

# Trafikulykker, personbilers vægt og kørselsafgifter

Thomas Bue Bjørner

De Økonomiske Råds Sekretariat, mail: [tbb@dors.dk](mailto:tbb@dors.dk)

Merete Høj Kjeldsen

De Økonomiske Råds Sekretariat, mail: [mhk@dors.dk](mailto:mhk@dors.dk)

*SUMMARY: Accidents are generally considered one of the mayor social costs associated with car traffic. Traditionally, the marginal external accident cost of car use is calculated without distinguishing between the sizes of different cars. The purpose of the paper is to estimate the importance of vehicle weight for the external accident cost of car use. We follow Anderson and Auffhammer (2013) by estimating the importance of passenger vehicle weight for the risk of being killed or (seriously) injured when a car collision occurs. The analysis is based on data covering all police reported accidents in Denmark in the period 2003-11. The empirical analysis shows that heavy passenger cars are more dangerous to the occupants in other cars and that the marginal external accident cost vary significantly with vehicle size. It is found that a 100 kg increase in car weight increases the probability of a fatality in the other car by 14 pct. over the mean fatality rate. This is in the same range as found by Anderson and Auffhammer using data from US. The derived marginal external accident cost is twice as high for the heaviest passenger cars as compared to the lightest passenger cars. Even though vehicle weight is important for the external accident cost, the location of driving is far more important due to higher accident probabilities in urban areas as compared to rural. For a car of average weight the marginal external accident cost per kilometer is 8 times higher in urban areas as compared to rural areas.*

---

## 1. Indledning

Bilkørsel giver anledning til en række gener for andre trafikanter og samfundet som helhed i form af trængsel, udledning af CO<sub>2</sub>, støj og lokal luftforurening. Derudover

---

Analyserne præsenteret i artiklen blev oprindeligt udført i forbindelse med udarbejdelsen af kapitlet om *Bilbeskatning, ulykker og miljø* i De Økonomiske Råd (2013). En nøjere dokumentation og supplerende analyser kan findes i Bjørner mfl. (2013). Kristian Vest Nielsen har bidraget med væsentlig hjælp med bearbejdning af registerdata. Endvidere takkes De Økonomiske Råds formandskab og medarbejdere i sekretariatet for forslag og kommentarer.

kan kørsel også resultere i trafikuheld, der medfører velfærdstab for trafikanterne i form af personskader eller tab af leveår, og som derudover påfører samfundet udgifter til hospitalsbehandling, politi- og redningstjeneste. Der er således en række gener ved bilkørslen, som gør det relevant at regulere trafikken.

Teknologiske fremskridt gør det realistisk at tro, at det inden for en overskuelig årrække bliver muligt at opkræve differentierede vejbenyttelsesafgifter i form af GPS baseret road pricing. Det giver mulighed for at pålægge afgifter, som i højere grad afspejler de eksterne omkostninger ved kørsel på forskellige tidspunkter og forskellige strækninger eller områder. Ofte er fokus for overvejelser om indføring af road pricing, hvordan afgifterne skal differentieres i forhold til trængsel, støj og luftforurening. Der har derimod været mindre fokus på, om de eksterne omkostninger varierer med typen af personbiler, f.eks. hvorvidt de marginale eksterne omkostninger er større for store og tunge personbiler sammenlignet med små og lette.

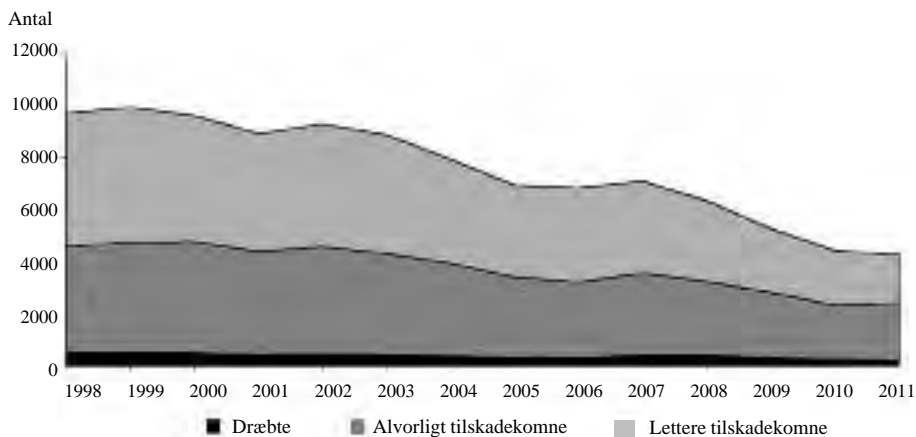
I denne artikel undersøges i hvor høj grad, der er forskel i den marginale eksterne ulykkesomkostning for tunge personbiler sammenlignet med lette. Potentielt kan vægten være vigtig for den eksterne ulykkesomkostning og i sidste ende niveauet af kørselsafgifter. Således finder danske opgørelser af de marginale eksterne omkostninger ved bilkørsel, at ulykkesomkostningen pr. km er den næstvigtigste komponent kun overgået af trængsel, jf. DTU Transport (2010) og De Økonomiske Råd (2013).

I traditionelle state-of-the-art opgørelser af de eksterne ulykkesomkostninger antages typisk, at transportmidler inden for en given kategori er homogene, dvs. der skelnes ikke mellem forskellige størrelser af personbiler. Dermed ignoreres 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 (2013), Ommeren mfl. (2013) og Hultkrantz og Lindberg (2011).<sup>1</sup>

Den øgede sikkerhed ved at køre i en større og tungere bil har karakter af at være en intern gevinst for brugerne af den tunge bil, mens den øgede risiko for andre trafikanter har karakter af at være en ekstern omkostning. Dette kan betegnes som en form for »vægtkesternalitet«, som implicerer, at en ureguleret personbilpark bliver ineffektiv tung. I den amerikanske litteratur er dette ligefrem blevet beskrevet som et »våbenkap-

---

1. Der lægges i artiklen vægt på at relatere resultaterne til lignende undersøgelser inden for transportøkonomi. Ud over disse bidrag er der tillige en række analyser inden for trafikikkerhedsforskning, som også indrager spørgsmålet om personbilers vægt, men uden at fokusere på betydningen for den marginale eksterne ulykkesomkostning ved kørsel. Nylige eksempler på dette er Abay mfl. (2013) og Hels mfl. (2012), som ved brug af danske data fokuserer på at belyse effekten på alvorligheden af ulykker af henholdsvis brugen af sikkerhedsseler og bilernes alder.



Figur 1. Udvikling i antal dræbte og skadede ved trafikulykker.

Kilde: Danmarks Statistik, Statistikbanken.

løb« på vejene, hvor alle ønsker en større bil, jf. White (2004). Vægteksternaliteten til-siger, at der bør være en højere afgift på brugen af en tung personbil sammenlignet med en let personbil.

I artiklen præsenteres en analyse af sammenhængen mellem personbilers vægt og alvorligheden af uheld baseret på oplysninger fra Vejdirektoratets database for færdselsuheld for perioden 2003-11. Analysen viser, at vægten af personbilerne har væsentlig betydning for størrelsen af de marginale eksterne omkostninger. Således er den marginale eksterne ulykkesomkostning op mod dobbelt så stor for de tungeste personbiler sammenlignet med de letteste. Selvom der er betydelig forskel i den marginale eksterne ulykkesomkostning mellem lette og tunge personbiler, så er det imidlertid vigtigere, hvor der køres, da den marginale eksterne ulykkesomkostning er betydelig højere ved kørsel i byerne end ved kørsel uden for byerne.

Som introduktion gives i næste afsnit en kort beskrivelse af udviklingen og sammensætningen af trafikulykker i Danmark, mens der i afsnit 3 er en kort opsummering af traditionelle tilgange til at opgøre den marginale eksterne ulykkesomkostning ved bilkørsel. I de resterende afsnit er fokus på den empiriske analyse af bilvægtens betydningen for alvorligheden af ulykker ved sammenstød mellem personbiler. Den empiriske model præsenteres i afsnit 4, mens datakilder beskrives i afsnit 5. Estimationsresultater præsenteres i afsnit 6, hvorefter der foretages en beregning af de marginale eksterne ulykkesomkostninger for biler af forskellig størrelse i afsnit 7. En række afgiftsmæssige problemstillinger diskuteres i afsnit 8. I afsnit 9 konkluderes.

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

	Modpart (kun første modpart)										
	Personbil	Varebil (over to ton)	Lastbil	Bus	Motorcykel	Gående/cykel/ knallert	Andet	Forhindring/ingen modpart	Sum af skadede i det givne transportmiddel	Antal skadede for trans- portmiddel i alt (også flere elementer end to)	Andel skadede i de første to elementer
Personbil	3.472	319	316	97	16	34	122	2.216	6.592	6.791	97%
Varebil (over to 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/ knallert	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%

*Ann:* 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 ved trafikulykker i perioden. For personbiler kan det f.eks. være sammenstød med tre personbiler, hvor der er tilskadekomne i alle biler.

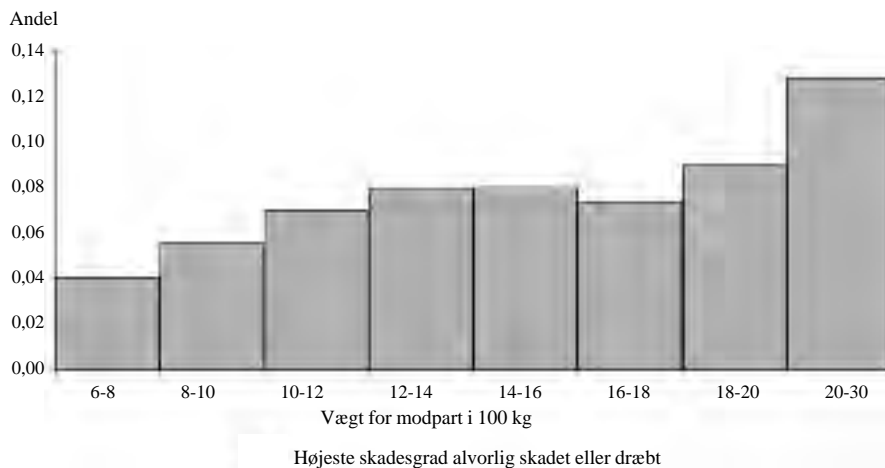
*Kilde:* Egne beregninger på baggrund af Vejdirektoratets database for færdselsuheld.

## 2. Udvikling og sammensætning af trafikulykker

I 2011 blev 4.259 personer skadet i trafikken. Heraf blev 220 dræbt, 2.172 alvorligt tilskadekomne, mens 1.867 kom lettere til skade. Siden 1998 er antallet af skadede mere end halveret, jf. figur 1. Faldet i antallet af skadede er større for de lettere personskader 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 såsom sikrere personbiler, faldende gennemsnitshastigheder og sikrere veje.

Tabel 1 viser, hvordan summen af rapporterede 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).<sup>2</sup>

2. Tallene vist i figur 1 og tabel 1 stammer fra Vejdirektoratets database for færdselsuheld, som er indberettet af politiet. Opgørelser baseret på oplysninger fra skadestuer og hospitaler tyder imidlertid på, at der er betydelig underrapportering i Vejdirektoratets opgørelse. Underrapporteringen er især stor for lettere personskader ved eneulykker og for lette trafikanter (cykel/gang), mens der ikke anses for at være underrapportering i antallet af trafikdræbte.



*Figur 2. Risiko for at blive dræbt eller alvorligt personskadet afhængig af vægt af den anden personbil.*

*Anm:* Risiko for at blive dræbt eller alvorlig personskadet for fører/passagerer i personbil med vægt på 1.000-1.200 kg afhængig af vægten af den anden personbil.

*Kilde:* Egne beregninger på baggrund af Bilregisteret og Vejdirektoratets database for færdselsuheld for 2003-11.

I den treårige periode er i alt 13.905 personer rapporteret dræbt eller skadet i trafikken. Af disse har 6.791 kørt i personbil, mens 279 har kørt varebil osv. Hovedparten af de skadede har enten kørt i personbiler eller været ubeskyttede, lette trafikanter, som fodgængere, cyklister eller førere af knallert/motorcykel.

Af de 6.791 skadede i personbiler er modparten i trafikuheldet typisk en anden personbil (3.472 tilfælde). Sammenstød mellem personbiler tegner sig således i alt for ca. 1/4 af alle rapporterede personskader ved trafikuheld.

Den empiriske analyse præsenteret i artiklen fokuserer på skader ved sammenstød mellem personbiler, og hvordan disse skader afhænger af vægten af de involverede personbiler. Det er i figur 2 illustreret, at vægt har betydning for skadesgraden. Figuren viser, hvordan risikoen for at blive dræbt eller alvorligt skadet i forbindelse med sammenstød for førere og passagerer i en bil af »normal« størrelse (1.000-1.200 kg) varierer med vægten af modpartens bil. Det fremgår, at risikoen (givet der sker et sammenstød) for at blive dræbt eller alvorlig skadet er 4 pct., hvis modparten er en lille bil, mens risikoen er ca. 9-13 pct., hvis modparten er en stor personbil på mindst 1.800 kg.

### 3. Eksterne omkostninger ved trafikulykker

Der er en række omkostninger (i bred forstand) ved trafikuheld. Den empiriske analyse af sammenhængen mellem vægt og alvorligheden af sammenstød mellem person-

biler fanger nogle, men langt fra alle elementer, af de eksterne omkostninger ved ulykker. I dette afsnit gives en kort introduktion til, hvordan den marginale eksterne omkostning ved ulykker typisk opgøres.

Nogle af omkostningerne ved trafikuheld må trafikanterne forventes at inddrage i deres egen adfærd. Det er derfor ikke alle omkostningerne ved trafikuheld, som har karakter af at være eksterne. Det må således formodes, at trafikanterne er bevidste om, at der forekommer trafikuheld, og at de dermed udsætter sig selv for en risiko, når de færdes i trafikken. I trafikøkonomiske analyser antages det derfor traditionelt, at trafikanterne inddrager den forventede omkostning ved at udsætte sig selv for en risiko. Tilsvarende antages det normalt, at trafikanterne via forsikringspræmien har indregnet materielle skader.<sup>3</sup> De forventede omkostninger ved ulykker i form af skade på trafikanten selv og i form af materielle skader indgår dermed typisk ikke i de eksterne omkostninger.

Der er dog også omkostninger ved trafikulykker, som har ekstern karakter i den forstand, at trafikanten som udgangspunkt ikke betaler for disse omkostninger, og dermed ikke kan forventes at indrette sin transportadfærd derefter. Traditionelt skelnes i litteraturen mellem tre typer af eksterne ulykkesomkostninger, når en bilist kører en ekstra km, jf. f.eks. Lindberg (2001) og Parry mfl. (2007):

1. Omkostninger som påføres samfundet f.eks. i form af sundhedsudgifter og udgifter til politi og redningstjeneste (dette betegnes ofte som »systemomkostninger«).
2. Omkostninger som en tung kategori af trafikanter påfører andre kategorier af især lettere/ubeskyttede trafikanter, f.eks. risikoen som bilister udgør for fodgængere, cyklister og knallertkørere.
3. Ændret ulykkesrisiko for andre trafikanter ved øget trafik, dvs. det forhold, at en stigning i den samlede trafik kan øge (eller mindske) den gennemsnitlige risiko for andre trafikanter.

De to første kategorier af eksterne omkostninger bidrager altid entydigt til, at der er marginale eksterne ulykkesomkostninger. Den tredje kategori, som vedrører påvirkningen af ulykkesrisikoen pr. kørt km ved øget trafik, kan isoleret set have karakter af enten en ekstern omkostning eller en ekstern gevinst (eller være neutral). Fortegnet på dette bidrag afhænger af, om den gennemsnitlige ulykkesrisiko vokser eller falder, når trafikken øges. Intuitivt vil man nok forvente, at ulykkesrisikoen pr. kørt km stiger, når

---

3. Forsikringspræmien er i et vist omfang differentieret i forhold til risikoen for den enkelte bilist enten ud fra den enkelte bilists skadeshistorik eller ud fra forventet risikoprofil i forhold til f.eks. alder. Hvis præmien er helt uafhængig af bilisters risikoadfærd, kan der sættes spørgsmålstegn ved, om materielle skader kan betragtes som internaliserede via forsikringspræmien.

der kommer flere biler på vejene. Både udenlandske og danske undersøgelser tyder imidlertid på, at antallet af ulykker ikke vokser i samme takt som trafikken, således at ulykkesrisikoen pr. km i realiteten falder ved øget trafik, jf. f.eks. Friedstrøm (2011) og Vejdirektoratet (2012). Isoleret set vil den lavere ulykkesrisiko have karakter af en positiv eksternalitet. Beregninger af den marginale eksterne ulykkesomkostning viser imidlertid, at de to første bidrag overskygger effekten af lavere ulykkesrisiko ved øget kørsel, jf. Bjørner mfl. (2013). Alt i alt giver de tre ovenstående »traditionelle« bidrag til den marginale eksterne ulykkesomkostning en omkostning ved brug af personbil på 0,07 kr. pr. km. Den marginale eksterne ulykkesomkostning er væsentlig højere i byerne (0,29 kr. pr. km) og betydelig lavere uden for byerne (0,01 kr. pr. km). Den højere omkostning i byerne skyldes, at der er en større risiko for sammenstød ved kørsel i byerne og især en større risiko for sammenstød mellem biler og bløde trafikanter.<sup>4</sup>

I de metoder, der typisk anvendes til at beregne de tre ovennævnte bidrag til den marginale eksterne ulykkesomkostning, antages det typisk, at transportmidler inden for en given kategori er homogene, således at der ikke skelnes mellem forskellige størrelser af personbiler. Det medfører i realiteten, at den øgede risiko, som f.eks. en tung personbil udgør for en lettere personbil – vægteksternaliteten – ikke indgår i opgørelsen. Nyere udenlandske undersøgelser tyder imidlertid på, at bidraget fra vægteksternaliteten kan være ganske betydeligt, jf. Anderson og Auffhammer (2013) samt Hultkrantz og Lindberg (2011).

#### **4. Model til analyse af sammenhængen mellem bilvægt og alvorligheden af ulykker**

I de følgende afsnit estimeres bilvægtens betydning for alvorligheden af uheld, og hvad dette i sidste ende betyder for størrelsen af den marginale eksterne ulykkesomkostning for store, tunge personbiler sammenlignet med lette personbiler. Overordnet set følger beskrivelsen tilgangen i Anderson og Auffhammer (2013).<sup>5</sup> Der fokuseres således på betydningen af personbilernes vægt for alvorligheden af ulykken betinget af, at der sker en ulykke.

---

4. Opgørelsen af den marginale eksterne ulykkesomkostning for personbiler i Bjørner mfl. (2013) er under halvt så stor som de hidtil gængse nøgletal for den marginale eksterne ulykkesomkostning, jf. DTU Transport (2010). Forskellen skyldes formentlig, at sidstnævnte er baseret på ældre data og således ikke har indregnet det markante fald i antallet af ulykker i de sidste 10-15 år, jf. figur 1. Derudover kan der være metodiske forskelle f.eks. i forhold til antagelserne vedr. udviklingen i sammenhængen mellem stigninger i trafikken og ændringer i den gennemsnitlige risiko.

5. Anderson og Auffhammer (2013) medtager udelukkende velfærdsomkostninger 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. Derudover er anvendt logaritmen til vægten af modpart og ramt bil, da der ud fra fysiske love kan argumenteres for, at dette er den korrekte funktionelle form, jf. Ommeren mfl. (2013) og Evans (1994). Estimationer uden log transformation af vægten synes også at være dårligere (lavere loglikelihood værdier).

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  $Y_{Ri}^*$  være en kontinuert variabel, som måler den højeste skadesgrad for førere og passagerer i den ramte bil (hvor  $i$  angiver observation). Lad  $Y_{Ri}^*$  være beskrevet ved følgende form:

$$Y_{Ri}^* = \beta_1 \log(KG_{Mi}) - \beta_2 \log(KG_{Ri}) + \gamma_1 U_i + \gamma_2 B_{Mi} + \gamma_3 B_{Ri} + \gamma_4 S_{Mi} + \gamma_5 S_{Ri} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Her er  $KG_M$  og  $KG_R$  vægten af modpartens bil og vægten af den ramte bil. Således er  $\beta_1$  en parameter, som beskriver den »eksterne effekt« af at støde sammen med en anden bil af en given vægt, mens  $\beta_2$  er et mål for den interne sikkerhedsgevinst 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 modpartens bil og den ramte 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 personerne 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 end yngre.

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 (1) forenkles sammenfattes til  $X_i$ .

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

Her er  $K$  antallet af kategorier i den ordnede afhængige variabel, dvs. i vores tilfælde er  $K = 4$ .

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.<sup>6</sup>

I den almindelige ordered logit model antages, at effekten af f.eks. logaritmen 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. Hovedparten af de anvendte observationer har lave skadesgrader uden personskade eller kun med lettere skade, mens der er få observationer med 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 er imidlertid ikke oplagt, at betydningen af modpartens vægt er den samme for overgang mellem forskellige skadesgrader. For at undersøge dette estimeres derfor også en såkaldt generaliseret ordered logit model, der er en mere fleksibel model end en ordered logit model, jf. Williams (2006). Den generaliserede ordered logit model kan opstilles som:

$$P(Y_{Ri} > j) = \frac{\exp(\alpha_j + X_i \beta_j)}{1 + [\exp(\alpha_j + X_i \beta_j)]} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, K - 1 \quad (3)$$

Som det fremgår af ligning (3) estimeres i den generaliserede ordered logit model i alt tre sæt af  $\beta$  parametre, hvor der i den almindelige ordered logit model kun estimeres et sæt  $\beta$  parametre. Hvert sæt beskriver overgangen mellem de kategoriserede skadesgrader.<sup>7</sup>

De beskrevne modeller fokuserer alene på betydningen af modpartens vægt for alvorligheden af en ulykke betinget af, at der er indtruffet en ulykke. Det betyder, at de estimerede modeller kun medtager den samlede effekt af bilvægt, hvis risikoen for at blive involveret i et sammenstød er uafhængig af bilens vægt. En sammenligning af vægtfordelingen for personbiler involveret i sammenstød med vægtfordelingen for alle personbiler tyder ikke umiddelbart på, at risikoen for at blive involveret i et sammenstød afhænger af vægten, jf. afsnit 6.

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

7. Det første sæt parametre svarer til resultatet af en almindelig binær logit model for sandsynligheden for at blive 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.

## 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 bilregisteret i Danmarks Statistik, som indeholder oplysninger om bl.a. bilernes vægt, alder og bilmærke (dvs. Toyota, Ford, Opel osv.). For førere og tilskadekomne passagerer er knyttet en række socioøkonomiske variable fra andre registre i Danmarks Statistik (alder, køn, antal børn, uddannelse mv.). For uheld i år  $t$  er knyttet registeroplysninger for år  $t-1$  (ultimo).

I perioden 2003-11 er der i alt 123.952 ulykker. Af disse er i alt 30.368 uheld, hvor to »personbiler« støder sammen. Personbiler er her defineret som køretøjer, der ifølge færdselsuheldsregisteret er personbiler, taxaer og små varebiler (dvs. biler på gule plader eller papegøjeplader). Uheld, hvor det ene af køretøjerne er parkeret, indgår ikke.

For ca. en syvendedel af sammenstødene mellem to personbiler var det ikke muligt at få relevante oplysninger fra bilregisteret for den ene af de to biler, og dermed heller ingen oplysninger om bilens vægt. Dette skyldes oftest, at det ene af køretøjerne er udenlandsk. I en række tilfælde har det ikke været muligt at knytte socioøkonomiske oplysninger til mindst én af de involverede i en ulykke. 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 1) køretøjets vægt er under 600 kg eller over 3.000 kg, 2) køretøjet ifølge bilregisteret ikke er personbil, taxa eller varebil (selv om de betegnes som sådan i færdselsuheldsdatabasen), 3) køretøjet er ældre end 25 år i ulykkesåret og 4) hastighedsgrænsen på uheldsstedet er uoplyst. 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 variable 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 den afhængige variabel for højeste skadesgrad for fører og passagerer er vist i tabel 2 og sammenlignet med det samlede antal dræbte og tilskadekomne i uheldene. Variablen 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 (339 observationer).

Gennemsnitsvægten for bilerne i estimationssamplet er knap 1.200 kg. Fordelingen er højreskæv med mange biler med en vægt lidt under gennemsnittet, mens der er få

Tabel 2. Antal tilskadekomne og højeste skadesgrad i estimationsdata, 2003-11.

	Alle sammenstød	Estimationsdata	Højeste skadesgrad fører og passager (andel i %)
Dræbte	450	388	339 (0,66 %)
Alvorlig skadede	3.907	3.483	2.986 (5,83 %)
Lettere skadede	7.255	6.492	4.823 (9,41 %)
Kun materiel skade	53.305	43.068	43.068 (84,09 %)
N	60.736	51.216	51.216 (100,0 %)

rigtig tunge personbiler. De tungeste biler i datasættet inkluderer bl.a. biler som Hummer H2 og Land Rover Discovery 3, som vejer omkring 2.500 kg.

En oversigt over de anvendte forklarende variable findes i tabel 3. En række andre variable er undersøgt i foreløbige estimationer (f.eks. lygtefejl på bilerne og sigtforhold), men er ikke medtaget i de gængs estimationer. Disse variable indgår ikke i tabel 3. I en række tilfælde er afprøvet finere opdelinger af variable, f.eks. vedr. alderskategorier eller uddannelseskategorier.

## 6. Estimationsresultater

I første omgang anvendes den almindelige ordered logit model til indledende estimationer. Efterfølgende anvendes den generaliserede logit model til at undersøge om parameteren til f.eks. vægt er den samme for overgang mellem forskellige skadesgrader.

I tabel 4 vises estimationsresultater fra ordered logit modeller. Tabellen illustrerer i hvilket omfang, parameteren til (logaritmen af) vægten af modpartens bil påvirkes af medtagelse af flere forklarende variable. Det fremgår, at større vægt af modpartens bil i alle estimationerne har en (numerisk) positiv og statistisk signifikant effekt på skadesgraden i den ramte bil. Endvidere fremgår det, at høj vægt af den ramte bil mindsker skadesgraden for fører og passagerer 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. 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. Hvis den ramte bil er nyere (årgang) reduceres skadesgraden. Dette er formentlig udtryk for, at sikkerhedsstandarden løbende forbedres i takt med teknologisk udvikling. Årgangen af modpartens bil er til gengæld ikke gennemgående statistisk signifikant. En tolkning af dette er, at man udsætter sig selv for øget risiko, hvis man vælger en gammel bil, men man er tilsyneladende ikke til større fare for andre bilister, når der sker et sammenstød.

*Table 3. Oversigt over variable.*

<i>Færdselsuhedsregisteret:</i> Variable vedr. uheldet	<i>Færdselsuhedsregisteret:</i> Variable vedrørende førerne	<i>Registre i Danmarks Statistik:</i>
Uheldsår	Skadesgrader fører/passager (R)	<i>Bilregisteret/Motorregisteret:</i>
Hastighedsgrænse uheldssted	Kvindelig fører (R/M)	Vægt i 100 kg (R/M)
Byområde	Under 23 år, mand (R/M)	År for 1. indregistrering (R/M)
Region af Danmark	Under 23 år, kvinde (R/M)	Op til 62 forskellige bilmærker (Toyota, Ford mv.) (R/M)
Sprituheld (mindst en fører)	70-79-årig fører (R/M)	<i>Socioøkonomiske karakteristika for førerne (div. registre):</i>
Narkouheld (mindst en fører)	80+-årig fører (R/M)	Antal voksne i familien (R/M)
Vådt føre	Ukendt alder <sup>(a)</sup> (R/M)	Antal børn i familien (R/M)
Glat føre (sne/is)	Sikkerhedssele ikke brugt (R/M)	Uddannelse (højeste igang- værende eller fuldførte uddannelse) (R/M):
Vejudformning:	Har ikke kørekort (R/M)	– Uoplyst
– Krydsende		– Ufaglært (basis)
– Rundkørsel		– Gymnasial
– Kurve		– Faglærte
– Lige vej (basis)		– Kort videregående
Uheldstype		– Mellemlang videregående
– Påkørt bagfra		– Lang videregående
– Overhaling/vognbaneskiift (basis)		Ledighedsgrad (R/M)
– Mødeuheld (frontal)		Log bruttoindkomst (R/M)
– 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)		

*Ann:* I oversigten angiver (R/M), at variabelen er medtaget både for den ramte bil og for modpartens bil.

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

Table 4. Ordered logit estimations for højeste skadesgrad for fører og passagerer.

Estimation	1	2	3	4	5	6
	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi
<b>Vægt af modpart (M), log</b>	<b>0,540</b>	0,00	<b>0,800</b>	0,00	<b>0,925</b>	0,00
Vægt for ramt bil (R), log	-1,299	0,00	-0,972	0,00	-1,035	0,00
Årgang (M)	-0,008	0,00	-0,007	0,01	-0,005	0,08
Årgang (R)	-0,012	0,00	-0,018	0,00	-0,016	0,00
År for uheld (trend)	-0,034	0,00	-0,035	0,00	-0,056	0,00
Hastighedsgrænse	0,009	0,00	0,009	0,00	0,024	0,00
By	-0,987	0,00	-0,951	0,00	-0,542	0,00
Kvinde (M)			-0,053	0,08	-0,060	0,06
Mand under 23 år (M)			0,178	0,00	0,167	0,00
Kvinde under 23 år (M)			0,048	0,47	0,065	0,33
70-79 år (M)			0,100	0,08	0,112	0,06
80+ år (M)			-0,046	0,59	-0,000	1,00
Ukendt alder (M)			-1,141	0,00	-1,016	0,00
Kvinde (R)			0,298	0,00	0,332	0,00
Mand under 23 år (R)			-0,011	0,79	-0,065	0,13
Kvinde under 23 år (R)			-0,083	0,16	-0,093	0,12
70-79 år (R)			0,219	0,00	0,248	0,00
80+ år (R)			0,254	0,00	0,310	0,00
Ukendt alder (R)			-3,270	0,00	-3,139	0,00
Ulykkeskarak. (25 var)				ja	ja	ja
Bilmærke (2x62 variable)					ja	ja
Socioøko. karak. (20 var)					ja	ja
Antal observationer	51.216	51.216	51.216	51.216	51.216	44.646
logL	-28.711	-27.356	-27.099	-25.739	-25.660	-23.244
Pseudo R <sup>2</sup>	0,012	0,058	0,067	0,114	0,117	0,110

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

Derudover er der 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.<sup>8</sup>

I den tredje regression vist i tabel 4 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. I den fjerde estimation i tabel 4 er medtaget 25 forskellige variable til beskrivelse af ulykkesituationen og adfærdsindikatorer for førerne af bilerne, jf. tabel 3. Parametrene til disse variable er ikke vist, men generelt fås signifikante resultater med de forventede fortegn. 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. 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 modpartens bil.

Der fokuseres i analysen på betydningen af vægten af en personbil (modparten) for skadesgraden i den ramte bil. Hvis vægten af en personbil er korreleret med (uobserveret) 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. Man kan også potentielt forestille sig, at førere af store biler kører mere risikobetonet, fordi de ved, at en tungere bil er mere sikker. Analogt til dette finder Abay mfl. (2013), at førere med sikkerhedsseler kører mere risikobetonet end førere uden sele. En række af de her medtagne forklarende variable – socioøkonomiske karakteristika og bilmærke – kan opfattes som indikatorer for risikoadfærden for førerne af den ramte eller modpartens bil. 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 (logaritmen af) vægt ikke har væsentlig bias. En bias af parameteren til modpartens vægt kan naturligvis ikke udelukkes, men undersøgelsen her medtager væsentlig flere kontrolpa-

---

8. Det er valgt at præsentere resultater med en trend variabel (i stedet for årsdummies) 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 medtagne variabel estimeres flere parametre. Det kan være problematisk med rigtig mange forklarende variable i en mere fleksibel model.

Tabel 5. Generaliseret ordered logit model for skadesgrad (fører og passager).

	Samlet		By		Land	
	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi	Par.	p-værdi
<i>Skadesgrad 0 ift. 1, 2 eller 3)</i>						
log(vægt af modpart)	<b>0,845</b>	0,00	<b>0,740</b>	0,00	<b>0,843</b>	0,00
log(vægt at ramt bil)	-1,020	0,00	-1,232	0,00	-0,873	0,00
Årgang modpart	-0,005	0,07	-0,005	0,16	-0,003	0,47
Årgang ramt	-0,013	0,00	-0,009	0,02	-0,016	0,00
År for uheld	-0,059	0,00	-0,065	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>						
log(vægt af modpart)	<b>1,070</b>	0,00	<b>0,801</b>	0,00	<b>1,150</b>	0,00
log(vægt at ramt bil)	-1,177	0,00	-1,505	0,00	-1,006	0,00
Årgang modpart	-0,000	0,96	-0,002	0,79	0,001	0,80
Årgang ramt	-0,019	0,00	-0,015	0,01	-0,021	0,00
År for uheld	-0,039	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>						
log(vægt af modpart)	<b>1,825</b>	0,00	<b>1,481</b>	0,15	<b>1,916</b>	0,00
log(vægt at ramt bil)	-1,709	0,00	-1,506	0,14	-1,605	0,00
Årgang modpart	0,015	0,19	-0,049	0,32	0,024	0,06
Årgang ramt	-0,043	0,00	-0,093	0,02	-0,038	0,00
År for uheld	-0,059	0,05	0,058	0,48	-0,071	0,03
Hastighedsgrænse	0,048	0,00	0,066	0,00	0,049	0,00
By	-1,056	0,00				
Alder/køn (12 variable)	ja		ja <sup>(a)</sup>		ja	
Ulykkeskarak (25 variable)	ja		ja <sup>(a)</sup>		ja	
Bilmærke (2x9 variable)	ja		nej		ja	
Antal observationer	51.216		31.996		19.220	
logL	-25.353		-11.317		-13.974	
Pseudo R <sup>2</sup>	0,127		0,082		0,094	

Ann: p-værdi er baseret på robuste standard afvigelse, som tager højde for mulig korrelation i fejllad mellem parvise observationer (dvs. fra samme uheld). De andre forklarende variable er medtaget for hver af de tre sæt af vektorer af forklarende variable.

Note <sup>(a)</sup>: 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 variation i den afhængige variabel, da der kun er få dræbte ved sammenstød i byer.

rametre for førernes karakteristika, end der typisk anvendes i lignende undersøgelser, jf. f.eks. Hels mfl. (2012), Anderson og Auffhammer (2013), Ommeren mfl. (2013) eller Hultkrantz og Lindberg (2011).

Hvis førere af tunge personbiler generelt kører mere risikobetonet, må det formodes, at tungere personbiler oftere er involveret i sammenstød end lette personbiler. En sammenligning af vægtfordelingen af personbiler, der var involveret i sammenstød i 2011 med vægtfordelingen af alle personbiler i Motorregisteret i 2011 tyder imidlertid ikke på, at tungere personbiler oftere er involveret i sammenstød set i forhold til deres andel af personbilparken, jf. Bjørner mfl. (2013). Dette peger ligeledes i retning af, at den estimerede parameter til vægt ikke har væsentlig bias på grund af potentiel korrelation med uobserveret køreadfærd. Andre indirekte »test« i Anderson og Auffhammer (2013) peger ligeledes i retning af, at vægt ikke er væsentlig korreleret med risikobetonet kørsel.

Estimationsresultater for skadesgraden for fører og passagerer ved anvendelse af en generaliseret ordered logit model – ligning (3) – er vist i tabel 5. Grundlæggende er medtaget samme forklarende variable som i regression 5 i tabel 4. Som beskrevet i afsnit 4 estimeres der væsentlig flere parametre i den generaliserede logit model. Af hensyn til at begrænse antallet af parametre er der 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. I tabellen præsenteres resultater for hele landet samlet og for en opdeling på by og land.

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 logaritmen af modpartens vægt ved overgang til dræbt således på 1,825, mens den i de to andre tilfælde er på 1,070 og 0,845. 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. Det er således kun 33 af de 31.996 observationer i byerne, hvor skadesgraden er dræbt.<sup>9</sup>

Sammenfattende viser estimationerne, at der er korrelation mellem vægten af modpartens bil og skadesgraden i den ramte bil. Almindelige fysiske love tilsiger, at der er tale om en kausal effekt, og ad-hoc test med inklusion af forskellige indikatorer for risikobetonet kørsel tyder ikke på, at den estimerede parameter til modpartens vægt er (væsentlig) biased af fraværet af variable for bilisternes køreadfærd. Størrelsen af ef-

---

9. Dette afspejler formentlig, 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.



fekten af ændringer i modpartens vægt ud fra de estimerede parametre i tabel 5 kan imidlertid ikke aflæses direkte af de estimerede parametre. I tabel 6 er det derfor opgjort, hvad en ændring i modpartens vægt på 100 kg betyder for ændringen i sandsynligheden for, at personer i den ramte bil bliver dræbt, alvorligt skadet eller lettere skadet.

I øverste række (for hver skadesgrad) i tabel 6 vises de gennemsnitlige marginale effekter af en ændring i logaritmen til modpartens vægt. Det fremgår f.eks., at den gennemsnitlige marginale effekt for at blive dræbt er på 0,0107 for by og land samlet, og at den marginale effekt er signifikant ( $p$ -værdi = 0,00). Det fremgår endvidere, at den marginale effekt for en given skadesgrad ved ændring i modparts vægt (i log) alle er signifikante, når der ses bort fra risikoen for at blive dræbt ved sammenstød i byen, hvor der kun er få observationer.

En 100 kg stigning i vægten af modpartens bil svarer til knap 8,7 pct. af gennemsnitsvægten i estimationssamplet på (ca. 1.150 kg), hvilket svarer til 0,087 på en logaritmisk skala. Den gennemsnitlige ændring i sandsynligheden for at blive dræbt (givet et uheld), hvis modpartens vægt øges med 100 kg, svarer derfor til 0,0009 ( $=0,0107 \times 0,087$ ).

Denne ændring i sandsynligheden for at blive dræbt forekommer måske umiddelbart beskeden, men dette afspejler, at risikoen for at blive dræbt i et sammenstød i udgangspunktet er beskeden. Således er risikoen for at blive dræbt i udgangspunktet kun på 0,0066, jf. tabel 6. Ændringen i den (absolutte) risiko for at blive dræbt på 0,0009 svarer således til en relativ ændring i risikoen for skadesgrad dræbt på 13,6 pct. ( $= 100 \times 0,0009/0,0066$ ).

Tilsvarende findes, at den relative ændring i risikoen for at blive alvorlig og lettere skadet er på henholdsvis 7,2 pct. og 3,6 pct. (for by og land samlet).

Det er værd at bemærke, at den relative ændring i risikoen for dødsfald på 13,6 pct. ved en stigning i modpartens vægt på 100 kg er meget tæt på tilsvarende resultater fundet i andre undersøgelser. Således fandt Anderson og Auffhammer (2013) en ændring i risikoen for at blive dræbt ved en tilsvarende stigning i modpartens vægt på 10,4 pct. baseret på data fra USA, mens Ommeren mfl. (2013) får en relativ ændring i risikoen for dødsfald på 14,6 pct. baseret på data fra Holland.<sup>10</sup> Den relative ændring i sandsynligheden for at blive alvorligt personskadet ved en stigning i modpartens vægt på 100 kg er her fundet til 7,2 pct. Dette harmonerer også udmærket med de tilsvarende relative ændringer på 4,2 pct. og 5,8 pct. i henholdsvis Anderson og Auffhammer (2013) samt Ommeren mfl. (2013).

---

10. Anderson og Auffhammer (2013) 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 en stigning i vægten med 100 kg.

Tabel 6. Ændring i skadesgrad (fører/passager) ved stigning i modparts vægt på 100 kg (generaliseret ordered logit model).

Skadesgrad		Samlet	By	Land	
Uskadt	Marginal effekt ved ændring i modparts vægt (i log)	-0,0977 (0,00)	-0,0603 (0,00)	-0,1450 (0,00)	
	Ændring i risiko ved 100 kg forøgelse af modparts vægt	-0,0085	-0,0053	-0,0127	
	Risiko (udgangspunkt)	0,8409	0,9029	0,7378	
	Relativ ændring risiko	<b>-1,0 pct.</b>	<b>-0,6 pct.</b>	<b>-1,7 pct.</b>	
	Lettere skade	Marginal effekt ved ændring i modparts vægt (i log)	0,0393 (0,00)	0,0360 (0,00)	0,0369 (0,00)
Alvorlig skade	Ændring i risiko ved 100 kg forøgelse af modparts vægt	0,0034	0,0031	0,0032	
	Risiko (udgangspunkt)	0,0941	0,0644	0,1438	
	Relativ ændring risiko	<b>3,6 pct.</b>	<b>4,8 pct.</b>	<b>2,2 pct.</b>	
	Dræbt	Marginal effekt ved ændring i modparts vægt (i log)	0,0476 (0,00)	0,0229 (0,00)	0,0808 (0,00)
	Alvorlig skade	Ændring i risiko ved 100 kg forøgelse af modparts vægt	0,0042	0,0020	0,0071
Risiko (udgangspunkt)		0,0583	0,0318	0,1025	
Relativ ændring risiko		<b>7,2 pct.</b>	<b>6,3 pct.</b>	<b>6,9 pct.</b>	
Dræbt		Marginal effekt ved ændring i modparts vægt (i log)	0,0107 (0,00)	0,0015 (0,16)	0,0273 (0,00)
		Ændring i risiko ved 100 kg forøgelse af modparts vægt	0,0009	0,0001	0,0024
	Risiko (udgangspunkt)	0,0066	0,0010	0,0159	
	Relativ ændring risiko	<b>13,6 pct.</b>	<b>10,0 pct.</b>	<b>15,1 pct.</b>	

Anm: Den marginale effekt for hver skadesgrad er baseret på de estimerede parametre fra estimationen vist i tabel 5. Den marginale effekt er gennemsnit for alle observationer. Tallet i parentes er signifikansniveau for den marginale effekt beregnet ved delta-metoden. En 100 kg stigning i vægten svarer til 8,7 pct. stigning af gennemsnitsvægten for alle observationer.

Det fremgår endvidere, at den relative ændring i risikoen i by og land for dræbte og alvorligt tilskadekomne svarer nogenlunde til det, der er fundet for hele landet. For byområder er den marginale effekt for dræbte ikke statistisk signifikant, men den afledte relative ændring i risikoen har nogenlunde samme niveau som for land.

## 7. Opgørelse af de eksterne omkostninger ved øget bilvægt

Ud fra de beregnede ændringer i risiko for de forskellige skadesgrader ved en forøgelse af modpartens vægt kan der foretages en beregning af den forventede eksterne ulykkesomkostning ved at køre i en bil af en given størrelse. I beregningen indgår de forventede ændringer i skadesgraden givet sammenstød, risikoen for sammenstød og

endelig mål for velfærdstabt dødsfald og personskader. Den forventede eksterne omkostning pr. km ved at vælge en tung bilvariant ( $v$ ) i forhold til en given let referencebil er givet i ligning (4), som er en lettere generaliseret udgave af tilsvarende ligning for den eksterne omkostning i Anderson og Auffhammer (2013):

$$\text{Ekstern vægtomkostning pr. km} = P(\text{ulykke}) \cdot \sum_j \tilde{\theta}_j a_j f_j (KG_v - KG_{ref}) \quad (4)$$

Her er  $P(\text{ulykke})$  risikoen pr. kørt km for, at en bil involveres i en ulykke (antaget ens på tværs af bilvarianter). Parameteren  $\tilde{\theta}_j$  er ændringen i risiko for skade  $i$  (dødsfald, alvorlig skade og lettere personskade) ved en stigning i modpartens vægt på 100 kg. Disse ændringer blev beregnet i tabel 6.<sup>11</sup> Parameteren  $a_j$  er velfærdsomkostningen ved skadesgrad  $j$ . Velfærdsomkostningerne ved lettere og alvorlige personskader samt dødsfald er baseret på DTU Transport (2010). For dødsfald svarer velfærdsomkostningen til den gængse danske værdi af et statistisk liv på ca. 16 mio. kr. Vægten af bilvariant  $v$  og referencebilen er givet ved henholdsvis  $KG_v$  og  $KG_{ref}$ . Endelig er  $f_j$  en opregningsfaktor, som lidt forenklet 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).<sup>12</sup>

Som vægt for referencebilen er anvendt 750 kg, som svarer til vægten 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.

Ud fra ligningen beregnes, at en stigning i vægten på 100 kg medfører en stigning i den eksterne vægtomkostning på 0,49 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 ca. 5 øre pr. km.<sup>13</sup>

Disse beløb kan sammenholdes med resultaterne baseret på amerikanske data præsenteret i Anderson og Auffhammer (2013). Her findes en omkostning ved valg af en 100 kg tungere bil på 1,6 øre pr. km.<sup>14</sup> Dette er ca. fire gange større end de tilsvarende

11. I tabel 6 blev  $\tilde{\theta}_j$  opgjort ud fra den gennemsnitlige marginale effekt. For at forenkle beregningerne antages, at den marginale effekt af vægt er konstant. Samme antagelse blev anvendt af Anderson og Auffhammer (2013).

12. Opregningsfaktoren for f.eks. dræbte er opgjort som ratioen mellem antallet af dræbte i estimationsdata (388) og antallet af observationer med højeste skadegrad dræbt (339 observationer). Det bemærkes, at dette er en lidt forenklet opregning, som f.eks. ikke tager højde for, at nogle af de alvorligt skadede er i biler, hvor højeste skadesgrad er dræbt.

13. Vægteksternaliteten er også blevet beregnet for by og land separat, men værdierne her adskiller sig ikke væsentligt fra vægteksternaliteten samlet set (0,57 og 0,44 øre pr. km pr. 100 kg vægtforøgelse for hhv. land og by).

14. Omregnet fra 2,1 cent pr. mile ved en dollarkurs på 5,70 kr.

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 to ting, som tilsiger højere værdi af vægteksternaliteten i USA end i Danmark: For det første anvender Anderson og Auffhammer (2013) en højere værdi af statistisk liv på \$5,8 mio. svarende til ca. 33 mio. kr. Dette er omkring dobbelt så stort som den værdi, der anvendes i Danmark. For det andet er der tilsyneladende flere alvorlige sammenstød i USA. 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).<sup>15</sup> Det skal dog bemærkes, at disse dødsrater er for alle trafikrelaterede dødsfald og dermed ikke kun dødsraten ved sammenstød mellem personbiler.

Bidraget fra vægteksternaliteten kan tillægges de øvrige bidrag til den marginale eksterne ulykkesomkostning ved kørsel i personbil, jf. afsnit 3. Dette er gjort i tabel 7, som viser de samlede marginale eksterne omkostninger ved ulykker opdelt på by, land og samlet for forskellige størrelser af biler. I alt svarer den marginale eksterne ulykkesomkostning for de letteste biler til 0,07 kr. pr. km. For en bil med nogenlunde gennemsnitlig vægt på ca. 1.250 kg er den samlede eksterne ulykkesomkostning på ca. 0,09 kr. pr. km, mens omkostningen for en tung (1.750 kg.) og en meget tung (2.250 kg) personbil er på henholdsvis 0,12 og 0,14 kr. pr. km. 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 ulykkesomkostninger væsentlig højere i byerne end uden for byerne.

Forskellene i de marginale eksterne ulykkesomkostninger for biler med forskellig vægt omfatter udelukkende vægtens betydning for alvorligheden af ulykken ved sammenstød mellem personbiler. I opgørelsen af de øvrige bidrag ud over vægteksternaliteten indgår blandt andet den eksterne ulykkesomkostning ved bilisters sammenstød med lette trafikanter, jf. afsnit 3. Der er dog ikke her taget højde for, at tunge biler kan give større skade på de lette trafikanter end lette biler. Forskellen i de marginale eksterne ulykkesomkostninger mellem lette og tunge trafikanter, som fremgår af tabel 7, har derfor formentlig karakter af at være underkantskøn. Analyser peger i retning af, at højere bilvægt også leder til øgede skadesgrader for lette trafikanter, men at betydningen formentlig er mindre end ved sammenstød mellem personbiler, jf. Bjørner mfl. (2013).

---

15. 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 7. Samlede eksterne marginale ulykkesomkostninger for personbiler med forskellig vægt (2012-priser).

Bilvægt	By	Land	Samlet
	----- kr. pr. km -----		
750 kg	0,29	0,01	0,07
1.250 kg	0,31	0,04	0,09
1.750 kg	0,34	0,07	0,12
2.250 kg	0,36	0,10	0,14

Anm: 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.

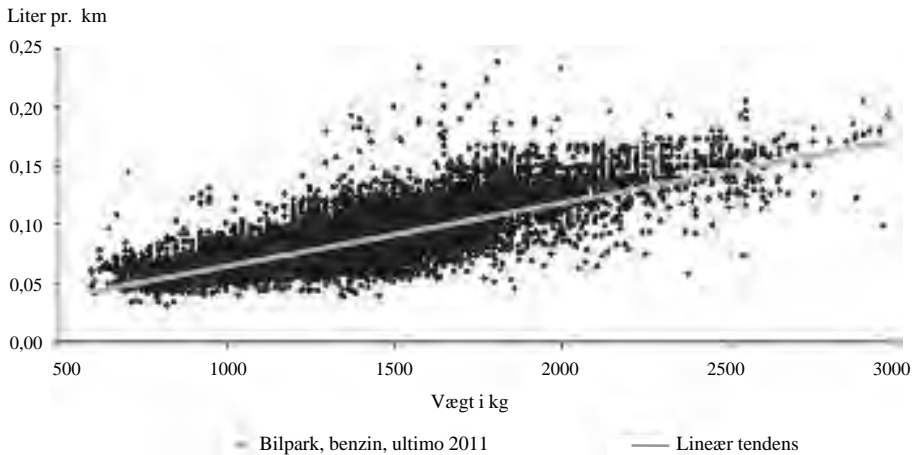
## 8. Vægteksternalitet og afgifter

Som nævnt i indledningen er der en række eksterne omkostninger ved bilkørsel, som tilsiger, at der skal være afgifter på brug af biler og på forbruget af brændsel. Opførelser tyder på, at den numerisk vigtigste af disse er trængsel. I dette afsnit fokuseres dog alene på den marginale eksterne ulykkesomkostning.

Hvis der skal pålægges en afgift, som afspejler de estimerede marginale eksterne ulykkesomkostninger, skal afgiften være differentieret både i forhold til by/land og vægten af personbilen, jf. tabel 7. En optimal afgift i forhold til ulykkesomkostninger vil derfor forudsætte, at man kan opkræve egentlige vejbenyttelsesafgifter, som afhænger af det konkrete køretøj, og hvor der køres.

Indtil sådanne afgiftssystemer er etableret, er det kun muligt at bruge grovere instrumenter. En form for et grovere instrument er en vægtdifferentieret afgift, som lægges på bilkøb eller på bilejerskab. Af disse to må en vægtdifferentieret afgift på bilejerskab være at foretrække, fordi en ejerafgift både giver et incitament til at skrotte en tung bil og til at købe en relativt let bil. En vægtdifferentieret ejerafgift er dog ikke så målrettet som en egentlig vægtdifferentieret kørselsafgift, da en ejerafgift ikke afhænger af brugen af bilen.

I dag er den eneste mulighed for at lægge en afgift på selve bilkørslen via afgifter på brændstof (benzin eller diesel). Et naturligt spørgsmål i denne sammenhæng er, i hvor høj grad en afgift på brændstof kan afspejle de vægtafhængige marginale eksterne ulykkesomkostninger. Der er af åbenbare fysiske grunde en høj grad af korrelation mellem brændstofforbruget og vægten af personbilerne. Dette er illustreret i figur 3 for benzindrevne køretøjer. Korrelationen mellem vægt og brændstoffektivitet tilsiger, at det er muligt at opkræve en (imperfekt) vægtdifferentieret kørselsafhængig afgift via prisen på brændstof.



*Figur 3. Brændstofforbrug og vægt for benzinbiler.*

*Ann:* I figuren er medtaget personbiler, taxaer og små varebiler, hvor der er oplysninger om brændstoffeffektiviteten. For personbiler findes ingen oplysninger om brændstoffeffektiviteten før medio 1997, dvs. at ældre personbiler ikke indgår i figuren. 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).

En afgift på brændstof svarer således langt hen af vejen til en ideel kg-km afgift. En vægtdifferentieret ejeravgift kan til sammenligning differentiere mere korrekt i forhold til vægt, men uden at skelne mellem biler, som kører meget eller lidt. En nøjere afvejning af fordele og ulemper ved disse to instrumenter er ikke foretaget her. Det skønnes imidlertid, at en afgift på brændstof er mere målrettet end vægtdifferentierede ejeravgifter.

Generelt kører biler længere på en liter diesel end en liter benzin. Det betyder, at 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. Hvis der sker teknologiske ændringer, som løbende forbedrer brændstoffeffektiviteten, 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 brændstoffeffektivitet.

Det skal dog understreges, at afgifter på hverken brændstof eller bilejerskab kan tage højde for de store forskelle, der er i de eksterne kørselsomkostninger mellem land og by.

Den ovenstående diskussion af instrumenter har ikke inddraget den nuværende beskatning af biler og bilkørsel. Analyser i De Økonomiske Råd (2013) peger i retning af, at den samlede beskatning af biler og brændstof har et niveau, som er højere end

det, der kan begrundes ud fra de samlede marginale eksterne omkostninger ved bilkørsel. Ses på forskellige typer af personbiler er den samlede beskatning af større og dyrere biler væsentlig højere end de samlede marginale eksterne omkostninger i kraft af den progressive værdibaserede registreringsafgift. I denne sammenligning er indregnet forskelle i de eksterne ulykkesomkostninger mellem lette og tunge personbiler. Da dyrere biler typisk også er tunge viser dette, at vægt ved bilkøbet samlet set er beskattet hårdere end vægteksternaliteten tilsiger.

På sin vis kan der derfor argumenteres for, at vægteksternaliteten allerede er internaliseret i beskatningen. Internaliseringen af de vægtafhængige eksternaliteter er imidlertid ikke hensigtsmæssigt udformet. Dels er værdien af en ny bil ikke fuldt korreleret med bilens vægt, og dels er en afgift ved købet ikke et særlig målrettet instrument i forhold til en kørselsafhængig ekstern effekt. Der synes at være behov for en omlægning af afgifter på biler og kørsel, som i højere grad målretter afgifterne til de forskellige eksterne effekter ved bilkørsel. En nøjere diskussion af dette, som også inddrager andre eksternaliteter end ulykker, kan findes i De Økonomiske Råd (2013).

## 9. Sammenfatning og konklusion

Der er foretaget en opgørelse af den marginale eksterne ulykkesomkostning for personbiler af forskellig vægt. Dette er gjort ved at undersøge, hvorvidt relativt tunge personbiler udgør en øget risiko for alvorligere skader for førere og passagerer i lettere personbiler, når personbiler støder sammen. 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 og alvorlig personskade i den ramte bil med hhv. 14 pct. og 7 pct. Analysen viser også, at der er lavere risiko for personskade og dødsfald ved at køre i en tungere bil, når der sker et sammenstød. Denne gevinst har intern karakter, mens den øgede risiko for andre bilister har karakter af at være en negativ eksternalitet. Dette peger i retning af, en ureguleret bilpark bliver tungere end det, som er velfærdsøkonomisk optimalt.

Analyserne tyder på, at den marginale eksterne ulykkesomkostning for de tungeste personbiler er væsentlig højere end for de letteste personbiler. Den marginale eksterne ulykkesomkostning er således 0,07 kr. pr. km for de letteste personbiler, mens den er 0,12-0,14 kr. pr. km for de tungeste personbiler. For en personbil af gennemsnitlig størrelse er den marginale eksterne omkostning ved ulykker på knap 0,09 kr. pr. km.

Lokalitet har stor betydning for den marginale eksterne ulykkesomkostning. Således er den marginale eksterne ulykkesomkostning i by ca. 0,31 kr. pr. km, mens det tilsvarende tal ved kørsel uden for by er godt 0,04 kr. pr. km (for personbiler af gennem-

snitlig størrelse). Variationen mellem by og land er således væsentlig større end variationen mellem en tung og en let personbil.

Så længe det ikke er muligt at opkræve geografisk differentierede vejbenyttelsesafgifter, som også kan differentieres med køretøjets vægt, er det kun muligt at korrigere for den marginale eksterne ulykkesomkostning ved andre virkemidler. Der er en høj korrelation mellem brændstoffektivitet og vægt, som peger i retning af, at afgifter på benzin og diesel er velegnede til indirekte at beskatte vægt på vejene.

#### Litteratur

- Abay, K. A., R. Paleti og C. R. Bhat. 2013. The Joint Analysis of Injury Severity of Drivers in Two-Vehicle Crashes Accommodating Seat Belt Use Endogeneity. *Transportation Research Part B*, Vol. 50, s. 74-89.
- Anderson, M. og M. Auffhammer. 2013. Pounds That Kill: The External Costs of Vehicle Weight. *Review of Economic Studies* (under udgivelse). Tidligere udgave udgivet i 2011 som NBER working paper 17170.
- Bjørner, T. B., M. H. Kjeldsen og K. V. Nielsen. 2013. *Marginale eksterne ulykkesomkostninger og personbilers vægt*. Arbejdsrapport 2013:2, De Økonomiske Råds Sekretariat.
- De Økonomiske Råd. 2013. *Økonomi og Miljø*, 2013. De Økonomiske Råds Sekretariat.
- DTU Transport. 2010. Transportøkonomiske Enhedspriser – til brug for samfundsøkonomiske analyser. Version 1.3, Juli 2010.
- Evans, L. 1994. Driver injury and fatality risk in two-car crashes versus mass ratio inferred using Newtonian mechanics. *Accident Analysis and Prevention*, 26(5), s. 609-16.
- Friedstrøm, L. 2011. *A Framework for Assessing the Marginal External Accident Cost of Road Use and its Implications for Uninsurance Ratemaking*. Discussion Paper 2011-22. International Transport Forum.
- Hels, T., A. Lyckegaard, C. G. Prato, J. Rich, L. Abele og N. B. Kristensen. 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.
- Lindberg, G. 2001. Traffic Insurance and Accident Externality Charges. *Journal of Transport Economics and Policy*, 35 (3), s. 399-416.
- OECD og ITF. 2011. *Road Safety 2010 – Irtad Annual Report 2010*. OECD/ITF.
- Ommeren, J. Van, P. Rietveld, J. Z. Hop og M. Sabir. 2013. Killing kilos in car accidents: are external costs of car weight internalised? *Economics of Transportation*, 2(2-3), s. 86-93.
- Parry, I. W. H., M. Walls og W. Harrington (2007): Automobile Externalities and Policies. *Journal of Economic Literature*, 45 (2), s. 373-99.
- Transportministeriet. 2010. Værdisætning af transportens eksterne omkostninger. Transportministeriet.
- Vejdirektoratet. 2012. *AP-parametre til uheldsmodeller – Baseret på data for 2007-2011*. 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. 333-55.
- Williams, R. 2006. Generalized Ordered Logit/Partial Proportional Odds Models for Ordinal Dependent Variables. *The Stata Journal*, 6 (1), s. 58-82.