

Kollisjonssikkerhet i buss

Analyse av europeiske data og forslag til forbedringer

TØI rapport 2082/2025 • Forfattere: Tor-Olav Nævestad, Alena Katharina Høye, Rune Elvik, Ingeborg Hesjevoll, Øyvind Lothe Brunstad, Vibeke Milch, Jenny Blom, Manuel Laso, Daniel Ruben Pinchasik • Oslo, 2025 • 57 sider

Det finnes ikke obligatoriske EU-standarder for kollisjonssikkerhet som fokuserer på bussførere. Norge har imidlertid gått foran og innført R29.03-standarden for frontkollisjonstester for busser fra 01.10.2023. Denne standarden gjelder opprinnelig for lastebiler. Vår litteraturog gjennomgang viser at dagens strukturelle design av bussfronter gir utilstrekkelig kollisjonsbeskyttelse for førere, at kravene til R29.03-kollisjonstester er utilstrekkelige, og at det er behov for en forbedret struktur i fronten av busser. Våre beregninger, som tar utgangspunkt i tre kollisjoner (omtrent 30 km/t) med busser i Norge med dødelig utfall, viser at energinivået i disse kollisjonene var 10 ganger så høyt som energitoleransenivået som kreves av R29.03. Vi har utviklet en ny løsning for å gi bussførere tilstrekkelig kollisjonsbeskyttelse i ulykker med treffpunkt i front: «IDIADA modellen for økt kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere». Ekstrapoleringer indikerer at 963 bussførere i Europa har blitt drept eller alvorlig skadet i ulykker med treffpunkt i front de siste ti årene. Alvorlighetsgraden i disse ulykkene kunne potensielt ha blitt redusert med en bedre modell for kollisjonsbeskyttelse. Selv om våre kostnytte-analyser viser at de økonomiske kostnadene ved modellen vi foreslår er høyere enn de forventede økonomiske fordelene, argumenterer vi, fra et Nullvisjons-/Safe System-perspektiv og et arbeidsmiljøperspektiv, for at bussførere bør ha samme beskyttelse som bil- og lastebilsjåførere ved kollisjoner. Modellen som vi foreslår for økt kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere tar også sikte på å gi bedre beskyttelse for lette kjøretøy som kolliderer med busser. Disse utgjør 22% av de drepte og alvorlige skadede i bussulykker. Vi anbefaler at fremtidige studier utfører tester eller simuleringer av «IDIADA modellen» for økt kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere, for å validere og forbedre den, slik at det blir mer sannsynlig at den blir tatt i bruk av bussprodusenter, og for å bidra til å definere nye krav til kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere.

Bakgrunn

Bussjåførere er mer utsatt enn bil- og lastebilsjåførere ved frontkollisjoner. Dette skyldes manglende deformasjonssoner i fronten av busser, mangelen på obligatoriske EU-standarder for kollisjonssikkerhet som fokuserer på bussjåførere, og lav førerposisjon i mange busser (for eksempel bybusser). Dette har blitt påpekt i analyser av bussulykker i Norge de siste ti årene. I noen av disse ulykkene har bussjåførere blitt drept eller alvorlig skadet, selv om kollisjonshastigheten har vært relativt lav. I én av disse ulykkene (Statens havarikommisjon, 2019) ble én sjåfør drept og den andre kritisk skadet i en frontkollisjon, selv om bussene hadde en hastighet på litt over 30 km/t ved sammenstøtet. Hadde to personbiler med moderne kollisjonssikkerhet



kollidert front mot front ved en tilsvarende hastighet, er det lite sannsynlig at ulykken ville vært dødelig. Hvis alle sikkerhetssystemer (deformasjonszoner, sammenleggbare rattstamme, setebelter og kollisjonsputer) hadde fungert som de skulle, ville det trolig bare ha resultert i materielle skader.

I løpet av de siste tiårene har bilindustrien gjort betydelige fremskritt innen kjøretøysikkerhet som følge av strengere regelverk. Til tross for denne utviklingen har sikkerhetsnivået for tunge kjøretøy, spesielt busser, ikke holdt samme tempo. Regelverket som gjelder for sikkerhet i denne sektoren har vært relativt uendret, noe som har resultert i mangel på avansert sikkerhetsutstyr i mange av dagens busser. Dette medfører at passasjerer og sjåfører i disse kjøretøyene kan være utsatt for høyere risiko for skader ved kollisjoner.

Førerhytta i lastebiler er underlagt kollisjonssikkerhetsstandarder i henhold til UN R29.03, som krever tester for strukturell integritet og sikkerhet for føreren ved frontkollisjoner og velt. Personbiler må oppfylle kollisjonsteststandarder som sikrer overlevelseshet for fører og passasjerer under kollisjoner. Det finnes imidlertid ingen obligatoriske EU-standarder for kollisjonssikkerhet som spesifikt adresserer situasjonen for bussjåfører. Som et unntak fra denne situasjonen vedtok Norge UN R29.03 for busser fra 01.10.2023. Denne standarden gjelder imidlertid opprinnelig for lastebiler og tar kanskje ikke fullt ut hensyn til de unike design- og driftskarakteristikkene for busser sammenlignet med lastebiler. Det er derfor nødvendig å studere bussjåførens kollisjonsbeskyttelse og utvikle målrettede løsninger som kan gi tilstrekkelig beskyttelse ved frontkollisjoner.

Målene med studien

Hovedmålene med studien er å gjennomføre en analyse av kollisjonssikkerhet i busser, med særlig fokus på hvor godt føreren (og andre trafikanter) er beskyttet ved kollisjoner, samt å vurdere mulige løsninger. Rapporten er delt inn i to hoveddeler, som dekker fire mål.

Del A: Beskrivelse av omfanget av bussulykker i Europa, inkludert svakheter ved dagens bussfrontdesigns beskyttelse av føreren ved kollisjoner.

- 1) Analyse og sammenligning av bussulykker og faktorer som påvirker alvorlighetsgraden av bussulykker på tvers av land.
- 2) Beskrivelse av svakheter ved dagens bussfrontdesign.

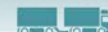
Del B: Beskrivelse av mulige løsninger for å redusere bussulykker, inkludert en ny modell for bussfrontdesign som tar sikte på å øke kollisjonsbeskyttelsen for bussjåfører.

- 3) Presentasjon av tiltak for å forbedre kollisjonssikkerheten i busser.
- 4) Vurdering av kostnader og nytte av foreslåtte tiltak for å forbedre kollisjonssikkerheten i busser og de forventede utviklingene over tid.

I rapporten presenterer vi også hovedresultater fra andre rapporter i prosjektet, for eksempel vår rapport som presenterer modellen for forbedret frontdesign for buss (Laso og Nævestad 2025), vår litteraturgjennomgang av sikkerhetstiltak i buss (Nævestad m.fl. 2025), og vår mer detaljerte analyse av bussulykker, som er rapportert i Høye m.fl. (2025).

Oversikt over bussulykker i Europa

Studier av europeiske bussulykker viser at busser står for 2 % av alle trafikkdødsfall i EU. Tabell S.1 viser antall skadde og drepte i bussulykker som er registrert i Care-databasen i 2013-2022, som inneholder ulykkesdata fra 32 land. I perioden 2013-2022 inneholder CARE-databasen informasjon om 216 drepte bussjåfører og 1 243 alvorlig skadde bussjåfører.



I tillegg ble 876 busspassasjerer og 4 775 andre trafikanter drept i bussulykker. Det totale antallet alvorlig skadde i bussulykker er underrapportert i Care fordi enkelte land ikke rapporterer skadegrad, men det er minst 33 307 i perioden.

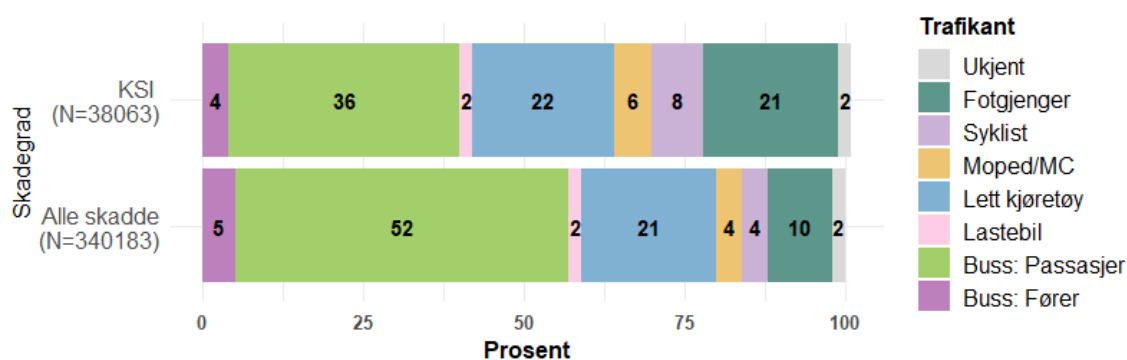
Basert på seks land der treffpunkter for kollisjonene er kjent, vet vi at omtrent 2/3 av de drepte eller alvorlig skadde bussjåførene var i busser med frontkollisjon. Dette er ulykker der alvorlighetsgraden kunne ha blitt redusert med en bedre løsning for kollisjonsbeskyttelse. Dersom tallene ekstrapoleres til alle land, tilsvarer dette 963 drepte eller alvorlig skadde bussjåførere.

Tabell S.1. Antall skadde og drepte i bussulykker etter trafikantergruppe, skadegrad og tidsperiode i CARE-databasen*

Trafikantgruppe	Skadegrad*	2013-2014	2015-2016	2017-2018	2019-2020	2021-2022	Alle år
Bussjåførere	Alle skadde	3 911	3 802	3 778	2 688	2 886	17 065
	Alvorlig skadde	266	290	307	192	193	1 248
	Døde	49	48	41	36	42	216
Busspassasjerer	Alle skadde	39 570	39 710	40 784	27 997	27 376	175 437
	Alvorlig skadde	2 924	2 822	3 004	2 087	1 935	12 772
	Døde	214	178	187	134	163	876
Andre trafikanter	Alle skadde	36 163	34 740	33 222	21 889	20 774	146 788
	Alvorlig skadde	4 628	4 856	4 504	2 841	2 458	19 287
	Døde	1 152	1 100	1 090	773	660	4 775

***Merk:** Antallet alvorlig skadde er basert på land som rapporterer skadegrad (Estland, Frankrike, Finland og Italia rapporterer ikke). Det reelle antallet alvorlig skadde er derfor høyere, og tallene i tabellen kan ikke brukes for å estimere andelen drepte eller alvorlig skadde.

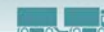
Busspassasjerer utgjør den største andelen skadde trafikanter i ulykker som involverer busser (Figur S.1), etterfulgt av førere og passasjerer i lette kjøretøy. Når det gjelder alvorlige skader, utgjør førere og passasjerer i lette kjøretøy 22 %, mens fotgjengere utgjør 21 % av de drepte eller alvorlig skadde.



Figur S.1. Fordeling av trafikanter skadd i ulykker som involverer busser. CARE-databasen 2013-2022.

Modell for økt kollisjonsbeskyttelse

Våre ekstrapoleringer indikerer at 963 bussjåførere i Europa har blitt drept eller alvorlig skadet i ulykker med frontkollisjon de siste ti årene. Alvorlighetsgraden i disse ulykkene kunne potensielt ha blitt redusert med en bedre kollisjonsbeskyttelsesløsning. Vi har derfor utviklet en ny modell for kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere i prosjektet, som presenteres i det følgende. Vi



omtaler er som en modell, selv om det er en beskrivelse av nye løsningstrender for strukturelle forbedringer innen kollisjonssikring, som bussprodusenten kan tilpasse sine egne busser.

Selv om bussulykker ikke utgjør majoriteten av trafikkdødsfall, har vi hatt tre dødsulykker med bussjåfører i Norge de siste årene, som deler visse kjennetegn. Disse ulykkene er: Nafstad (2017), Tangen (2021) og Fredrikstad (2022). Data fra Statens havarikommisjon og deres dybderapporter fra ulykkene vekker bekymring om et potensielt mønster i disse ulykkene som antyder at de generelle sikkerhetstiltakene for busser kanskje ikke fungerer som planlagt, eller at de scenariene som busser er designet for, ikke samsvarer med virkeligheten i ulykkene de møter.

Disse ulykkene fremhever en bekymringsfull trend der busskonstruksjoner, spesielt i de fremre hjørnene og A-stolpene, ikke er designet for å håndtere frontkollisjoner med liten overlapp. Til tross for innføringen av nye reguleringer i Norge som krever frontkollisjonstester (f.eks. UN R29.03), adresserer ikke disse de strukturelle svakhetene som ble observert i de nevnte ulykkene.

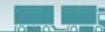
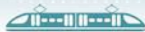
Kollisjonsenergien i hver av disse tre ulykkene er beregnet basert på informasjon fra ulykkesrapportene. Energien som ble generert i disse tre ulykkes scenariene er omtrent ti ganger høyere (ca. 550 kJ) enn energitoleransenivåene som kreves i UN R29.03 (55 kJ).

Vi har estimert de ideelle energiabsorpsjonskapasitetene for kollektivbusser i kollisjonsscenarier. Disse kjøretøyene bør være konstruert for å absorbere kinetisk energi over et bredt spekter, fra omtrent 424 kJ ved kollisjon med lette kjøretøy (masse rundt 1 333 kg) til så mye som 2 000 kJ ved sammenstøt med større kjøretøy (masse ca. 12 000 kg). Basert på disse beregningene og ulykkesanalyser, foreslår vi fem hovedendringer i busskonstruksjonen. Disse fem forbedringene og deres bakgrunn er beskrevet i en egen rapport (Laso og Nævestad 2025), og vi refererer til den som IDIADA modellen for økt kollisjonsbeskyttelse for bussjåfører.

1. Forbedring av kollisjonskompatibilitet

For å adressere kritiske sikkerhetsutfordringer kan flere potensielle løsninger vurderes for å forbedre kollisjonskompatibiliteten:

- a) **Obligatorisk implementering av FN R93.00:** Denne standarden krever installasjon av underkjøringshinder i front på lastebiler. Implementering av dette i busser kan bidra til å fordele kollisjonskreftene jevner og forhindre at mindre kjøretøy kjører under bussen i en kollisjon.
- b) **Integrasjon med tauekroksregulering:** Kombinasjon av R93.00 med eksisterende regulering for tauekroker (EU R1005/2010) kan sikre at bussens frontkonstruksjon styrkes uten å kompromittere funksjonaliteten.
- c) **Forbedret strukturell integritet:** Utvikling av sterkere forbindelser mellom tverrprofilen og sidepanelene på busser er avgjørende.
- d) **Energidempingssoner:** Dedikerte energidempingssoner i frontstrukturen kan bidra til å håndtere kollisjonskrefter mer effektivt.
- e) **Test for små overlappskollisjoner:** Innføring av obligatoriske tester for små overlappskollisjoner for busser, tilsvarende de som nå er vanlige for personbiler, kan drive frem designforbedringer for bedre håndtering av slike utfordrende kollisjonsscenarier.
- f) **Avanserte materialer:** Utforskning av avanserte, energidempende materialer i busskonstruksjon kan gi bedre beskyttelse uten å øke kjøretøyvekten betydelig.



- g) **Designstandarder for kompatibilitet:** Utvikling av spesifikke standarder for kjøretøykompatibilitet mellom busser og mindre kjøretøy kan føre til design som fører til tryggere samhandling under kollisjoner.

Målet er å lage busskonstruksjoner som ikke bare beskytter passasjerene, men som også minimerer skade- og skaderisikoen for andre trafikanter som er involvert i kollisjoner.

2. Førerens posisjon

Førerens posisjon er svært viktig for alvorlighetsgraden av ulykker. I bybusser ville det vært relevant å heve førerposisjonen noe, men ergonomiske hensyn må ivaretas for å kunne utføre passasjerkontrollfunksjoner som billettkontroll.

3. Forsterkninger i konstruksjonen

Den strukturelle forsterkningen bør fokusere på førerens side. Strategien kan være å bruke en "halvburstruktur" som beskytter den nedre delen og samtidig gir bedre tilkobling til taket. I tillegg må energinivået håndteres bedre. Realiteten viser at energinivået selv i lavhastighetsulykker er mye høyere enn energitoleransenivået som kreves av UN R29.03 (type-A), som gjelder 55 kJ over hele frontstrukturen.

4. Forsterkning av nedre front og gulv

Forsterkninger i grill- og gulvområdet kan redusere risikoen for at fronten blir en farlig "lanse" ved kollisjoner.

5. Forsterkning av taket

Ulykkesrapporter viser at takforbindelsen løsner fra sidekonstruksjonen. Styrking av takforbindelsene med de første buene i frontruten og de andre sikkerhetsbuene bak føreren er nødvendig.

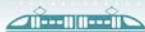
Vurdering av nytte og kostnader

Vi har vurdert nytten og kostnadene knyttet til modellen for økt kollisjonsbeskyttelse for bussjåfører. Hvis modellen reduserer dødsulykker med 30 %, alvorlige skader med 20 % og mindre skader med 10 % ved frontkollisjoner, er nåverdien av nytten 377 euro per buss. Kostnadene for modellen kan imidlertid være mellom 8 500 og 12 000 euro per buss, noe som antyder at nytten er lavere enn kostnadene.

Vi diskuterer også andre komplementære tiltak for å forbedre kollisjons sikkerheten i busser, for eksempel en kollisjonspute integrert i setebeltet og funksjon for tilbaketrekking eller tilbakelening av setet.

En kollisjonspute integrert i setebeltet antas å redusere risikoen for dødelige skader med 30 % og alvorlige skader med 20 %. Det antas at dette ikke vil ha noen effekt på mindre skader. Basert på disse forutsetningene estimeres nåverdien av nytten til 329 euro per buss, sammenliknet med en antatt kostnad på 550 euro per buss. Igjen ser vi at nytten er lavere enn kostnadene. Effektene av en funksjon for tilbaketrekking eller tilbakelening av setet er ukjente. Hvis man, i mangel på annen informasjon, antar de samme effektene som for den nye kollisjonsbeskyttelsesmodellen, vil nåverdien av nytten være 377 euro per buss. Hvis en kostnad på 200 euro per buss antas, er nytten større enn kostnadene.

De kombinerte effektene av både kollisjonsbeskyttelsesmodellen og en kollisjonspute er også estimert. Totale kostnader er 9 050–12 550 euro, og total nytte er estimert til 624 euro. Dermed forblir nytten lavere enn kostnadene, selv for de kombinerte systemene.



Nullvisjon og Safe System

Selv om våre kostnytte-analyser viser at de økonomiske kostnadene for den foreslåtte nye modellen for kollisjonsbeskyttelse av bussjåfører (og andre løsninger vi analyserer) er langt høyere enn den forventede økonomiske nytten, argumenterer vi (i tråd med tidligere studier) for at det er nødvendig å forbedre kollisjonsbeskyttelsen for bussjåfører. Fra et Nullvisjons-/Safe System-perspektiv og et arbeidsmiljøperspektiv kan det argumenteres for at bussjåfører bør ha samme beskyttelse som bil- og lastebilsjåfører i kollisjoner.

Et av de viktigste prinsippene i Safe System-tilnærmingen er at trafikksystemet må designes slik at de ytre kreftene i ulykker ikke overstiger menneskekroppens toleranse for biomekaniske påvirkninger. Når det gjelder bussjåfører, ser det ut til at det fremdeles er et betydelig potensial for implementering av Safe System-prinsipper, fordi busser gir utilstrekkelig kollisjonsbeskyttelse for dem.

Studien vår indikerer også at bussens frontstruktur kan utgjøre en fare for andre kjøretøy i kollisjoner, fordi dagens design ofte fører til at bussfronten forvandles til en farlig "lanse" eller "rambukk" i kollisjoner med andre kjøretøy. Dette er et annet eksempel på hvordan designet av bussfronter kan være i konflikt med Nullvisjon-/Safe System-prinsipper. Vår foreslåtte modell søker også å redusere denne risikoen, og dermed kan den også redusere risikoen for skader på motparter i bussulykker. Førere av lette kjøretøy utgjør 22 % av de drepte og alvorlig skadde i bussulykker.

Fremtidig forskning

Det er nødvendig å gjennomføre en grundigere studie basert på simuleringer og/eller testing for å validere den foreslåtte modellen for forbedret kollisjonssikkerhet for bussjåfører. Videre forskning og tester i virkelige situasjoner vil være avgjørende for å forbedre de foreslåtte løsningene og sikre deres effektivitet i et bredt spekter av kollisjonsscenarioer. Ved å adressere disse problemene kan vi bevege oss mot en fremtid der alvorlighetsgraden av bussulykker blir betydelig redusert, selv ved lavere kollisjonshastigheter, og dermed forbedre trafikksikkerheten for alle trafikanter.