages en rensning for velkendte fejl mht. GPS. Her er der generelt få fejl i data mht. duplikater, manglende hastighed og forkert tidspunkt (se Tabel 9). Der er ingen kvalitets forskel på 2012 og 2013 data.

Kapitel 3.2 beskriver rensning af CAN bus data, hvor der anvendes tre hovedregler på værdierne *SoC*, *EVPower* og *Odo*. Knap 87 % af rækker med CAN bus data kan anvendes. Dette vurderes som et rimeligt resultat. Der er ingen kvalitets forskel på 2012 og 2013 data.

Ud fra Figur 3 og Figur 4 kan udviklingen i dækning af data for hele Danmark ses på et kort. Der er i løbet af 2013 hovedsagligt kommet mere data, hvor der allerede var data fra 2012. Det vil sige, at motorvejene samt de primære og sekundære veje er godt dækket ind med data på hhv. 96 %, 75 % og 78 % af alle segmenter (se Tabel 11). Det kan ses af tabellen, at med 2012 data er det overordnede vejnet allerede godt dækket og at dækningen på de mindre veje forbedres med 2013 data. Tabel 12 viser, hvor mange segmenter der er data på for i 2012 og i 2012-2013

5.2. Brugen af elbiler

Figur 5 viser længden af ture, der køres med elbil versus med brændstofbil. Generelt er fordelingen af længden på turene meget ens, dog med generelt kortere ture for elbiler. Dette er som forventet, da elbiler har en mindre rækkevidde end brændstofbiler og dermed må forventes at elbiler anvendes mere til kortere ture. Figur 6, Figur 7, Figur 8 og Figur 9 viser fordelingen af længden af ture i hhv. vinteren, foråret, sommeren og efteråret. Disse fire grafer er overraskende ens. Der er altså ikke tale om at nogle af de korte ture med elbil/brændstofbil i foråret eller sommeren erstattes med f.eks. cyklen.

Figur 10 viser den kumulative fordelingen på længden af ture med el- og brændstofbil. For elbiler er 88 % af turene under 20 km og 99 % af turen under 45 km. For brændstofbiler er 79 % af turen under 20 km og 92 % af turene under 45 km. Der køres altså længere ture i brændstofbiler sammenlignet med elbiler.

Figur 11 viser, hvor mange *kWh* der anvendes pr. tur. Der er ganske få ture der anvender over 8 *kWh*, som er 50 % af batteriet kapacitet. Bortset fra at der med 2013 data er kommet flere ture er energiforbruget pr. tur meget ens for 2012 og for 2012-2013 data. Figur 12 og Figur 13 ser på energiforbruget pr. tur for de fire sæsoner. Begge figurer viser, at der kun er mindre forskelle på forbruget pr. tur henover året.

Figur 14 viser den gennemsnitligt turelængde ift. *kWh* forbruget. Det kan ses, at ture der er kørt om vinteren med et forbrug på 5 *kWh* har kørt ca. 29 km i gennemsnit, mens ture om sommeren der har brugt

5 kWh har kørt ca. 40 km. Dette er som forventet, at det er højere energiforbrug pr. km om vinteren end om sommeren. Figuren viser, at forbruget pr. km er meget ens for forår og efterår. Figur 15, Figur 16, Figur 17 og Figur 18 viser den gennemsnitlige turlængde for vinter, forår, sommer og efterår. Figurerne viser, at spredning er en anelse mindre om sommeren end om vinteren.

Figur 19 viser hastighederne hvormed el- og brændstofbiler kører med på motorveje. Generelt kører elbiler 10-15 km/t langsommere end brændstofbiler på motorveje. Dette gør sig gældende henover hele året. Bemærk at i december 2012 er hastigheden lavere for både el- og brændstofbiler. Denne ændring antages, at skyldes sne og is på vejene.

Figur 20 viser hastigheden hvormed el- og brændstofbiler kører med i byerne. Figuren viser, at der i byerne ikke er nogen forskel på el- og brændstofbiler, elbilerne kører dog generelt en anelse hurtigere end brændstofbilerne. Bemærk at i februar 2013 er afvigelsen i hastigheder højere for brændstofbiler.

Figur 21 og Figur 22 viser, hvor mange kilometer, der tilsammen køres på et døgn i elbil. Det ses, at meget få bilister kører mere end 100 km i døgnnet. Bemærk dog, at der er fire døgn, hvor elbiler har kørt mere end 450 km på et døgn med en rekord på 739 km i en elbil i løbet af et døgn.

Figur 23 viser, hvor mange ture der køres pr døgn. På langt de fleste døgn køres der mellem 1 og 8 ture med det mest typiske værende 2 ture i døgnnet. Det skal her bemærkes, at hvis en bilist f.eks. stopper i børnehaven til og fra arbejde fås i alt 4 ture på et døgn.

5.3. Elbilers forbrug

Figur 24 til Figur 55 viser elbilers forbrug for 16 strækninger, hvor der er forholdsvis mange ture fra flere forskellige elbiler.

5.3.1. Motorvejskørsel

Der er fire strækninger på motorveje. Dette er Køgebugt Motorvejen (Figur 33), Limfjordstunnelen (Figur 37), Storebæltsbroen (Figur 46) og Vest Motorvejen ved Slagelse (Figur 55). For Storebæltsbroen er der 21 ture og for Vest Motorvejen er der 56 ture. Dette vurderes til ikke at være ture nok til, at disse strækninger alene kan anvendes i yderligere diskussioner.

Forbruget for de 392 ture henover året på Køgebugt Motorvejen er vist i Figur 33. Figuren viser, at når der køres mod nordøst anvendes ca. 150 Wh/km. Der er på Køgebugt Motorvejen betydelige trængselsproblemer og der har ikke været ture nok på denne strækning til at kunne lave en opdeling i myldretid versus ikke-myldretid. Generelt er forbruget på Køgebugt Motorvejen lidt lavere når der køres mod sydvest. Bemærk at november er anderledes, dette tilskrives meget få ture i denne måned. Desværre er der ikke ture for alle måneder, derfor kan Figur 33 ikke alene bruges til at sige noget om hvordan forbruget ændrer sig hen over året. Det skal dog bemærkes, at forbruget er lavest i maj og juni.

Forbruget henover året for de 296 ture gennem Limfjordstunnelen er vist i Figur 37. Antallet af ture er generelt højt og fordelt over hele året. For turene i nordgående retning er forbruget lavest i maj-juli måned og højest i januar, februar, april, november og december. Forbruget i sydlig retning er betydeligt højere, hvilket skyldes bakker. Igen er forbruget lavest i de varmere forår- og sommermåneder og højest i efterår- og vintermånederne.

Det er ikke muligt at sammenligne *Wh/km* forbruget for Køgebugt Motorvejen og Limfjordstunnelen fordi Køgebugt Motorvejen har mere trængsel og Limfjordstunnelen har større højdeforskel.

5.3.2. Mindre veje

Forbruget ved kørsel på mindre veje er bedst belyst med i alt otte strækninger. På tre af disse er der data for alle måneder. Disse tre strækninger ses der nærmere på i det efterfølgende. På strækningen Esbjerg/Varde er der i alt 1025 ture som vist på Figur 25. På Næstved/Køgevej er der 423 ture som vist på Figur 43. På Odense/Otterup er der 939 ture som er vist på Figur 45.

Fælles for disse mindre veje med mange ture og forskellige biler er at maj-september måneder har det lavest forbrug og vintermånederne har det højeste forbrug. Der er dog generelt udsving f.eks. maj og august måned for Næstved/Køgevej i vestlig retning og oktober måned i sydlig retning for Odense/Otterup. Det er også værd at bemærk, at forbruget typisk ikke er det samme i begge retninger på disse strækninger. Dette tilskrives højdeforskelle og vindretningen.

Med data for både 2012 og 2013 er der foretaget to analyser på længere strækninger. Det drejer sig om strækningerne Langeskov (21,4 km) og Sønderborg (17,5 km). På Sønderborg strækningen er forbruget mod syd i januar, november og december mellem 170 og 188 *Wh/km*. På Langeskov strækningen er forbruget 164 *Wh/km* mod øst i januar. Disse tal stemmer forholdsvis godt overens med forbruget i de tilsvarende måneder for Esbjerg-Varde (8,7 km) og Odense-Otterup (9,5 km) strækningerne, hvor der er mange flere ture. Der er altså ikke umiddelbart nogen yderligere information at få ved at gøre strækningerne, der anvendes i analyserne længere. Det vurderes derfor, at strækninger på 8-9 kilometer giver en god indsigt i, hvordan forbruget på en strækning varierer henover året.

5.3.3. Byveje

Der er med både 2012 og 2013 data lavet strækningsanalyser på fire by strækninger. Dette drejer som om Esbjerg by strækningen med 399 ture og vist i Figur 27, Næstved by strækningen med 466 ture og vist i Figur 41, Universitetsboulevarden med 271 ture som vist i Figur 51, og Varde by strækningen med 350 ture og vist i Figur 53. Disse er de fire strækninger i byer af minimum 2 km længde, hvor der er flest ture.

Universitetsboulevarden er speciel fordi der her er en stigning mod vest og denne strækning vil blive beskrevet selvstændigt. Når man ser på de generelle træk for de tre andre strækninger kan det ses, at vintermånederne (som for de mindre veje) generelt har et højere forbrug pr. km end sommermånederne. Den generelle tendens er også, at hvor energiforbruget på mindre veje er omkring 100-110 *Wh/km* om sommeren er det lidt lavere i byerne specielt for Varde By med ca. 70-90 *Wh/km*. Det antages at denne forskel i forbruget på byveje og mindre veje skyldes den lavere hastighed i byerne.

For Næstved by og Varde by er der større udsving henover året sammenlignet med de mindre veje. Dette tilskrives at disse ruter er forholdsvis korte hhv. 2,1 og 2,2 km hvor i mod ruterne for de mindre veje er over 8 km. For byvejene vil der derfor opstå større udsving når *SoC* anvendes til at beregne energiforbruget fordi en *SoC* fra eller til har relative højere betydning på kortere ruter sammenlignet med længere ruter.

Universitetsboulevarden, vist på Figur 51, har et meget forskelligt forbrug i østlig og vestlig retning pga. en lang bakke i vestlig retning. I vestlig retning er forbruget i januar, februar, marts, oktober, november og december meget ens på mellem 215 og 240 *Wh/km*. Sammenlignet med Esbjerg by i Figur 27 februar, november og december mellem 135 og 145 *Wh/km*. I østlig retning er forbruget typisk 2,5 -3,0 lavere med

juni som et ekstrem, hvor forbruget er mere end 4 gange højere ved at køre mod vest sammenlignet med mod øst. Stigninger koster naturligvis i energiforbrug både for el- og brændstofbiler. Desværre er der ingen forbrugstal tilgængeligt for brændstofbiler. Bemærk at Universitetsboulevarden er forskellig fra de tre andre by strækninger, da den er tosporet, har to rundkørsler og er en større indfaldsvej med hastighedsgrænser på hhv. 60 og 80 km/t. Universitetsboulevarden er klassificeret som en byvej fordi den ligner disse veje mest sammenlignet med de øvrige mindre veje og motorvejsstrækninger.

5.4.Sammenligning af SoC med EVPower

Kapitel 4.8 sammenligner energiforbruget vha. den grove enhed SoC og EVPower.

Figur 56 (og Figur 59) viser, at 165 Wh/SoC generelt er et bedre estimat end de 154 Wh/SoC, hvis EVPower værdierne er nøjagtige og at der udelukkende ses på forbruget efter marts 2012. Ændringen i forbruget fra marts 2012 til april 2012 antages, at skyldes en software opdatering i den måde målinger læses og beregnes på i dataloggerne. Figur 57 viser, at det muligvis er SoC, der er blevet forbedret fra april 2012, da denne indtil da har rapporteret et større forbrug end for resten af perioden. Derfor er kun data fra 3. april 2012 og fremad brugt til de efterfølgende analyser af forholdet mellem SoC og EVPower.

Figur 58 viser svagheden ved at anvende SoC til at beregne energiforbruget for korte ruter med et forbrug på 1 SoC eller derunder. Afvigelsen bliver kort og godt for stor på disse korte ruter og derfor bør SoC ikke anvendes som et mål for energiforbruget på korte ture. Til gengæld viser figuren også, at allerede ved et forbrug på 4-5 SoC er afvigelsen iht. at anvende EVPower stabil. Bemærk i Figur 59, at forbruget beregnet ved EVPower generelt er højere end forbruget beregnet vha. SoC og at forbruget beregnet vha. EVPower er rimeligt stabilt allerede fra 2-3 SoC.

Figur 60 viser spredningen ved beregning af energiforbruget for en tur vha. hhv. SoC og EVPower. Figuren viser, at ved ture, der anvender under 10 SoC er spredningen høj, men at denne spredning konvergerer mod ca. 10 %.

Figur 61 viser fordelingen af Wh/SoC for ture, der anvender 10, 20 og 30 SoC. Da figuren dækker alle fire årstider varierer forbruget for en SoC mellem ca. 100 Wh og 240 Wh med et maksimum mellem 140 og 160 Wh/SoC. Grafen for 10 SoC har færre udsving fordi der er flest ture med dette forbrug. Figur 61 viser klart svagheden ved at anvende SoC som en indikator for energiforbruget på en tur fordi der er meget store variationer i hvor mange Wh en SoC svarer til.

Figur 62 viser, hvor godt et estimat det er at anvende 154 Wh/SoC. Dette er generelt en stabil indikator for energiforbruget da afvigelsen er konstant med ca. 5 % afvigelse for alle ture, der anvender mere end 2-3 SoC. At afvigelsen altid er positive viser, at de 154 Wh/SoC er et for lavt estimat.

Figur 63 til Figur 66 sammenligner forbruget beregnet både ved brug af SoC og EVPower på fire af de strækninger, der også er analyseret i kapitel 4.7. Generelt er de to beregningsformer relativt ens. Figur 63 viser, at energiforbruget generelt er højere hvis EVPower anvendes i stedet for SoC på Esbjerg-Varde strækningen. Den samme tendens kan ikke genfindes på de tre øvrige strækninger. Figur 66 viser forbruget på Universitetsboulevarden med de to beregningsmåder. Denne strækning er specielt interessant fordi energiforbruget er meget forskelligt i de to retninger. Denne forskel træder klart frem i begge beregningsformer. På den baggrund konkluderes det, at både SoC og EVPower kan anvendes til at beregnet

energiforbruget. Det er dog klart en fordel at anvende *EVPower*, da denne er en meget finere enhed end *SoC*. At *SoC* er en grovere enhed fremgår klart af Figur 64, Figur 65 og Figur 66 som alle er for kortere strækninger, hvor en *SoC* fra eller til er mere betydende end i Figur 63, som viser energiforbruget for en længere strækning.

6. Konklusion

Denne rapport har undersøgt GPS og CAN bus datagrundlaget opsamlet ved kørsel med elbiler og vurderet på elbilers forbrug generelt ved at se på både State-of-Charge (SoC) og *EVPower* som måleenheder.

Datagrundlaget er fra 2012 og 2013, er opsamlet fra 176 forskellige køretøjer og består af i alt knap 217 millioner målinger. 61 % af data er fra 2012 og 39 % fra 2013. Datagrundlaget dækker det mest af Danmark med en koncentration af data på de større veje og nær de større byer. Således er der data på 96 % af motorvejsnettet, 75 % af det primære vejnet og 78 % af det sekundære vejnet.

Datagrundlaget er fra tre meget ens biltyper Citroen C-Zero, Mitsubishi iMiev og Peugeot Ion og disse slået sammen i alle analyserne fordi datagrundlaget ikke er stort nok til, at der kan analyseres på de enkelte biltyper.

Længden af ture med elbil er undersøgt og generelt er der meget lille forskel mellem årstiderne. Der køres generelt under 100 km i døgnet dog er der i 4 ud af 58.521 tilfælde kørt mere end 450 km på et døgn.

Brugen af elbiler er sammenlignet med brændstofbiler og konklusionen er, at elbiler generelt kører 10-15 km/t langsommere på motorveje end brændstofbiler. I byerne er elbilerne generelt en anelse hurtigere end brændstofbilerne.

Detailanalysen af de 16 udvalgte strækninger viser klart, at elbilers forbrug varierer kraftigt henover året, hvor der er et betydeligt højere forbrug i de kolde vintermåneder sammenlignet med i de varmere sommermåneder. Der kan lokalt være store udsving f.eks. pga. bakker, hvor en analyse viser, at det kan være 2,5-3,0 mere energikrævende at køre opad end nedad.

Fundamentet for at vurdere elbilers forbrug har generelt været batteriniveauet (SoC). En analyse baseret på fire strækninger med mange ture viser, at *EVPower* kan anvendes til at beregne forbruget, specielt hvis data før marts 2012 sorteres fra.

Litteraturliste

Andersen, O., Krogh, B. B., & Torp, K. (2013). *Analyse af elbilers forbrug*. DBTR-34 Aalborg Universitet.

Clever. (2013). Private email korrespondance.

Clever. (u.d.). *Sådan læses filerne*.

Geofabrik GmbH. (10 2014). *GEOFABRIK downloads*. Hentet fra Download OpenStreetMap data for this region: Denmark: <http://download.geofabrik.de/europe/denmark.html>

OpenStreetMap. (10 2014). *OpenStreetMap*. Hentet fra <http://www.openstreetmap.org/>