

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](http://www.trafikdage.dk/artikelarkiv)

# Videre analyser af funktion til modellering af vejtrængsel i trafikmodeller

*Daniel Berthelsen og Jacob Falkenberg Laursen.*

*Studerende ved DTU*

---

## Abstrakt

The assignment involves estimation of parameters for the congestion function (BPR-function) used in the National Traffic Model to describe the relationship between the traffic volume and the speed. Based on collected data, the  $\alpha$  (alpha) and  $\beta$  (beta) parameters of the BPR-function are estimated, after which the National Traffic Model is used to calculate the effect of the estimated parameters. The collected data contains observations from Mastra and observations from Hastrid. In addition to calculations where the estimated parameters are used, sensitivity calculations are also made, in which four scenarios have been set up to examine the significance of the alpha and beta parameters for the calculations in the National Traffic Model. To estimate the alpha and beta parameters, the collected data is processed from Mastra and Hastrid, where it is compared to become wiser on which data makes the most sense to continue to work with in this project. Various analyzes of the Mastra data that is used in this project are made from 20 different selected road count stations in Denmark. The analyzes provides an overview of the traffic situation at the different sites, and based on the data processed, the alpha and beta parameters are estimated by having the parameters of the BPR-function to follow the traffic flow. By adjusting the capacity, it's possible to make the function fit even better for the data.

This project also contains analyses where vehicle data have been joined together to weather data. The analyses contains linear regressions to investigate the effect of the speed for different weather types including a new parameter estimation based on the earlier used method to compare the different estimated alpha and beta parameters to figure out if there's any difference in the parameter estimations across the different weather types.

The last analysis compares the effect of single vehicle data where the data have been aggregated into different intervals, to investigate the effect of vehicle data collected in intervals of 5, 10, 15, 30 and 60 minutes.

The results from the model calculations are compared to the observations from the 20 selected data collection stations, showing if it's possible to make an improved description of congestion, in relation to the current parameters used in the National Road Model.

## 1. Introduktion

Formålet med dette projekt har været, at undersøge og analysere trængsel på det danske motorvejsnet. Der undersøges hvilke faktorer som påvirker trængsel, herunder fx om vejrlig og måleinterval spiller en rolle for parameterestimationerne. Der arbejdes udelukkende med data på frie strækninger på de danske motorveje.

Trængsel er et udtryk for den nedsatte bevægelsesfrihed, trafikanterne oplever som følge af ubalance mellem trafikmængden og kapaciteten. Kapaciteten på en fri strækning er et udtryk for den største trafikintensitet infrastrukturen af en given vejtype kan forventes at afvikle. Denne relation mellem trafikmængde og kapacitet kan modelleres ved hjælp af speed-flow funktion, som efterfølgende kan indgå som en vigtig del af en trafikmodel. En typisk anvendt funktion til beskrivelse af trængsel er BPR-funktionen (Bureau of Public Roads), og denne anvendes i flere trafikmodeller. Herunder den danske Landstrafikmodel, som anvendes til makroskopisk modellering af infrastrukturprojekter. Trængselsmodellens væsentligste

funktioner og parametre beskrives samt undersøges. Som en undersøgelse af trængselsmodellens betydning for beregninger i trafikmodeller, undersøges de forskellige parametre der indgår i BPR-funktionen. På baggrund af tilgængeligt data undersøges kapaciteten og fri hastighed på analysestrækningen, samtidigt estimeres parametre til anvendelse i trængselsfunktionen hvor efter Landstrafikmodellen anvendes til, at beregne effekten af de estimerede parametre.

Artiklen er opbygget i tre underafsnit for at underbygge de forskellige undersøgte emner:

Parameterestimering og validering, indflydelse af vejrlig og indflydelse af måleinterval.

## 2. Litteraturgennemgang

I forbindelse med udviklingen af Landstrafikmodel (LTM) er der estimeret parametre til BPR-funktionen, for motorveje. Disse parametre indgår som en del af rutevalgs beregningen i modellen. Parametrene er estimeret på baggrund af GPS baseret data i perioden 2009 til 2010. Der er under estimationen set bort fra tællinger med høj og lav belastningsgrad. Analysen er foretaget for 13 motorvejsstrækninger, som primært er i hovedstadsområdet. Data er ikke omregnet til personbilenheder.

Den frie rejsehastighed samt kapacitetsgrænsen er skønnet ud fra tællingerne. I en erkendelse af, at kapacitetsgrænsen har afgørende betydning for bestemmelse af alpha og beta, har kapacitetsgrænsen fået lov at til at variere  $\pm 200$  under estimeringen. Efter estimering af alpha og beta for hver stikprøve er middelværdien udregnet for hver værdi, og dette ender ud i en alpha værdi på 1 og en betaværdi på 7,4 (Hansen, 2017).

Vejdirektoratet har tidligere defineret den grundlæggende kapacitet på danske motorveje til 2.200 personbilenheder pr. spor pr. time. Kapaciteten afspejler også de fysiske vejforhold. Kraftige stigninger eller smalle vognbaner hænger ofte sammen med en reduceret kapacitet (Vejdirektoratet, 2015).

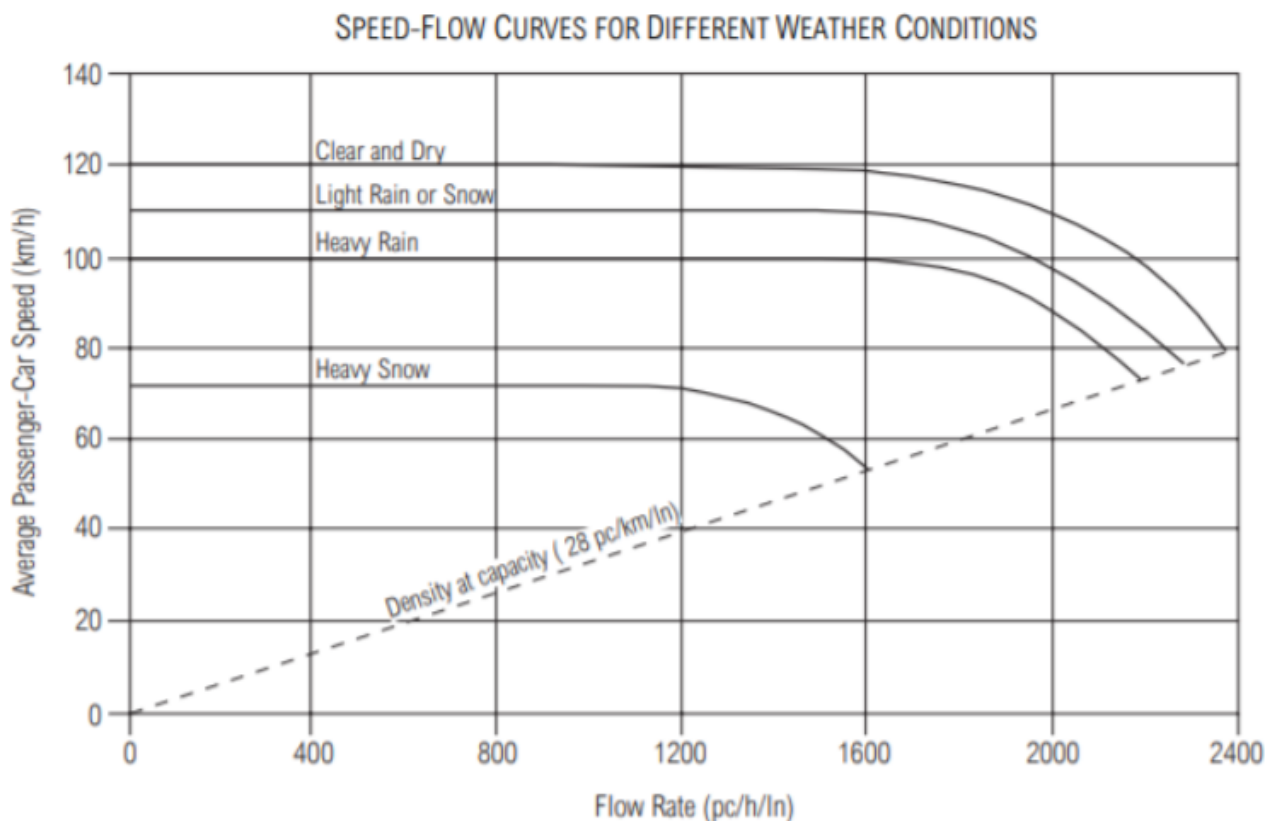
Landstrafikmodellen tager udgangspunkt i den grundlæggende kapacitet på 2.200 personbilenheder pr. spor pr. time, dog er der enkelte strækninger, hvor kapaciteten er mindre, for at afspejle den virkelige kapacitet på de forskellige vejstrækninger.

I Highway Capacity Manual (HCM) undersøges forskellige vejrtyper som fx sne, regn og tåge. HCM beskriver effekten af de forskellige vejrtyper og konkluderer at disse vejrtyper er modsat effekten af normalt og tørt vejr. Oftest er der ikke kun tale om at kapaciteten ændrer sig, men også hastigheden bliver påvirket af fx sne, regn og tåge (Transportation Research Board, 2000).

Regn er inddelt i forskellige kategorier "let regn" og "tung regn", hvor hver kategori beskrives. Kategorien "let regn" har ikke nogen nævneværdig effekt på hastigheden, medmindre der er store mængder vand på kørebanen. For "tung regn" gælder der at det påvirker trafikflowet, da der oftest er dårligere sigtbarhed samt meget vand på kørebanen. Undersøgelserne viser desuden, at kapaciteten reduceres minimalt ved "let regn" og ved "tung regn" er der en signifikant reduktion af trafikflowet. Overordnet set har "let regn" en lille effekt, mens "tung regn" har en større effekt (Transportation Research Board, 2000).

Sne derimod har en større effekt afhængigt af vejrets intensiteten. For kategorien “let sne” ses igen eller en meget lille effekt på kapacitet og kørt hastighed. For “tung sne” er der modsat, her er der potentiale for en meget stor effekt. Der er specielt en stor effekt, hvis det fx ikke er muligt at opretholde snerydning og dermed gøre alle spor farbare og synlige (Transportation Research Board, 2000).

For vejr med tåge, er der ingen dokumenteret effekt, dog sænkes hastigheden i mange lande ved hjælp af forskellige ITS-systemer herunder variable hastighedstavler (Transportation Research Board, 2000). På figur 2-1 ses speed-flow kurver for forskellige vejrlig, hvor der også ses at kapacitet og hastighed afhænger af vejrtype (Transportation Research Board, 2000).



Figur 2-1 – Speed-flow kurver afhængigt af vejrtypen (Transportation Research Board, 2000)

### 3. Metode

#### 3.1 BPR-funktion

Bureau of Public Roads (BPR) formelen er en af de mest anvendte funktioner til at beskrive forholdet mellem hastighed og trafikmængde. Funktionen anvendes blandt andet i rutevalgmodellen i Landstrafikmodellen. BPR-kurven kan ses på figur 3-1 (Nielsen & Jørgensen, 2007).

$$v = \frac{V_0}{1 + \alpha \cdot \left( \frac{N_{frem} + \gamma \cdot N_{tilbage}}{N_{max}} \right)^\beta}$$

Figur 3-1 - BPR-formel

$v$  er den beregnet hastighed, hvor  $V_0$  angiver den fri rejsehastighed. Den fri rejsehastighed vil typisk være middelhastigheden ved lav trafikbelastning altså perioder uden trængsel (Vejdirektoratet, 2015).

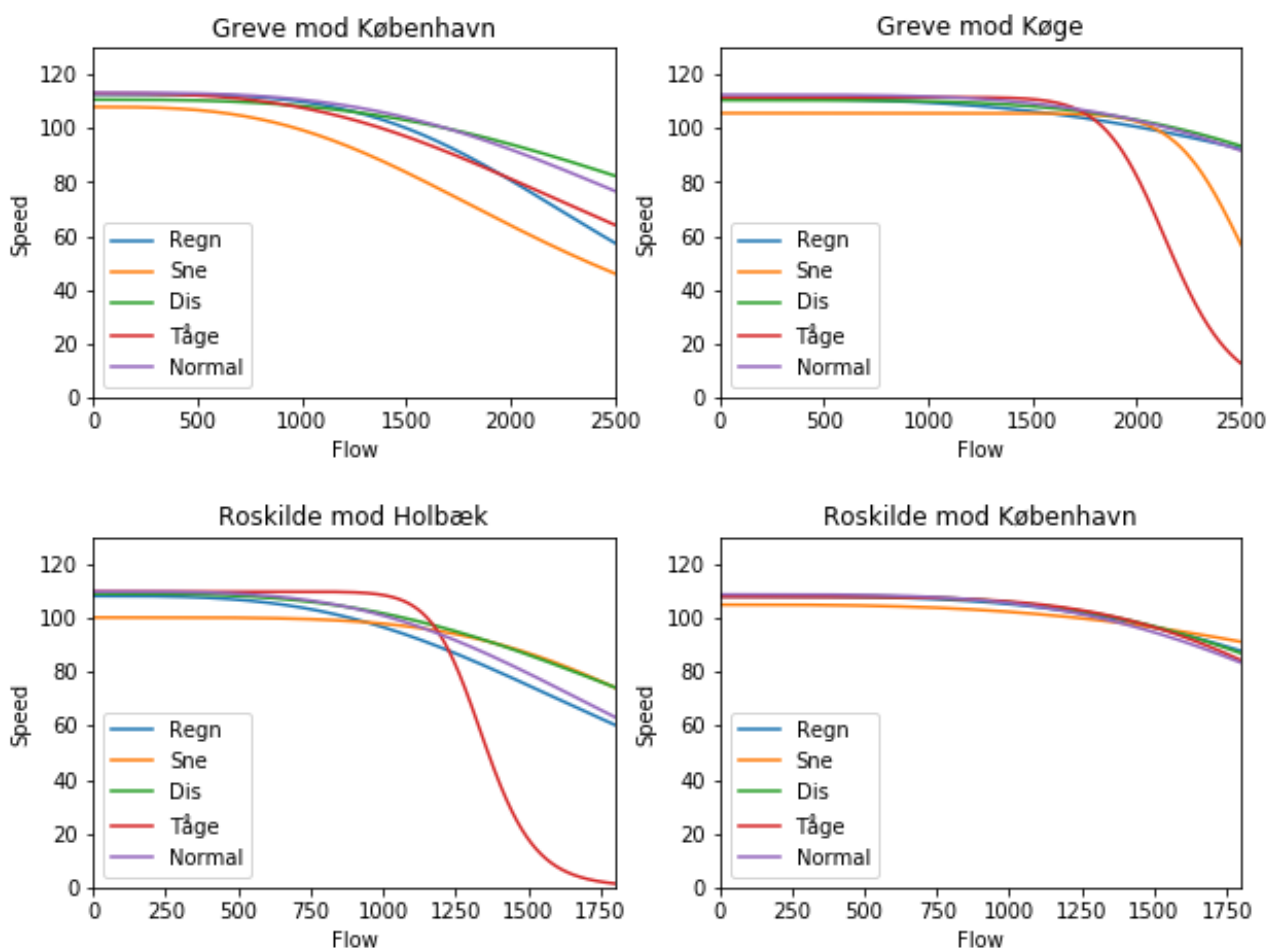
Ved ændring af  $V_0$  forskydes BPR-kurven parallelt med  $y$ -aksen.

$N_{\text{frem}}$  er trafikmængden for strækningen i den ene retning.  $N_{\text{max}}$  er kapaciteten for strækningen. Ændring af kapaciteten har betydning for, hvornår kurven begynder og knække. Alpha ( $\alpha$ ) og Beta ( $\beta$ ) er konstanter og specifik for hver vejtype.  $\gamma$  er også en konstant. Da motorveje er ensrettet, har  $N_{\text{tilbage}}$  en værdi på nul og dermed er gamma ( $\gamma$ ) ikke relevant.

For beregninger af motorveje er gamma ( $\gamma$ ) ikke relevant, da  $N_{\text{tilbage}}$  er 0 da trafikmængden i den modsatte retning oftest er ikke eksisterende i og med motorveje er ensrettet.

Typisk er alpha, beta og gamma vejtype afhængig. Det er kapaciteten og den fri rejsehastighed også til hvis udstrækning, men varierer alligevel en del afhængigt af den kørte hastighed og antal spor. Det hele afhænger desuden også af eksterne faktorer såsom vejr.

Betydningen for de forskellige parametre i funktionen for BPR-kurven kan ses på figur 3-2, hvor de forskellige parametre ændres for at illustrere forskellene.



Figur 3-2 - Eksempler på ændringer af parametre for BPR-funktion

### 3.2 Bestemmelse af kapacitet og estimering af parametre

Til bestemmelse af en strækningens kapacitet, kunne det tænkes, at der blot kunne tages udgangspunkt i den største målte trafikmængde. Men for at tage forbehold for eventuelle fejl målinger er der anvendt en fast procentdel-største måling.

Artiklen er opdelt i tre underafsnit, der afspejler sig af de forskellige undersøgelser der beskrives i artiklen. Parameterestimering og validering, indflydelse af vejrlig og indflydelse af måleinterval.

- Parameterestimering og validering  
Under estimationen kan kapaciteten variere  $\pm 200$  personbilenheder i forhold til den fastsatte kapacitetsgrænse. Den fri rejsehastighed er lig den skiltet hastighed og kan variere  $\pm 5$  km/t. Alpha er låst i intervallet mellem 0,5 og 2, mens beta er låst i intervallet mellem 3 og 15.

For at teste resultaterne af estimationerne, kan de ny estimerede parametres effekt beregnes ved hjælp af modelberegninger i Landstrafikmodellen. Resultaterne for modelberegningen kan derefter sammenlignes med det indsamlede data og kan dermed valideres.

- Undersøgelse af vejrlig og effekt af forskellige måleintervaller  
Ved estimeringen af parametrene for vejrdata og parametre for de forskellige måleintervaller er de øvre og nedre grænser for parameterestimationen af alpha ændret. Her varierer alpha i intervallet mellem 0,1 og 2, mens beta forbliver uændret i intervallet mellem 3 og 15. For estimering af kapacitet tages der udgangspunkt i de tidligere antagelser om at kapaciteten kan variere med  $\pm 200$  personbilenheder i estimeringen, mens grænsen for hastigheden er justeret til  $\pm 10$  km/t.

Parameterestimeringen foregår ved hjælp af mindste kvadraters metoden.

De ovenstående begrænsninger er fastsat ud fra tidligere studier og følsomhedsberegninger af parametrene (Hansen, 2017).

## 4. Case-studie

Her præsenteres case-studiet. Det anvendte dataområde, det anvendte data og data bearbejdelsen introduceres. En undersøgelse af trængsel i hele Danmark, samt en undersøgelse af trængsel som følge af forskellige vejrtypen med henblik på estimering af parametre til anvendelse til, at beskrive vejtrængsel i trafikmodeller.

### 4.1 Køretøjsdata

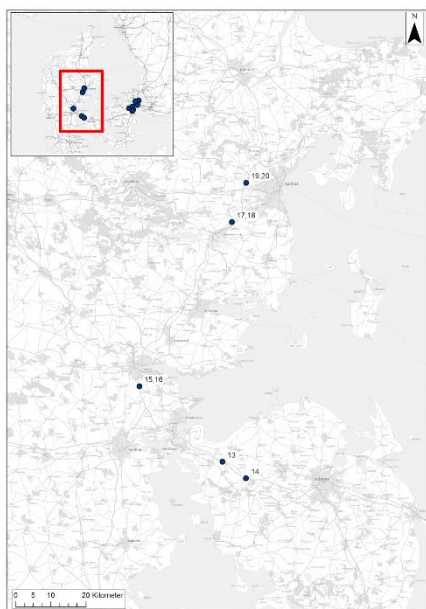
Case-studie området begrænser sig til hele Danmark, hvor det for statsvejnettet i Danmark er muligt at indhente køretøjsinformationer ved hjælp af systemerne: Mastra, Hastrid og Speedmap.

Speedmap er et datasæt der indeholder informationer om hastighed og er baseret på GPS registreringer. Speedmap er anvendt til at kalibrere Landstrafikmodellen. Dette data anvendes også i begrænset omfang til at sammenligne modelkørsel beregninger.

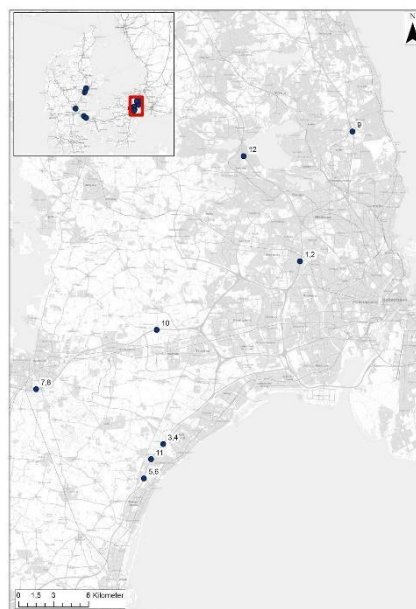
Det andet system er Mastra. Her stammer data fra fysiske tælle stationer, hvor køretøjer passerer en spole eller anden sensor og dermed registreres fysisk. Her registreres blandt andet antallet af køretøjer samt informationer om hastighed. Desuden indeholder Mastra også detaljerede oplysninger om blandt andet målesteder, køretøjsarter og de forskellige måleapparater og målekonfiguration anvendt til den konkrete tælling på de forskellige vejsnit. På baggrund af det indsamlede data fra Mastra fastsættes den præcise lastbilandel for hvert snit, hvor det herefter er muligt at beregne personbil-ækvivalenten for lastbiler, samt en maksimal kapacitet.

Det tredje system er Hastrid, hvor data er baseret på GPS-data fra køretøjer. Udtræk fra Hastrid indeholder typisk ikke andre informationer end strækningshastigheden samt strækningsslængden, hvilket er en fordel til fx at analysere rejsetider.

Til undersøgelserne anvendes primært data målt i 15 minutter interval, dog anvendes også data fordelt på andre intervaller for at sammenligne de forskellige måleintervaller. Der er indsamlet data for 20 snit over hele landet, hvor der er udvalgt data for alle dage i løbet af 2017. Det indsamlede data er efterfølgende blevet sorteret manuelt således at der kun arbejdes videre med data fra hverdage, da det primært er perioder med trængsel der er interessant at analysere. De 20 snit er valgt på baggrund af veje, som Vejdirektoratet karakteriserer som veje med trængsel (Vejdirektoratet, 2017). Desuden er der også foretaget en mindre kvalitetsanalyse af data, hvor unormale tællinger er sorteret fra. På nedenstående figurer er det muligt at se hvor der er udtrukket data.



Figur 4-1 – Kort over tællesnit i Fyn og Jylland



Figur 4-2 Kort over tællesnit på Sjælland

På baggrund af køretøjsinformationer fra det indsamlede data er det muligt at sammenkoble data, så lastbilandele og kapacitetsgrænser kan findes. Med det indsamlede data er det samtidig også muligt at estimere BPR-funktionens alfa og beta parametre. Herefter anvendes Landstrafikmodellen til, at beregne effekten af de estimerede parametre.

## 4.2 Vejrdata

Udover køretøjsdata for hele Danmark, anvendes vejrdata indeholdende informationer for de større byer i hovedstadsområdet. Vejrdata anvendt til undersøgelser i projektet stammer fra Openweathermap.org. Openweathermap.org indsamler vejrdata for mange lokationer, hvor det her er muligt at købe historiske vejrdata.

Her er vejrdata kategoriseret efter vejrtype og indeholder informationer som fx tidspunkt, placering og vejrtype. Denne information anvendes til at koble køretøjsdata sammen med vejrdata. I det anvendte vejrdata er der dog en begrænsning. Begrænsningen i vejrdata betyder, at det udelukkende er strækninger i hovedstadsområdet der anvendes til at undersøge vejrets effekt på trafikafviklingen, samt til at estimere parametre til simulering af trængsel. Vejrdata er inddelt i intervaller på en time, hvor informationer om vejret er indsamlet. For vejrdata er der indsamlet for det første halvår af 2017.

På tabel 4-1 er det muligt at se fordelingen af antallet af observationer på de forskellige vejrtypen. Her er vejrdata joinet med køretøjsdata, hvilket betyder at der skal være data fra begge datasæt, for at tælle som en observation. For alle snit er der en klar overvægt af observationer med normalt vejr. Derudover er dis og regn godt repræsenteret.

Tabel 4-1 - Antallet af observationer for det forskellige vejrtyper.

	Greve mod Kbh.	Greve mod Køge	Roskilde mod Holbæk	Roskilde mod Kbh.
	Antal obs.	Antal obs.	Antal obs.	Antal obs.
Regn	1.192	2.336	3.395	1.296
Sne	312	352	384	204
Dis	1.265	1.736	1.000	708
Tåge	140	344	192	184
Normal	3.694	5.845	9.430	4.201

### 4.3 Klargøring af data

Der har været foretaget manuelle sorteringer og kvalitetssikring af data. Der er indsamlet data for hele 2017 selvom ønsket var at indsamle informationer for hverdage. Derfor er en sortering nødvendig for udelukkende at vise data for hverdage. Udover en frasortering af dage har enkelte snit haft meget unormale målinger, derfor er enkelte tællinger udeladt fra det oprindelige data.

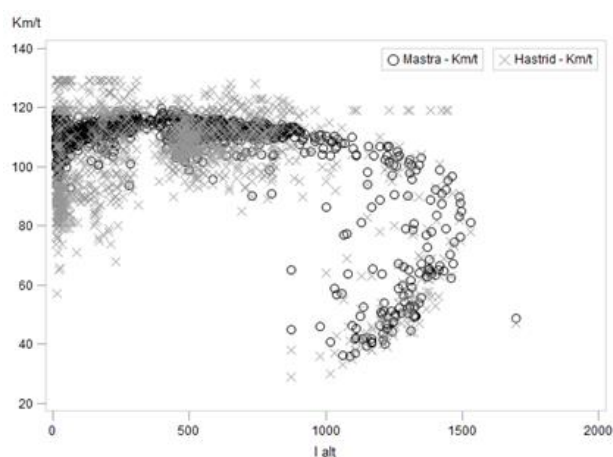
## 5. Resultater

### 5.1 Parameterestimering og validering

I dette afsnit vil der blive redegjort for resultaterne af parameterestimering og validering. Først del omhandler det anvendte data. Derefter præsenteres undersøgelserne af kapacitet og dermed også hvilken personbil-ækvivalent som anvendes. Når dette er på plads, kan der foretages en estimering, og forskellige scenarier af alpha og beta kan opstilles. Til sidst bliver der foretaget beregninger med Landstrafikmodellen og der foretages en validering af resultaterne.

#### 5.1.1 Anvendt data

Der er foretaget sammenligninger mellem det indsamlede data for henholdsvis strækningsbaserede (Hastrid) og snitbaserede registreringer (Mastra) for at fastlægge hvilke data der arbejdes videre med. Analysen viser at data fra Mastra har den bedste anvendelse i forbindelse med parameterestimeringen, derfor arbejdes der videre med tællinger registeret i Mastra systemet (Figur 5-1).



Figur 5-1 - Speedflow diagram for Hastrid og Mastra tællinger

### 5.1.2 Estimeret kapacitet

Der er foretaget en kapacitetsanalyse for alle 20 tællesnit, hvor kapacitetsgrænser for forskellige personbil-ækvivalenter er undersøgt. Under estimeringen af kapaciteten er alle tællesnit uden trængsel sorteret fra, og efterfølgende er middelværdien beregnet. Hvilket kan ses på resultaterne i tabel 5-1, hvor kapaciteten er beregnet med forskellige personbil-ækvivalenter.

Tabel 5-1 - Middelværdi for aflæst kapacitet (99,5%)

Personbil-ækvivalent	Middel
1	1.827
2	1.990
3	2.162
4	2.342
5	2.529

Ifølge Vejdirektoratet har motorveje som udgangspunkt en kapacitet på 2.200 personbilenheder pr. time pr. spor, derfor arbejdes der videre med en personbil-ækvivalent på 3.

### 5.1.3 Parameterestimering

På baggrund af det behandlede data estimeres blandt andet nye parametre til anvendelse i trængselsmodeller, baseret på mindste-kvadraters metoden. I tabel 5-2 nedenfor, kan resultaterne for estimeringen af de 20 udvalgte snit ses. Det ses at de estimerede parametre varierer meget afhængigt af lokalitet, hvor de varierende hastigheder og trafikmængder spiller en central rolle. Resultaterne i tabel 5-2 ligger til grund for de opstillede scenarier i tabel 5-3.

Tabel 5-2 - Estimeret BPR-parametre for de 20 strækninger

Snit	Alpha	Beta
M3 KM 44 - Mod nord	0,52	3,6
M3 KM 44 - Mod syd	0,5	3,83
M10 KM 24 - Mod nord	0,5	5,02
M10 KM24 - Mod syd	0,5	8,29
M10 KM 28 - Mod nord	0,5	5,8
M10 KM 28 - Mod nord	0,5	15
M11 KM 35 - Mod øst	0,5	4,27
M11 KM 35 - Mod vest	0,66	3,58
M14 KM 28 - Mod syd	0,5	3,45
M11 KM 22 - Mod øst	0,52	3
M10 KM 26 - Mod nord	0,52	3



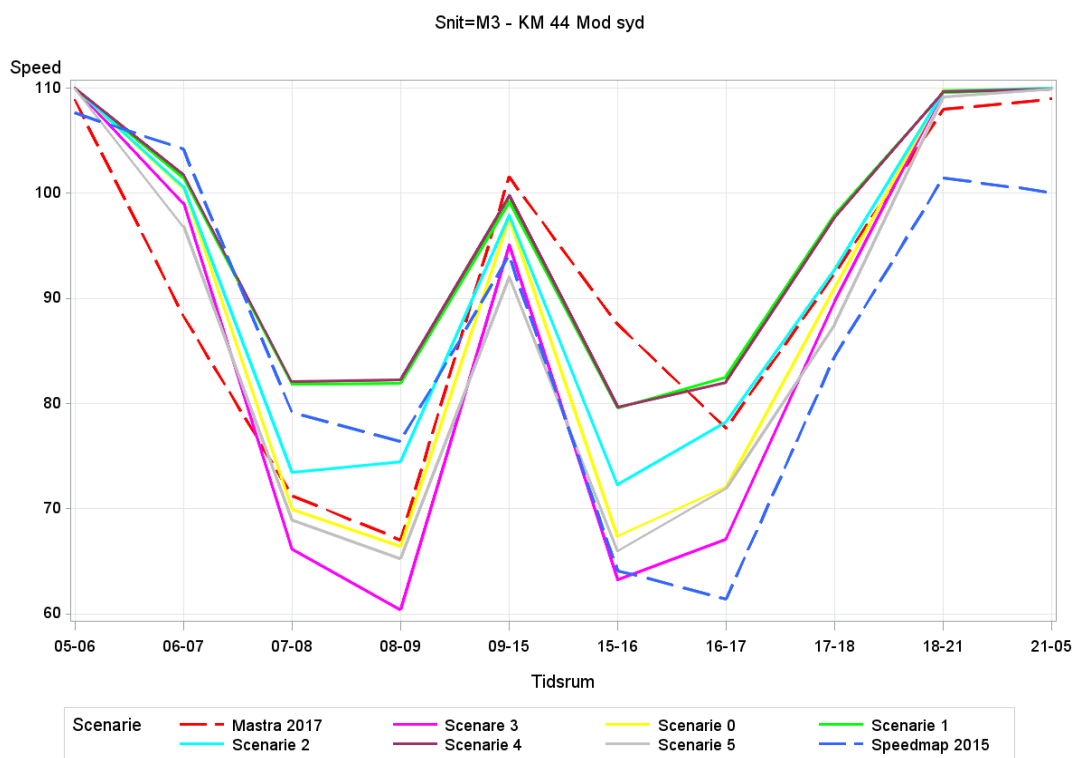
M13 KM 17 - Mod syd	0,5	13,14
M40 KM 193 - Mod vest	0,5	3
M40 KM 183 - Mod vest	0,5	13,15
M60 KM 103 - Mod nord	0,66	3
M60 KM 103 - Mod syd	0,5	3,07
M60 km 161 - Mod nord	0,5	3,8
M60 KM 161 - Mod syd	0,5	4,99
M60 KM 174 - Mod nord	0,5	3,89
M60 KM 174 - Mod syd	0,52	3,04
Gns.	0,52	5,50

På baggrund af de estimerede parametre opstilles flere forskellige scenarier, heraf et basisscenarie, et scenarie med resultatet for den endelig estimering og fire følsomhedsscenarier for at undersøge parametrenes betydning for beregningerne i Landstrafikmodellen, hvilket ses på tabel 5-3.

Tabel 5-3 - Oversigt over scenarier

	$\alpha$ (alpha)	$\beta$ (beta)
Scenarie 0 - Basis	1	7,4
Scenarie 1 - Estimeret	0,52	5,5
Scenarie 2 - Følsomhed	0,76	6,46
Scenarie 3 - Følsomhed	1,25	7,4
Scenarie 4 - Følsomhed	0,52	5,75
Scenarie 5 - Følsomhed	1	5,5

På figur 5-2 kan resultaterne ses af modelberegningen for et udvalgt snit, her sammenlignes resultaterne for de forskellige scenarier med tællinger fra virkelige observationer.



Figur 5-2 - De beregnede scenarier sammenlignet med observeret hastighed for Mastra og Speedmap

Resultaterne for modelberegningerne kan også ses på tabel 5-4, hvor den absolutte procentvise afvigelse mellem modelberegningerne og Mastra tællingerne opstilles. Her ses det altså at scenarie 4 har den mindste afvigelse og scenarie 1 med de estimerede parametre stadig har en mindre afvigelse end scenarie 0. Det skal dog bemærkes, at parametrene er estimeret på baggrund af tællinger fra Mastra.

Tabel 5-4 - Absolut procentvis afvigelse mellem modelberegninger og Mastra

Tidsbånd/Scenarie	0	1	2	3	4	5	Gns.
21 - 05	3,63%	3,63%	3,63%	3,63%	3,63%	3,63%	3,63%
05-06	3,63%	3,64%	3,63%	3,67%	3,63%	4,03%	3,70%
06 - 07	6,79%	5,72%	6,35%	7,12%	5,76%	6,88%	6,43%
07 - 08	8,49%	6,81%	7,37%	10,28%	6,74%	9,25%	8,16%
08 - 09	10,08%	6,37%	8,24%	13,03%	6,10%	13,63%	9,57%
09 - 15	3,56%	3,50%	3,55%	3,62%	3,49%	4,07%	3,63%
15-16	11,25%	8,84%	10,39%	11,76%	8,81%	12,60%	10,61%
16-17	14,42%	10,27%	11,83%	17,16%	10,26%	15,58%	13,25%
17-18	5,81%	5,77%	5,58%	6,13%	5,68%	7,01%	6,00%
18-21	3,18%	3,19%	3,19%	3,18%	3,19%	3,20%	3,19%
Gns	7,09%	5,77%	6,38%	7,96%	5,73%	7,99%	

Ved sammenligning mellem Mastra-datasættet og modelkørslerne med de estimerede BPR-parametre (scenarie 1), er den absolutte middelforskel på 5,77% beregnet. Den beregnede absolutte middelforskel, ved anvendelse af de nuværende BPR-parametre (alpha = 1, beta = 7,4), er 7,09%. Hvis der ses på tabel 5-5, hvor der sammenlignes mellem scenarierne og Speedmap, så er det scenarie 5, som er tættest på observationerne.

Tabel 5-5 - Speedmap vs. scenarier absolut procentvis forskel

Tidsbånd/Beregning	0	1	2	3	4	5	Gns.
21 - 05	4,82%	4,82%	4,82%	4,82%	4,82%	4,82%	4,82%
05-06	4,32%	4,30%	4,31%	4,36%	4,30%	4,66%	4,37%
06 - 07	7,42%	6,20%	6,93%	7,82%	6,20%	7,80%	7,06%
07 - 08	9,89%	9,55%	9,45%	11,53%	9,42%	10,40%	10,04%
08 - 09	8,65%	8,97%	7,42%	9,09%	9,19%	9,58%	8,82%
09 - 15	5,73%	5,44%	5,52%	5,33%	5,64%	4,16%	5,30%
15-16	10,70%	11,88%	10,88%	10,70%	12,04%	9,82%	11,00%
16-17	11,54%	14,06%	12,66%	10,60%	14,01%	11,04%	12,32%
17-18	10,05%	10,83%	10,25%	9,53%	10,91%	8,77%	10,06%
18-21	3,82%	3,74%	3,78%	3,80%	3,77%	3,60%	3,75%
Gns	7,69%	7,98%	7,60%	7,76%	8,03%	7,46%	

## 5.2 Vejrdata

Resultaterne vises på de følgende figurer og tabeller for de lineære regressioner samt parameterestimationerne. Data stammer fra vejrdato og køretøjsdata gældende for Greve og Roskilde og køretøjsdata. Først vises resultaterne hvor alle tællinger er medtaget, dvs. at data også indeholder spidsbelastningstimerne. Herefter vises resultaterne for data hvor fri rejsehastighed principielt kan opnås, altså uden for spidsbelastningstimerne. Efter resultaterne for de lineære regressioner præsenteres parameterestimationerne for de forskellige vejrtypen med tilhørende grafer, der viser forløbet for de forskellige BPR-kurver.

Tabel 5-6 - Lineær regression for det usorterede data

	Greve mod København		Greve mod Køge		Roskilde mod København		Roskilde mod Holbæk	
	Parameter estimation	Pr >  t	Parameter estimation	Pr >  t	Parameter estimation	Pr >  t	Parameter estimation	Pr >  t
Intercept	110,92853	< .0001	111,28072	< .0001	107,86813	< .0001	107,26391	< .0001
Regn	-0,74833	0,0299	-2,41651	< .0001	-0,86062	< .0001	-2,58085	< .0001
Sne	-9,26956	< .0001	-5,76112	< .0001	-7,49558	< .0001	-7,53475	< .0001
Dis	-2,88205	< .0001	-1,57444	< .0001	-0,73479	0,0013	0,42789	0,2123

Tåge	-4,32782	< .0001	-0,04409	0,8930	-1,75237	< .0001	2,06473	0,0060
Normal	0	0	0	0	0	0	0	0

De lineære regressioner for det usorterede data, viser en meget tydelig tendens og sammenhæng mellem vejr og hastighed. Det usorterede datasæt inkluderer perioder med eventuel trængsel og dermed afspejler resultaterne også dette.

Især for vejrtypen sne ses en tydelig påvirkning på den kørte hastighed. Hastigheden reduceres i snevejr med mellem 5,76 km/t til 9,27 km/t. Udover sne ses det også på resultaterne at dis, regn og tåge har en effekt på den kørte hastighed. Reduktionen varierer fra snit til snit og afhænger af retningen, dog kan der ses at dis, regn og tåge kan betyde hastighedsreduktioner op til 4 km/t.

Den samme undersøgelse er lavet for et sorteret datasæt. Her er alle tællinger i myldretiden sorteret fra.

Det betyder at resultaterne afspejler den reelle påvirkning på hastigheden ved fri rejsehastighed.

**Tabel 5-7 - Lineær regression for det sorterede data**

Sorteret data	Greve mod København		Greve mod Køge		Roskilde mod København		Roskilde mod Holbæk	
	Parameter estimation	Pr >  t	Parameter estimation	Pr >  t	Parameter estimation	Pr >  t	Parameter estimation	Pr >  t
Intercept	112,8027	< .0001	113,28156	< .0001	108,70857	< .0001	109,38006	< .0001
Regn	-1,08769	< .0001	-1,74312	< .0001	-0,36691	0,0156	-1,47783	< .0001
Sne	-5,29381	< .0001	-8,42007	< .0001	-6,72396	< .0001	-7,72503	< .0001
Dis	-1,74935	< .0001	-1,80547	< .0001	0,11377	0,6303	-0,16361	0,4883
Tåge	-0,99400	0,547	-0,81899	0,0108	0,10441	0,8043	0,57506	0,1933
Normal	0	0	0	0	0	0	0	0

På tabel 5-7 ses undersøgelsen af de lineære regressioner for det sorterede datasæt. Sorteringen af datasættet giver andre resultater end tidligere set på tabel 5-6.

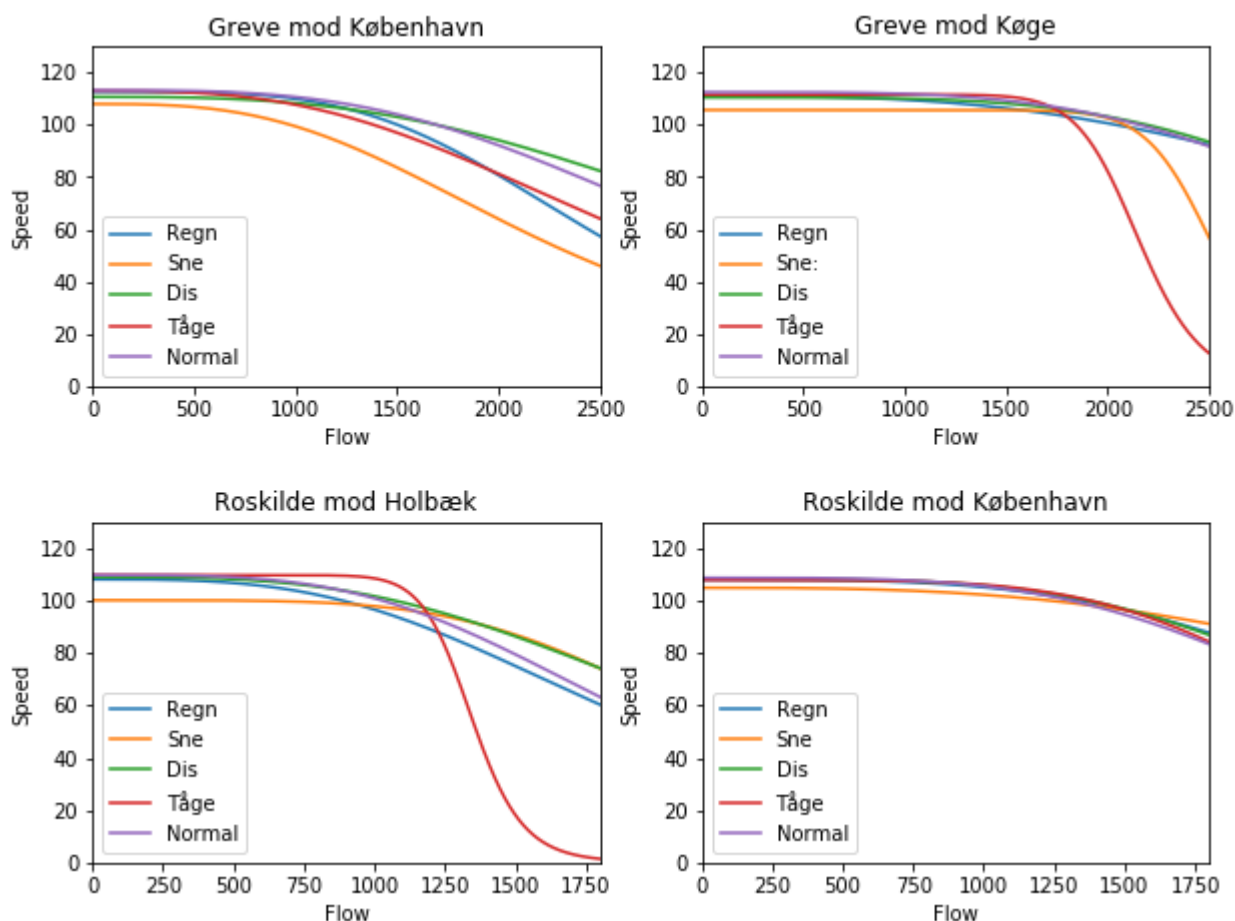
Mange af resultaterne fra den tidligere tabel er også aktuelt for det sorterede data. Sne og til dels regn har en effekt på den kørte hastighed. Sne reducerer hastigheden med op til 8,4 km/t mens regn reducerer hastighed med op til 1,7 km/t. Fra at se en tydelig reduktion af hastigheden grundet vejr, er det modsat med tåge. Det er med det anvendte data ikke muligt at dokumentere hastighedsændringer grundet tåge. For dis ses en effekt på Køge Bugt Motorvejen i begge retninger, hvor hastigheden reduceres med op til 1,8 km/t.

Til sidst ses der på tabel 5-8, hvor resultaterne for parameterestimerne for de forskellige snit vises og i øvrigt illustreres på figur 5-3. Der vises her en tabel med hovedresultaterne for estimationen. Tabellen viser kapaciteten ved den 99,5% største måling, antallet af observationer med de forskellige vejrtyper og den gennemsnitlige hastighed. Derudover viser tabellen resultaterne for de estimerede alpha og beta parametre.

Tidligere blev det bevist at vejrtypen har en indflydelse på den kørte hastighed. Når alpha og beta estimeres, ses der også en tydelig forskel i værdierne fra de forskellige vejrtyper. Dog er det også værd at bemærke at trængselsniveauet også har en betydning under estimeringen af parametrene. Det er ikke alle vejrtyper, hvor der opleves trængsel mens en bestemt vejrtype er aktiv.

Tabel 5-8 - Parameterestimation

	Greve mod København		Greve mod Køge		Roskilde mod Holbæk		Roskilde mod København	
	Alpha	Beta	Alpha	Beta	Alpha	Beta	Alpha	Beta
Regn	0,51	3,99	0,15	3	0,45	3,22	0,19	3,63
Snow	0,88	3	0,1	15	0,16	4,62	0,22	12,50
Dis	0,27	3	0,12	4,21	0,28	3,18	0,21	4,06
Tåge	0,54	3	0,38	13,85	0,77	15	0,26	4,78
Normal	0,32	3,29	0,14	4,02	0,40	3,62	0,23	3,93

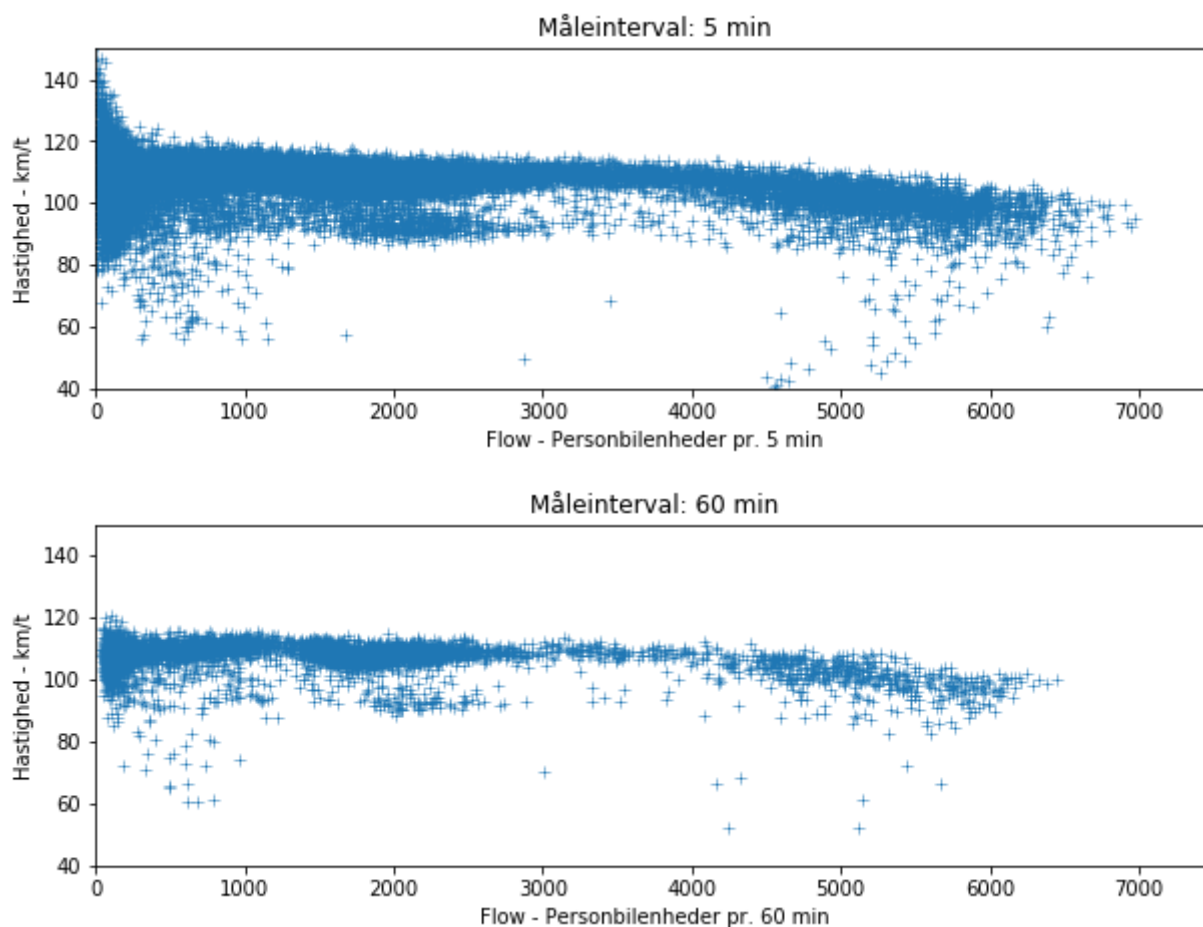


Figur 5-3 - BPR-parametre for de fire snit og de fem forskellige vejrtyper

## 5.4 Enkeltkøretøjer

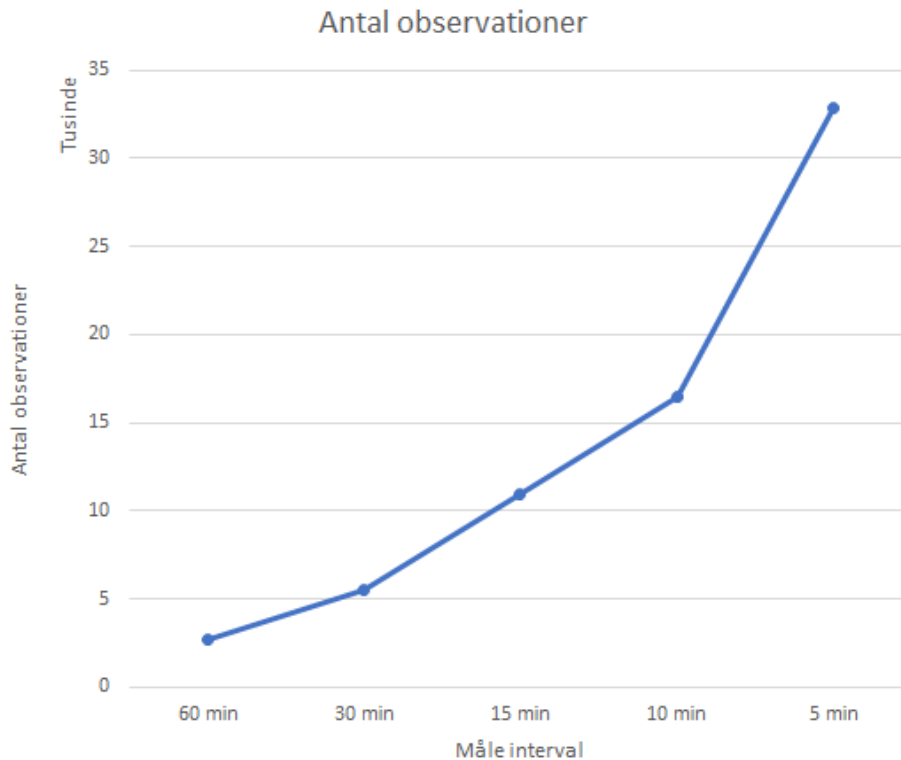
Det er blevet undersøgt hvilken betydning måleintervallet har for BPR-parametrene samt kapaciteten. Til dette anvendes data på enkeltkøretøjs niveau. Der er taget udgangspunkt i Holbækmotorvejen mod København (tællesnit 7). Da der anvendes data på enkeltkøretøjs niveau, har det været muligt at omregne til 5, 10, 15, 30 og 60 min. interval. Hvor det er en sum af køretøjer og middelhastigheden for det pågældende måleinterval.

På figur 5-4 er det muligt at se to eksempler på visualisering af tællingerne omregnet til 5 min. interval og på 60 min. interval. For at skabe et mere sammenligneligt billede, så er der taget højde for intervalstørrelsen og derfor er data omregnet til timeniveau.



Figur 5-4 - Holbækmotorvejen på måleintervallet 5 min. og 60 min.

Som det kan ses på figur 5-4, så der væsentligt flere målepunkter på 5 min. interval end der er på 60 min. interval. Antallet af observationer for de forskellige intervaller, kan ses på figur 5-5.



Figur 5-5 - Antal observationer i forhold til måleinterval

Det er derefter muligt at estimere nye BPR-parametre og kapacitet, som kan ses i det nedenstående skema. Det er værd at bemærke, at kapaciteten er beregnet både ved anvendelse af 99,5% største måling og 99,9% største måling.

Tabel 5-9 - Alpha, beta og kapacitet ved 5 forskellige måleintervaller

	5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.
Alpha	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15
Beta	3,82	3,92	3,90	3,77	3,55
Kapacitet målt ved 99,5%	6.168	6.084	6.060	5.989	5.995
Kapacitet målt ved 99,9%	6.519	6.435	6.336	6.198	6.117

## 6. Diskussion

Ved beregning med Landstrafikmodellen, er der taget udgangspunkt i basisåret 2015. Derefter er der sammenlignet med Mastra data fra 2017 og Speedmaps fra 2015. Dette giver en række udfordringer. Det kan være svært at sammenligne forskellige år, da der kan ske ændringer i infrastrukturen. Vejarbejder kan være påbegyndt eller afsluttet, og hastighedsbegrænsningerne på de udvalgte analysestrækninger, kan være sat op eller ned. Udover ændringer i den fysiske infrastruktur er der også ændringer i forhold til trafikmængden. Ændringerne i trafikmængden kan betyde større eller mindre forskelle i hastigheden på motorvejene.

Indholdet af data er desuden også forskelligt. Mastra indeholder data for alle køretøjer, der passerer et bestemt snit. Hvorimod Speedmap består af strækningsbaseret data, som efterfølgende er filteret og

lastbiler er frasorteret, hvilket kan give en skævhed i forhold til sammenligningsgrundlaget af Mastra og Speedmap.

De oprindelige BPR-parametre er estimeret på baggrund af data fra 2009 og 2010. De estimerede parametre i dette projekt er estimeret på baggrund af data fra 2017. Der er en væsentlig forskel på de estimerede parametre for 2009/2010 og parametrene fra 2017. Det kunne være interessant at undersøge historisk tælledata, for at se om der er en ændring af parametrene over tid.

Overordnet set kan resultaterne for vejrdata illustrere flere forskellige ting.

Resultaterne kan anvendes som en måde at tolke vejrets indflydelse på hastigheden i freeflow, men resultaterne kan også anvendes til at fortolke vejrets effekt på trafikken i perioder med trængsel.

Resultaterne tolkes ved hjælp af parameterestimationer og lineær regression af vejrdata sammenkørt med køretøjsdata.

Antallet af observationer er meget ulige fordelt. Dage med normalt vejr (skyet og klart vejr) er overrepræsenteret i datasættet, hvor andre vejrtypen, som fx sne og tåge, er repræsenteret med få tællinger. Af andre fejlkilder kan nævnes at vejrtypen er meget groft inddelt, da antallet af observationer ellers vil være nærmest ikke eksisterende, hvis inddelingen skulle have været mere detaljeret. Antallet af observationer vil have været væsentligt større, hvis der samtidigt havde eksisteret tællinger for den sidste del af 2017.

## 7. Konklusion

Ud fra de forskellige undersøgelser kan der konkluderes, at data fra de snitbaserede tællinger fra Mastra danner grundlag for de videre undersøgelser og parameterestimationer. Ved at analysere 20 udvalgte lokationer, kan det konkluderes, at den gennemsnitlige kapacitet pr. time. pr. spor er omkring 2.200 når der anvendes en personbil-ækvivalent på 3, og kapaciteten måles ved den 99,5% største observation.

Alpha- og betaparametrene i BPR-funktionen er estimeret ved hjælp af mindste kvadraters metoden. Her estimeres BPR-parametrene alpha til 0,52 og beta til 5,5. Desuden opstilles der fire andre scenarier til følsomhedsanalyse. Ved modelkørsler i Landstrafikmodellen bliver resultaterne efterfølgende sammenlignet med det indsamlede data, som anvendes til estimering af BPR-parametrene. Ved sammenligning mellem Mastra-datasættet og modelkørslerne med de estimerede BPR-parametre (scenarie 1), er den absolutte middelforskel beregnet til 5,77%. Den beregnede absolutte middelforskel, ved anvendelse af de nuværende BPR-parametre (alpha = 1, beta = 7,4), er 7,09%. Det kan dermed konkluderes, at hvis der ses på de 20 udvalgte tællesnit, så passer de estimerede BPR-parametre bedre til den beregnede gennemsnitlige hastighed i Mastra-datasættet.

Det kan dog yderligere konkluderes, at følsomhedsscenariet med en alphaværdi på 0,52 og en betaværdi på 5,75 (scenarie 4), har en beregnet absolut middelforskel på 5,73%, og er dermed det scenarie med den mindste absolutte middelforskel i forhold til Mastra datasættet.

Konklusionen er dog en anden ved sammenligninger med Speedmap. Her er afvigelserne væsentligt større. Den absolutte procentvise forskel mellem Speedmap og følsomhedsscenariet med alpha på 1 og beta på 5,5 er hvor forskellene er lavest her er den på 7,46 procent. Sammenlignes modelresultaterne med Speedmap er resultatet modsat af sammenligningerne med Mastra, da scenarie 1 og scenarie 4 er de scenarier, der passer dårligst sammenlignet med Speedmap observationerne.

Undersøgelserne viser at der er en sammenhæng mellem de forskellige vejrtypen og den kørte hastighed. Både når der er tale om data med og uden trængsel inkluderet.

Særligt vejrtypen med sne afviger generelt forholdsvis meget fra de andre vejrtypen, her opleves den største hastighedsreduktion. I gennemsnit reduceres hastigheden med mere end 5 km/t for alle de valgte snit i snevejr. For andre vejrtypen ses samme tendens ikke. Det kan også konkluderes at der generelt er en meget stor variation i vejrets effekt på den kørte hastighed og varierer desuden meget fra lokalitet til lokalitet. Effekten varierer desuden afhængigt af om perioder med myldretid også inkluderet i undersøgelsen. Data fra Køge Bugt Motorvejen viser at der er en effekt på den kørte hastighed når vejret byder på dis, regn og sne for datasættet uden trængsel. Modsat data fra Roskilde Motorvejen kan der kun



konkluderes at sne har en effekt, når det sorterede datasæt undersøges.  
Parameterestimeringen af vejrdata giver ikke entydige resultater.

Det kan konkluderes, at en ændring i måleintervallet mellem 5 og 60 min. ikke har en nævneværdig betydning for BPR-parametrene. Til gengæld har det en betydning for den målte kapacitet. Hvis der ses på den 99,5% største måling, så er kapaciteten 2,9% større i 5 min. intervallet end i 60 min. intervallet. Hvis der ses på den 99,9% største måling, så er der en forskel på 6,6%.

## Litteraturliste

Nielsen, O. A. & Jørgensen, R. M. (2007), Estimation of speed-flow and flow-density relations on the motorway network in the greater Copenhagen region. IET Intelligent Transport Systems. Kgs., Lyngby.

Hansen, C. O. (2017), Speed-flow kurver kombineret med kø-ventetidsfunktioner. COH ApS. København

Transportation Research Board (2000), Highway Capacity Manual, Washington, D.C.

Vejdirektoratet (2015), Håndbog for Kapacitet og serviceniveau [Online]. Tilgængeligt på:

[http://www.vejdirektoratet.dk/\\_layouts/delegate/handlers/GetFile.ashx?id=4238691&filename=H%C3%A5ndbog%20Kapacitet%20og%20serviceniveau%202015\\_09.pdf](http://www.vejdirektoratet.dk/_layouts/delegate/handlers/GetFile.ashx?id=4238691&filename=H%C3%A5ndbog%20Kapacitet%20og%20serviceniveau%202015_09.pdf) (Tilgået 14. januar 2019)

Vejdirektoratet (2017), Statsvejnettet 2017 [Online]. Tilgængeligt på:

<https://www.vejdirektoratet.dk/side/statsvejnettet-2017> (Tilgået 4. juni 2019)