

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Hurtigste versus mest brændstoføkonomiske ruter

Ove Andersen Benjamin B. Krogh* Harry Lahrman+ Kristian Torp**

**Institut for Datalogi, Aalborg Universitet*

{xcalibur, bkrogh, torp}@cs.aau.dk

+Trafikforskningsgruppen, Aalborg Universitet

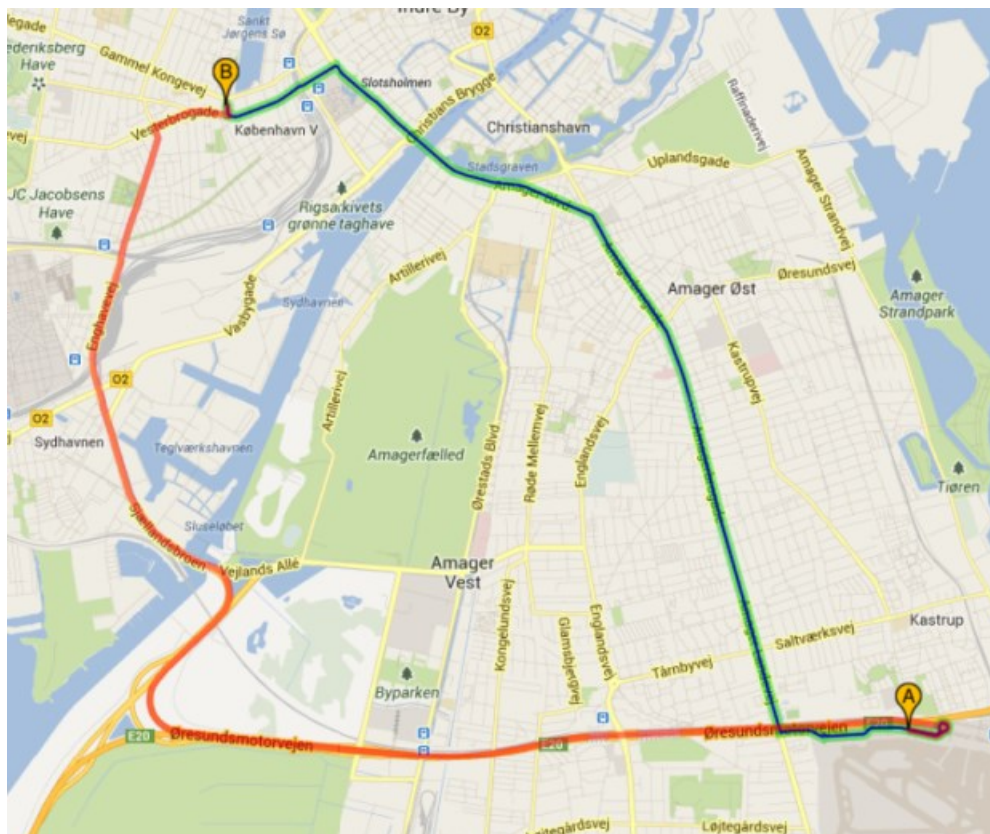
lahrmann@plan.aau.dk

Abstrakt

Der er stort fokus på at forbedre brændstoføkonomien i transportbranchen generelt. I denne artikel anvendes brændstoftallene fra Controller Area Network Bus (CANBus) kombineret med GPS data til at skabe et digitalt vejkort, hvor det er muligt at sammenligne de hurtigste ruter med de mest brændstoføkonomiske ruter. Kortet er baseret på ca. 100 millioner CANBus observationer og ca. 2,1 milliarder GPS observationer. Hovedkonklusionen er, at CANBus data kan anvendes til at estimere brændstofforbruget for en rute. Sammenlignet med estimering af køretider er det mere kompliceret at estimere brændstofforbrug fordi der er eksterne faktorer som påvirker forbruget f.eks. chaufførens kørestil, køretøjs vedligeholdelsesstand og vejret. På websiden daisy.aau.dk/its kan hurtigste, korteste og mest brændstoføkonomiske rute sammenlignes for hele Danmark.

Introduktion

Controller Area Network Bus (CANBus) data fra køretøjer giver mulighed for at modtage detaljeret information om brændstofforbruget. Hvis CANBus data kobles med GPS data kan brændstofforbruget afbilledes på et digitalt kort. Kombinationen af CANBus og GPS data er en forholdsvis ny og spændende data kilde, der åbner op for en langt række nye planlægningsmuligheder så som, at flådeejere kan optimere for, at deres køretøjer bør følge de mest brændstofeffektive ruter fremfor de hurtigste ruter.



Figur 1 Hurtigste (rød), kortest (blå) og mest brændstoføkonomiske (grøn) rute Kastrup Lufthavn til Det Nye Teater. Kort fra Google.

Som et eksempel på en sammenligning af ruter viser den røde rute til venstre i Figur 1 den hurtigste rute mellem Kastrup Lufthavn og Det Nye Teater og den grønne rute til højre viser den mest brændstoføkonomiske rute. Den korteste rute er vist med en tynd blå linje og er her sammenfaldende med den mest brændstoføkonomiske rute. Detaljerne for de tre ruter er vist i Tabel 1.

| | Tid (min) | Afstand (km) | Brændstof (l) |
|-----------|-----------|--------------|---------------|
| Brændstof | 20:47 | 9,40 | 0,94 |
| Hurtigste | 18:39 | 12,53 | 1,21 |
| Korteste | 20:47 | 9,40 | 0,94 |

Tabel 1 Detaljer om tid, afstand og brændstofforbrug for de tre forskellige ruter i Figur 1.

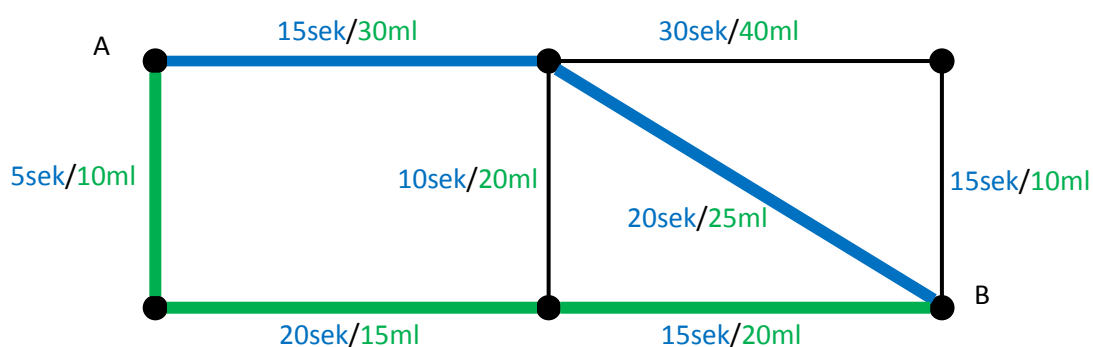
I denne artikel vil først data grundlaget for at lave brændstofestimater blive beskrevet. Herefter vil en række resultater for estimeret versus aktuelt brændstofforbrug blive beskrevet. I resultat afsnittet sammenlignes også prisen for at køre mest brændstoføkonomiske versus hurtigst for en flåde af køretøjer. Efter præsentation af resultaterne er der en diskussion af muligheder med kombinationen af CANBus og GPS data. Slutteligt er der en kort opsamling.

Data grundlag

I dette afsnit vil indholdet af CANBus data, der er til rådighed, først blive beskrevet. Herefter beskrives det hvordan kombinationen af CANBus og GPS data er anvendt til at skabe et brændstoffkort for hele Danmark. Med dette kort er det muligt at estimere brændstofforbruget mellem samtlige adresser i Danmark, som det allerede i en årrække har været muligt at estimere køretiderne mellem adresser.

Hovedide

Formålet med data grundlaget er at skabe et digitalt kort, hvor der på hvert segment i kortet er tilknyttet en vægt for køretiden og en vægt for brændstofforbruget (længden af segmentet findes direkte fra det digitale kort). Hovedideen med et kombineret køretids- og brændstoffkort er vist på Figur 2. Figuren viser et lille digitalt kortudsnit, hvor linjer repræsenterer vej segmenter og punkter repræsenterer knuder, hvor segmenter mødes. De blå tal på Figur 2 er de estimerede køretiderne for et segment i sekunder og de blå tal viser det estimerede brændstofforbruget per segment i milliliter.



Figur 2 Hovedideen i køretids- og brændstoffkort.

Ønsker man at køre fra punkt A (øverste venstre) til punkt B (nederste højre) er den hurtigste rute angivet med den blå linje og er estimeret til at tage 35 sekunder og bruge 55 ml brændstof. Den mest brændstoføkonomiske rute er angivet med den grønne linje og tager estimeret 40 sekunder og bruger 45 ml brændstof.

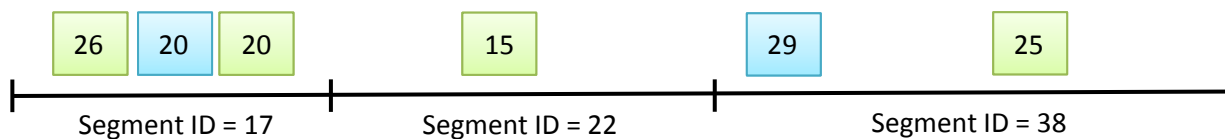
CANBus data

Der vil her blive fokuseret på CANBus data, da GPS data er forholdsvis velkendt og beskrivelser af GPS data kan findes andre steder f.eks. i [1] [2]. Tabel 2 viser et eksempel på brændstofforbruget indrapporteret fra to køretøjer med ID 1111 og 2222. Hver måling for tildelt et unikt ID og via GPS data bliver hver CANBus observation map-matchet [3] [4] til et Segment ID på det digitale kort. Herudover gemmes Køretøjs ID og hvor meget brændstof der er forbrugt.

| ID | Segment ID | Køretøjs ID | Brændstof (ml) |
|----|------------|-------------|----------------|
| 1 | 17 | 1111 | 26 |
| 2 | 17 | 1111 | 20 |
| 3 | 22 | 1111 | 15 |
| 4 | 38 | 1111 | 25 |
| 5 | 17 | 2222 | 20 |
| 6 | 38 | 2222 | 29 |

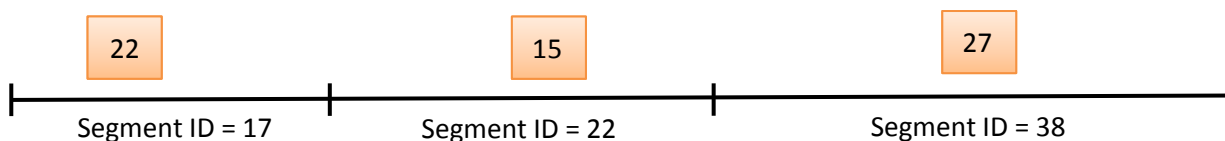
Tabel 2 Brændstofforbrug indrapporteret fra køretøjer.

Brændstofforbruget vist i Tabel 2 er også vist på Figur 3, hvor CANBus målinger fra *Køretøj ID 1111* er vist med grønt og målinger fra *Køretøj ID 2222* er vist med blå.



Figur 3 Brændstofforbrug vist per segment ID på et digitalt kort.

Ud fra de faktiske målinger af brændstofforbruget som vist på Figur 3 anvendes det aritmetiske gennemsnit til at finde det estimerede brændstofforbrug per segment. Dette gennemsnit er vist på Figur 4.



Figur 4 Estimeret brændstofforbrug per segment.

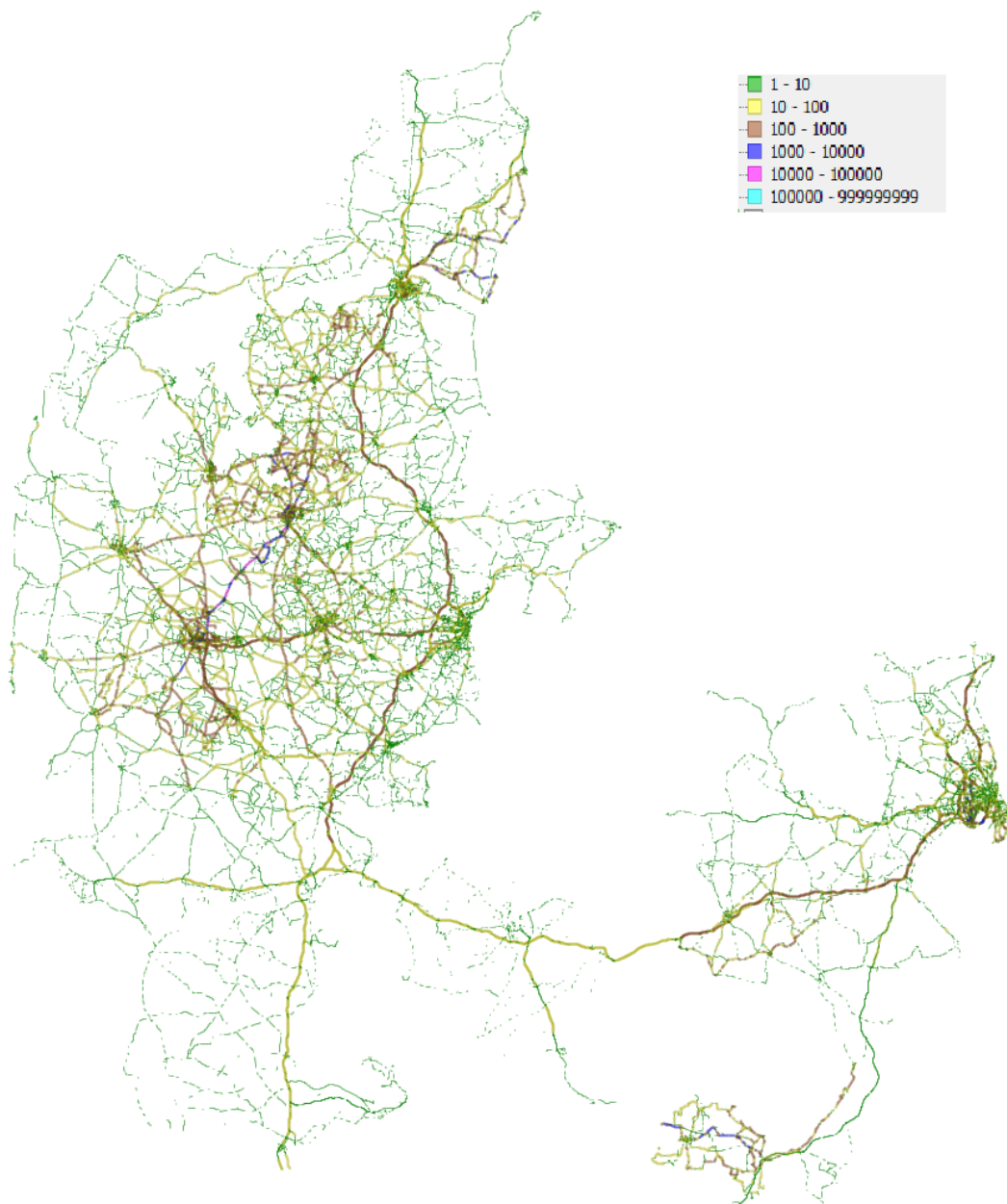
En tur der kører på segmenterne med ID 17, 22 og 38 vil derfor estimeret have et brændstofforbrug på $22 + 15 + 27 = 64$ ml.

Bemærk at det er sikret, at CANBus observationerne kommer fra sammenlignelige køretøjer. Der er altså ikke blandet data fra f.eks. CANBus observationer fra lastbiler sammen med CANBus observationer fra personbiler. Herudover er både CANBus og GPS data rensset for kendte fejl.

Det er muligt at få en lang række informationer fra CANBus f.eks. motor temperatur, motor omdrejningstal (RPM) og speeder/bremser/koblings position (procent trykket ned). Disse data modtages og gemmes, men i arbejdet, der præsenteres i denne artikel, er der udelukkende anvendt brændstofforbruget fra CANBus data.

Dækning med CANBus

Der er i alt cirka 100 millioner CANBus observationer fra ca. 150 køretøjer heri både taxier, minibusser og busser. Langt hovedparten af CANBus observationer er fra minibusser, det er disse observationer, der anvendes i det efterfølgende. Dækningen for Danmark (minus Bornholm) er vist på Figur 5. Som det ses af kortet er der flest observationer i Midt- og Nordjylland samt i København og på Lolland. Der er CANBus observationer på 17 % af alle vejsegmenterne i Danmark.

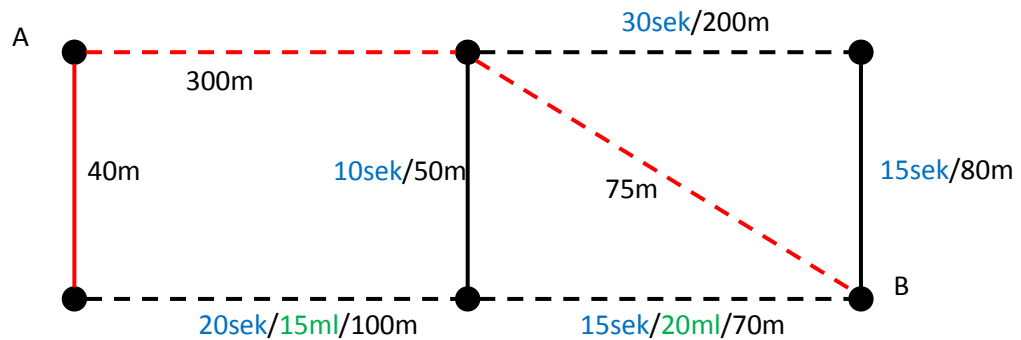


Figur 5 Dækning af CANBus observationer.

Manglende Data

Den fundamentale ide med beregning af køretider og brændstofføkonomiske ruter er vist på Figur 2. Det er i denne figur en antagelse, at der er værdier for de estimerede køretider og brændstofforbrug på alle segmenter. Dette er i praksis umuligt (17 % af segmenter dækket i øjeblikket) og det er derfor nødvendigt at kunne estimere den forventede køretid og det forventede brændstofforbrug for segmenter, hvor der ingen eller få CANBus/GPS observationer. Dette er illustreret på Figur 6, hvor de røde segmenter er uden hverken CANBus eller GPS observationer. Segmenter med kun GPS observationer er vist med de blå tal med

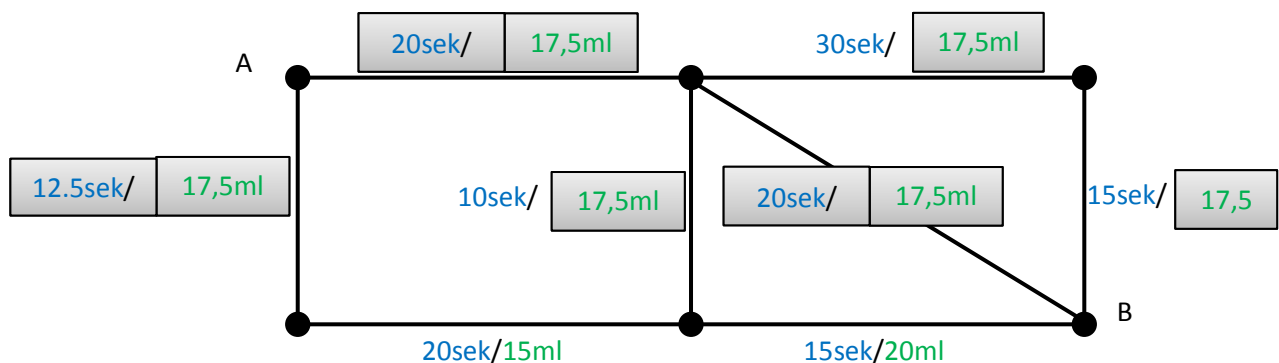
sekunder og segmenter med både CANBus og GPS observationer er vist med blå og grønne tal. Længden af segmenterne er angivet med sorte tal i meter.



Figur 6 Segmenter med manglende værdier.

Løsningen med manglende værdier er ligeledes skitseret på Figur 6, hvor de hele linjer har vejkategori 0 og de stiplede linjer har vejkategori 1. På digitale kort fra f.eks. OpenStreetMap [5] og NAVTEQ [6] er sådanne vej kategorier tilgængelige.

Vejkategorierne anvendes til at løse problemet med manglende data på segmenterne ved at antage at køretider og brændstofforbrug er ens på vejsegmenter af samme kategori. Hvis det antages, at alle vejsegmenter vægter ens bliver køretids- og brændstoffestimaterne som vist på Figur 7, hvor tallene på grå baggrund er de estimerede pga. manglende CANBus/GPS observationer til knyttet segmenterne.



Figur 7 Vejnet med vægt på alle segmenter.

Disse værdier er udregnet ved at benytte gennemsnittet for alle vejsegmenter indenfor en kategori, og med forbehold for et segments længde så kan køretiden og brændstofforbruget udregnes på de resterende segmenter. Det kan ud fra Figur 6 beregnes:

Gennemsnits rejsetiden for en vejkategori (n er mængden af segmenter) beregnes $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{n_{sek}}{n_{km}}$ sek/km.

Derved bliver gennemsnits rejsetiden for de stiplede segmenter $\frac{1}{2} \times \left(\frac{20 \text{ sek}}{0,1 \text{ km}} + \frac{15 \text{ sek}}{0,07 \text{ km}} \right) \approx 207,1 \text{ sek/km}$.

Og rejsetiden for resten af segmenterne kan udregnes ved at gange gennemsnits rejsetiden med længden af et segment, eksempelvis bliver rejsetiden for det 40 meter lange segment længst til venstre $207,1 \text{ sek/km} \times 0,04 \text{ km} \approx 8,3 \text{ sek}$. Samme udregning benyttes når brændstofforbruget beregnes.

Udover den rummelige (spatiale) gruppering af data anvendes der også en temporal gruppering, hvor uge dage og tidspunkt på døgnet anvendes i estimeringen af både køretider og brændstofforbrug, så rejsetiden og brændstofforbruget varierer over ugedage og tidspunkter.

Resultater

I dette afsnit vil de estimerede brændstofforbrug først blive sammenlignet med brændstofforbruget målt ved tankning. Herefter vil der blive vurderet på hvad omkostninger vil være hvis en større del af de kørte ture bliver optimeret efter mest brændstoføkonomiske rute i stedet for hurtigste rute.

Estimeret versus tanket brændstofforbrug

Resultat af at estimere brændstofforbruget er sammenlignet med det faktiske brændstofforbrug for en række ture, hvor det faktiske brændstofforbrug er antal af liter, der faktisk er tanket. I alt fire forskellige ruter vil blive analyseret, disse fire ruter er vist på Figur 8. For alle turene er den hurtigste rute blev fulgt (den røde rute på alle fire kort på Figur 8).

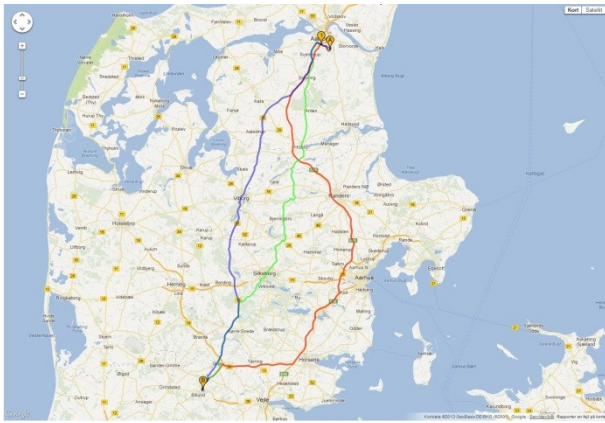
Sammenligningen af det estimerede brændstofforbrug og det aktuelle brændstofforbrug er vist i Tabel 3. Af tabellen fremgår det, at der er kørt to ture (to frem og to tilbage) mellem Gistrup (nær Aalborg) til Billund lufthavn. Tilsvarende er der kørt 6 ture mellem Aalborg Universitet og Aalborg Lufthavn. En tur mellem Gistrup og færgehavnen i Hirtshals samt en tur mellem Gistrup og Aarhus Universitet. Alle ture er kørt af den samme chauffør, i det samme køretøj (Opel Zafira) og udenfor myldretiden.

| Rute (antal ture) | Estimeret brændstof (l) | Aktuelt forbrug (l) | Forskel % |
|----------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|
| Gistrup – Billund (2) | 42,02 | 32,88 | 21,75 |
| Universitet – lufthavn (6) | 2,94 | 2,41 | 18,03 |
| Gistrup - Hirtshals (1) | 15,65 | 12,64 | 19,23 |
| Gistrup – Aarhus (1) | 25,42 | 20,80 | 18,17 |

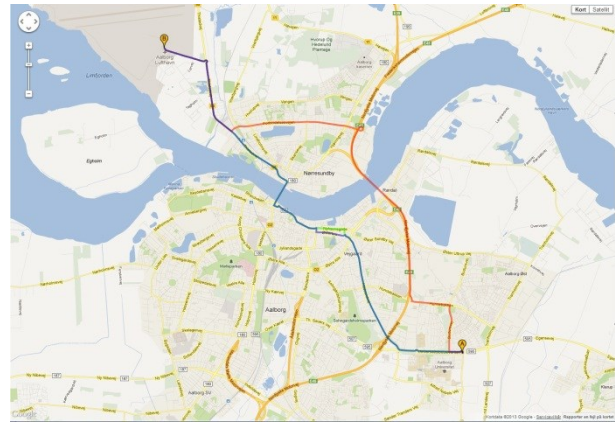
Tabel 3 Forskel mellem estimeret og aktuelt brændstofforbrug.

Som det fremgår af Tabel 3 er det estimerede brændstofforbrug mellem 18 – 22 % højere end det aktuelle brændstofforbrug. Dette tilskrives, at køretøjerne der er anvendt til at lave estimererne kører ca. 10 km/l ved blandet kørsel, hvor i mod køretøjet, der er brugt til at måle det faktiske brændstofforbrug kører cirka 12 km/l ved blandet kørsel. Antal liter brændstof tanket for køretøjer, hvor CANBus observationer er anvendt til estimering af brændstofforbruget har ikke været tilgængeligt for projektet.

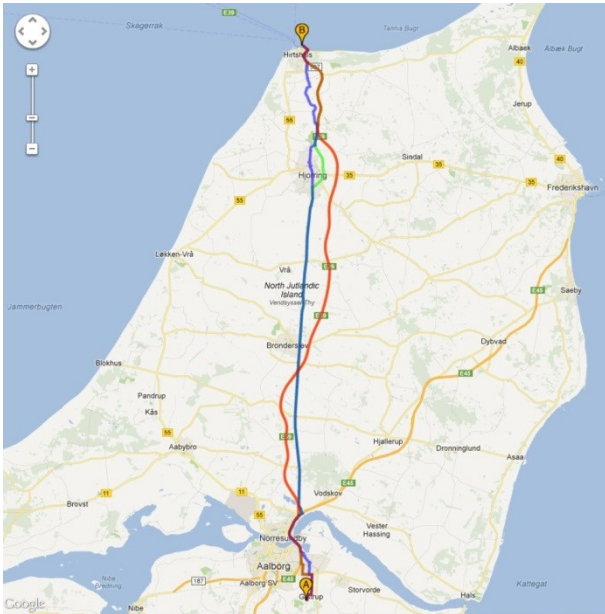
Der kunne på baggrund af forskellen i det gennemsnitlige forbrug i km/l for turene kørt med bilen rapporteret i Tabel 3 og forbruget for minibusserne brugt til estimering anvendes en korrektionsfaktor. Dette er fravalgt på nuværende tidspunkt, da det antal liter, der er tanket kun er tilgængeligt fra et køretøj og det vurderes at være for spinkelt et grundlag at lave sådanne korrektioner. En sådan korrektion er meget interessant, men er videre arbejde, når antallet af tankede liter er tilgængeligt fra flere køretøjer.



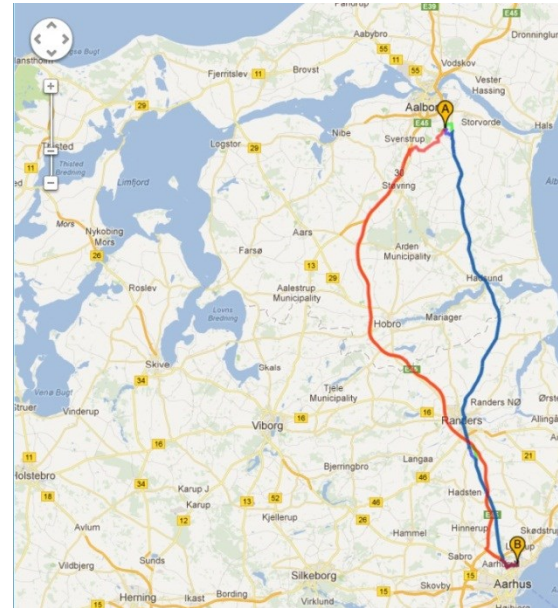
A



B



C



D

Figur 8 A) Gistrup-Billund, B) Universitet-Lufthavn C) Gistrup-Hirtshals D) Aalborg-Aarhus. Kort alle fra Google.

Flådeejere

Estimering af brændstoffkortet anvendes her på 54.106 faktiske kørte ture håndteret af FlexDanmark som er en større dansk transport/logistik virksomhed. For disse ture er udelukkende GPS observationer tilgængeligt. Turene er de syge- og patientkørsler, der er foretaget med udgangspunkt i Region Nord for november 2012. De 54.106 ture er hovedsagligt kørt i Nordjylland. Der er fokuseret på dette område fordi, der her generelt er en høj koncentration af både CANBus og GPS observationer.

For dette sæt af ture vil følgende værdier blive estimeret.

- Den total køretid i minutter.
- Det total brændstofforbrug i liter.
- Den total distance kørt.

Disse tre værdier bliver fundet på to måder, hvis der optimeres for hurtigste rute og hvis der bliver optimeret for mest brændstoføkonomiske rute. Værdierne for hurtigste rute optimering er vist i Tabel 4 og for brændstofoptimering er vist i Tabel 5. Minutprisen på 9,65 DKK/minut er FlexDanmarks estimerede total priser. De 8,75 DKK/liter er den estimerede brændstofpris uden moms.

| Hurtigste | Enheder | Pris pr. enhed (DKK) | Total pris (DKK) |
|--------------------------|-----------|----------------------|------------------|
| Køretid i minutter | 1.071.464 | 9,65 | 10.339.627 |
| Brændstof i liter | 117.025 | 8,75 | 1.023.969 |
| Total kørt distance i km | 1.141.118 | | |

Tabel 4 Køretid, brændstofforbrug og totalt kørte kilometer ved optimering for hurtigste rute.

| Brændstoføkonomisk | Enheder | Pris pr. enhed (DKK) | Total pris (DKK) |
|--------------------------|-----------|----------------------|------------------|
| Køretid i minutter | 1.186.050 | 9,65 | 11.445.383 |
| Brændstof i liter | 104.097 | 8,75 | 910.849 |
| Total kørt distance i km | 1.111.976 | | |

Tabel 5 Køretid, brændstofforbrug og total kørte kilometer for mest brændstoføkonomiske rute.

Hovedtallene for optimering for den hurtigste rute er vist i Tabel 4, som viser at køretiden for alle 54.106 ture er 1.071.464 minutter (ca. 20 minutter per tur i snit). Hvis der regnes med en minutpris på 9,65 DKK er totalprisen for transport cirka 10.3 millioner DKK. For turene er det estimeret at brændstofforbruget er 117.025 liter til en pris på 8,75 DKK/liter uden moms er totalprisen for brændstofforbruget lidt over 1 million DKK. Turene er i alt 1.141.118 km hvilket giver et gennemsnitlig brændstofforbrug på 9,75 km/l.

De tilsvarende hovedtal for optimering for mest brændstoføkonomiske rute er 1.186.050 minutter for alle ture ved brug af 104.097 liter brændstof og totalt kørt 1.111.979 km, hvilket giver et gennemsnitligt forbrug på 10,68 km/l. Forskellene mellem de to optimeringer på prisen i DKK er opsamlet både relativt og absolut i Tabel 6.

| Sammenligning | Relativ (%) | Absolut (DKK) |
|--|-------------|---------------|
| Køretid for mest brændstoføkonomiske rute i forhold til hurtigste rute | +10,7 % | +1.105.756 |
| Brændstof for mest brændstoføkonomiske rute i forhold til hurtigste rute | -11,0 % | -113.120 |
| Samlet økonomi | + 8,7 % | +992.636 |

Tabel 6 Relative og absolut forskel mellem for mest brændstoføkonomiske rute i forhold til hurtigste rute.

Diskussion

Overordnet er CANBus data en forholdsvis ny data kilde med en lang række nye muligheder. Denne artikel ser udelukkende på brændstofforbruget med det mål at kunne estimere brændstofforbruget for alle ture i Danmark.

En udfordring med CANBus data er, at der stadig er begrænsede mængder data til rådighed og at CANBus observationer ikke dækker hele landet som vist på Figur 5. Denne begrænsning stiller udfordringer til, hvordan vejsegmenter med få eller ingen CANBus observationer håndteres. Denne artikel anvender udelukkende CANBus data til at estimere brændstofforbruget. Det har været overvejet at anvende en af de mange modeller, der kan konverterer GPS observationer til brændstofestimater (se f.eks. [7]). Dette er fravalgt fordi det ikke har været muligt at finde referencer, der oplyser om nøjagtigheden af disse modeller.

Tabel 3 viser en sammenligning mellem, hvor meget brændstof der er påfyldt ved tanken og det estimerede brændstofforbrug. Generelt er der en forskel på 18 – 22 %. Dette tal er godt fordi forskydning er konsistent.

Forskydningen skyldes, at de køretøjer, der anvendes til estimeringen kører 9,75 km/l i snit, mens bilen, der er fyldt brændstof på kører cirka 12 km/l ved blandet kørsel. Disse forskelle viser også, at det er meget væsentligt at skelne mellem forskellige køretøjstyper f.eks. en minibus versus en taxi. At kunne lave denne skellen kræver desværre et endnu større antal CANBus observationer til rådighed. Bemærk dog at dette har begrænset betydning for sammenligning af ruter som i Figur 1 fordi data grundlaget for brændstofforbruget er det samme og at de forskellige ruter dermed kan sammenlignes relativt.

At kunne estimere brændstofforbruget vanskeliggøres yderligere af, at der kan være forholdsvis store forskelle på kørestillen for to chauffører i ens køretøjer. Af de data, der er tilgængelige for dette projekt, kan det ses, at der kan være op til 23 % forskel på hvor langt chauffører køre på literen for chauffører, der kører i den samme type bil og har cirka ens kørsel f.eks. cirka samme procentdel motorvejs og bykørsel.

Køretider og brændstofforbrug svinger med årstiderne. I dette projekt er CANBus data tilgængeligt fra juni 2012 og fremad. Da vinteren 2012-2013 har været rimelig mild er det på nuværende grundlag ikke nok til at vurdere på, hvad temperaturen og sne på vejene betyder for brændstofforbruget. Yderligere spiller vinden ind som en ukendt faktor, der bør nærmere undersøges.

Det vurderes, at brændstoffestimeringen klart kan anvendes på hovedfærdselsnettet, da der er langt flest observationer på denne del af vejnettet. På korte ture i byer er det sværere på nuværende tidspunkt at vurdere nøjagtigheden af brændstoffestimererne f.eks. på en 500 meter tur i København. Det skyldes, at den eneste måde at få brændstofforbruget for så korte ture er via CANBus data.

Når et større antal ture sammenlignes som det er gjort i Tabel 4, Tabel 5 og Tabel 6 ses det klart, at de besparelser, der er på at følge den mest brændstoføkonomiske rute forsvinder når der indregnes det der svare til en timeløn til en chauffør. Dette betyder ikke at CANBus data er uinteressant for flådeejere, da den kan anvendes til f.eks. chaufføruddannelse og et mere detaljeret grønt regnskab.

Opsamling

Denne artikel har set på hvordan brændstofforbruget rapporteret fra CANBus observationer kan anvendes til at estimere brændstofforbruget for ture i hele Danmark. En konkret udfordring er, at CANBus data er en forholdsvis ny data type og at der derfor er betydelige mindre antal CANBus observationer tilgængeligt sammenlignet med f.eks. antal af GPS observationer. Dette betyder, at håndteringen af vejsegmenter med få eller ingen CANBus observationer bliver både vigtigere og vanskeligere.

Artiklen har vist, at CANBus observationer kan anvendes til at estimere brændstofforbruget, men at det er væsentligt at tage højde for køretøjstypen fordi der kan være betydelige forskelle i brændstoføkonomi i form af km/l ved typisk kørsel.

Artiklen har også vist, at de brændstofbesparelser der kan opnås ved at køre efter den mest brændstoføkonomiske rute drukner i lønomkostninger. Det koster ca. 10 DKK i udgifter til køretid at spare 1 DKK på brændstof. Dette betyder ikke, at CANBus data er uinteressant for f.eks. flådeejere, da disse data giver bedre mulighed for i detaljer at følge udgifterne til brændstof.

Der er en lang række andre muligheder med CANBus data. Der kan fx foretages vurderinger af den enkelte chaufførs kørestil, som kan anvendes i uddannelse af chauffører og bruges til at fastholde forbedringer i brændstoføkonomi, der kan være opnået efter at chauffør har været på såkaldte "kør-grønt" kurser.

Acknowledgement

Dette arbejde er støttet af REDUCTION (www.reduction-project.eu). Tak til FlexDanmark (www.flexdanmark.dk) og ProTracking (www.protracking.dk) for adgang til data.

Referencer

- [1] »Vejdirektoratets GPS database,« 08 07 2013. [Online]. Available: <http://vej06.vd.dk/gpsbase4.0/rapporter/StraekningsUdskrift.html>.
- [2] O. Andersen, B. B. Krogh og K. Torp, »An Open-source Based ITS Platform,« *First International Workshop on Next-Generation Location-Based Services (LBS n.0)*, p. 6, 2012.
- [3] H. C. N. P. F.C. Pereira, »An Off-line Map-matching Algorithm for Incomplete Map Databases,« 2009.
- [4] J. H. K. A. F. Marchal, »Efficient Map Matching of Large Global Positioning System Data Sets: Tests on Speed-Monitoring Experiment in Zürich,« 2006.
- [5] Open-Street Map, »Open-Street Map,« 07 2013. [Online]. Available: <http://www.openstreetmap.org/>.
- [6] NAVTEQ, »NAVTEQ,« 07 2013. [Online]. Available: <http://www.navteq.com/>.
- [7] C. Guo, Y. Ma, S. C. Jensen og M. Kaul, »EcoMark: evaluating models of vehicular environmental impact,« i *ACM SIGSPATIAL/GIS*, 2012.