

**Marginale eksterne ulykkesomkostninger
og personbilers vægt**

Thomas Bue Bjørner
De Økonomiske Råds Sekretariat

Merete Høj Kjeldsen
De Økonomiske Råds Sekretariat

Kristian Vest Nielsen
De Økonomiske Råds Sekretariat

Arbejdsrapport 2013:2

Sekretariatet udgiver arbejdsrapporter, hvori der redegøres for tekniske, metodemæssige og/eller beregningsmæssige resultater. Emnerne vil typisk være knyttet til dele af formandskabets redegørelser. Sekretariatet har ansvaret for arbejdsrapporterne.

John Smidt
Sekretariatschef

ISSN 0907-2977 (Arbejdsblad - De Økonomiske Råds Sekretariat)

Fås ved henvendelse til:
De Økonomiske Råds Sekretariat
Amaliegade 44
1256 København K
Tlf.: 33 44 58 00
Fax: 33 32 90 29
E-post: dors@dors.dk
Hjemmeside: www.dors.dk

External accident cost and vehicle weight in Denmark

Working paper 2013:2

Abstract:

Accidents are generally considered one of the mayor social costs associated with car traffic. The marginal external accident costs of car use are traditionally calculated for different categories of road users (e.g. passenger cars, vans and trucks) but without distinguishing between the weights of vehicles in each category. However, it is widely recognized that vehicle weight is important for the severity of an accident. The purpose of the paper is to estimate the importance of vehicle weight for the marginal external accident cost of passenger car use. The analysis is based on data from the Danish Road Directorate register for traffic accidents covering all police reported accident in Denmark in the period 2003-11. Data on traffic accidents are merged with information on car characteristics from the Danish motor vehicle register and a large number of socioeconomic characteristics of the involved car drivers from administrative registers. The empirical analysis shows that heavy passenger cars are more dangerous to the occupants in other cars when collision occurs. An increase in the car weight by 100 kg increase the baseline fatality risk for the driver and passenger in another car by 11 pct. and the risk of a severe injury with 6 pct. given a collision occurs. It is found that the total marginal external accident cost for a small car (750 kg) is 0.07 DKR per kilometer. This value increase with car weight and the marginal external accident cost for a large car (1,750 kg) is about 0.11 DKR per kilometer. However, even though vehicle weight is important for the external accidents cost, the location of driving is far more important due to higher accident probabilities in urban areas as compared to rural areas. For a car of average weight the marginal external accident costs per kilometer is 8 times higher in urban areas as compared to rural areas.

Keywords: External accident cost of passenger cars, vehicle weight externality

JEL: H23, I18, R41, R48

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning.....	5
2.	Beskrivelse af trafikuheld i Danmark.....	7
3.	Traditionel opgørelse af marginale eksterne ulykkesomkostninger ved trafik... 11	
3.1	Marginale eksterne ulykkesomkostninger ved sammenstød mellem biler.....	12
3.2	Sammenstød mellem personbil og let trafikant.....	14
3.3	Risikoelasticiteten.....	15
3.4	Opgørelse af de marginale ulykkesomkostninger ud fra traditionel metode.....	16
4.	Vægtkesternaliteten: Empirisk model.....	18
5.	Data.....	20
6.	Estimationsresultater for ordered logit modeller.....	25
6.1	Estimationer med skadesgrad for fører.....	29
6.2	Marginale effekter.....	31
7.	Estimationsresultater for en generaliseret ordered logit model.....	32
8.	Opgørelse af de samfundsøkonomiske ulykkesomkostninger ved bilvægt.....	35
9.	Korrektion af de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved afgifter.....	39
10.	Personbilers vægt og sammenstød med lette trafikanter.....	45
11.	Sammenfatning og konklusion.....	48
12.	Vidensbehov.....	49
13.	Litteratur.....	51
	Bilag A. Vurdering af størrelsen af risikoelasticiteten for samlet kørsel.....	53
	Bilag B. Personrelaterede uheldsomkostninger.....	58
	Bilag C. Brændstoffektivitet for dieseldrevne køretøjer.....	60

1. Indledning

Bilkørsel giver sig udslag i en række gener for andre trafikanter og samfundet som helhed i form af trængsel, støj, lokal luftforurening og udledning af CO₂. Derudover kan kørsel også resultere i trafikuheld, der medfører velfærdstab for trafikanterne i form af tab af leveår og personskader, og som derudover påfører samfundet udgifter til hospitalsbehandling, politi- og redningstjeneste.

Gængse danske opgørelser af de marginale eksterne omkostninger ved øget bilkørsel finder, at ulykkesomkostningen pr. km er den næststørste komponent af de marginale eksterne omkostninger kun overgået af trængsel, jf. DTU Transport (2010). Der er dog betydelig usikkerhed om størrelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger, som anvendes i dag. Værdierne er baseret på en sammenligning af forskellige undersøgelser, som er lavet for ca. 15 år siden, og det er for nyligt anbefalet, at der laves en mere grundlæggende revision af de marginale eksterne ulykkesomkostninger, jf. Transportministeriet (2010).

Det er oplagt, at ikke alle omkostningerne ved trafikuheld i forbindelse med øget kørsel er eksterne. Det må formodes, at trafikanterne godt ved, at der forekommer trafikuheld, og at de udsætter sig selv for en risiko, når de færdes i trafikken. Deres vurdering af risikoen vil trafikanterne inddrage i deres transportadfærd.¹ Der er dog ulykkesomkostninger, som har ekstern karakter. Traditionelt skelnes i litteraturen mellem tre typer af marginale eksterne ulykkesomkostninger, jf. f.eks. Hultkrantz og Lindberg (2011) og Lindberg (2001):

- *Systemomkostninger*, som påføres resten af samfundet f.eks. i form af sundhedsudgifter og udgifter til politi og redningstjeneste, som ikke betales af trafikanterne
- Ændret *ulykkesrisiko* for andre trafikanter, hvis en ekstra trafikant påvirker ulykkesrisikoen for andre trafikanter. Bemærk at denne type af bidrag til de marginale eksterne ulykkesomkostninger både kan være positivt og negativt
- Omkostningen, som en ”tung” kategori af trafikanter påfører andre kategorier af lettere/blødere trafikanter (*inter-trafikantkategori eksternalitet*). F.eks. risikoen som kørsel i bil udgør for fodgængere/cyklister/knallertkørere

¹ Om trafikanterne har en korrekt opfattelse af risikoen kan diskuteres. I udledningen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger tages som udgangspunkt, at trafikanterne har en korrekt opfattelse af risikoen.

I de traditionelle state-of-the-art opgørelser af ovennævnte kategorier af eksterne ulykkesomkostninger antages typisk, at transportmidler inden for en given kategori er homogene, dvs. der skelnes ikke mellem forskellige størrelser af personbiler. Dermed ignoreres indirekte *intra-trafikanterkategori eksternaliteter* i form af den øgede risiko, som f.eks. en tung personbil udgør for en lettere personbil. Nyere undersøgelser fokuserer imidlertid på denne risiko, idet risikoen for dødsfald eller alvorlig personskade er højere, hvis man støder ind i en tungere personbil sammenlignet med en lettere personbil. Samtidig er risikoen for personskade mindre for førere og passagerer i tunge personbiler, jf. Anderson og Auffhammer (2011) og Hultkrantz og Lindberg (2011). Dette vil trække i retning af, at en ureguleret personbilpark bliver ineffektiv tung, fordi en tung personbil er sikrere for den enkelte fører (og passagerer) men farligere for andre personbiler. I den amerikanske litteratur betegnes dette som et ”våbenkapløb” på vejene, således at der opstår en form for skraldeeffekt, hvor alle ønsker en større bil, jf. White (2004).

Den øgede sikkerhed ved en større og tungere bil er intern, mens der er en negativ eksternalitet for andre trafikanter. Dette kan betegnes som en form for ”vægteksternalitet” mellem personbiler. Vægteksternaliteten tilsiger, at der i tilgift til andre komponenter i de marginale ulykkesomkostninger for personbiler bør være en højere afgift på brugen af en stor personbil sammenlignet med en mindre personbil. Hvis der ikke korrigeres for denne vægteksternalitet, vil det desuden have nogle negative, afsmittende effekter på andre eksternaliteter. Blandt andet må det formodes at føre til højere udledning af CO₂, da større personbiler generelt er mindre energieffektive end lettere personbiler.

I dette arbejdspaper foretages to analyser. Den første analyse er en genberegning af de marginale eksterne ulykkesomkostninger ud fra den traditionelle tilgang. Den anden analyse vurderer sammenhængen mellem personbilers vægt og alvorligheden af uheld. Denne analyse er baseret på oplysninger fra Vejdirektoratets database for færdselsuheld for perioden 2003-11. Oplysningerne fra Vejdirektoratet er koblet dels med oplysninger fra centralregisteret for motorkøretøjer og dels med oplysninger om socioøkonomiske karakteristika for førere og tilskadekomne passagerer fra forskellige administrative registre i Danmarks Statistik.

Samlet viser disse analyser, at de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved kørsel i personbiler er væsentlig højere i byen end udenfor byen. Faktisk er de marginale eksterne ulykkesomkostninger nærmest nul udenfor byområder. Vægten af personbilerne har også væsentlig betydning for størrelsen af de marginale eksterne omkostninger. Således

er de marginale eksterne ulykkesomkostninger næsten dobbelt så store for de tungeste personbiler sammenlignet med de letteste (for by og land samlet).

Sammenholdt med de hidtidige gængse danske opgørelser af de marginale eksterne ulykkesomkostninger finder vi væsentligt lavere marginale eksterne ulykkesomkostninger for personbiler, og at der er større forskel mellem by og land end i de nuværende opgørelser. Dette betyder, at generelle virkemidler som f.eks. afgifter på brændstof er mindre velegnede til at korrigere for ulykkesomkostningerne. Fravær af et instrument som f.eks. road pricing gør det dog p.t. nødvendigt at bruge et grovkornet instrument som afgift på brændstof, der ikke kan differentieres efter sted for kørslen. Hvis der ses bort fra behovet for at differentiere mellem land og by, er afgifter på brændstof et relativt godt alternativ, da der er en høj grad af korrelation mellem vægt og brugen af brændstof.

I det næste afsnit gives en overordnet beskrivelse af udviklingen og sammensætningen af trafikulykker i Danmark. I afsnit 3 gives en beskrivelse af tilgangen i de traditionelle tilgange til at opgøre de marginale eksterne ulykkesomkostninger, dvs. systemomkostninger, ulykkesrisikoen for samme kategori af køretøjer og endelig den øgede risiko, som en tung trafikant (personbil) påfører blødere trafikanter.

I de resterende afsnit er fokus på den empiriske analyse af betydningen af vægt for alvorligheden af ulykker ved sammenstød mellem personbiler. I afsnit 4 præsenteres den empiriske model, mens data beskrives i afsnit 5. Estimationsresultater præsenteres i afsnit 6 og 7. I afsnit 8 og 9 opgøres de marginale eksterne ulykkesomkostninger for biler af forskellig størrelse, og der foretages en vurdering af målrettetheden af forskellige afgifter i forhold til at korrigere for de marginale eksterne ulykkesomkostninger. Endelig vurderes det i afsnit 10, om personbilers vægt også har betydning for alvorligheden af ulykken ved sammenstød med lette trafikanter.

2. Beskrivelse af trafikuheld i Danmark

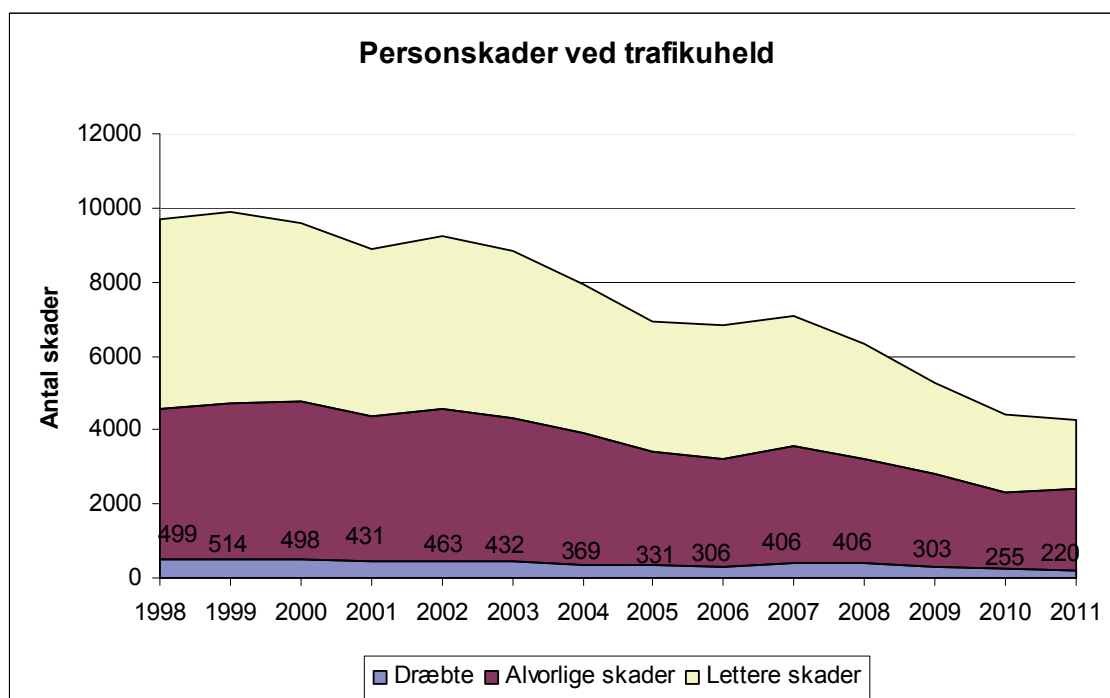
I 2011 blev 4.259 personer skadet i trafikken. Heraf blev 220 dræbt, 2.172 alvorligt tilskadekommet, mens 1.867 kom lettere tilskade.² Siden 1998 er antallet af skadede mere end halveret, jf. figur 1. Faldet i antallet af skadede er større for de lettere personskader

² Alvorlige personskader er f.eks. kraniebrud, læsion af rygsøjle/nakke eller brud på arme og ben. En personskade vil normalt kræve lægelig behandling eller hospitalsindlæggelse. Mindre skrammer, snitsår eller blå mærker betragtes ikke som personskade.

end for dræbte og alvorlige personskader. Tendensen med faldende antal dræbte ved trafikulykker findes også i en række andre vestlige lande, jf. OECD og ITF (2011).

Faldet i ulykker skyldes formentlig en kombination af flere forhold. For eksempel bliver personbiler gradvist sikrere i takt med teknologisk udvikling. Gennemsnitshastighederne er faldet over tid, hvilket også bidrager til at reducere antallet af uheld. Endvidere tilskrives faldet, at flere vejstrækninger er afløst af nye motorveje og motortrafikveje, som har et højere sikkerhedsniveau, ligesom der løbende investeres i at forbedre sikkerheden på farlige vejstrækninger, jf. f.eks. Vejdirektoratet (2012b) og Hels mfl. (2012).

Figur 1 Udvikling i antal dræbte og skadede



Kilde: Statistikbanken (UHELD10).

Tabel 1 viser, hvordan summen af personskader for årene 2009-11 er fordelt i forhold til den skadedes transportmiddel, samt hvem der var (første) modpart i uheldet. En modpart kan være en anden trafikant, eller der kan være tale om en eneulykke (forhindring/ingen modpart).

I den treårige periode er i alt 13.905 personer blevet dræbt eller skadet i trafikken. Af disse har 6.791 kørt i personbil, mens 279 har kørt varebil osv. Hovedparten af de ska-

dede har enten kørt i personbiler eller været ubeskyttede/lette trafikanter, som cykel, fodgænger og knallert/motorcykel.

Tabel 1 Fordeling af personskader på transportmiddel og modpart, 2009-2011

	Modpart (kun første modpart)								Sum af skadede i det givne transportmiddel	Antal skadede for transportmiddel i alt (også flere elementer end to)	Andel skadede i de første to elementer
	Personbil	Varebil	Lastbil	Bus	Motorcykel	Gående/cykel/knallert	Andet	Forhindring/ingen modp.			
Antal skadede											
Personbil	3.472	319	316	97	16	34	122	2.216	6.592	6.791	97%
Varebil (over 2 ton)	101	26	35	10	1	0	0	97	270	279	97%
Lastbil	18	2	18	2	0	1	1	29	71	74	96%
Bus	47	7	10	7	0	1	1	66	139	143	97%
Motorcykel	444	20	6	3	19	21	10	260	783	800	98%
Gående/cykel/knallet	3.912	223	179	106	36	518	104	556	5.634	5.741	98%
Andet	31	2	0	1	1	1	2	38	76	77	99%
Sum af skadede	8.025	599	564	226	73	576	240	3.262	13.565	13.905	98%

Anm: I kategorien ”personbil” indgår også taxa og mindre varebiler under to ton. Kategorien ”andet” omfatter f.eks. udrykningskøretøjer og traktorer. Søjlen ”sum af skadede i det givne transportmiddel” omfatter kun skadede for de første to køretøjer i et uheld. Søjlen ”antal skadede for transportmiddel i alt” omfatter alle skadede. For personbiler kan det f.eks. være sammenstød med tre personbiler, hvor der er tilskadekomne i alle biler.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af Vejdirektoratets database for færdselsuheld.

Af de 6.791 skadede i personbiler er modparten i trafikuheldet typisk en anden personbil (3.472 tilfælde), men eneuheld (sammenstød med forhindring eller uden modpart) tegner sig også for en stor del af uheldene (2.216 tilfælde). Det fremgår af tabellen, at summen af skadede af (den første) modpart er mindre end det samlede antal skadede i et givent transportmiddel. Dette skyldes, at der kan være mere end en modpart i et uheld (f.eks. personbil-varebil-motorcykel i samme uheld).

Størrelse har stor betydning for, hvem der kommer til skade i et uheld. For eksempel er kun 34 personer i personbiler kommet til skade ved sammenstød mellem personbiler og gående/cyklister/knallerter. Til sammenligning er 3.912 gående/cyklister/knallertkørere kommet til skade eller dræbt i samme type sammenstød. Betydningen af størrelse for fordelingen af tilskadekomne fremgår også af sammenstød mellem f.eks. personbiler og

lastbiler, hvor der er mange tilskadekomne i personbilerne (316 skadede) men kun få i lastbilerne (18 skadede).

Fokuseres der på søjlen i tabel 1, hvor modparten er personbil fremgår det, at personbiler var første modpart ved tilsammen 8.025 af de i alt 13.905 personskader (58 pct.). Personbiler var især modpart enten ved sammenstød med andre personbiler eller ved sammenstød med lettere trafikanter som gående/cyklister/knallerter. Det fremgår også af tabellen, at der var mange ulykker for personbiler. Dette peger i retning af, at det ved en opgørelse af de marginale eksterne omkostninger ved kørsel i personbiler især er vigtigt, at overveje, hvorvidt der er eksterne omkostninger ved sammenstød mellem personbiler, personbilers ulykker og sammenstød mellem personbiler og lette trafikanter.

Tallene vist i figur 1 og tabel 1 stammer fra Vejdirektoratets database for færdselsulykker, som er indberettet af politiet. Det er samme primære kilde, som anvendes i de empiriske analyser af vægteksternaliteten ved sammenstød mellem personbiler. Der er dog langt fra alle trafikulykker, som bliver registreret af politiet. Opgørelser baseret på oplysninger fra skadestuer og hospitaler (Statistikbanken, MOERKE) tyder således på, at der er betydelig underrapportering. Således er det samlede antal personskader i forbindelse med trafikulykker ca. 10 gange større end det, der foreligger i Vejdirektoratets data.³ Underrapporteringen er dog især stor for ulykker og for lette trafikanter, f.eks. en cyklist som kommer til skade efter at være kørt ind i en kantsten. Der menes ikke at være underrapportering for dræbte, ligesom underrapporteringen for alvorlig personskade også er vurderet som beskeden, jf. f.eks. DTU Transport (2012).⁴ Der må dog regnes med, at der er betydelig underrapportering i ulykker med lettere personskade, hvor en personbil er involveret (ulykker, sammenstød med andre biler eller andre grupper af trafikanter).

³ Data, som også inddrager oplysninger fra skadestuer og hospitaler, viser ikke et ligeså stort relativt fald i antallet af skadede i trafikken, som det fremgår af politiets indberetninger. Det store fald i antallet af personskadede ud fra politiets indberetninger (jf. figur 1) kan muligvis tilskrives en ændret registreringspraksis i forbindelse med politiets indberetninger.

⁴ Kategoriseringen af skadesgrad i politiets indberetninger og af skadestuer/hospitaler er ikke ens. Derfor er det ikke muligt præcist at opgøre graden af underrapportering for hhv. lettere og alvorlige personskader.

3. Traditionel opgørelse af marginale eksterne ulykkesomkostninger ved trafik

Der er i litteraturen og blandt transportøkonomer lidt forskelligt syn på, i hvor høj grad der egentlig er en eksternalitet ved ulykker, eller om ulykkesomkostningerne allerede er internaliseret i de enkelte trafikanters beslutninger. I dette afsnit tages udgangspunkt i centrale bidrag, som vurderes at have karakter af state-of-the-art vedr. ulykkeseksternaliteten (uden inddragelse af ”vægteksternaliten” ved sammenstød mellem personbiler).

I opgørelsen af de eksterne marginale ulykkesomkostninger ved en ekstra kørt kilometer er det centralt, hvordan en ekstra kørt kilometer påvirker ulykkesrisikoen for andre trafikanter. Hvis ulykkesrisikoen for andre trafikanter øges ved en ekstra kørt kilometer, vil det isoleret set øge de eksterne ulykkesomkostninger. Hvis ulykkesrisikoen derimod reduceres i takt med, at trafikken øges, vil dette isoleret set tendere til at reducere de eksterne omkostninger, og i princippet kan de marginale eksterne ulykkesomkostninger være negative.

En opgørelse af de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved en ekstra kørt kilometer afhænger endvidere af, hvilke omkostninger ved uheld, der opfattes som eksterne, og hvilke omkostninger, der er interne. Omkostninger ved uheld, som trafikanten inddrager i sin egen nytte i forbindelse med beslutningen om at køre en ekstra kilometer er interne. Normalt antages, at den enkelte bilist indregner sin egen forventede ulykkesomkostning, men ikke den forventede ulykkesomkostning for andre trafikanter. For at kunne opgøre sin egen forventede ulykkesrisiko antages således, at bilisten kender sin egen risiko for at blive skadet i et uheld.

Endelig har det betydning, hvor mange af omkostningerne ved trafikuheld, som betales af de involverede parter, og hvor mange, som betales af udenforstående. I velfærdsstater, som det danske, er der en række direkte udgifter ved trafikuheld i form af redningstjeneste, politi og sundhedsudgifter, som ikke afholdes af den enkelte trafikant. Disse såkaldte systemomkostninger har også betydning for de samlede eksterne omkostninger. I modsætning hertil antages typisk, at de materielle skader på køretøjer er internaliseret via forsikringspræmien.

I det følgende gennemgås relativt grundigt de marginale eksterne omkostninger ved sammenstød mellem personbiler. Derefter beskrives de marginale eksterne omkostninger ved kørsel i personbiler i forhold til lette trafikanter som fodgængere, cyklister og knallertkørere.

3.1. Marginale eksterne ulykkesomkostninger ved sammenstød mellem biler

Der ses på sammenstød mellem personbiler, som antages at være homogene, dvs. der er ingen vægthforskell. Derfor ignoreres i første omgang, at der inden for gruppen af personbiler må forventes at være større eksterne ulykkesomkostninger for store personbiler sammenlignet med små personbiler. Fremstillingen nedenfor følger Jansson (1994).

Lad r_{Bi} være den gennemsnitlige risiko pr. kørt km for at få en personskaade af skadesgrad i (dræbt, alvorligt og lettere personskaadet). Hvis S_i er det samlede antal skader med skadesgrad i , kan den gennemsnitlige risiko opgøres som $r_{Bi} = \frac{S_i}{Q}$, hvor Q er den samlede biltrafik (målt ved antal kørte kilometer). Det må formodes, at risikoen afhænger af antallet af niveauet for trafikken:

$$r_{Bi} = r_i(Q) \tag{1}$$

De forventede samlede ulykkesomkostninger (TC) er givet ved

$$TC = \sum_i (a_i + c_i) Q r_{Bi} \tag{2}$$

Her er a_i personernes egne velfærdsomkostninger ved dødsfald, alvorlig personskaade eller lettere personskaade. For f.eks. dødsfald måles dette ved værdien af et statistisk liv. Tilsvarende er c_i systemomkostningen (f.eks. udgifter til hospitalsbehandling mv.), som ikke betales af de enkelte trafikanter.⁵ Omkostningerne ved skader på køretøjerne udelades, da disse antages internaliseret via forsikringsomkostningen. I ligning (2) svarer $Q r_{Bi}$ til antallet af skadede med skadesgrad i , dvs. antallet af dræbte, alvorligt skadede og lettere skadede ved sammenstød mellem personbiler. Ligning (2) angiver således blot antallet af skadede ganget med velfærdstab og systemomkostning per skadet.

De marginale *eksterne* ulykkesomkostninger ved skader i forbindelse med sammenstød mellem to biler (MEC_{BB}) er givet ved de marginale *samlede* omkostninger fratrukket de (marginale) *private* omkostninger ved en ekstra kørt kilometer. De (marginale) private

⁵ I nogle især tidlige fremstillinger er også inkluderet en b-komponent i omkostningerne, som var velfærdstab for pårørende. B-komponenten blev i praksis antaget at svare til 40 pct. af velfærdstab for personerne selv. Det kan dog være vanskeligt i f.eks. hypotetiske undersøgelser af risikoændringer at adskille personers egen værdi fra tabet for pårørende. I de i Danmark typisk anvendte enhedsøkonomiske omkostninger for dødsfald og skader indgår der ikke velfærdstab for pårørende, jf. DTU Transport (2010). Derfor er det valgt at se bort fra dette element.

ulykkesomkostninger ved at køre en ekstra kilometer svarer til risikoen for en given skade multipliceret med de private velfærdsmkostninger. Summeret over skadestyper svarer dette til $\sum_i a_i r_{Bi}$.⁶ Differencen mellem de marginale samlede omkostninger og de marginale private omkostninger ved en ekstra kørt kilometer er således givet ved:

$$\begin{aligned}
 MEC_{BB} &= \frac{\partial TC}{\partial Q} - \sum_i a_i r_{Bi} \\
 &= \sum_i \left[(a_i + c_i) \left(r_{Bi} + \frac{Q \partial r_{Bi}}{\partial Q} \right) - a_i r_{Bi} \right] \\
 &= \sum_i \left[(a_i + c_i) \left(\frac{Q \partial r_{Bi}}{\partial Q} \right) + c_i r_{Bi} \right] \\
 &= \sum_i [(a_i + c_i) r_{Bi} E_B + c_i r_{Bi}]
 \end{aligned} \tag{3}$$

I ligning (3) er $E_B = \frac{\partial r_{Bi}}{\partial Q} \frac{Q}{r_{Bi}}$, dvs. den relative ændring i risikoen i forhold til den relative

ændring i bilkørslen, hvilket betegnes som *risikoelasticiteten*. Hvis der er en lineær sammenhæng mellem antallet af skader og trafikken, vil risikoen være konstant for forskellige niveauer af trafik. I så fald vil risikoelasticiteten være 0. Hvis antallet af skader er gradvist stigende (aftagende) med trafikken, er risikoelasticiteten positiv (negativ). Det er forenkende antaget, at risikoelasticiteten er ens for forskellige skadesgrader.⁷

Det første led i ligning (3) består af den gennemsnitlige samfundsøkonomiske omkostning pr. kørt km ($\sum_i (a_i + c_i) r_{Bi}$) multipliceret med risikoelasticiteten (E_B). Det første led er således den omkostning, som en ekstra bilist påfører andre trafikanter i kraft af, at bilistens tilstedeværelse på vejen kan påvirke risikoen for andre trafikanter. Det sidste led i ligning (3) er den forventede systemomkostning pr. kørt km. Dette er omkostninger, som den enkelte trafikant ikke selv betaler og derfor heller ikke kan forventes at inddrage i sin beslutning om at køre en ekstra kilometer.

⁶ Det antages, at de (marginale) private ulykkesomkostninger svarer til den gennemsnitlige private omkostning pr. km ud fra en antagelse om, at føreren af den ”ekstra” kilometer ikke er mere eller mindre sikker end andre førere.

⁷ Som det fremgår senere er den empiriske viden om risikoelasticiteten relativt beskedent, og det er derfor muligt at få forskellige risikoelasticiteter for forskellige skadesgrader.

Hvis risikoelasticiteten er 0 (dvs. der er en lineær sammenhæng mellem uheld og trafik), vil første led blive 0, og de marginale eksterne omkostninger svarer i så fald til systemomkostningerne. Intuitionen bag dette er, at hvis hver af de to involverede i et sammenstød har indregnet deres egen forventede risiko for sammenstød – og hvis denne risiko er konstant – så vil der ikke være nogen ekstern privat omkostning trafikanterne imellem. Den eneste eksterne omkostning er de systemomkostninger ved uheldene, som betales af andre end bilisterne. Falder den forventede risiko (negativ risikoelasticitet) kan det isoleret set betyde, at den marginale eksterne omkostning ved sammenstød mellem (homogene) personbiler kan være negativ.

Ligning (3) kan også tolkes i forhold til *eneuheld*, hvis risikoen og risikoelasticiteten i stedet omfortolkes til at gælde for eneuheld. Hvis en ekstra trafikant påvirker risikoen for, at andre trafikanter kommer ud for et eneuheld, vil der være en ekstern effekt. Ligeledes vil der være systemomkostninger ved eneuheld (c_i), som bilisten ikke inddrager i sin beslutning om at køre en ekstra kilometer.

3.2. *Sammenstød mellem personbil og let trafikant*

Den ovenstående opgørelse af de marginale eksterne ulykkesomkostninger for sammenstød mellem personbiler kan generaliseres til også at beskrive sammenstød mellem forskellige kategorier af køretøjer.

Antag at der er to kategorier af køretøjer f.eks. personbil (B) og lette trafikanter (L), f.eks. fodgængere, cyklister og knallertkørere. Analogt til ligning (3) kan det udledes, at de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved øget kørsel i personbil i forbindelse med sammenstød mellem personbil og lette trafikanter er som følger, jf. Lindberg (2001):

$$MEC_{BL} = \sum_i [(a_i + c_i) r_{Li} ((1 - \theta_i) + E_L) + \theta_i r_{Li} c_i] \quad (4)$$

Her er r_{Li} risikoen for skade med skadesgrad i ved sammenstød mellem en personbil og en let trafikant målt i forhold til bilkørslen (dvs. f.eks. antal dræbte ved sammenstød mellem personbil og let trafikant delt med antallet af kørte kilometer i bil). E_L er risikoelasticiteten, dvs. den relative ændring i antallet af skader ved sammenstød mellem personbiler og lette trafikanter i forhold til den relative ændring i antallet af kørte kilometer i personbilen.

Endelig er θ_i en fordelingsparameter, som angiver andelen af tilskadekomne med skadekategori i , som er bilister (eller passagerer). Tilsvarende er $(1 - \theta_i)$ andelen af tilska-

dekomne lette trafikanter ved sammenstød mellem personbil og lette trafikanter. I praksis er θ_i meget tæt på nul, da det sjældent er bilisterne, der kommer til skade ved sammenstød mellem personbiler og lette trafikanter.⁸ Hvis $\theta_i = 0$ vil ligning (4) reduceres til følgende udtryk:

$$MEC_{BL} = \sum_i [(a_i + c_i) r_{Li} + (a_i + c_i) r_{Li} E_L] \quad (4')$$

Her svarer første led til den forventede gennemsnitlige omkostning for den lette trafikant pr. kørt kilometer i personbil. Dette led er udtryk for, at bilisten ikke i sin beslutning om at køre en ekstra km indregner risikoen for, at han påfører bløde trafikanter en ulykkesrisiko. Det andet led er effekten af, at en ekstra kørt kilometer kan påvirke ulykkesrisikoen (afhængig af størrelsen af E_L).

Ligning (4) kan også omfortolkes til at beskrive bidraget til den marginale eksterne ulykkesomkostning for bilkørsel ved sammenstød mellem personbiler og tungere kategorier af køretøjer, som f.eks. lastbiler. Her vil θ_i være tæt på 1 svarende til, at det er personer i personbilerne, som typisk kommer til skade, når disse støder sammen med lastbiler. For $\theta_i = 1$ vil ligning (4) reduceres til en form svarende til ligning (3), hvor der kun er en ekstern marginal ulykkesomkostning i form af den forventede systemomkostning og eventuelle effekter på sandsynligheden for sammenstød (ulykkeseksternaliteten).

De *samlede* marginale eksterne ulykkesomkostninger ved kørsel i personbil skal inkludere bidrag fra sammenstød mellem personbiler (ligning (3)) og bidrag fra sammenstød med lette trafikanter (ligning 4). Derudover bør medtages omkostningerne ved eneuheld og sammenstød med tungere kategorier af køretøjer (varebiler, lastbiler og busser). Formen for disse svarer grundlæggende til ligning (3) og ligning (4).

Som nævnt i forbindelse med tolkningen af ligning (3) indgår ikke, at tunge personbiler udgør en risiko for lettere personbiler. Dette er fokus for analysen i afsnittene 4 til 8.

3.3. Risikoelasticiteten

Risikoelasticiteten er en central parameter i fastlæggelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger. Det fremhæves ofte, at den empiriske viden om risiko-

⁸ Det fremgik af tabel 1, at der i 2009-2011 var 3.912 fodgængere, cyklister og knallertkørere, som kom til skade ved sammenstød med personbiler. Tilsvarende var der kun 34 bilister, der kom til skade ved disse uheld. Det svarer til en gennemsnitlig θ (ikke fordelt på skadestyper) på 0,01.

elasticiteten er sparsom. Tidligere analyser af de eksterne ulykkesomkostninger fandt (eller antog), at risikoelasticiteten var positiv. For eksempel antog Newbery (1988) en risikoelasticitet på 0,25 for sammenstød mellem biler. Lidt senere opgørelser af de marginale eksterne omkostninger eller empiriske undersøgelser hælder dog til, at risikoelasticiteten er nul eller negativ.

Undersøgelser baseret på danske data for større veje finder, at risikoelasticiteten for personbiler er negativ med en gennemsnitlig elasticitet på -0,32, jf. Vejdirektoratet (2012a).⁹ Opdelt på byområder og landområder fås den samme risikoelasticitet. En ny lig undersøgelse baseret på norske data finder ligeledes negative risikoelasticiteter, som numerisk er lidt større end de -0,32 baseret på danske data, jf. Friedstrøm (2011). Der er dog blevet argumenteret for, at disse negative risikoelasticiteterne er kunstigt små eller opfanger andre omkostninger ved risikoen for uheld i form af kompenserende adfærd (langsommere eller mere forsigtig kørsel). Dette taler for at lave følsomhedsanalyser med mindre negative risikoelasticiteter (-0,16). Der kan dog argumenteres for, at omkostningen ved en sådan kompenserende adfærd i form af langsommere hastigheder bliver indregnet i tidstabet ved trængsel og derfor indgår i opgørelsen af de eksterne omkostninger ved trængsel.

Der er omvendt studier, som finder endnu lavere risikoelasticiteter for sammenstød mellem personbiler og lette trafikanter, og der er derfor også udført følsomhedsanalyser, hvor der anvendes en risikoelasticitet på -0,5 for denne type sammenstød. En nærmere diskussion af empiriske undersøgelser af risikoelasticiteten findes i appendiks A.

3.4. Opgørelse af de marginale ulykkesomkostninger ud fra traditionel metode

Der er foretaget en beregning af de marginale eksterne ulykkesomkostninger for personbiler med udgangspunkt i ligning (3) og (4). I beregningen indgår bidrag fra sammenstød mellem personbiler, eneuheld, sammenstød med lette trafikanter og sammenstød med tungere kategorier af trafikanter. De marginale eksterne ulykkesomkostninger kan primært tilskrives effekten på ulykkesrisikoen for andre trafikanter (risikoelasticiteten), systemomkostningerne ved uheld og omkostningen, som personbiler påfører lettere/blødere trafikanter.

⁹ Analysen i Vejdirektoratet (2012a) peger i retningen af en risikoelasticitet på -0,4, målt ud fra den samlede trafik. Da bilkørsel kun udgør en del af den samlede trafik, er risikoelasticiteten numerisk lavere for personbiler og er -0,32.

I beregningen anvendes de gængse danske opgørelser af velfærds- og systemomkostningen ved dræbte, alvorligt tilskadeskomne og lettere tilskadeskomne, jf. DTU Transport (2010) og bilag B. I systemomkostningerne indgår udgifter til politi- og redningstjeneste, behandlingsomkostninger på hospitaler og endelig nettoproduktionstab. Der er korrigeret for underrapportering af uheld, idet der antages, at det udelukkende er lettere personskader, som er underrapporteret. For risikoelasticiteten er anvendt de værdier, som er beskrevet ovenfor. En nærmere dokumentation af beregningen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger ud fra den traditionelle metode er tilgængelig i dokumentationsnotat.

Med centrale antagelser findes en marginal ekstern ulykkesomkostning for personbiler på 6,8 øre pr. km. Den marginale eksterne ulykkesomkostning er væsentlig højere i byer (23,2 øre pr. km) end på land (1,1 øre pr. km), jf. tabel 2. Den høje værdi i byer kan tilskrives et højt bidrag fra sammenstød med lette trafikanter. Den lave værdi på land afspejler, at den negative risikoelasticitet opvejer bidrag fra systemomkostningerne, og at der er få sammenstød med lette trafikanter.

Tabel 2 Marginale eksterne ulykkesomkostninger for personbiler, øre pr. km (2012-priser)

	By	Land	I alt
	Øre pr. km		
Centralt estimat (risikoelasticitet -0,32)	29,2	1,1	6,8
Følsomhedsanalyser:			
- Risikoelasticitet = -0,16	40	5	12
- Risikoelasticitet lette trafikanter = -0,5	22	1	5
Sammenligning med nuværende:			
- DTU Transport (2010)	30	11-14	21

Anm: DTU Transport (2010) skelner mellem kørsel på motorvej og land i øvrigt. Omkostningen for land er derfor angivet som et interval, hvor den laveste omkostning er fra kørsel på motorvej, og den højeste omkostning er for kørsel på land.

Antagelserne vedrørende risikoelasticiteten har stor betydning for de marginale eksterne ulykkesomkostninger. Hvis risikoen kun påvirkes halvt så meget af stigninger i trafikken (risikoelasticitet på -0,16 i stedet for -0,32) bliver den eksterne marginale ulykkesomkostning væsentlig højere. Anvendes en lavere risikoelasticitet for sammenstød med lette trafikanter, bliver de marginale eksterne omkostninger i byerne væsentlig lavere,

da det især er her, der er mange sammenstød mellem biler og lette trafikanter. I dokumentationsnotatet er beskrevet en række yderligere følsomhedsanalyser, f.eks. i forhold til antagelser vedrørende underrapportering for ulykker med lettere personskade. Disse følsomhedsanalyser viser imidlertid kun mindre effekter på størrelsen af den marginale eksterne ulykkesomkostning.

De beregnede marginale eksterne ulykkesomkostninger er sammenlignet med de gængse marginale eksterne ulykkesomkostninger, som offentliggøres sammen med de trafikøkonomiske enhedspriser, jf. DTU Transport (2010). De her beregnede ulykkesomkostninger er væsentlig lavere end de gængse værdier for land og i alt. Den samlede omkostning ud fra de gængse opgørelser er således på 21 øre pr. km, dvs. ca. tre gange højere end de 6,8 øre beregnet her. Forskellen kan både skyldes ændringer i datagrundlag og metode. De nuværende marginale eksterne ulykkesomkostninger er baseret på Danish Ministry of Transport og COWI (2004), som igen er baseret på forskellige undersøgelser fra slutningen af 1990'erne. En del af forskellen i de her beregnede marginale eksterne ulykkesomkostninger i forhold til de gængse opgørelser kan formentlig tilskrives, at antallet af dræbte og skadede personer er faldet over tid, jf. figur 1. Samtidig er biltrafikken steget, hvilket betyder, at risikoen for uheld med personskade er faldet siden de gængse marginale eksterne ulykkesomkostninger oprindeligt blev beregnet. I forbindelse med revisioner af velfærdsomkostningerne for dødsfald (værdien af statistisk liv) og skadede personer er lavet ad-hoc revisioner af de marginale ulykkesomkostninger, men uden der er foretaget en egentlig genberegning af disse, jf. f.eks. Transportministeriet (2010). Dette kan muligvis også forklare noget af forskellen i forhold til de her fundne værdier.

4. Vægteksternaliteten: Empirisk model

De ovenfor beskrevne værdier for de marginale eksterne omkostninger skelner ikke mellem forskellige typer af personbiler. Dermed inddrages ikke, at større og tungere personbiler kan udgøre en øget risiko for førere af små personbiler. I de følgende afsnit fokuseres på at belyse betydningen af vægt for alvorligheden af uheld, og hvad dette betyder for størrelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger for store personbiler. Overordnet set følger beskrivelsen tilgangen i Anderson og Auffhammer (2011).¹⁰

¹⁰ I opgørelsen af de eksterne omkostninger fokuserer Anderson og Auffhammer (2011) udelukkende på omkostningerne i forbindelse med dødsfald, dvs. de medtager ikke de eksterne omkostninger ved alvorlige og lettere personskader. De estimerer derfor en almindelig probitmodel, mens der her estimeres ordered logit modeller for skadesgrad.

Der fokuseres således på betydningen af personbilernes vægt for alvorligheden af ulykke betinget af, at der sker en ulykke.

Der ses på sammenstød mellem to personbiler. Lad den ene bil være den ramte (R) og den anden bil modparten (M). Benævnelsen ramt og modpart er helt arbitrære og er ikke udtryk for, hvem der er skyld i uheldet eller hvilken bil, det er gået hårdest ud over. Lad Y_R^* være en kontinuer variabel, som måler den højeste skadesgrad for førere og passagerer i den ramte bil. Lad Y_R^* være beskrevet ved følgende form (hvor i nu angiver observation):

$$Y_{Ri}^* = \beta_1 KG_{Mi} - \beta_2 KG_{Ri} + \gamma_1 U_i + \gamma_2 B_{Mi} + \gamma_3 B_{Ri} + \gamma_4 S_{Mi} + \gamma_5 S_{Ri} + \varepsilon_i \quad (5)$$

Her er KG_M og KG_R vægten af modpartens bil og vægten af den ramte bil. Således er β_1 en parameter, som beskriver den ”eksterne effekt” af at støde sammen med en anden bil af en given vægt, mens β_2 er et mål for den interne gevinst ved øget vægt, dvs. hvor meget risikoen mindskes ved selv at køre i en tung bil, givet der forekommer sammenstød. Øvrige variable er forskellige vektorer af kontrolvariable, hvor U er karakteristika ved uheldet (tidspunkt, hastighedsbegrænsning, type af uheld mv.), B_M og B_R er andre karakteristika ved den ramte bil og modpartens bil (bilens alder/indregistreringsår, bilmærke mv.), mens S_M og S_R er socioøkonomiske karakteristika for fører af modpartens bil og den ramte bil (alder, køn, uddannelse mv.). Medtagelse af socioøkonomiske karakteristika for førerne kan dels tjene som en indikator for køreadfærd, og dels være en indikator for, hvor udsatte personer er ved sammenstød. For eksempel må det formodes, at ældre personer har nemmere ved at blive alvorligt skadet, da de lettere får brud på knogler.

Vi observerer ikke en kontinuert variabel for skadesgraden i den ramte bil, men i stedet en kategoriseret variabel Y_{Ri} , som har værdien 3 for dræbte, værdien 2 ved alvorligt tilskadeskomne, 1 ved lettere tilskadeskomne og 0 ved uskadt. Da skadesgraden er en ordnet diskret variabel, tages udgangspunkt i en ordered logit model, som kan opskrives som følger, hvor alle de forklarende variable fra ligning (5) forenkende sammenfattes til X_i .

$$P(Y_{Ri} > j) = \frac{\exp(\alpha_j + X_i \beta)}{1 + [\exp(\alpha_j + X_i \beta)]} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, K - 1 \quad (6)$$

Her er K antallet af kategorier i den ordnede afhængige variabel, dvs. i vores tilfælde er $K = 4$. Den almindelige ordered logit model anvendes til indledende estimationer. Efterfølgende anvendes en lidt mere fleksibel model.

Det er som nævnt helt arbitrært, hvilken af de to personbiler, som er den ”ramte”, og hvilken, der er ”modpart”. For hvert sammenstød dannes to observationer, hvor den bil, der er ramt i den ene observation, er modpart i den anden observation.¹¹

I ligning (5) og (6) fokuseres på betydningen af modpartens vægt for alvorligheden af en ulykke betinget af, at der er indtruffet en ulykke. Udenlandsk litteratur tyder på, at sandsynligheden for, at der overhovedet forekommer en ulykke, øges med personbilernes vægt, jf. Anderson og Auffhammer (2011). Hvis dette også er tilfældet i Danmark, vil effekten af øget vægt for ulykkeseksternaliteten være større end det, som fremkommer ved estimation af ligning (6).

5. Data

Analysen tager udgangspunkt i et udtræk fra Vejdirektoratets register for færdselsuheld for perioden 2003-11. Dette register indeholder oplysninger om alle færdselsuheld, som er kommet til politiets kendskab. For færdselsuheld uden personskade indgår kun uheld, hvor der er større materielle skader på køretøjet. Til dette register er koblet oplysninger fra følgende typer af registre:

- Bilregisteret i Danmarks Statistik (baseret på Centralregisteret for Motorkøretøjer) med oplysninger om bl.a. vægt, første indregistreringsår og bilmærke/model/variant af køretøj (Toyota/Avensis/1.6LB).
- Individoplysninger med socioøkonomiske karakteristika vedr. førere af køretøjer og tilskadekomne passagerer fra diverse administrative registre i Danmarks Statistik (alder, køn, børn, uddannelse mv.). For uheld i år t er knyttet registeroplysninger for år $t-1$ (ultimo).

Registeret for færdselsuheld indeholder ikke oplysninger om ikke-tilskadekomne passagerer. Det betyder, at der ikke er viden om hvor mange personer, der var i de involverede køretøjer.

¹¹ Ved beregningen af standard afvigelser i estimationen tages højde for, at restledene for parvise observationer (samme uheld) ikke kan antages uafhængige. Konkret anvendes cluster robuste standardafvigelser, hvor de to observationer for hvert uheld er et cluster.

I perioden 2003-11 er der i alt 123.952 ulykker. Af disse er i alt 30.368 uheld, hvor to ”personbiler” støder sammen. Sammenstød mellem personbiler er defineret ud fra følgende kriterier

- Personbil, taxa og små varebiler (dvs. en bil på gule plader eller ”papagøjeplader”) under 2 tons ud fra klarificeringen af køretøjerne i færdselsuhedsregisteret¹²
- Ingen af de involverede personbiler var parkerede
- Efter sammenstødet kan der godt være andre såkaldte elementer involveret i uheldet som f.eks. en blød trafikant eller en forhindring, men der er ikke medtaget uheld, hvor en af de to personbiler efterfølgende støder ind i større køretøjer, som lastbiler og busser, eller andre personbiler

For ca. 1/7 af sammenstødene mellem to personbiler har det ikke været muligt at få relevante oplysninger fra motorregisteret for den ene af de to personbiler, og dermed heller ingen oplysninger om bilens vægt. Dette skyldes oftest, at det ene af køretøjerne ifølge færdselsuhedsregisteret er udenlandsk. I nogle tilfælde har det ikke været muligt at foretage kobling mellem færdselsuhedsregisteret og motorregisteret, selv om personbilen angiveligt er dansk indregistreret, eller der mangler oplysninger om køretøjets vægt i motorregisteret. I en række tilfælde har der ikke kunne knyttes socioøkonomiske oplysninger. Dette skyldes ligeledes typisk, at en af førerne har været udlænding. Endelig er specielle observationer eller observationer med manglende eller potentielt fejlagtige oplysninger udeladt. For eksempel er udeladt observationer, hvor:

- Personbilens vægt er under 600 kg eller over 3.000 kg
- Køretøjer, som ifølge motorregisteret ikke er personbil, taxa eller varebil (selv om de betegnes som sådan i færdselsuhedsdatabasen)
- Personbiler ældre end 25 år i ulykkesåret
- Føreren er under 12 år
- Hastighedsgrænsen på uheldsstedet er uoplyst

¹² Bemærk at en ”varebil” formelt er defineret som en bil på gule plader eller papegøjeplader uanset udformningen af bilen. Der er to grunde til at små varebiler (dvs. på gule plader eller papagøjeplader) medtages under sammenstød med personbiler: 1) En bil på gule plader (eller papegøjeplader) kan sagtens have et karosseri, som svarer til det, der almindeligvis forbindes med en personbil. Ligeledes er der mange personbiler, som har karosserier, som ligner varebiler/kassebiler. I forhold til bilens udformning er der således ikke nogen klar grænse mellem personbil og varebil. 2) En række de køretøjer, der er defineret som personbiler i registeret for færdselsuheld, burde ifølge motorregisteret rettelig være defineret som en bil på gule plader eller papegøjeplader.

Samlet giver dette et datasæt med 25.608 sammenstød, hvor der er oplysninger om begge køretøjers vægt og andre variable fra motorregisteret, og et lidt mindre datasæt med oplysninger for 24.233 sammenstød, som derudover også indeholder de væsentligste socioøkonomiske variabler for førere i begge køretøjer. De 25.608 sammenstød giver et datasæt med i alt 51.216 observationer for skadesgraden i begge biler.

Fordelingen af variabelen for højeste skadesgrad er vist i tabel 3 og sammenlignet med det samlede antal dræbte og tilskadekomne i uheldene. Variabelen for højeste skadesgrad skelner ikke mellem, om der er én eller flere dræbte i det enkelte køretøj. Derfor er antallet af dræbte i estimationsdata (388 dræbte) lidt højere end antallet af observationer, hvor højeste skadesgrad er dræbt, som er 339, når skadesgraden opgøres for fører og passager, eller 269 hvis skadesgraden kun er for føreren. Det samme er tilfældet, når man sammenligner antallet af observationer, hvor højeste skadesgrad er henholdsvis alvorlig eller lettere skader med antallet af alvorligt og lettere tilskadekomne.¹³

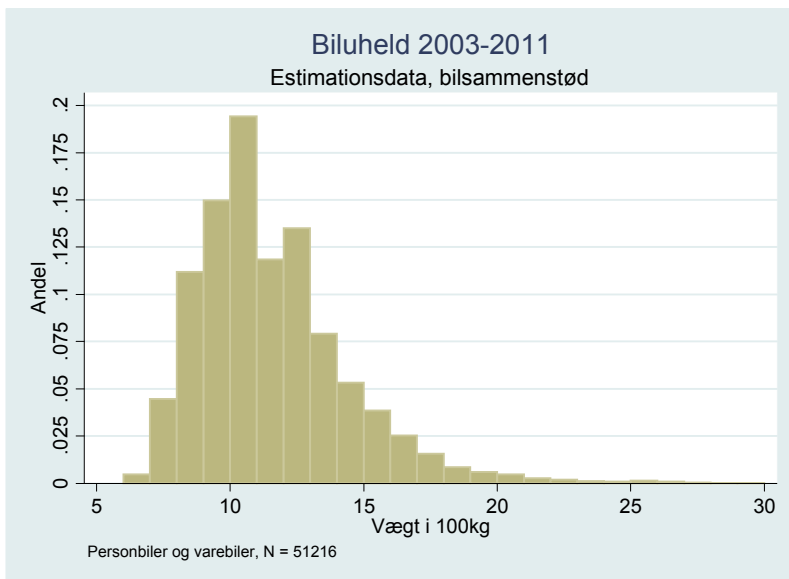
Tabel 3 Antal tilskadekomne og højeste skadesgrad i estimationsdata, 2003-11.

	Alle sammenstød	Estimationsdata	Skadesgrad fører og passager (andel i %)	Skadesgrad fører alene (andel %)
Dræbte	450	388	339 (0,66 %)	269 (0,53 %)
Alvorlig skadede	3.907	3.483	2.986 (5,83 %)	2.339 (4,57 %)
Lettere skadede	7.255	6.492	4.823 (9,41 %)	4.083 (7,97 %)
Kun materiel skade	53.305	43.068	43.068 (84,09 %)	44.525 (86,94 %)
N	60.736	51.216	51.216 (100,0 %)	51.216 (100,0 %)

Gennemsnitsvægten for bilerne i estimationssamplet er knap 1.200 kg. Fordelingen er højreskæv, så der også er biler, som er betydelig tungere, jf. figur 2. De tungeste biler i datasættet inkluderer bl.a. biler som Hummer H2 og Land Rover Discovery 3, som har en vægt omkring 2.500 kg.

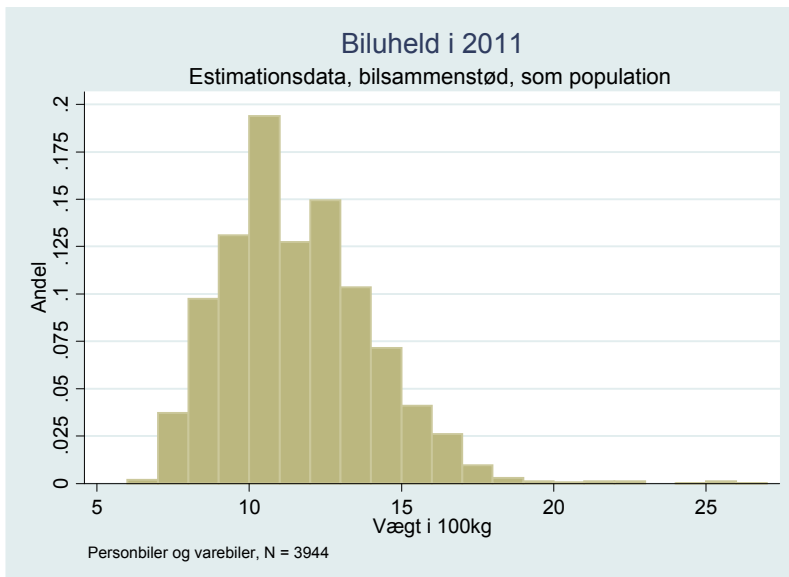
¹³ Der er ca. 15 pct. færre observationer i estimationsdatasættet sammenlignet med alle sammenstød i perioden, jf. tabel 3. Som beskrevet skyldes en del af denne forskel, at det ikke har været muligt at koble den ene af personbilerne til motorregisteret, f.eks. hvis en af bilerne er registreret i udlandet. Reduktionen i estimationsdata er højere, når der kun er materiel skade, end når der er personskaade. Dette afspejler formentlig, at der selv ved mindre materielle skader skal skrives politirapport, hvis der er udlændinge involveret i uheldet, og der ventes at blive rejst erstatningskrav.

Figur 2 Vægtfordeling for bilerne i estimationsdata (alle år)



Fordelingen af bilernes vægt, hvis man kun ser på det sidste år i estimationsdata (figur 3) svarer overordnet til fordelingen i alle år. Bemærk dog at fordelingerne er for hele beholdningen (ikke kun nyregistreringer).

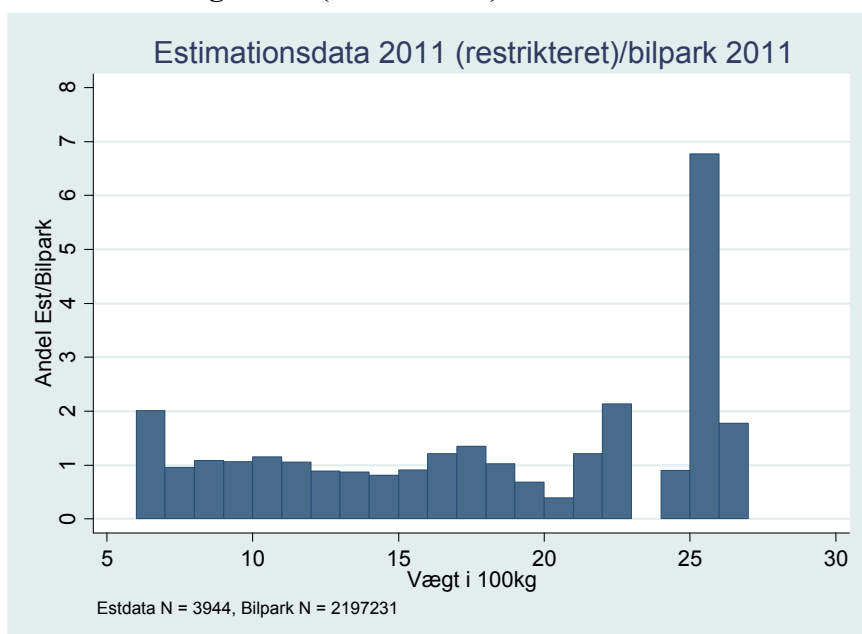
Figur 3 Vægtfordeling for biler i estimationsdata (2011)



I figur 4 er vægtfordelingen for personbilerne i estimationsdata for år 2011 i figur 2 delt med fordelingen af vægtfordelingen for alle køretøjer i motorregisteret ultimo 2011. I

vægtintervaller, hvor der er mange køretøjer, fås en næsten uniform fordeling, hvilket tyder på, at alle køretøjer har samme risiko for at blive involveret i en ulykke. For meget små og store køretøjer over 2 tons er der forskel, men der er få køretøjer i halerne af fordelingerne. For relativt store køretøjer på 1.600-1.800 kg synes der at være relativt mange, der bliver involveret i ulykker. Ældre undersøgelser fra Vejdirektoratet fra 2008 tyder dog på, at årskørslen også er højere for store biler end for små. Dette tilsiger, at større biler også forulykker mere end små biler (alt andet lige).

Figur 4 Vægtfordeling i estimationsdata (2011) delt med vægtfordeling for personbiler i motorregisteret (ultimo 2011)



En oversigt over de i estimationen anvendte forklarende variable findes i tabel 4. En række andre variable er undersøgt i foreløbige estimationer (f.eks. lygtefejl på bilerne og sigtforhold), men er ikke medtaget i de gengivne estimationer. Disse variable indgår ikke i tabel 4. I en række tilfælde er afprøvet finere opdelinger af variable, f.eks. vedr. alderskategorier eller uddannelseskategorier.

Tabel 4 Oversigt over variable

Færdselsuhedsregisteret Variable vedr. uheldet	Færdselsuhedsregisteret: Variable vedrørende førerne	Registre i Danmarks Statistik
Uheldsår Hastighedsgrænse uheldssted Byområde Region af Danmark Sprituheld (mindst en fører) Narkouheld (mindst en fører) Vådt føre Glat føre (sne/is) Vejudformning: - Krydsuheld - Rundkørsel - Kurve - Lige vej (basis) Uheldstype - Påkørt bagfra - Overhaling/vognbaneskift (basis) - Mødeuheld (frontal) - Svingning, samme kurs - Svingning, modsat kurs - Krydsende uden sving - Krydsende med sving Vejtype - Motorvej - Motortrafikvej - Øvrig statsvej - Kommuneveje (basis) Dummy for flere ”elementer” end to biler i uheld (f.eks. cykel, forhindring)	Skadesgrader fører/passager (R) Kvindelig fører (R/M) Under 23 år, mand (R/M) Under 23 år, kvinde (R/M) 70-79-årig fører (R/M) 80+-årig fører (R/M) Ukendt alder ^a (R/M) Sikkerhedssele ikke brugt (R/M) Har ikke kørekort (R/M)	<i>Bilregisteret/Motorregisteret:</i> Vægt i 100 kg (egenvægt eller alternativt køreklar vægt fratrukket 125 kg). (R/M) År for 1. indregistrering (R/M) Op til 62 forskellige bilmærker (Toyota, Ford mv.) (R/M) <i>Socioøkonomiske karakteristika for førerne (div. registre):</i> Antal voksne i familien (R/M) Antal børn i familien (R/M) Uddannelse (højeste igangværende eller fuldførte uddannelse) (R/M): - Uoplyst - Ufaglært (basis) - Gymnasial - Faglærte - Kort videregående - Mellemlang videregående - Lang videregående Ledighedsgrad (R/M) Log bruttoindkomst (R/M)

Anm: Variable for alder og køn er tilgængelige både for registeret for færdselsuheld og registre i Danmarks Statistik. I oversigten angiver (R/M), at variablen er medtaget både for den ramte bil og for modpartens bil.

Note a): Ukendt alder vedrører førere, hvor alder ikke er oplyst i færdselsuhedsregisteret og hvor føreren ikke har kunnet matches med registeroplysninger via CPR nummer.

6. Estimationsresultater for ordered logit modeller

I tabel 5 vises estimationsresultater fra ordered logit modeller, hvor den afhængige variabel er højeste skadesgrad for fører og passagerer i den ramte bil. Tabellen viser i hvil-

ket omfang, parameteren til vægten af modpartens bil påvirkes af medtagelse af flere typer af forklarende variable. Som nævnt viser tabellen udelukkende effekten på skadesgrad, givet der sker et uheld. Nogle af de viste parameter kan have en effekt på selve ulykkesrisikoen, som ikke kommer til udtryk i estimationsresultaterne gengivet i tabel 5.

Det fremgår, at større vægt af modpartens bil i alle estimationerne har en positiv og statistisk signifikant effekt på skadesgraden i den ramte bil. Endvidere er effekten af større vægt i den ramte bil altid med til at reducere skadesgraden i den ramte bil. Ud over den første estimation, hvor der kun er medtaget vægten af den ramte bil og modpartens bil, er parameteren til vægten af modpartens bil rimelig stabil i de forskellige estimationer.

Ses på de estimerede parametre til de forskellige kontrolvariable fås generelt plausible fortegn. Hvis den ramte bil er nyere (årgang) reduceres skadesgraden. Dette er formentlig udtryk for, at sikkerhedsstandarden løbende forbedres i takt med teknologisk udvikling. Hvis modpartens bil er indregistreret for nyligt, er der også tegn på, at dette mindsker skadesgraden i den ramte bil, men parameteren er betydelig mindre og ikke altid statistisk signifikant.¹⁴

Der er en negativ parameter til årstallet for uheldet. Den negative trendparameter kan f.eks. opfange forbedringer i sikkerheden i infrastrukturen, eller at stigende trafik over tid er med til at dæmpe den faktisk kørte hastighed, hvilket mindsker alvorligheden af uheldet. Anvendes mere fleksible årsummyvariable har det ikke nogen betydning for størrelsen af parametrene til modpartens vægt og den ramtes vægt.¹⁵ Hastighedsgrænsen på det sted, hvor uheldet skete, er en indikator for den faktiske hastighed. Som forventet øges skadesgraden med hastighedsbegrænsningen. Endvidere er skadesgraden mindre i byer end på landet.

¹⁴ Det har ingen signifikant indflydelse på parametrene til modpartens vægt og den ramtes vægt, hvis variablene for bilernes alder/årgang erstattes af mere fleksible dummy-årgangsvariable.

¹⁵ Det er valgt at præsentere resultater med en trend variabel (i stedet for årsummys) og med en enkelt variabel for årgangstrend af bilernes alder (i stedet for årgangs-dummyvariable) af to grunde. Dels fordi det er enklere at beskrive resultaterne kort og dels fordi der senere estimeres en mere fleksibel model (generaliseret logit model), hvor der for hver medtagen variabel estimeres flere parametre. Det kan være problematisk med rigtig mange forklarende variable i en mere fleksibel model.

Table 5 Ordered logit estimations for highest injury degree (driver and passengers)

Estimation	1		2		3		4		5		6	
	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi
Vægt af modpart (M)	0,041	0,00	0,057	0,00	0,058	0,00	0,061	0,00	0,068	0,00	0,069	0,00
Vægt for ramt bil (R)	-0,112	0,00	-0,097	0,00	-0,083	0,00	-0,090	0,00	-0,088	0,00	-0,086	0,00
Argang (M)			-0,007	0,00	-0,005	0,03	-0,001	0,58	-0,003	0,36	-0,004	0,22
Argang (R)			-0,013	0,00	-0,019	0,00	-0,014	0,00	-0,016	0,00	-0,017	0,00
År for uheld (trend)			-0,035	0,00	-0,035	0,00	-0,056	0,00	-0,056	0,00	-0,058	0,00
Hastighedsgrænse			0,009	0,00	0,009	0,00	0,024	0,00	0,024	0,00	0,024	0,00
By			-0,985	0,00	-0,950	0,00	-0,545	0,00	-0,543	0,00	-0,526	0,00
Kvinde (M)					-0,060	0,05	-0,063	0,04	-0,066	0,04	-0,057	0,08
Mand under 23 (M)					0,171	0,00	0,167	0,00	0,161	0,00	0,205	0,00
Kvinde under 23 (M)					0,038	0,56	0,051	0,45	0,057	0,40	0,069	0,38
70-79 år (M)					0,091	0,11	0,105	0,08	0,104	0,08	0,115	0,06
80+ år (M)					-0,064	0,46	-0,019	0,83	-0,019	0,83	0,044	0,63
Ukendt alder (M)					-1,131	0,00	-1,022	0,00	-1,005	0,00		
Kvinde (R)					0,298	0,00	0,331	0,00	0,332	0,00	0,328	0,00
Mand under 23 (R)					-0,011	0,78	-0,058	0,17	-0,066	0,13	0,001	0,98
Kvinde under 23 (R)					-0,078	0,18	-0,088	0,15	-0,089	0,14	-0,021	0,77
70-79 år (R)					0,220	0,00	0,259	0,00	0,248	0,00	0,264	0,00
80+ år (R)					0,261	0,00	0,320	0,00	0,318	0,00	0,354	0,00
Ukendt alder (R)					-3,269	0,00	-3,156	0,00	-3,139	0,00		
Ulykkeskarak (25 variable)							Ja		Ja		Ja	
Bilmærke (2x62 variable)									Ja		Ja	
Sociøøko. karak. (20 var)											Ja	
Antal observationer	51.216		51.216		51.216		51.216		51.216		44.646	
logL	-28.719		-27.367		-27.109		-25.749		-25.671		-23.256	
Pseudo R ²	0,011		0,058		0,067		0,114		0,116		0,109	

Anm.: p-værdi er signifikansniveau for parameter baseret på robuste standard afvigelse, som tager højde for mulig korrelation i fejlede mellem parvise observationer (dvs. fra samme uheld).

I den tredje regression vist i tabel 5 er medtaget variable, der beskriver køn og alder for føreren i den ramte og modpartens personbil. Skadesgraden i den ramte bil øges, hvis føreren af modpartens bil er en ung mand under 23, mens det ikke har nogen signifikant betydning, hvis føreren af modpartens bil er en ung kvinde. Hvis føreren af den ramte bil er over 70 år, vil det øge skadesgraden. Dette er formentlig udtryk for, at ældre lettere kommer til skade ved sammenstød. En alternativ tolkning kunne være, at ældre kører dårligere eller mere risikobetonet. Det fremgår dog, at ældre føreren i modpartens bil ikke har signifikant betydning for skadesgraden i den ramte bil. Dette understøtter tolkningen af, at en højere skadesgrad for ældre i den ramte ikke skyldes mere risikobetonet adfærd men snarere større udsathed, når der sker uheld.

I den fjerde estimation i tabel 5 er medtaget 25 forskellige variable til beskrivelse af ulykkesituationen og adfærdsindikatorer for førerne af bilerne, jf. tabel 4. Parametrene til disse variable er ikke vist, men generelt fås signifikante resultater med de forventede fortegn. For eksempel er ulykkesgraden højere, hvis det er sne/isglat, hvis sammenstød er frontale, eller hvis føreren af den ramte bil ikke brugte sele. Hvis føreren af modparten ikke brugte sele, vil det også øge skadesgraden i den ramte bil. Dette er formentlig udtryk for, at personer, der ikke tager vare på egen sikkerhed, heller ikke passer på andre trafikanter. Det mest overraskende resultat er, at skadesgraden er mindre for uheld, hvor en af førerne var påvirket af alkohol. Muligvis kan dette skyldes, at alkoholpåvirkede førere kører langsommere, hvilket leder til lavere skadesgrad givet, der sker et uheld. Bemærk at vi her alene ser på effekten af spiritusrelaterede uheld givet der sker uheld. Spiritus kan således udmærket være med til at øge antallet af uheld og derfor også det samlede antal af både lettere skadede, alvorligt skadede og dræbte.

I den femte estimation er medtaget dummy-variable for de 62 forskellige bilmærker både for ramt bil og modpart. Disse kan potentielt opfange forskelle i sikkerhed for forskellige bilmærker. Forskellige bilmærker kan dog også appellere til forskellige typer af bilister og dermed være en indikator for køreadfærd. Medtagelse af information om bilmærkerne giver en lille stigning i parameteren til vægt af modpart, men giver dog kun en beskedent bidrag til at forklare skadesgraden (målt ud fra stigningen i pseudo- R^2 og $\log L$).

Endelig er der i den sidste estimation medtaget en række andre socioøkonomiske karakteristika for førerne baseret på kobling med andre registre i Danmarks Statistik (mindre datasæt). Umiddelbart har dette ikke nogen betydning for parameteren til vægten af modparten. De (ikke viste) parametre til de forskellige socioøkonomiske karakteristika

tyder bl.a. på, at skadesgraden for den ramte bil er mindre, når føreren af den ramte bil har en videregående uddannelse sammenlignet med en ufaglært. Skadesgraden er højere, hvis føreren af den ramte bil har børn. Dette kan muligvis forklares ved, at tilstedeværelsen af børn i bilen kan distrahere føreren, eller at børnefamilier har en mere travl og stresset hverdag.

En række af de medtagne variable kan opfattes som indikatorer for risikoadfærden for førerne af den ramte eller modpartens bil. Hvis vægten af personbiler er korreleret med risikoadfærd for føreren, kan der være en bias i den estimerede effekt af vægt, således at parameteren til vægt ikke kun medtager betydningen af vægt, men også et element af risikoadfærd for føreren. Stabiliteten af parameteren til modpartens vægt i estimationer, som gradvist medtager flere variable, som tænkes korreleret med køreadfærd, peger imidlertid i retning af, at parameteren til vægt ikke har væsentlig bias. En bias af parameteren til modpartens vægt kan naturligvis ikke udelukkes, men undersøgelsen her medtager væsentlig flere kontrolparametre for førernes karakteristika, end der typisk anvendes i lignende undersøgelser, jf. f.eks. Hels mfl. (2012), Anderson og Auffhammer (2011) eller Hultkrantz og Lindberg (2011).

6.1. Estimationer med skadesgrad for fører

Den afhængige variabel i estimationerne i tabel 5 er højeste skadesgrad for førere og passagerer. Færdselsuhedsregisteret indeholder kun oplysninger om passagerer, hvis de er skadede, og der er således ikke oplysninger om antallet af passagerer i uheldene.

Den højeste skadesgrad vil potentielt være stigende med antallet af passagerer i bilen (flere udsættes for risiko). Ligeledes forekommer det plausibelt, at der i gennemsnit er flere passagerer i større biler end i små biler. Tilsammen kan dette give en tendens til, at skadesgraden stiger med vægten i den ramte bil. Potentielt kan dette lede til bias i den estimerede parameter af modpartens vægt.

Hvis man havde oplysninger om antallet af passagerer (også ikke skadede), kunne denne oplysning være medtaget i estimationen. Da antallet af passagerer ikke kendes, er i stedet udført en række estimationer, hvor den afhængige variabel er skadesgrad kun for føreren, jf. tabel 6. De estimerede parametre til både modpartens vægt og den ramtes vægt i tabel 6 svarer nogenlunde til parametrene i tabel 5. Dette tyder ikke på, at medtagelse af skadesgraden for passagerer overvurderer betydningen af vægt.

Table 6 Ordered logit estimations for driver's injury degree

Estimation	1		2		3		4		5		6	
	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi
Vægt af modpart (M)	0,044	0,00	0,060	0,00	0,062	0,00	0,064	0,00	0,070	0,00	0,073	0,00
Vægt for ramt bil (R)	-0,122	0,00	-0,107	0,00	-0,088	0,00	-0,096	0,00	-0,094	0,00	-0,090	0,00
Årgang (M)			-0,007	0,01	-0,006	0,03	-0,002	0,58	-0,002	0,50	-0,004	0,21
Årgang (R)			-0,013	0,00	-0,021	0,00	-0,016	0,00	-0,018	0,00	-0,018	0,00
År for uheld			-0,033	0,00	-0,033	0,00	-0,052	0,00	-0,052	0,00	-0,055	0,00
Hastighedsgrænse			0,009	0,00	0,010	0,00	0,025	0,00	0,025	0,00	0,025	0,00
By			-1,024	0,00	-0,981	0,00	-0,524	0,00	-0,523	0,00	-0,515	0,00
Kvinde (M)					-0,026	0,42	-0,018	0,59	-0,019	0,57	-0,013	0,71
Mand under 23 (M)					0,153	0,00	0,158	0,00	0,150	0,00	0,192	0,00
Kvinde under 23 (M)					-0,092	0,21	-0,080	0,29	-0,070	0,35	-0,042	0,63
70-79 år (M)					0,047	0,46	0,075	0,26	0,073	0,27	0,085	0,22
80+ år (M)					-0,102	0,29	-0,026	0,79	-0,021	0,84	0,061	0,56
Ukendt alder (M)					-1,219	0,00	-1,142	0,00	-1,129	0,00		
Kvinde (R)					0,470	0,00	0,531	0,00	0,533	0,00	0,523	0,00
Mand under 23 (R)					-0,011	0,80	-0,062	0,19	-0,073	0,12	-0,058	0,32
Kvinde under 23 (R)					-0,098	0,11	-0,099	0,12	-0,098	0,13	-0,046	0,55
70-79 år (R)					0,094	0,13	0,145	0,03	0,131	0,04	0,148	0,03
80+ år (R)					0,180	0,04	0,264	0,00	0,260	0,01	0,290	0,00
Ukendt alder (R)					-3,590	0,00	-3,481	0,00	-3,469	0,00		
Ulykkeskarak. (25 var.)							ja		ja		ja	
Bilmærke (2x62 variable)									ja		ja	
Sociøøko. karak. (20 var)											ja	
Antal observationer	51.216		51.216		51.216		51.216		51.216		44.646	
logL	-24.868		-23.662		-23.368		-22.113		-22.031		-20.045	
Pseudo R ²	0,013		0,061		0,072		0,122		0,126		0,119	

Anm.: p-værdi er baseret på robuste standard afvigelser, som tager højde for mulig korrelation i fejllid mellem parvise observationer (dvs. fra samme uheld).

6.2. Marginale effekter

De gengivne resultater i tabel 5 og 6 viser, at modpartens vægt har en statistisk signifikant effekt på skadesgraden i den ramte bil. Størrelsen af denne effekt kan dog ikke umiddelbart aflæses af tabel 5 og 6. Betydningen af en stigning i modpartens vægt kan imidlertid opgøres ved at beregne ændringen i sandsynligheden i de forskellige skadesgrader ved en ændring i modpartens vægt, jf. tabel 7.

De prædikterede ændringer i sandsynligheden for en given skadesgrad ved en stigning i modpartens vægt på 100 kg er alle signifikante på 1 pct. niveau. Sandsynligheden for at være uskadt falder således med 0,0078, mens risikoen for lettere skade, alvorlig skade og dødsfald på henholdsvis 0,0040, 0,0033 og 0,00044.

Tabel 7 Ændring i skadesgrad (fører/passager) ved stigning i modparts vægt på 100 kg (ordered logit model)

Skadesgrad			S.E.	p-værdi
Uskadt	Ændring i risiko	-0,0078	0,0006	0,00
	Risiko (udgangspunkt)	0,8409		
	Relativ ændring i risiko	-0,9 pct.		
Lettere Skade	Ændring i risiko	0,0040	0,0003	0,00
	Risiko (udgangspunkt)	0,0941		
	Relativ ændring i risiko	4,3 pct.		
Alvorlig Skade	Ændring i risiko	0,0033	0,0003	0,00
	Risiko (udgangspunkt)	0,0583		
	Relativ ændring i risiko	5,7 pct.		
Dræbt	Ændring i risiko	0,00044	0,00005	0,00
	Risiko (udgangspunkt)	0,0066		
	Relativ ændring i risiko	6,7 pct.		

Anm: Ændring i risiko er den gennemsnitlige marginale effekt for hver skadesgrad baseret på estimation 5 i tabel 5. S.E. for den marginale effekt (ændring i risiko) er beregnet ved delta-metoden.

Disse ændringer i sandsynligheden for en given skadesgrad ved en stigning i modpartens vægt forekommer beskedne, men for de højeste skadesgrader afspejler dette, at der i udgangspunktet er en lille risiko. Således er risikoen for, at højeste skadesgrad er dræbt kun på 0,0066. Denne risiko svarer til, at der var 339 med skadesgrad død ud af de i alt 51.216 observationer, jf. tabel 2. Ændringen i risiko for dræbt på 0,00044 svarer

således til en *relativ* ændring i risikoen for skadesgrad dræbt på 6,7 pct. (= $100 \times 0,00044/0,0066$).

7. Estimationsresultater for en generaliseret ordered logit model

Hovedparten af de anvendte observationer brugt i orderet logit modellen har lave skadesgrader uden personskade eller kun med lettere skade, mens der er få dræbte i datasættet. I realiteten betyder dette, at de estimerede parametre i ordered logit modellen fortrinsvis er bestemt af påvirkningen af ændringer i de forklarende variable på sandsynligheden for at gå fra at være uskadt til at være lettere personskadet. Det antages således, at effekten af modpartens vægt er fanget ved en enkelt parameter, som bestemmer alle overgange i skadesgrader, f.eks. både fra uskadt til lettere personskadet og fra alvorlig personskadet til dræbt. Det er imidlertid ikke oplagt, at betydningen af modpartens vægt er den samme for overgang mellem forskellige skadesgrader.

For at undersøge dette, estimeres en såkaldt generaliseret ordered logit model, der er en mere fleksibel model end en ordered logit model, jf. Williams (2006). Den almindelige ordered logit model blev tidligere beskrevet i ligning (6). Til sammenligning kan den generaliserede ordered logit model opstilles som:

$$P(Y_{Ri} > j) = \frac{\exp(\alpha_j + X_i\beta_j)}{1 + [\exp(\alpha_j + X_i\beta_j)]}, \quad j = 1, 2, \dots, K - 1 \quad (7)$$

Som det fremgår af ligning (7) estimeres i den generaliserede ordered logit model i alt 3 sæt af β parametre (i den almindelige ordered logit model kun et sæt β parametre), hvor hvert sæt beskriver overgangen mellem de kategoriserede skadesgrader.¹⁶

Estimationsresultater for skadesgraden for fører og passagerer ved anvendelse af en generaliseret ordered logit model er vist i tabel 8. Grundlæggende er medtaget samme forklarende variable som i model 5 i tabel 5. Af hensyn til at begrænse antallet af parametre er dog kun medtaget dummy variable for de 9 hyppigst forekommende bilmærker i datasættet (både for ramt og modpart) i stedet for de i alt 62 forskellige bilmærker tidligere anvendt. Af pladshensyn er kun vist en del af de estimerede parametre. Tabellen

¹⁶ Det første sæt parametre svarer til resultatet af en almindelig binær logit model for sandsynligheden for personskadet/dræbt overfor ingen personskade (dvs. skadesgrad 1-3 overfor 0). Det andet sæt af parametre svarer til sandsynligheden for skadesgrad 0 eller 1 overfor skadesgrad 2 eller 3, mens det tredje sæt af parametre beskriver overgangen fra skadesgrad 0-2 overfor skadesgrad 3.

præsenterer resultater for hele landet (svarende til tidligere) og en opdeling på by og land.

Tabel 8 Generaliseret ordered logit model for skadesgrad (fører og passager)

	Alle		By		Land	
	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi
<i>Skadesgrad 0 ift. 1, 2 eller 3)</i>						
Vægt af modpart	0,062	0,00	0,053	0,00	0,062	0,00
Vægt at ramt bil	-0,087	0,00	-0,106	0,00	-0,074	0,00
Årgang modpart	-0,003	0,25	-0,004	0,34	-0,001	0,80
Årgang ramt	-0,014	0,00	-0,009	0,01	-0,017	0,00
År for uheld	-0,059	0,00	-0,066	0,00	-0,051	0,00
Hastighedsgrænse	0,023	0,00	0,023	0,00	0,025	0,00
By	-0,534	0,00				
<i>Skadesgrad 0 og 1 ift. 2 og 3</i>						
vægt af modpart	0,078	0,00	0,058	0,00	0,083	0,00
Vægt at ramt bil	-0,102	0,00	-0,129	0,00	-0,088	0,00
Årgang modpart	0,002	0,57	0,000	0,97	0,004	0,41
Årgang ramt	-0,019	0,00	-0,016	0,01	-0,021	0,00
År for uheld	-0,040	0,00	-0,047	0,01	-0,033	0,02
Hastighedsgrænse	0,025	0,00	0,027	0,00	0,027	0,00
By	-0,599	0,00				
<i>Skadesgrad 0, 1 og 2 ift. 3</i>						
vægt af modpart	0,125	0,00	0,096	0,15	0,131	0,00
Vægt at ramt bil	-0,154	0,00	-0,145	0,14	-0,144	0,00
Årgang modpart	0,020	0,08	-0,043	0,37	0,029	0,02
Årgang ramt	-0,044	0,00	-0,092	0,02	-0,038	0,00
År for uheld	-0,060	0,05	0,055	0,51	-0,071	0,03
Hastighedsgrænse	0,049	0,00	0,066	0,00	0,049	0,00
By	-1,053	0,00				
Alder/køn (12 variable)	ja		(ja ^a)		ja	
Ulykkeskarak (25 var)	ja		(ja ^a)		ja	
Bilmærke (2x9 variable)	ja		nej		ja	
Antal observationer	51.216		31.996		19.220	
Obs. Med neg. predikt. ss	8		5		32	
logL	-25.365		-11.323		-13.980	
Pseudo R2	0,127		0,082		0,094	

Anm: p-værdi er baseret på robuste standard afvigelse, som tager højde for mulig korrelation i fejlede mellem parvise observationer (dvs. fra samme uheld). De andre forklarende variable er medtaget for hver af de 3 sæt af vektorer af forklarende variable. En uheldig egenskab ved den generaliserede ordered logit model er, at der i modsætning til den almindelige ordered logit model kan forekomme negative predikterede sandsynligheder. Antal observationer med negative sandsynligheder er angivet i tabellen.

Note a): For by er estimeret en enklere model uden bilmærker og med færre variable hhv. for køn og alder (6 i stedet for 12) og for ulykkeskarakteristika (17 i stedet for 25). Dette skyldes, at der er mindre variabilitet i den afhængige variabel, da der kun er få dræbte ved sammenstød i byer.

Det fremgår, at betydningen af både modpartens vægt og den ramte bils vægt er højere, når der ses på overgangen til dræbte overfor de andre kategorier. I estimationen med alle data er parameteren til modpartens vægt ved overgang til dræbt således på 0,125, mens den i de to andre tilfælde er på 0,062 og 0,077. Kvalitativt fås samme resultater for f.eks. hastighed og årgang for den ramte bil.

Sammenlignes med de estimerede parametre ved en opdeling på by og land, fås overordnet parametre i samme størrelsesorden til modpartens vægt. For by er der dog kun få signifikante parametre, når man ser på overgangen til dødsfald overfor de øvrige kategorier (dvs. nederste sæt af parametre i tabel 8). Dette afspejler formentlig, at der i byerne er meget få dræbte ved sammenstød mellem personbiler. Der er således kun 33 af de 31.996 observationer i byerne, hvor skadesgraden er dræbt.¹⁷

De højere parametre til modpartens vægt ved overgang til dødsfald afspejler sig også i den forventede ændring i risiko og den relative ændring i risiko, jf. tabel 9. Den relative ændring i risikoen for dødsfald er således meget højere med den generaliserede logit model sammenlignet med de tidligere viste fra den almindelige ordered logit model.

Den relative ændring i risiko for dødsfald ved en stigning i modpartens vægt er således på 11,1 pct. Det er bemærkelsesværdigt, at dette næsten er identisk med den relative ændring i risikoen for dødsfald på 10,4, som blev fundet i Anderson og Auffhammer (2011) på baggrund af et stort datasæt fra USA.¹⁸

Det fremgår endvidere, at den relative ændring i risikoen i by og land for dræbte og alvorligt tilskadeskomne svarer til det, der er fundet for hele landet. For byområder er den predikterede ændring i risikoen for dræbt ikke statistisk signifikant, men også i dette tilfælde fås en relativ ændring i risikoen, som svarer til hele samlet og land.

¹⁷ Dette afspejler givet, at hastigheden er mindre i byerne. Til gengæld er antallet af dræbte ved sammenstød mellem biler og ubeskyttede trafikanter (fodgængere, cyklister og knallertkørere) højt i byerne sammenlignet med landområder.

¹⁸ Anderson og Auffhammer (2011) fandt en ændring i den forventede risiko på 47 pct. ved en stigning i modpartens vægt på 1.000 pund. Omregnet svarer dette til 10,4 pct. for 100 kg.

Tabel 9 Ændring i skadesgrad (fører/passager) ved stigning i modparts vægt på 100 kg (generaliseret ordered logit model)

Skades-grad		Alle	By	Land
Uskadt	Ændring i risiko	-0,0072 (0,00)	-0,0044 (0,00)	-0,0107 (0,00)
	Risiko (udgangspunkt)	0,8409	0,9029	0,7378
	Relativ ændring risiko	-0,9 pct.	-0,5 pct.	-1,5 pct.
Lettere Skade	Ændring i risiko	0,0029 (0,00)	0,0026 (0,00)	0,0029 (0,00)
	Risiko (udgangspunkt)	0,0941	0,0644	0,1438
	Relativ ændring risiko	3,0 pct.	4,0 pct.	2,0 pct.
Alv. Skade	Ændring i risiko	0,0035 (0,00)	0,0017 (0,00)	0,0059 (0,00)
	Risiko (udgangspunkt)	0,0583	0,0318	0,1025
	Relativ ændring risiko	6,0 pct.	5,3 pct.	5,8 pct.
Dræbt	Ændring i risiko	0,00073 (0,00)	0,0001 (0,17)	0,0019 (0,00)
	Risiko (udgangspunkt)	0,0066	0,0010	0,0159
	Relativ ændring risiko	11,1 pct.	9,6 pct.	11,9 pct.

Anm: Ændring i risiko er den gennemsnitlige marginale effekt for hver skadesgrad baseret på de estimate-rede parametre fra estimationen vist i tabel 8. Tallet i parentes er signifikansniveau for den marginale effekt (ændring i risiko) beregnet ved delta-metoden.

8. Opgørelse af de samfundsøkonomiske ulykkesomkostninger ved bilvægt

Den empiriske analyse viser, at der er en statistisk signifikant effekt af modpartens vægt for risikoen for dødsfald og personskade i den ramte bil givet sammenstød mellem to personbiler. Personer, der vælger en tung bil, påfører derfor andre bilister en ekstern omkostning i form af højere forventet skadesgrad.

For at belyse størrelsen af den eksterne omkostning ved bilvægt opgøres den forventede stigning i antallet af dødsfald og personskader – og herefter den årlige samfundsøkonomiske eksterne omkostning ved at vælge en tung bilvariant v i forhold til en given let reference bil. Den eksterne omkostning ved bilvariant v i forhold til en let reference bil er givet ved:

$$Ekstern\ omkostning_v = P(ulykke) \cdot \sum_i \tilde{\beta}_i a_i f_i (KG_v - KG_{ref}) \quad (8)$$

Her er $P(\text{ulykke})$ risikoen for, at en bil involveres i en ulykke (antaget ens på tværs af bilvarianter). Parameteren $\tilde{\beta}_i$ er ændringen i risiko for skade i (dødsfald, alvorlig skade og lettere personskade) svarende til den marginale effekt af modpartens vægt, jf. tabel 9.¹⁹ Parameteren a_i er fortsat velfærdsomkostningen ved skadesgrad i (for dødsfald den gennemsnitlige danske værdi af værdien af et statistisk liv).²⁰ Vægten af bilvariant v og referencebilen er givet ved henholdsvis KG_v og KG_{ref} . Endelig er f_i en opregningsfaktor, som tager højde for, at den empiriske analyse af højeste skadesgrad ikke medregner, at der kan være flere skadede i hvert køretøj, jf. tabel 2. Opregningsfaktoren er på 1,14 (døde), 1,17 (alvorligt skade) og 1,34 (lettere skade). Ligning (8) er en lettere generaliseret udgave af tilsvarende ligning for den eksterne omkostning i Anderson og Auffhammer (2011).

Som vægt for referencebilen er anvendt 750 kg, som nogenlunde svarer til vægten for nogle af de letteste minibiler, som kunne købes de sidste år i dataperioden (f.eks. Peugeot 107, Citroen C1 og Toyota Aygo). Intuitionen er, at disse biler er de mindst farlige for andre trafikanter. For modpartens vægt i ligning (8) vælges 1.197 kg, som er gennemsnitsvægten i estimationssamplet de seneste år. Gennemsnitsvægten i hele bilparken ultimo 2011 er i øvrigt også på ca. 1.200 kg. Sandsynligheden for sammenstød er opgjort som antal observationer i datasættet i seneste år delt med beholdningen af de tilsvarende personbiler. Der var i datasættet 5.930 personbiler, som var involveret i sammenstød med andre personbiler i 2010, mens der i samme år (ultimo) var 2.187.490 biler i hele bilparken. Dette giver en gennemsnitlig risiko for hver bil på 0,0027 (= 5.930/2.187.490).

For en bil af gennemsnitlig vægt på 1.197 kg giver dette en omkostning på **279** kr. pr. år (2012-priser) svarende til en samlet omkostning på **0,6** mia. kr. pr. år. for alle de godt 2

¹⁹ I tabel 8 blev $\tilde{\beta}_i$ opgjort som den gennemsnitlige marginale effekt. For at forenkle beregningerne antages, at den marginale effekt af vægt er konstant. I Anderson og Auffhammer (2011) er foretaget en række test af den funktionelle form af den marginale effekt, som tyder på, at dette tilnærmelsesvist er overholdt.

²⁰ Det er kun velfærdsomkostningen (a_i), som indgår i ligningen, mens systemomkostningen (c_i) ikke er medtaget. Dette skyldes, at systemomkostningen allerede indgår i den traditionelle opgørelse af de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved sammenstød mellem personbiler, jf. ligning (3). Hvis systemomkostningen blev medtaget, kunne det medføre dobbeltregning. I modsætning hertil indgår i ligning (3) kun velfærdsomkostningerne i sammenhæng med risikoelasticiteten. Velfærdsomkostningen i ligning (3) vedrører således ændringen i risiko, men ikke – som det her er gjort for vægteksternaliteten – eksternaliteter som valg af en stor personbil påfører andre trafikanter. I udledningen af ligning (3) er således antaget, at bilerne var homogene.

mio. personbiler. Af dette beløb udgør bidraget fra øget dødelighed ca. 60 pct., mens alvorlige ulykker tegner sig for hovedparten af den resterende del. Bidraget fra lettere personskader udgør kun få pct.

Hvis pågældende beløb skulle opkræves ved en afgift på benzin og diesel ville det svare til en afgift på ca. **0,28** kr. pr. liter (givet en antagelse om en gennemsnitlig brændstofeffektivitet på 16 km pr. liter og en årskørsel pr. bil på 16.000 km).²¹

Den eksterne vægteksternalitet for forskellige bilvarianter pr. kørt kilometer, c_v , kan opgøres som:

$$c_v = \frac{P(\text{ulykke}) \cdot \sum_i \tilde{\beta}_i a_i f_i (KG_v - KG_{ref})}{\text{årskørsel}} \quad (9)$$

Divisionen med den gennemsnitlige årskørsel i ligning (9) svarer til, at sandsynligheden for sammenstød nu er opgjort pr. kørt km. Ud fra ligningen beregnes, at en stigning i vægten på 100 kg medfører en stigning i den eksterne vægtomkostning på **0,39** øre pr. km. For en relativ tung bil med en vægt på 1.750 kg (dvs. 1.000 kg tungere end den letteste bil) udgør den eksterne vægtomkostning således blot ca. 4 øre pr. km.²²

Disse beløb kan sammenholdes med resultaterne baseret på amerikanske data præsenteret i Anderson og Auffhammer (2011). Her findes en samlet vægteksternalitet (kun med bidrag fra dødsfald) svarende til 1,1 kr. pr. liter brændstof og en omkostning ved valg af en 100 kg tungere bil på 1,6 øre pr. km.²³ Dette er ca. fire gange større end de tilsvarende tal fundet her.

Umiddelbart forekommer dette overraskende, da der blev estimeret en næsten identisk effekt på den relative risiko for dødsfald ved en stigning i modpartens vægt, givet der forekommer et uheld. Der kan dog peges på tre ting, som tilsiger højere værdi af vægteksternaliteten i USA end i Danmark: 1) Der er flere alvorlige sammenstød i USA, 2)

²¹ Ved en brændstofeffektivitet på 16 km pr. liter og en årskørsel på 16.000 km anvendes 1.000 liter brændstof. Den gennemsnitlige årlige samfundsøkonomiske vægteksternalitet på 279 kr. pr. bil svarer derfor til 0,28 kr. pr. liter brændstof.

²² Vægteksternaliteten er også blevet beregnet for by og land separat, men værdierne her adskiller sig ikke væsentligt fra vægteksternaliteten samlet set (0,53 og 0,36 øre pr. km pr. 100 kg vægtforøgelse for hhv. land og by).

²³ Omregnet fra 0,73\$ pr. gallon brændstof og 2,1 cent pr. mil ved en dollarkurs på 5,7 kr.

der er anvendt en højere værdi af statistisk liv og 3) bilerne i USA er tungere end i Danmark.

Således var dødsraten ved trafikulykker i Danmark i 2010 på ca. 5,5 pr. 100.000 indbyggere. Det tilsvarende tal for USA i 2005 var næsten 3 gange højere, jf. OECD og ITF (2011).²⁴ Det skal dog bemærkes, at disse dødsrater er for alle trafikrelaterede dødsfald og dermed ikke kun dødsraten ved sammenstød mellem personbiler. Med hensyn til værdien af et statistisk liv anvender Anderson og Auffhammer (2011) en værdi på \$5,8 mio. svarende til ca. 33 mio. kr. Dette er omkring dobbelt så stort, som den værdi, der anvendes i Danmark. Endelig er personbiler i USA større og tungere end i Danmark, hvilket også bidrager til forskellen i den samlede vægteksternalitet omregnet til kr. pr. liter brændstof. Alt andet lige vil dette bidrage til større ekstern omkostning af vægt, jf. ligning (8). Således er den gennemsnitlige bil i USA ca. 800 kg tungere end den letteste tilgængelige bil på det amerikanske marked (referencebilen), mens forskellen i Danmark kun er på ca. 450 kg. Tilsammen tilsiger dette, at afgiften pr. kg-km og den samlede eksterne vægteksternalitet er højere i USA, selv om der i studiet baseret på amerikanske data ikke indgår velfærdstab af personskader.

Bidraget fra vægteksternaliteten kan tillægges de øvrige bidrag til de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved kørsel i personbil, jf. afsnit 3. Den samlede marginale eksterne omkostning ved ulykker opdelt på by, land og i alt for forskellige størrelser af biler er gengivet i tabel 10. Den marginale eksterne omkostning for de letteste biler (samme størrelse som referencebilen) svarer til det der tidligere blev vist i tabel 2. I alt svarer den marginale eksterne ulykkesomkostning for de letteste biler til 6,8 øre pr. km. For en normal bil på ca. 1.250 kg stiger omkostningen til 8,7 øre pr. km, mens omkostningen for en tung personbil (1.750 kg) er på ca. 10,7 øre pr. km. I tabellen er også vist marginale eksterne omkostninger ved ulykker for en meget tung personbil (2.250 kg). Der er dog kun få personbiler, som har en vægt på 2.250 kg eller højere (ca. 1 pct. i estimationsdata).

Selv om vægten af personbilen har stor betydning for de marginale eksterne ulykkesomkostninger, så har geografiske forhold større betydning. Uanset størrelsen af personbilen er de marginale eksterne omkostninger væsentlig højere i byerne end udenfor byerne.

²⁴ Bemærk at der her er sammenlignet for forskellige år for at afspejle året for opgørelsen af vægteksternaliteten i USA (2005 data) og Danmark (2010-11 data). På grund af en generel faldende dødsrate både i Danmark og USA er forskellen i dødsraten mindre, hvis der sammenlignes i samme år.

Tabel 10 Samlede eksterne marginale ulykkesomkostninger for personbiler med forskellig vægt (2012-priser)

Bilvægt	By	Land	I alt
		----- Øre pr. km -----	
750 kg.	29,2	1,1	6,8
1.250 kg.	30,9	3,7	8,7
1.750 kg.	32,7	6,4	10,7
2.250 kg.	34,5	9,0	12,6

Anm: Egne beregninger. En bilvægt på 1.250 kg er lidt større end gennemsnitsvægten (og medianen) af bilerne i estimationsdata for år 2011. En bilvægt på 1.750 og 2.250 kg svarer nogenlunde til hhv. 95 pct. og 99 pct. fraktilen i fordelingen af vægten af bilerne.

9. Korrektion af de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved afgifter

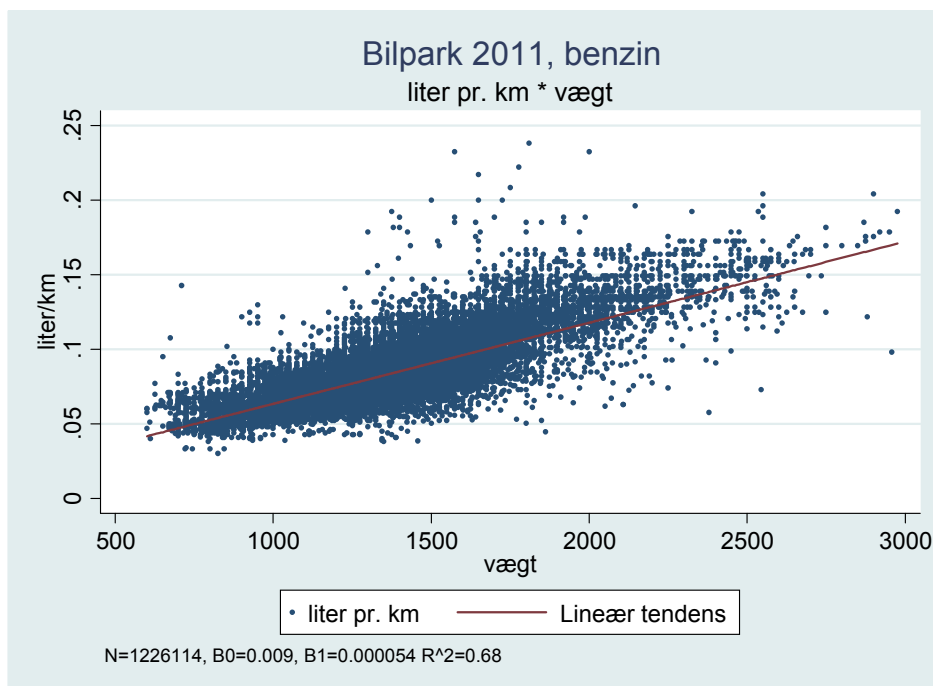
Hvis der skal pålægges en afgift, som afspejler de estimerede marginale eksterne ulykkesomkostninger, skal afgiften være differentieret både i forhold til by/land og for vægten af personbilen, jf. tabel 10. En optimal afgift i forhold til ulykkesomkostninger vil derfor forudsætte, at kan opkræves egentlige vejbenyttelsesafgifter (road pricing), så kørsel i forskellige områder kan beskattes forskelligt.

Indtil sådanne afgiftssystemer er etableret, er det nødvendigt at bruge grovere instrumenter. Et naturligt spørgsmål i denne sammenhæng er, i hvor høj grad en afgift på brændstof (benzin eller diesel) vil modsvare den faktiske marginale eksterne ulykkesomkostning. Afgifter på brændstof kan naturligvis ikke differentieres mellem by og land, selvom en sådan differentiering egentlig er den vigtigste. Vurderingen af afgifter på brændstof er således alene relateret til den gennemsnitlige marginale ulykkesomkostning for forskellige vægte af biler, dvs. svarende til ”i alt” i tabel 10.

Der er af åbenbare fysiske grunde en høj grad af korrelation mellem brændstofeffektiviteten og vægten af personbilerne. Dette er illustreret i figur 3 for benzindrevne køretøjer i hele bilparken ultimo 2011.²⁵ I figuren er brændstofeffektiviteten udtrykt som liter pr. km.

²⁵ I figuren er medtaget personbiler, hyrevogne og små varebiler, hvor der er oplysninger om brændstofeffektiviteten. For personbiler findes ingen oplysninger om brændstofeffektiviteten før medio 1997, dvs. at gamle personbiler ikke indgår i figuren.

Figur 3 Brændstoffeffektivitet og vægt, benzindrevne personbiler ultimo 2011

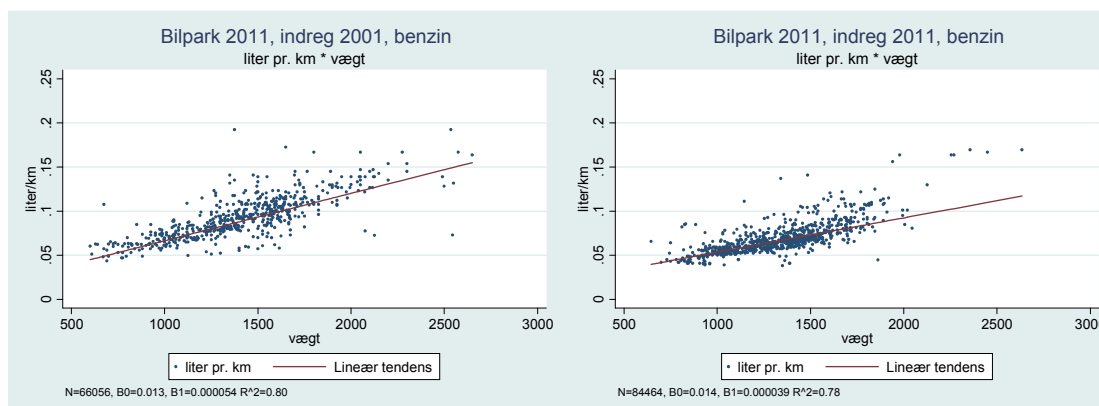


Anm: Da mange af observationerne dækker over samme bilvariant – og derfor samme kombination af brændstoffeffektivitet og vægt – vil hver prik i praksis repræsentere mange observationer. Den estimerede tendenslinje er beregnet for alle observationer (vægtet). N angiver således antallet af biler og ikke antallet af bilvarianter.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata.

Figuren illustrerer benzineffektiviteten for bilvarianter for alle de forskellige årgange af biler, som findes i bilparken ultimo 2011. Benzineffektiviteten er imidlertid blevet forbedret over tid. Dette kan illustreres ved at estimere sammenhængen mellem benzineffektivitet og vægt for personbiler indregistreret 2001 og 2011, jf. figur 4a og 4b.

Figur 4a og 4b Benzineffektivitet og vægt for årgang 2001 og 2011



Anm: Figurene medtager biler i de to årgange 2001 og 2011, som stadig indgik i bilparken ultimo 2011.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata.

Det fremgår, at brændstofeffektiviteten er blevet forbedret for biler indregistreret i 2011 sammenlignet med biler indregistreret i 2001. Således er hældningen på tendenslinjen i 2011 fladere sammenlignet med 2001. Det svarer til, at alle benzinbiler er blevet mere brændstofeffektive over perioden for alle vægte. Forbedringen er størst for de tungeste biler, men relativt er der tale om næsten samme forbedring. For en god ordens skyld skal det understreges, at kurverne både dækker over teknologiske ændringer, som påvirker udbuddet af modeller, og forbrugernes valg mellem de tilgængelige bilvarianter. For dieseldrevne biler har der også været en forbedring i brændstofeffektiviteten, jf. bilag C.

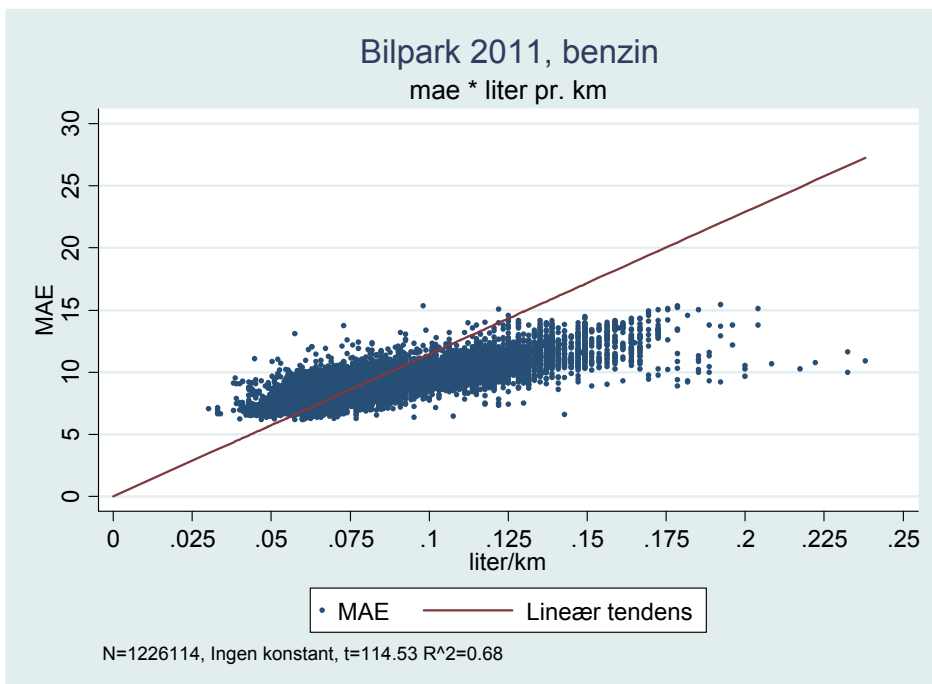
Korrelationen mellem vægt og brændstofeffektivitet tilsiger, at det er muligt at opkræve en (imperfekt) kørselsafhængig afgift via prisen på brændstof. For hver personbil i bilparken er beregnet den marginale eksterne vægteksternalitet ud fra ligning (9) tillagt de øvrige bidrag til de marginale eksterne ulykkesomkostninger (dvs. svarende til ”i alt”-søjlen i tabel 10). Den afgift på brændstof, som bedst afspejler den samlede marginale ulykkesomkostninger for forskellige bilvarianter (MAE_v), kan findes ved at estimere afgiftsparameteren t i følgende ligning, hvor ε_v er fejllid, som måler afvigelsen for hver bilvariant fra den optimale afgift pr. km:

$$MAE_v = t \cdot \text{liter} / \text{km} + \varepsilon_v \quad (10)$$

Da der kun kan sættes en proportional afgift på brændstof (t), skal ligning (10) estimeres uden konstantled. De samlede marginale eksterne ulykkesomkostninger for hver bil i bilparken ultimo 2011 er plottet med brændstofeffektiviteten i figur 5 og 6 for henholdsvis benzin- og dieseldrevne køretøjer.

Det fremgår, at der er en pæn korrelation mellem de samlede marginale ulykkesomkostninger og brændstofeffektiviteten (liter pr. km) både for benzin- og dieseldrevne køretøjer (R^2 på knap 0,7). Den afgift, der bedst afspejler de samlede marginale ulykkesomkostninger for benzinbiler, er på 115 øre pr. liter benzin, mens det tilsvarende tal for dieseldrevne biler er 166 øre pr. liter diesel. I afsnit 8 blev det opgjort, at vægteksternaliteten svarede til en gennemsnitlig afgift på brændstof på 28 øre pr. liter. Dette tal medtog imidlertid kun effekten af vægteksternaliteten ved sammenstød mellem personbiler. De 115 og 166 øre pr. liter medtager også øvrige bidrag til de samlede marginale eksterne ulykkesomkostninger, som f.eks. sammenstød med lette trafikanter og samfundsøkonomiske omkostninger ved eneulykker.

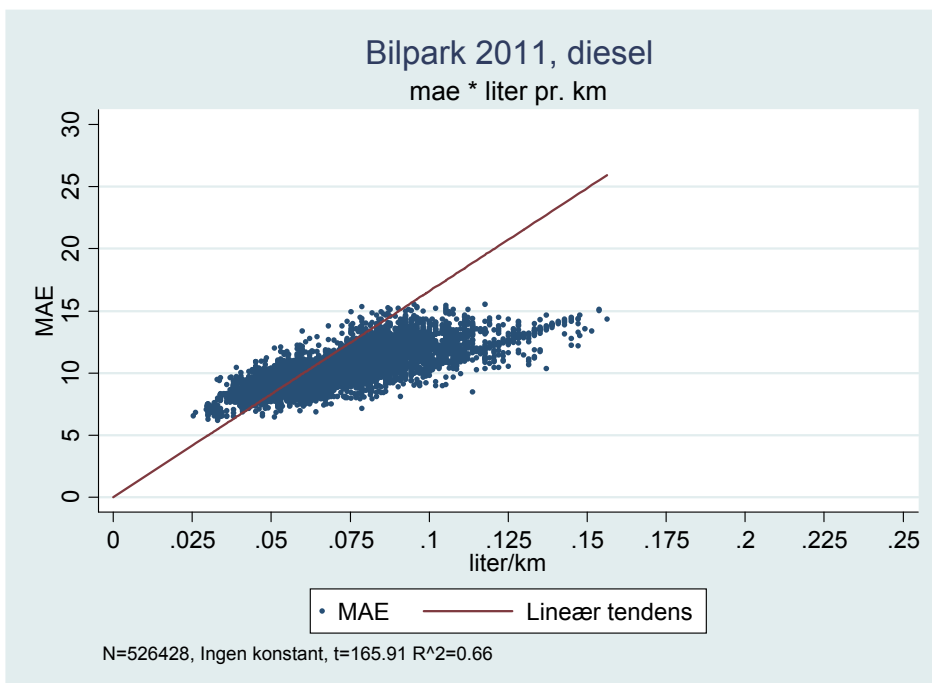
Figur 5 Optimal marginal ekstern ulykkesomkostning (MAE) og liter pr. km, benzin



Anm: MAE er de samlede marginale ulykkesomkostninger opgjort i øre pr. km

Kilde: Egne beregninger.

Figur 6 Optimal marginal ekstern ulykkesomkostning (MAE) og liter pr. km, diesel



Anm: MAE er de samlede marginale ulykkesomkostninger opgjort i øre pr. km

Kilde: Egne beregninger.

Det fremgår af figurerne, at de bedst tilnærmede afgifter på benzin og diesel generelt giver en for høj afgift for de mindst brændstofeffektive biler (høj værdi af liter pr. km) og en for lav afgift for de mest brændstofeffektive biler.

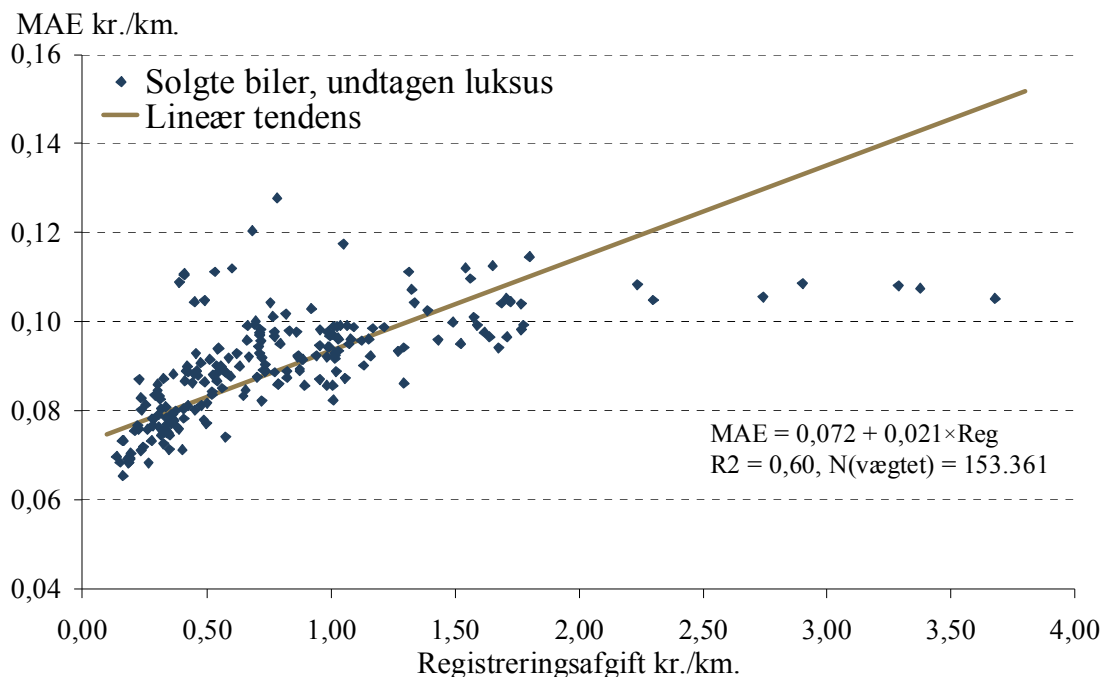
De bedst tilnærmede ulykkesafgifter på benzin og diesel afspejler korrelationen mellem brændstofeffektivitet og vægt for både nye og gamle biler i bilparken ultimo 2011. Ses alene på nye biler indregistreret i løbet af 2011, fås højere afgifter på 142 øre pr. liter benzin og 191 øre pr. liter diesel, jf. bilag C (figur C.3 og C.4). Dette illustrerer, at hvis formålet er at beskatte vægt via en afgift på brændstof, og der er teknologiske ændringer, som løbende forbedrer brændstofeffektiviteten, så er det nødvendigt også løbende at øge afgiften pr. liter brændstof. I modsat fald vil afgiften pr. kg-km løbende blive udhulet af den forbedrede brændstofeffektivitet.

Den højere afgift på diesel i forhold til benzin afspejler også forskelle i brændstofeffektiviteten. Der skal bruges mindre diesel end benzin til at flytte 1.000 kg bil. Hvis målet er at beskatte vægten, er det derfor nødvendigt med en højere afgift på diesel.

Endelig er foretaget en sammenligning mellem de samlede marginale ulykkesomkostninger og et mål for registreringsafgiften pr. km for en række bilmodeller fra 2010.²⁶ Registreringsafgiften er høj for dyre biler, men samtidig er større biler også generelt dyrere. Potentielt kan registreringsafgiften derfor være rimelig tæt korreleret med de samlede marginale eksterne ulykkesomkostninger, som også varierer med vægt. Det fremgår dog, at selv om der er en sammenhæng mellem de marginale eksterne ulykkesomkostninger og registreringsafgifterne, så er sammenhængen ikke højere end der blev fundet ved brændstofeffektiviteten, jf. figur 7. Dette tilsiger, at registreringsafgiften ikke er mere målrettet de marginale eksterne ulykkesomkostninger end afgifter på benzin og diesel. Derudover vil registreringsafgifter generelt være mindre målrettede til en kørselsafhængig eksternalitet end det, der fremgår af figur 7, da ens køretøjer med samme registreringsafgift ikke nødvendigvis kører lige langt i hele deres levetid. Grundlæggende harmonerer regulering ved bilkøbet (registreringsafgiften) ikke med princippet om, at en eksternalitetskorrigerende afgift bør lægges så tæt på den aktivitet (kørslen), som giver anledning til eksternaliteten.

²⁶ Oplysninger om registreringsafgifter for forskellige bilvarianter solgt i 2010 er baseret på oplysninger indsamlet af Skatteministeriet. Skatteministeriet data indeholder oplysninger om ca. 230 forskellige personbilvarianter, som tilsammen omfatter ca. $\frac{3}{4}$ af de solgte personbiler i 2010. Registreringsafgiften er udregnet på baggrund af listepreiser for de forskellige bilvarianter. Hvis bilerne sælges med rabat i forhold til listepreisen vil registreringsafgiften være overvurderet.

Figur 7 Marginal ekstern ulykkesomkostning og registreringsafgift



Anm: Registreringsafgiften er omregnet til øre pr. km ved en antagelse om en gennemsnitlig årskørsel på 16.700 km, en levetid på 16,2 år og en realrente på 3 pct. Luxusbiler, sportsvogne og andre varianter, som kun er solgt i få eksemplarer, er ikke medtaget. Den indlagte tendenslinje er beregnet ved at inddrage salg af forskellige varianter som vægte.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af oplysninger fra Skatteministeriet om registreringsafgiften for en række bilvarianter solgt i 2010.

Afslutningsvis er det værd at overveje, hvad en korrekt fastsat afgift betyder for antallet af dødsfald og personskader i forhold til en situation, hvor der ikke er afgifter på kørslen i biler. Vægteksternaliteten afspejler, at den enkelte har et incitament til at vælge en for stor bil, der er sikrere eller mere behagelig for ejeren, men som udgør en større risiko for andre trafikanter. Det fremgik af tabel 8, at de estimerede parametre til vægten af den ramte bil (den interne sikkerheds gevinst) numerisk er lidt større end parametrene til modpartens vægt. Isoleret set betyder dette, at en reduktion i bilparkens størrelse også vil give mindre stigning i antallet af dræbte og tilskadedkomne. Umiddelbart kan det virke som et paradoks, at en regulering, som sigter mod at korrigere for en ulykkeseksternalitet, i sidste ende give en lille stigning i antallet af dræbte og tilskadedkomne. Det er dog vigtigt at være opmærksom på, at ændringen i antallet af dræbte og tilskadedkomne ikke er udtryk for velfærdspåvirkningen af den førte politik, jf. Anderson og Auffhammer (2011). Som nævnt i indledningen er vægteksternaliteten blevet sammenlignet med et våbenkapløb. Det er kendetegnende ved et våbenkapløb, at hver part bru-

ger ressourcer på at investere i våben, men at dette ikke behøver at betyde, at nogen af landene er sikrere på at undgå krig. Velfærdstabt ved våbenkapløbet er ikke (nødvendigvis) højere risiko for krig, men omkostningen ved at produktive ressourcer anvendes til våben. En afgift, som korrigerer for vægteksternaliteten, vil således ikke nødvendigvis have en stor effekt på antallet af dræbte og skadede, men den vil kunne have en stor effekt på udgiften til køb af biler, som er for store ud fra en samfundsøkonomisk betragtning. Som eksempel vil en reduktion af bilparkens vægt på 100 kg mindsker købernes årlige omkostninger (uden indregning af registreringsafgift) med ca. 2,5 mia. kr. pr. år.²⁷ Til sammenligning vil samme reduktion i vægten af alle biler lede til en forventet stigning i dødsfald på 1,2, mens der forventes ca. 8 og 13 flere alvorligt og lettere tilskadekomne beregnet ud fra parametrene i tabel 8. Velfærdsomkostningen ved dette svarer til i alt ca. 39 mio. kr. pr. år, dvs. meget mindre end de sparede årlige omkostninger ved at købe flere biler. Der er naturligvis andre omkostninger ved at få en mindre bil, som ikke indregnes her (mindre komfort, bagagerumsplads osv.), ligesom der også er ikke medregnede gevinster i form af færre udgifter til brændstof. Regneeksemplet illustrerer imidlertid, at de sparede omkostninger ved mindre biler er mange gange større end omkostningen ved tabt sikkerhed.

10. Personbilers vægt og sammenstød med lette trafikanter

I opgørelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger (eksklusive vægteksternaliteten fra sammenstød mellem personbiler) i tabel 2 indgår den eksterne omkostning fra personbilernes sammenstød med lette trafikanter, jf. ligning (4). Der er her tale om en form for gennemsnitsomkostning, hvor det implicit antages, at der ikke er forskel på den eksterne omkostning for tunge personbiler og lette personbiler i forbindelse med sammenstød med lette/ubeskyttede trafikanter.

I det følgende undersøges om denne antagelse er plausibel ved at undersøge, om personbilens vægt har betydning for skadesgraden for den lette trafikant givet der sker en ulykke. Der anvendes en generaliseret ordered logit model alene for skadesgraden for den lette trafikant. Der anvendes nogenlunde type af forklarende variable som beskrevet i oversigten over variable. I stedet for karakteristika ved den ramte bil er medtaget

²⁷ De 2,5 mia. kr. pr. år er baseret på følgende opgørelse: En simpel lineær estimation af sammenhængen mellem bilpris (eksklusive registreringsafgift) og vægt baseret på data for modeller solgt i 2010 viser, at en reduktion i vægten på 100 kg svarer til en mindsket bilpris på ca. 15.700 kr. Spredt over en levetid på 16,5 år svarer det til en årlig omkostning pr. bil på 1.220 kr. pr. år pr. bil. Med godt 2 mio. personbiler svarer dette til en sparet omkostning på ca. 2,5 mia. kr. Hvis der i stedet var set på bilpriser inklusive registreringsafgiften ville beløbet være på knap 7 mia. kr.

dummy variable for typen af let trafikant (motorcykel, knallert, cyklist eller gående). På baggrund af indledende estimationer (ikke vist) anvendes i den endelige model noget færre forklarende variable end for sammenstød mellem biler. For eksempel er udeladt køn af let trafikant og fører af personbil, nogle aldersvariable og bilmærker. Den estimerede parameter til personbilens vægt er generelt signifikant og rimelig stabil i forhold til inklusion/eksklusion af andre forklarende variable. Centrale estimerede parametre er vist i tabel 11.

Tabel 11 Skadesgrad for let trafikant ved sammenstød med bil (generaliseret ordered logit model)

	Alle	
	Par.	p-værdi
<i>Skadesgrad 0, ift. 1, 2 og 3</i>		
Vægt af modpart bil	0,021	0,00
Årgang modparts bil	-0,010	0,00
År for uheld	-0,078	0,00
Hastighedsgrænse	0,009	0,00
By	-0,517	0,00
70-79 år (let trafikant)	0,807	0,00
80+ år (let trafikant)	1,091	0,00
<i>Skadesgrad 0 og 1 ift. 2 og 3</i>		
Vægt af modpart bil	0,024	0,00
Årgang modparts bil	-0,009	0,00
År for uheld	-0,014	0,03
Hastighedsgrænse	0,012	0,00
By	-0,401	0,00
70-79 år (let trafikant)	0,796	0,00
80+ år (let trafikant)	1,034	0,00
<i>Skadesgrad 0, 1 og 2 ift. 3</i>		
Vægt af modpart bil	0,030	0,06
Årgang modparts bil	-0,016	0,06
År for uheld	0,033	0,09
Hastighedsgrænse	0,030	0,00
By	-1,216	0,00
70-79 år (let trafikant)	1,463	0,00
80+ år (let trafikant)	1,919	0,00
Supplerende aldersvariable	4	
Ulykkeskarakteristika og sted	8	
Type af let trafikant (Motorcykel...)	4	
Antal observationer	27.254	
Obs. med neg. predikt. ss	35	
Pseudo R2	0,069	

Anm: En uheldig egenskab ved den generaliserede ordered logit model er, at der i modsætning til den almindelige ordered logit model kan forekomme negative predikterede sandsynligheder. Antal observationer med negative sandsynligheder er angivet i tabellen.

Det fremgår, at vægten af bilen generelt øger skadesgraden for den lette trafikant. Hvis bilen er nyere vil det generelt mindske skadesgraden for den lette trafikant (givet der sker et uheld). Øget hastighedsgrænse bidrager til øget skadesgrad, mens skadesgraden er højere for ældre lette trafikanter.

Den gennemsnitlige effekt af en stigning i bilernes vægt på 100 kg på skadesgraden for den lette trafikant er vist i tabel 12. Det fremgår, at der bliver færre uskadte, effekten på de lettere skadede er lille og ikke statistisk signifikant, mens der bliver alvorligt skadede og dræbte. Påvirkningen på antallet af dræbte er dog kun signifikant på 7 pct. niveau.

I tabellen vises også de relative ændringer i risiko for forskellige skadesgrader (givet der forekommer et uheld). Bemærk at man ikke umiddelbart kan sammenligne niveauerne for den relative ændring i risikoen med de tilsvarende niveauer i tabel 9, da fordelingen af skadesgrader er meget forskellig (ved rapporterede sammenstød mellem biler var langt hovedparten uskadte, mens det for lette trafikanter er knap halvdelen som er uskadte). Sammenlignes de absolutte ændringer i risiko for dræbte og alvorligt tilskadekomne i tabel 9 og 12 har de faktisk nogenlunde samme størrelsesorden (lavere for dræbte men højere for alvorligt tilskadekomne i tabel 12 sammenlignet med tabel 9). *Givet* der sker et sammenstød er effekten af øget vægt således nogenlunde ens ved sammenstød mellem bil og let trafikant sammenlignet med sammenstød mellem to biler. Risikoen for at blive involveret i sammenstød med let trafikant er dog kun halvt så stor som den tilsvarende risiko for at blive involveret i sammenstød med en anden personbil. Dette tilsiger, at vægteksternaliteten fra sammenstød med lette trafikanter er betydelig mindre sammenlignet med bidraget fra sammenstød mellem biler.

Alt i alt viser analyserne i dette afsnit, at bilens vægt har signifikant betydning for skadesgraden for lette trafikanter. Øget bilvægt giver flere alvorlige personskader for den lette trafikant og leder formentlig også til flere dødsfald. Dette implicerer, at forskellen i de marginale eksterne ulykkesomkostninger for lette og tunge biler gengivet i tabel 10 er lidt mindre end de egentlig burde være. Det samlede (gennemsnitlige)niveau for de marginale eksterne ulykkesomkostninger i tabel 10 medtager velfærdstab for lette trafikanter og er derfor ikke underdrevet.

Tabel 12 Ændring i skadesgrad for let trafikant ved stigning i bilens vægt med 100 kg (generaliseret ordered logit model)

Skadesgrad			p-værdi
Uskadt	Ændring i risiko	-0,0048	0,00
	Risiko (udgangspunkt)	0,4774	
	Relativ ændring i risiko	-1,0 pct.	
Lettere Skade	Ændring i risiko	0,0001	0,87
	Risiko (udgangspunkt)	0,2197	
	Relativ ændring i risiko	0,1 pct.	
Alvorlig Skade	Ændring i risiko	0,0041	0,00
	Risiko (udgangspunkt)	0,2826	
	Relativ ændring i risiko	1,5 pct.	
Dræbt	Ændring i risiko	0,0005	0,07
	Risiko (udgangspunkt)	0,0203	
	Relativ ændring i risiko	2,6 pct.	

Anm: Ændring i risiko er den gennemsnitlige marginale effekt for hver skadesgrad baseret på estimation i tabel 11. P-værdien er beregnet ved delta-metoden.

11. Sammenfatning og konklusion

Der er foretaget en opgørelse af de marginale eksterne ulykkesomkostninger for personbiler. I opgørelsen indgår traditionelle tilgange til opgørelse af de marginale eksterne ulykkesomkostninger som betydningen af øget trafik på ulykkesrisikoen, betydningen af at der er omkostninger ved uheld, som ikke betales af trafikanterne og endelig betydningen af at bilister ikke ventes at indregne velfærdstab for dræbte og tilskadeskomne lettere trafikanter (fodgængere, cyklister og knallertkørere). Derudover er det også vurderet, hvorvidt relativt tunge personbiler udgør en øget risiko for førere og passagerer i lettere personbiler, hvis der sker et sammenstød. Baseret på data for sammenstød mellem personbiler for perioden 2003-11 findes, at vægten har signifikant betydning for alvorligheden af ulykken. For hver 100 kg højere vægt hos modparten vil det ved sammenstød øge risikoen for dødsfald med 11 pct. og risikoen for alvorlig personskade med 6 pct. i den ramte bil.

De marginale eksterne ulykkesomkostninger for de tungeste personbiler er således væsentlig større end for de letteste personbiler. Den marginale eksterne ulykkesomkostning er således på 7 øre pr. km for de letteste personbiler, mens den er på 11-13 øre pr. km for de tungeste personbiler. For en personbil af gennemsnitlig størrelse er den marginale

eksterne omkostning ved ulykker på knap 9 øre pr. km. Forskellen i de marginale eksterne ulykkesomkostninger mellem lette og tunge personbiler er formentlig underdrevet, da den ikke indregner, at skadesgraden for lette ubeskyttede trafikanter vokser med vægten af personbilen. Betydningen af størrelse af bilerne vurderes dog at være mindre for lette trafikanter end ved sammenstød mellem personbiler.

Lokalitet har stor betydning for den marginale eksterne ulykkesomkostning. Således er den marginale eksterne ulykkesomkostning i by ca. 31 øre pr. km, mens det tilsvarende tal ved kørsel udenfor by er på godt 4 øre pr. km (for personbiler af gennemsnitlig størrelse). Variationen i de marginale eksterne ulykkesomkostninger mellem by og land er således væsentlig større end variationen mellem en lille og en stor personbil.

I forhold til de nuværende halvofficielle (og halvgamle) marginale eksterne ulykkesomkostninger fås væsentlig lavere. De gængse marginale eksterne ulykkesomkostninger er således på 21 øre pr. km, mens den her er på 9 øre pr. km for en personbil af gennemsnitlig vægt. Undersøgelsen tyder endvidere på, at der er større forskel i de marginale eksterne ulykkesomkostninger mellem land og by end de hidtidige danske opgørelser viser. Det betyder, at generelle virkemidler, som f.eks. afgifter på brændstof, er mindre velegnede til at korrigere for ulykkeseksternaliteten end hidtil antaget.

Så længe det ikke er muligt at opkræve geografisk differentierede vejbenyttelsesafgifter, som også kan differentieres med køretøjets vægt er det nødvendigt at søge at korrigere for de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved andre virkemidler. Der er en høj korrelation mellem brændstofeffektivitet og vægt, som gør det mulig at bruge afgifter på benzin og diesel til indirekte at beskatte vægt på vejene. De afgifter på benzin og diesel, som bedst tilnærmer de optimale (ikke-geografisk differentierede) marginale ulykkesomkostninger for personbiler er på henholdsvis 115 øre pr. liter benzin og 166 øre pr. liter diesel. Hvis der fortsat sker teknologiske forandringer, der forbedrer brændstofudnyttelsen øges disse ”bedst-mulige” afgifter.

12. Vidensbehov

Afslutningsvis følger en diskussion af usikkerheder og muligheder for at forbedre opgørelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger ved kørsel i personbiler.

Risikoelasticiteten er en central parameter for størrelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger. Den her anvendte risikoelasticitet er udledt af statistiske modeller, som Vejdirektoratet har estimeret for sammenhængen mellem uheld og trafik på for-

skellige vejstrækninger. I disse modeller skelnes imidlertid ikke mellem forskellige typer af uheld. Der kunne opnås bedre præcision i opgørelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger, hvis der blev estimeret risikoelasticiteter for forskellige typer af uheld (sammenstød personbiler, eneuheld, personbil og ubeskyttet trafikant). Endvidere er Vejdirektoratetsmodeller baseret på vejstrækninger, som er statsveje og (tidligere) amtsveje. Det vil være fordelagtigt, hvis der var risikoelasticiteter til rådighed, som også belyste sammenhængen mellem trafik og uheldsrisikoen på kommuneveje (især for byerne).

Til opgørelse af de marginale eksterne ulykkesomkostninger er anvendt gængse værdier for systemomkostningerne, som også indgår i cost-benefit analyser af forbedringer af infrastrukturen. De oprindelige kilder til opgørelsen af systemomkostningerne har dog ikke kunne identificeres, og det er derfor uklart hvor gamle disse undersøgelser er. Ændrede behandlingsformer – f.eks. øget brug af ambulante behandlinger – kan have ændret niveauet for behandlingsomkostningerne. Systemomkostningerne spiller dog en mindre rolle end f.eks. velfærdsomkostningerne (værdien af statistisk liv) og størrelsen af risikoelasticiteten.

Systemomkostningerne omfatter bl.a. udgifter til hospitalsbehandling samt politi- og redningstjeneste. Ved uheld kan der i myldretiden opstå forsinkelser i trafikken for andre trafikanter. Potentielt kan dette være en ikke ubetydelig samfundsøkonomisk omkostning, som den enkelte trafikant ikke tager højde for i sin adfærd. Dette kan gøre den marginale eksterne ulykkesomkostning højere i myldretiden i områder med trængsel. Der findes tilsyneladende ingen opgørelser af effekten af ulykker på trængslen i Danmark, og det er ikke et bidrag til omkostningerne ved ulykker, som indgår i litteraturen om de samfundsøkonomiske omkostninger ved ulykker.

13. Litteratur

Anderson, M. og M. Auffhammer (2011): Pounds That Kill: The External Costs of Vehicle Weight NBER working paper 17170. National Bureau of Economic Research.

Danish Ministry of Transport og COWI (2004): External Costs of Transport (1st, 2nd and 3rd report). Danish Ministry of Transport.

DTU Transport (2010): Transportøkonomiske Enhedspriser - til brug for samfundsøkonomiske analyser Version 1.3, Juli 2010.

DTU Transport (2012): Risiko i trafikken, 2007-2010.

Edlin, A.S. og P. Karaca-Mandic (2006): The Accident Externality from Driving. *Journal of Political Economy*, 114 (5), s. 931-955.

Friedstrøm, L. (2011): A Framework for Assessing the Marginal External Accident Cost of Road Use and its Implications for Unsurace Ratemaking. Discussion Paper 2011-22. International Transport Forum.

Hels, T., A. Lyckegaard, C.G. Prato, J. Rich, L. Abele og G. Lindberg (2012): Udviklingen i bilers passive sikkerhed - skadesgrad for førere af person- og varebiler. DTU Transport.

Hultkrantz, L. og G. Lindberg (2011): Accident cost, speed and vehicle mass externalities, and insurance. International Transport Forum Discussion Paper No. 2011-26. ITF/OECD Joint Transport Research Centre.

Jansson, J.O. (1994): Accident Externality Charges. *Journal of Transport Economics and Policy*, 28 (1), s. 31-43.

Lindberg, G. (2001): Traffic Insurance and Accident Externality Charges. *Journal of Transport Economics and Policy*, 35 (3), s. 399-416.

Mayeres, I., S. Ochelen og S. Proost (1996): The marginal external costs of urban transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1 (2), s. 111-130.

Newbery, D.M. (1988): Road User Charges in Britain. *The Economic Journal*, 98 (390), s. 161-176.

OECD og ITF (2011): Road Safety 2010 - Irtad Annual Report 2010. OECD/ITF.

Parry, I.W.H., M. Walls og W. Harrington (2007): Automobile Externalities and Policies. *Journal of Economic Literature*, 45 (2), s. 373-399.

Transportministeriet (2010): Værdisætning af transportens eksterne omkostninger. Transportministeriet.

Vejdirektoratet (2006): AP-parametre til uheldsmodeller - Baseret på data for 2001-2005. Vejdirektoratet.

Vejdirektoratet (2012a): AP-parametre til uheldsmodeller - Baseret på data for 2007-2011. Vejdirektoratet.

Vejdirektoratet (2012b): Statsvejnettet 2012 - Oversigt over tilstand og udvikling Rapport 420 - 2012. Vejdirektoratet.

White, M. (2004): The "arms race" on American Roads: The Effect of Sport Utility Vehicles and Pickup Trucks on Traffic Safety. *Journal of Law and Economics*, 47 (2), s. 333-355.

Williams, R. (2006): Generalized Ordered Logit/Partial Proportional Odds Models for Ordinal Dependent Variables. *The Stata Journal*, 6 (1), s. 58-82.

Bilag A: Vurdering af størrelsen af risikoelasticiteten for samlet kørsel

Risikoelasticiteten er væsentlig for størrelsen af de marginale eksterne ulykkesomkostninger. Hvis antallet af ulykker stiger proportionalt med trafikken, vil risikoen være konstant. Dette svarer til en risikoelasticitet på nul. Hvis antallet af ulykker stiger progressivt med de kørte kilometer, vil ulykkesrisikoen stige. Det svarer til en positiv risikoelasticitet. Omvendt, hvis antallet af ulykker stiger mindre end trafikken, falder risikoen ved øget kørsel og risikoelasticiteten er i så fald negativ.

Det fremhæves ofte i litteraturen, at den empiriske viden om risikoelasticiteten er relativt begrænset. Tidligere analyser af de eksterne ulykkesomkostninger fandt (eller antog), at risikoelasticiteten var positiv. For eksempel antog Newbery (1988) en risikoelasticitet på 0,25 for bilulykker. Lidt senere opgørelser af de marginale eksterne omkostninger eller empiriske undersøgelser hælder dog til, at risikoelasticiteten er nul (Mayeres mfl. (1996) og Lindberg (2001)) eller negativ (jf. f.eks. Friedstrøm (2011), Vejdirektoratet (2006) og Vejdirektoratet (2012a)).

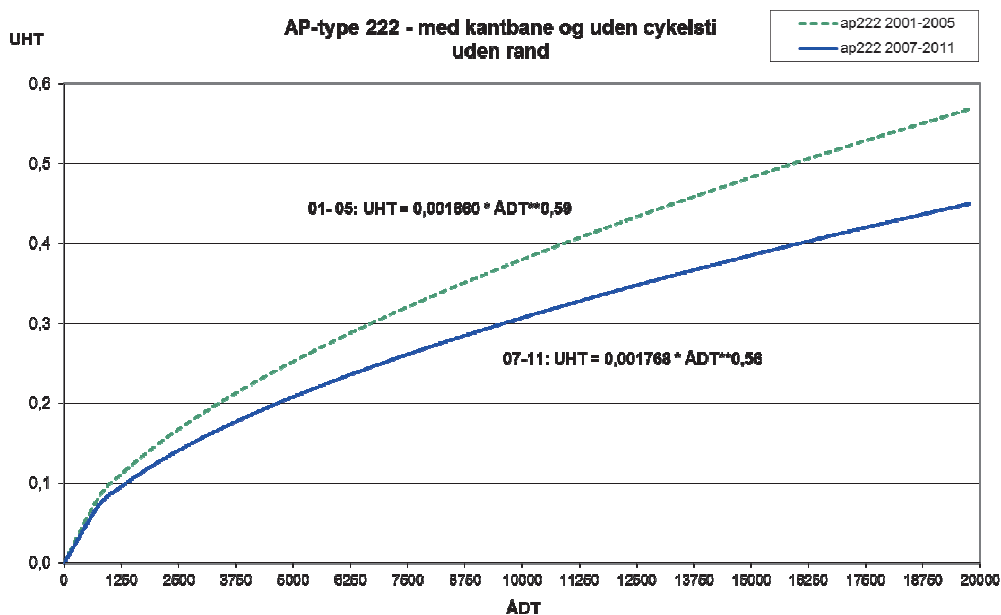
Risikoelasticiteten kan variere med lokalitet og involverede køretøjer. Således refererer Lindberg (2001) undersøgelser, som tyder på, at risikoelasticiteten for bilsammenstød er nul uden for byområder, men positiv i byområder. Til gengæld anføres, at risikoelasticiteten for sammenstød mellem personbiler og fodgængere/cykler er på -0,5.

Undersøgelser baseret på norske tværnsnitsdata tyder på en negativ risikoelasticitet på -0,5 for personbilulykker (ved ændring i personbiltrafikken), mens de tilsvarende risikoelasticiteter er på -0,24 for motorcykler, -0,52 for cyklister og endelig kun -0,84 for fodgængere (ligeledes målt ved en ændring i biltrafikken), jf. Friedstrøm (2011).

I dansk sammenhæng har Vejdirektoratet (2012a) analyseret sammenhængen mellem antallet af ulykker og trafikken. Konkret er der estimeret tværnsnitsmodeller baseret på data for antal ulykker og trafikmængde for perioden 2007 til 2011 for forskellige typer af vejstrækninger/kryds. Analysen omfatter udelukkende stats- og (tidligere) amtsveje, dvs. typisk større veje.

Resultaterne for en enkelt vejstrækning er gengivet i figur A.1. Det fremgår, at antallet af uheld stiger med trafikken, men at stigningen af aftagende. Derved falder risikoen, hvilket implicerer en negativ risikoelasticitet.

Figur A.1 Eksempel på sammenhæng mellem uheldstæthed (UHT) og årsdøgnstrafik (ÅDT)



Anm: Kurven er af Vejdirektoratet estimeret på baggrund af observationer for vejstrækninger af typen to-sporet vej med kantbane, uden cykelsti og uden randbebyggelse (tilnærmelsesvis svarende til uden for byområder). Der indgår både uheld med personskade og uheld kun med materialeskade. Den optrukne blå kurve er baseret på data for perioden 2007-11, mens den stiplede linje er baseret på data for 2001-05.
Kilde: Vejdirektoratet (2012a)

De analyserede strækninger/kryds kan tilnærmelsesvis deles ind i land og by. Resultaterne fra analysen er sammenfattet i tabel A.1 og omfortolket, så der beskrives risikoelasticiteter.²⁸ Gennemgående synes risikoelasticiteten at være negativ, dvs. at øget trafik mindsker risikoen for ulykker. For alle ulykker (inklusive ulykker kun med materialeskade) ved kryds i byer er der dog tegn på, at risikoelasticiteten kan være positiv. Der er dog flere ulykker på strækninger end i kryds, således at en sammenvægtet risikoelasticitet er negativ. For ulykker med personskader findes en samlet risikoelasticitet i både by og land på -0,4 ved en stigning i den samlede kørsel.

²⁸ I Vejdirektoratet (2012) estimeres en form for Cobb-Douglas funktioner, hvor den afhængige variabel er uheld pr. km af en given type vejstrækning (f.eks. motorvej) og den uafhængige variabel er årsdøgntrafikken. Ved uheld i kryds indgår trafikken separat for hver vej. Disse modeller estimerer i princippet ulykkeselasticiteten. Risikoelasticiteten kan dog direkte beregnes som ulykkeselasticiteten fratrukket 1, jf. Friedstrøm (2011)

En lignende undersøgelse baseret på data fra en tidligere periode får resultater, som giver risikoelasticiteter som er en smule tættere på nul, især for personskadeuheld i byer, jf. Vejdirektoratet (2006).

Tabel A.1 Sammenhæng mellem trafik og ulykker på stats- og amtsveje, samlet

	Alle uheld		Uheld med personskade	
	By	Land	By	Land
Strækninger				
Risikoelasticitet	-0,45	-0,36	-0,48	-0,45
(Antal uheld)	(2.863)	(11.624)	(958)	(5.037)
Kryds				
Risikoelasticitet	0,25	-0,03	-0,28	-0,22
(Antal uheld)	(2.017)	(3.399)	(521)	(1.188)
I alt (strækninger og kryds)				
Risikoelasticitet	-0,16	-0,29	-0,41	-0,41
(Antal uheld)	(4.880)	(15.023)	(1.479)	(6.225)

Anm: Alle angivne elasticiteter er beregnet som et vægtet gennemsnit af elasticiteter for en mere detaljeret underopdeling af forskellige typer af vejstrækninger og kryds. For kryds er antaget, at der er en proportional stigning i trafikken på begge veje i krydset. Baseret på data fra perioden 2001 til 2005

Kilde: Vejdirektoratet (2012a) og egne beregninger.

Bemærk at der i Vejdirektoratets opgørelse ses på de samlede uheld uanset transportmiddel, dvs. der skelnes ikke mellem personbil-personbil, personbil-cyklist/gang osv. De risikoelasticiteter, som fremgår af tabel A.1 vedrører derfor ændringen i risikoen på tværs af alle transportmidler (inklusive eneuheld) ved en stigning i den samlede kørsel. Godt 2/3 af de tilskadekomne på landet er i personbil. Derfor forekommer det plausibelt, at risikoelasticiteten for land i tabel A.1 kan tolkes som risikoelasticiteten for biluheld ved en ændring i biltrafikken.

Risikoelasticiteten på -0,4 for uheld med personskade i byer er en form for vægtet risikoelasticitet for risikoen for bilister og lette trafikanter. De tilskadekomne i byer består hovedsagelig af ubeskyttede trafikanter, idet fodgængere, cyklister og knallertkørere udgår godt 60 pct. af alle de tilskadekomne i byer, mens bilister udgør ca. ¼ af de tilskadekomne. Denne fordeling vedrører dog uheld på alle veje i byer. Det må dog antages, at der er færre bløde trafikanter på de større stats- og amtveje i byer, således at andelen af bilister er højere.

Samlet set harmonerer resultaterne i tabel A.1 med de estimerede risikoelasticiteter i Friedstrøm (2011), som generelt er negative, om end numerisk lidt større end det der fremgår af tabel A.1.

Der er imidlertid blevet argumenteret for, at empiriske undersøgelser af sammenhængen mellem ulykker og trafikmængde har nedad bias i forhold til den egentlige underliggende risikoelasticitet. Hvis trafikanter skønner, at risikoen for ulykke øges vil det kunne påvirke deres adfærd f.eks. ved at nedsætte hastigheden (eller være ekstra årvågen). Derved stiger det observerede antal af uheld ved øget trafik mindre end de egentlig ville gøre i en situation uden en sådan kompenserende adfærd fra bilisternes side. Den kompenserende adfærd er omkostningsfyldt og er dermed med til at øge de eksterne ulykkesomkostninger, jf. Parry mfl. (2007). Dette trækker i retning af, at risikoelasticiteten i princippet burde være mindre negativ. Der kan imidlertid også argumenteres for, at en sådan kompenserende adfærd i form af lavere hastighed ved øget trafik allerede indgår i opgørelsen af trængselseksternaliteten.

Vedrørende størrelsen af risikoelasticiteten er blevet fremført, at tværsnitsanalyser af sammenhængen mellem trafikmængde og trafikulykker svarende til analysen i Vejdirektoratet (2012a) kan give et skævt estimat for risikoelasticiteten. Således argumenterer Edlin og Karaca-Mandic (2006) for, at myndighederne må formodes at investere mere i at sikre veje, hvor trafikken (og antal uheld) er højest. Dette er en form for (fornuftig) kompenserende adfærd fra myndighedernes side, men den kan give en negativ bias i den estimerede risikoelasticitet ved brug af tværsnitsdata.

Alt i alt kan der således argumenteres for, at de faktiske risikoelasticiteter kan være mindre negative end det, der fremgår af tabel A.1.

Knap 80 pct. af den samlede kørsel foregår som personbiltrafik (inklusive kørsel udført af taxa og mindre varebiler). Selvom størstedelen af den samlede kørsel bliver udført af personbiler, synes en risikoelasticitet på -0,4 derfor at være for stor ved en ændring i personbiler kørsel. Tages der højde for, at biltrafikken kun omfatter en del af den samlede kørsel, kan risikoelasticiteten opgøres til -0,32.

Sammenfattende tyder nylige danske og norske undersøgelser på, at risikoelasticiteten er negativ. Alt i alt synes -0,4, at være et godt bud på en risikoelasticitet for den samlede kørsel på vejene. Risikoelasticiteten synes at være den samme i byer og landområder.

Den samlede trafik foregår dog ikke kun i personbiler. Risikoelasticiteten opgjort for personbiler alene svarer til -0,32.

Der kan dog argumenteres for, at pågældende elasticiteter er kunstigt små eller ikke opfanger andre omkostninger ved risikoen for uheld i form af kompenserende adfærd (langsommere eller mere forsigtig kørsel). Dette taler for at lave følsomhedsanalyser med en risikoelasticitet, som er halvt så stor (-0,16). Med hensyn til sammenstød mellem personbiler og lette trafikanter (cykler og fodgængere) peger udenlandske undersøgelser på, at risikoelasticiteten for sådanne uheld kan være lavere end de -0,32. Derfor er udført en supplerende følsomhedsanalyse med en risikoelasticitet på -0,5.

Bilag B: Personrelaterede uheldsomkostninger

DTU Transport offentliggør ulykkesomkostninger fordelt på kategorierne død, alvorlig personskade og lettere personskade. Disse personrelaterede ulykkesomkostninger består af fire komponenter:

- Systemomkostninger (af DTU Transport beregnet som ”personrelaterede omkostninger”) bestående af:
 - Udgifter til politi og redning
 - Udgifter til medicinsk behandling af tilskadekomne
 - Nettoproduktionstab
- Velfærdstab (for dræbte er dette værdien af statistisk liv)

Velfærdstabet for alvorligt og lettere tilskadekomne er beregnet som hhv. 13 pct. og 1 pct. af værdien af et statistisk liv baseret på anbefalinger i international litteratur, jf. Transportministeriet (2010)

Tabel B.1 Uheldsomkostninger pr. tilskadekommen, 1.000 kr. (2009-priser)

	Dræbt	Alvorligt personskadet	Lettere Personskadet	Vægtet gns. pr. tilskadekommen
Systemomkostninger	1.595	922	289	634
Velfærdstab (VSL)	15.702	2.041	157	1.763
Ialt, pr. tilskadekommen	17.298	2.964	446	2.396

Anm: Ifølge DTU Transport tages højde for, at en række uheld ikke rapporteres (gælder dog ikke dræbte). Således er enhedsomkostningerne inklusive omkostningerne for uheld som ikke bliver rapporteret af politiet. Tallene fremkommer ifølge de Trafikøkonomiske enhedspriser version 1.3 således ved at dividere alle omkostningerne med de politirapporterede uheld (formentlig gælder denne korrektion kun for systemomkostningerne og ikke for velfærdstabet).

Det fremgår af tabel B.1, at velfærdstabet udgør den største del af de samlede uheldsomkostninger for dræbte og (i mindre grad) for alvorligt tilskadekomne. Som et vægtet gennemsnit af alle tilskadekomne udgør velfærdstabet næsten $\frac{3}{4}$ af de samlede omkostninger.

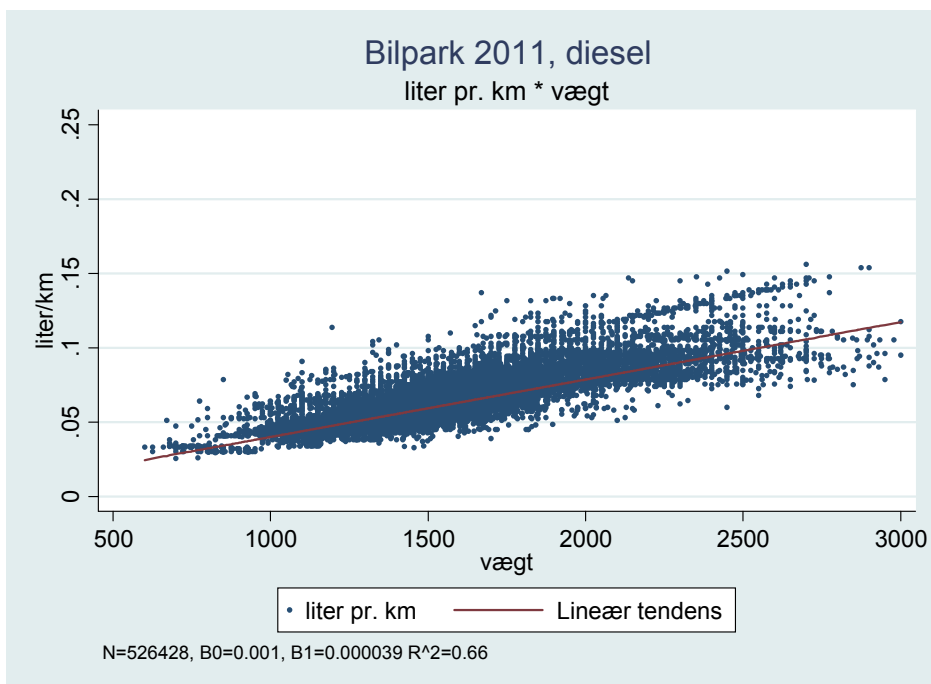
Af systemomkostningerne udgør nettoproduktionstab langt størstedelen for dræbte, mens omkostningen til politi, redningstjeneste og behandling er relativt beskedne. I opgørelsen af de marginale eksterne omkostninger anvendes de gængse enhedspriser vist i

tabel B.1, da disse anvendes til f.eks. cost-benefit analyser. Det bemærkes, at det ikke har været muligt at identificere de primære undersøgelser/metoder, som ligger til grund for opgørelsen systemomkostningerne. Der er muligvis tale om ældre undersøgelser, som er korrigeret for prisudvikling.

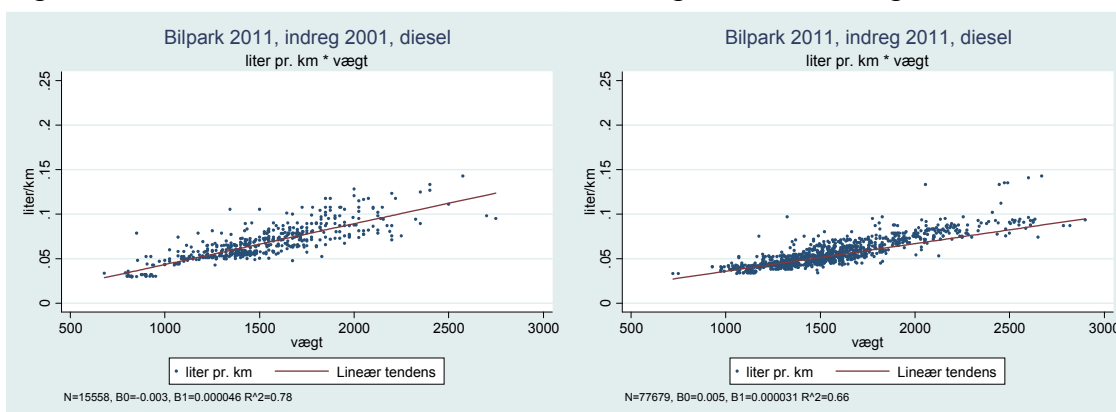
Nettoproduktionstabet opgøres som personens bruttoproduktion minus eget forbrug. Der synes ikke at være konsensus om, hvorvidt man skal medtage nettoproduktionstabet, når der allerede er medtaget et mål for nyttetabet ved dødsfald og skader. I Miljøministeriet's (2010) vejledning i *Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter* betegnes det som "omdiskuteret" at medtage forskellen mellem forventet fremtidig produktion og forbrug i tillæg til præferencebaserede mål for værdien af statistisk liv.

Bilag C: Brændstoffeffektivitet for dieseldrevne køretøjer

Figur C.1 Brændstoffeffektivitet for dieslbiler, ultimo 2011



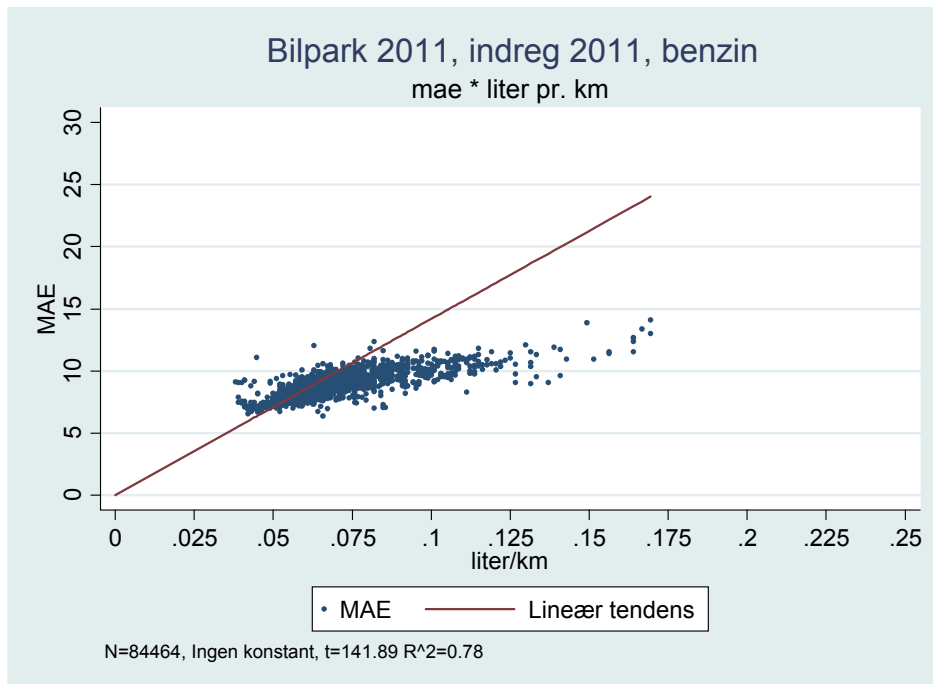
Figur C.2 Brændstoffeffektivitet for dieslbiler indregistreret i 2001 og 2011, ult. 2001



Anm: Figurene medtager biler i de to årgange 2001 og 2011, som stadig indgik i bilparken ultimo 2011.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata

Figur C.3 Optimal marginal ekstern ulykkesomkostning (MAE) og liter pr. km for biler indregistreret i 2011, benzin



Figur C.4 Optimal marginal ekstern ulykkesomkostning (MAE) og liter pr. km for biler indregistreret i 2011, diesel

