

Trafiksimulering med VISSIM

- en analyse af programmets grundlæggende adfærdsparametre samt bestemmelse og test af adfærdsparametre under danske forhold



Afgangsprojekt af:
Anders Pihlkjær

Aalborg Universitet - Vej og Trafikteknik 2009

Titelblad

Titel:

Trafiksimulering med VISSIM - En analyse af programmets grundlæggende adfærdsparametre samt bestemmelse og test af adfærdsparametre under danske forhold.

Tema:

Afgangsprøjsjekt på Aalborg Universitet
Overbygningen Vej og Trafikteknik

Projektperiode:

Oktober 2008 til marts 2009

Forfatter:

Anders Greve Pihlkjær

Vejleder:

Harry Lahrmann

Oplagstal:

4 stk.

Sidetæl:

Hovedrapport 102
Bilagsrapport 22

Synopsis

Denne rapport har til formål at teste og kalibrere simuleringsprogrammet VISSIM til danske forhold. Den første del af rapporten omhandler en statistisk og virkelig sammenligning af den tyske og danske trafikantadfærd. Gennem markundersøgelser i Nordjylland er der indsamlet data, som herefter analyseres og testes i VISSIM. Resultaterne af disse tests viser, at der overvejende er statistisk signifikant forskel på anvendelsen af tysk og dansk trafikantadfærd ved frit flow. Resultaterne fra de virkelige tests viser derimod, at rejsetiden gennem modellen ikke forøges betydeligt.

Den anden del af rapporten behandler kalibreringen af en flettestrækning, som går fra tre til to spor på en nordjysk motorvej. Gennem indsamling af data på motorvejen nord for Limfjordstunnelen i Aalborg er der opstillet grafer over hastighed og trafikmængder, som benyttes i kalibreringsprocessen. Der benyttes blandt andet GPS-data, videooptagelser, hastighedsmålinger og trafiktællinger samt statistisk data til at opnå den nødvendige kalibrering. Rapporten viser således et eksempel på en kalibreringsproces, som vil kunne benyttes til andre tilsvarende trafikale situationer i Danmark.

Resultaterne fra kalibreringen viser, at det er muligt at opnå en korrekt trafikafvikling ved at hæve aggressiviteten for bilisterne. Derudover viser det sig, at VISSIM ikke kan afbilde et korrekt hastigheds-mønster uden intelligent farttilpasning. Det kan derfor konkluderes, at VISSIM kan afvikle trafikken hensigtsmæssigt, men at det kræver et indgående kendskab til trafikens variationer i den simulerede periode. Sidst i rapporten illustreres en anden kalibreringsmetode, som kan implementeres i fremtidige kalibreringsprojekter.



Forord

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med et afgangsprøve på 10. semester på B-studienævnets overbygning, Vej og Trafikteknik – Aalborg Universitet. Rapporten er primært skrevet til ansatte og studerende på videregående uddannelser inden for vej- og trafiksektoren. Ifølge studieordningen har specialet følgende formål:

”Specialets formål er at give den studerende lejlighed til på en selvstændig måde at udføre et projekt-arbejde omfattende eksperimentel, empirisk og/eller teoretisk undersøgelse af en eller flere problemstillinger inden for centrale emner i sin uddannelse. Specialet skal dokumentere den studerendes evne til at anvende videnskabelige teorier og metoder på et tilstrækkeligt højt niveau.” [Blåbjerg 2007, p.25].

Rapporten består af en hovedrapport og en bilagsrapport, hvor hovedrapporten udelukkende indeholder teori og resultater, og bilagsrapporten indeholder de dertilhørende beregninger. Derudover er der vedlagt en Cd-rom, hvor læseren kan finde data fra trafikmålinger samt de VISSIM-modeller, som er blevet anvendt i projektet.

Henvisning i projektet, benytter Harvard reference metoden. Referencen vil stå listet som følgende [Forfatter år, sidetal] og vil referere til kildelisten, som indeholder uddybende informationer om kilden. Figurer og tabeller er nummereret fortløbende med reference til kapitelnummeret.

Der skal siges stor tak til følgende personer, som har hjulpet med vejledning og dataindsamling til dette projekt. Der rettes en speciel stor tak til Rasmus Albrink (Rambøll Nyvig), som har brugt mange ressourcer på at vejlede i brugen af VISSIM. Derudover skal følgende personer takkes for at have bidraget til projektet:

Søren Dalbro (Dansk Statistik)	Henning Axel Sørensen (Vejdirektoratet)
Rolf Sode-Carlsen (Rambøll Nyvig)	Jan Bo Jensen (Vejdirektoratet)
Mathias Sdun (Cowi)	Simon Birkebæk (Viatrafik)
Nerius Tradisaukas (AAU)	Ulrik Valentin Hansen (Viatrafik)
Birte Gjesing Jacobsen (Vejdirektoratet)	Augustyn Rzepkiewicz Hansen (Viatrafik)
Allan Christensen (Vejdirektoratet)	

Sidst men ikke mindst skal min vejleder Harry Lahrman (AAU) have tak for et godt samarbejde og god vejledning.

Til læserens information: Eftersom jeg de sidste 1,5 år har boet i engelsktalende lande, kan mit sprog bære præg af engelsk ordstilling. Jeg undskylder på forhånd hvis det er årsag til forståelsesproblemer.



Indholdsfortegnelse

Titelblad.....	I
Forord.....	2
Indholdsfortegnelse.....	5
Læsevejledning.....	7
Resume.....	9
Abstract.....	13
Section 1 – The parameters of the car.....	14
Section 2 – Behaviour Parameters.....	15
1 Indledning.....	17
2 Problemformulering.....	21
3 Planlægning og modellering - Intro.....	25
4 Mikrosimulering.....	29
5 Metode og resultater.....	37
6 Bilens parametre.....	39
7 Vægt- og kraftfordeling.....	49
8 Acceleration og deceleration.....	59
9 Kalibrering af flettestrækning.....	75
9.1 Kalibreringens rammer.....	75
9.2 Dataindsamling.....	77
9.3 Indledende evaluering.....	80
9.4 Parametervalg.....	83
9.5 Kalibrering I og Delresultater I.....	87
9.6 Diskussion.....	90
9.7 Perspektivering.....	92
10 Konklusion.....	97
11 Litteraturliste.....	99
12 Bilag: Parametre i VISSIM.....	103
13 Bilag: Dataindsamling i VISSIM.....	107
14 Bilag: Hastighedsfordelinger fra markobservationer.....	108
15 Bilag: Statistisk analyse på hastighedsdata.....	110
16 Bilag: Motorkraftjustering.....	116
17 Bilag: Statistisk analyse for Vægt og Kraftfordelinger.....	117
18 Bilag: Beregning af simuleringsantal.....	122
19 Bilag: Trafikafvikling med standardindstillingerne.....	123
20 Bilag: Adfærdsparametrene til kalibrering.....	124



Læsevejledning

Formålet med denne læsevejledning er at anskueliggøre kapitlernes indbyrdes sammenhæng samt give et overblik over rapportens struktur.

Rapportens resume fremhæver hovedmotivationen for projektet og giver et overblik over rapportens metoder og resultater. Der vil endvidere være en beskrivelse af rapportens mål, samt hvilke undersøgelsesmetoder der er brugt til at nå disse.

Indledningen indeholder den overordnede baggrund for projektet samt en forklaring af begrebet mikrosimuleringsmodeller. Indledningen beskriver også, hvorfor ingeniører benytter sig af mikrosimuleringsmodeller, samt hvilken trafikudvikling, der ligger til grund for simuleringsbehovet. Derudover beskrives, hvilke problemer rapporten løser, og hvorfor de ikke tidligere er blevet løst. Endvidere forklares anvendte planlægnings- og modelmetoder samt hvilke fordele og ulemper, der er ved anvendelsen af mikrosimuleringsmodeller.

For at læseren opnår en dybere forståelse for mikrosimulering, gives der en forklaring af VISSIM som program og dets anvendelsesmuligheder. Derudover redegøres der for de parametre, der har indflydelse på trafikafviklingen, og der stedfinder ydermere en afgrænsning til de problemstillinger, der fokuseres på i denne rapport.

Metodeafsnittet beskriver fremgangsmåden, som er valgt til at indsamle og bearbejde data gennem projektet. Eftersom rapporten indeholder flere separate problemstillinger, er metodeafsnittet og delresultater samlet i denne rækkefølge: **Problemstilling - Dataindsamling - Databehandling - Resultater - Diskussion**. Denne procedure er gennemgående for alle undersøgelser. Slutteligt opsamles resultaterne fra alle delundersøgelser i en konklusion, som er efterfulgt af en perspektivering over anvendelsesmulighederne og andre analysemetoder.

I.I.I.I Begrebsforklaring

- **VISSIM**: Navnet på det mikrosimuleringssoftware, som benyttes i projektet.
- **Bilens parametre/problemstillinger**: De parametre/fordelinger, som styrer bilens grundlæggende egenskaber såsom hastighedsfordeling, accelerationsfordeling, decelerationsfordeling, vægt- og kraftfordeling. Disse parametre antager ikke bestemte værdier og kan måles gennem markforsøg eller fra dataindsamling.
- **Adfærdsparametre/problemstillinger**: De parametre, som styrer bilistens adfærd ved for eksempel forfølgelse og fletning. Parametrene antager en konstant værdi, som defineres af brugeren. Adfærdsparametrene er knyttet til problemstillingen omkring flettekalibreringen.
- **VISSIM-fordelinger**: De fordelinger, der ligger som standard i VISSIM.
- **Mark-/GPS-fordelinger**: De fordelinger, som er lavet på baggrund af dataindsamling.



Resume

Anvendelsen af mikrosimuleringsprogrammet VISSIM er stigende i Danmark. I mange tilfælde udgør programmet en stor del af beslutningsgrundlaget for infrastrukturudvidelse og evaluering af kapaciteten i et trafikalt system. Der er imidlertid ikke klare anvisninger for, hvorledes parametrene i VISSIM bør indstilles, således at simuleringsmodellerne bedst muligt afspejler virkeligheden efter danske trafikforhold, herunder specielt adfærd på motorveje. Eftersom parametrene i VISSIM er baseret på tysk trafikundersøgelse, er det nærliggende at konkludere at den også afspejler tysk trafikantadfærd

Projektet vil gennem analyse af VISSIM og virkeligheden nå frem til anbefalede retningslinjer for indstillingen af parametrene i VISSIM, med henblik på brug under danske motorvejsforhold. Projektet er delt op i en analyse af bilens parametre og en kalibrering af adfærdsparametrene til en flettestrækning nord for Limfjordstunnellen i Aalborg. Målet for projektet er grundlæggende at kalibrere og teste VISSIMs parametre under udvalgte trafik-situationer. Målsætningerne for dette projekt er følgende:

- At undersøge om dansk trafikadfærd er forskellig fra den tyske. Denne undersøgelse baseres på en statistisk analyse af trafikadfærden i VISSIM ved frit flow. Der vil desuden være en test af rejsetiden i en virkelig trafikmodel for at se den reelle påvirkning af ændringerne.
- At kalibrere VISSIM til en lokal flettestrækning i eftermiddagsspidsstimen ved Limfjordstunnellen for dermed at opnå den bedste parameterindstilling til danske fletteforhold.
- At anvise en videnskabelig kalibreringsmetode, som kan benyttes til andre kalibreringsprojekter.

For at opnå målene er der udført en omfattende dataindsamling og analyse. Følgende analyser er blevet foretaget i perioden 1. oktober 2008 til d. 20. november 2008. Dataindsamlingen er som følgende:

- Hastighedsmålinger på vejstrækninger med en hastighedsbegrænsning på 90 km/t og 110 km/t.
- Hastighedsmålinger af over 3000 køretøjer til undersøgelse af hastighedsfordelinger ved Limfjordstunnellen.
- Trafiktællinger af over 7000 biler gennem analyse af videooptagelser ved Limfjordstunnellen.
- Indsamling af statistik omkring den danske bilpark til undersøgelse af vægt- og kraftfordelinger
- GPS-databehandling fra Spar på Farten til undersøgelse af deceleration og accelerationer for personbiler.

Projektet er delt op i to hovedområder, hvor det første beskæftiger sig med bilens parametre og det andet område de adfærdsparametre, som styrer VISSIM. Nærmere forklaring følger.

Del I – Bilens parametre

Den første del af rapporten er en analyse af bilens parametre og deres indflydelse på trafikafviklingen i VISSIM. Afsnittet er delt op i tre delområder, som alle tester forskellige fordelinger, der repræsenterer dansk trafikadfærd. Områderne og resultaterne er som følgende:

Hastighedsfordelinger

Hastighedsfordelingerne er indsamlet gennem trafikmålinger på motorvejen i Nordjylland, i hastighedszonerne 90 km/t og 110 km/t. De indsamlede fordelinger er herefter testet i VISSIM ved frit flow og sammenlignet med VISSIMs standardfordelinger. Selve fordelingerne viste sig at være forskellige, hvilket blev påvist ved statistiske tests. Herefter blev der testet på en virkelig trafikmodel for at se, om en ændring i fordelingerne reelt har en påvirkning på rejsetiden. Testen foregik på en 10 km strækning fra Th. Sauers vej ved Aalborg Universitet til Halsvej nord for tunnelen. Testen viste, at der ikke var betydelig forskel i rejsetiden, hvorfor det konkluderes, at hastighedsfordelingen i VISSIM kan benyttes til simulering af danske motorvejsforhold.

Vægt- og kraftfordelinger

Vejdirektoratet måler flere steder i landet akseltrykket fra lastbiler, hvorfra de danske fordelinger er konstrueret. Danmarks Statistik har bidraget med data omkring lastbilers motorkraft, som resulterede i de danske lastbilers motorkraftfordelinger. Resultatet af dataindsamlingen viste, at der er markant forskel på vægten af danske lastbiler og lastbilerne i VISSIM. De danske lastbiler kører med op til 72 ton, hvorimod lastbilerne i VISSIM kun kører med 40 ton. Derudover viste kraftfordelingerne ikke den store forskel, med undtagelse af, at en lille del af de danske lastbiler har en motorkraft over 500 kW, hvilket ikke er tilfældet med lastbilerne i VISSIM. Ved test af de danske og VISSIM-fordelingerne har det vist sig, at der forekommer statistisk forskel i rejsetiden. De virkelige test tog udgangspunkt i den samme strækning som ved hastighedsfordelingerne samt en strækning i City Syd i Aalborg. Begge tests viste, at der ikke var markant forskel i rejsetiden, hvorfor det konkluderes, at vægt- og kraftfordelingerne i VISSIM kan benyttes til simulering af danske motorvejsforhold.

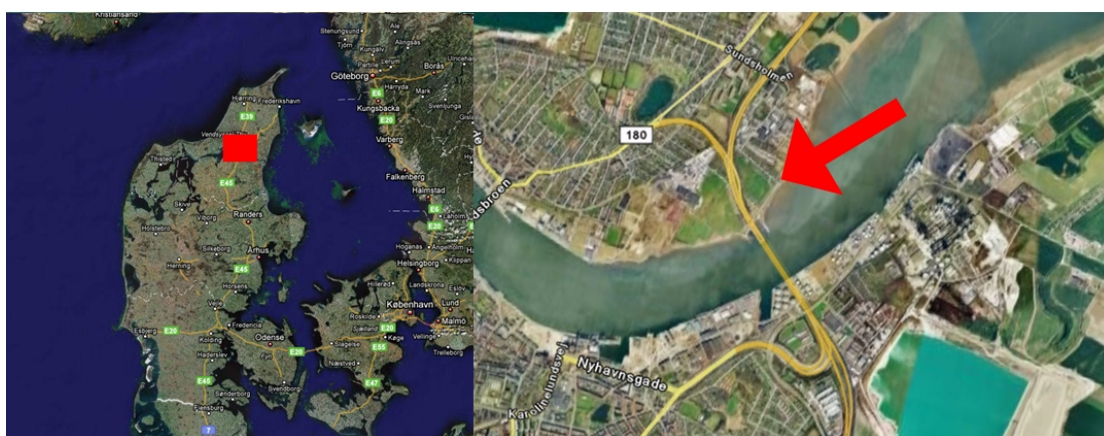
De- og accelerationsfordelinger

Gennem projekt Spar på Farten har det været muligt at konstruere accelerationskurver og decelerationskurver for personbiler. Resultaterne viste, at accelerationen og decelerationen var betydeligt mindre i virkeligheden end i VISSIM. Derudover viste decelerationen, at denne ikke forløber jævnt, som det er antaget i VISSIM. De statistiske tests af kurvernes indflydelse under frit flow viste, at der overvejende var statistisk forskel på op til 10 % i rejsetiden. Ud fra virkelige tests på en 2 km strækning på Frederiksberg i København viste det sig, at rejsetiden

også var forøget med 10 %. På baggrund af dette kan det konkluderes, at acceleration og decelerationskurverne i VISSIM ikke kan benyttes til at simulere danske trafikforhold.

Del 2 - Adfærdsparametre

Den sidste del af rapporten behandler kalibreringen af VISSIM til en flettestrækning nord for Limfjordstunnelen jf. figur 0.1. Via videooptagelser og hastighedsmålinger er der indsamlet præcist data omkring trafikafviklingen i spidstimerne fra 15:00 til 16:45 en hverdag i oktober 2008. Indledende undersøges der, om standardindstillingerne i VISSIM kan afvikle trafikken korrekt under danske forhold. Det viser sig, at standardindstillingerne ikke kan afvikle trafikken, og der opstår kødannelser i tunnelen og flettesporet. På baggrund af dette kalibreres VISSIM til at afspejle de markobservationer, som er blevet indsamlet



Figur 0.1: Oversigtskort over kalibreringsområde nord for Limfjordstunnelen i Aalborg

- Kalibreringsprocessen gennemgår følgende trin:
- Kalibreringens rammer - fremstiller problemstillingen og mål.
- Dataindsamlingen - beskriver resultater og metoder fra videooptagelserne.
- Indledende evaluering - beskriver de statistiske beregningsmetoder og evaluering af standardindstillingerne.
- Parametervalg - angiver grundlaget for valgt af kalibreringsparametre.
- Kalibreringsmetode - beskriver succeskriterierne, og kalibreringens fremgangsmetode.
- Resultater - fremstiller resultater samt diskussion.

Et af resultaterne fra kalibreringen er, at det er muligt med W99 at få trafikken til at flette korrekt samt at undgå kødannelser i tunnelen. Dermed har denne kalibreringsmetode vist sig nyttig til lignende kalibreringsprojekter i fremtiden. Resultaterne har også vist, at VISSIM har svært ved at afvikle trafikken korrekt uden intelligent farttilpasning. Bilerne i VISSIM kører ikke tilsvarende bilerne i virkeligheden, og den naturlige hastighedsnedsættelse ved høj trafikintensitet har ikke været mulig at simulere i VISSIM. På baggrund af dette kan det konkluderes, at VISSIM brugere skal være påpasselige med at lægge stor vægt på simuleringer af fremtiden, samt at trafikmodeller bør opbygges på meget præcise data for at sikre en korrekt model.



Abstract

The microsimulation software VISSIM is increasingly being used in Denmark. In many cases, the microsimulations play a big part in both the decision making of infrastructure expansion and the evaluation of capacity in the traffic network. Yet up until now, because the parameters in VISSIM are based on German studies and therefore reflect only German traffic behaviour, there is no specific guidance in how the parameters in VISSIM should be adjusted so that the simulation models reflect the traffic conditions on actual Danish freeways.

This thesis will lay out an analysis of VISSIM and real-life traffic conditions and then advance towards developing guidelines for the parameters in VISSIM for Danish freeways. The thesis is divided into two parts, where the first part examines the parameters of the typical Danish automobile, and the second part calibrates VISSIM to fit a specific weaving section, located just north of Aalborg, Denmark. The fundamental objective of this thesis is to calibrate and test VISSIM under these real Danish traffic conditions in Aalborg. The main objectives are:

- To investigate the differences in German and Danish traffic behaviour through a statistical analysis of each setting in VISSIM under free flow conditions
- To take the Danish setting established and test it in a real traffic model to see if there is a true difference between the actual usage of VISSIM and Danish parameter settings
- To calibrate the parameters in VISSIM to fit real traffic conditions at a local weaving section north of the Limfjords-tunnel in Aalborg
- To illustrate a scientific calibration procedure, which can be used in future calibration projects on Danish freeways

To achieve these objectives, an extensive effort in data collection and analysis has been made. The following analysis has been made between October 1st 2008 and November 20th 2008:

- Speed measurements in zones of 90 and 110 km/h
- Speed measurements of more than 3000 vehicles to calculate speed relationships at the weaving section
- Traffic counts of more than 7000 vehicles to examine flow relationship at the weaving section
- Collection of statistical information regarding the Danish fleet of trucks weight and power distributions
- Collection of GPS data in regards to examination of the Danish car fleet's acceleration and deceleration distributions

As mentioned previously, the thesis is divided in to two main sections which are explained in more detail hereafter.

Section I – The parameters of the car

The first section analyzes the fundamental parameters of the cars and their influence on travel times in VISSIM. The section is divided into three subsections that all test and analyse different traffic distributions based on Danish traffic behaviour. The subsections and results are as follows:

Speed distribution

The data for the speed distributions are all collected through speed measurements on the freeway in Northern Jutland in the speed zones of 90 and 110 km/h. The speed distributions are thereafter tested in VISSIM under free flow conditions and compared to similar tests with the standard distributions. These statistical tests showed that there is a difference in the distributions under free flow conditions. The distributions were also tested in a real traffic model to examine if the travel time through the model is different. The real traffic model stretches 10 kilometres and runs from Th. Sauers vej to Halsvej north of Limfjords-tunnel. The test showed that there is no significant difference in travel time through the model and therefore it can be concluded that the speed distributions from VISSIM can be used under Danish traffic conditions.

Weight and power distributions

The Road directorate in Denmark measures the weight of trucks along the freeway at several locations. From these measurements, it has been possible to determine the weight distributions for trucks in Denmark. The organisation “Statistics Denmark” has provided data regarding the engine power of Danish trucks from which the power distribution is made. The results from the data collection showed that there is a striking difference in the Danish and VISSIM distributions. The Danish trucks have been measured with weights up to 72 tons where the distribution in VISSIM has a maximum of 40 tons. The power distributions did not show a major difference except that a small part of the Danish trucks have engines with a power between 400-500 kW and VISSIM trucks have a maximum of 400 kW.

In testing and comparing the weight and power distributions for Danish and VISSIM trucks, it is demonstrated that there are no major differences in travel time through a free flow network. A test in a real traffic model similar to the previous one showed that there are no differences in travel time through the network, and therefore it can be concluded that the weight and power distributions from VISSIM can be used under Danish traffic conditions.

Acceleration and Deceleration distributions

Through GPS-data from project “Spar på Farten” it has been possible to calculate the deceleration/acceleration distributions for automobiles. The results showed that the GPS deceleration/acceleration distributions were lower than the ones in VISSIM. Moreover, the assumption in VISSIM that the deceleration is a linear curve was proven wrong. The statistical test under free flow conditions showed a significant difference and the travel time

was up to 10% shorter when using the GPS distributions. Furthermore, the test in a real traffic model in central Copenhagen also showed a 10% increase in travel time. Therefore it can be concluded that the deceleration/acceleration distributions from VISSIM cannot be used under Danish conditions.

Section 2 – Behaviour Parameters

The second part of this thesis concerns the weaving section north of the Limfjords-tunnel I Aalborg cf. Figure 0.2. Through video recordings and speed measurements, data was collected from a weekday between 3 pm and 4.45 pm in October 2008.

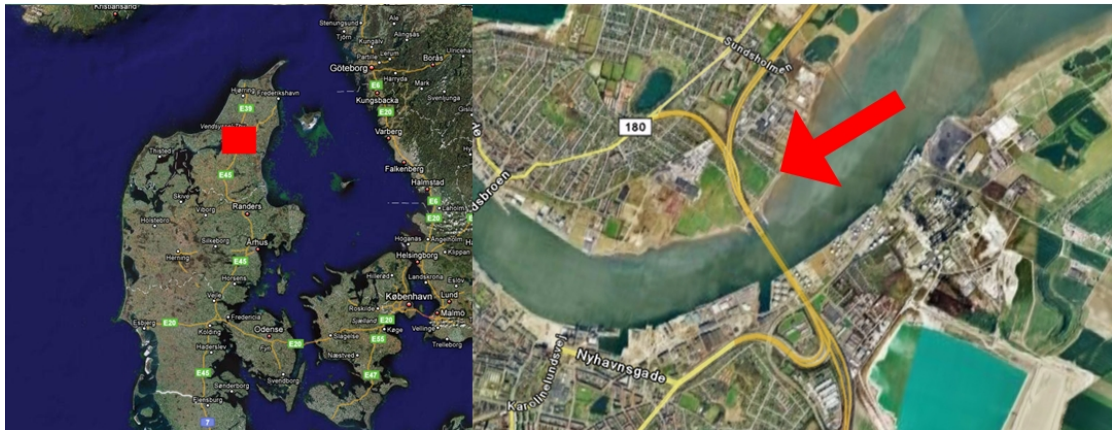


Figure 0.2: Map of Denmark showing the weaving section

Initially the standard settings in VISSIM were tested to see if they can be used under Danish traffic conditions. The results showed that the standard settings could not be used in this weaving situation and as a result congestion and traffic blocks were accruing throughout the simulation. Therefore, VISSIM was calibrated to fit Danish weaving conditions.

The calibration process went through the following steps.

- Overview of the settings of the calibration – Explains the problems and goals of the calibration
- Data collection – Explains the method and results from video takings.
- Initial evaluation – Evaluation of the standard parameter settings
- Selection of parameter – Describes the procedure of selecting the right calibration parameters
- Calibrating – Explains the criteria of success and the calibration procedure
- Results – Illustrates the results and discussion

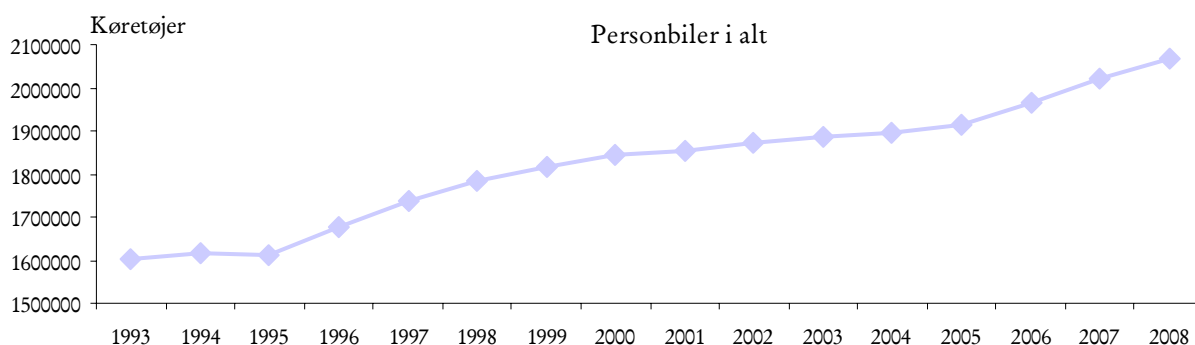
One of the results from the calibration was that it is possible to calibrate the weaving section to fit Danish conditions. Therefore the calibration procedure has shown to be useful for similar cases in the future. The results also show that VISSIM experiences difficulty in getting the speed of the cars to match real traffic conditions without intelligent speed adaption throughout the simulation. The cars in VISSIM do not respond to congestion by reducing their speed the same way it happens in reality. It can thus be concluded that VISSIM users should be careful when placing their trust in the simulation of future traffic conditions.



I Indledning

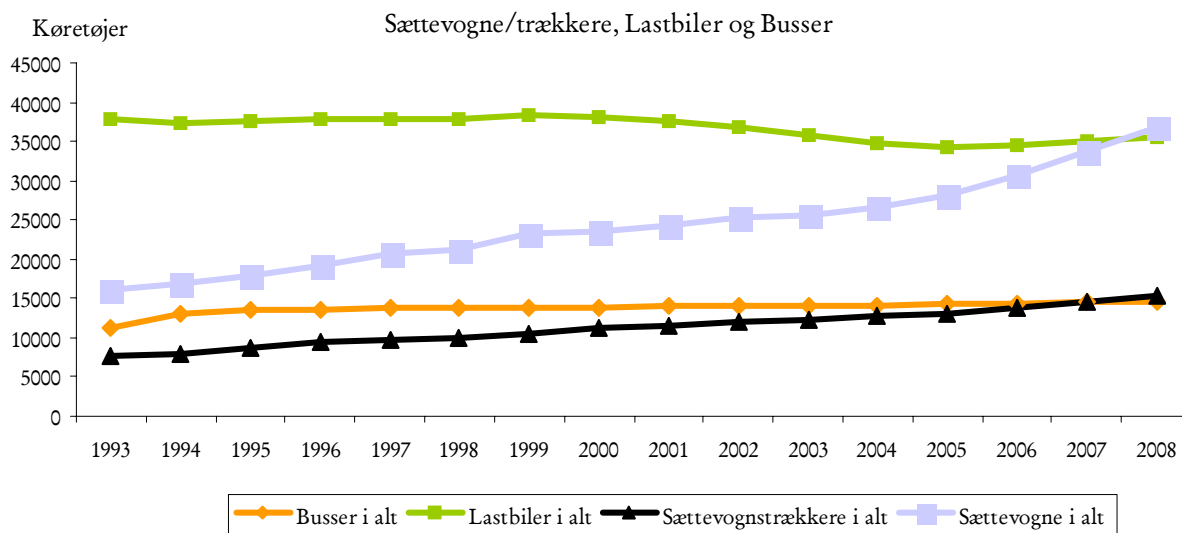
Gennem de sidste 40 år er trafikken vokset kraftigt på de danske veje. Et resultat af denne trafikale vækst har været en forøget efterspørgsel på større kapacitet samt flere veje i Danmark. Denne efterspørgsel har gennem årene medført massive infrastrukturudvidelser, som ofte kræver nøje planlægning, modellering og simulering.

I takt med de mange års økonomiske vækst har et større antal danske familier fået råd til flere biler. Figur 1.1 illustrerer en graf over antallet af personbiler fra 1993 til 2008. Det ses, at antallet af personbiler har haft en markant vækst på 29 % siden 1993, hvilket svarer til en vækstrate på 1,94 % pa. Ifølge Forenede Danske Motorejere kan denne vækst specielt mærkes på motorvejen E20, Køge - Storebælt - Trekantsområdet og på strækningen E45, Trekantsområdet - Vejle - Århus - Randers. I disse områder forventes der en samlet vækst på 35-45 % frem til 2015 med 2002 som udgangspunkt [FDM, 2008].



Figur 1.1 Antal personbiler fra 1993-2008 [Statistikbanken, 2008a]

Derudover er der også sket en vækst i antallet af tunge transportmidler. På figur 1.2 ses en graf over antallet af busser, lastbiler, sættevognstrækkere og sættevogne fra 1993 til 2008. Det ses at antallet af busser er svagt stigende, mens antallet af lastbiler er svagt faldende. Faldet i



Figur 1.2: Antal sættevogne/trækkere, lastbiler og busser fra 1993-2008 [Statistikbanken, 2008a]

lastbiler skyldes hovedsageligt den forøgede brug af sættevogne og sættevognstrækkere, som har haft en vækst på hhv. 127 % og 98 % fra 1993 til 2008. Denne vækst i antallet af tunge køretøjer ser ikke ud til at blive mindre i fremtiden, hvilket medfører et behov for endnu større kapacitet på de danske motorveje [Statistikbanken, 2008a].

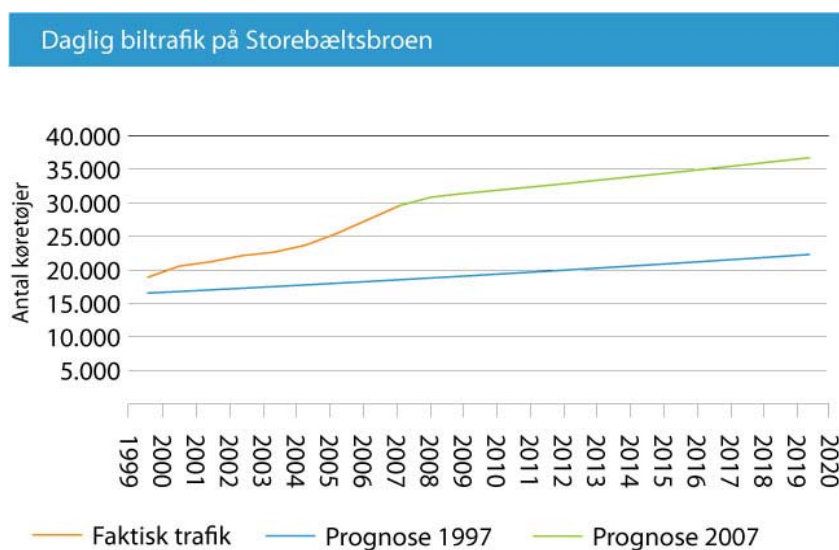
Trafikvæksten er ikke kun markant på motorvejene mellem de større byer i Danmark. Internt i byerne forekommer der tilmed en markant stigning. Her tænkes bl.a. på trafikken til og fra havnene, som spås at opleve en kraftig vækst i de kommende 15 år. Dette skyldes hovedsageligt den voksende handel på nær- og fjernmarkeder (Baltikum, Kina mm.) [Dansk vejtidsskrift, 2008, pp.4-6]. En undersøgelse fra Danske Havne spår en samlet vækst på ca. 100 % i gods over kaj ved de 23 største havne frem til 2025 [Bøgetorp, 2008, p. 3]. Dette må imidlertid medføre en vækst i transporten til og fra havnene, der cirka ligger på samme niveau. Dette stiller igen endnu større krav til den omkringliggende infrastruktur.

Det har således været et stort problem i mange år, at vejnettets kapacitet hurtigt opbruges med trængslen til følge. Politikerne og trafikforskerne har længe indset at udbygning af vejsystemet ikke alene kan følge med udviklingen på vejnettet. For at imødekomme væksten er det også nødvendigt at optimere de eksisterende systemer og dermed skabe plads til de mange biler. En grundlæggende forudsætning for optimering er at lave modeller og prognoser, som er med til at udforske og vælge den bedste optimeringsløsning. Det er derfor på grund af trængslen og de mange kødannelser, at kravet om trafikplanlægning og trafikmodeller er opstået. Trafikmodeller og prognoser er imidlertid oftest estimeret på et tværsnit i tid og er derfor mest velegnede til kortsigtede planer. Derudover er disse planlægningsmetoder ofte baseret på antagelser om bestemte udviklingsforløb, som er en markant svaghed. Disse ydre faktorer er eksempelvis [Rørbech 2008, p.6]:

- Vækst kontra stagnation.
- Teknologispring kontra fortsat brug af eksisterende.
- Rigelig energi kontra mangel på energi.
- Høj miljøbevidsthed kontra lav miljøbevidsthed.
- Bil kontra kollektiv trafik.
- Central udvikling fokuseret omkring hovedstadsområdet og de store byer kontra regionalisering.

Et godt eksempel på denne kompleksiteten er, hvis der udvælges to forskellige vækstmodeller med hhv. lav og høj udvikling. I dette tilfælde vil en given udvikling kunne udfolde sig $2^6 = 64$ senarier/kombinationsmuligheder, hvilket kan være svært at gennemskue. Eksempelvis lavede trafikforskerne i 1970'erne fejlestimeringer på trafikudviklingen, da energikriserne ramte os. Gennem 1960'erne var bilismen nærmest eksploderet, hvilket dengang var grundlaget for fremtidens trafikale senarier og prognoser. Men i 1973 og senere i 1978 led bilismens massive udvikling et markant knæk, hvilket ingen havde regnet med. Energikrisen medførte imidlertid, at alle prognoser og modeller skulle justeres til de nye vilkår, så Danmark ville få en mere realistisk infrastrukturudvikling [Lahrmann 2008].

Et andet eksempel på fejlprognoser er trafikken over Storebæltsbroen efter åbningen i 1998. På Figur 1.3 ses, hvordan trafikvæksten langt overgik prognosen fra 1997. Siden 1999 har den gennemsnitlige trafikale vækst over Storebæltsforbindelsen været 5 pct. per år, hvilket ikke var nær tidligere prognoseestimeringer. [Femerbælt 2008]



Figur 1.3: Sammenligning af faktisk trafik og prognosetrafik.[Femerbælt 2008]

Trods kompleksiteten og fejlestimeringer i modellerne har det dog vist sig fornuftigt at planlægge trafikken for at undgå trængsel og kø på de danske veje. Der har gennem tiderne været mange trafikmodeller, som har forsøgt at give svar på fremtiden med større eller mindre præcision. Resultaterne har ofte været begrænsede, blandt andet på grund af de utallige menneskelige og fysiske parametre, der påvirker en sådan modellering, samt behandling af store datamængder, som kræver stor processorkraft. Derudover bliver det danske vejnet hele tiden større og mere komplekst, og det er dermed tilsvarende sværere at lave detaljerede og korrekte trafikale analyser. Tilmed skal der i dag tages højde for den nyeste ITS-teknologi, der langsomt bliver implementeret både i bilerne, i trafikstyringssystemerne og på vejen, hvilket igen ændrer planlægningsgrundlaget.

Til stor glæde for trafikplanlæggere har computerens processorkraft oplevet en kraftig vækst i de seneste år. Dette har gjort det muligt at behandle store mængder data hurtigere og mere effektivt. Derudover har computerteknologien medført nye og bedre trafikmodeller, der hele tiden implementerer flere og mere komplekse elementer fra trafikken. Eksempelvis er det i dag muligt at kombinere bus, lastbiler, personbiler, bløde trafikanter, jernbane og undergrundsbane i samme simulering, hvilket giver et bedre billede af den reelle symbiose, der findes i trafikken.

Det er også nødvendigt at skelne mellem de forskellige trafiksimuleringsmodeller, da de langt fra er ens. Typisk inddeles de i grupper efter, hvilket detaljeringsniveau de prøver at simulere. Disse grupper er hhv. makro-, meso og mikrosimulering, hvor makrosimulering dækker over trafiksimuleringen på lands- eller regionalt plan. Mesosimulering tager udgangspunkt i makroskopiske parametre, såsom rutevalg og kapacitet, og kombinerer det med en

simplificeret bilistadfærd. Mikrosimulering giver derimod mulighed for at simulere den enkelte bilist og dermed mulighed for at modellere lokale trafiksituationer i stor detalje. Derudover giver de fleste mikrosimuleringer også mulighed for enten en 2D- eller 3D-illustrering af den enkelte bilist, hvilket er en fordel, når modellerne skal repræsenteres [Fellendorf 2000, p.2].

På Karlsruhe universitet i Tyskland er der i de sidste mange år blevet forsket i trafikantadfærd på flere planlægningsniveauer, herunder specielt mikroniveau. De mange års forskning, samt kravet om mere stabile og sikre trafikmodeller, medførte imidlertid i 1979, at Dr.-Ing. Hans Hubschneider stiftede PTV Planungsbüro Transport und Verkehr. Hans mission var at implementere de mange års forskning i et moderne mikrosimuleringsprogram, som i 1993 blev udgivet som softwaren VISSIM - Verkehr In Städten - SIMulationsmodell [Wikipedia 2009a]. De mange års tysk forskning er således blevet implementeret i VISSIM, hvilket har gjort, at VISSIM har udviklet sig til et meget komplekst program med et større antal parametre og indstillingsmuligheder. I takt med at kompleksiteten i programmet er blevet større, er der således også kommet flere problemstillinger omkring de parametre, som styrer VISSIM.

Mikrosimuleringsprogrammerne har efterhånden indtaget en førende plads hos rådgiverne og planlæggerne, og de bliver dagligt anvendt i infrastrukturplanlægningen samt til analyse og evaluering af trafikale situationer. Det er således billigere og mindre tidskrævende at afprøve teorier og design i mikrosimuleringsmodellerne. Anvendelsesmulighederne er mange, og der kan blandt andet nævnes anvendelse inden for: [PTV-AG 2008, p.53-57]

- Test af nye vejudformninger.
- Optimering af lyskryds.
- Fremtidsstudier af eksisterende og nye trafikløsninger.
- ITS systemer (fx intelligent cruise control og dets effekt).
- Analyse af bevægelsesmønstre i befolkningen.

VISSIM er langt fra et perfekt værktøj til trafikplanlægning og optimering. Ved brug af programmet er der tilknyttet flere problemstillinger, som bør anskueliggøres. Her vil der svares på:

- Hvad er nogle af de største problemstillinger i VISSIM?
- Hvorfor er disse problemstillinger vigtige at løse?

Disse spørgsmål vil blive besvaret i næste afsnit, som behandler problemformulering og afgrænsningen.

2 Problemformulering

VISSIM er et software, med stor gennemsigtighed for brugeren, og brugergrænsefladen giver høj mulighed for at justere og påvirke trafikken. Overordnet er VISSIM bygget op omkring en række hovedområder, hvor de vigtigste er hhv. vejnettets geometri, signalernes indstilling og bilisternes individuelle adfærd. Inden for hvert af disse hovedområder er der justerbare parametre, som gør det muligt for brugeren at påvirke trafikafviklingen i VISSIM.

Flere af de parametre, som ligger inden for disse hovedområder, er meget komplekse og næsten umulige at måle i virkeligheden. I stedet må brugeren sætte sin lid til programmets standardindstillinger, hvilket kan medføre upræcise simuleringer. Problemet ved disse standardindstillinger er, at de er udviklet i Tyskland og dermed i mange tilfælde også er bedst egnet til at simulere tyske forhold. Praksis har vist, at de ofte ikke har været tilstrækkeligt præcise, når der skal simuleres på det danske netværk. Derfor kan brugeren risikere, at der ved ukritisk brug af standardindstillingerne sker en skævvridning af virkeligheden.

Der er således ikke klare anvisninger for, hvorledes parametrene i VISSIM bør indstilles, således at simuleringsmodellerne bedst muligt afspejler danske trafikale forhold.

Dette projekt vil gennem analyse af VISSIM og markforsøg arbejde med anbefalinger til danske retningslinjer for indstillingen af parametrene i VISSIM. Dette med henblik på brug under danske motorvejsforhold. Målene for denne rapport er således:

- At undersøge om dansk trafikadfærd er forskellig fra den tyske. Denne undersøgelse baseres på en statistisk analyse af trafikadfærden i VISSIM ved frit flow. Der vil desuden være en test af rejsetiden i en virkelig trafikmodel for at se den reelle påvirkning af ændringerne.
- At kalibrere VISSIM til en lokal flettestrækning i eftermiddagsspidsstimen ved Limfjordstunnellen for dermed at opnå den bedste parameterindstilling til danske fletteforhold.
- At anvise en videnskabelig kalibreringsmetode, som kan benyttes til andre kalibreringsprojekter.

Gennem rapporten vil de undersøgelser, der knytter sig til delmål no. 1, blive refereret til som "bilens parametre/problemstillinger". Dette gøres, da undersøgelserne behandler bilens egenskaber, som kan måles og registreres ved markforsøg. Her tænkes specielt på forhold som hastighedsfordelinger, de- og accelerationsfordelinger m.fl.

Der vil efterfølgende blive refereret til undersøgelserne til delmål no. 2, som adfærdsparemetre/problemstillinger, da disse undersøgelser behandler parameterindstillinger, som ikke direkte kan måles i marken. Nærmere forklaring herom følger i senere kapitler.

2.1.1 Hvorfor er disse problemer vigtige at løse?

I takt med at ingeniører og planlæggere lægger større og større vægt på resultater fra mikrosimuleringer, vækker det imidlertid bekymring for præcisionen af modellerne. Uden korrekt kalibrering og validering af en given model kan mikrosimuleringen komme til at afspejle virkeligheden upræcist. Disse fejl kan medføre alvorlige konsekvenser, hvis de er grundlaget for vigtige trafikale beslutninger. Mikrosimuleringsmodellerne er derfor meget afhængige af korrekte data, og en god frase at huske er: *Garbage in = Garbage out*. Det er derfor essentielt at kalibrere korrekt for at opnå et fornuftigt output. Dette er ofte meget tidskrævende og kræver meget store mængder data for, at man dermed kan være sikker på, at virkeligheden er repræsenteret i modellen [Park 2006, P.6-7].

Det store ressourcebehov medfører således ofte, at det er standardindstillingerne i mikrosimuleringsprogrammerne, som anvendes. Eftersom standardindstillingerne i VISSIM er baseret på tysk forskning, er det nærliggende at konkludere, at de også afspejler tysk trafikantadfærd. Da tyskerne har andre hastighedsbegrænsninger, større, kraftigere og nyere biler, lavere trafikbøder og en anden bilkultur, er det rimeligt at konkludere, at deres adfærd er anderledes end danskernes. Derfor er det grundlæggende forkert at benytte programmets standardindstillinger, og programmet behøver derfor en kalibrering, før det afspejler danske motorvejsforhold og adfærd. Efter en rundspørge hos de førende VISSIM-brugere i Danmark (Rambøll, Cowi og Viatrafik) blev der stillet følgende spørgsmål, og stort set alle svarede følgende:

Hvor mange parametre undersøges og kalibreres ved nye projekter?

Svar: Eftersom tid er penge, er der ofte ikke meget tid til kalibrering, og standardindstillingerne benyttes i høj grad. Dog bliver signalstyresystemer, køretøjstyper, trafiktællinger og retningsfordelinger altid undersøgt og indlagt i programmet. Ved ændringer i parametrene er det specielt gap-tiden som justeres. Vi bruger i høj grad ingeniørfornuft til at vurdere om det ser realistisk ud.

Afspejler Jeres simuleringer altid virkeligheden og er de pålidelige?

Svar: Ja, det synes vi, den gør i tilstrækkelig tilstand til, hvad vi bruger det til. Men det er en "nutid", vi afspejler, og det er svært at sige, om vi rammer fremtiden. Ser det fornuftigt ud, ja så er det sikkert også.

Hvor stor vægt lægger I på simuleringsmodellerne?

Svar: Rigtig meget. De er grundlaget for rigtig mange beslutninger. Det er jo også det bedste værktøj, vi har i dag.

Det er tydeligt, at de rådgivende ingeniører ikke har ressourcerne til at kalibrere og validere trafikmodellerne til alle projekter, hvilket kun kan betyde, at der begås fejl, og modellerne

kan være mangelfulde. Når modellen indstilles til at afspejle en nutid, er der stor sandsynlighed for, at modellen indeholder fejl, hvis der ikke benyttes de korrekte parameterindstillinger. Hermed vil en simulering af en given fremtid forstørre denne fejl betydeligt i forhold til, hvis de korrekte parameterindstillinger blev benyttet. Dette gør sig specielt gældende, når trafikken når kapacitetsgrænsen, hvor parameterindstillinger såsom vognbaneskit og forfølgelsesmodellen har en stor indflydelse. En undersøgelse af seks forskellige mikrosimuleringsprogrammer viste, at en 13 % fejlkalibrering af nutidens hastighed på en motorvej blev forøget til en fejl på 69 % ved test af et fremtidsscenario. Derfor er det essentielt, at der undersøges, hvilke parameterindstillinger der passer bedst til de enkelte trafiksituationer [Dowling 2004, p. 53].

2.2 Afgrænsning

Da VISSIM er et program, som benyttes til flere forskellige trafikale situationer, er det valgt at afgrænse projektet til enkelte problemstillinger, som herefter gennemgås. Rapporten fokuserer på to delområder, hvor det ene beskæftiger sig med indflydelsen og analysen af bilens parametre, og den anden beskæftiger sig med de adfærdsbestemte parametre, der styrer motorvejskørsel.

2.2.1 Bilens problemstillinger – Delområde I

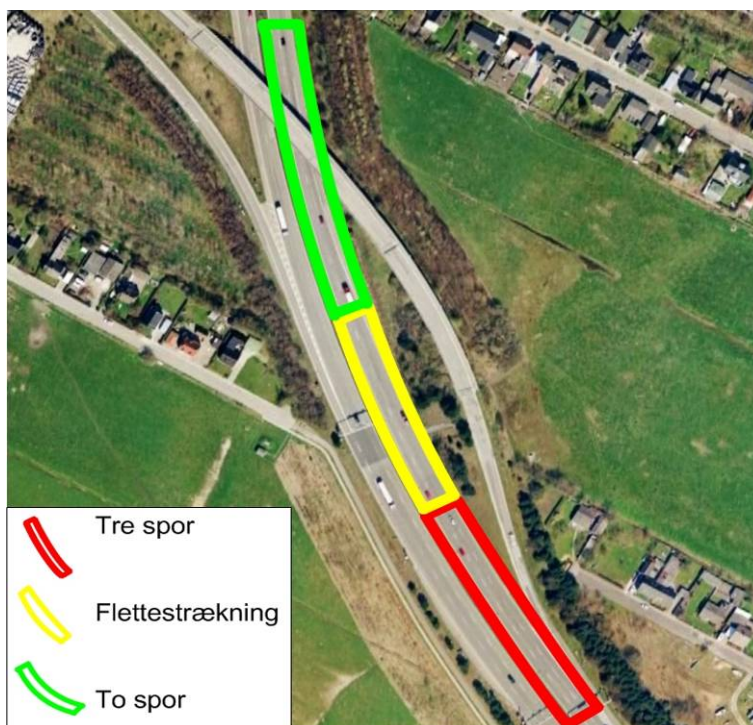
Der er til dags dato ikke lavet analyse af, hvordan de danske bilers adfærd er forskellige fra de tyske, samt hvilken indflydelse disse har på trafikafviklingen i VISSIM. Nedenstående liste afgrænser sig til analyse og undersøgelse af følgende:

- Hvordan forholder de danske fordelinger sig på følgende områder?
 - Hastighedsfordeling for lastbiler og personbiler.
 - Vægtfordeling for lastbiler.
 - Motorkraftfordeling for lastbiler.
 - Ønsket acceleration for personbiler.
 - Ønsket deceleration for personbiler.
- Hvordan afviger disse fordelinger fra standardfordelinger i VISSIM?
- Under hvilke forhold har ændring af disse parametre en indflydelse på trafikafviklingen i VISSIM, og er der statistisk signifikant forskel i middelværdien og variansen for hhv.
 - Rejsehastigheder ved frit flow
 - Rejsetider ved frit flow
- Har en ændring af fordelingerne en reel effekt på rejsetiden gennem en virkelig trafikmodel?

2.2.2 Adfærdsproblemstillinger – Delområde 2

Den anden afgrænsning angår adfærdsparametrene. Der er mange trafikale situationer, som kræver kalibrering, og dette projekt vil fokusere på situationen nord for Limfjordstunnelen i Aalborg. Følgende afsnit er en beskrivelse af problemstillingen og en afgrænsning af de relevante parametre.

I hverdage mellem klokken 15.00 og 17.00 sker der dagligt en kødannelse nord for Limfjordstunnelen, når man er kørende mod nord. I tunnelen er der tre baner med en hastighedsbegrænsning på 90 km/t. Lige efter Nørresundbygrenen kommer en flettestrækning, hvor der indsnævres til to spor. Denne sammenfletning er dagligt skyld i, at der sker en markant hastighedsnedsættelse gennem Limfjordstunnelen, og bilisterne oplever forsinkelser på denne strækning. Se Figur 2.1 for en visualisering af flettestrækningen.

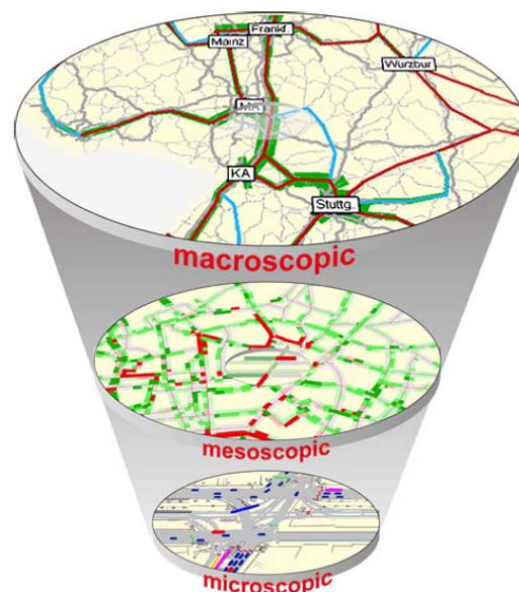


Figur 2.1: Flettestrækning nord for Limfjordstunnelen

Benyttes de tyske standardindstillinger i VISSIM, kan det medføre et forkert billede af virkeligheden. Derfor er det nødvendigt at kalibrere denne strækning, så fremtidige simuleringer af dette område passer til danske forhold. Dette kunne eksempelvis være relevant, hvis staten ønsker at analysere effekten ved en udvidelse af motorvejen til tre spor frem til Bouet. Med rapportens kalibreringsresultater kan der laves et mere realistisk før- og efterbillede i en trafiksimuleringsmodel. En kalibrering af denne trafikale situation udgør en del af et større kalibreringsregi, hvor flere trafikale situationer mangler kalibrering. Der afgrænses til denne ene situation, da selve kalibreringsmetoden kan gentages for lignende situationer og derfor er rent gentagelsesarbejde. I de følgende afsnit gives en introduktion til planlægning og modelleringsmetoder samt en beskrivelse af, hvor og hvordan mikrosimulering bedst anvendes.

3 Planlægning og modellering - Intro

Gennem tiderne har planlægningen og modelleringen af trafikken udviklet sig meget, og i dag findes der en bred vifte af metoder og programmer, som kan hjælpe til i den enkelte opgave. Grundideen bag en trafikmodel er at simplificere og bearbejde en tænkt virkelighed for derefter at kunne foretage kvalificerede beslutninger omkring et virkeligt projekt. Det er i denne sammenhæng vigtigt at skelne mellem modellernes anvendelighed, samt hvilket planlægningsniveau de henvender sig til. Som tidligere beskrevet kan trafikplanlægning deles op på hhv. makro-, meso- og mikroniveau jf. Figur 3.1. Der vil efterfølgende beskrives anvendte planlægningsværktøjer, på hvert trin. [Lahrmann 1994, p.268]



Figur 3.1: Planlægningsniveau [PTV-AG 2008]

3.1.1 Makro- og mesoniveau

På det øverste makroniveau indgår typisk de prediktive modeller, altså modeller, som kan spå en fremtidig trafiksituation. To meget anvendte prediktive modelmetoder er prognosemodeller og "rejseforespørgselsmodeller". Prognosemodeller benyttes ofte til at estimere fremtidens trafikbehov for derefter at kunne planlægge ressourcerne. Prognosemodellerne tager udgangspunkt i indsamlingen af data med hensyn til demografi, arbejdspladser, rejseomkostninger, økonomisk udvikling mm. for herefter at udvikle en prognosemodel for fremtiden. Denne model vil derefter ligge til grund for den videre planlægning. For eksempel benyttes prognosemodeller til at estimere større nationale transportmønstre inden for både luftfart, jernbane, havne og motorvejsnettet. Det kunne eksempelvis være mængden af biler, som vil benytte et bestemt trafiksystem, antallet af passagerer i togene eller belastningen af de danske havne i fremtiden [Lahrmann 1994, p.269].

En anden prediktiv planlægningsmetode, som ofte benyttes, er "rejseforespørgselsmodeller", også kendt som 4-trinsmodeller. Disse modeller ligger både på det makroskopiske og mesoskopiske niveau. Rejseforespørgselsmodeller har også til formål at forudse fremtidens trafikale bevægelsesmønstre, men kan være mere detaljerede end prognosemodellerne. Dette planlægningsværktøj har de analytiske muligheder for at implementere turproduktioner, turfordeling, modal-Split og vejvalg i én og samme model. Disse modeller er baseret på matematiske beregninger, som benytter nutidens trafik, udvikling af bolig og arbejdsområder, samt flere andre statistikker for at konstruere en model over rejsemønstre [Jeannotte et. al. 2008, p.14] [Lahrmann 1994, p.290]. Dog medtager rejseforespørgselsmodellerne ikke interaktionen mellem de enkelte partcipanter i trafikken samt lokale påvirkninger af trafikadfærden.

3.1.2 Mikroniveau

På mikroniveau er der også flere forskellige værktøjer, som kan benyttes til planlægning og modellering af trafik. På dette niveau indgår de mere deskriptive modeller, som henvender sig til områder inden for kapacitetsberegning, trafikafvikling og miljøpåvirkninger af afgrænsede situationer [Lahrmann 1994, p.269]. En ressourcerelevende, men præcis trafikmodelleringsmetode, som benyttes i dag, er den empiriske metode, som udelukkende bygger på markobservationer. Metoden er meget populær i England og USA, hvor den benyttes til at opstille regler for diverse trafiksituationer og beregningsprocedurer. Filosofien bag denne modelleringsmetode er at kunne generalisere enkeltstående situationer og dermed bruge resultaterne i en trafikmodel et andet sted i landet. Som eksempel kan nævnes englændernes tests af rundkørsler, hvor der er udviklet præcise data omkring kapacitet og gap-tider, eller amerikanernes AASHO tests i 1950'erne, som gav indblik i nedbrydning af motorvejsbelægningen. Eksempler på en erfaringsbaseret beregningsmetode ses på formel (0.1), som behandler kapacitet på frie strækninger [Vejregler 2005, p.25]

$$N = N_{ideel} \cdot b \cdot s \cdot r \cdot c \quad (0.1)$$

Hvor;

N	Vejens kapacitet
N_{ideel}	Vejtypens ideelle kapacitet
b	Korrektionsfaktor for køresporbredde
s	Korrektionsfaktor for tunge køretøjer
r	Korrektionsfaktor for modkørende trafik og overhaling
c	Korrektionsfaktor for langsomme køretøjer

Denne empiriske formel er én ud af mange, og der findes beregningsmetoder til alt fra støjberegninger til belægningsberegninger.

En anden og ofte anvendt modelleringsmetode er den såkaldte analytiske metode. Denne modelmetode har en teoretisk tilgangsvinkel, og benytter ofte sandsynlighedsteori til at beregne og beskrive forskellige trafikale situationer. 'Vejreglforslag, Veje og Stier og Vejtrafik' er i dag den bedste litteratur, der findes på trafikområdet i Danmark, og denne bygger i høj grad på den analytiske metode.

Den analytiske tilgang til trafikanalyser har flere styrker, og den kan hurtigt og effektivt give et overblik over en trafiksituation, samt belyse hvorvidt et system vil operere over eller under kapacitetsgrænsen. Metoden har således sin styrke, når der måles på enkelte situationer såsom kø, forsinkelser og kapacitet. Eftersom denne metode har baggrund i mange års forskning og forsøg, kan trafikplanlæggeren være sikker på, at resultaterne er pålidelige og stemmer overens med virkeligheden. Et eksempel, hvor den analytiske metode benyttes, er ved kapacitetsberegninger af kryds. I beregningsmodellerne antages det typisk, at køretøjerne i den overordnede strøm ankommer tilfældigt, hvilket vil sige, at ankomstfordelingen kan

beskrives ved en poissonfordeling. Dette svarer til en antagelse om, at tidsintervallerne mellem køretøjerne i den overordnede strøm er negativt binominalfordelte

[Jeannotte et. al. 2008, p.15], [JCOM 2006]

Der er dog også flere begrænsninger ved denne slags trafikmodellering og designmetoder. Følgende områder kan nævnes som eksempler, hvor denne modelmetode ikke er hensigtsmæssig:

- Terrænvariationens indflydelse over længere strækninger.
- Beregninger på systemer, der overskrider enkelte trafiksituationer / elementer, såsom indflydelse af stuvningsproblemer.
- At imødekomme ændringer i trafikantadfærd og trafiktyper.
- At imødekomme implementering af ITS-systemer i biler, kryds og knudepunkter.
- Nye typer trafik anlæg og veje med ny udformning.
- Kombineret af trafik fra flere forskellige vejstørrelser.

Sidst men ikke mindst er der mikrosimuleringsmodeller, som også opererer på mikroniveau. I takt med udviklingen af computerkraft har mikrosimuleringsprogrammer såsom PARAMICS, AIMSUM, CORSIM og VISSIM vundet indpas hos stort set alle rådgivere og trafikplanlæggere. Mikrosimulering betyder grundlæggende "at imitere eller reproducere fænomenet, karakteristika eller vilkårene af originalen" (oversættelse) [COED 2008]. Mikrosimuleringsprogrammer kan simulere den enkelte bilists adfærd vha. forfølgelses og baneskiftsteorier. Programmerne er typisk bygget op omkring stokastiske fordelinger og kan styre og evaluere den enkelte bilist på millisekundniveau. Programmerne har vist sig både at være præcise og i stand til at behandle store datamængder på kort tid. Dermed er programmerne meget omkostningsbesparende, og de kan udføre flere forskellige simuleringer hurtigt og effektivt [Jeannotte et. al. 2008, p.15]. Derudover giver mikrosimuleringsprogrammerne mulighed for at vise trafikale løsninger i 3D til bygherren og simulere trafikale situationer mange år frem. Gennem beregninger af den enkelte bilist kan dynamikken i en trængselssituation illustreres i stor detalje samtidig med dens indvirkning på anden trafik i samme model. Mikrosimulering kan dermed indarbejde større systemer af veje og kryds, som hjælper trafikplanlæggere og ingeniører med at træffe de rigtige beslutninger til de lokale forhold. Mikrosimulering har sine styrker på følgende områder [Jeannotte et. al. 2008, p.10]:

- Forbedring af beslutningsprocessen.
- Illustration af fremtidige trafikforhold.
- Evaluering og prioritering alternativer.
- Forbedring af design og løsninger.
- Formindskning af tidsforbrug og omkostninger.
- Muliggørelse af tests uden forstyrrelser i trafikken.
- Visualisering af løsninger i 3D.
- Implementering af ITS-systemer.
- Kombination af vejssystemer af forskellig størrelse og karakter.

Mikrosimulering har også sine svagheder, men der bliver imidlertid løbende lavet opdateringer på disse områder, som gør modellerne stærkere og mere præcise. Som eksempler på svagheder kan bl.a. nævnes [Jeannotte et. al. 2008, p. 10]:

- Indflydelsen af private indkørsler i byen.
- Indflydelsen af parkering i siden af vejen.
- Vekselvirkningen mellem cyklister, fodgængere og bilister.
- Tids- og ressourcekrævende for korrekt modellering.
- Nødvendigt at kalibrere til enkelte situationer.
- Stor afhængighed af datakvalitet.
- Komplekst og ugennemskueligt.

Trods disse ulemper er mikrosimulering uden tvivl det bedste værktøj, vi har i dag, og vil i fremtiden indtage en vigtig plads i alle trafikplanlæggers og ingeniørers værktøjskasse.

Med inspiration fra Jeannotte 2008 er der udarbejdet en liste over de situationer, som de enkelte modeller understøtter jf. tabel 3.1.. Tabellen giver et generelt overblik over, hvorfor mikrosimulerings-modeller er det værktøj, som har flest fordele og kombinationsmuligheder. De forskellige modelleringsniveauer, er gennemgået, for at give overblik over de enkelte værktøjer. Det er herefter nødvendigt at dykke ned i teorien omkring mikrosimulerings-modeller og nærmere VISSIM som er det software der anvendes i dette projekt.

Tabel 3.1: Analyseværktøj og relevans i forhold til trafiksituation [Jeannotte et. al. 2008, p.19-32]

Facilitetstype	Analyse værktøj				
	Prognose -modeller	Rejseforespørgelses modeller	Empiriske modeller	Analytiske modeller	Mikrosimulerings modeller
Planlægning	●	●	●	●	●
Design	●	●	●	●	●
Optimering	●	●	●	●	●
Lokalt Niveau	●	●	●	●	●
Regionalt Niveau	●	●	●	●	●
Nationalt Niveau	●	●	●	●	●
Isoleret kryds	●	●	●	●	●
Lokalvej	●	●	●	●	●
Byveje	●	●	●	●	●
Motorvej	●	●	●	●	●
Ramper	●	●	●	●	●
Nødspor	●	●	●	●	●
Reversible baner	●	●	●	●	●
Lastbilbane	●	●	●	●	●
Busane	●	●	●	●	●
Vejafgift	●	●	●	●	●

Værktøjet kan behandle dette emne ● Delvis fornuftig behandling ● Ingen fornuftig behandling ●

4 Mikrosimulering

Trafikkens stokastiske natur har en meget kompleks dynamik, som ofte dækker over meget store geografiske områder. Den enkelte trafiksituation rummer et utal af elementer, som resulterer i, at der på intet tidspunkt opstår en tilsvarende situation med et tilsvarende trafikmønster. De elementer, som varierer fra situation til situation, er blandt andet:

- Bilstens individuelle bevægelsesmønstre.
- Bilstens adfærd.
- Ydre påvirkninger som frost, regn og vind.
- Vejens fysiske udformning.
- Antallet af køretøjer i netværket.

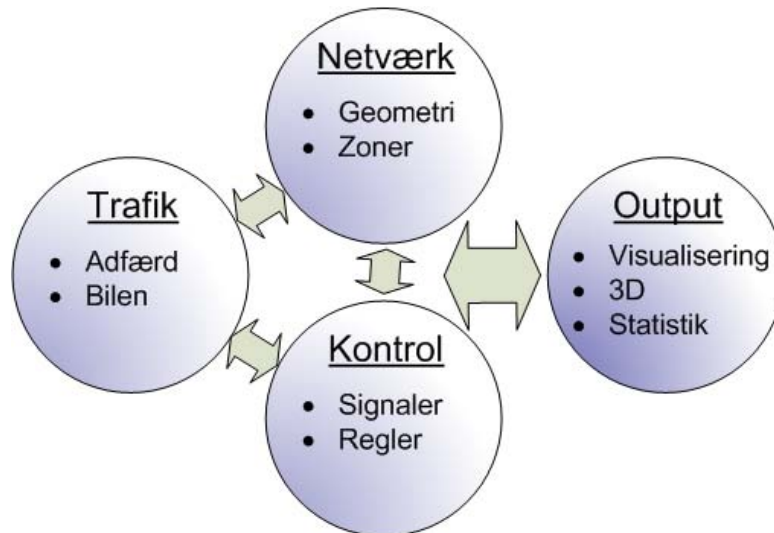
Trafikken har således en dynamik, som gør den svær at analysere, kontrollere og ikke mindst optimere. Netop denne kompleksitet er også motivation og grundlag for mikrosimulering. I dag er der mange forskellige produkter inden for mikrosimulering, hvoraf de bedste er listet nedenfor [Park 2006, p. 1].

- VISSIM (PTV, 2005)
- CORSIM (FHWA, 2003)
- PARAMICS (Quadstone Limited, 2002)
- AIMSUN (TSS, 2006)
- WATSIM (KLD Associates, 2006)
- TRANSIMS (Barrett et al., 1995)
- MITSIM (Yang, 1997)
- SimTraffic (Trafficware, 2003)
- INTEGRATION (Van Aerde et al., 1996)

De tre første, VISSIM, CORSIM og PARAMICS, er 'de førende software', og dem som er benyttet mest på verdensplan til trafikplanlægning. Derudover er VISSIM det software, som oftest bliver benyttet i Danmark, og er flere gange blevet vurderet som det mest præcise og pålidelige software i flere videnskabelige artikler. For eksempel lavede ingeniøren Fred Choa et indlæg til den niende TRB-konference i USA, hvor han sammenlignede VISSIM, CORSIM og PARAMICS med det resultat, at VISSIM indeholder en bedre simulering af markobservationer, rutevalg, 3D-visualisering og generelle trafikprincipper [Choa et al. 2003, p. 399]. Derudover er VISSIM det mest åbenlyse valg, da det vurderes, at den danske trafikadfærd i højere grad ligner den tyske end den amerikanske, hvor CORSIM og PARAMICS er udviklet.

4.1 VISSIM

VISSIM er et tidsintervalbaseret adfærdssimuleringsprogram, som er beregnet til at modellere interaktionerne mellem bytrafik, transittrafik og bløde trafikanter. Programmet er bygget op om tre hovedblokke, jf. figur 4.1, som alle bidrager til outputfunktionen. For at opnå en bedre forståelse af VISSIM gennemgås de enkelte blokke efterfølgende.



Figur 4.1: Hovedblokke i VISSIM. [PTV-AG 2008, p.4]

4.1.1 Blok I: Trafik - adfærd.

Af de tre hovedblokke er, Trafik-blokken den vigtigste og fundamentet i VISSIM. Denne blok styrer alle de elementære funktioner såsom hastighed, acceleration, vægt, kraft og den stokastiske natur i bilerne.

VISSIM er defineret som et diskret, stokastisk, tidsintervalbaseret simuleringsprogram, som modellerer adfærden hos den enkelte bilist [Madhav 2007, p. 2]. Programmet bruger en psykofysisk adfærdsmodel, der blev udviklet af Rainer Wiedemann i 1974 på Karlsruhe Universitet i Tyskland. Modellen benytter den psyko-fysiske adfærdsmodel ved forfølgelseskørsel og en regelbaseret algoritme ved bevægelser på tværs af banerne. Den psykologiske del hentyder til bilistens ønske om en given hastighed, sikkerhedsafstand, aggressivitet og bilistens hukommelse. Den fysiske del refererer til bilistens opfatteevne og bilens karakteristik, herunder hastighed, de- og acceleration, størrelse og position i netværket [VISSIM 5.10 2008, p. 26-27].

Wiedemann har lavet to forfølgelsesmodeller, hvor den første er fra 1974 (W74) og benyttes til at modellere bytrafik og veje i landområder. Siden da har R. Wiedemann udviklet en ny model, Wiedemann 99 (W99), som benyttes til kørsel på motorveje. Da W99 benyttes i dette projekt, gennemgås teorien bag modellen.

W99

Teorien bag W99-modellen er, at bilisten kan befinde sig i fire forskellige tilstande [Fellendorf 2000, p.3] [VISSIM 5.10 2008, p. 112]:

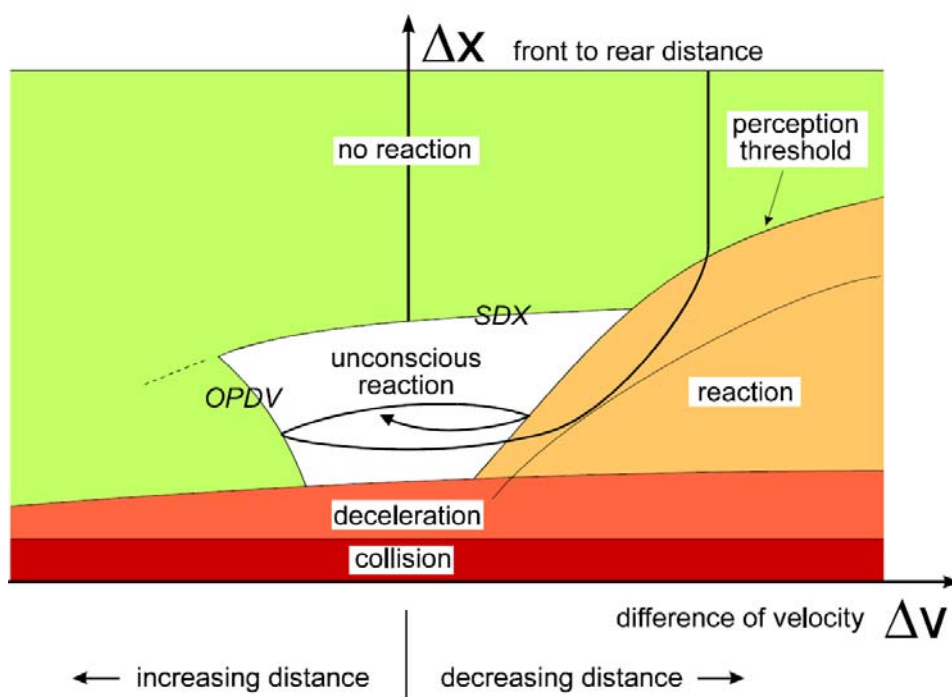
Fri kørsel: Ingen indflydelse fra andre bilister, og bilisten forsøger at holde den ønskede hastighed konstant. Dog varierer hastigheden på grund af mangelfuld kontrol over speederen, og hastigheden oscillerer derfor omkring den ønskede hastighed.

Tilnærmelsestilstand: Dette er procesen, hvor bilisten tilpasser sig den forankørendes hastighed. Decelerationen sker i takt med, at når hastighedsforskellen mellem bilisten og forankørende er 0 km/t, har bilisten den ønskede sikkerhedsafstand.

Efterfølgelsestilstand: Bilisten følger den forankørende uden bevidst acceleration eller deceleration. Bilisten forsøger at holde afstanden konstant, igen med oscillation grundet mangelfuld kontrol over speederen.

Bremsetilstand: Bilisten decelererer, hvis den ønskede sikkerhedsafstand falder. For eksempel i tilfælde af baneskift fra anden bil eller bremsning.

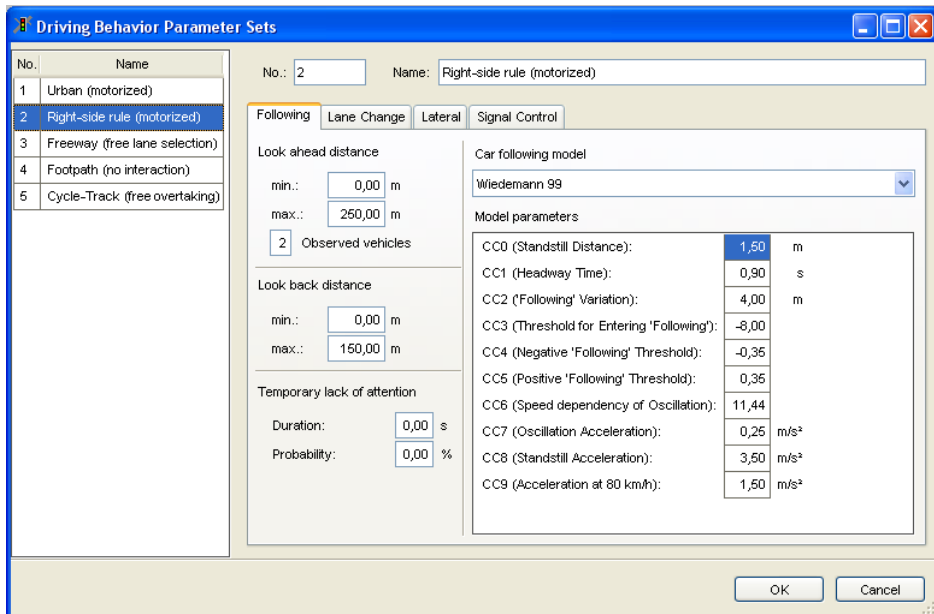
En illustration af denne forfølgelsesmodel kan ses på figur 4.2, hvor y-aksen repræsenterer forskellen i afstand mellem to biler, og x-aksen forskellen i hastigheden. Følges den sorte linje fra toppen, illustrerer figuren, hvornår de fire tilstande opnås. Eksempelvis viser det hvide område efterfølgelsestilstanden, hvor bilisten ubevidst oscillerer omkring den ønskede sikkerhedsafstand.



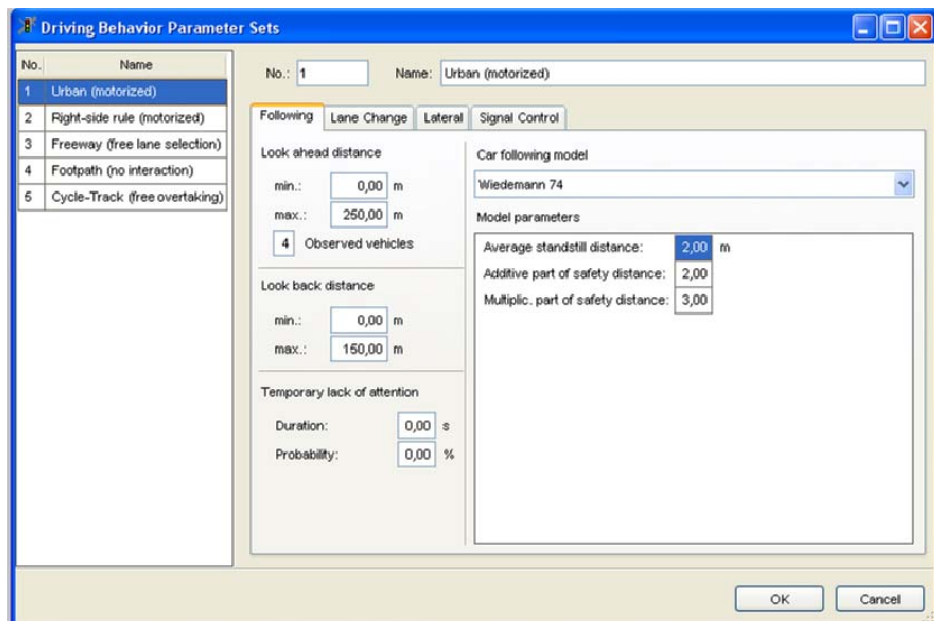
Figur 4.2: Wiedemanns psyko-fysiske forfølgelsesmodel. [VISSIM 5.10 2008, p. 26]

Denne model knytter sig til W99, og alle fire tilstande indeholder en række parametre, som styrer bilistens adfærd. Fremover vil der i rapporten refereres til disse parametre som adfærdsparemetre, hvilke dækker over W99 samt vognbaneskift.

På figur 4.3 og Figur 4.4 ses et billede af de brugergrænseflader, hvor der kan ændres i forfølgelsesparametrene. Det ses, at de to forfølgelsesmodeller indeholder forskellige parametre, hhv. 10 for W99 jf. Figur 4.3 og 3 for W74 jf. Figur 4.4.



Figur 4.3: W99 brugergrænseflade med parametre

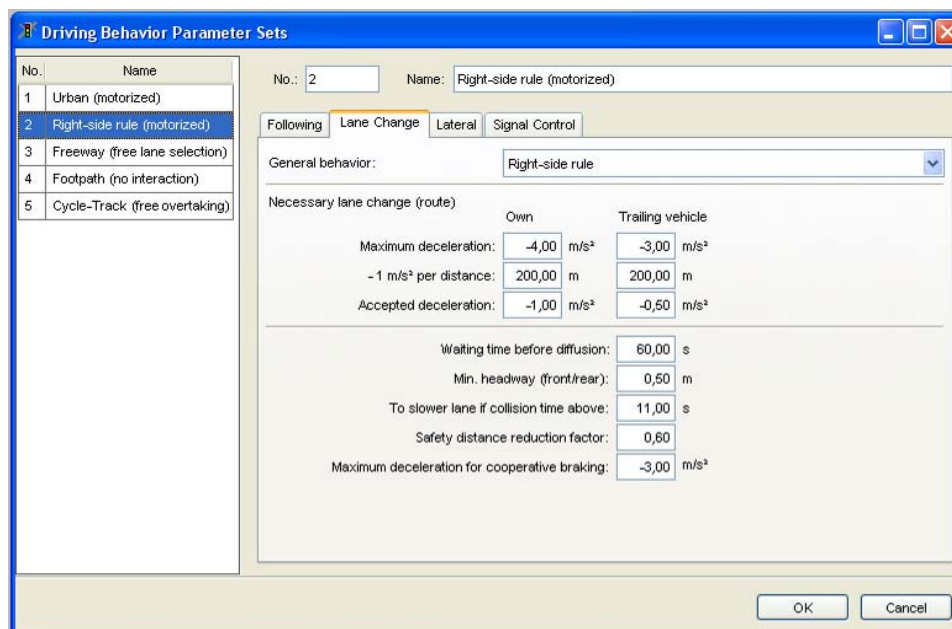


Figur 4.4: W74 brugergrænseflade med parametre

Hver af parametrene i W99 og W74 har deres unikke funktion samt indflydelse på, hvordan den enkelte bilist agerer i modellen. Hver enkelt vej i VISSIM har et unikt parametersæt, som styrer trafikken på denne strækning. Dette betyder, at trafikantadfærden kan variere i et vejsystem med flere strækninger. Dermed kan brugeren ændre bilistens adfærd i tilfælde af, at

der forekommer ændringer i trafikken. Et eksempel på dette kunne være, at der på en bestemt del af motorvejen observeres en mere aggressiv kørsel i forhold til andre steder på samme tidspunkt. En detaljeret beskrivelse af de enkelte parametre kan ses i bilag 12 - Parametre i VISSIM [PTV-AG 2008, p.30].

Brugergrænseflade til vognbaneskift ses på figur 4.5. I denne menu skal to af parametrene nævnes, da de har en speciel funktion i VISSIM. Den første er "Waiting time before diffusion", som angiver, hvor lang tid en bil skal stå stille, før den fjernes fra modellen. Denne parameter er vigtig, idet brugeren hurtigt kan lokalisere problemområder i sin model uden at skulle observere trafikken, når modellen simuleres. Den anden er "safety distance reduction factor", som angiver en reduktion af sikkerhedsafstanden ved indfletning. Denne parameter har direkte indflydelse på bilistens fletteaggressivitet og kan således ændres til at passe den enkelte trafiksituation. Et eksempel på dette kunne være en situation, hvor bilisten skal flette pga. en indsnævring. For en nærmere beskrivelse af disse parametre, se bilag 12 - Parametre i VISSIM [PTV-AG 2008, p.30].



Figur 4.5: Brugergrænseflade til vognbaneskift

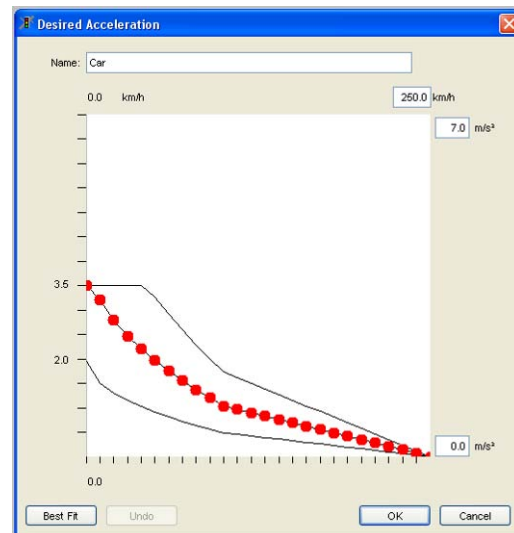
4.1.2 Blok I (fortsat): Trafik – Bilen

Wiedemanns stokastiske psyko-fysiske forfølgelsesmodel er hjertet i VISSIM. Men ud over adfærdsparametrene er det også bilens parametre, som har indflydelse på bilistens adfærd. Disse parametre er indlagt som fordelinger i VISSIM og er ofte dem, som kan måles ved markforsøg. Nedenfor ses en liste over de fordelinger, som er repræsenteret i VISSIM. En nærmere forklaring af disse fordelinger findes i bilag 12 - Parametre i VISSIM. Bilens parametre er således for alle typer af køretøjer [PTV-AG 2008, p.96-100]:

- Maksimum acceleration.
- Ønsket acceleration.

- Maksimum deceleration.
- Ønsket deceleration.
- Hastighedsfordeling.
- Vægtfordeling.
- Motorkraftfordeling.
- Køretøjstørrelse.
- Afstand mellem stillestående køretøjer.

I figur 4.6 ses et eksempel på den ønskede accelerationsfordeling for personbiler. Den røde linje angiver en middelværdi, og de sorte linjer repræsenterer grænserne maksimal og minimal acceleration. Brugeren har mulighed for at ændre denne fordeling, hvis det ønskes. Eksempelvis kan accelerationsfordelingen tilpasses en motorvej eller bytrafik. Ligeledes kan alle de andre fordelinger justeres, så de passer til omgivelserne og den trafikale situation.



Figur 4.6: ønsket accelerationsfordeling for biler.

4.1.3 Blok 2: Netværk

Blok 2 i VISSIM er opbygningen af netværket. Denne del udgør de "visuelle" elementer og har markant indflydelse på trafikafviklingen. Dette gør sig eksempelvis gældende ved indlæggelse af bl.a.

- Vejbredder og længde
- Væghældning
- Hastighedszone
- Reduceret fartområde (Ved fx højresving eller frakørselsramper)
- Vigepligt
- Rundkørsler
- Signalregulering



Figur 4.7: Eksempel på ortofoto med VISSIM-veje og signalstyring. Aalborg City Syd

Disse elementer skal i så høj grad som muligt afspejle virkeligheden, da en unøjagtig placering har stor påvirkning på trafikafviklingen. Typisk vælges orthofoto af den trafikale situation, hvorefter der indlægges ruter oven på kortet. Et eksempel på dette ses på Figur 4.7.

4.1.4 Blok 3: Kontrol

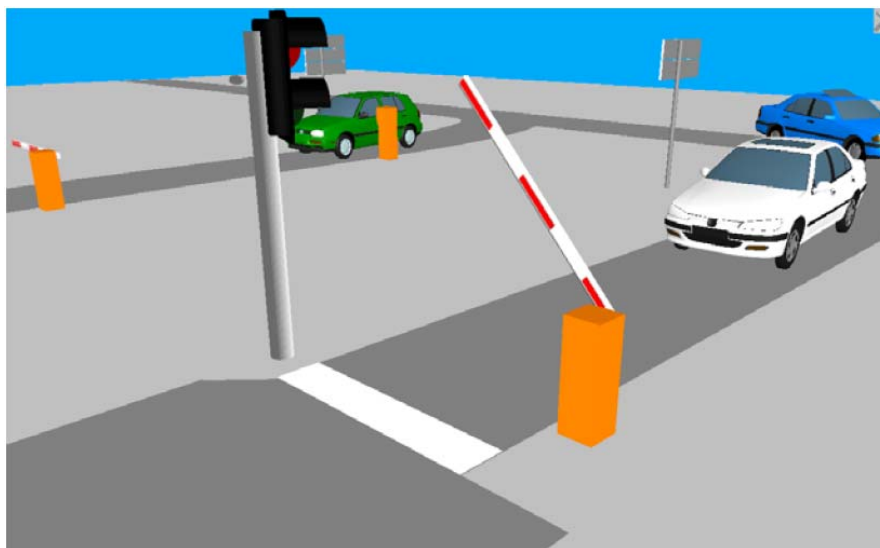
Den tredje og sidste blok er den kontrollerende del af vejsystemet. Her tænkes specielt på signalreguleringssystemet, hvor brugeren kan indlægge virkelighedens signalplaner. Derudover indgår der kontrolparametre så som:

- Signalregulering
- Busprioritering
- Intelligent hastighedskontrol
- Banekontrol
- Rutekontrol
- Flowkontrol

Et eksempel på signalkontrol kan ses på figur 4.7, som er fra Nibe-Letvadvej krydset i Aalborg Syd. Da der ikke forekommer elementer af kontrol i denne rapport, behandles dette emne ikke yderligere.

4.1.5 Output

En af VISSIMs styrker er outputfunktionen. Her kan brugeren se 2D- og 3D-illustrationer af simuleringerne. 3D bruges dog udelukkende til præsentationsformål og kan kombineres med for eksempel Rhinoceros 3D eller 3D Studio MAX for at opnå fyldstgørende 3D-illustrationer. Et eksempel på en 3D-illustration ses på Figur 4.8.



Figur 4.8: Eksempel på 3D illustration i VISSIM

Derudover er det muligt at indsamle statistiske data fra simuleringerne. Disse data er blandt andet:

- Rejsetider og forsinkelse

- Hastighedsfordelinger
- Køttæller
- Bilinformationer (personer mm.)
- Emissionsstatistikker

I denne rapport benyttes kun tælling af hastigheder, køretøjer og rejsetider. For en nærmere beskrivelse af disse tællerværktøjer henvises til bilag 13. Senere i rapporten ses en visualisering, som også beskriver principperne bag dataindsamling i VISSIM.

5 Metode og resultater

I følgende afsnit redegøres for fremgangsmåden, som er benyttet til at indsamle og bearbejde data.

Afsnittet er delt i to, hvor den første del behandler bilens parametre, og anden del behandler adfærdsparametrene. Grunden til denne opdeling er, at det første afsnit er en undersøgelse vedrørende karakteristika af dansk trafikantadfærd, og det sidste afsnit er en kalibrering, som benytter andre metoder og teorier. Der vil således gennem metodeafsnittet svares på følgende spørgsmål under hver problemstilling:

Problemstilling

- Redegørelse for problemstillingen.
- Hvilke data er der brugt til at løse denne problemstilling?
- Præsentation af den nuværende viden på området.

Dataindsamling

- Hvor og hvordan data er indsamlet.
- Fordele og ulemper ved den anvendte metode, herunder ydre påvirkninger.

Resultater fra dataindsamlingen

- Databearbejdning og sammenligning af VISSIM og markobservationer.

Opsætning af VISSIM

- Visualisering af test i VISSIM.

Statistisk analyse og resultater

- Statistiske resultater for varians og middelværditests.

Virkelig analyse og resultater

Diskussion

- Diskussion af resultater fra dataindsamling.
- Diskussion af statistisk analyse.
- Diskussion af virkelig analyse.
- Råd til fremtidige analyser.
- Fejlkilder.

Resultater fra analyserne vil således blive præsenteret først, hvorefter der vil være en diskussion omkring resultaterne og deres betydning.

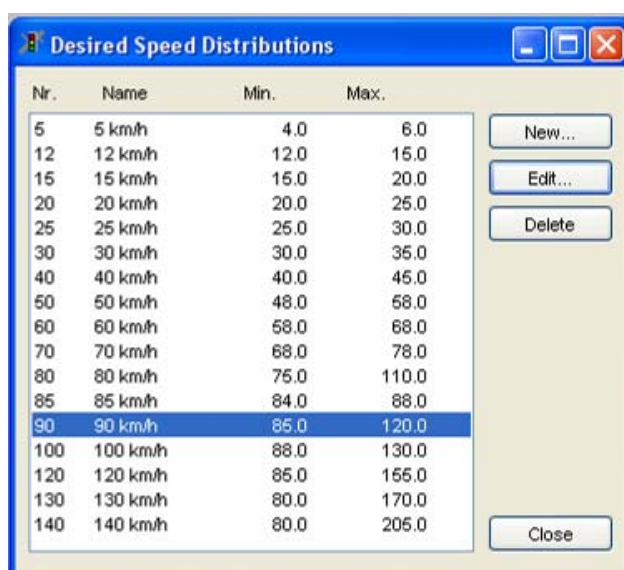
6 Bilens parametre

En række af parametrene i VISSIM er indlagt som fordelinger frem for definerede værdier. Da disse fordelinger har stor indflydelse på trafikafviklingen, er store datamængder nødvendigt for at kunne give et præcist billede af den danske trafikantadfærd. Derfor er der i høj grad forsøgt at indsamle data fra offentlige instanser, som har lavet registreringer over større perioder. Skulle data ikke være tilgængelige, er der indsamlet data gennem markobservationer.

6.1.1 Problemstilling – Hastighedsfordelinger på motorveje

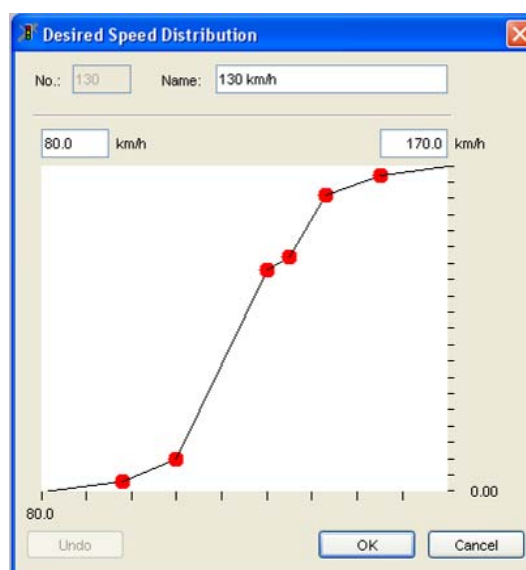
Hastighedsfordelingerne er vigtige parametre i VISSIM, da de har indflydelse på kapaciteten, rejsetiden og mulig rejsehastighed. Med mindre bilisten er forhindret af andre faktorer, vil bilisten antage en ønsket hastighed, der er bestemt ud fra en brugerdefineret fordeling i VISSIM.

VISSIM indeholder som standard nogle fordelinger for hastighedsprofiler, som afspejler alle trafikale situationer og køretøjstyper. Når brugeren laver et netværk i VISSIM, skal der knyttes en fordeling til alle køretøjerne i modellen. De fordelinger, som brugeren kan vælge imellem ses på Figur 6.1. Kolonnen med "name" angiver, hvilken fordeling VISSIM anbefaler at tilknytte en given hastighedszone i modellen. Kolonnerne med "max" og "min" beskriver fordelingernes individuelle minimum- og maksimumhastighed. Under hver hastighedsfordeling er der defineret en akkumuleret kurve tilsvarende Figur 6.2. Her kan brugeren ændre fordelingen, hvis den ikke passer til de virkelige forhold. Dette gøres ved at trække i de røde prikker, til de passer den ønskede fordeling. Der ses i menuen på Figur 6.1, at der ikke er defineret en værdi for hastighedszonen ved 110 km/t. Denne fordeling er relevant i Danmark, da dette er hastighedsgrænsen på motorvejen omkring de fleste byer i Danmark [VISSIM 5.10 2008, p. 98].



Nr.	Name	Min.	Max.
5	5 km/h	4.0	6.0
12	12 km/h	12.0	15.0
15	15 km/h	15.0	20.0
20	20 km/h	20.0	25.0
25	25 km/h	25.0	30.0
30	30 km/h	30.0	35.0
40	40 km/h	40.0	45.0
50	50 km/h	48.0	58.0
60	60 km/h	58.0	68.0
70	70 km/h	68.0	78.0
80	80 km/h	75.0	110.0
85	85 km/h	84.0	88.0
90	90 km/h	85.0	120.0
100	100 km/h	88.0	130.0
120	120 km/h	85.0	155.0
130	130 km/h	80.0	170.0
140	140 km/h	80.0	205.0

Figur 6.1: Ønsket hastighedsfordeling



Figur 6.2: Fordeling ved 130 km/t: x-aksen i km/t og y-aksen den akkumulerede pct.

Eftersom hastighedsfordelingerne er lavet efter tyske standarder, er det endvidere interessant at undersøge, om fordelingerne er tilsvarende i Danmark. Derudover er det også interessant at se, hvilken indflydelse en ændring i disse fordelinger har på trafikafviklingen i VISSIM. Der undersøges dermed følgende:

- Den danske hastighedsfordeling ved 90 km/t for personbiler.
- Den danske hastighedsfordeling ved 110 km/t for personbiler.
- Den danske hastighedsfordeling ved 80 km/t for lastbiler.
- Indflydelsen af ændring af ovenstående hastighedsfordelinger fra standardfordelingerne til fordelinger fra markobservationer.

Der undersøges i det følgende, om der findes kvalificeret data i den danske trafiklitteratur til at beskrive disse fordelinger.

Præsentation af den nuværende viden på området

Gennem litteraturstudium af de danske vejregler mm. er der undersøgt, om der eksisterer kvalificeret viden om de danske hastighedsfordelinger på motorvejene. Informationerne i dette tilfælde har været få, og det tætteste, vi kommer på anvendeligt data, er en rapport, som er udgivet af Vejdirektoratet. Her ses hastighedsfordelingen ved 110 km/t for person- og varebiler på motorveje i åbent land. jf. Tabel 6.1 [Vejdirektoratet 2004 b, p. 28].

Tabel 6.1: Person- og varebiler på motorveje i åbent land. Procentfordeling i hastighedsklasser 1999-2002.

År	Op til 110 km/t	110-120 km/t	120-130 km/t	130-140 km/t	140-150 km/t	>150 km/t
1999	32,8	20,4	21,6	15,2	7,0	3,0
2000	31,0	22,0	20,6	15,7	6,9	3,9
2001	31,4	22,5	20,4	15,1	6,5	4,1
2002	27,6	23,1	21,2	16,3	7,5	4,4
Gennemsnit	30,7	22,0	20,9	15,6	7,0	3,8

Denne tabel kan i princippet benyttes til at beskrive en fordeling for 110 km/t i VISSIM, men vurderes til at være for upræcis til dette formål. Dette skyldes, at hastigheden under 110 km/t ikke er vist, samt at tallene stammer fra 1999 til 2002. Efter reguleringen af hastighedsgrænserne i 2004 er der sket en ændring i forhold til disse fordelinger. Derudover er der sket et markant hastighedsfald efter indførslen af klippekortet i 2005, hvilket også kan gøre data upræcise. Der vælges derfor at fortsætte med egne markregistreringer, som efterfølgende vil blive præsenteret.

6.1.2 Dataindsamling

Eftersom Vejdirektoratets MASTRA ikke registrerer hastigheder på 5 km/t niveau, samt opdelt på køretøjstype, er der valgt selv at lave markobservationer. For at opnå et billede af de

danske hastighedsfordelinger er der blevet indsamlet data fra forskellige positioner på motorvejen E45 i Nordjylland..

Vejdirektoratet henviser til to typer hastighedsmålinger, hhv. snitmålinger og strækningsmålinger. Da strækningshastigheden tager højde for ydre påvirkninger, såsom andre bilister eller ændringer i de fysiske rammer, vælges registrering af snitmålinger. Hermed fås den "rene" snithastighed tilsvarende fordelingerne i VISSIM. Følgende krav er opstillet for at finde et realistisk billede af den danske hastighedsfordeling [Vejdirektoratet 2006 a, p.43-45]:

- Tørt vejr, ingen frostgrader og fladt terræn.
- Gode oversigtsforhold for bilisten.
- Ingen køkørsel ved mere end tre køretøjer.
- Begge baner er repræsenteret lige meget.
- Skiltet hastighed mindst 2 km før målings-sted.
- Minimum 100 registreringer pr. Køretøjs-type.

Personbiler inkluderer:

- Varebiler jf. Figur 6.3
- Personbiler jf. Figur 6.4

Lastbiler fra 3.500 kg inkluderer:

- Lastbiler inkludere:
- Lastbil med påhæng jf. Figur 6.7
- Lastbil med sættevogne Figur 6.5
- Sætteforvogn jf. Figur 6.6



Figur 6.3: Varebil



Figur 6.4: Personbil



Figur 6.7: Lastbil med påhæng



Figur 6.5: Lastbil med sættevogn



Figur 6.6: Sætteforvogn

Dataindsamlingen foregik i alle tilfælde fra en motorvejsbro over motorvej E-45 med laserpistolen TraffiPatrol XR, som har en fejlmargen på +/- 1 km/t. Dataindsamlingen foregik over flere dage, men alle data er indsamlet i tidsrummet 12.30 til 14.30 på vejrdage i november 2008. På Figur 6.8 (Th. Sauers vej) og Figur 6.9 (Østre Fælledvej) ses de lokaliteter, hvor hastighedsmålingerne blev foretaget. Følgende målinger blev registreret.

- 520 registreringer for personbiler ved 90 km/t.
- 300 registreringer for personbiler ved 110 km/t.
- 150 registreringer for lastbiler ved 80 km/t



Figur 6.8: Billede af indsamlingssted 1

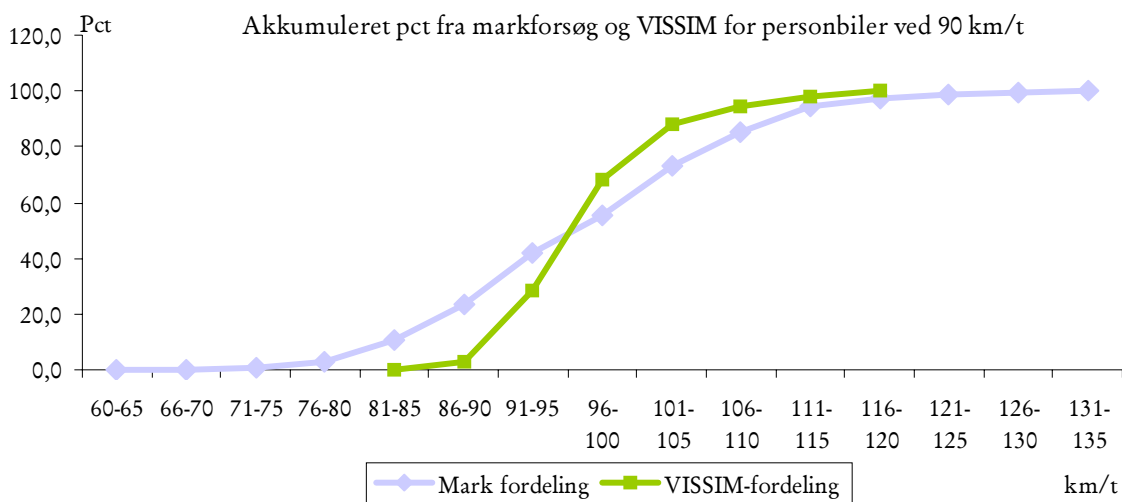


Figur 6.9: Billede af indsamlingssted 2

Data fra registreringerne kan ses på vedlagte cd-rom bagerst i rapporten, og filen kan findes under navnet: \Excel filer\Hastighedsfordelinger - Hastighedsmålinger.

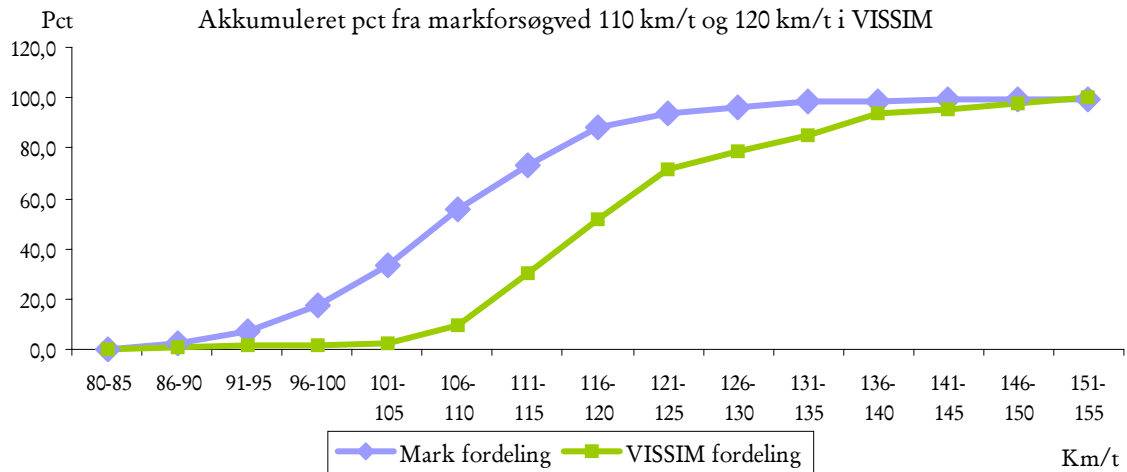
6.1.3 Resultater fra dataindsamling

For at vise forskellen mellem hastighedsfordelingen i VISSIM (standardfordelingerne) og markfordelingerne er det lavet en visuel illustration. Standard- og markfordelingerne er konstrueret ved at indsamle hastighedsdata fra kørsler i VISSIM. Det vil sige, at fordelingerne ikke er hentet direkte fra programmet, hvilket betyder, at sammenligningsgrundlaget er ens. På Figur 6.10 ses sammenligningen af markfordelingerne og standardfordelingerne ved en 90 km/t hastighedszone. Begge kurver viser data fra kørsler i VISSIM med ca. 1000 biler. Det høje antal biler i VISSIM er med til at sikre, at det er den reelle hastighedsfordeling, der er illustreret, og ikke den teoretiske. Sammenligningen mellem marktællingerne og standardfordelingerne viser, at markforsøgene har markant lavere hastighed end VISSIM-bilerne. Dog ses det, at kurverne ved 100 km/t indtager samme form. En oversigt over data fra hastighedsfordelingerne ses i bilag 14, og den rå data på vedlagte cd-rom under: \Excel filer\Hastighedsfordeling\VISSIM test\Rå data.



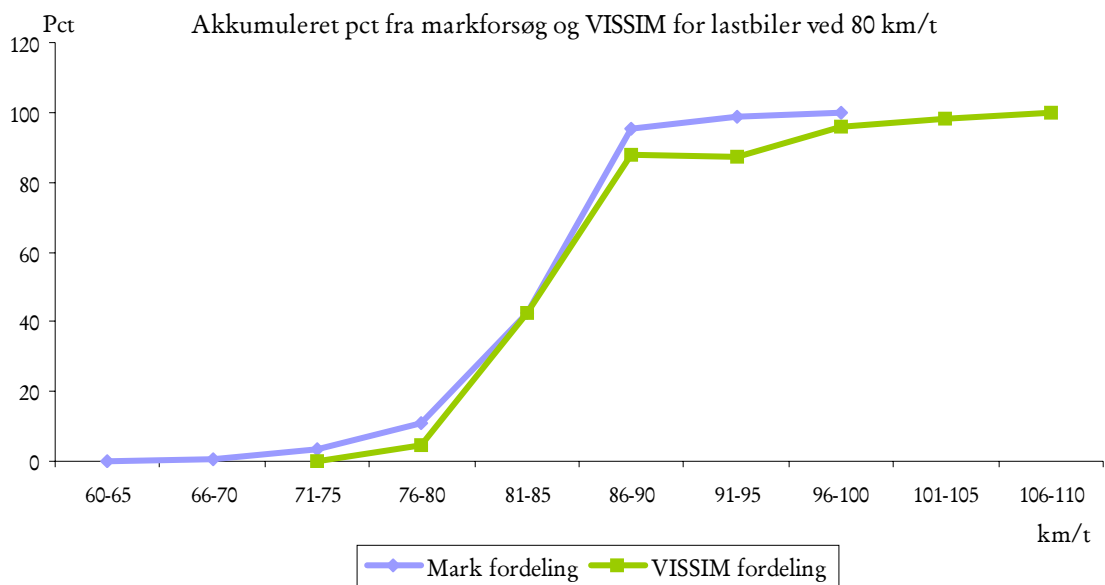
Figur 6.10: Sammenligning med markforsøg og VISSIM-fordeling ved 90 km/t

På Figur 6.11 ses en sammenligning af markfordelingerne og standardfordelingerne ved en 110 km/t hastighedszone. Da der i VISSIM ikke er defineret en 110 km/t fordeling, vælges der at sammenligne en 120 km/t fordeling, eftersom denne afspejler markfordelingen bedst. Fordelingen viser en markant forskel mellem mark- og standardfordelingerne med op til 25 % ved enkelte hastigheder. Grundlæggende kan der ses ud fra kurverne, at de danske bilister kører væsentligt langsommere end de tyske bilister.



Figur 6.11: Sammenligning med markforsøg ved 110 km/t og 120 km/t for VISSIM-fordelinger

På Figur 6.12 ses en sammenligning af hastighedsfordelingerne for lastbiler ved en hastighedsgrænse på 110 km/t. Umiddelbart ses det, at de to kurver følger hinanden, men markfordelingen har en maksimal og minimal grænse på hhv. 95 km/t og 66 km/t. For standardfordelingen ligger minimum på 71 km/t og maksimum på 110 km/t. Da lastbiler i Danmark ikke kan køre over 90 km/t, er denne kurve ikke repræsentativ for danske fordelinger.



Figur 6.12: Sammenligning med markmålinger og VISSIM-fordelinger ved 80 km/t for lastbiler

Efterfølgende er det nødvendigt at teste, om en ændring i disse fordelinger har en indflydelse på trafikafviklingen i VISSIM. Indledende bliver der redegjort for opsætningen i VISSIM samt den statistiske analysemetode.

6.1.4 Opsætning af VISSIM

For at teste om der er en statistisk forskel på markfordelingerne i forhold til standardfordelingerne, er der konstrueret tre forskellige strækninger med hastighedsgrænserne 80, 90 og 110 km/t. Strækningerne har ingen ydre påvirkninger såsom fletninger, hældninger eller til- og frakørsler. Følgende betingelse er opstillet i VISSIM:

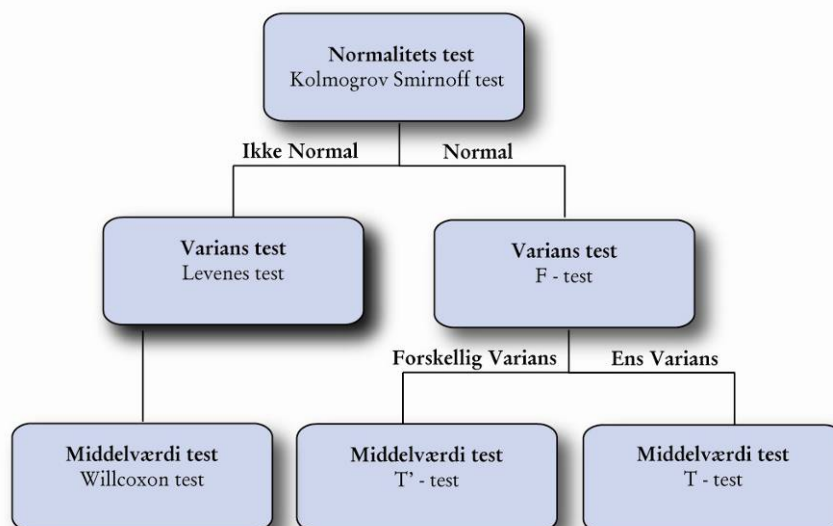
- Der indsættes en trafikmængde på strækningen, så alle bilister har fri bevægelighed og frit hastighedsvalg.
- *Simulationresolution* er sat til 10 beregninger pr. sek. for større præcision. Som standard er denne sat til 1 beregning pr. sekund, men når modellen laver flere beregninger, reagerer bilerne hurtigere og bedre på omgivelserne.
- Der køres i 7200 sekunder med 1000 biler pr. simulering.
- Der indlægges tællestationer i VISSIM, som tæller antallet af køretøjer og hastigheden efter 1000 meter.

Visualisering af test i VISSIM

For at give læseren et indblik i hvordan netværket er opbygget, er der lavet en illustration af dette. I videomappen (\Video - Test af hastighedsfordeling i VISSIM og MATLAB) på vedlagte cd-rom ses en visualisering fra opbygningen af testområdet til de statistiske tests i MATLAB. Dette er gjort for, at læseren herefter kan genskabe rapportens tests samt videreudvikle dem. Det anbefales, at der skrues op for lyden, da den er af dårlig kvalitet.

6.1.5 Statistisk analyse og resultater

Til at analysere hvorvidt ændringer i hastighedsfordelingerne har en signifikant indflydelse på den reelle hastigheds middelværdi og varians, er der anvendt den statistiske fremgangsmåde som illustreret på Figur 6.13.



Til beregningerne er der benyttet programmerne SPSS og MATLAB. I MATLAB er der udviklet en programkode, som automatisk udfører de statistiske tests. For at se programkoden og en nærmere beskrivelse af den statistiske analyse henvises til bilag 15 (Statistisk analyse på hastighedsdata), hvor alle beregninger og resultater kan ses.

Følgende hypoteser opstilles for normalitetstest med $\alpha = 0,05$.

H_0 : Datasættet er normalfordelt, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet er ikke normalfordelt, når $p < \alpha$

Følgende hypoteser opstilles for 2-halet varianstest med $\alpha = 0,05$.

H_0 : Datasættet har ens varians: $\sigma^2_{\text{før}} = \sigma^2_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig varians: $\sigma^2_{\text{før}} \neq \sigma^2_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Hypotese for en 2-halet middelværditest med $\alpha = 0,05$.

H_0 : Datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

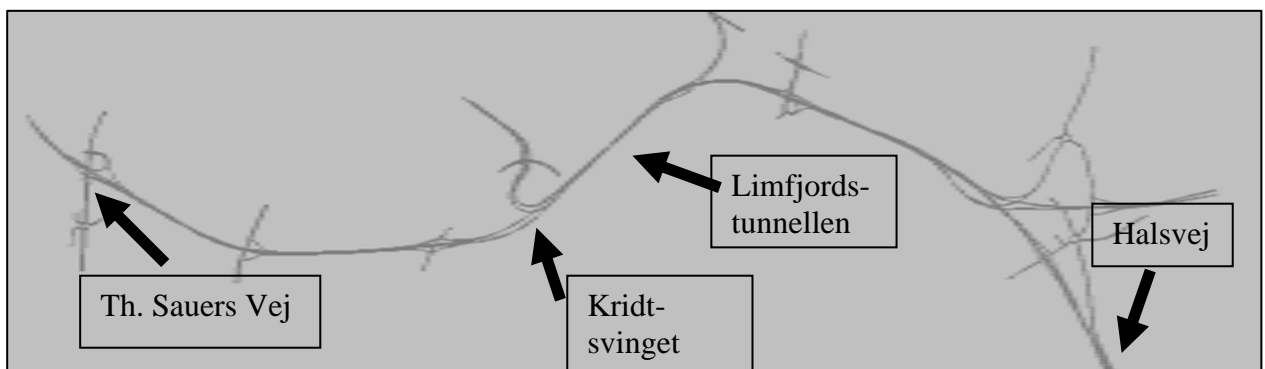
I Tabel 6.2 ses resultaterne fra tests på hhv. 80, 90 og 110 km/t.

Tabel 6.2: Resultater fra statistiske tests af VISSIM-kørsler

	80 km/t Lastbiler		90 km/t Personbiler		110 km/t Personbiler	
Enhed	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ
P-værdi	0	7.21e-7	0	0,0955	0,000	1.95e-128
Hypotese	H_1	H_1	H_1	H_0	H_1	H_1
	VISSIM	Mark	VISSIM	Mark	VISSIM	Mark
μ [km/t]	88	85	96	97	122	109
σ	6,2	4,5	6,6	10,5	11,4	9,8

6.1.6 Virkelig analyse og resultater

Da de statistiske resultater ikke vurderes nok i sig selv, er der udført to tests på et virkeligt netværk i en eftermiddagsspidstid i 2004. Netværket starter ved indfletningen ved Th. Sauers Vej ved universitetet og forløber til Halsvej nord for tunnelen. Dette er en strækning på 10,02 km. På Figur 6.14 ses netværket, hvor der testes i VISSIM [Sode-Carsen, 2004].



Figur 6.14: Testnetværk

Den første test undersøger rejsetiden for lastbiler og personbiler i eftermiddagsspidstimen med de virkelige hastighedsbegrænsninger (90 km/t). Den anden test er med en fiktiv hastighedsbegrænsning på 110 km/t gennem hele systemet. Testen med 110 km/t på samme netværk vurderes til at være pålidelig, idet omgivelserne ikke spiller en rolle i VISSIM. Eksempelvis ved bilerne i VISSIM ikke, at de kører i en tunnel, hvilket påvirker bilisterne i virkeligheden. I Tabel 6.4 ses resultaterne fra testene på den gennemsnitlige hastighed og rejsetid for både lastbiler og personbiler. Alle rå data kan findes på vedlagte cd-rom under (\Excel filer\Hastighedsfordeling\Test på virkelige modeller \Hastigheds-fordelinger).

Tabel 6.4: Resultater fra virkelig tests i VISSIM med 90 km/t

Middelværdi	Bil Mark	Bil VISSIM	Lastbil Mark	Lastbil VISSIM
Rejsetid (Δ)	388,4 sek.	375,5 sek.	445,9 sek.	431,7 sek.
Hastighed (μ)	92,7 km/t	95,9 km/t	80,7 km/t	83,4 km/t
Maksimum	320 sek	306 sek	398 sek	379 sek
Minimum	578 sek	433 sek	548 sek	486 sek
Spredning (Δ)	31,6	17,1	23,1	23,8

Tabel 6.4: Resultater fra virkelig tests i VISSIM med 110 km/t

Middelværdi	Bil Mark	Bil VISSIM	Lastbil Mark	Lastbil VISSIM
Rejsetid (Δ)	356 sek.	328 sek.	440,8 sek.	436 sek.
Hastighed (μ)	101 km/t	110 km/t	81,8 km/t	206 km/t
Maksimum	453 sek	428 sek	565 sek	520 sek
Minimum	285 sek	255 sek	404 sek	373 sek
Spredning (Δ)	24	22	28	29

6.1.7 Diskussion

Dataindsamling

Ud fra graferne over hastighedsfordelinger i afsnit 6.1.3 ses det, at der generelt er forskel på hastighedsfordelingerne fra VISSIM til markobservationerne. Graferne viser, at tyskerne typisk kører hurtigere end danskerne i de samme hastighedszoner. Dette er specielt markant i zonen for 110 km/t. Dette må være et resultat af, at tyskerne har større biler, og konsekvensen af lovovertrædelser er ikke nær så alvorlig i Tyskland, som den er i Danmark. En anden væsentlig forskel ses ved hastighedsfordelingerne for lastbiler, hvor der i Danmark er hastighedspærre i lastbilerne. Dermed kan lastbilerne ikke køre så hurtigt som fordelingen i VISSIM. Hermed kan det konkluderes, at det ikke er realistisk at benytte de tyske fordelinger for alle køretøjer i danske simuleringer. Det skal nævnes, at der følger enkelte fejlkilder med disse undersøgelser. De indsamlede hastigheder beror sig på trafikmålinger i få dage. Derudover kan hastighederne ikke undgå at være et produkt af

omgivelserne, og de indsamlede fordelinger kan derfor ikke med garanti benyttes andre steder i landet.

Statistisk analyse på hastigheder

Den statistiske analyse for hastighedsfordelingerne har vist at der gennemgående er signifikant forskel på både middelværdierne og varianserne. Markfordelingerne har typisk lavere gennemsnitshastigheder end VISSIM-fordelingerne, men højere varians. Det ses ydermere, at for hastighedsfordelingerne ved 90 km/t er der en signifikant forskel på variansen, men ikke på middelværdien. Resultaterne fra de statistiske analyser viser kun, at der er forskel på fordelingerne, når de anvendes i VISSIM. Derudover kan resultaterne bruges til at skønne en given effekt eller konsekvens for trafikmodellen. Eksempelvis skønnes det, at signifikant forskel i varianserne medfører, at flowet gennem modellen bliver mindre, eftersom langsomme bilister påvirker hurtige bilister. Derudover bliver ankomstfordelingerne til holde-/bremsepunkter anderledes, hvilket ændrer trafikmønstret. Dette er i mit tilfælde ikke relevant, da der ikke er fuldt stop på motorvejen, men det bør alligevel nævnes.

Hvad der derimod kan konkluderes fra de statistiske tests er, at fordelingen for 110 km/t er markant forskellig. Konsekvensen af dette er, at:

- Flowet bliver anderledes, eftersom der ikke passerer samme antal biler over et givet punkt.
- At bilerne holder kortere sikkerhedsafstand, hvilket påvirker flowet.
- Den gennemsnitlige rejsehastighed bliver mindre, hvilket ændrer på trafikafviklingen.

I de tilfælde, hvor en given simulering indeholder de samme elementer som teststrækningen, kan det konkluderes, at der er forskel på, hvorvidt der benyttes standardfordelinger eller markfordelinger. Det anbefales derfor i tilsvarende situationer, at brugeren benytter markfordelingerne. Det skal nævnes, at der knytter sig fejlkilder til disse forsøg, som kan have indflydelse på resultatet. Her kan nævnes:

- Markfordelingerne er baseret på data fra få dage, samt i et lille tidsrum.
- Antallet af observationer udgør en lille stikprøve.
- VISSIM-simuleringerne blev ikke observeret, hvilket medfører, at enkelte bilister kan have påvirket hinanden.
- Kategorierne med køretøjstyper er bred, hvilket kan påvirke hastighedsfordelingerne.

Virkelig analyse

Ud fra tests på systemet med 90 km/t ses, at ændring i hastighedsfordelingerne ikke giver en væsentlig forskel i rejsetiden. For biler med markfordelingerne er rejsetiden øget med 13 sekunder og for lastbiler 14 sekunder over en strækning på 10 kilometer. For testen med 110 km/t var rejsetiden øget med 28 sekunder for biler og 5 sekunder for lastbiler. Denne forskel er ubetydelig og skyldes i høj grad, at det er en spidstime, som simuleres, og modellen

indeholder dermed megen trafik på strækningen. Den intense trafik medfører påvirkninger af den ønskede hastighed, og bilernes rejsetid bliver derfor markant nedsat.

På baggrund af de virkelige tests kan det konkluderes, at simuleres perioder med høj trafikintensitet, at det er ligegyldigt, hvilke hastighedsfordelinger der vælges. Derudover kan det konkluderes, at i tilfælde, hvor bilerne har frit hastighedsvalg, bør der laves lokale undersøgelser af hastighedsfordelingerne, og disse bør indlægges i VISSIM.

Råd til fremtidige analyser

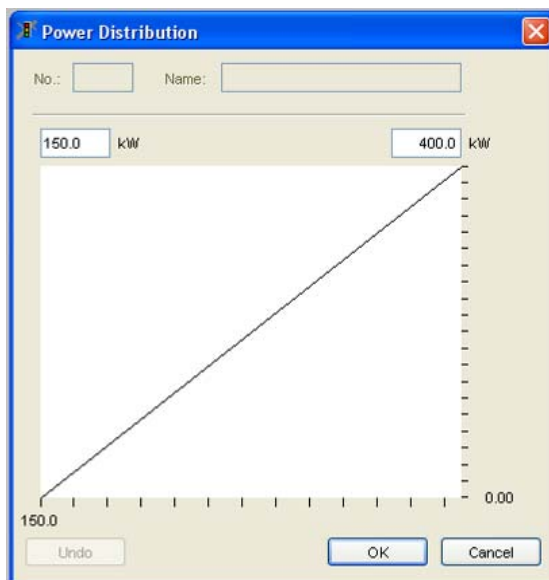
Det anbefales, at der i fremtiden udføres tilsvarende undersøgelser på landsplan, for dermed at få et bedre billede af den danske trafikadfærd. Her kan bla. nævnes følgende områder:

- Indsamling af data omkring hastighedsfordelinger fra motorvejene i Danmark for at opnå et billede af trafikantadfærden på regionsbasis.
- Indsamling af hastighedsfordelinger fra de forskellige køretøjstyper, da de ofte benytter samme fordelinger i VISSIM.

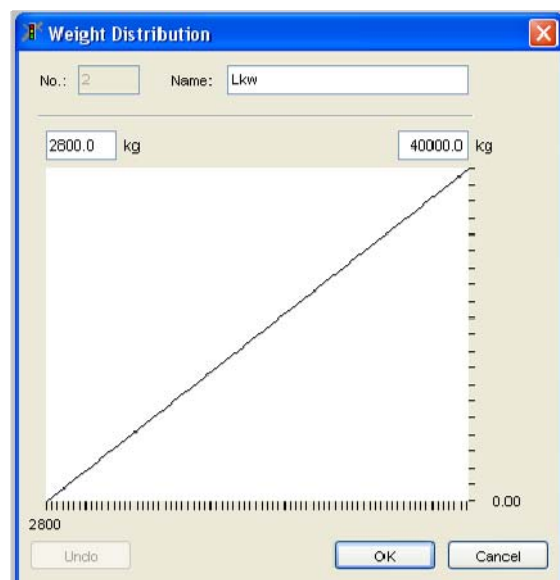
7 Vægt- og kraftfordeling

Vægt- og kraftfordelingerne er vigtige parametre til at kontrollere lastbiltrafikken i VISSIM. Fordelingerne er kun gældende for det, som i VISSIM kaldes HGV-køretøjer, altså lastbiler. Fordelingerne har en vigtig indflydelse på lastbilens adfærd på strækninger med længdehældninger i forhold til lastbilens acceleration og deceleration.

Når en lastbil placeres i VISSIM, vælges en tilfældig værdi fra både vægt- og kraftfordelingerne jf. Figur 7.1 og Figur 7.2, som bliver omregnet til en kW/ton-værdi. De udvalgte værdier fra vægt- og kraftfordelingerne er uafhængige af hinanden, og brugeren kan derfor opleve en lastbil med lav vægt og høj kraft og omvendt, ligesom der tilsvarende på motorvejene kan forekomme tomme, kraftfulde lastbiler og fulde lastbiler med mindre motorkraft. Dermed dækkes hele spektret af mulige lastbilkombinationer [VISSIM 5.10 2008,p.99]

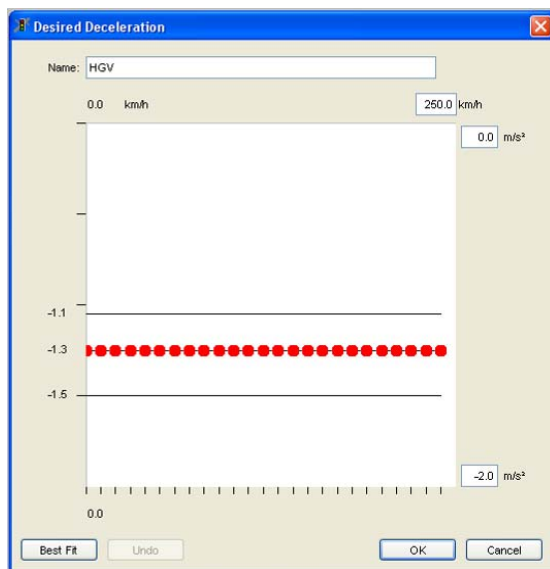


Figur 7.1: Kraftfordeling for lastbiler: x-aksen viser kW og y-aksen den akkumulerede pct.

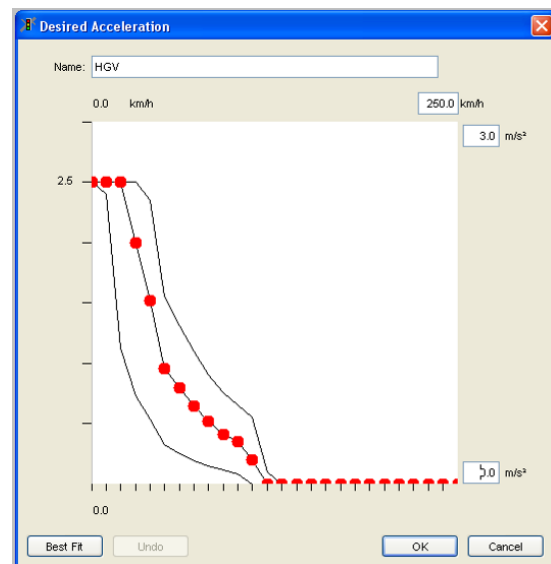


Figur 7.2: Vægtfordeling for lastbiler: x-aksen viser kg og y-aksen den akkumulerede pct.

Lastbilerne får således tildelt en kW/ton-værdi, som er afgrænset inden for et intervalområde på 7-30 kW/ton, som angiver minimum og maksimum. Skulle der forekomme en tildelt værdi uden for dette interval, rundes der op eller ned til minimum (7 kW/ton) eller maksimum (30 kW/ton). På baggrund af den tildelte kW/ton vælges en værdi på de tilhørende acceleration- og decelerationskurver, jf. Figur 7.3 og Figur 7.4. En høj kW/ton medfører en høj acceleration/decelleration, og omvendt medfører en lav kW/t en lav acceleration/ decelleration. Den røde linje repræsenterer en middelværdi, og de sorte linjer repræsenterer grænseområderne, altså en minimal og maksimal acceleration og deceleration. [VISSIM 5.10 2008, p. 99]. Kurven for acceleration viser tydeligt, at lastbiler har en stejl accelerationskurve, hvilket indikerer lave accelerationer ved høje hastigheder. Derimod er decelerationen angivet som en lineær kurve, hvilket betyder, at lastbiler bremser jævnt uanset hastighed.



Figur 7.3: Decelerationer for lastbiler: x-aksen viser km/t og y-aksen m/s^2 .



Figur 7.4: Accelerationskurve for lastbiler: x-aksen viser km/t og y-aksen m/s^2 .

7.1.1 Problemstilling

Da vægt- og kraftfordelingerne er lavet ud fra tyske undersøgelser, er der undersøgt, om fordelingerne i den danske lastbilpark er anderledes. Derudover er der undersøgt, hvilken indflydelse en ændring i disse fordelinger har på trafikafviklingen i VISSIM. Følgende problemstillinger vil derfor blive undersøgt:

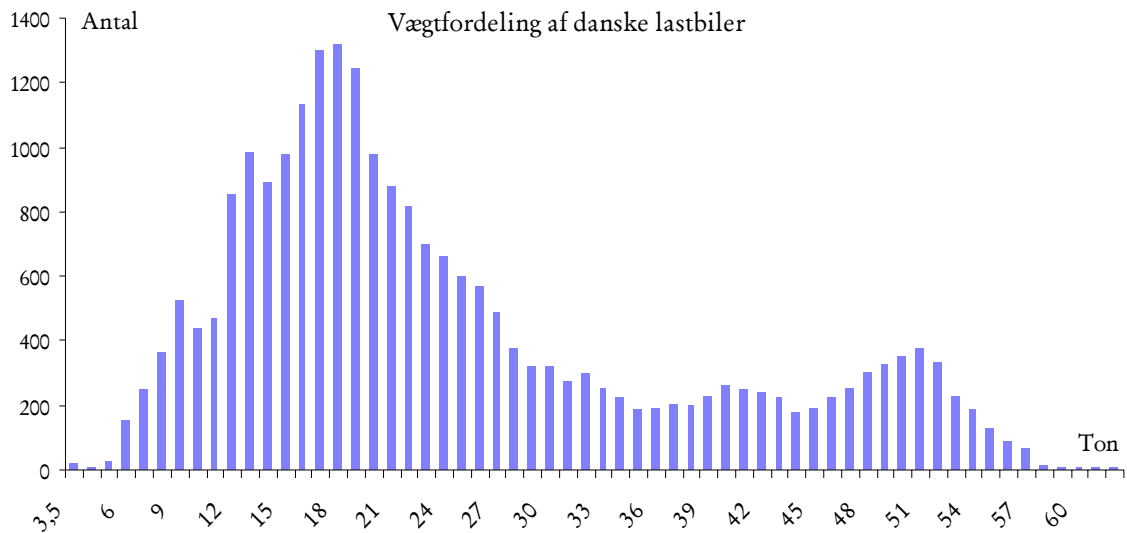
- Den danske vægtfordeling for lastbiler.
- Den danske motorkraftfordeling for lastbiler.
- Indflydelsen på rejsetiden ved ændring fra VISSIM-fordelingerne til mark-fordelingerne.

7.1.2 Dataindsamling

Dataene er indsamlet fra forskellige organisationer i Danmark, herunder Vejdirektoratet, Danmarks Statistik (DS) og ITD (International Transport Danmark). Fra ITD og DS er der indsamlet data omkring motorkraften, og Vejdirektoratet har bidraget med vægtmålinger for lastbiler i Danmark. Den indsamlede datamængde er vedlagt på cd-rom'en under: (\Excel filer\Vægt og kraftfordeling - vægt og kraftfordelinger).

Vægt

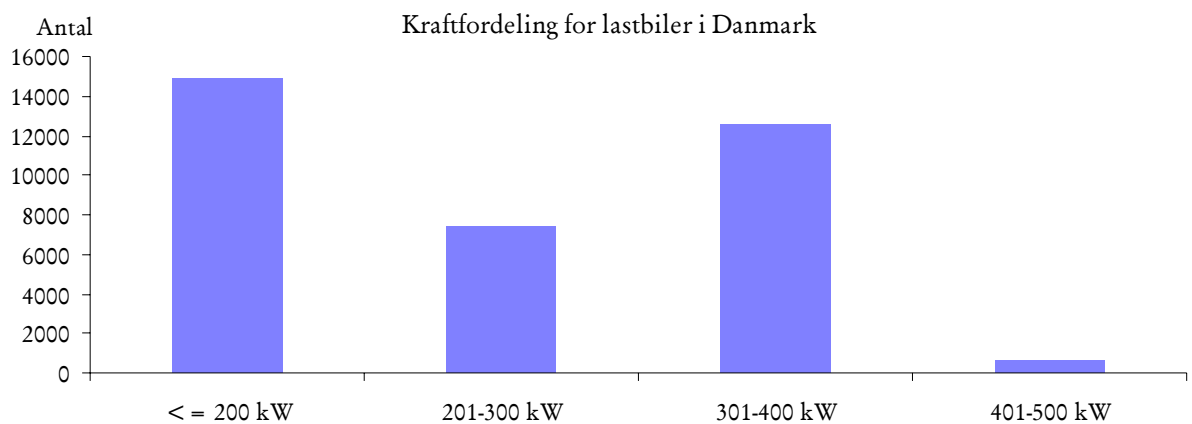
På Figur 7.5 ses et histogram over totalvægten for lastbiler mellem 3.500 kg og 73.000 kg. Tallene indeholder målinger på i alt 24.000 lastbiler og inkluderer alle akseltyper. Dataene kommer fra en vægtstation i Solrød og omfatter målinger gennem hele januar i 2008. Eftersom dataene udgøres af et stort antal lastbiler på alle tider af døgnet i ugens syv dage, vurderes de til at være korrekte og benyttes herefter til undersøgelse i VISSIM.



Figur 7.5: Histogram over vægtfordelingen i den danske lastbilpark [Danmarks Statistik 2008].

Motorkraft

Da det ikke har været muligt at finde et komplet datasæt over motorkraften i den danske lastbilpark, er den indsamlede data justeret efter danske lastbilers totalvægt. Et eksempel på denne regulering kan findes i bilag 16 (Motorkraftjustering). På Figur 7.6 ses kraftfordelingen for danske lastbiler.



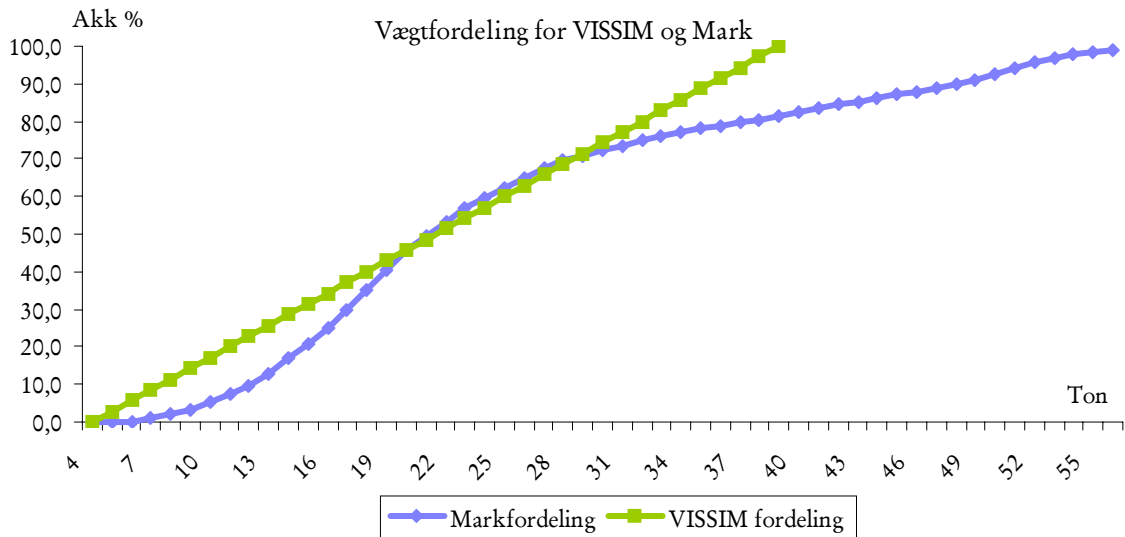
Figur 7.6: Kalibreret kraftfordeling for den danske lastbilpark [Danmarks Statistik 2008].

7.1.3 Resultater fra dataindsamling

Resultaterne fra dataindsamlingen præsenteres efterfølgende gennem en sammenligning af fordelingerne fra VISSIM og fordelingerne fra dataindsamlingen.

Vægtsammenligning

På Figur 7.7 ses de danske lastbilers vægtfordeling sammenlignet med VISSIMs standardfordeling. I sammenligningen er der lavet følgende justeringer på datasættet.

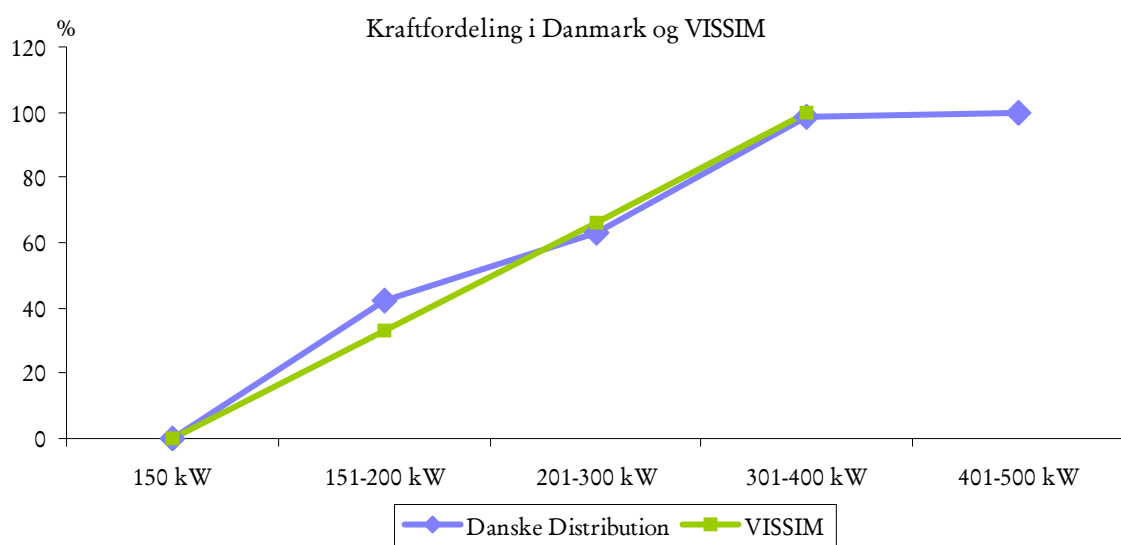


Figur 7.7: Vægtfordeling i VISSIM og Danmark [Danmarks Statistik 2008].

Lastbiler med totalvægt over 56 ton er ikke medtaget i den danske fordeling, da datasættet udgør mindre end 0,8 % af lastbilparken, og spiller derfor en ubetydelig rolle i denne sammenhæng. Det ses, at de to lineære vægtfordelinger specielt differentierer sig på de tunge områder, samt at den danske vægtfordeling ikke er lineær ligesom VISSIMs. Om denne ændring har en effekt, bliver testet i følgende afsnit.

Kraftsammenligning

På Figur 7.8 ses en sammenligning mellem kraftfordelingen i VISSIM og den danske fordeling. Fordelingerne er stort set ens dog med den lille forskel, at de danske lastbiler er repræsenteret i kategorien 401-500 kW. I det følgende afsnit undersøges, om denne ændring har en effekt.

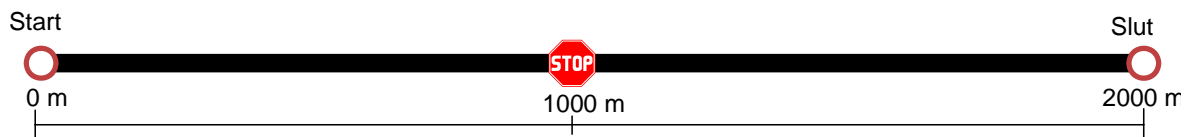


Figur 7.8 Kraftfordeling fra VISSIM og fra danske lastbiler [Danmarks Statistik 2008]

7.1.4 Opsætning af VISSIM

For at teste om der er en signifikant forskel på trafikafviklingen ved brug af markfordelingerne i forhold til VISSIM-fordelingerne, er der lavet simuleringer med begge fordelinger i VISSIM. Eftersom kraft-/vægtforholdet påvirker acceleration, deceleration og kørsel på bakke, er der valgt følgende scenarier til at teste fordelingerne:

Test 1: Vægt- og kraftfordelingernes indflydelse på rejsetiden ved et til flere totalstop. Til denne test benyttes et amerikansk stopsystem for at formindske simuleringstiden. Der vælges en teststrækning på 2 km pr. stop. En illustration af den første strækning ses på Figur 7.9.



Figur 7.9: Teststrækning til test af vægt-/kraftfordelinger

Test 2: Vægt- og kraftfordelingernes indflydelse på rejsetiden på bakke. Her er der taget udgangspunkt i en vejlængde på 1200 - 2000 meter med en varierende hældning fra 0 - 50 %. Intervallet er valgt på baggrund af skønsnæssig vurdering af store bakker i Danmark. Følgende betingelser er opstillet i VISSIM.

Der indsættes en trafikmængde på strækningen, så alle bilister har fri bevægelighed og hastighedsvalg. Lastbilerne kører med standardfordelingen for 80 km/t ”Simulation resolution” er sat til 10 beregninger pr. sek. for mere præcision. Der køres i 20.000 sekunder med 1000 lastbiler og standardindstillinger.

Visualisering

For at give læseren et dybdegående indblik i, hvordan testen og netværket er opbygget i VISSIM, ses der en illustration på vedlagte cd-rom under (\Video – test af vægt og kraft). Det anbefales at der skrues op for lyden da denne er af dårlig kvalitet.

7.1.5 Statistisk analyse og resultater

For at undersøge om ændring i fordelingerne har en signifikant indflydelse på rejsetiden, er der benyttet statistiske tests tilsvarende Figur 6.13 i kapitel 6.1.5. Til beregninger er der benyttet programmerne SPSS og MATLAB. For at se de statistiske tests henvises til bilag 17 (Statistisk analyse for vægt- og kraftfordeling). I Tabel 7.1 ses resultaterne fra test for 1,4 og 8 stop. Resultaterne bliver diskuteret i diskussionsafsnittet.

Tabel 7.1: Resultater fra statistiske tests af VISSIM-kørsler på stopbanen.

Enhed	1 Stop		4 Stop		8 Stop	
	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ
P-værdi	0,2195	4,6e-009	0,284	1,1e-009	0,2539	1,2e-009
Hypotese	H ₀	H ₁	H ₀	H ₁	H ₀	H ₁
	Mark	VISSIM	Mark	VISSIM	Mark	VISSIM
Rejsetid [sek]	109,4	107,8	431,7	425,5	861,1	848,6
Forskel	1,46 %		1,44 %		1,45 %	

Resultater for bakkeforsøg

For at teste om der er forskel i rejsetiden ved bakkekørsel, er der udvalgt enkelte tests, som giver et billede af forskellen mellem mark- og VISSIM-fordelinger. Resultaterne ses i Tabel 7.2, og vil blive diskuteret i diskussionsafsnittet.

Tabel 7.2: Resultater fra statistiske tests af VISSIM kørsler på bakkebanen

Enhed	1200 meter 50 %		1200 meter 30 %		2000 meter 50 %		2000 meter 30 %	
	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ	σ^2	μ
P-værdi	0,2342	3,0e-011	0,0106	7,6e-006	0,6588	5.6e-012	0,0016	2.1e-007
Hypotese	H ₀	H ₁	H ₁	H ₁	H ₀	H ₁	H ₁	H ₁
	Mark	VISSIM	Mark	VISSIM	Mark	VISSIM	Mark	VISSIM
Rejsetid [s]	66,4	63,2	57,6	56,2	118	110	98,9	95,6
Forskel	4,9 %		2,4 %		6,17 %		3,4 %	

Alle resultater for både stop- og bakkekørsel, kan findes i Excelarket på vedlagte cd-rom under \Excel filer\Vægt og kraftfordeling – vejhældning og stopstest.

7.1.6 Virkelig analyse og resultater

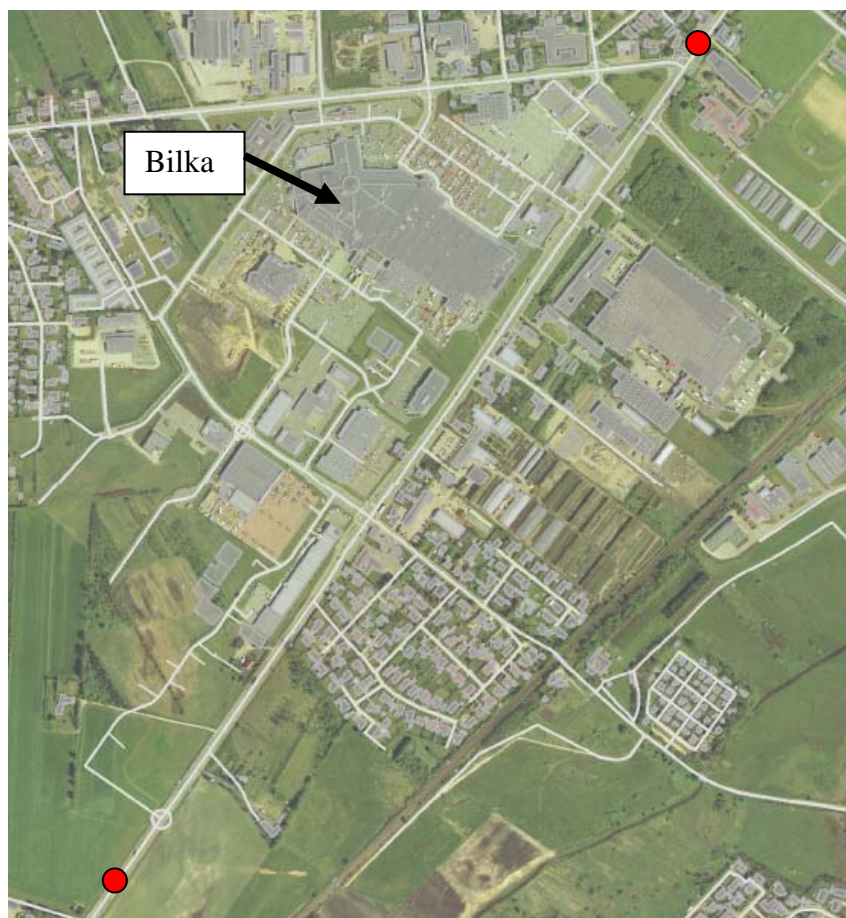
Da de statistiske resultater ikke er nok i sig selv, er der udført tests på to virkelige netværk. Den første test henvender sig til effekten af vejhældning, og der måles på rejsetiden i en eftermiddagsspidsstunde i 2004. Netværket starter ved indfletningen ved Th. Sauers Vej ved universitetet og forløber til Halsvej nord for tunnelen. Dette er en strækning på 10,02 km. Netværket er tilsvarende det, som blev brugt til test af hastighedsfordelingerne [Sode-Carlsen, 2004]. Resultaterne fra testen ses i Tabel 7.3 og de rå data er vedlagt på Cd-rom under \Excel filer\Vægt og kraftfordeling - (Test af 10 km) samt modellerne under: \VISSIM modeller.

Tabel 7.3: Resultater fra virkelig test i VISSIM

Middelværdi	Lastbil Mark	Lastbil VISSIM
Rejsetid	432 sek	437 sek
Maksimum	491,7 sek	379,4 sek
Minimum	377,3 sek	523,8 sek
Spredning	23	26
Forskel i rejsetid	1,0 %	

Den anden test henvender sig til stop- og startkørsel og finder sted i City Syd i en spidsstunde i 2006. Strækningen starter ved Nibevej og løber frem til rundkørslen ved Krebsen jf. Figur 7.10 markeret med røde prikker. På strækningen skal lastbilerne igennem fire lyskryds og én rundkørsel, hvor der måles på rejsetiden gennem hele systemet. Grunden til at denne strækning er valgt er, at dette er et område med mange lastbiler og kryds. Hermed vil det vise sig, om der er markant forskel, eftersom lastbilerne skal lave flere fulde stop eller

opbremsninger [Pihlkjær 2006]. Til denne test er der foretaget 10 simuleringer med ”*random seed*” på 30 + 8 per simulering.



Figur 7.10: Test af rejsehastighed i City syd. Strækning mellem de røde prikker

Resultaterne fra testen ses i Tabel 7.4, og de rå data findes på vedlagte cd-rom under \Excel filer\Vægt og kraftfordeling - (Test af City Syd) samt modellerne under VISSIM modeller.

Tabel 7.4: Resultater fra virkelig test i VISSIM i City Syd

Middelværdi	Lastbil Mark	Lastbil VISSIM
Rejsetid	194,6	224,5
Maksimum	535,5	928,4
Minimum	122,1	127,1
Spredning	62,1	121,3
N (antal)	402	358
Forskel i rejsetid	9,78 %	

7.1.7 Diskussion

Dataindsamling

Dataindsamlingen vedrørende lastbilers vægtfordeling viser, at der er markant forskel på tyske og danske lastbiler. I VISSIM har lastbilerne en minimumsvægt på 2800 kg, hvor lastbiler i Danmark har en minimumsvægt på 3500 kg. Derudover har VISSIM-lastbilerne en maksimal vægt på 40 ton, hvilket er 33 ton mindre end den maksimale registrerede vægt for lastbiler i Danmark. Grafen viser endvidere, at ca. 20 % af de danske lastbiler kører med over 40 ton. En anden væsentlig forskel er, at VISSIMs fordeling er liniær, hvilket ikke viser sig at være korrekt i forhold til de danske fordelinger. På baggrund af dette kan det anbefales, at fremtidige brugere bør justere disse fordelinger til at passe, til dansk trafikadfærd.

Kraftfordelingen har vist sig at være tilsvarende den tyske. Dataindsamlingen har vist at VISSIM-lastbiler ikke er defineret med en højere motorkraft end 400, hvor den danske fordeling også er repræsenteret i 401-500 kW, dog med meget få lastbiler. Det vurderes på baggrund af dette, at VISSIM godt kan repræsentere den danske fordeling i fremtidige modeller.

Statistisk analyse på hastigheder

Den statistiske analyse har vist, at der for alle tilfælde er signifikant forskel i rejsetidens middelværdi. Det kan konkluderes, at gennemsnitsrejsetiden ved frit flow er langsommere med VISSIM-fordelinger i forhold til de danske fordelinger. Dog ses det, at forskellen er på ca. 1,5 %, hvorfor det må konkluderes, at en ændring i vægt- og kraftfordelingerne er ubetydelig. Det ses også, at der ikke er signifikant forskel i varianserne, hvilket betyder, at fordelingen omkring middelværdien er ens. Dette skyldes i høj grad, at vægt-/kraftforholdet er begrænset af intervallet på 7-30 kW/ton. Ingen kan det konkluderes, at en ændring i vægt- og kraftfordelingerne er ubetydelig.

Resultaterne fra bakkeforsøget har tilmed vist, at rejsetiden ikke øges væsentligt. Den højeste forskel er ved 2000 meter og 5 % hældning, hvor rejsetiden forøges med 6,17 %. Tests med andre hældninger og vejlængder har vist en mindre forskel, hvorfor det kan konkluderes, at en ændring i vægt- og kraftfordelingerne er ubetydelig.

Virkelig analyse

Resultaterne fra de virkelige tests viser, at en ændring i vægt- og kraftfordelingerne ikke giver en væsentlig forskel i rejsetiden på motorvejsnetværket. I netværket på motorvejen var forskellen 1,0 % (5 sek), men for netværket i City Syd 9,7 % (20 sek). Denne lille forskel på motorvejen skyldes i høj grad, at der ikke er mange accelerationer og decelerationer, samt trafikken på strækningen er høj. Den høje grad af trafik medfører påvirkninger af den ønskede acceleration og deceleration, og lastbilernes rejsetid bliver derfor ikke markant nedsat. Derimod var der en større forskel på netværket i City Syd. Dette skyldes, at der er

mange stop og start, samt lastbilerne kører flere steder i kø, hvor accelerationen har betydning for hvor hurtigt lastbilen kommer igennem netværket.

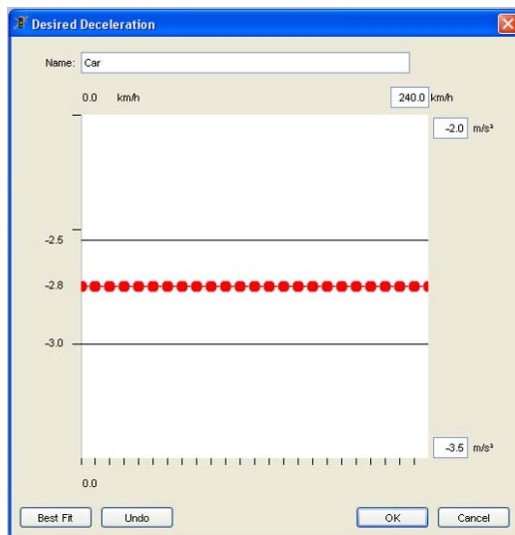
Det kan på baggrund af de virkelige test konkluderes, at det er ligegyldigt, hvilken hastighedsfordeling der vælges når der simuleres på motorvejsstrækninger med høj trafikintensitet. Derimod har fordelingerne betydning i mindre netværk med mange stop og start samt køkørsel. Der anbefales på baggrund af disse undersøgelser, at de i denne rapport vægt- og kraftfordelinger anvendes i fremtiden for netværk i byzoner.

Fejlkilder

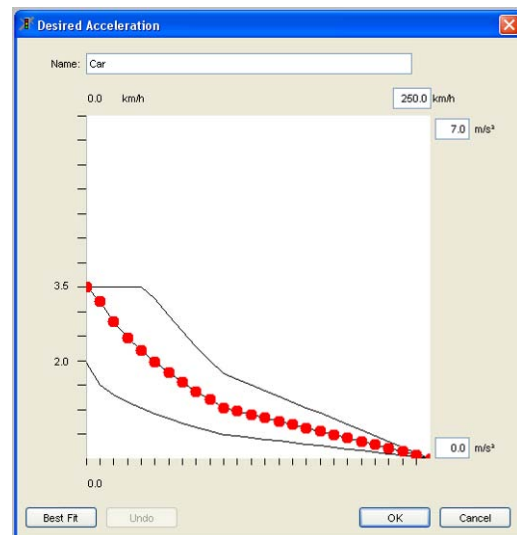
- Lastbiler (3500 kg+) med en motoreffekt på under 150 kW er ikke medtaget.
- Statistik for motorkraften beror på halvdelen af den danske lastbilpark.
- Motorkraft for lastbiler ligger ofte i kategorierne fra 200 kW til 660 kW med et spring på 20 kW pr. trin. Denne præcise opdeling har ikke været mulig at se i den indsamlede data.

8 Acceleration og deceleration

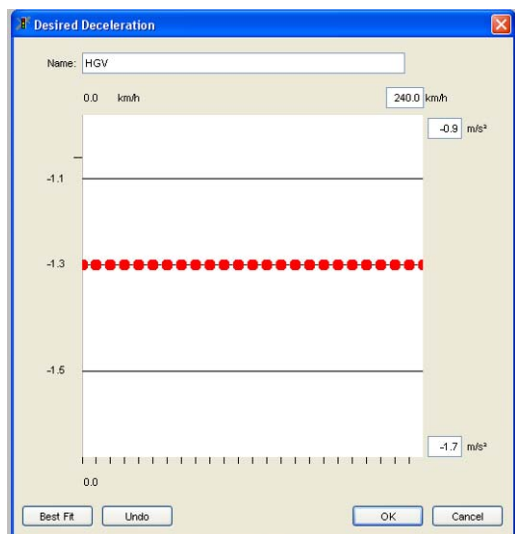
Acceleration og deceleration er vigtige parametre i VISSIM og har indflydelse på kapaciteten, rejsehastigheden og rejsetiden. Alle køretøjstyper i VISSIM er tilknyttet en forskellig acceleration- og decelerationskurve. På Figur 8.1 til Figur 8.4 ses eksempler på accelerations- og decelerationskurver for personbiler og lastbiler. Den røde linje på fordelingerne viser en middelværdi, og de sorte linjer repræsenterer grænseområdet for den maksimale og minimale de- og acceleration. Gennem modellen kan et køretøj antage forskellige de- og accelerationsværdier, som er et resultat af køretøjets aktuelle hastighed samt en tilfældig værdi inden for grænseområderne. Eksempelvis vil en bil med en hastighed på 130 km/t antage en gennemsnitlig acceleration på ca. 1 m/sek² jf. Figur 8.2 (aflæst på kurven). For nærmere beskrivelse af disse parametre henvises til bilag 12 (Parametre i VISSIM).



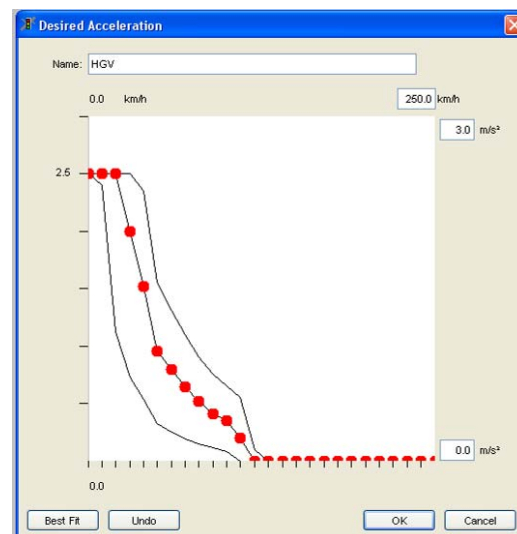
Figur 8.1: Ønsket deceleration for biler (x-aksen: km/t y-aksen: m/sek²)



Figur 8.2: Ønsket acceleration for biler (x-aksen: km/t y-aksen: m/sek²)



Figur 8.3: Ønsket deceleration for lastbiler (x-aksen: km/t y-aksen: m/sek²)



Figur 8.4: Ønsket acceleration for lastbiler (x-aksen: km/t y-aksen: m/sek²)

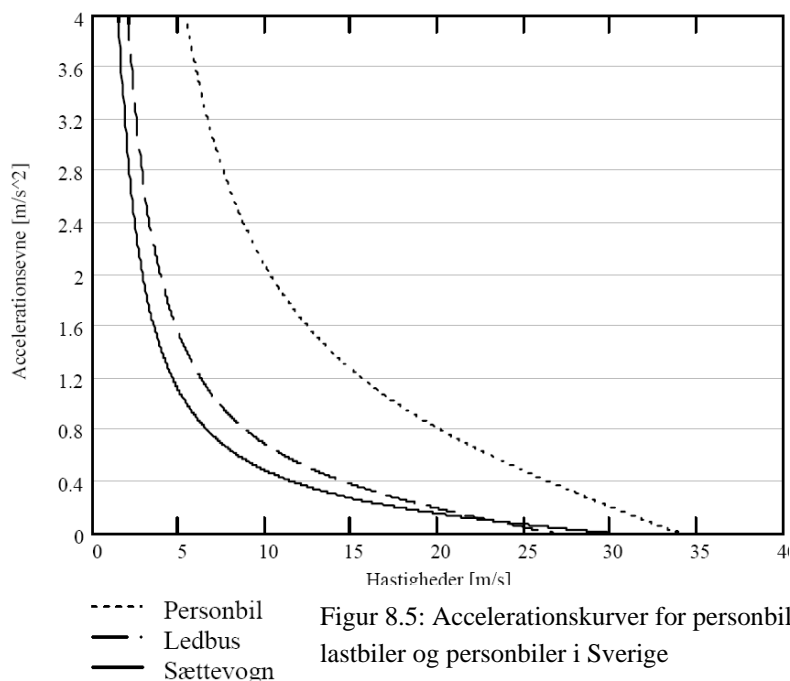
8.1 Problemstilling

Tilsvarende tidligere undersøgelser er acceleration- og decelerationskurverne bygget på tyske værdier og dermed også tysk på trafikantadfærd. Det er i denne sammenhæng interessant at undersøge, om den danske adfærd er anderledes end den tyske, samt hvilken effekt en ændring af disse kurver har på trafikafviklingen i VISSIM. Eksempelvis ses det fra Figur 8.1 og Figur 8.3, at den ønskede deceleration for både personbiler og lastbiler er konstant, hvilket fra personlige erfaringer ikke vurderes som værende korrekt. Derudover vurderes det, at tyske personbiler typisk har kraftigere motorer i forhold til danske biler, og derfor har de en anderledes accelerationsadfærd. Der undersøges derfor følgende problemstillinger:

- Den 'ønskede accelerationskurve' for danske køretøjer.
- Den 'ønskede decelerationskurve' for danske køretøjer.
- Indflydelsen på trafikafviklingen i VISSIM ved ændring af accelerations- og decelerationskurverne fra de tyske kurver til danske kurver.

Præsentation af den nuværende viden på området

Gennem samtaler med lastbilfabrikanter og offentlige myndigheder kan det konkluderes, at lastbilers acceleration og deceleration ikke registreres i Danmark. Dertil er der ikke fundet tidligere undersøgelser i dansk trafiklitteratur, der angiver lastbilers acceleration- og decelerationskurver. Dog er der ved et studium af de svenske vejregler fundet en række grundværdier, som benyttes til at beregne accelerationskurverne på hhv. personbiler, busser og lastbiler på lige strækning jf. Figur 8.5. [Vägverket 2004].



Figur 8.5: Accelerationskurver for personbiler, lastbiler og personbiler i Sverige

Da vi ofte sammenligner os selv med vores naboer, er det nærliggende at benytte disse værdier. Men eftersom værdierne stammer fra 1994, og størstedelen af lastbilparken siden da er udskiftet, vurderes disse data som værende upræcise. Der laves ikke flere undersøgelser med de- og accelerationskurver for lastbiler og busser grundet datamangel.

Accelerationsfordelinger for personbiler

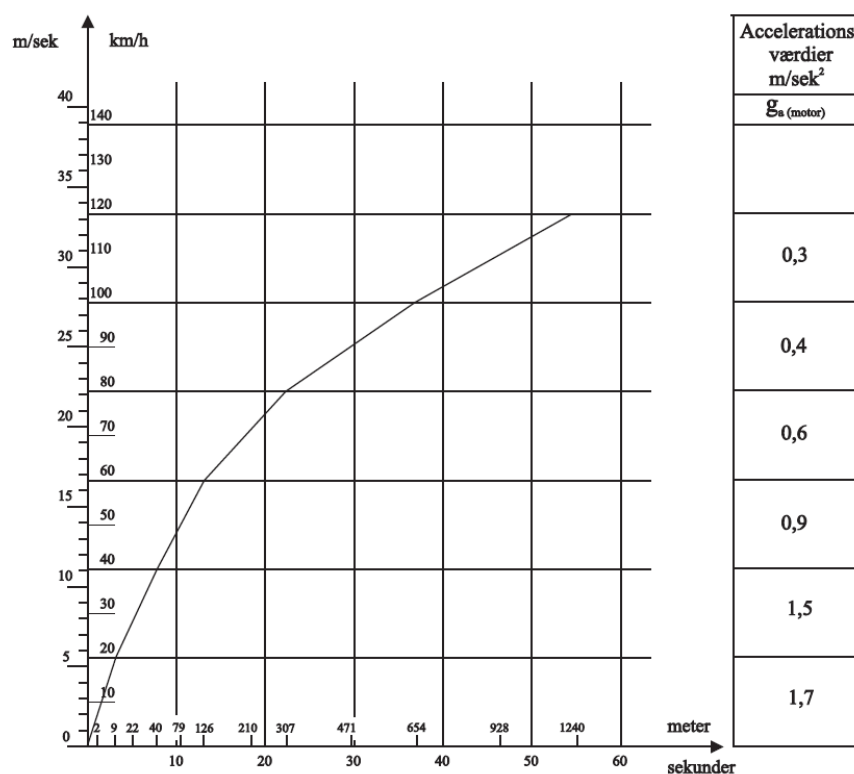
For personbiler har det været muligt at indsamle data fra tidligere studier angående acceleration- og decelerationsevne. De danske vejregler angiver, at accelerationsværdien for et køretøj er sammensat af motorens accelerationsevne på vandret vej samt stigningsforholdene i kørselsretningen. Accelerationsevnen beregnes ud fra følgende formel jf. formel (0.2):

$$g_a = g_a(\text{motor}) + G \cdot \frac{s}{1000}, \quad (0.2)$$

Hvor:

- g_a Accelerationsevnen for køretøjet [m/s^2]
- $g_a(\text{motor})$ Motorens accelerationsbidrag [m/s^2]
- G Tyngdeaccelerationen ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- s Vejens længdegradient i ‰ regnet negativ for stigning og positiv for fald.

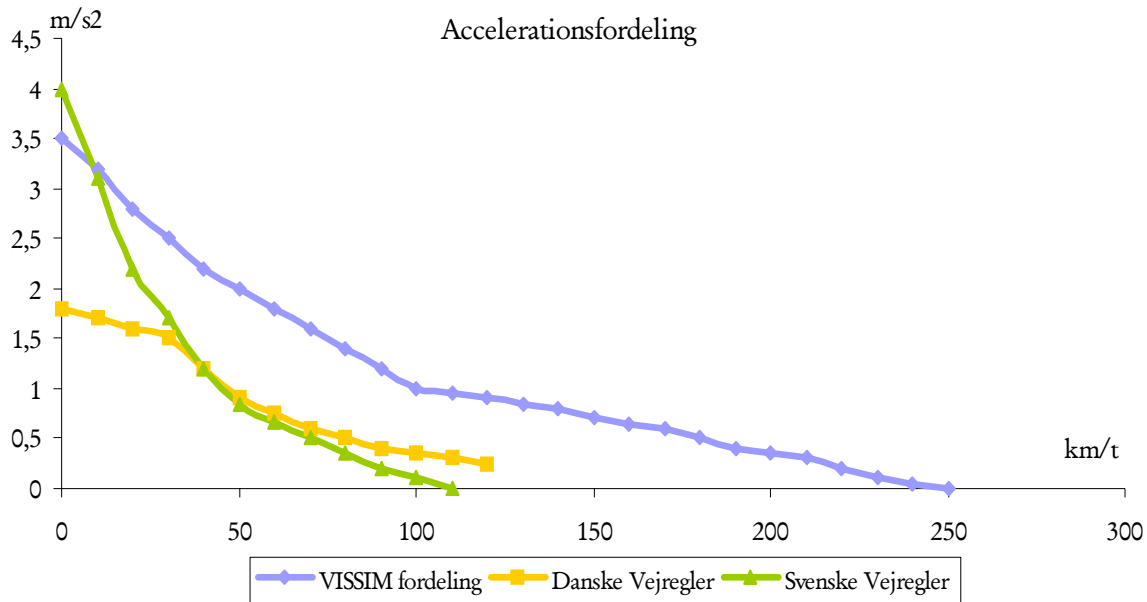
Motorens accelerationsbidrag kan ses på Figur 8.6. Grafen er fra Vejdirektoratets hæfte 4.4 om toplanskryds, men værdierne er tilsvarende dem, som findes i Vejdirektoratets projekteringsregler for motorveje fra 1970. Målingerne fra 1970 er lavet på baggrund af en undersøgelse af den acceleration hvorved trafikanten føler ubehag [Vejdirektoratet 1970]. Dette betyder, at køretøjernes accelerationsevne på nuværende tidspunkt beregnes ud fra upræcise værdier, som er mindst 38 år gamle, hvilket ikke vurderes korrekt i forhold til udviklingen af bilers accelerationsevne.



Figur 8.6: Accelerationsevne for en personbil på flad vej [Vejreglerådet 2005. p.67]

På Figur 8.7 sammenlignes accelerationskurven fra VISSIM med kurven fra Vejdirektoratet og de svenske vejregler. Det ses, at accelerationskurven for danske biler ligger betydeligt under VISSIMs standardkurve, hvilket igen skyldes de større og hurtigere biler i Tyskland.

Eftersom den danske kurve stammer fra 1970, vurderes denne ikke at være repræsentativ for bilparken anno 2009. Da den svenske kurve også stammer fra dataindsamling i begyndelsen af 70'erne, vurderes denne også som utilstrækkelig til at repræsentere accelerationskurven for de danske personbiler.

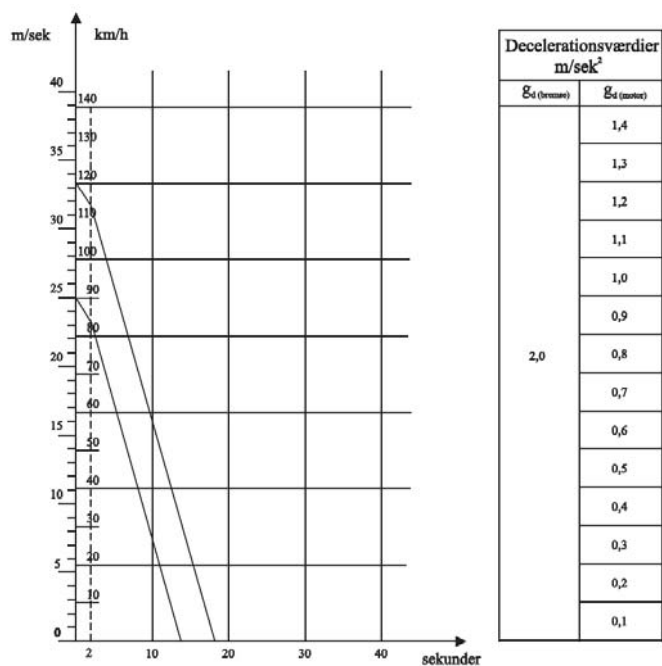


Figur 8.7: Sammenligning af accelerationskurver fra Vejregler 2005 og VISSIM 2009

Der vælges derfor at lave egne undersøgelser af de- og accelerationskurverne for den danske bilpark, hvilket er beskrevet efter dataindsamling omkring deceleration.

Decelerationsfordelinger for personbiler

I de danske vejregler fra 2005 er der defineret en decelerationskurve for den danske personbil, jf. Figur 8.8. Decelerationen består af to komponenter, hhv. motorbremsning af to sekunders varighed, og den egentlige opbremsning. De to sekunders motorbremsning svarer til, at køretøjets begyndeshastighed på vandret vej falder med 7,5 % uafhængigt af hastighedens størrelse. Decelerationsværdien $g_d(\text{bremse})$ på vandret vej er bestemt af hensynet til kørekomfort og er ved forsøg fundet til at være ca. 2 m/sek^2 uafhængig af hastigheden [Vejregelrådet 2005. p.69].



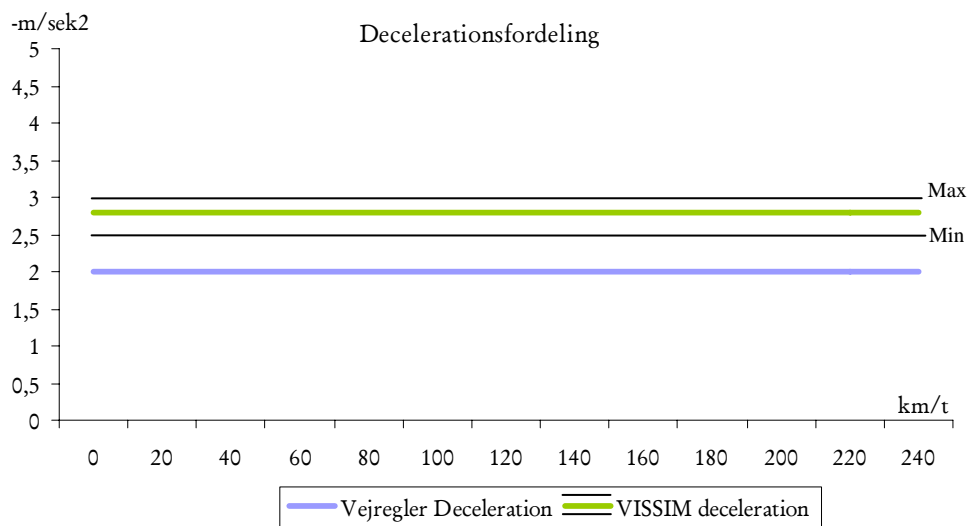
Figur 8.8: Decelerationsværdier. [Vejregelrådet 2005. p.69]

Ved fald eller stigning i længderetningen sker der en regulering af decelerationsværdierne med følgende formel:

$$g_d(\text{motor}) - G \cdot \frac{s}{1000}, \text{ og } g_d(\text{bremse}) - G \cdot \frac{s}{1000}$$

Hvor G er tyngdeaccelerationen $9,81 \text{ m/sek}^2$, s er gradienten i ‰, positiv ved fald og negativ ved stigning og g_d er m/sek^2 [Vejreglerådet 2005, p.69].

På Figur 8.9 ses en sammenligning af Vejdirektoratets og VISSIMs decelerationskurve. Det ses, at begge kurver er lineære, dog med den forskel at den danske fordeling medregner motorens deceleration, hvilket ikke er vist på figuren. VISSIM-decelerationen har således en konstant gennemsnitsværdi på $-2,8 \text{ m/sek}^2$ med maksimum og minimum på hhv. $-3,0 \text{ m/sek}^2$ og $-2,5 \text{ m/sek}^2$. På Figur 8.8 ses det, at den konstante gennemsnitlige danske deceleration er på -2 m/sek^2 , hvilken er en langsommere deceleration end VISSIMs. Da det af erfaring vurderes, at en deceleration ikke er lineær, vælges der at lave egne undersøgelser af decelerationskurven for den danske bilpark.



Figur 8.9: Sammenligning af deceleration for Vejregler 2005 (Uden motordeceleration) og VISSIM.

8.1.1 Dataindsamling

Aalborg Universitet har sammen med det tidligere Nordjyllands Amt og Topdanmark udviklet IT-udstyr til biler, som indgår i et projekt kaldet Spar på Farten. Her har en række forsøgspersoner fået installeret en GPS-modtager i bilen, som registrerer bilens position og hastighed hvert sekund. Formålet med forsøget har overordnet været at teste, om resultater fra et tidligere lignende projekt kunne overføres til en større gruppe bilister. Endvidere har man ønsket at undersøge, om udstyr til intelligent farttilpasning kombineret med bonus på forsikringspræmierne kan få bilisterne til at sænke farten og derved reducere ulykkesrisikoen [Lahrman 2006, p.1].

Gennem projektet er forsøgspersonernes kørsel således blevet GPS-registreret i en årrække på vejnettet i Nordjylland. Bilerne i forsøget har hermed gennemgået mange de- og accelerationer, som efterfølgende er benyttet til at opstille de- og accelerationskurverne. Datasættet beror sig på GPS-logninger fra 166 personer over en periode på ca. tre år.

Da der ikke er fundet en standardmetode til at sortere og beregne de- og accelerationskurver fra GPS-data, er der selv opstillet en procedure til dette formål. Eftersom GPS-data indeholder megen ”støj”, er det nødvendigt at gennemgå flere sorteringsmekanismer for at frasortere denne. Alle disse sorteringer bliver efterfølgende gennemgået, således at fremtidige brugere kan benytte samme metode eller udvikle den.

Udvælgelse af område

Til at beregne de- og accelerationskurverne er det nødvendigt at finde nogle områder, hvor denne type kørsel forekommer. Derudover skal der ikke være nogen ydre påvirkninger såsom lyskryds, bløde trafikanter, vejsving m.m., da disse forstyrrer bilistens adfærd. Der er således udvalgt to lokaliteter i Nordjylland, hvor der både forekommer accelerationer og decelerationer, der opfylder ovenstående krav. De to lokaliteter er hhv.:

- Accelerationen fra Universitetsboulevarden til Nordjyske motorvej E45, jf. Figur 8.10.
- Deceleration fra Nordjysk motorvej E45 til Universitetsboulevarden, jf. Figur 8.10.
- Accelerationen fra krydset på Ny Kærvej kørende mod syd mod motorvej E45, jf. Figur 8.11.
- Decelerationen fra Adelsmotorvejen til Ny Kærvej krydset, jf. Figur 8.11.



Figur 8.11: Acceleration og deceleration ved Universitetsboulevarden



Figur 8.10: Acceleration og deceleration ved Adelsmotorvejen - Ny Kærvej

Udvælgelse af data

UTM koordinaterne fra hjørnerne af Figur 8.10 og Figur 8.11 bliver noteret fra Google Earth og implementeret i SQL-koden for områdedefinition i Spar på Fartens udtrækningsmodul. Herefter er det nødvendigt at frasortere alle de GPS-logninger, som ikke kører på motorvejen. Dette er specielt et problem ved Adalsmotorvejen, eftersom vejene ligger tæt og parallelt. Der er dermed lavet et filter, som kræver, at alle ture skal have mindst en GPS-logning inden for de røde områder, jf. Figur 8.10 og Figur 8.11. Hermed opnås, at det kun er de relevante data, som kommer i betragtning, men da disse stadig indeholder en del støj, er det nødvendigt med nogle frasorteringkriterier.

Frasortering af støj

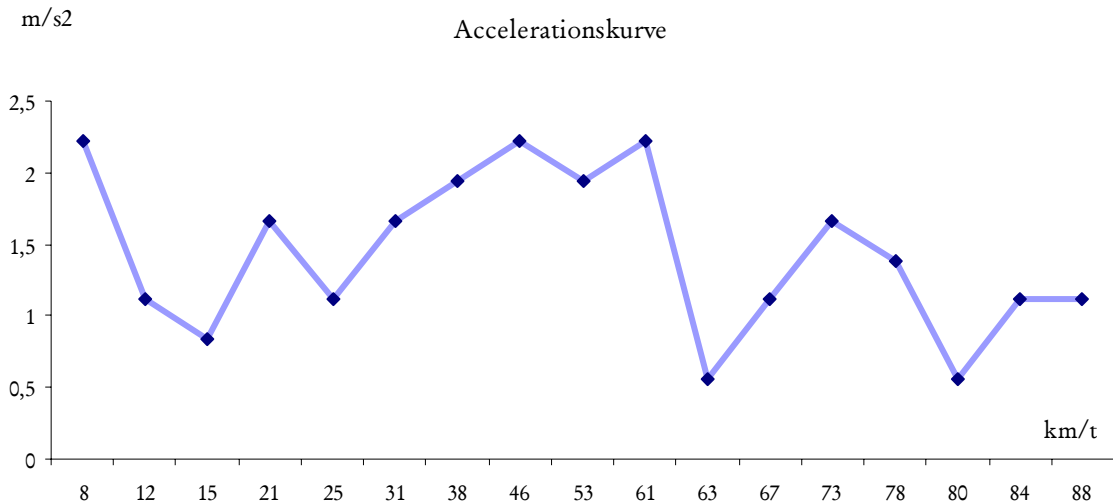
Efter at have udvalgt et område er det nødvendigt at frasortere alle data, som ikke har relevans for beregningerne. Følgende punktliste viser proceduren til frasortering af irrelevant data.

- Til accelerationsfordelingerne inkluderes data, hvis bilisten starter fra total stilstand og når op på en hastighed på minimum 70 km/t.
- Til decelerationsfordelingerne inkluderes data, hvis bilisten starter fra en hastighed på minimum 60 km/t og slutter i total stilstand.
- Der er ikke medtaget trafikale spidstimer grundet indflydelse fra andre bilister. Hermed er der defineret et tidsrum fra 8:30 -15:30 og fra 17:00 til 20:00.
- Alle data fra vintermånederne december – februar er ikke medtaget grundet risiko for glatte veje og dermed ændret accelerations og decelerationsadfærd.
- Bilisterne skal have mindst fem sekunders stop før tilkørsel til accelerationsrampe samt fuldt stop ved slutning af decelerationsrampen.
- Turen skal have minimum 10 punkter med godt GPS-signal.

Der er således indsamlet over to millioner datapunkter med 166 bilister til at repræsentere den danske acceleration og decelerationsadfærd. Efter frasortering af støj har dette resulteret i ca. 1000 kørsler, som herefter ligger til grund for accelerations- og decelerationsfordelingerne.

8.1.2 Registrering af accelerationer

Efter visuel inspektion af GPS-logningerne ses det, at der stadig forekommer megen støj i dataene. Det er derfor ikke muligt at opstille et generelt billede af acceleration- og decelerationsmønstrene direkte ud fra GPS-logningerne. På Figur 8.12 ses et generelt eksempel på en logning af en acceleration ved tilkørselsrampen fra Universitetsboulevarden mod nord. Her har bilisten tilsyneladende været påvirket af en ydre faktor, hvilket bevirker, at accelerationsmønstret ikke påtager sig den forventede udvikling. Fra 61 km/t til 63 km/t sker der et fald i accelerationen, som ikke "virker" naturligt. Dette vurderes til at være et resultat af et gearskifte eller en anden ydre påvirkning.



Figur 8.12: Accelerationsforløb ad tilkørselsrampe fra Universitetsboulevarden

I Tabel 8.1 ses et eksempel på data fra en accelerationskurve. Det ses, at der fra 17:07:38 til 17:07:39 kun sker en hastighedsforøgelse på 1 km/t, hvilket ikke er naturligt i en ellers upåvirket accelerationskurve.

Tabel 8.1: Eksempel på accelerationsdata fra Universitetsboulevarden kørende mod nord til E45.

TIME	XPOS	YPOS	ODOSPEED	GPSSPEED	DIR	DIST	ACCEL	Delta v
03-07-2006 17:07	556404	6321360	7	0	193	0	1,94444	
03-07-2006 17:07	556403	6321358	17	11	199	2	2,77778	10
03-07-2006 17:07	556402	6321354	22	19	199	4	1,38889	5
03-07-2006 17:07	556400	6321349	23	23	199	5	0,27778	1
03-07-2006 17:07	556398	6321343	28	24	200	6	1,38889	5
03-07-2006 17:07	556395	6321336	34	30	201	8	1,66667	6
03-07-2006 17:07:37	556392	6321327	41	36	201	9	1,94444	7
03-07-2006 17:07:38	556388	6321317	48	43	202	11	1,94444	7
03-07-2006 17:07:39	556383	6321305	49	48	202	13	0,27778	1
03-07-2006 17:07:40	556378	6321292	53	50	203	14	1,11111	4
03-07-2006 17:07	556372	6321279	57	54	203	14	1,11111	4
03-07-2006 17:07	556367	6321264	62	59	203	16	1,38889	5
03-07-2006 17:07	556360	6321248	67	63	203	17	1,38889	5

Det er hermed klart, at ikke alle GPS-logninger kan repræsentere det generelle billede af de danske accelerationskurver. Men da gearskifte ikke altid sker ved de samme hastigheder, er det valgt at opstille en procedure til udvælgelse af de ”gode” data.

Da det ikke er nødvendigt at eliminere ”hele” ture på grund af enkelte dårlige data, er der forsøgt kun at frasortere data der er under disse ydre påvirkninger. Det vil sige, at enkelte dele af en tur godt kan bruges, og de dårlige dele frasortes. Proceduren er opstillet i tre trin.

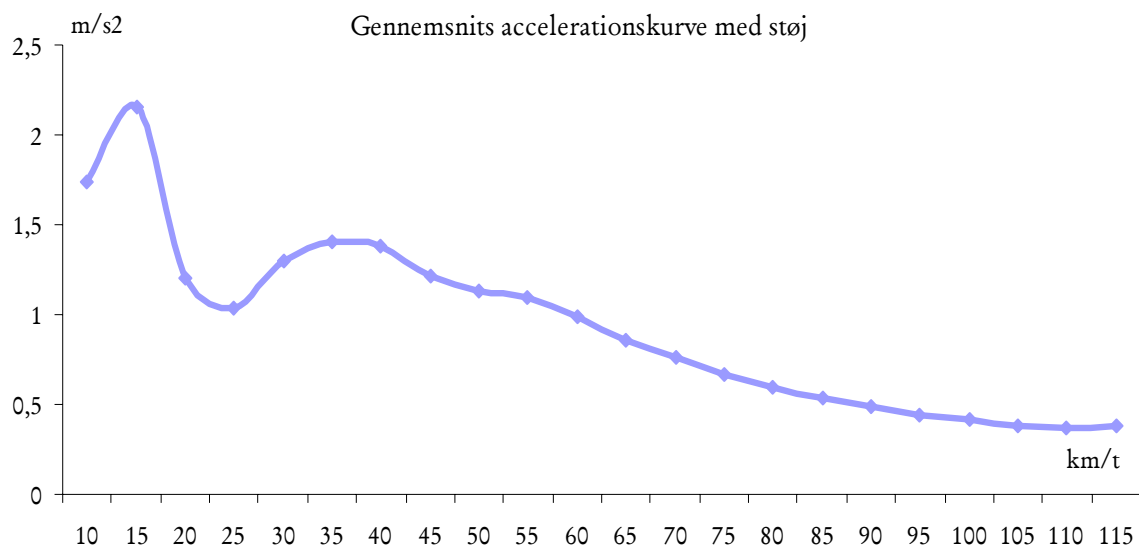
Trin I – Primær Sortering (Område)

I det følgende tages udgangspunkt i beregning af accelerationskurven. Den første sortering retter sig mod at fjerne alt data, som ikke har kørt på accelerationsrampen. I dette tilfælde er der brugt Excel 2007 til at sortere i datasættene. Der laves følgende skridt i sorteringen.

- I første omgang frasorteres alle registreringer med negativ acceleration. Dette eliminerer al køkørsel til rampen samt opbremsninger på tilkørselsrampen.
- Herefter frasorteres de GPS-logninger, som GPSSPEED på 0 km/t, da disse ikke er relevante.
- Der sorteres derefter i DIR (retningen) efter +/- 45 grader i accelerationsrampens kørselsretning. Denne sortering kan benyttes, hvis der er en lineær rampe.
- Ud fra UTM koordinater fra Google Earth defineres et koordinatsæt, som definerer start og slut for testbanen. Alt uden for disse koordinater sorteres fra.

Trin 2 – Sekundær Sortering (Godt data)

Dataene indeholder stadig støj i form af gearskifte eller påvirkning fra andre køretøjer. Det er derfor nødvendigt at frasortere denne. Hele datasættet rangeres efter hastighed, hvorefter der udregnes en gennemsnitsacceleration i intervaller på 5 km/t. Grafen over en gennemsnitsacceleration med støj ses på Figur 8.13. Alle data kan findes på vedlagte cd-rom under \Excel filer\Acceleration og deceleration - (Opbygning af accelerationskurver).



Figur 8.13: Accelerationskurve for middelværdierne opdelt på 5 km/t interval

Figur 8.13 giver et approksimativt billede af fordelingen for accelerationskurven. Eftersom "dårlig" data stadig er repræsenteret på kurven, skal dette fjernes for dermed at opnå en korrekt kurve. Til at fjerne de dårlige datapunkter, udføres følgende operationer i hvert interval:

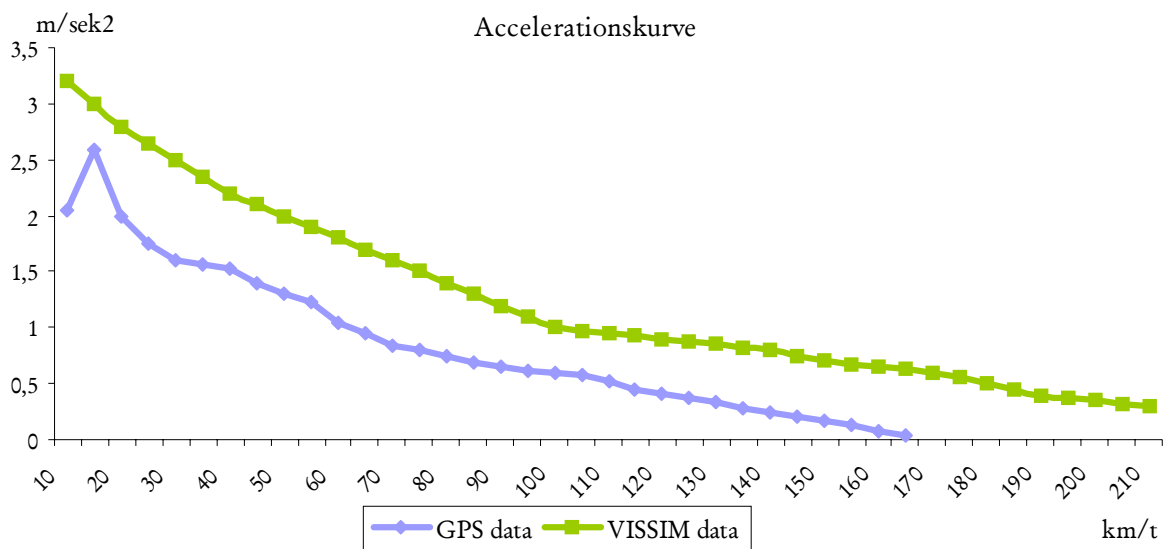
- Alle accelerationer, der ligger under $\mu - \sigma$, frasorteres
- Alle accelerationer, der ligger over $\mu + 2 \cdot \sigma$, frasorteres

Sorteringsproceduren benytter standardafvigelsen (σ), da denne beskriver fordelingen af den stokastiske variabel omkring middelværdien. Høj spredning angiver derfor et "spredt" datasæt, og ligeledes angiver lav spredning et samlet datasæt. Eksempelvis vil der ved et spredt datasæt kun blive fjernet de yderste områder, hvilket er hensigtsmæssigt, da bilisterne har vist stor accelerationsvariation i dette interval. Frasortering af høje værdier antager to gange spredningen. Dette skyldes, at langt størstedelen af de høje accelerationer anses som værende ønskede og upåvirkede. Der forekommer dog unaturlige høje accelerationer, som hermed frasorteres. Frasorteringen af data ligger ca. på 15 % af de laveste værdier og 4 % af de højeste. Dermed har det vist sig fornuftigt at benytte spredningen som frasorteringskriterium, da spredningen er repræsenteret i alle stikprøver og således retter sig ind efter stikprøvens middelværdi og variation.

Årsagen til at sorteringen sker i intervaller, modsat hele datasættet er, at accelerationsmønstrer varierer meget i forhold til hastigheden. Eksempelvis er gennemsnitsaccelerationen betydelig mindre ved 100 km/t end ved 20 km/t. Dermed opnås der en repræsentativ udvælgelse for hvert interval. Det skal nævnes, at der ikke er korrigeret for hældning på ramperne, da "gevinster" ved dette indgår i den ønskede acceleration. Ved fald på vejen vil bilisten trykke mindre på speederen og dermed stadig opnå den ønskede acceleration.

Trin 3 - Korrigering af data

Det har vist sig, at størstedelen af alle biler har første gearskifte ved 20-30 km/t, hvilket giver et fald i kurven i dette område. Da gearskifte er en ydre faktor, vurderes det, at accelerationer i dette interval ikke er repræsentative, og disse fjernes. Derudover er det nødvendigt at definere alle accelerationsværdier i alle hastighedsintervaller. Da GPSdata ikke indeholder data over 115 km/t, antages et lineært fald i accelerationen til 0 m/sek² fra 115 km/t til 170 km/t. 170 km/t er valgt, da dette er den maksimale hastighed i hastighedsfordelingerne. Det endelige resultat ses på Figur 8.14. Her ses accelerationsfordelingerne fra GPS-dataen sammenlignet med VISSIM-fordelingerne.



Figur 8.14: Accelerationskurve fra GPS-data sammenlignet med VISSIM fordeling

8.I.3 Registrering af decelerationer

Til beregning af decelerationskurverne er proceduren anderledes. Eftersom decelerationer ikke medfører gearskifte, forekommer der ikke ”dårlige” GPS-logninger på samme måde som ved accelerationskurven. Proceduren til beregning af decelerationen sker således:

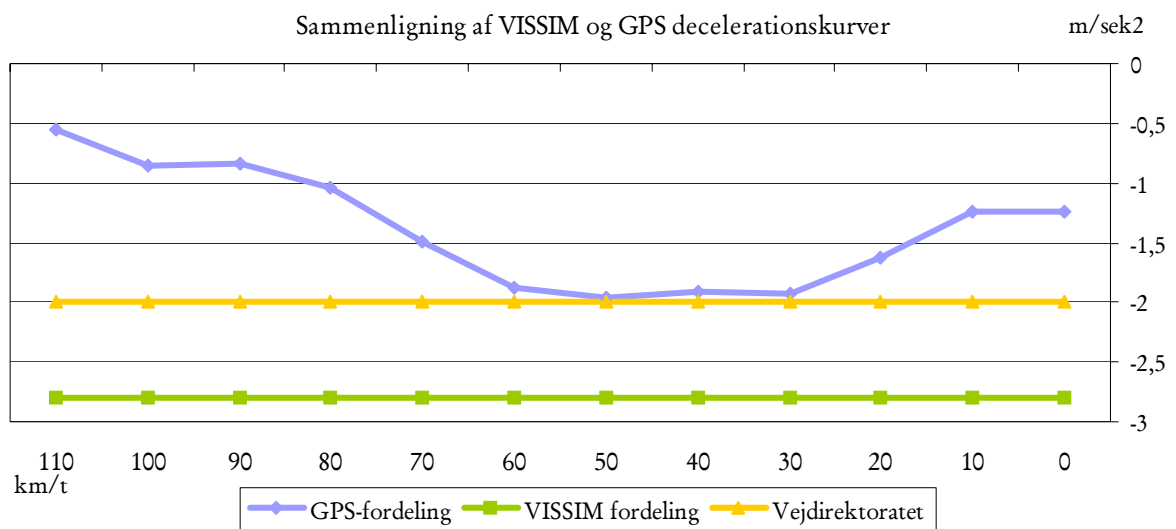
Sortering

I dette tilfælde er Excel 2007 benyttet til at sortere i datasættene.

- Der frasorteres i første omgang alle registreringer med acceleration.
- Der frasorteres derefter de logninger, som har 0 km/t.
- Der sorteres derefter i DIR (retningen) efter dem, som kører +/- 45 grader i retning af decelerationsrampen. I tilfælde af en krum rampe kan denne sortering ikke benyttes i samme grad.

Ud fra UTM-koordinater fra Google Earth defineres et koordinatsæt, som angiver start og slut for testbanen. Alt uden for disse koordinater sorteres fra.

Efter denne sortering opnås de rene data, hvorfra den ønskede deceleration kan beregnes. Data opstilles i intervaller af 10 km/t, og der beregnes således en gennemsnitsværdi for hvert interval. Resultatet af sorteringerne ses i Figur 8.15. Da der ikke forekommer kvalificerede GPS-logninger med en hastighed over 110 km/t, benyttes den sidst målte værdi til at definere hele hastighedsspektret over denne hastighed. Det ses, at decelerationskurven er betydeligt mindre end både VISSIMs og Vejdirektoratets kurve. Alle data kan findes på vedlagte Cd-rom under \Excel filer\Acceleration og deceleration - (Opbygning af decelerationskurv).



Figur 8.15: Decelerationsfordelingen efter område 2 fra GPS-data

Der testes efterfølgende for, om ændring i fordelingerne har en indflydelse på trafikafviklingen i VISSIM.

8.1.4 Opsætning af VISSIM til test

I det følgende testes om der er en signifikant forskel på trafikafviklingen ved benyttelse af VISSIM-kurverne i forhold til GPS-kurverne. Der laves tests på ændringer i rejsetiden ved ændring af acceleration og decelerationskurver for personbiler. Følgende betingelser er opstillet i VISSIM.

- Der indsættes en passende trafikmængde på strækningen, således at alle bilister har fri bevægelighed og hastighedsvalg. Hastigheden er valgt til 60 km/t og 130 km/t for at dække hele spektret i accelerations- og decelerationskurverne.
- ”*Simulation resolution*” er sat til 10 beregninger pr. sek.
- Der køres i 18.000 sekunder med 1000 biler pr. simulering

Visualisering af test i VISSIM

For at give læseren et dybdegående indblik i, hvordan testen og netværket er opbygget i VISSIM, ses en illustration på vedlagte Cd-rom under (\Video\Test Video - Test af acceleration og deceleration). Da lyden ikke er dårlig anbefales, det at der skrues op eller benytte høretelefoner.

Statistisk analyse

For at analysere om ændringen i de- og accelerationskurverne har en signifikant indflydelse på rejsetiden gennem et netværk i VISSIM, er der benyttet statistiske tests tilsvarende de forrige kapitler. Til beregninger er der benyttet programmerne SPSS og MATLAB. De statistiske test er tilsvarende dem som blev lavet med hastighedsmålingerne. Der henvises til Excel-filen på vedlagte cd-rom'en under: (\Excel filer\ Acceleration og deceleration - Acceleration og decelerationstest på personbiler), hvor alle beregninger og resultater kan ses. Modellen er også vedlagt under (\VISSIM modeller\Acceleration og deceleration).

8.1.5 Resultater

I Tabel 8.2 og Tabel 8.3 ses resultaterne fra testene gennemført i VISSIM.

Tabel 8.2: Statistiske test af VISSIM-fordelinger i forhold til GPS-fordelinger

	Acceleration og deceleration 1 stop ved 130 km/t		Acceleration og deceleration 1 stop ved 60 km/t	
	Varsians	Middelværdi	Varsians	Middelværdi
Enhed				
P-værdi	7,1125e-004	3.0361e-20	0,1098	0
Hypotese	H1	H1	H0	H1
Længde	2000 meter		2000 meter	
	VISSIM	GPS	VISSIM	GPS
Rejsetid	77 sek	85 sek	126 sek	129 sek
Spredning	5,5	4,8	5,1	4,9
Forskel i rejsetid	9,4 %		2,3 %	

Tabel 8.3: Statistiske tests af VISSIM-fordelinger i forhold til GPS-fordelinger

	Acceleration og deceleration 2 stop ved 130 km/t		Acceleration og deceleration 2 stop ved 60 km/t	
Enhed	Varians	Middelværdi	Varians	Middelværdi
P-værdi	4,6164e-005	0	0,1064	3,8713e-030
Hypotese	H1	H1	H0	H1
Længde	4000 meter		4000 meter	
	VISSIM	GPS	VISSIM	GPS
Rejsetid	152 sek	168 sek	249 sek	254 sek
Spredning	10,8	9,1	10,1	9,7
Forskel i rejsetid	9,5 %		2 %	

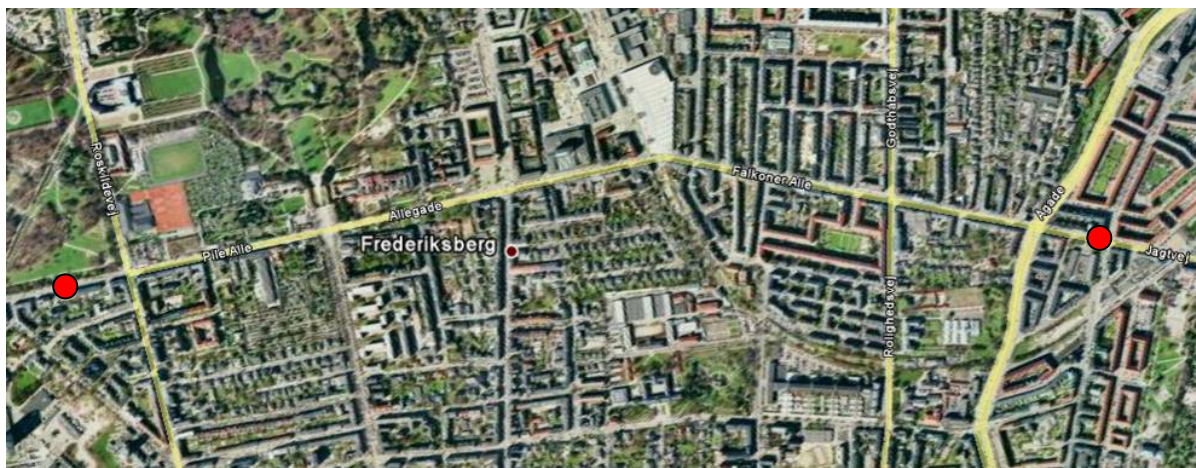
8.I.6 Virkelig analyse og resultater

Da de statistiske resultater ikke er nok i sig selv, er der udført to tests på virkelige netværk. Den første test er tilsvarende tidligere tests, hvor der måles på rejsetiden i en eftermiddagsspidsstunde i 2004. Netværket starter ved indfletningen ved Th. Sauers Vej ved universitetet og forløber til Halsvej nord for tunnelen jf. afsnit 6.1.6. Dette er en strækning på 10,02 km. Netværket er tilsvarende det, som blev brugt til tests af hastighedsfordelingerne [Sode-Carlsen, 2004]. Grunden til at denne strækning vælges, er at der ikke forekommer kryds, og bilernes acceleration og deceleration er et resultat af bilernes interaktion. Resultaterne fra testen ses i Tabel 8.4, og alle resultater i Excelfil på vedlagte cd-rom under (\Excel filer\Acceleration og deceleration - Test af 10 km).

Tabel 8.4: Resultater fra virkelig test i VISSIM i Nordjylland

Middelværdi	GPS	VISSIM
Rejsetid	375	379
Maksimum	439,9	446,3
Minimum	313,4	311,9
Spredning	17	18
N	1148	1150
Forskel i rejsetid	1,1 %	

Den anden test finder sted på Frederiksberg i København i 2008 jf. Figur 8.16 mellem de røde punkter (Vesterbrogade til Ågade) i en længde af 2330 meter.



Figur 8.16: Test af acceleration og deceleration på Frederiksberg i København

Årsagen til, at denne strækning er valgt er at der forekommer høj trafikintensitet samt forekomsten af de syv store kryds på strækningen. Dermed oplever bilisterne flere accelerationer og decelerationer. Resultaterne fra denne test ses i Tabel 8.5, og alle resultater findes i Excel-filen på vedlagte cd-rom under (\Excel filer\Acceleration og deceleration - test på Frederiksberg). VISSIM-modellen kan findes under \VISSIM modeller\Acceleration og deceleration.

Tabel 8.5: Resultater fra virkelig test i VISSIM i København

Middelværdi	GPS	VISSIM
Rejsetid	496	449
Maksimum	988,6	769,3
Minimum	248,8	225
Spredning	165	138
N	150	162
Forskel i rejsetid	9,49 %	

8.1.7 Diskussion

Dataindsamling

Accelerationskurven fra GPS-målingerne viste en markant lavere acceleration end kurven i VISSIM. Dette er ikke overraskende, da tyskerne typisk kører i større og kraftigere biler end danskerne. Decelerationskurvene viste ligeledes, at kurven ligger under fordelingen defineret i VISSIM. Desuden ses, at en deceleration ikke er lineær som antaget både i VISSIM og fra de danske vejregler. Decelerationen viser en stigende deceleration i starten, hvorefter denne falder igen. Det vurderes, at kurven ser således ud, da bilisten indledende vil sikre sig at kunne opnå fuldt stop i det rette punkt på strækningen. Derefter evaluerer bilisten situationen igen, hvor det typisk kræver mindre deceleration for at nå til fuldt stop. På baggrund af

undersøgelserne vurderes det at den lineære fordeling ikke er korrekt, og yderligere undersøgelser bør foretages for et mere korrekt billede af den danske decelerationsadfærd.

Statistisk analyse

De statistiske analyser viser, at der for et og to stop med 130 km/t forekommer signifikant forskel i rejsetidens middelværdi. Rejsetiden er forøget med 8 og 16 sekunder ved hhv. et og to stop. Dette er en forøgelse på ca. 10 %, hvilket ikke er uvæsentlig. Dette betyder, at accelerationen og decelerationen er langsommere for GPS-kurven, og kapaciteten ændres i netværket. Hermed kan følgende konkluderes på trafikafviklingen i VISSIM med frit flow:

- Flowet gennem netværket ændres og dermed også kapaciteten af vejen.
- Rejsetiden forøges gennem netværket og kapaciteten nedsættes.

De statistiske analyser viser, at der for et og to stop med 60 km/t også forekommer signifikant forskel i rejsetidens middelværdi med en forøgelse på ca. 2 % i rejsetiden. Denne ændring vurderes som ubetydelig, og på netværk med 60 km/t kan VISSIMs de- og accelerationskurver godt repræsentere den danske trafikadfærd. Det ses desuden, at der også er signifikant forskel i variansen for rejsetiden ved et og to stop med 130 km/t. Dette betyder, at fordelingen omkring middelværdien er forskellig, hvilket medfører en mere varieret kørsel. Ved kørsel med en hastighed på 60 km/t er der ikke forskel i varianserne, hvorfor det i denne sammenhæng er uvæsentligt, hvilken fordeling der benyttes.

Virkelig analyse

Den virkelige analyse på strækningen omkring Aalborg har vist at der stort set ikke er forskel på, om der benyttes GPS-kurver eller kurverne fra VISSIM. Rejsetiden er forskellig med 4 sekunder, hvilket ikke er af betydning. Dette skydes i høj grad, at bilisterne ikke laver stopmanøvrer gennem netværket, og de decelerationer og accelerationer, der foretages, er ved høje hastigheder og derfor uden betydning.

Derimod har rejsetiden gennem netværket på Frederiksberg vist, at der forekommer en forøgelse af rejsetiden på 10 %, hvilket ikke er ubetydelig for fremkommeligheden og kapaciteten af netværket. Eftersom køretøjerne er længere om at komme igennem netværket, sker der en forøgelse af bilisterne på vejene, og kapaciteten nedsættes. Desuden bevirker en ændret acceleration og deceleration, at ankomst mønstret og startmønstret fra krydsene ændres. Dette påvirker kapaciteten af krydset, som igen påvirker kapaciteten af det samlede netværk. Det anbefales derfor, at der i fremtiden benyttes de korrekte accelerations- og decelerationskurver, så danske trafikforhold afspejles mere korrekt.

Råd til fremtidige analyser

Det anbefales endvidere, at der i fremtiden udføres yderligere GPS-undersøgelser for dermed at få et bedre billede af den danske trafikadfærd. Her kan bla. nævnes følgende områder:

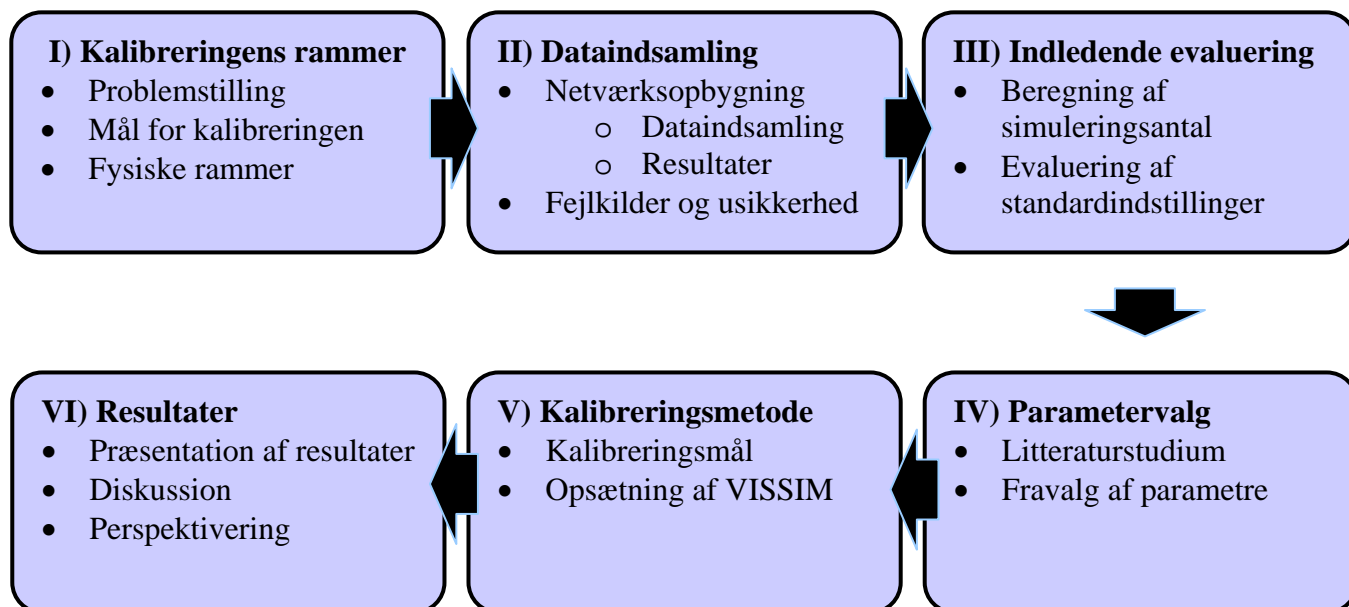
- Udvidelse af testgruppen for at få et mere præcist billede af de danske accelerations- og decelerationskurver.
- Indsamling af data fra bilfabrikanter til undersøgelse af maksimal acceleration og deceleration da disse også er relevante parametre i VISSIM.
- Undersøgelser i byer separat fra motorveje, da accelerations- og decelerationsfordelingerne kan være forskellige.

Følgende fejlkilder ved data indsamlingen skal nævnes.

- Indflydelse fra tunge køretøjer på accelerationen og decelerationen. For eksempel kan bilerne køre efter en lastbil på ramperne.
- Sænket acceleration eller deceleration ved uopmærksom kørsel – fx ved justering af radio eller lignende.
- Deltagerne i forsøget Spar på Farten repræsenterer kun 166 personer ud af den totale danske befolkning. Derudover er de alle bosat i Nordjylland, hvilket kan afspejle regional køreadfærd.

9 Kalibrering af flettestrækning

Det sidste område, som denne rapport behandler, er en kalibrering af flettestrækningen nord for Limfjordstunnellen. For at opnå overblik over kalibreringsprocessen opstilles et diagram, der illustrerer de trin, som efterfølgende behandles.



9.1 Kalibreringsrammer

Kalibrering er en proces, som kan angribes fra flere forskellige vinkler. Processen, som præsenteres i denne rapport, har ikke tidligere været anvendt i Danmark, og fremtidige kalibreringsprojekter kan dermed finde inspiration i metodikken, dataindsamlingen og kalibreringsprocessen. Med inspiration fra 'The Federal Highway Administration (FHWA) Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying traffic Microsimulation Modeling Software' er kalibreringsprocessen gennemført på et lokalområde nord for Limfjordstunnellen.

9.1.1 Problemstilling

Limfjordstunnellen åbnede i 1969 og har siden været et væsentligt element i byudviklingen i Aalborg. Siden åbningen er der sket en markant bolig- og erhvervsudvikling i den østlige del af kommunen, og det anslås i dag at, Limfjordstunnellen er den 14. mest befærdede motorvejsstrækning i Danmark. I 1999 nedsatte Aalborg Kommune, Nordjyllands Amt og Trafikministeriet et infrastrukturudvalg med det formål at undersøge fremtidige muligheder for infrastrukturudvidelser omkring Aalborg. Udvalget fastslog, at et af de centrale problemer omkring Aalborg er trafikafviklingen ved Limfjordstunnellen. I dag medfører uheld, reparationsarbejde eller andre hændelser, at trafikafviklingen over Limfjorden forsinkes markant til stor gene for specielt den regionale trafik. Med den forventede vækst i tunnelen vil denne problemstilling ikke blive mindre. Infrastrukturudvalget vurderede i år 2000, at den

gennemsnitlige rejsehastighed i år 2015 ville nedsættes fra 55 km/t til 20 km/t i spidstimerne. [Aalborg Kommune 2000]

Situationen i dag

I dag er situationen den, at der i spidstimen mellem 15.00 og 17.00 sker kødannelse på netop denne strækning. I tunnelen er der tre spor, og lige efter Nørresundbygrenen kommer en flettestrækning, hvor der indsnævres til to spor. Denne sammenfletning er dagligt skyld i, at der sker en opstuvning gennem Limfjordstunnelen, og bilisterne oplever markante forsinkelser. Derfor er denne strækning valgt i dette projekt.

9.1.2 Mål for kalibreringen

De overordnede mål for denne kalibrering er således:

- At undersøge, om tyske standardindstillinger giver en tilfredsstillende afvikling af virkelighedens trafik.
- At kalibrere VISSIM til en flettestrækning fra tre til to spor, og dermed opnå danske parameterindstillinger.
- At illustrere en generel kalibreringsmetode, som kan benyttes til fremtidige kalibreringsprojekter.

9.1.3 Fysiske rammer

På Figur 9.1 ses kalibreringsområdet, som modellen bygges på. Modellens start finder sted lige før fletningen af Kridtsvinget og E45. Årsagen til den lange strækning før selve fletteområdet er skyldes følgende punktliste:

- Effekten af vejhældning i tunnelen har betydning for lastbilernes fart før fletteområdet.
- Bilerne i VISSIM indtager en mere naturlig kørsel, da de har en lang strækning til rådighed til at finde deres plads.
- Der er mulighed for at se kødannelserne gennem hele tunnelen.



Figur 9.1: Afgrænsning af kalibreringsområde

- Det er muligt at tjekke, om der er fletteproblemer før tunnelen, som påvirker flowet i tunnelen.

Bilerne kører således gennem flettestrækningen, og netværket stopper ca. 1 km nord for tunnelen. Det er ikke nødvendigt at simulere på en længere vejstrækning, da trafikken opnår et naturligt flow efter flettestrækningen.

9.2 Dataindsamling

Kalibreringsmetoden i dette projekt er grundlæggende en sammenligning mellem det indsamlede data fra markobservationer og data fra VISSIM. Da der ikke kan ændres på typen af dataindsamling i VISSIM, dikterer VISSIM dataindsamlingen i marken. Det er derfor nødvendigt at have kendskab til dataindsamlingsværktøjerne, i VISSIM. For en mere detaljeret beskrivelse af mulighederne for dataindsamling i VISSIM henvises til bilag 13.(Dataindsamling i VISSIM). Til kalibreringen af VISSIM er der valgt at tælle:

- Hastighed (km/t) pr. 5 min.
- Biler (Styk) pr. 5 min.

Disse data er således valgt på baggrund af indsamlingsmuligheder i VISSIM samt de muligheder, der er for markobservationer omkring flettestrækningen.

9.2.1 Netværksopbygning

For at kunne kalibrere VISSIM er en god netværksopbygning nødvendig. Dette forudsætter nogle fundamentale data, der kan gengive en korrekt model af virkeligheden. Disse data beskrives efterfølgende.

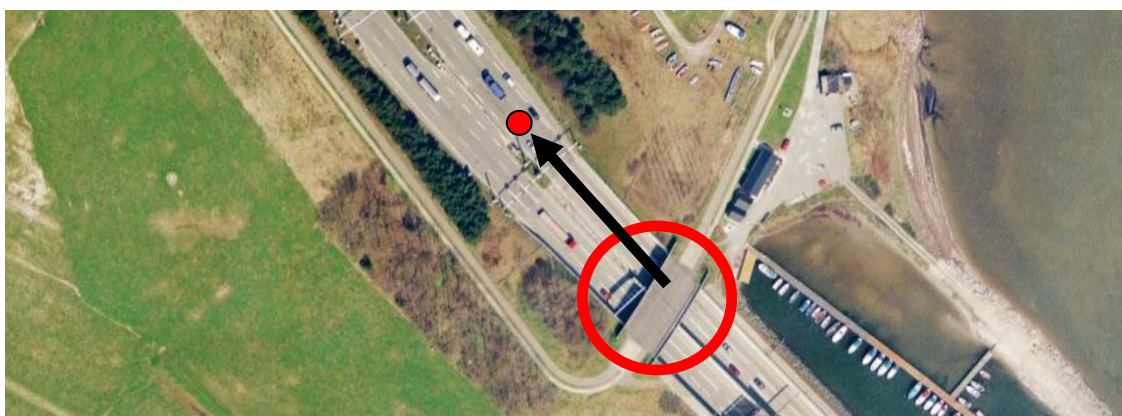
Geometrisk data

De geometriske data er meget centrale for et realistisk netværk. Indsamlingen af denne data kræver ofte markobservationer, men kan også indsamles fra konstruktionstegninger, GIS og orthophotos. Der indsamles følgende:

- Flettestrækningens længde fra markobservationer
- Antal baner fra Google Earth (Vurderes præcist)
- Banebredde fra Google Earth omkring motorvejsprojektering i Danmark, samt personlig erfaring. (Vurderes præcist)
- Vejlængder fra Google Earth (Vurderes præcist)
- Vejhældninger fra Google Earth (Vurderes mindre præcist, men acceptabelt)
- Hastighedsbegrænsningerne er indsamlet fra Vejdirektoratets Vejman og kørsel på motorvejen (Vurderes præcist).

Trafikdata - Opbygning

Før dataindsamlingen fandt sted, var der lavet flere markbesøg i spidstimen både syd og nord for tunnelen. Dette blev gjort for at undersøge, hvor på strækningen bilerne fletter, samt undersøge de bedste muligheder for dataindsamling. Derudover er der kørt frem og tilbage gennem tunnelen i spidstimerne for at få en forståelse af trafikafviklingen i denne periode. Disse markbesøg viste sig at være vigtige i form af, hvor og hvordan dataen skulle indsamles. Derudover gav de et overblik over trafikstrømmene, samt overblik over, hvor problemerne opstår omkring flettestrækningen. Resultatet af markobservationerne viste, at der ikke var mærkbar kø før tunnelen. Trafikken var tæt, men bilernes gennemsnitlige hastighed lå tæt på fartgrænsen. Egne kørsler viste, at den første hastighedsreduktion sker midt i tunnelen, når vejen igen kører opad. Bilerne bremses på denne strækning, og trafikken bliver tættere. Den næste og største hastighedsreduktion, sker på flettestrækningen som et resultat af indsnævringen. Her sænkes hastigheden i spidstimen til et niveau, som svinger mellem 50 og 60 km/t, som igen hæves til 70-80 efter indsnævringen. På baggrund af disse observationer blev dataindsamlingen udført ved udgangen af tunnelen. Årsagen til denne lokalitet var, at trafikafviklingen i dette punkt repræsenterer tilbagesuvningen fra sammenfletningen og derved kapaciteten af fletteområdet. Dataindsamlingen er udført fra en gangbro over motorvejen med et tællesnit markeret med en rød plet jf. Figur 9.2. Målet er således at få VISSIM og virkeligheden til at stemme overens i dette punkt. Dataindsamlingen blev udført med et videokamera og en hastighedspistol i tidsrummet 15:30 – 16:45 torsdag d. 13/11/2008. Køretøjernes hastighed og flow blev således indsamlet sideløbende for at få alle variationer



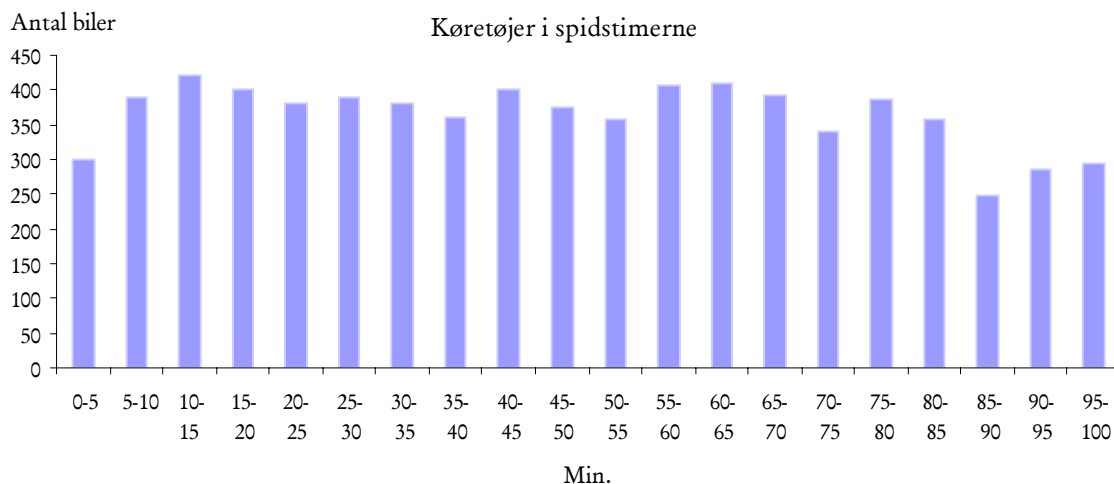
Figur 9.2: Tælle lokalitet med video og hastighedsmåler. Den røde plet er tællepunktet

før, gennem og efter spidstimen. Præcisionen af disse data er meget vigtig, hvis der kræves en korrekt og brugbar kalibrering. Dagen, hvor tællingerne var udført, blev valgt på baggrund af:

- Vejrforhold: Ingen regn, tåge eller kraftig vind.
- Konstruktionsarbejde: I lokalområdet var der intet vejarbejde, som kunne påvirke trafikken.
- Uheld: Der var ikke registreret uheld i tælleperioden.
- Andre påvirkninger: Ingen større begivenheder i lokalområdet.

Til dette projekt har hele datasættet været muligt at indsamle for én person. En nærmere beskrivelse af den indsamlede data er efterfølgende beskrevet.

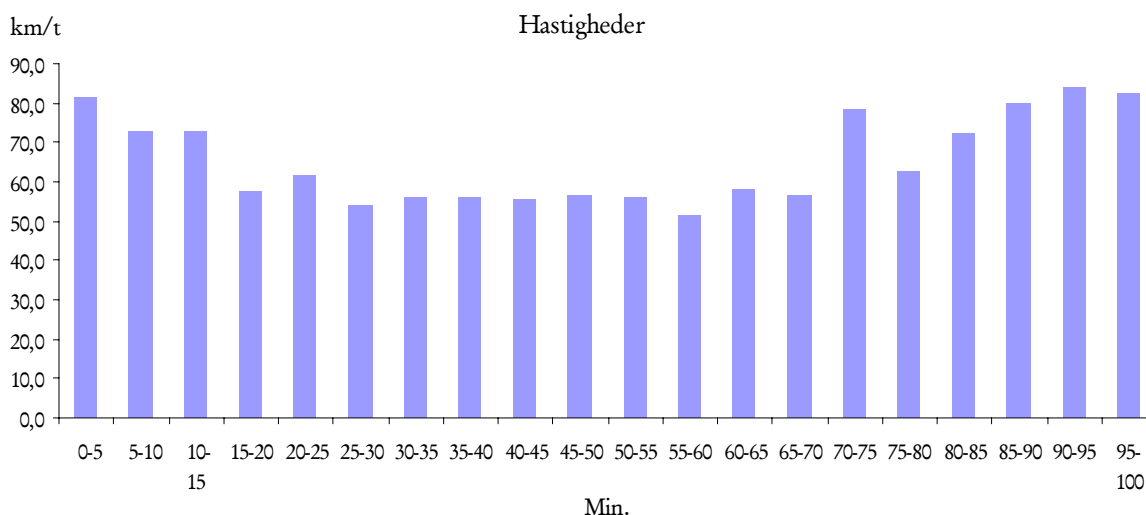
Flow: I knap to timer indsamles data fra en gangbro over limfjordstunnellen ved hjælp af videooptagelse. Videoen blev herefter analyseret og køretøjerne talt per 5. minut. Videooptagelserne kan findes på den vedlagte cd-rom under video mappen og tællingerne i Excelarket (\Excel filer\Kalibrering - Trafikmåling 13-11-06 15-16.40). Resultatet af videooptagelserne ses på Figur 9.3.



Figur 9.3: Trafiktællinger fra 15:00 – 16:45: 0 repræsenterer tidspunktet 15:30 for x-aksen

Grafen viser, at der i første time kører 4561 køretøjer og anden time 3621 køretøjer. For at se om trafikken denne dag er anderledes end andre dage, er der undersøgt 226 hverdage i Vejdirektoratets MASTRA-bibliotek. Det vides fra disse tællinger, at den talte dag ligger højt, og trafikken svinger i første time mellem 3900 og 4700 køretøjer, og anden time 3100-3700 køretøjer. Data er vedlagt på cd-rom under(\Excel filer\Kalibrering - MASTRA).

Hastighed: Gennem spidstimerne blev der også målt hastigheder på bilerne i en afstand af 80 meter efter gangbroen. I gennemsnit blev der målt 137 biler per fem minutter, hvilket er ca. én bil hver andet sekund over næsten to timer. Da der var tre baner, blev der forsøgt at måle på lige mange biler fra hver bane. På Figur 9.4 ses resultaterne for hastighedsindsamlingerne i spidstimerne.



Figur 9.4: Hastigheder i spidstimen fordelt på 5 minutters interval. 0 repræsenterer tidspunktet 15:30

Rutevalg i netværket: Ankomstfordelingen før tunnelen er beregnet med udgangspunkt i udtræk fra Vejdirektoratets MASTRA-tællinger. Ud fra trafiktællinger d. 01-03-08 til 05-03-08 fra 15:00-17:00 kan fordelingen beregnes. Resultatet viser en fordeling med 37 % fra Kridtsvinget og 63 % fra E45. Fordelingen af trafik ved Nørresundbyggen er talt ud fra videooptagelserne. Her har det vist sig, at det gennemsnitligt 5,6 %, som drejer af på Nørresundbyggen. På vedlagte cd-rom findes MASTRA-udtræk og beregninger under (\Excel filer\Kalibrering - Udtræk til fordeling)

Trafikanttyper: Antallet af personbiler, lastbiler og busser er ligeledes indsamlet fra videooptagelserne. Ud fra tællingerne viser det sig at fordelingen er 0,01 % busser 3,9 % lastbiler og 96,09 % personbiler.

9.2.2 Fejlkilder og usikkerheder

Gennem hele dataindsamlingen og netværksopbygningen skal der nævnes følgende fejlkilder og usikkerheder, som har indflydelse på kalibreringen.

- Dataindsamlingen er fra en dag over to timer. Hermed fås kun en stikprøve og ikke et reelt gennemsnit. Det vurderes dog, at denne stikprøve er en god repræsentant for en gennemsnitsdag grundet udtræk fra MASTRA.
- Bilister ser mig stå på broen, hvilket kan indikere politikontrol, og de nedsætter hastigheden.
- Bilisten føler usikkerhed, når bilerne kører side om side igennem tunnelen, hvilket påvirker hastigheden.
- Ved udgangen af tunnelen kommer der mange skilte og en frakørselsrampe, som kan virke forstyrrende. Dette kan medføre en nedsættelse af hastigheden.

9.3 Indledende evaluering

Som tidligere beskrevet indeholder VISSIM nogle standardindstillinger, som er baseret på tyske undersøgelser og dermed tysk trafikantadfærd. I mange tilfælde kan disse indstillinger benyttes med stor succes, men det er usikkert, om de kan benyttes til alle situationer. Der vil derfor i det følgende testes, om trafikken kan afvikles fornuftigt på flettestrækningen med standardindstillingerne i VISSIM. Før testen af standardindstillingerne er der enkelte justeringer, der skal gøres opmærksom på. Følgende punktliste beskriver reguleringerne.

- Simuleringsberegningerne sættes til 10 simuleringer/sekund for bedre og mere præcise simuleringsresultater.
- Alle veje indstilles med W99-indstillinger.
- Personbiler antager en hastighedsfordelingen på 90 km/t, og lastbiler antager en hastighedsfordeling på 80 km/t.

9.3.1 Beregning af simuleringstal

Da simuleringmodellen er baseret på stokastiske variabler, er hver simulering unik og har sin helt egen trafikstruktur. Det er i den sammenhæng vigtigt at foretage flere simuleringer for dermed at dække flest mulige trafikale situationer. I VISSIM kan der ændres på parameteren *Random Seed*, som påvirker simuleringen. Funktion tildeles et nummer, som indgår i de stokastiske beregningsprocesser og hermed bilens adfærd. For eksempel vil to forskellige numre give to forskellige trafiksituationer, hvor rutevalg, hastighedsvalg og genereringen af biler ændres i hver simulering [VISSIM 5.10 p. 302]. Derfor er det nødvendigt at foretage flest mulige simuleringer med forskellige *Random Seed*, så der forekommer variationer i modellen, som er svarende til virkeligheden. Da trafikken er af stokastisk natur, er det statistisk muligt at beregne, hvor mange simuleringer der kræves for at have et tilstrækkeligt kalibreringsgrundlag. Grundlæggende beror metoden sig på at beregne et minimum antal simuleringer, for hvor deres middelværdi, er signifikant ens med hele populationens middelværdi. Det nødvendige antal simuleringer i VISSIM er således muligt at beregne teoretisk, hvilket vises efterfølgende.

Trin 1: Ved at foretage minimum fire simuleringer i VISSIM, kan standardafvigelsen beregnes på baggrund af snithastigheden eller anden dataindsamling i VISSIM. [Dowling 2004 p. 105]. I dette tilfælde er der lavet seks kørsler i trafikmodellen over flettestrækningen, hvor snithastigheden måles i færdtællepunkt. I Excelarket (\Excel filer\Kalibrering - Beregning af simuleringstal og histogram) findes alle beregninger. Standardafvigelsen for disse kørsler beregnes således jf. formel (0.3).

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_{tot})^2}{N - 1} \quad (0.3)$$

Hvor:

S	Standard afvigelsen ($\sqrt{Var} = S$, $Var = S^2$)
x_i	Middelværdien for hver enkelt kørsel
\bar{x}_{tot}	Middelværdien for totale kørsler
N	Antal kørsler

Trin 2: Når standardafvigelsen er beregnet, kan antallet af simuleringer beregnes med formel (0.4) [Dowling 2004 p. 107].

$$CI_{1-\alpha\%} = 2 \cdot t_{\left(\frac{1-\alpha}{2}\right), N-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (0.4)$$

Hvor:

$CI_{1-\alpha\%}$	1 - Konfidensintervallet i % (Typisk 95 %)
$t_{\left(\frac{1-\alpha}{2}\right), N-1}$	2-halet Student's t-værdi
S	Standardafvigelsen (Fra forrige beregning)
N	Antal kørsler

Dette er således en iterativ proces, hvor der ved nyt N findes en tilhørende $t_{(\frac{1-\alpha}{2}, N-1)}$ 2-halet Student t -værdi. Disse værdier kan slås op i enhver statistisk bog eller beregnes i Excel ved kommandoen $TINV(\text{sandsynlighed}; \text{frihedsgrader})$.

Trin 3: Når iterationsprocessen er fuldført, og antallet af kørsler er fundet, udføres det beregnede antal af simuleringer. På baggrund af disse nye kørsler og dataindsamling for hastigheden, beregnes spredningen igen (Trin 1). Den nye spredning indsættes i formlen i Trin 2, og skulle det således vise sig at antallet af simuleringer ikke er tilstrækkeligt, foretages der flere, indtil kravet er opfyldt. Metoden er således en iterativ proces, hvor der først stoppes når brugeren har opnået en vis sikkerhed for at datagrundlaget er solidt. Iterationsprocessen ses i bilag 18 og på vedlagte Cd-rom under (\Excel filer\Kalibrering - Beregning af simuleringstal og histogram)

Det skal påpeges, at denne metode ikke kun tilegner sig simuleringmodeller, men også kan benyttes til udregning af hvor mange markobservationer der skal udføres for at opnå et repræsentativt udsnit.

Resultatet viser, at der skal foretages 102 simuleringer med et konfidensinterval på 95 % for at sikre sig et generelt billede af trafikafviklingen med standardindstillingerne. Ud fra interview med førende VISSIM-brugere vurderes det, at mellem 5 og 10 simuleringer i fremtiden er tilstrækkelige for at få et generelt billede af trafikens variationer i praksis. Denne vurdering er højst sandsynligt baseret på de tidsmæssige ressourcer og ikke statistiske beregninger. Beregningerne i bilaget viser således, at hvis der foretages mellem 5-10 simuleringer, nedsættes konfidensintervallet til ca. 85 %. Der er herefter op til bygherren at vurdere, om denne sikkerhed er tilstrækkelig. I denne rapport forsættes med mellem 5 og 10 simuleringer.

9.3.2 Visuel evaluering af trafikafviklingen med standardindstillingerne

For at teste om standardindstillinger er tilstrækkelige til at afvikle trafikken ved flettestrækningen korrekt, samt om der forekommer fejl i modellen, er der benyttet to forskellige metoder til inspektion.

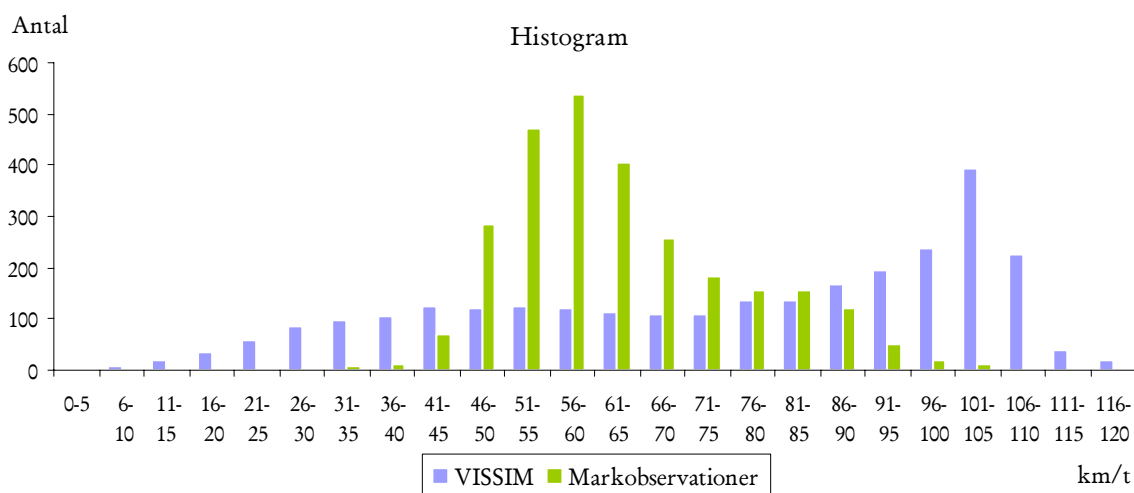
Metode I: Visuel inspektion

Den første metode er en visuel inspektion af simuleringerne i VISSIM. Der laves tre forskellige visuelle inspektioner. Den første er ved en intensitet på 10 % af de observerede biler i marken, altså med meget få biler i netværket. Således vil det være muligt at se, om bilerne opfører sig normalt, og om bilerne følger ruterne korrekt. Den anden test er ved 50 % intensitet. Ved denne intensitet ville der typisk ikke ske kødannelser, og trafikken burde køre jævnt. Skulle der ske kødannelser eller unaturlig trafikadfærd, er dette et tegn på, at elementer i netværket ikke opfører sig korrekt. Den sidste inspektion er ved 100 % intensitet. Her vil det vise sig, om trafikken kan afvikles ved brug af standardindstillingerne. For dokumentation af at trafikken ikke forløber normalt er der taget et screenshot fra simuleringen jf. bilag 19. Her ses problemet, hvor trafikken ikke kan flette fra den

langsomme bane på grund af den høje intensitet i de yderliggende baner. På vedlagte cd-rom ses en video optagelse, som viser alle disse inspektioner, og at trafikken går i stå ved fuld intensitet (\Video - test af standard-indstillinger). [Dowling 2004, p. 47]

Metode 2: Histogramanalyse

Der undersøges dernæst, om første inspektion er et enestående tilfælde. Via 10 kørsler med forskellige *Random Seed*, kan der opstilles et histogram, som sammenligner snithastighederne fra VISSIM med snithastighederne fra markobservationerne. Histogrammet afspejler hastigheden i tællesnittet og kan derfor direkte sammenlignes med tællinger fra markobservationerne. På Figur 9.5 ses resultater fra kørslerne med VISSIM i forhold til markobservationerne. Det ses, at der er stor forskel i spredningen af snithastigheden de to kørsler imellem. Snithastigheden fra VISSIM er repræsenteret i de små og høje hastigheder, hvilket indikerer køkørsel og frit flow. Det vides fra markobservationerne, at dette ikke var tilfældet. Snithastigheden fra markobservationerne viser derimod en fordeling som kan forventes af denne type målinger. Det kan hermed konkluderes, at VISSIM ikke kan afvikle trafikken med standardindstillingerne. Selve kalibreringen kan herefter begyndes.



Figur 9.5: Sammenligning af hastigheder fra VISSIM og markobservationer med standardindstillinger

9.4 Parametervalg

Næste skridt i kalibreringsprocessen er at vælge, hvilke parametre der skal kalibreres, således at modellen kommer til at afspejle markundersøgelserne. Metoden, hvorved de relevante parametre udvælges, er listet nedenfor:

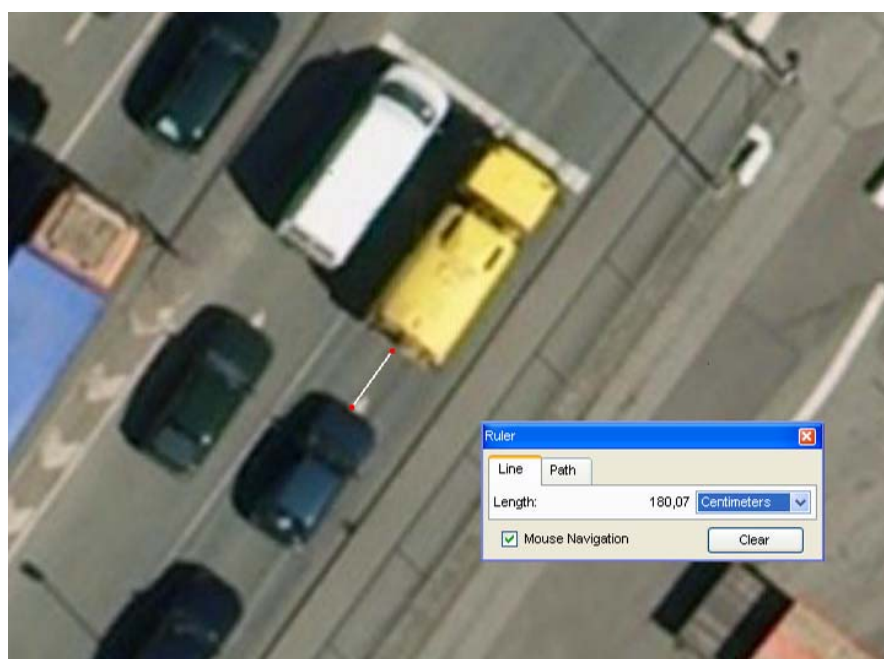
- Ingeniørfornuft og logik. For eksempel er alle parametre, som styrer kryds, krydsadfærd, "lateral movement" m.fl. fravalgt, da de ikke har indflydelse i denne model.
- Litteraturstudium, hvor parametre testes i forskellige situationer. Kilder til disse er listet sidst i litteraturlisten.
- Sidste nye anbefalinger fra PTV-AG over de mest indflydelsesrige parametre.

I bilag 20 ses de enkelte parametre i VISSIM som benyttes ved motorvejskørsel. Parametrene er præsenteret på engelsk, så læseren lettere kan finde dem i programmet eller manualen. Oversættelse og detaljeret beskrivelse findes i bilag 12. Da alle disse parametre er kontinuerte variabler, er der teoretisk set et uendeligt antal kombinationsmuligheder, som bør testes for at finde den korrekte parameterindstilling. Hvis vi for eksempel udvælger 10 parametre med seks forskellige indstillinger, vil dette resultere i 60.466.176 kombinationer. Da det er en uoverskuelig proces at kalibrere alle parametre, er det nødvendigt at lave et kvalificeret udvalg af de parametre, som indgår i kalibreringen.

Valg og fravalg af parametre

Gennem litteraturstudie har det vist sig, at enkelte parametre har langt større indflydelse på trafikafviklingen end andre. N. Lownes et.al, (2006) analyserede sig frem til, at CC0, CC1, CC4 og CC5 var de parametre, som havde størst indflydelse på trafikafviklingen. Derudover har S. Menneni, et. al. (2007) angivet CC1 til CC5 som de vigtigste parametre. Endelig har PTV-AG udsendt en anbefaling af parametre fra tyske motorvejsforsøg, som har størst indflydelse på trafikafviklingen. I denne rapport vurderede PTV-AG CC1, CC2, CC3, CC4 og CC5 som de vigtigste samt parameteren "safety distance reduction factor" (SDRF) under "Lane change" -menuen [Menneni 2007], [Lownes 2006], [Sdun, 2008].

Da et af parametrene, CC0, kan måles i marken, er dette gjort. CC0 angiver afstanden mellem stillestående biler og antager 1,5 meter som standardværdi i VISSIM. Der er derfor vha. Google Earth undersøgt alle større kryds i København og Århus for stilbilleder af kødannelser ved lyskryds eller på motorvejene. Da det antages, at stillestående biler har samme adfærd på motorveje, som de har i belastede kryds, er der målt mellem 100 stillestående biler, hvor gennemsnittet repræsenterer CC0. På Figur 9.6 ses et eksempel på et kryds i Århus, hvor enkelte af afstandsmålingerne er udført. I beregningerne af CC0 er den sidste bil i køen ikke medtaget, og køen skal desuden udgøres af over fire biler for at sikre stillestående biler. Resultatet viser sig at være i overensstemmelse med de angivne værdier i VISSIM. Den gennemsnitlige afstand viser sig at være på 1,54 meter, hvilket herefter



fastholdes. For alle data henvises til Excelfilen på vedlagt cd-rom under (\Excel filer\Kalibrering - CC0).

De resterende parametre er valgt på baggrund af litteratur og ingeniørmæssige skøn. Disse er anført i Tabel 9.1 med en beskrivelse.

Tabel 9.1: Udvalgte parametre til kalibrering af flettestrækning

Parameter	Default	Beskrivelse
”safety distance reduction factor”	0,6	Denne parameter reducerer sikkerhedsafstanden til foran og bagvedkørende bil ved fletning. 0,6 betyder en reduktion af sikkerhedsafstanden på 40 %.
CC0	1,54 meter	Ønsket afstand mellem stillestående biler
CC1	0,9 Sekunder	Sikkerhedsafstand til forankørende bil. Afstanden er således resultat af hastigheden og CC0. Eksempelvis vil en bil med en hastighed på 100 km/t holde en afstand Δ : $\Delta = \frac{100 \frac{km}{t}}{3,6} \cdot 0,9 \text{ sek} + 1,54 \text{ meter} = 26,5 \text{ meter}$
CC4/CC5	+/-0,35	Kontrollerer hastighedsdifferencer i forfølgelsestilstanden. Jo mindre værdi jo større følsomhed opstår, når den forankørende bil de- og accelererer. Lille værdi betyder, at køretøjerne er tæt parrede. CC4 og CC5 bruges ved hhv. negativ og positiv hastighedsændring.

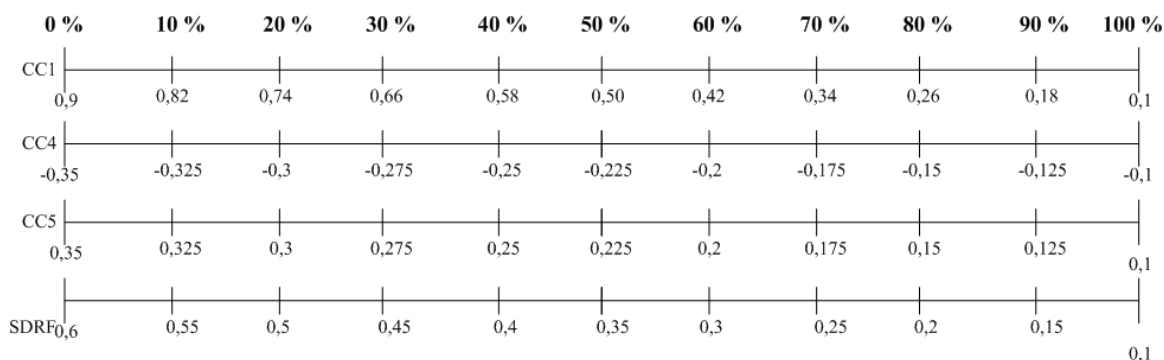
9.4.1 Kalibreringsmetode

Ud fra tidligere kørsler med standardindstillingerne er der to centrale problemer med simuleringen i det valgte snit. Det første problem er, at bilerne holder i kø før indfletningen til to spor. Det andet problem er, at kødannelser i tunnelen ikke opløses, men forplanter sig gennem hele netværket. Markobservationerne har vist, at dette ikke er tilfældet, og problemer må derfor være et resultat af for lav fletningsaggressivitet og aggressivitet i forfølgelsesmønsteret. Da det vides, at CC1, CC4, CC5 og SDRF i høj grad repræsenterer aggression, skal disse parametre justeres i en aggressiv ”retning”. Det skal nævnes, at der muligvis findes forskellige parameterkombinationer, der afvikler trafikken hensigtsmæssigt, men der ønskes kun at finde en af disse kombinationer. Til at finde den optimale parameterindstilling er der valgt en lineær problemløsningsmetode. Denne metode vil i det følgende blive præsenteret.

Denne lineære løsningsmetode

Denne lineære løsningsmetode beror sig på, at man justerer alle parametrene samtidig i en aggressiv retning. Alle parametrene bliver således opstillet på en linje med et minimum og maksimum. Minimumværdierne repræsenterer defaultværdierne, og maksimum repræsenterer et vurderet ekstrema for aggressiviteten. Minimum vil i denne sammenhæng repræsentere 0 % aggressivitet og ekstrema 100 % aggressivitet. Ved at følge denne skala vil

aggressiviteten for hver enkelt parameter vokse synkront. Parametrene bliver testet med skridt på 10 % for at se, hvornår aggressiviteten er tilstrækkelig til at afvikle trafikken. På Figur 9.7 ses den skala, som benyttes til kalibreringen.



Figur 9.7: Kalibreringsskema med procentvis aggression

Kalibreringsmål

Eftersom det er kompliceret at kalibrere en model til at ligne virkeligheden 100 %, er der opstillet en række succeskriterier baseret på statistiske trafikteorier samt visuelle inspektioner. En af de metoder, som benyttes, er en teori, som er udviklet af trafikplanlægger Geoffrey E. Havers i 70'erne til at sammenligne trafikintensiteter. Metoden er bygget på empiri og har vist sig at kunne anvendes til en række trafikale analyser. Da testen er selvskalerende, kan den benyttes på alle typer strækninger med alle intensiteter [Fellendorf 2004, p. 6] Formlen er således jf. (0.5):

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (Sim_i - Obs_i)^2}{Sim_i + Obs_i}} \quad (0.5)$$

Hvor;

GEH	Sammenligningsværdi
Sim_i	Model intensitet (Biler/time) i tidsrummet i
Obs_i	Mark intensitet (Biler/time) i tidsrummet i

For anvendelse af GEH-metoden er gængse retningslinjer, at et GEH-tal på mindre end 5.0 betragtes som en god overensstemmelse mellem simulering og markobservationer. Ifølge det engelske Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) bør mindst 85 % af trafikken i en model have et GEH-tal på under 5.

Da denne metode kun beskriver trafikmængder, er det også nødvendigt at stille et succeskriterium for hastigheden i modellen. I denne sammenhæng beregnes der en korrelationskoefficient mellem marktællinger og VISSIM-tællinger. Det vurderes, at en korrelation på 90 % udgør et acceptabelt niveau. Der opstilles således følgende succeskriterier for kalibreringsprocessen, jf. Tabel 9.2.

Tabel 9.2: Kriterier for acceptabel kalibrering

Metode	Kriterium
GEH statistikker	85 % af GEH < 5
Total GEH statistikker	Sum GEH < 4
Korrelationen for hastighed	Minimum 90 %
Visuel inspektion	Den sammenlagte stilstand i sekunder for alle biler må ikke overstige 300 sekunder pr. simulering.
Visuel inspektion	Maks. 50 biler fjernet fra netværket. Bilerne fjernes fra netværket ved stilstand i mere end 10 sekunder

Efter således at have defineret succeskriterierne kan opsætningen af VISSIM nu begyndes.

9.4.2 Opsætningen af VISSIM

Før kalibreringen begyndes, redegøres der i følgende afsnit for enkelte parameterændringer, som er væsentlige for denne trafikmodel. Disse er listet nedenfor:

- Simuleringsberegningerne sættes til 10 sim/sek for større præcision.
- Alle veje indstilles med W99-indstillinger, da dette afspejler motorvejskørsel.
- Personbiler antager hastighedsfordelingen 90 km/t fra markundersøgelser.
- Lastbiler antager hastighedsfordelingen 80 km/t fra markundersøgelser.
- Antal "observed vehicles" sættes til 5 efter anbefalinger fra Rambøll.
- "Rout decision" for Nørresundbygrenen sættes til 1000 meter for at sikre, at de svingende trafikanter ikke blokerer ydre spor.
- "Waiting time before defusion" er sat til 10 sekunder for at se, om der sker kødannelser. Kommer der ikke en fejlmelding, betyder dette, at bilerne ikke har stået stille i inderste bane.
- Alle tests udføres med "random seed" på +8 start 48 og fem kørsler.

Efterfølgende præsenteres resultaterne fra kørslerne i VISSIM.

9.5 Kalibrering I og Delresultater I

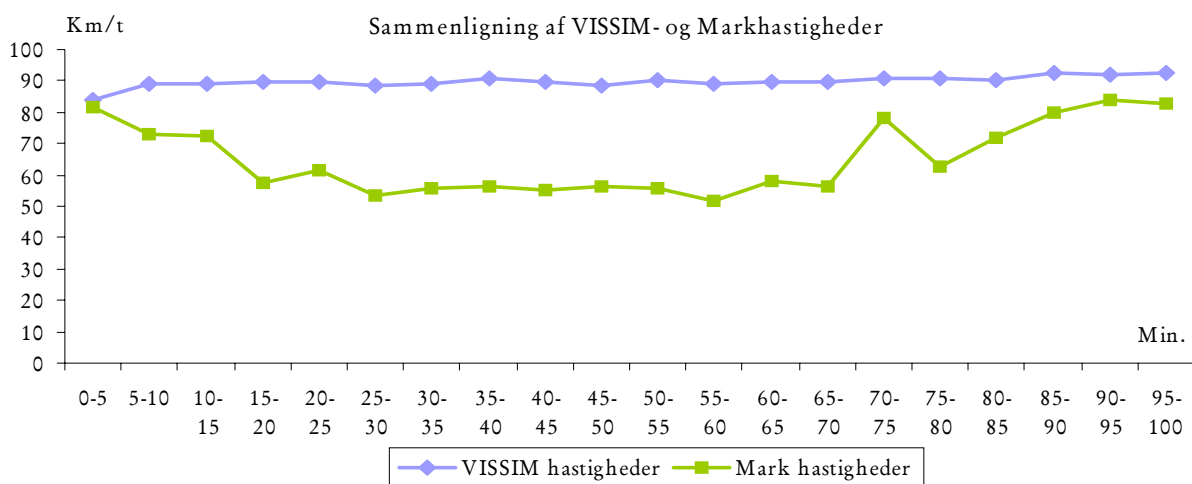
Resultaterne fra kørsler viser, at ingen af parametersættene kan løse opgaven på en måde, så alle kriterier er opfyldt. Flere af parametersættene løser de fleste krav undtagen kravet om hastighedskorrelation på 90 %. I Tabel 9.3 ses resultater fra det aggressivetsniveau, som løser opgaven bedst. Med en 70 % aggressivitet løses alle krav undtagen hastighedskorrelation. I video (70 %) på vedlagte cd-rom er der vist en kørsel med 70 % aggressivitet, og det ses, at der

ikke forekommer kritisk kø i flettesporet eller tunnelen. For resultater af alle kørsler henvises til Excelarket (kalibrering af flettestrækning testparametre og resultater).

Tabel 9.3: Trafikafvikling med 20 % og 70 % aggressivitetsniveau

70%		
GEH Middel < 4	1,2	OK
85 % GEH < 5	100	OK
Korrelation R ²	70,8	Ikke OK
Kø i flettesporet	47	OK
Kø i modellen	0	OK

Ved en aggressivitet på 70 % afspejler hastigheden gennem simuleringen ikke virkeligheden, jf. Figur 9.8. Figur 9.8 viser, at når aggressiviteten øges, kører bilerne tæt gennem hele modellen uden at tage hensyn til den forankørende bilist. Da den ønskede hastighed er sat til 90 km/t, kører bilerne med en gennemsnitshastighed på 90 km/t gennem hele modellen.

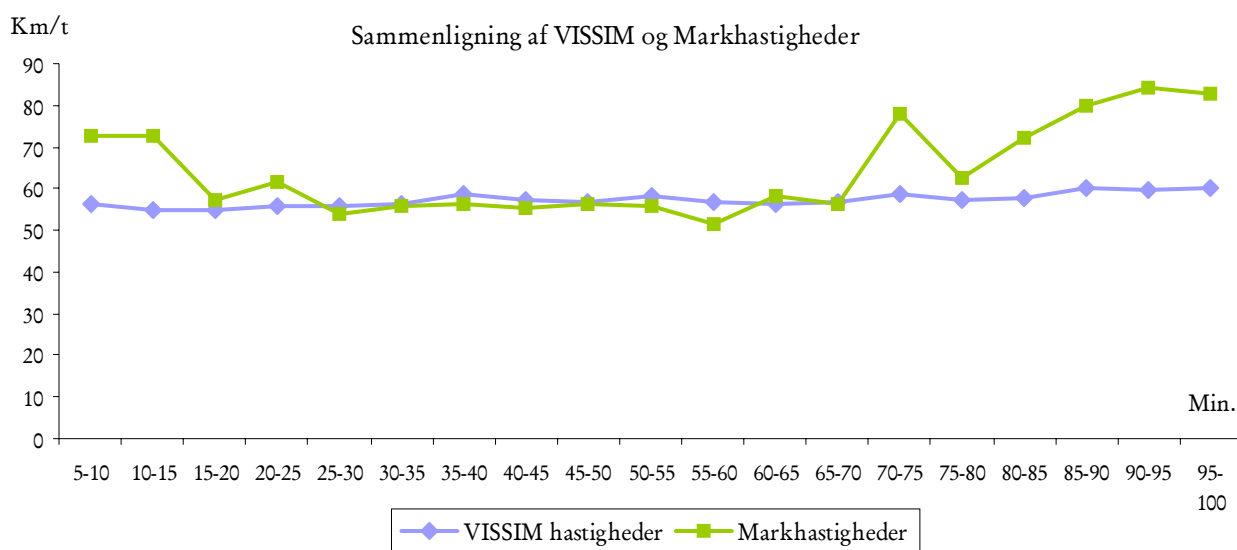


Figur 9.8: Korrelationen mellem gennemsnitshastigheden fra markobservationer og VISSIM-kørsler

Et eksempel på den upåvirkede kørsel er i intervallet 70-75 km/t, hvor der i markkurven sker en stigning i hastigheden, men ingen påvirkning ses i VISSIM-kurven. Hvis aggressiviteten sættes ned, holder bilerne større sikkerhedsafstand, og der sker kødannelse i flettesporet. Endvidere forplantes en tydelig chokeffekt fra indsnævringen gennem hele tunnelen. Denne chokeffekt er et resultat af, at VISSIM-bilerne ikke følger et normal køkørselsmønster. I VISSIM accelererer bilerne kraftigt mod de ønskede 90 km/t og stopper kraftigt, hvilket medfører en chokeffekt og dermed kødannelse. I virkeligheden er adfærden i køkørsel meget anderledes. Ved tæt trafik kører bilerne langsommere og mere flydende. Skulle der ske en åbning, accelererer bilen stille og roligt til et passende niveau, der svarer til omgivelserne. Der forsøges herefter med endnu en kalibreringstest.

Kalibrering II & Delresultater II

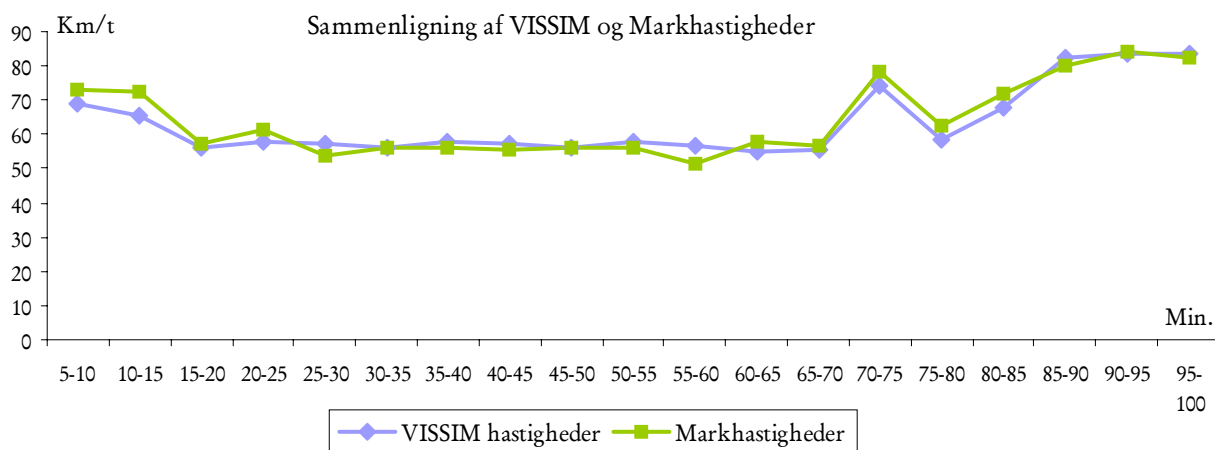
En mulig løsning på dette problem er at sænke den ønskede hastighed til et passende niveau. Dette kan gøres i VISSIM ved at indlægge farttilpasningszoner, hvor bilerne bremser. Når de er ude af zonen, accelererer de igen til vejens tilladte hastighed. Der er derfor lavet en yderligere test, hvor den ønskede hastighed er sat til 60 km/t. Testen er lavet med et aggressivitetsniveau på 70 %. På Figur 9.9 ses en sammenligning mellem VISSIM-hastigheder og markhastigheder. Det ses, at den trods en bedre sammenhæng i dele af kurven stadig ikke følger markhastighederne. Dette skyldes, at aggressiviteten er høj, og at bilerne følger hinanden med samme hastighed gennem hele modellen. Der forsøges herefter med endnu en kalibreringstest.



Figur 9.9: Sammenligning af hastigheder ved 60 km/t

Kalibrering III & Delresultater III

VISSIM testes nu, hvor de adaptive hastighedszoner varierer tilsvarende markobservationerne. På Figur 9.10 ses en sammenligning af VISSIM- og markobservationer, hvor der er implementeret fartadaptioner gennem hele kørslen. Korrelationen mellem de to kurver når 91 %, hvilket vurderes som acceptabelt ud fra førnævnte kriterier. Det ses dermed at det er muligt at få VISSIM til at passe både med aggressivitet og hastighed.



Figur 9.10: Sammenligning af hastighederne i VISSIM- og markhastigheder med fartadaption.

9.5.I Resultater

Resultaterne viser, at trafikken afvikles tilsvarende virkeligheden, når modellen antager følgende:

- Parameterindstillingerne antager værdierne jf. Tabel 9.4. Med disse indstillinger fletter trafikken hensigtsmæssigt, og der opstår ikke kø i flettesporet. Desuden medfører disse indstillinger, at W99 kan benyttes gennem hele modellen, samt at kødannelser og chokeffekt i tunnelen undgås.

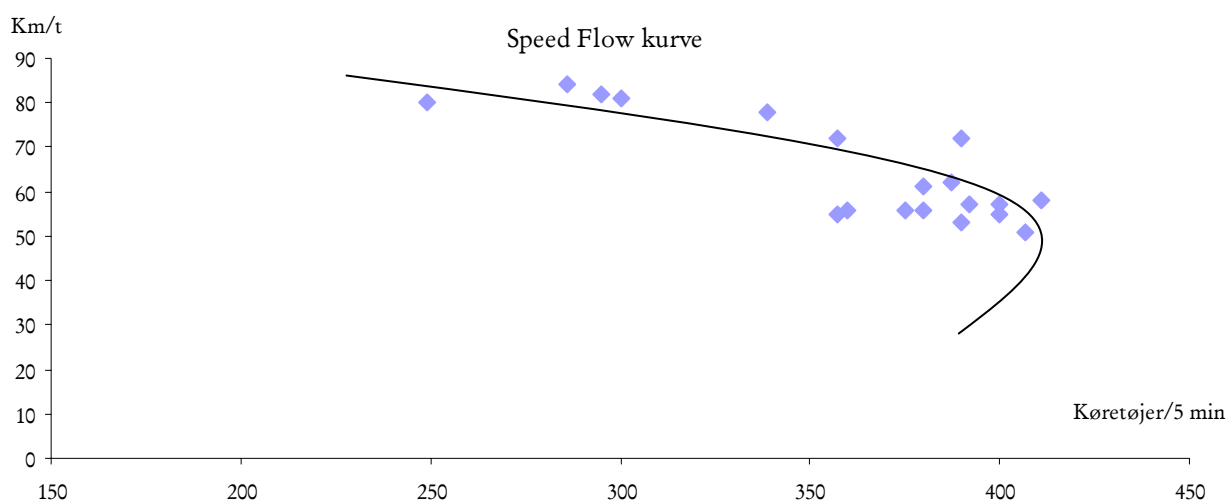
Tabel 9.4: Endelige kalibreringsparametre for flettestrækningen med 70 %.

Parameter	70 %
CC0	1,54
CC1	0,3
CC4	-0,163
CC5	0,163
SDRF	0,225

- Hastighedsprofilen i modellen skal topstyres, for at bilisterne får den korrekte hastighedsfordeling. Det vil sige, at der skal indlægges intelligent hastighedskontrol i hele simuleringsperioden.

9.6 Diskussion

Den trafikale situation omkring flettesporet i spidstimen er mere kompliceret end først antaget. Bilerne holder ikke i kø, men befinder sig nærmere i en præ-kø tilstand. Trafikken er således på grænsen til reel køkørsel, hvilket gør denne type trafik meget dynamisk og dermed svær at simulere korrekt. På Figur 9.11 ses speed/flowkurven for denne spidstime. Den



Figur 9.11: Speed/Flowkurve for spidstimen illustreret med markobservationerne. Kurven er indlagt med fri hånd

indtegnede kurve kan forekomme en smule "søgt" for at ligne den teoretiske kurve, men koncentrationen omkring kurvespidsen er en indikation på, at kapacitetsgrænsen er nået. På netop kapacitetsgrænsen er der større tendens til, at bilerne hellere holder en lav fart og kører langsommere, end at de kører hurtigt og bremser hårdt. Det er her, VISSIM viser sin svaghed, og resultaterne viser, at VISSIM ikke kan afbilde en trafikalsituation på grænsen til kødannelser. VISSIMs forfølgelsesmodel er simpelthen ikke god nok til selv at simulere denne type trafikafvikling. Dog kan der gennem grundige justeringer komme meget tæt på nutidens trafikafvikling. Der kan derfor på baggrund af disse undersøgelser sættes stort spørgsmålstejn ved brugen af VISSIM som argument for kapacitetsberegninger. Ofte bruges VISSIM til at illustrere fremtidige flaskehalse og kapacitetsproblemer ved at fremskrive trafikken på vejene. Da mine undersøgelser viser, at VISSIM ikke selv kan styre en forøgelse af trafikken og den naturlige hastighedsnedsættelse, er det nødvendigt at se kritisk på disse trafikmodeller. Problemet er derfor i bund og grund, at hvis VISSIM ikke kan kalibreres, så den overbevisende illustrerer nutidens trafikafvikling, er der ingen grund til at tro, at den kan illustrere fremtidens trafikafvikling.

Kalibreringen viser desuden, at VISSIMs standardindstillinger ikke kan afvikle trafikken fra flettesporet korrekt. De hårde "stop-kør"-opbremsninger i modellen medfører kødannelser og hermed en chokeffekt gennem tunnelen. Endvidere har det ved forøgelse af aggressionen vist sig, at bilisterne opnår en flettekapacitet, som kan afvikle trafikken. Det anbefales fremover, at der i denne lokale trafikalsituation benyttes de kalibrerede W99-værdier for korrekt trafikafvikling.

Kalibreringen viser også, at der stadig er problemer med hastigheden, som ligger konstant gennem hele simuleringsperioden, selvom flettemanøvren simuleres korrekt. Dog er det muligt ved topstyring og indlægning af intelligent fartkontrol at justere dette, så det stemmer overens med virkeligheden. Denne justering kræver indgående kendskab til det trafikale mønster, hvilket ikke altid er tilgængeligt i alle modelleringsstadiet. Da VISSIM ofte benyttes til at illustrere kapacitetsproblemer og trafikalsituationer tæt på kapacitetsgrænsen, er det vigtigt, at der sættes spørgsmål ved modellens opbygning i fremtiden. Rejsetiden gennem et netværk er ofte en parameter, som bliver brugt som argument til kapacitetsmangel i netværket. Men uden indstilling af de korrekte hastigheder, bil-indput og flettemanøvrer vakler argumenterne. Der anbefales derfor, at der som minimum indsamles hastighedsprofiler per kvarter for at simulere spidstimerne korrekt.

Til sidst skal der knyttes en kommentar til denne rapportens kalibreringsmetode. Der er store usikkerheder forbundet med selve dataindsamlingen. Dataene er hentet fra én spidstime og kan ikke repræsentere det generelle billede af trafikken omkring Limfjordstunnelen. Derudover beror kalibreringen på to typer datasæt, hvilket ikke er tilstrækkeligt til at beskrive hele situationen omkring flettestrækningen. Det anbefales, at fremtidige kalibreringer indsamler data såsom kølængder, rejsetider, flow per 15 minutter og hastighed per 15 minutter, som kan indgå i kalibreringen. Derudover burde der indsamles yderligere data, som kan benyttes som valideringsdata efter kalibreringen. Disse data kunne være

køllængder, hastighedsmålinger og rejsetider på andre steder i modellen eller fra andre dage. Derudover kunne en validering foregå på et tilsvarende system et andet sted i landet.

Den lineære kalibreringsmetode har vist sig at være anvendelig i situationen omkring flettestrækningen. Det skyldes primært, at det udelukkende drejer sig om flettemanøvrer og forfølgelsesmanøvrer, hvilket er mere afgrænsede situationer. Ved kalibrering af større netværk eller krydssystemer vurderes denne metode ikke som hensigtsmæssig, da den ikke medtager parametre uden for disse områder. I fremtidige kalibreringsprojekter anbefales det, at den trafikale situation skal ligne flettemanøvren ved Limfjordstunnellen, før den anvendes. Skulle brugere af VISSIM i fremtiden have lyst til at modellere strækningen omkring Limfjordstunnellen, kan mine resultater benyttes med stor succes. Parameterindstillingerne kan kun benyttes til at vise den nutidige situation, og der er ingen garanti for de virker i en fremskrivning af trafikken omkring Limfjordstunnellen.

Der er derfor i afslutningen af denne projektperiode undersøgt forskellige kalibreringsmuligheder, som med større succes kan implementeres i kalibreringsprocessen for alle typer netværk. Der er fundet frem til en metode, som efterfølgende gennemgås på konceptplan. De konkrete matematiske beregningsmetoder har der desværre ikke været ressourcer til at udføre i dette projekt.

9.7 Perspektivering

Som det fremgår af ovenstående, er kalibreringsmetoden, som er benyttet i dette projekt, ikke hensigtsmæssig til alle typer kalibreringsprojekter. Der er derfor undersøgt, hvilke gængse teorier der findes for at lave en kalibrering med et større antal parametre og indstillingsmuligheder. Ved hjælp af litteraturstudium jf. litteraturliste samt diskussion med Ph.d. Søren Thorndal (AAU) og Brian Park, Assistant Professor, (Department of Civil Engineering University of Virginia), kan en statistisk beregningsmetode ved navn *Latin Hypercube Sampling* og *Genetic Algorithms* benyttes til dette formål.

Et af problemerne ved kalibreringen er at opnå et tilstrækkeligt antal parameterkombinationer, hvor brugeren er sikker på, at alle mulige kombinationer er testet. Dette er næsten en umulig opgave pga. de mange kombinationsmuligheder, men via statistiske beregninger kan disse kombinationsmuligheder reduceres kraftigt. Metoden er en optimeringstilgang, som ofte er benyttet inden for spilteori. Metoden benytter Latin Hypercube Sampling algoritmer, og kan anvendes til at reducere parameterkombinationerne til et overskueligt antal, samtidig med at hele parameterfladen dækkes.

Grundlæggende beror metoden sig på risikoberegning af, hvilke parameterindstillinger der har størst sandsynlighed for at have maksimal effekt. Beregningen kan let udføres via MATLAB, og der kan vælges, hvilken fordeling resultaterne skal afspejle – almindeligvis en normalfordeling. Eksempelvis kan MATLAB på få sekunder generere 1000 parametersæt, hvor alle 29 parametre fra VISSIM indgår i beregningerne. I Tabel 9.5 ses et eksempel på, hvordan to parametersæt med 10 parametre kan se ud.

Tabel 9.5: Generering af parametersæt ved hjælp af MATLAB Latin Hypercube

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Sæt 1	0.912	0.877	0.747	0.729	0.329	0.846	0.850	0.748	0.346	0.778
Sæt 2	0.189	0.206	0.267	0.028	0.799	0.292	0.302	0.139	0.943	0.266

Disse tal kan således overføres til VISSIM via kommandoen: [Telefon interview med B. Park]

$$P_i = INT_{\min,i} + r \cdot (INT_{\max,i} - INT_{\min,i}) \quad (0.6)$$

Hvor,

P_i	Parameterværdien, som den skal antags i VISSIM
$INT_{\min,i}$	Parameterintervallets minimumværdi for i'te parameter
r	Latin Hypercube værdi fra MATLAB
$INT_{\max,i}$	Parameterintervallets maksimumsværdi for i'te parameter

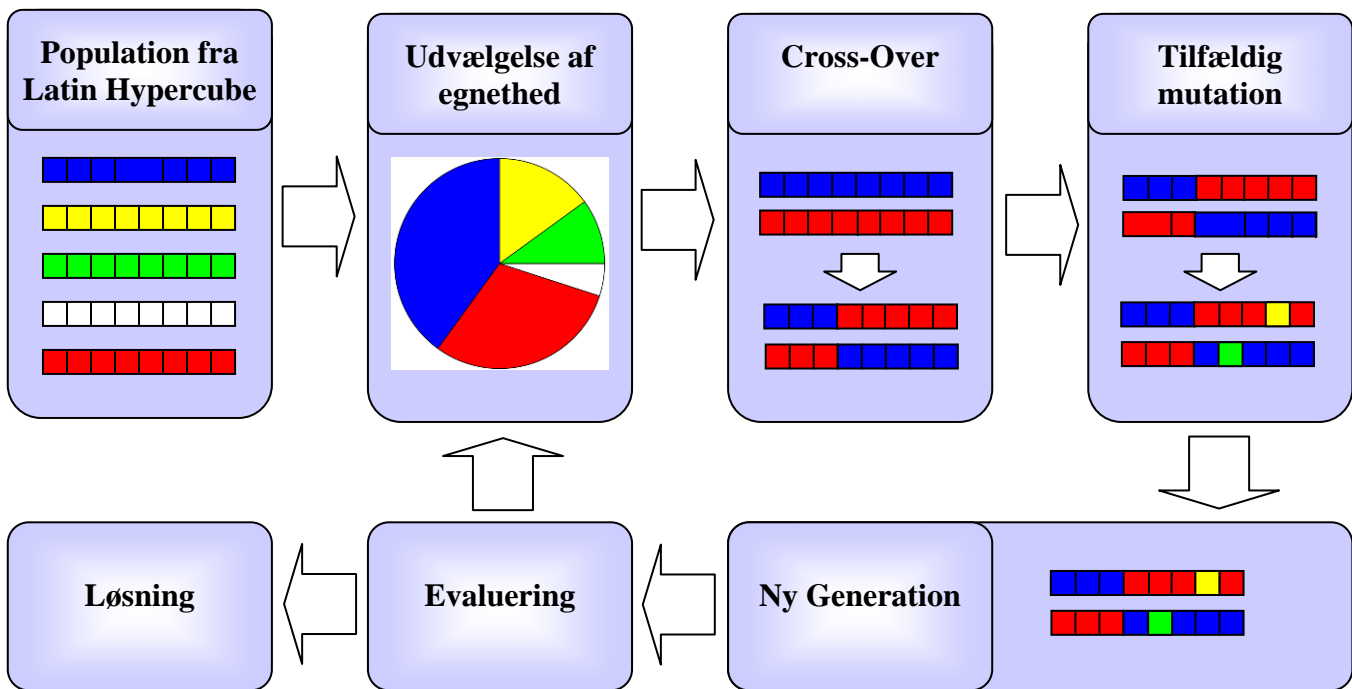
Eksempel: $P1: CC1 = 0,1 + 0,912 \cdot (0,9 - 0,1) = 0,83$

Således kan der genereres et vilkårligt antal parameterindstillinger. Jo flere parametersæt der genereres, desto flere simuleringer skal der køres med større chance for et bedre kalibreringsresultat. Problemet er nu, at hvert parametersæt er genereret tilfældigt, og der er ingen garanti for, at trafiksituationen bliver afviklet korrekt med disse parametersæt. Det er derfor nødvendigt at udføre en udvælgelses- og forbedringsmekanisme på parametersættene. Til dette formål er der udviklet flere matematiske metoder.

En af disse er Genetiske Algoritmer, som først blev beskrevet af J.H. Holland I 1975. Metoden er inspireret af princippet om naturlig udvælgelse, tilsvarende udviklingen i naturen. Princippet består i, at evolutionen starter fra en tilfældig genereret population af parametersæt, hvilket i dette tilfælde er genereret gennem Latin Hypercube Sampling. Hver løsning i populationen repræsenterer en løsning til et givet kalibreringsproblem.

En løsning består som sagt af en række parameterindstillinger, dvs. en række informationer, som repræsenterer genetikken i den enkelte løsning. Ved at teste alle parametersættene bliver egnetheden af hvert sæt evalueret, og parametersættene bliver herefter rangeret efter en "fitness-funktion". Gennem en stokastisk udvælgelse på baggrund af denne egnethed udvælges de bedst egnede parametersæt, som herefter gennemgår en Cross-over og en tilfældig Mutation. Hermed genereres de nye afkom, som derefter indgår i den nye population, og har "nedarvet" de karakteristikker/parameterværdier, der medførte en højere egnethed. Processen gentages således, indtil et eller flere stopkriterier er opfyldt. For en grafisk illustration se Figur 9.12. Således kan den optimale løsning findes på et kalibreringsproblem. Desværre har der

ikke været tid til at gå i dybden med denne parameterkalibrering i dette projekt, men det er mit håb, at fremtidige studerende vil kunne benytte disse metoder med større succes.



Figur 9.12: Diagram over konceptet bag Genetiske Algoritmer [Park, 2006]

Eksempel:

[Start] Genererer et m antal parametersæt med n parametre. I dette eksempel vælges at generere fire parametersæt med parametrene CC0 til CC9. Parametrene antager værdier genereret fra Latin Hyper Cube Sampling. I dette tilfælde kalder vi dem A, B, C og D.

	CC0	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9
Sæt 1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Sæt 2	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Sæt 3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Sæt 4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10

[Fitness] Der køres simuleringer med alle parametersættene, som herefter rangeres efter en fitnessfunktion. Dette kunne eksempelvis være rejsetid, hastighed, kølængder eller anden måling lavet fra virkeligheden.

Rangering	CC0	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9
1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
2	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10

[Ny Population] Der skal nu genereres en ny population ved at gennemgå følgende trin.

[Udvælgelse] Der udvælges to parametersæt på baggrund af deres fitnessfunktion. Hvis et parametersæt har højere værdi, altså højere rangering, er chancerne større for, at denne udvælges. Til udvælgelsen kan populære teorier så som: "Roulette wheel selection" og "Tournament selection" benyttes.

Rangering	CC0	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9
1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10

[Krydsning] En eller flere krydsværdier vælges tilfældigt. Dette kan eksempelvis gøres fra en sandsynlighedsfordeling eller som i mit tilfælde, hvor der vælges ét tilfældigt krydsningspunkt.

Rangering	CC0	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9
1	B1	B2	B3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
3	C1	C2	C3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10

[Mutation] Der laves nu en stokastisk mutation mellem parametersættene. Årsagen til, at man laver denne mutation, er, at man vil forhindre en koncentration af de samme parameterværdier. Hvis dette ikke gøres, bliver populationen for ens og stopper i princippet evolutionen. Denne mutation kan laves på baggrund af for eksempel: Tilfældig mutation eller ved at bytter to faste parametre. I mit tilfælde er der valgt at lave tilfældig mutation fra hele populationen.

Nye sæt	CC0	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9
Nyt sæt 1	A1	B2	B3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	B10
Nyt sæt 2	C1	C2	C3	B4	B5	D6	B7	B8	B9	B10

[Ny population] De nye sæt placeres i den nye population. Laver vi eksempelvis proceduren igen (trin 3), kan vi opnå et tredje parametersæt. Typisk laves den nye population mindre ved at lave færre krydsninger. Det ses i den nye population, at D-parametrene ikke er repræsenteret i samme grad som i den oprindelige population.

Nye sæt	CC0	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9
Nyt sæt 1	A1	B2	B3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	B10
Nyt sæt 2	C1	C2	C3	B4	B5	D6	B7	B8	B9	B10
Nyt sæt 3	C1	C2	C3	A4	A5	A6	A7	D8	A9	A10

[Udvælgelse 2] Den nye population evalueres igen på baggrund af en fitnessfunktion og rangers.

[Test] Hvis nogle af parametersættene, som er defineret i den nye population, opfylder de overordnede kalibreringskrav, stoppes processen, og parametersættet vælges som en løsning.

[Marek 2009], [Park, 2006], [Wikipedia 2009b]

10 Konklusion

I denne rapport blev VISSIMs grundlæggende fordelinger og parameterindstillinger evalueret med hensyn til dansk trafikantadfærd. Gennem markobservationer og dataindsamling har det været muligt at opstille en række fordelinger, som repræsenterer danske forhold og dansk trafikantadfærd.

Disse fordelinger blev herefter sammenlignet med VISSIMs fordelinger med hensyn til rejsehastighed og rejsetid under forskellige simuleringsforhold. I alle tests blev der lavet en visuel og statistisk analyse, som har vist en signifikant forskel mellem standardfordelingerne og de danske fordelinger.

Derefter er fordelingerne blevet testet på virkelige netværk for at se, om en ændring til danske forhold har en reel effekt på rejsetiden i simuleringerne. Resultaterne af de virkelige simuleringer har vist, at de- og accelerationsfordelingerne samt vægt- og kraftfordelingerne (i bynetværk), gav en markant forskel i rejsetiden gennem netværket. På baggrund af disse tests kan det konkluderes, at VISSIMs standardindstillinger med henblik på hastighed, vægt- og kraftfordelinger med succes kan benyttes til at simulere danske trafikforhold på motorveje. Imidlertid konkluderes det, at de- og accelerationsfordelingerne samt vægt- og kraftfordelingerne ikke tilstrækkeligt afspejler dansk trafikadfærd, og det anbefales, at fremtidige brugere af VISSIM benytter de fordelinger, som er fundet i denne rapport.

Den anden del af rapporten behandler kalibreringen af flettestrækningen nord for Limfjordstunnellen i en spidstime en hverdag i oktober måned, 2008. Indledende blev der testet, om standardindstillingerne i VISSIM kunne afvikle trafikken hensigtsmæssigt, hvilket har vist sig ikke at være muligt. Med standardindstillingerne blev der kø i flettesporet og flere steder kø i tunnelen. Via en lineær procedure har det vist sig muligt at opnå en tilstrækkelig fletteaggressivitet, så bilisterne ikke holder i kø. Dette medførte imidlertid også, at de normale hastighedsnedsættelser, der sker i spidsperioderne, ikke skete tilsvarende i VISSIM. Gennem tests med forskellige hastighedskombinationer viste det sig kun muligt at få hastigheden til at passe ved at indlægge intelligente hastighedstilpasning gennem hele simuleringen.

På baggrund af dette kan det konkluderes, at VISSIM har store vanskeligheder ved at simulere spidstimen og specielt en flettestrækning under motorvejsforhold. Eftersom dynamikken på en motorvej er meget kompleks med løse rammer, stiller det store krav til fundamentet i VISSIM, hvilket i disse undersøgelser har vist sig ikke at være godt nok. Det anbefales derfor, at fremtidige brugere af VISSIM har dette for øje, før der drages store konklusioner på baggrund af simuleringer i VISSIM.

10.1 Perspektiv og videre arbejde

Ses der på resultaterne i et bredere perspektiv, er der flere elementer, som bør tages i betragtning. De indledende undersøgelser vedrørende bilens parametre har som sagt vist, at det er ligegyldigt, hvilke fordelinger der benyttes i simuleringerne. Der kan dog argumenteres for, at simuleringer grundlæggende skal afspejle de virkelige forhold, herunder også de "irrelevante" fordelingerne i VISSIM, og at de dermed ikke bør ses bort fra. Mange små fejl kan sammenlagt blive til én stor fejl, og specielt i det tilfælde hvor VISSIM benyttes i evaluering af fremtidens trafikafvikling. Derudover vil VISSIM i fremtiden højst sandsynligt også benyttes til flere andre formål, hvor korrekt trafikantadfærd er væsentlig. Her tænkes bl.a. på evaluering af emission fra biler, rampeoptimering ved motorveje eller kapacitetsberegninger, hvor korrekt trafikantadfærd er essentiel for at opnå de rigtige resultater.

Det skal påpeges, at resultaterne i denne rapport flere steder er baseret på en spinkelt datasæt. Dette betyder, at der ikke med sikkerhed kan garanteres for, at fordelinger og parameterindstillinger bør antage værdierne, som er præsenteret i denne rapport. Dog viser resultaterne en tendens til, at dansk trafikadfærd er anderledes end den tyske, og fremtidige undersøgelser af disse er yderst påkrævet. Der kan i denne sammenhæng anbefales, at følgende studier omkring VISSIM anskueliggøres.

1) Gennem intensivt arbejde med VISSIM har det vist sig, at der ikke findes en række universelle parametersæt, som kan benyttes til alle trafikale situationer. Trafikken er for dynamisk og varierer for meget fra system til system til, at der kan sættes generelle retningslinjer for indstilling af VISSIM. Der bør derfor laves en dansk mikrosimuleringsstandard, som sætter minimumkrav for kalibrering og validering af simuleringer, før de kan benyttes i beslutningsprocessen.

2) Der bør laves et studium af præcisionen af fremskrivninger for trafikadfærd i VISSIM. Dette kunne eksempelvis gøres ved at opbygge et netværk, som repræsenterer en trafikalsituation i 1989 og fremskrive trafikken til i dag for at se, om den afspejler virkeligheden korrekt.

3) Der bør laves undersøgelser vedrørende krydsafvikling, som er tilsvarende dem i denne rapport. Resultaterne i denne rapport har sat spørgsmålstejn ved trafikafviklingen for motorvej, men hvilken garanti har vi for, at den virker bedre i kryds?

Jeg vil passende afslutte denne rapport med et citat fra Charles Darwin, som er dækkende for resultaterne i denne rapport, samt muligheden for at implementere evolutionskonceptet i kalibreringen af mikrosimuleringsmodeller.

"To kill an error is as good a service as, and sometimes even better than, the establishing of a new truth or fact" Charles Darwin (1809-1882)

II Litteraturliste

- Aagaard-Svensen et. Al. 2008.** Aagaard-Svendsen, B et.al. (2008). Danmarks transportinfrastruktur 2030. Danmark: Infrastrukturkommissionen.
- Aalborg Kommune 2000.** Aalborg Kommune, Nordjyllands Amt (2000). Udvikling af infrastrukturen i Aalborg-området. Aalborg: Aalborg Kommune.
- Blåbjerg, 2007.** Blåbjerg, F. (2007). Rammestudieordning. Aalborg: Aalborg Universitet.
- Bøgetorp 2008.** Bøgetorp. (2008). Større danske erhvervshavnes forventninger til udviklingen i godsmængder 2007-2025. Bøgetorp-rapport.
- Choa 2003.** Choa, F. et. al.. (2003). CORSIM, PARAMICS, and VISSIM: What the Manuals Never Told You. 9th TRB Conference on the Application of Transportation Planning Methods. 9, p. 392-402.
- COED 2008.** Compact Oxford English Dictionary. (2008) . Available: http://www.askoxford.com/concise_oed/simulate?view=uk. Last accessed 25 november 2008.
- Danmarks Statistik 2008.** Danmarks Statistik. (2008). Bestanden af lastbiler efter drivmiddel, tid, totalvægt og antal aksler. Available: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1680>. Last accessed 12 december 2008.
- Dansk vejtidsskrift, 2008.** Svane, J. (2008). Landfaste forbindelser til havets motorveje. *Dansk Vejtidskrift*. 8.
- Dowling 2004.** Dowling, R. et. al. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software. USA: Federal Highway Administration.
- FDM 2008.** FDM. (2008). Prognose for trafikvæksten. Available: http://www.fdm.dk/public/trafikogpolitik/vejtrafik/vejene/Prognose+for+trafikv%C3%A6kst.htm?wbc_purpose=Basic. [Accessed 16 Oktober 2008]
- Fellendorf 2000.** Fellendorf, M. et. al. (2000). Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations. Karlsruhe: PTV AG.
- Fellendorf 2004.** Fellendorf, M. (2004). Calibration of VISSIM - 14th ptv vision User Group Meeting. Karlsruhe: PTV-AG.

Femerbælt 2008. Femerbælt. (2008). Trafik på Storebælt. Available: <http://www.fehmarnlink.com/dk/Forside/Trafik/Prognoser+og+faktisk+trafik/Storeb%e6%b6%a6lt>. Last accessed 13 januar 2009.

JCOM 2006. Kursusgang 4 – Trafikdata med Jens Christian Overgaard Madsen

Jeannotte 2008. Jeannotte, K. et. al. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools. Oakland: US Department of Transportation.

Lahrmann 1994. Lahrmann H. et. al. (1994). *Vejtrafik*. Danmark: Polytekniske forlag.

Lahrmann 2006. Lahrmann, H. (2006). Spar på Farten - Et forsøg med intelligent farttilpasning. Available: <http://www.sparpaafarten.dk/afrapportering/Folder-A3.pdf>. Last accessed 6. januar 2009.

Lahrmann 2008. Lahrmann, H, 2008. Vejledermøde med Harry Lahrmann

Lownes 2006. Lownes, N. et. al. (2006). VISSIM: A MULTI-PARAMETER SENSITIVITY ANALYSIS. USA: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.

Madhav 2007. Madhav V. Chitturi, Rahim (Ray) F. Benekohal. (2007). CALIBRATION OF VISSIM FOR FREEWAYS. *TRR*. 1 (1), 10.

Marek 2009 .Marek Obitko. (2009). GENETIC ALGORITHMS. Available: <http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/index.php>. Last accessed 15 februar 2009.

Menneni 2007. Menneni, S. et. al. (2007). Microsimulation Calibration Using Speed Flow Relationships. USA/Germany:

Møbjerg 2008. Møbjerg, L. (2008). Bilsalget 10 procent lavere i september. Available: <http://www.dr.dk/Nyheder/Penge/2008/10/21/111701.htm>. Last accessed 24 Oktober 2008.

Nicholas 2006. Nicholas E. Lownes, Randy B. Machemehl, P.E.. (2006). VISSIM: A MULTI-PARAMETER SENSITIVITY ANALYSIS. *Winter Simulation Conference*. 1 (1), 10.

Park 2008. Park, B. et. al. (2006). Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Handbook. Virginia: Virginia Transportation Research Council.

PTV-AG 2008. PTV-AG (2008). VISSIM overview. USA: PTVAmerica

- Rørbech 2008.** Jens Rørbech. (2006). Fremtidsscenerier vedr. transport i Danmark. *Ugebladet Ingeniøren*.
- Park 2006.** Park, B. et. al. (2006). Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Handbook. Charlottesville, VA 22903: FHWA.
- Pihlkjær 2006.** Pihlkjær, Anders. et. al. (2006) Semesterrapport fra P-7. Centerudvikling i City Syd (Karakter 10).
- Sdun 2008.** Sdun, M. (2008). Vejregel vedr. simulering. VISSIM indstillinger ved sporskifte. Danmark: COWI.
- Sode-Carlsen 2004.** Rolf Sode-Carlsen – Model fra afgangprojekt 2004.
- Statistikbanken, 2008a.** Danmarks Statistik. 2008. Bestand af køretøjer pr. 1. januar efter køretøjstype og alder. Available at:
<http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1680> [Accessed 10 januar 2009]
- Vägverket, 2004.** Vägverket, 2004. Vägar och gators utformning, Grundvärden (elektronisk version). Vägverket. ISSN: 1401-9612
- Vejdirektoratet 2006 a.** Vejdirektoratet (2006). Trafiktællinger, Planlægning, udførelse og efterbehandling. Danmark: Vejdirektoratet, Vej- og trafikområdet.
- Vejdirektoratet 2004 b.** Vejdirektoratet (2004). Hastighedsrapport 1999-2002. Danmark: Vejdirektoratet, Vej- og trafikområdet.
- Vejdirektoratet 1970.** Vejdirektoratet (1970). Projekteringsregler for motorveje
Vejdirektoratet, Vej- og trafikområdet.
- Vejregler 2005.** Kjemtrup . K. et. al. (2005). Kapacitet og serviceniveau. 2nd ed. Danmark: Vejdirektoratet.
- Vejregelrådet 2005.** Vejregelrådet (2005). Toplanskryds hæfte 4.4. Danmark: Vejdirektoratet.
- VISSIM 5.10.** Planung Transport Verkehr AG (2008). *VISSIM 5.10 User Manual*. 5th ed. Karlsruhe: PTV AG. 482.
- Wikipedia 2008a.** Wikipedia. (2008). Motorveje i Danmark. Available:
http://da.wikipedia.org/wiki/Motorveje_i_Danmark. Last accessed 22 Oktober 2008.
- Wikipedia 2009a.** Wikipedia. (2009). VISSIM. Available:
<http://en.wikipedia.org/wiki/VISSIM>. Last accessed 03 February 2009

Wikipedia 2009b. Wikipedia. (2009). Genetic algorithm. Available:
<http://en.wikipedia.org/wiki/VISSIM>. Last accessed 15 February 2009

12 Bilag: Parametre i VISSIM

I følgende bilag forklares de forskellige parametre og fordelinger i VISSIM. Flere af ordene er ikke oversat, da den engelske betegnelse gør det lettere for læseren at finde parameteren i VISSIM. Derudover skal der nævnes, at ordet ”*link*” betyder en vejstrækning i VISSIM.

Parameter	Forklaring af parameter
Acceleration og Decelerationsfordelinger	
Max. acceleration	Den maksimale acceleration benyttes i det tilfælde, hvor den ønskede acceleration overstiges fx på en bakke.
Ønsket acceleration	Benyttes til alle situationer, hvor bilisten skal lave en acceleration.
Max. Deceleration	Den maksimale deceleration. Denne ændres automatisk på hældninger med +/-0,1 m/s ² per % vejhældning. Denne værdi er også vigtig ved indfletning på motorvej. Hvor en bil, som <u>skal</u> flette for at holde sin rute, benytter den maksimale deceleration.
Ønsket deceleration	Benyttes til alle andre situationer, hvor bilisten skal lave en deceleration.
Fordelinger – Hastighed, vægt, kraft, 3D, Dwell time	
Hastighed	Hastigheden er en akkumuleret fordeling i VISSIM. Der kan vælges en lang række hastighedsfordelinger, som passer til trafiktypen og hastighedsbegrænsningerne. Fordelingerne kan ændres efter brugerens ønske.
Vægt	Vægtfordelingen har kun indflydelse på lastbilers (HGV) acceleration og deceleration. For lastbiler regnes et kraft-/vægtforhold [kW/t], som <u>skal</u> ligge mellem 7 og 30. Dette forhold henviser derefter til de- og accelerationsfordelingerne, som medfører en høj værdi ved 30 kW/t og lav værdi ved 7 kW/t.
Kraft	Denne fordeling regnes i kW og kan antage fire forskellige fordelinger. Hver fordeling knytter sig til et køretøjstype. Dette er dog underligt, eftersom PTV siger, det kun påvirker HGV køretøjer. Jeg har påpeget fejlen, og PTV har denne rettelse med i deres næste opdatering.
3D – model	Har indflydelse på simuleringen, da biler af forskellig størrelse har forskellige adfærd. For eksempel vil mange lange biler lave en længere kø. Op imod 10 forskellige typer af køretøjer er mulige inden for denne kategori. Køretøjer kan tilmed bygges større, for eksempel til modulvognstog.

Dvæletid / Opholds tid	Benyttes ved parkering, busstop, toldbod, stopskilt m.m. I mit projekt har denne funktion ikke en betydning
Biltype	Under denne kategori ændres følgende parametre: Bredden af bilen, mennesker i bilen, de- og accelerationsfordelinger. Der kan laves nye biler, hvis det ønskes.
Driving Behavior – Vehicle following behaviour	
Look ahead distance Max	Hvor langt frem bilisterne kan se, og vurdere en situation. Denne funktion skal efter manualen kun ændres hvis der er tale om jernbane overskæring. Den står som standard til 250 meter.
Look ahead distance Min.	Den mindste afstand, bilisterne kan se. Minimum værdien kan ændres ved kø-kørsel for en bedre simulering. Manualen anbefaler 20-30 meter i byzone, men har ingen anbefalinger ved motorvej.
Observed vehicles	Denne parameter beskriver, hvor mange elementer hver bilist kan observere. Denne har stor betydning for fletningen, og en høj værdi gør bilisten mere opmærksom på omgivelserne. Parameteren er sat til 2 som standard. Førende VISSIM-brugere anbefaler at den antager værdien 5, da ændringer i vejhældningen og rutevalg tæller som 1 ”observed vehicle”. Den kan maksimalt sættes til 10, men erfaring viser ikke den store forskel i trafikafviklingen ved ændring fra 5 til 10.
Look back distance Max	Den maksimale afstand, som bilisten kan se tilbage inden for samme link i modellen. Dette benyttes for, at bilisten kan vurdere om en fletning er sikker. Denne er sat til 150 meter som standard.
Look back distance Min.	Den minimale afstand, som bilisten kan se tilbage inden for samme link i modellen. Værdien kan ændres ved kø-kørsel for en bedre simulering. Manualen anbefaler 20-30 meter i byzone men har ingen anbefalinger for motorvej.
Temporary lack of attention	Denne parameter angiver, hvor meget langsommere bilisten reagerer på forankørende bil, men stadig undgår sammenstød. Denne er også kaldt ”sove”-parameteren/chockbølge parameteren. Denne parameter nedsætter ifølge manualen kapaciteten, jo højere den er. Der er ingen anbefalinger i manualen, og som standard er den sat til 0.
Driving behavior - Wiedemann 99 parametre s. 114, 124	
CC0	Angiver afstanden mellem stillestående bilister. Denne er sat til 1,5 meter som standard og er uden betydning ved høj CC1. Parameteren har betydning for længden af køen og dermed også kapaciteten. CC0 har mest indflydelse i bytrafik.

CC1	<p>Denne parameter definerer den ønskede sikkerhedsafstand mellem bilisterne i netværket. Parameteren er angivet i sekunder og sikkerhedsafstanden beregnes ved følgende formel:</p> $dx_{safe} = CC0 + CC1 \cdot v \left[\frac{m}{s} \right]$ <p>CC1 kan benyttes til regulering af indfletning på motorvej, da den angiver hvor meget plads der er mellem bilerne. Denne afstand er defineret som den mindste afstand som bilisten vil holde. Parameteren er som default sat til 0,9 og antager en fast værdi for hvert link.</p>
CC2	CC2 styrer variation i afstanden til forankørende bil ud over sikkerhedsafstanden. Denne parameter er en del af oscillationsprocessen. Som default er den sat til 4 m.
CC3	CC3 angiver, hvornår bilisten begynder at decelerere, før sikkerhedsafstanden nås. Denne er sat til - 8 [uden enhed]
CC4	I forfølgelsestilstand angiver CC4 følsomheden for forankørendes deceleration. Som standard er denne sat til -0,35 [Uden enhed]. Større værdi angiver mindre følsomhed.
CC5	I forfølgelsestilstand angiver CC5 følsomheden af forankørendes acceleration. Som standard er denne sat til 0,35 [Uden enhed]. Mindre værdi angiver mindre følsomhed.
CC6	I forfølgelsestilstanden angiver CC6 følsomheden ved oscillation. Hvis denne værdi er sat til 0, er oscillationen uafhængig af forankørende bil. Er som standard sat til 11,44 [Uden enhed].
CC7	Accelerationen gennem oscillationsprocessen. Som standard er denne sat til 0,25 m/s ² .
CC8	Accelerationen ved stilstand. Som standard er denne sat til 3,5 m/s ² .
CC9	Acceleration ved 80 km/t. Som standard er denne sat til 1,5 m/s ² .
Driving behavior - Lane Change	
Maximum deceleration	Dette er den mulige deceleration, hvis der <u>skal</u> skiftes vognbane. Denne er påvirket af afstanden til fuldt stop. Som default står denne til -4 m/s ² .
- 1m/s²	Denne parameter reducerer den maksimale deceleration i forhold til afstanden til fuldt stop per 200 m. For eksempel kan en bilist ikke decelerere med maksimal deceleration, hvis der er mere end 200 meter til fuldt stop.
Accepted deceleration	Intet konkret i manual, men knytter sig til vognbaneskift. Denne er sat til -1 m/s ² som standard.
Min headway	Den minimale afstand til forankørende bil for at kunne skifte vognbane. Denne er sat til 0,5 meter som standard
To slower lane if collision time above	Denne parameter styrer tilfældet, hvor bilisten trækker ind i den langsomme bane. Parameteren angiver afstanden i sekunder til

	bilen i den langsommere bane. Man kan sige, at bilen trækker ind, hvis der er plads nok, og langt nok til den næste bil. Parameteren er sat til 11 sekunder som standard.
Safety distance reduction factor	Denne parameter reducerer afstanden til foran og bagvedkørende bil ved indfletning eller baneskit. Denne værdi kan ændres, så aggressionen passer bedre til virkeligheden. Den er sat til 0,6, hvilket medfører en reduktion på 40 %. Denne parameter kan reguleres specielt til ramper og få bedre indfletning.
Maximum deceleration for cooperative braking:	Angiver den maksimale deceleration, en bil benytter ved bremsning i køkørsel. Der tillades stadig, at en bil fletter ind foran, uden ekstra bremsning.
Lateral Behavior	
Benyttes ikke	Denne parameter kommer kun på tale, når der skal overhales i samme bane. For eksempel når cykel og bil skal overhale hinanden. Ikke relevant for motorvej.

13 Bilag: Dataindsamling i VISSIM

VISSIM indeholder fire typer dataindsamlingsmuligheder, som alle skal indlægges i netværket, før simuleringen køres. De vigtigste indsamlingsmuligheder er følgende:



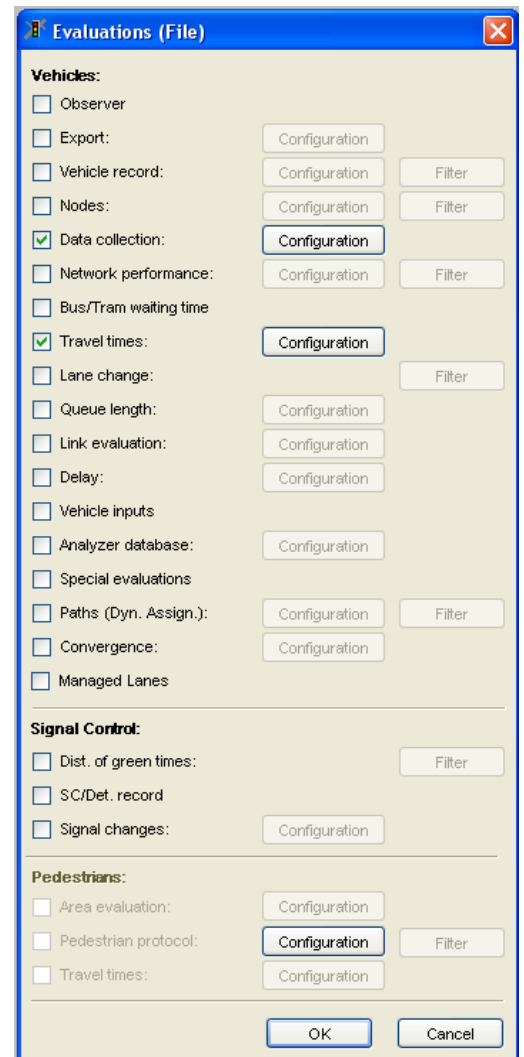
1. **Rejsetiden** indeholder en start- og slutposition, som tæller rejsetiden for alle biler, der har kørt over start- og slutpunktet.



2. **Køtælleren** tæller den gennemsnitlige kølængde, maksimum kølængde og antal stop i køen. Kødannelsen er talt fra køtællerens placering til den sidste bil i køen. I menuen defineres betingelserne for kødannelse.



3. **Dataindsamlingspunkter** kan indsamle vilkårligt data. Eksempelvis kan der indsamles:
 - a. Hastigheder på intervalbasis eller snitværdi
 - b. Acceleration
 - c. Tid brugt i kø
 - d. Emission



Figur 13.1: VISSIM 5.1 analyse muligheder

Der er også flere muligheder for dataindsamling jf. Figur 13.1, men da disse ikke bruges i dette projekt, henvises til manualen for yderligere information. Ved slutningen af hver simulering laver VISSIM en kommasepareret fil, som herefter kan importeres i et databehandlingsprogram som Excel for videre analyse. Nedenfor ses de outputfiler, der kommer fra VISSIM jf. Tabel 13.1.

Tabel 13.1: Filtyper fra VISSIM

Filtype	Data
*.vlz	Forsinkelser
*.fzp	Hastigheder, Acceleration m.m.
*.stz	Kø data
*.rsz	Rejsetid

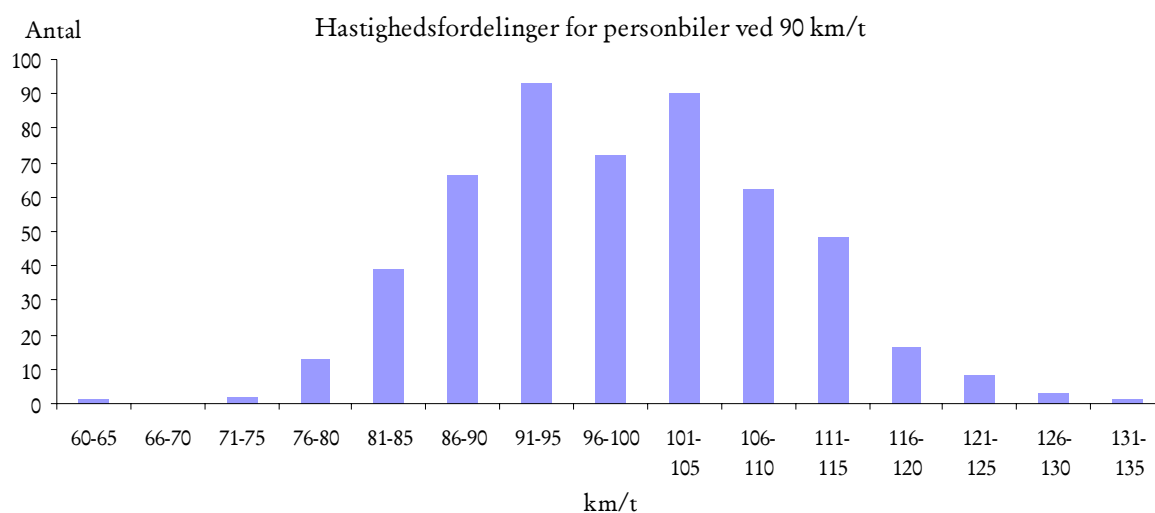
I4 Bilag: Hastighedsfordelinger fra markobservationer

Følgende bilag giver en forklaring af hvordan tilhørende Excelark skal læses. Excelarket kan findes på vedlagte CD-rom under (Excel filer\Hastighedsfordeling- Hastighedsmålinger fra mark)

Læsevejledning til Excelark

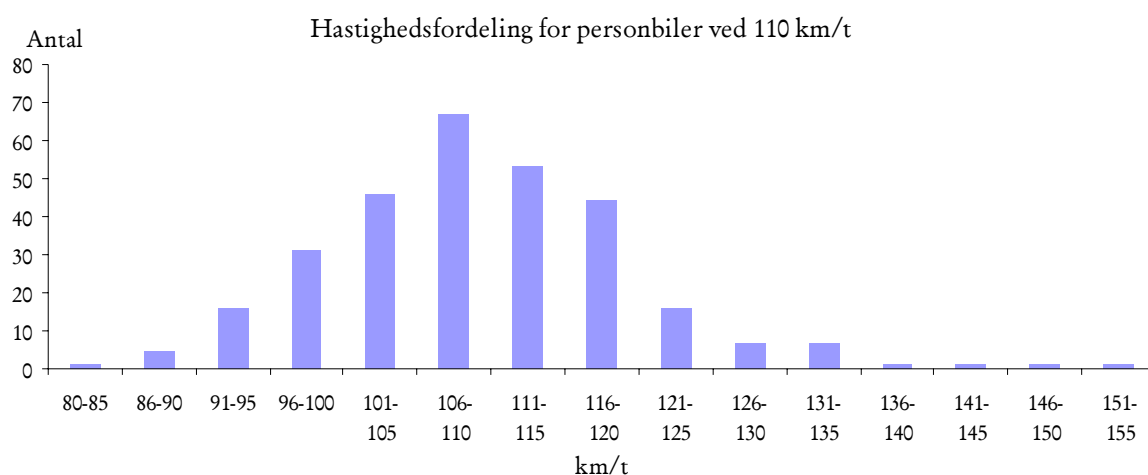
Fane 1 - Total: Her ses alle målinger, som er lavet i marken. Søjlerne er delt op i overordnede kategorier, som refererer til den givne hastighedszone.

Fane 2 – 90 Person: Her ses data fra hastighedsmålinger på strækningen med 90 km/t. Figur 14.1 viser et histogram over målingerne.



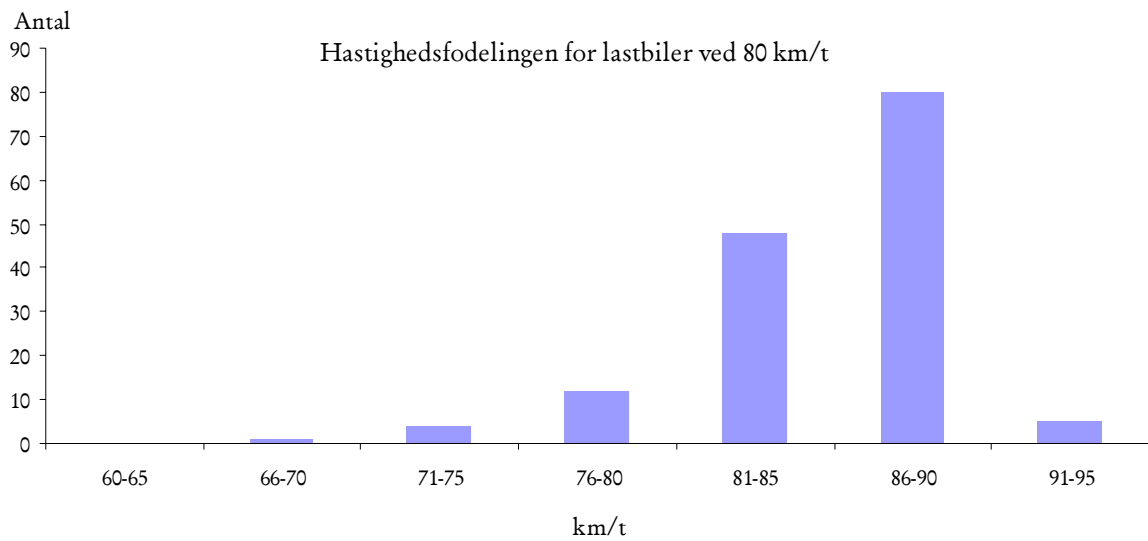
Figur 14.1: Histogram over hastigheder, som er målt i markforsøg i en hastighedszone med 90 km/t.

Fane 3 – 110 Person: Her ses data fra hastighedsmålinger på strækningen med 110 km/t. Figur 14.2 viser et histogram over målingerne.



Figur 14.2: Histogram over hastigheder målt i markforsøg i en hastighedszone med 110 km/t.

Fane 4 - 80 Lastbiler: Her ses data fra hastighedsmålinger af lastbiler på strækningen med 110 km/t. Figur 14.3 viser et histogram over målingerne.



Figur 14.3: Histogram over hastigheder for lastbiler målt i markforsøg i en hastighedszone med 110 km/t

I5 Bilag: Statistisk analyse på hastighedsdata

Følgende bilag undersøger, om ændring i hastighedsfordelingerne har en signifikant indflydelse på bilisternes hastighed. Efterfølgende ses et eksempel på den statistiske analyse ved hastigheden på en 90 km/t strækning. Analyser for 80 og 110 km/t foregår tilsvarende, og data er herefter kun præsenteret.

Test ved 90 km/t

Da datasættet indeholder to stikprøver, skal der først laves en normalitetstest for dermed at fastslå, om de to stikprøver er normalfordelte. Til dette formål benyttes Kolmogorov Smirnov-tests i statistikprogrammet SPSS, og der testes først for førsituationen (VISSIM) og derefter eftersituationen (markresultater) med et signifikantsniveau på 95 %. Der opstilles følgende hypotese for førsituationen og eftersituationen:

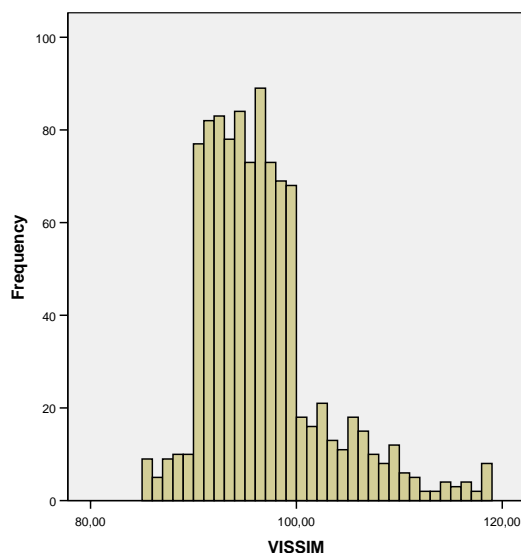
H_0 : Datasættet er normalfordelt når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$

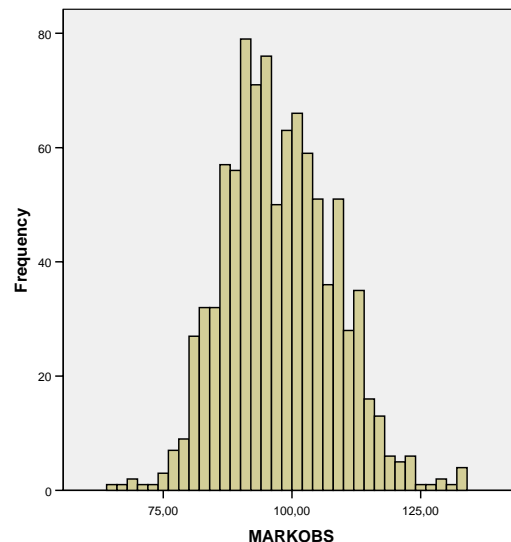
One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VISSIM	MARKOBS
N		1062	949
Normal Parameters(a,b)	Mean	96,5782	97,1433
	Std. Deviation	6,36252	10,53548
Kolmogorov-Smirnov Z		4,773	1,941
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000	,001

Det ses, at der opnås en p-værdi på 0,000 og 0,001. VISSIMs standardfordeling og markfordelingerne er ikke normalfordelte. Dette betyder, at der vælges en nonparametrisk test for varianshomogenitet. Dette kan ydermere bekræftes på Figur 15.1 og Figur 15.2, hvor dataet tilsyneladende ikke ligner normalfordelte data.



110 Figur 15.1: VISSIM histogram



Figur 15.2: Markobservationer

Der skal herefter udføres en test for varianshomogenitet. Til dette benyttes SPSS, hvor der udføres en Levenes test, som gælder for ikke normalfordelte data.

H_0 : Datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig varians: $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Independent Samples Test

Levene's Test for Equality of Variances
Sig.
,000

Det ses at datasættet har forskellig varians, $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, eftersom $p < \alpha$

Der bliver herefter udført en middelværditest, Wilcoxon-rank-sum-test. Denne test samt normalitetstest og varians test bliver udført i MATLAB som ekstra kontrol. For at se hele programkoden se nedenfor.

Programkoden:

```
save trafik

figure
hist(A,100)

figure
hist(B,100)

kstest(A)

[h,p,ksstat,kskrit]=kstest(A)

if p>0.05
    disp('H0 påvist, HA afvist, dvs. data er normalfordelte')
else
    disp('H0 afvist, HA påvist, data er ikke normalfordelte')
end

[h,p,ksstat,kskrit]=kstest(B)

if p>0.05
    disp('H0 påvist, HA afvist, dvs. data er normalfordelte')
else
    disp('H0 afvist, HA påvist, data er ikke normalfordelte')
end

% beregning af z-værdier ved at trække gruppemiddelværdien fra
ZA=abs(A-mean(A));
ZB=abs(B-mean(B));

std(A);
std(B);
```



```

YA=ones(length(A),1);
YB=ones(length(B),1).*2;

[p,table,stats]=anova1([ZA;ZB],[YA;YB])
if p<0.05
    disp('H0 forkastes - varianser er forskellige')
else
    disp('H0 accepteres - varianser er ens')
end

[p_wilcoxon,h,stats] = ranksum(A,B)
if p_wilcoxon>0.05
    disp('H0 accpeteres, middelværdierne er sign. ens')
else
    disp('H0 forkastes, middelværdierne er sign. forskellige')
end

% den analoge test til Wilcoxon er ttesten - Bare for sjov

[h,p_ttest,ci,stats]=ttest2(A,B)

if p_ttest>0.05
    disp('H0 accpeteres, middelværdierne er sign. ens')
else
    disp('H0 forkastes, middelværdierne er sign. forskellige')
end
    
```

Der opstilles følgende hypotese:

H_0 : Datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Resultatet fra MATLAB viser:

$p_{\text{wilcoxon}} = 0.0955$

Det ses at datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, da $p > \alpha$

Test ved 110 km/t

Der testes tilsvarende fordelingerne ved 110 km/t

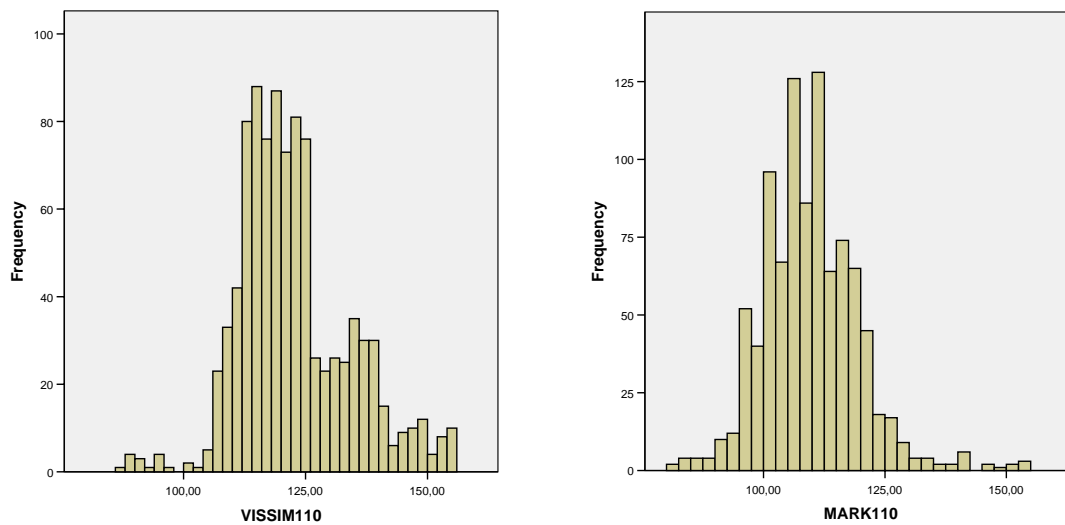
H_0 : Datasættet er normalfordelt når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VISSIM110	MARK110
N		950	949
Normal Parameters(a,b)	Mean	122,0916	109,4805
	Std. Deviation	11,40772	9,85255
Kolmogorov-Smirnov Z		3,582	1,971
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000	,001

H_1 accepteres, da datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$. Neden for ses histogrammer over datasættene.



Der testes for varianshomogenitet.

H_0 : Datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig varians: $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Independent Samples Test

Levene's Test for Equality of Variances
Sig.
,000

Det ses at datasættet har forskellig varians, $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, eftersom $p < \alpha$

Der bliver herefter udført en middelværditest, Wilcoxon-rank-sum test. Denne test bliver udført i MATLAB. Der opstilles følgende hypotese:

H_0 : Datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

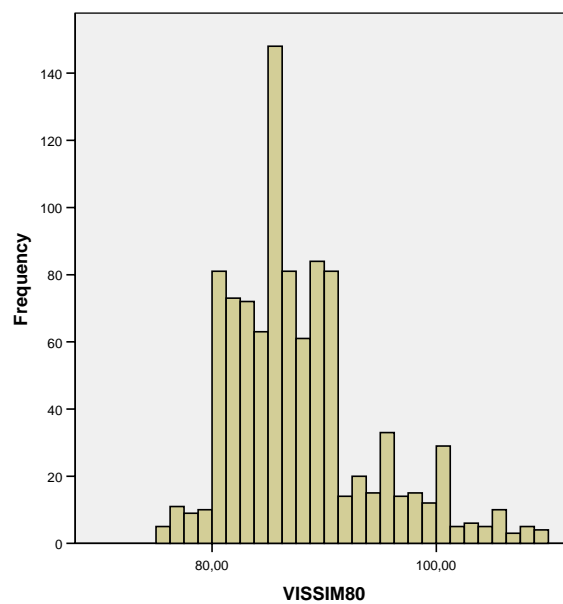
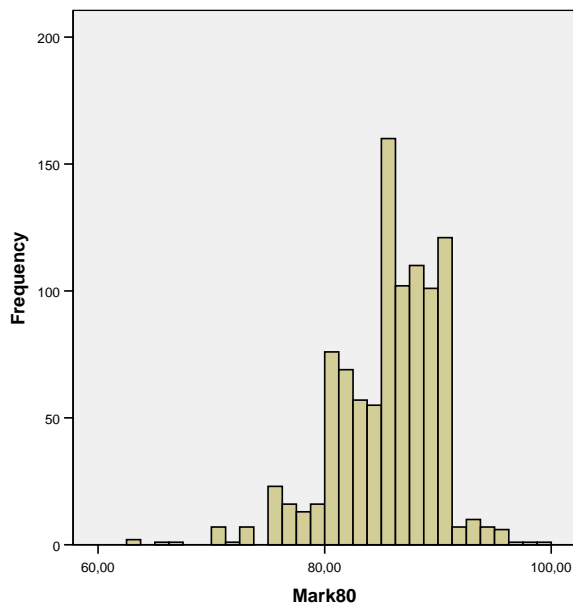
$P_{\text{wilcoxon}} = 1.9546e-128$

H_1 accepteres da datasættet har forskellige middelværdier: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Test for lastbiler med hastighedsbegrænsning på 80 km/t

 H_0 : Datasættet er normalfordelt når $p > \alpha$
 H_1 : Datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$
One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Mark80	VISSIM80
N		971	969
Normal Parameters(a,b)	Mean	85,4398	87,7141
	Std. Deviation	4,48632	6,25837
Asymp. Sig. (2-tailed)		,000	,000

 H_1 accepteres da datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$


Der testes for varianshomogenitet.

 H_0 : Datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$
 H_1 : Datasættet har forskellig varians: $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$
Independent Samples Test

Levene's Test for Equality of Variances
Sig.
,000

 Det ses at datasættet har forskellig varians, $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, eftersom $p < \alpha$

Der bliver herefter udført en middelværditest, Wilcoxon-rank-sum test. Denne test bliver

udført i MATLAB. Der opstilles følgende hypotese:

H_0 : Datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

$p_{\text{wilcoxon}} = 7.2141\text{e-}007$

H_1 accepteres da datasættet har forskellige middelværdier: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

I 6 Bilag: Motorkraftjustering

Dette bilag forklarer, hvordan Excelfilen (Vægt- og kraftfordelinger) på vedlagte cd-rom skal læses.

- Første fane, øverste skema, angiver data, som er indsamlet fra DS. Statistikken viser antallet af lastbiler inden for vægtklasser (Rækker i 1000 kg) i forhold til motoreffekt (Søjler i kW).
- Første fane, andet skema, viser det samme som øverste skema med den forskel, at antallet af lastbiler er justeret på baggrund af fyldestgørende statistikker om totalvægten af lastbiler. Se eksempel nederst.
- Anden fane viser totalvægten for alle lastbiler i Danmark
- Tredje fane viser totalvægten for alle lastbiler i Danmark

For at opnå en bedre fordeling af motorkraften er motorkraften justeret efter fordelingen for totalvægt. Herunder ses et eksempel på beregningsgangen. Tabel 16.1 viser data fra den mangelfulde kraftfordeling, og Tabel 16.2 viser den fulde fordeling efter justering.

Eksempel: I kategorien 4001-5000 kg i Tabel 16.1 ses en fordeling på 279 biler med 200 kW og 1 bil med 200-300 kW. Den procentvise fordeling af disse kW overføres til Tabel 16.2, som indeholder det korrekte antal lastbiler inden for hver vægtkategori. Hermed opnås et skøn på kraftfordelingen af lastbilparken.

Der benyttes således den procentvise fordeling inden for kW i Tabel 16.1 til at beregne den reelle mængde i Tabel 16.2. For at se hele Excelarket henvises til vedlagte cd-rom under filen: Vægt og kraftfordelinger

Tabel 16.1: Før regulering

Lastbiler og sættevognstrækkere efter totalvægt og motoreffekt				
		kg	kg	kg
		3501	4001	5001
	I alt	-	-	-6000
		4000	5000	
I alt		3	280	206
<= 200 kW		3	279	204
201-300 kW		0	1	2
301-400 kW		0	0	0
401-500 kW		0	0	0
501-600 kW		0	0	0
601-700 kW		0	0	0
701-800 kW		0	0	0
801-900 kW		0	0	0

Tabel 16.2: Efter regulering

Fordeling efter ovenstående fordeling med nye statistikker				
		kg	kg	kg
		3501	4001	5001
	I alt	-	-	-
		4000	5000	6000
I alt		14	1728	1328
<= 200 kW		14	1722	1315
201-300 kW		0	6	13
301-400 kW		0	0	0
401-500 kW		0	0	0
501-600 kW		0	0	0
601-700 kW		0	0	0
701-800 kW		0	0	0
801-900 kW		0	0	0

17 Bilag: Statistisk analyse for Vægt og Kraftfordelinger

Datasættene kan findes på vedlagte cd-rom (vejhældning og stoptest). Filen findes under: \Excel filer\Vægt og kraftfordeling.

I stop

Der testes for et stop

Test af normalfordeling for rejsetider

Da datasættet indeholder to stikprøver, skal der først laves en normalitetstest for dermed at fastslå, om de to stikprøver er normalfordelt. Til dette formål benyttes Kolmogorov Smirnov-tests i statistikprogrammet SPSS, og der testes først for førsituationen (VISSIM) og derefter eftersituationen (DK-data) med et signifikantsniveau på 95 %. Der opstilles følgende hypotese for førsituationen og eftersituationen:

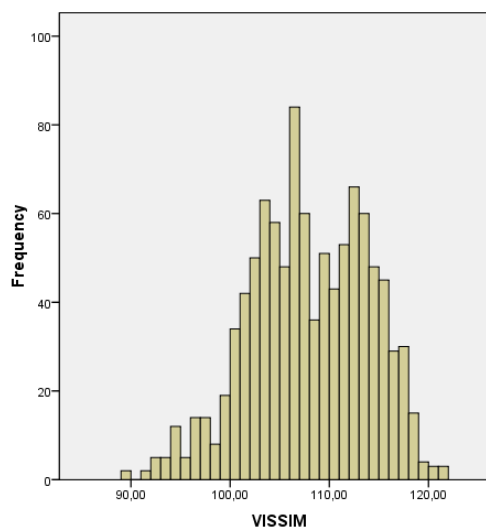
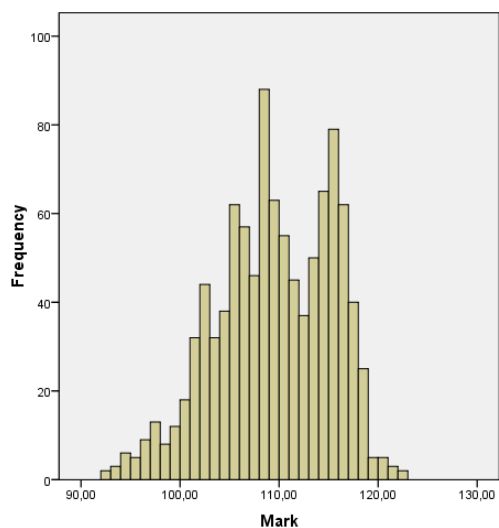
H_0 : Datasættet er normalfordelt når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Mark	VISSIM
N		1011	1011
Normal Parameters(a,b)	Mean	109,4103	107,8727
	Std. Deviation	5,80228	5,991116
Asymp. Sig. (2-tailed)		0	0

Det ses, at der opnås en p-værdi på 0 og 0, og det kan derfor konkluderes, at fordelingerne ikke er normalfordelte. Dette betyder, at der vælges en nonparametrisk test for varianshomogenitet. Det kan ydermere bekræftes på nedenstående histogrammer, at de ikke ligner normalfordelt data.



Der udføres herefter test for varianshomogenitet. Til dette benyttes SPSS, hvor der udføres en Levenes test, som gælder for ikke normalfordelte data.

H_0 : Datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig varians: $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Independent Samples Test

Levene's Test for Equality of Variances	
Sig.	
0.2195	

Det ses at datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

Der bliver herefter udført en middelværditest, Wilcoxon-rank-sum test. Denne test bliver udført i MATLAB. Der opstilles følgende hypotese:

H_0 : Datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Resultatet fra MATLAB viser:

$p_{\text{wilcoxon}} = 4.6643e-009$

Det ses at datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

4 stop

Der testes for fire stop

Test af normalfordeling for rejsetider

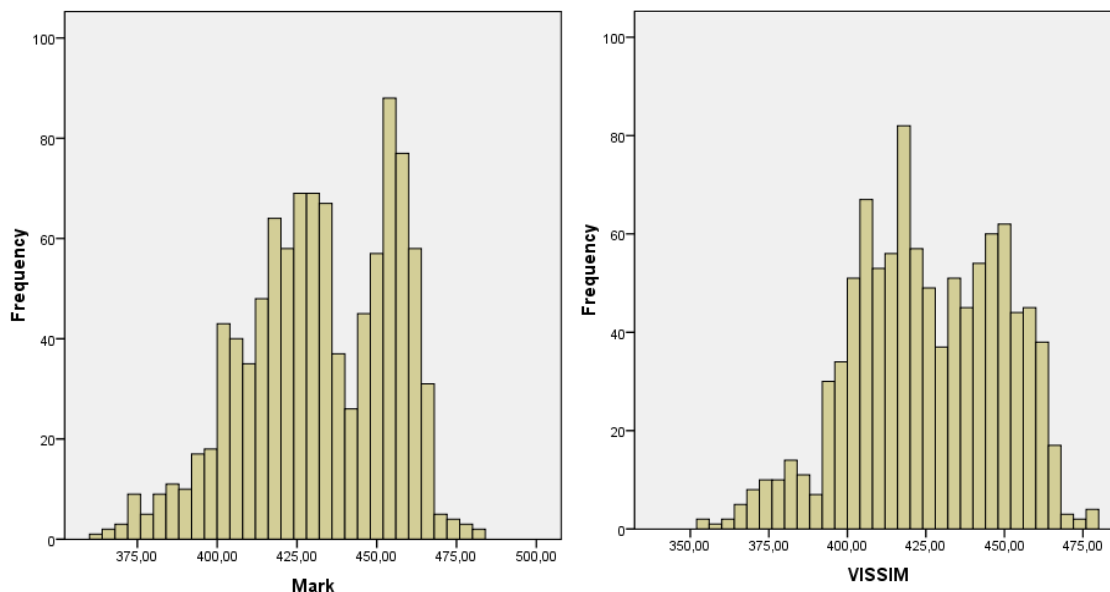
H_0 : Datasættet er normalfordelt når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Mark	VISSIM
N		1011	1011
Normal Parameters(a,b)	Mean	431,7634	425,501
	Std. Deviation	23,05539	23,81407
Asymp. Sig. (2-tailed)		0	0

Det ses, at der opnås en p-værdi på 0 og 0, og det kan derfor konkluderes, at fordelingerne ikke er normalfordelte. Dette betyder, at der vælges en nonparametrisk test for varianshomogenitet. Det kan ydermere bekræftes på nedenstående histogrammer, at de ikke ligner normalfordelt data



Der udføres herefter test for varianshomogenitet. Til dette benyttes SPSS, hvor der udføres en Levenes test, som gælder for ikke normalfordelte data.

H_0 : Datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig varians: $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Independent Samples Test

Levene's Test for Equality of Variances
Sig.
0.2113

Det ses at datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

Der bliver herefter udført en middelværditest, Wilcoxon-rank-sum test. Denne test bliver udført i MATLAB. Der opstilles følgende hypotese:

H_0 : Datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Resultatet fra MATLAB viser:

$p_{\text{wilcoxon}} = 1.1096e-009$

Det ses at datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

8 stop

Der testes for otte stop

Test for normalfordeling for rejsetider

Da datasættet indeholde to stikprøver, skal der først laves en normalitetstest.

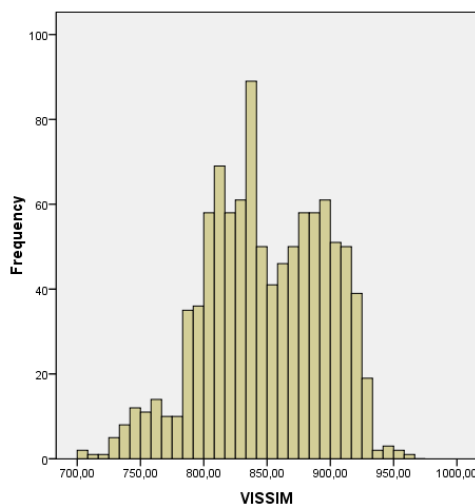
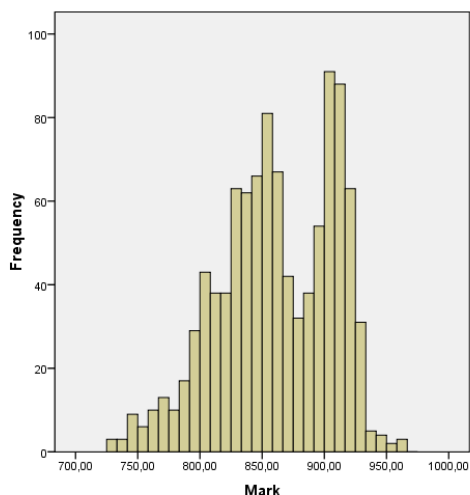
H_0 : Datasættet er normalfordelt når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet er ikke normalfordelt når $p < \alpha$

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Mark	VISSIM
N		1011	1011
Normal Parameters(a,b)	Mean	861,1352	846,1092
	Std. Deviation	46,63568	47,54072
Asymp. Sig. (2-tailed)		0	0

Resultatet viser en p værdi på 0,0 og 0,0, og det kan derfor konkluderes at dataen ikke er normalfordelte. Dette betyder, at der vælges en nonparametrisk test for varians homogenitet.



Der skal herefter udføres en test for varianshomogenitet. Til dette benyttes SPSS, hvor der udføres en Levenes test, som gælder for ikke normalfordelte data.

H_0 : Datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig varians: $\sigma_{\text{før}} \neq \sigma_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Independent Samples Test

Levene's Test for Equality of Variances
Sig.
0,2539

Det ses at datasættet har ens varians: $\sigma_{\text{før}} = \sigma_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

Der bliver herefter udført en middelværditest, Wilcoxon-rank-sum test. Denne test bliver udført i MATLAB. Der opstilles følgende hypotese:

H_0 : Datasættet har ens middelværdi: $\mu_{\text{før}} = \mu_{\text{efter}}$, når $p > \alpha$

H_1 : Datasættet har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

Resultatet fra MATLAB viser:

`p_wilcoxon = 1.2459e-009`

Det ses at datasættene har forskellig middelværdi: $\mu_{\text{før}} \neq \mu_{\text{efter}}$, når $p < \alpha$

I8 Bilag: Beregning af simuleringsantal

Da trafikken har stokastisk natur, er det statistisk muligt at beregne, hvor mange simuleringer der kræves for at sikre et solidt kalibreringsgrundlag. Tabel 18.1 viser startværdierne, som er benyttet til at beregne antal nødvendige simuleringer.

Tabel 18.1: Startsværdier til beregning af simuleringsantal.

Middelværdi af kørsler	72,72 km/t
Spredningen fra 6 kørsler	12,75955
Konfidensinterval	5 %
N-start	70
Student t-test værdi start	1,667

Herefter itereres der frem til antallet af nødvendige kørsler. Processen stopper ved N4, som er markeret med gråt i Tabel 18.2. I tabellen er der opstillet beregninger med forskellige konfidensintervaller. Det ses, at jo mindre konfindesinterval, desto færre simuleringer er nødvendige.

Tabel 18.2: Tabel over itereringer.

konfidensinterval	t1	t2	t3	t4	Nstart	N1	N2	N3	N4
5 %	1,99	1,98	1,98	1,98	70	103,61	102,45	102,48	102,48
10 %	1,66	1,73	1,72	1,72	70	18,09	19,58	19,47	19,47
15 %	1,45	1,65	1,61	1,61	70	6,13	7,88	7,56	7,56

19 Bilag: Trafikafvikling med standardindstillingerne

Nedenfor ses et screenshot af VISSIM, hvor der er kø i flettesporet.



Figur 19.1: Unaturlige kødannelser i VISSIM med standard indstillinger

20 Bilag: Adfærdsparametrene til kalibrering

I Tabel 20.1 ses de komplekse parametre som kan finjusteres i VISSIM for bedre trafikafvikling. For overskuelighedens skyld er de skrevet på engelsk så de kan findes i manualen og i modellen.

Tabel 20.1: Parametre i VISSIM [Park 2006 p.30]

No.	Parameter	
1	Simulation Resolution	
2	Car Following Parameter	Maximum Look Ahead Distance
3		Average Standstill Distance
4		Additive Part of Safety Distance
5		Multiple Part of Safety Distance
6		CC0, Average Standstill Distance
7		CC1, Headway Time
8		CC2, "Following" Variation
9		CC3, Threshold for Entering "Following"
10		CC4, Negative "Following" Threshold
11		CC5, Positive "Following" Threshold
12		CC6, Speed Dependency of Oscillation
13		CC7, Oscillation Acceleration
14		CC8, Standstill Acceleration
15		CC9, Acceleration at 80km/h
16	Lane Change Parameter	Maximum Deceleration
17		Reduction Rate (-1m/s ² per Distance)
18		Accepted Deceleration
19		Waiting Time Before Diffusion
20		Minimum Headway
21	Desired Speed Distribution	
22	Priority Rule	Minimum Gap Time
23		Minimum Headway