

Vejr og vejkapacitet

Thomas C. Jensen



$$P(i|V) = \frac{\partial \ln G(e^V)}{\partial V_i} \int_a^b \epsilon \Theta^{\sqrt{17}} + \Omega \int \delta e^{i\pi} = \{2.7182818284\} \infty \chi^2 \Sigma ! \gg \approx$$

Baggrund

- Stigende opmærksomhed på klimatilpasning – også på transportområdet – varmere vejr, flere skybrud osv.
- DTU klimacenter har finansieret
- Bortledning af vand fra infrastruktur er nok det største problem - men
- Her ses på betydningen af vejret for speed-flowkurver
- Data for Køge Bugt Motorvejen 2012-13

Formål

- Estimere vejrforholdenes betydning for
 - Hastighed
 - Kapaciteten
 - Variationen i hastigheden
- Påvirkningen tænkes at gå via
 - føre (vand, is, slud og sne på vejen)
 - sigtbarhed (nedbør, dis/tåge, mørke)
 - retningsstabilitet (vind)
- Afhænger vejreflekterne af trafikomfanget?
 - hvor flytter speed-flowkurven sig mest?

Data for Køge Bugt Motorvejen

- 15-minutters data for hastighed og trafikmængde for fra VD (2012-2013)
 - indgående trafik i 3 segmenter
 - 3 spor og hastighedsgrænse på 110 km/t
- 10-minutters data fra Tune Lufthavn (DMI):
 - nedbørsintensitet (ikke nedbørstype)
 - sigtbarhed
 - temperatur
 - vindstyrke
- Daglige observationer af snedybden i Roskilde By (DMI)
- Solopgangs- og nedgangstider samt varighed af civilt tussmørke
- Fjernelse af:
 - natobservationer (22:00 - 04:00)
 - perioder med vejarbejde
 - observationer med hastigheder under 15 km/t
 - enkelte observationer med mere end 40 biler per spor per minut
- Tilbage: 20.000-40.000 observationer per segment

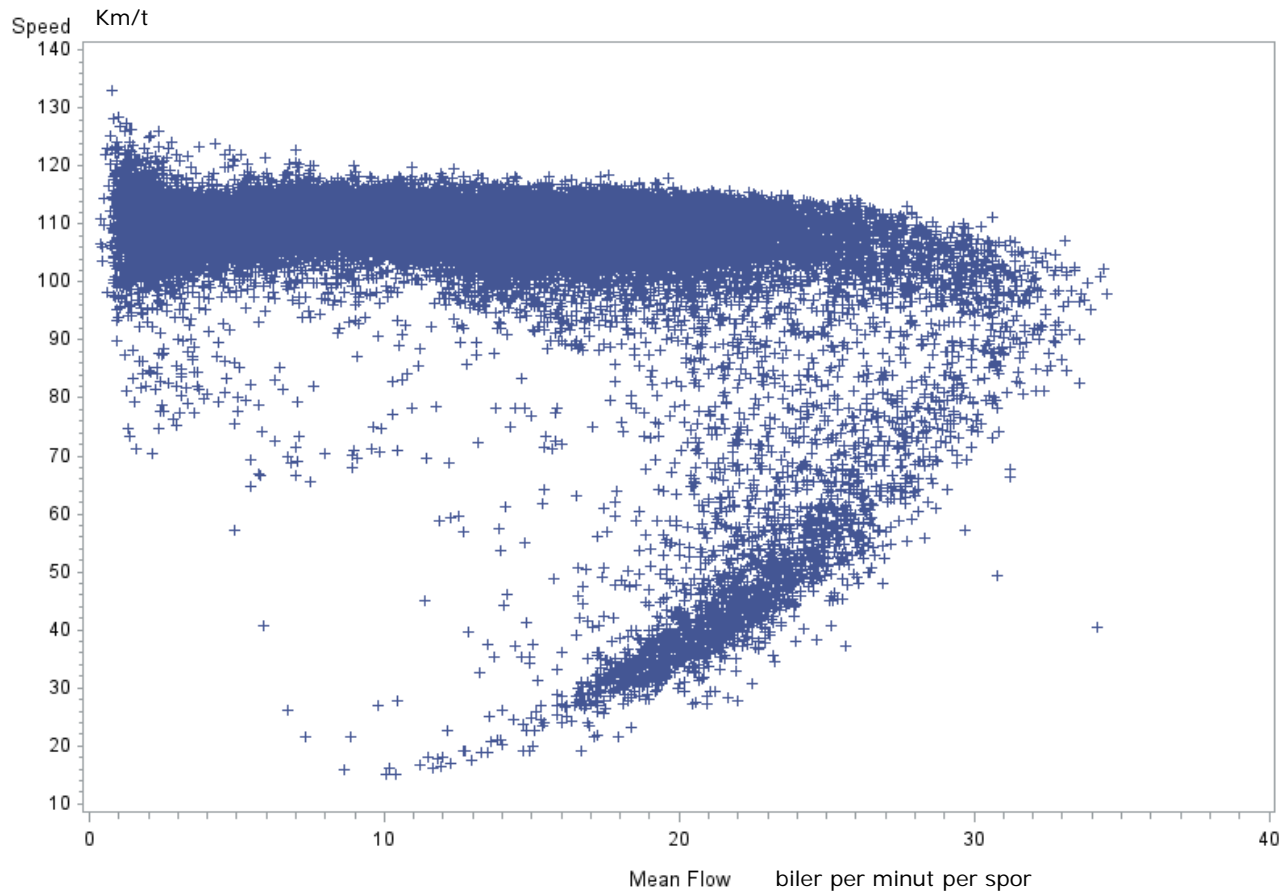
Vejsegmenter og vejrstationer



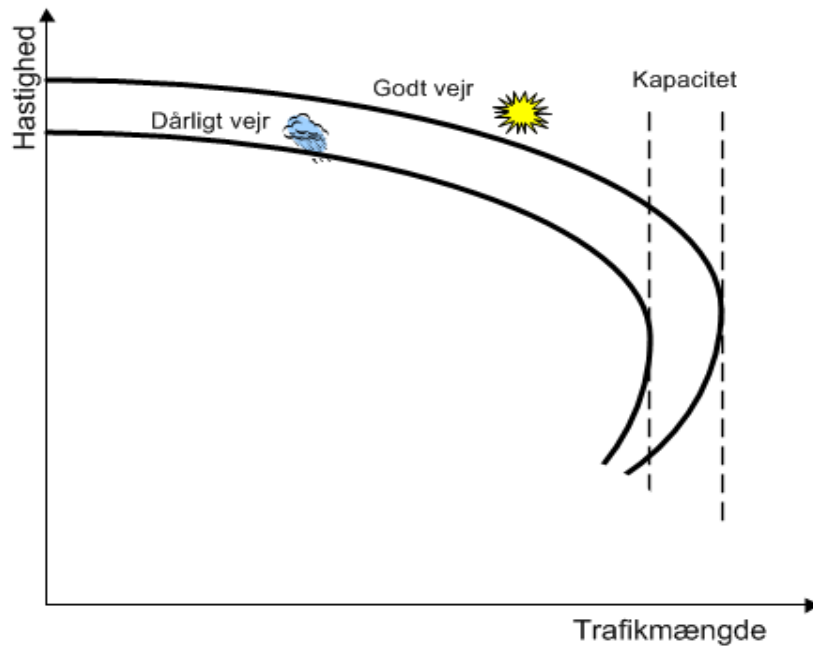
Kort: Eniro.dk

Speed-flowdata

Segment 1 (knap 40.000 obs.)



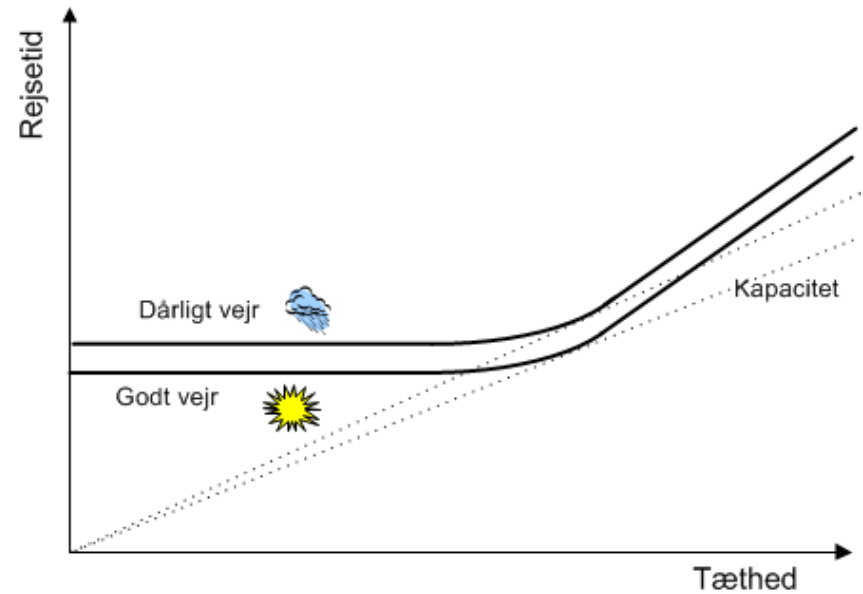
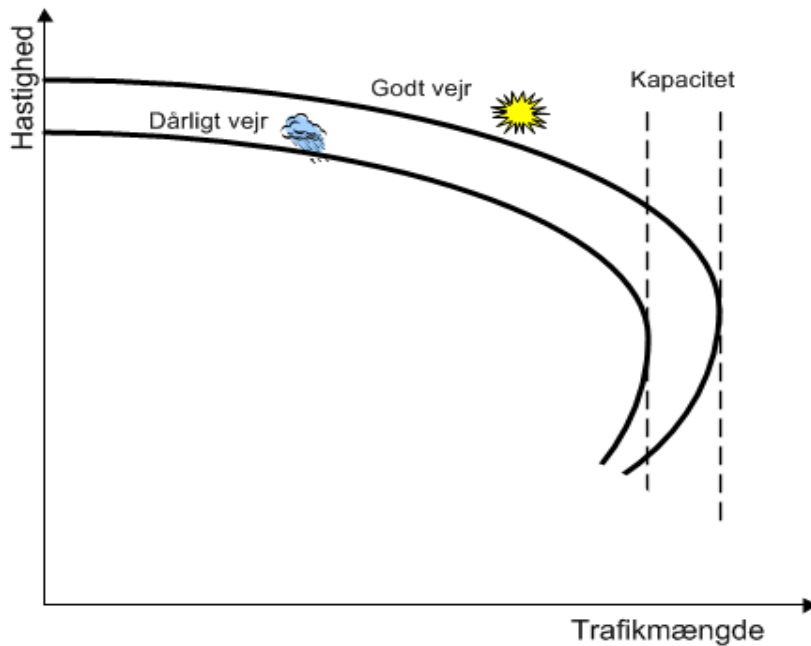
Speed-flowkurven



Speed-flowkurven kan omformes

Trafikmængde \equiv Hastighed \cdot Tæthed

Trafikmængde \equiv Tæthed / Rejsetid per km

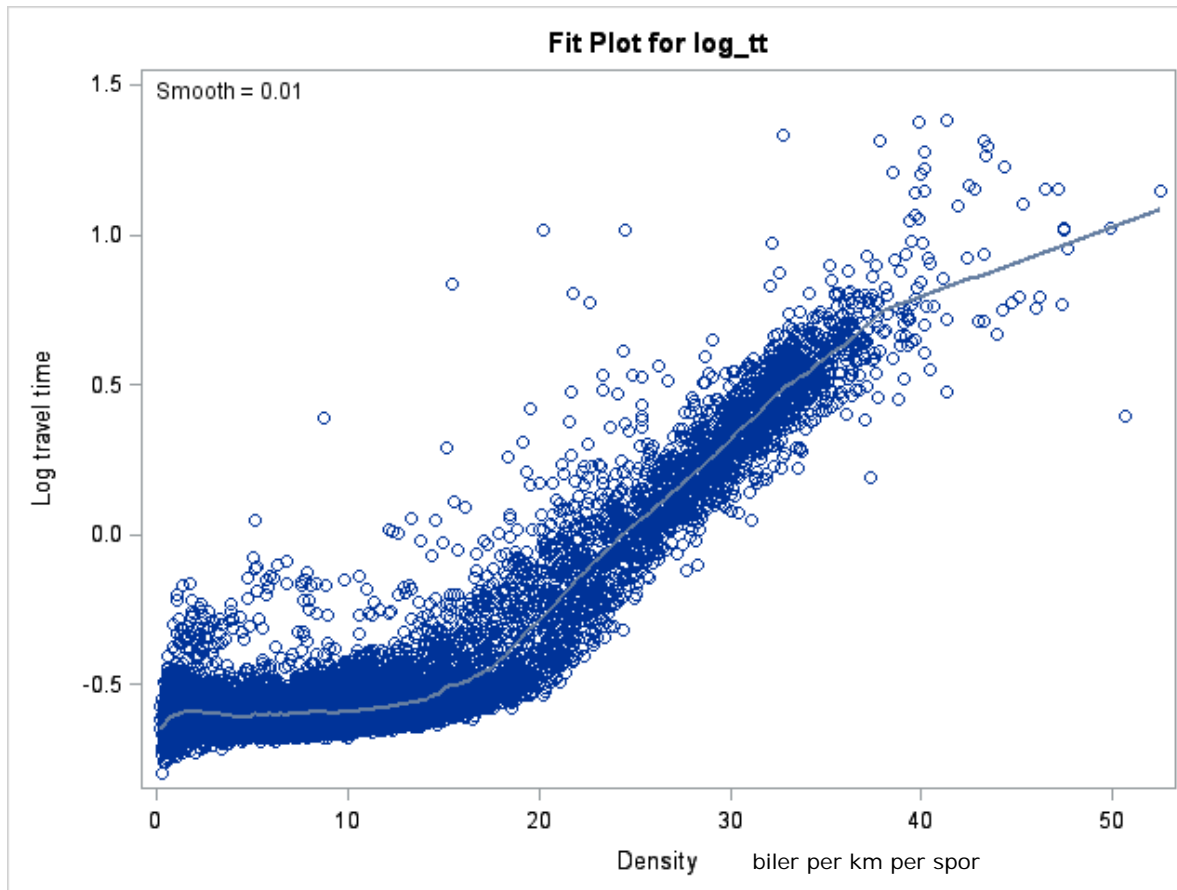


Estimationsmetode

- Estimation af rejsetid/km som funktion af trafiktæthed
- To-trinsprocedure
 1. ikke-parametrisk estimation af $\log(\text{rejsetid/km})$ mod tæthed alene
 2. lineær regression af residualerne fra trin 1 mod vejrvariablerne
- Trafiktætheden er (næsten) ikke korreleret med vejrvariablerne

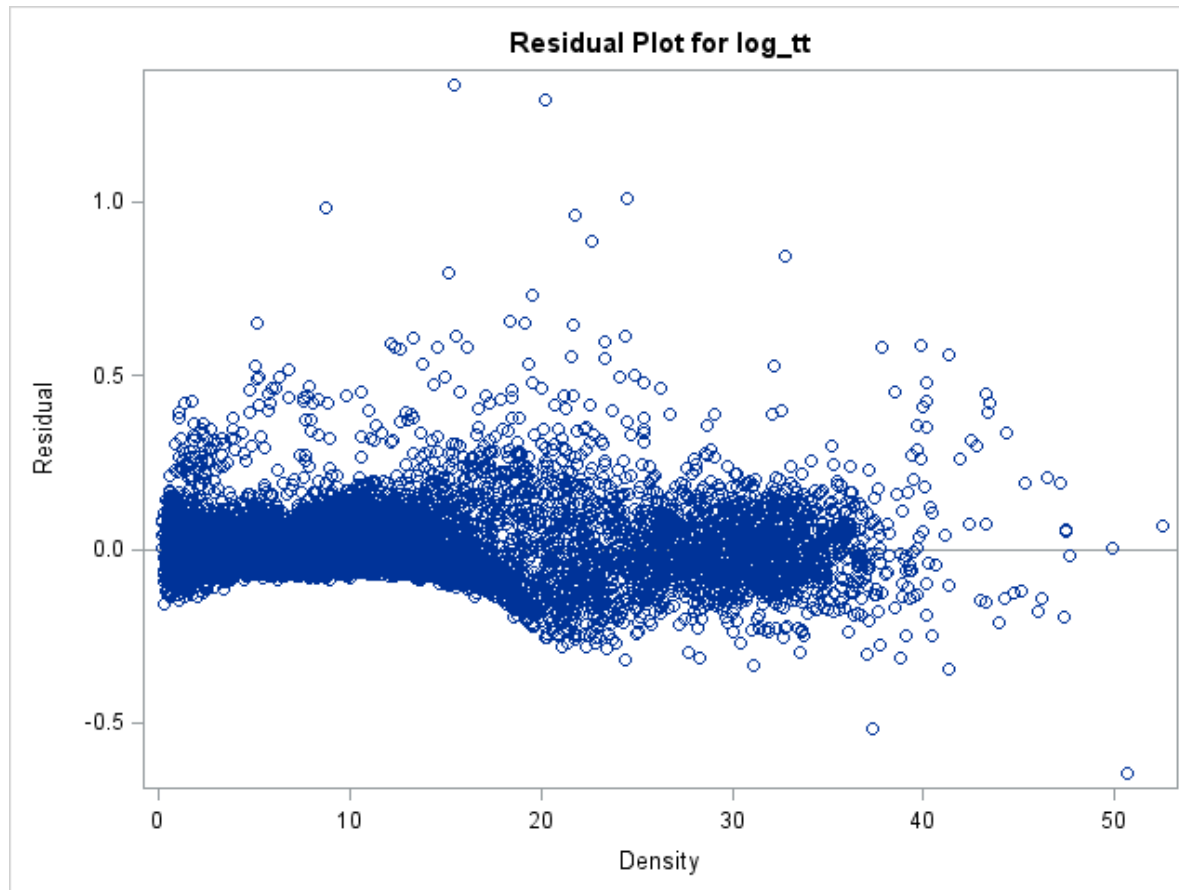
Resultat for rejsetid vs. trafiktaethed (trin1)

Segment 1 (knap 40.000 obs.)



Rejsetids-residualer fra trin 1

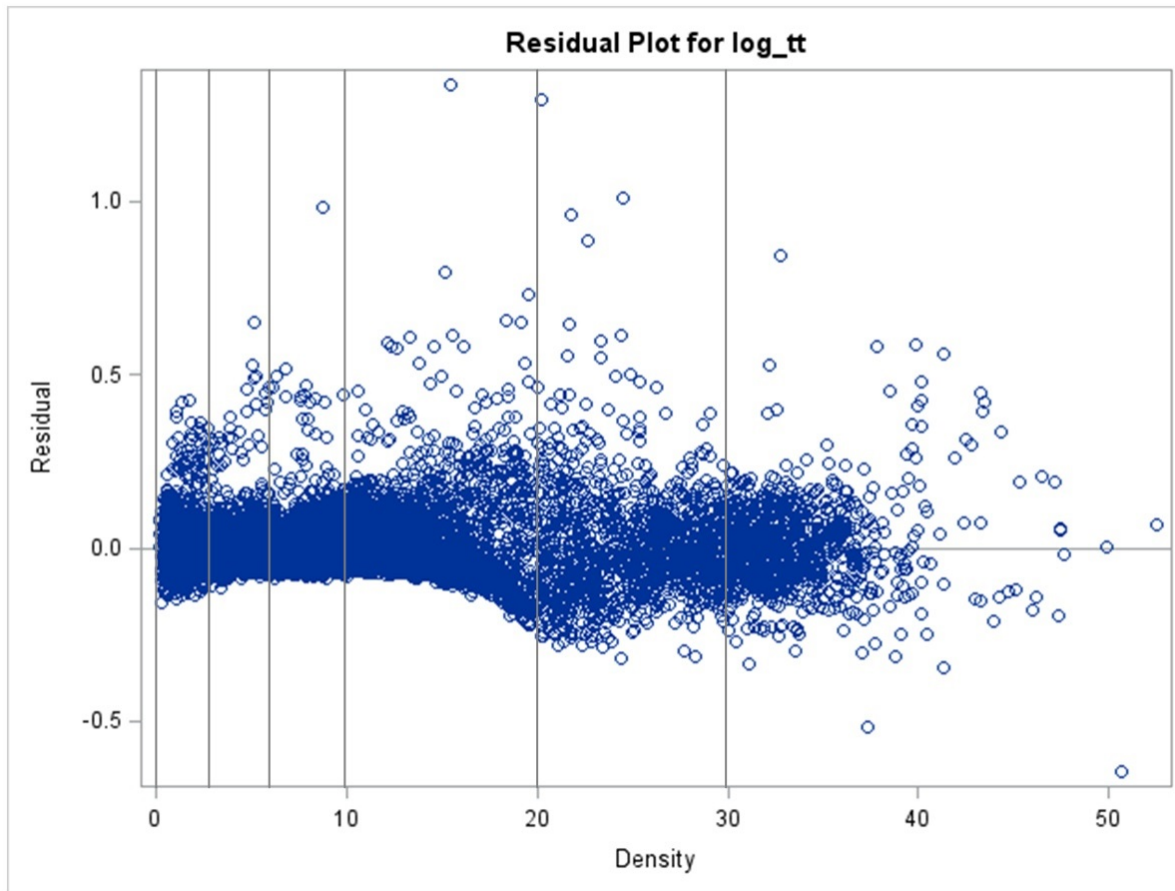
Segment 1 (knap 40.000 obs.)



Estimation, trin 2

- Alle vejrvariabler er oversat til 0/1 variabler
 - mørke
 - frost
 - snedække
 - let nedbør: op til 2 mm/t, kraftig nedbør: over 2 mm/t
 - dis: sigt på 1.000 – 10.000 meter, tåge: under 1000 meter
 - vind (over 5 m/s – for få obs. med storm i data)
- Residual af $\log(\text{rejsetid/km}) = a + b \cdot \text{mørke} + c \cdot \text{frost} + d \cdot \text{snedække} + \dots$
- Forventet fortegn for alle parametre: positivt
- Separate lineære estimationer for 6 bånd: trafiktæthed afgrænset af:
3 – 6 – 10 – 20 – 30 (biler per km)

Bånd for trafiktæthed til trin 2



Resultater for $\log(\text{rejsetid}/\text{km})$, segment 1

Tæthed	0-3	3-6	6-10	10-20	20-30	Over 30
Obs.	5.390	7.163	16.899	8.229	1.223	885
RMSE	0.046	0.037	0.034	0.065	0.145	0.123
Mørke	0.0082	0.0025	0.0012	-0.0101	-0.0523	0.0200
Frost	0.0107	0.0086	0.0047	-0.0004	0.0168	-0.0155
Snedække	0.0264	0.0109	-0.0054	0.0320	0.0882	0.1007
Let nedbør	0.0246	0.0270	0.0300	0.0498	0.0676	0.0346
Kraft. nedb.	0.0352	0.0340	0.0453	0.0718	0.0311	-0.0447
Dis	0.0170	0.0103	0.0049	0.0088	0.0136	0.0033
Tåge	0.0080	0.0086	0.0264	-0.0029	0.0122	0.0019
Vind	0.0077	0.0038	0.0006	0.0009	0.0187	-0.0029

Fede tal: signifikante på 1%-niveau

Resultater for $\log(\text{rejsetid}/\text{km})$, segment 1

Tæthed	0-3	3-6	6-10	10-20	20-30	Over 30
Obs.	5.390	7.163	16.899	8.229	1.223	885
RMSE	0.046	0.037	0.034	0.065	0.145	0.123
Mørke	0.0082	0.0025	0.0012	-0.0101	-0.0523	0.0200
Frost	0.0107	0.0086	0.0047	-0.0004	0.0168	-0.0155
Snedække	0.0264	0.0109	-0.0054	0.0320	0.0882	0.1007
Let nedbør	0.0246	0.0270	0.0300	0.0498	0.0676	0.0346
Kraft. nedb.	0.0352	0.0340	0.0453	0.0718	0.0311	-0.0447
Dis	0.0170	0.0103	0.0049	0.0088	0.0136	0.0033
Tåge	0.0080	0.0086	0.0264	-0.0029	0.0122	0.0019
Vind	0.0077	0.0038	0.0006	0.0009	0.0187	-0.0029

Fede tal: signifikante på 1%-niveau

Resultater for $\log(\text{rejsetid}/\text{km})$, segment 1

Tæthed	0-3	3-6	6-10	10-20	20-30	Over 30
Obs.	5.390	7.163	16.899	8.229	1.223	885
RMSE	0.046	0.037	0.034	0.065	0.145	0.123
Mørke	0.0082	0.0025	0.0012	-0.0101	-0.0523	0.0200
Frost	0.0107	0.0086	0.0047	-0.0004	0.0168	-0.0155
Snedække	0.0264	0.0109	-0.0054	0.0320	0.0882	0.1007
Let nedbør	0.0246	0.0270	0.0300	0.0498	0.0676	0.0346
Kraft. nedb.	0.0352	0.0340	0.0453	0.0718	0.0311	-0.0447
Dis	0.0170	0.0103	0.0049	0.0088	0.0136	0.0033
Tåge	0.0080	0.0086	0.0264	-0.0029	0.0122	0.0019
Vind	0.0077	0.0038	0.0006	0.0009	0.0187	-0.0029

Fede tal: signifikante på 1%-niveau

Resultater for $\log(\text{rejsetid}/\text{km})$, segment 1

Tæthed	0-3	3-6	6-10	10-20	20-30	Over 30
Obs.	5.390	7.163	16.899	8.229	1.223	885
RMSE	0.046	0.037	0.034	0.065	0.145	0.123
Mørke	0.0082	0.0025	0.0012	-0.0101	-0.0523	0.0200
Frost	0.0107	0.0086	0.0047	-0.0004	0.0168	-0.0155
Snedække	0.0264	0.0109	-0.0054	0.0320	0.0882	0.1007
Let nedbør	0.0246	0.0270	0.0300	0.0498	0.0676	0.0346
Kraft. nedb.	0.0352	0.0340	0.0453	0.0718	0.0311	-0.0447
Dis	0.0170	0.0103	0.0049	0.0088	0.0136	0.0033
Tåge	0.0080	0.0086	0.0264	-0.0029	0.0122	0.0019
Vind	0.0077	0.0038	0.0006	0.0009	0.0187	-0.0029

Fede tal: signifikante på 1%-niveau

Resultater for $\log(\text{rejsetid}/\text{km})$, segment 1

Tæthed	0-3	3-6	6-10	10-20	20-30	Over 30
Obs.	5.390	7.163	16.899	8.229	1.223	885
RMSE	0.046	0.037	0.034	0.065	0.145	0.123
Mørke	0.0082	0.0025	0.0012	-0.0101	-0.0523	0.0200
Frost	0.0107	0.0086	0.0047	-0.0004	0.0168	-0.0155
Snedække	0.0264	0.0109	-0.0054	0.0320	0.0882	0.1007
Let nedbør	0.0246	0.0270	0.0300	0.0498	0.0676	0.0346
Kraft. nedb.	0.0352	0.0340	0.0453	0.0718	0.0311	-0.0447
Dis	0.0170	0.0103	0.0049	0.0088	0.0136	0.0033
Tåge	0.0080	0.0086	0.0264	-0.0029	0.0122	0.0019
Vind	0.0077	0.0038	0.0006	0.0009	0.0187	-0.0029

Fede tal: signifikante på 1%-niveau

Resultater for $\log(\text{rejsetid}/\text{km})$, segment 1

Tæthed	0-3	3-6	6-10	10-20	20-30	Over 30
Obs.	5.390	7.163	16.899	8.229	1.223	885
RMSE	0.046	0.037	0.034	0.065	0.145	0.123
Mørke	0.0082	0.0025	0.0012	-0.0101	-0.0523	0.0200
Frost	0.0107	0.0086	0.0047	-0.0004	0.0168	-0.0155
Snedække	0.0264	0.0109	-0.0054	0.0320	0.0882	0.1007
Let nedbør	0.0246	0.0270	0.0300	0.0498	0.0676	0.0346
Kraft. nedb.	0.0352	0.0340	0.0453	0.0718	0.0311	-0.0447
Dis	0.0170	0.0103	0.0049	0.0088	0.0136	0.0033
Tåge	0.0080	0.0086	0.0264	-0.0029	0.0122	0.0019
Vind	0.0077	0.0038	0.0006	0.0009	0.0187	-0.0029

Fede tal: signifikante på 1%-niveau

Effekt på hastighed (alle 3 segmenter)

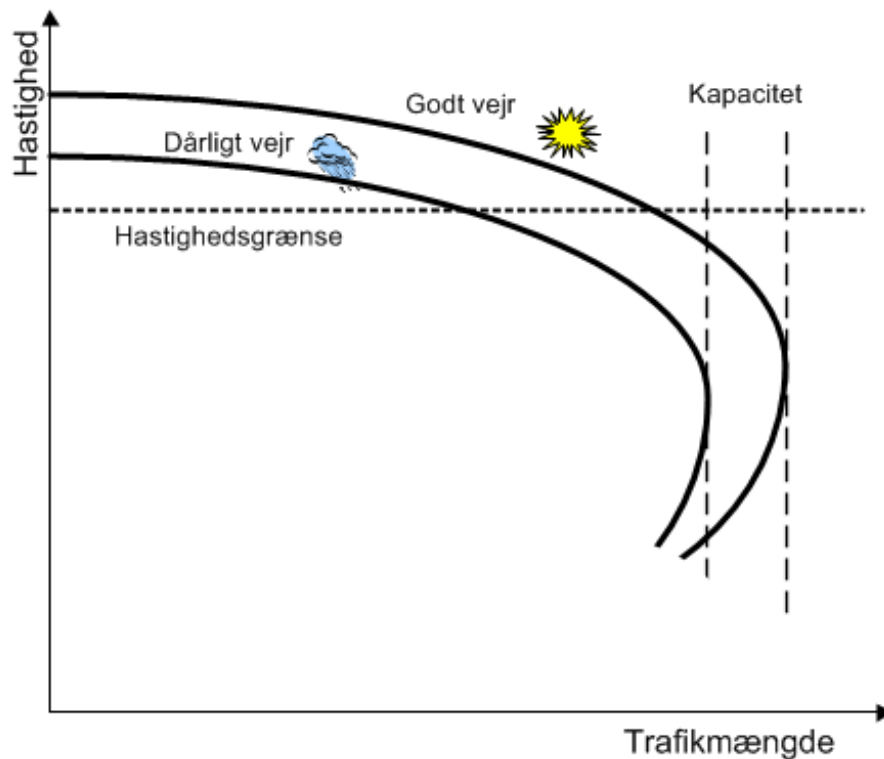
- Nedbør har klar effekt: ca. 2-5% ved let nedbør og 4-8% ved kraftig nedbør
- Sne på jorden ser ud til at sænke farten med 1-3%
- Dårlig sigt sænker farten med ca. 1%, men mere usikkert
- Ingen sikker effekt af "snefald" (nedbør i frostvejr) – udeladt
- Lidt mindre effekter end findes udenlandske studier

- Svag tendens til at effekterne stiger med tætheden op til 20 biler/km

- Generelt er effekter ved tæthed over ca. 20 biler/km tvivlsomme
 - ofte få observationer med fx sne eller kraftig regn **og** tæt trængsel
 - måske begrænser de andre biler snarere end vejret farten?

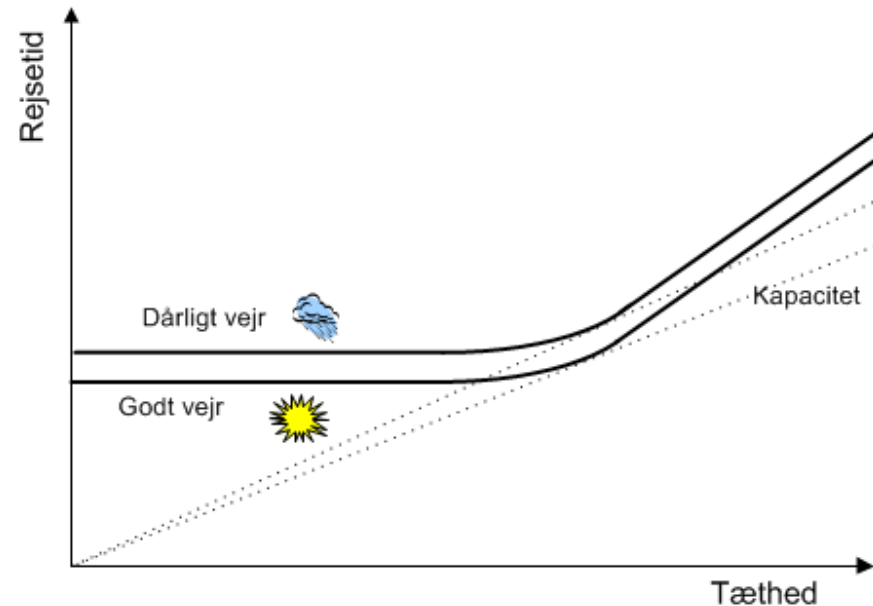
Hastighedsgrænser og vejreftekt

Hastighedsgrænser kan betyde, at vi observerer mindre vejreftekte ved små trafikstrømme



Effekt på kapacitet

- Kapaciteten er fundet som det største forudsagte flow



- Eneste gennemgående, signifikant effekt: sne reducerer kapaciteten (maksimalt antal biler per spor per time) med ca. 7%
 - muligvis undervurderet pga. afstand til målested og lav frekvens
 - noget lavere effekt end i udenlandske studier
- Nedbør ser ud til at have effekt i samme størrelsesorden, men sjældent signifikant

Rejsetidsvariation

- En omkostning på linje med rejsetid
- Dårligt vejr kan tænkes at øge rejsetidsvariationen
- Estimation af kvadrerede residualer på samme variabler som før
 - et mål for den gns. afstand til den forventede rejsetid
- Kun synlig effekt ved lav trafiktæthed →



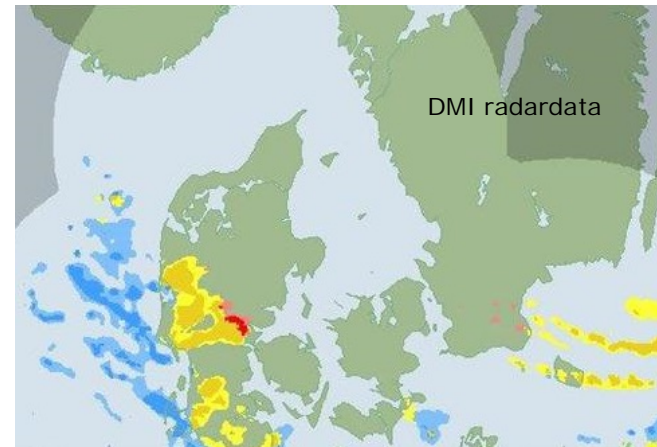
Resultater for rejsetidsvariation, segment 1

Tæthed	0-3	3-6	6-10	10-20	20-30	Over 30
Obs.	5.390	7.163	16.899	8.229	1.223	885
RMSE	0.0086	0.0103	0.0096	0.0281	0.0739	0.0425
Mørke	0.0003	-0.0007	-0.0002	0.0024	-0.0045	0.0016
Frost	0.0020	0.0019	0.0035	-0.0008	-0.0020	-0.0016
Snedække	0.0049	0.0005	-0.0024	0.0039	0.0072	0.0007
Let nedbør	-0.0001	0.0016	0.0008	0.0027	0.0059	-0.0030
Kraft. nedb.	0.0004	0.0009	0.0031	0.0057	-0.0092	-0.0070
Dis	0.0026	0.0013	0.0007	0.0007	-0.0058	-0.0055
Tåge	0.0008	0.0022	0.0094	0.0022	-0.0124	-0.0102
Vind	0.0009	0.0003	0.0002	-0.0012	0.0006	-0.0041

Fede tal: signifikante på 1%-niveau

Afrunding

- Der er vejreflekter, men lidt små ift. udenlandske studier
 - størst for hastigheder
 - nedbør (2-8%)
 - snedække (1-3%) (mere for kap.)
- Ønske: Bedre data
 - kortere afstand til vejrmålesteder
 - opdeling på nedbørstyper
 - radardata?
 - andel af tunge køretøjer mangler
- Lang vej til vurdering af effekten af klimaforandringer
 - resultater kan ikke umiddelbart overføres til andre veje eller vejtyper
 - kryds og ramper er ikke med
 - vejrets effekt på trafikefterspørgslen
 - ...



Tak for opmærksomheden

Spørgsmål?