



AAU BUILD
AALBORG UNIVERSITET

INSTITUT FOR
BYGGERI BY OG MILJØ
THOMAS MANNS VEJ 23
9220 AALBORG Ø
BUILD.DK
CVR 29 10 23 84

jd@build.aau.dk
jsn@build.aau.dk

NOTE

Revurdering af påkørselslaster og nyttelaster på parkeringsarealer og arealer til kørende trafik, herunder parkeringshuse, som følge af den stigende udbredelse af elbiler

18. december 2025

Jannie Sønderkær Nielsen

John Dalsgaard Sørensen

Sammenfatning

Den øgede andel af elbiler medfører at køretøjer generelt vil have større vægt og større accelerationer end konventionelle køretøjer. I notatet beskrives undersøgelser af hvilke ændringer af nyttelaster og påkørselslaster, som denne forøgede andel af elbiler kan medføre.

For nyttelaster i parkeringshuse beskrives hvorledes den karakteristiske fladelast for køretøjer kan fastlægges. Først gennemgås de nuværende lastværdier i Danmark, hvorefter metoder til bestemmelse af disse værdier beskrives med udgangspunkt i studier fra bl.a. Tyskland og USA. Derefter præsenteres et nabotjek og forudsætninger for danske beregninger fastlægges på baggrund af data. Baseret på data fra Danmark ses, at elbiler har en væsentligt højere køreklar vægt og totalvægt end benzin- og dieslbiler. I 2025 er middelværdien af køreklar vægt for elbiler på ca. 2000 kg, mens køreklar vægt for benzin- og dieslbiler har en middelværdi på ca. 1450 kg. Samtidig har spredningen for elbiler været faldende de sidste 10 år og er væsentligt mindre, end når der ses på alle køretøjer.

Ækvivalente fladelaster er undersøgt dels på baggrund af omfattende simuleringer fra det tyske studium, der er baseret på data fra forskellige parkeringshuse og forskellige statiske systemer, og dels på basis af simple, men repræsentative statiske systemer og oplysninger om køretøjsvægte baseret på danske forhold. På basis heraf estimeres karakteristiske ækvivalente fladelaster.

For nyttelaster konkluderes, at en karakteristisk værdi af fladelasten på 3,0 kN/m² i det nuværende danske nationale annekse til EN 1991-1-1 er dækkende for en population, hvor alle biler er elbiler, og denne værdi dækker også små arealer. For større arealer, kan der potentielt anvendes en mindre værdi, men det er ikke nærmere undersøgt. Ligeledes kan der fortsat benyttes en værdi af punktlasten (aksellast) på 20 kN.

For påkørselslaster i parkeringshuse beskrives hvorledes denne ulykkeslast kan bestemmes for køretøjer. De nuværende lastværdier i Danmark og nabolande beskrives. Nogle lande benytter den anbefalede værdi i EN 1991-1-7 på 50 kN i kørselsretningen, mens andre lande benytter en væsentligt større værdi, f.eks. 100 kN i Danmark. Baggrund for fastlæggelse af påkørselslasterne er beskrevet



dels i den nuværende ulykkeslastnorm EN 1991-1-7:2006 og den nye reviderede ulykkeslastnorm prEN 1991-1-7:2025 og dels i baggrundsdokumenter til disse. Endvidere er der i annekser til ulykkeslastnormerne og i JCSS (Joint Committee on Structural Safety) beskrevet pålidelighedsbaserede modeller til fastlæggelse af påkørselslasten.

Påkørselslasten er meget afhængig af hastigheden ved en evt. påkørsel og også afhængig af vægten af køretøjet. I notatet er en pålidelighedsbaseret model benyttet til at vurdere følsomheden af påkørselslasten. Resultater fra eksperimentelle forsøg beskrevet i en videnskabelig artikel er også benyttet til vurdering af størrelsen af påkørselslasten i parkeringshuse.

For parkeringshuse med max tilladelig totallast af køretøjer på 3500 kg indikerer resultaterne at selv med en forøget vægt og måske en forøget hastighed ved øget andel af elbiler kan påkørselslasten i kørselsretningen for bærende konstruktionselementer bibeholdes på 100 kN i det danske nationale annekse til EN 1991-1-7. Påkørselslasten i tværretningen kan tilsvarende bibeholdes på 50 kN. Pga. flere SUV'ere, der typisk er højere, kan det overvejes at øge højden over vejoverfladen, hvor påkørselslasten påføres. Som påkørselslast for projektering af rækværk mm. kan benyttes en last på 200 kN.

Contents

1	Indledning	4
2	Nyttelast fra køretøjer	4
2.1	Nuværende lastværdier	4
2.2	Baggrund og metoder	4
2.3	Nabotjek	10
2.4	Fastlæggelse af datagrundlag og beregningsforudsætninger	11
2.5	Fastsættelse af kommende lastværdier	18
3	Påkørselslaster	18
3.1	Nuværende regningsmæssige lastværdier for påkørsel i parkeringshuse	18
3.2	Baggrund og metoder	20
3.2.1	ENV1992-7:1997	20
3.2.2	prEN1991-1-7:2003	21
3.2.3	EN1991-1-7:2006	21
3.2.4	EN1991-1-7:2025	21
3.2.5	JCSS PMC:2001	22
3.2.6	Pålideligheds-baseret model	22
3.2.7	Sohel et al.	23
3.3	Nabotjek	24
3.4	Fastlæggelse af datagrundlag og beregningsforudsætninger	24
3.5	Fastsættelse af kommende lastværdier	25
4	Referencer	25

1 Indledning

Den øgede andel af elbiler medfører at køretøjer generelt vil have større vægt og større accelerationer end konventionelle biler. I dette notat beskrives undersøgelser af ændringer af nyttelaster og påkørselslaster, som denne forøgede andel af elbiler kan medføre. Ligeledes vurderes størrelsen af nyttelaster og påkørselslaster i de danske nationale annekser til EN 1991-1 og EN 1991-1-7 i parkeringshuse.

2 Nyttelast fra køretøjer

I dette afsnit fokuseres der på, hvordan den karakteristiske fladelast for køretøjer kan fastlægges. Først gennemgås de nuværende lastværdier i Danmark, hvorefter metoder til bestemmelse af disse værdier forklares med udgangspunkt i tre studier. Derefter præsenteres et nabotjek og forudsætninger for danske beregninger fastlægges på baggrund af data. Endelig estimeres karakteristiske ækvivalente fladelaster baseret på danske forhold.

2.1 Nuværende lastværdier

I DS/EN 1991-1-1 er der angivet karakteristiske værdier for nyttelasten på parkerings- og trafikarealer, og i DS/EN 1991-1-1 DK NA:2024 er der angivet lastværdierne i Tabel 1. Første og sidste kategori i denne tabel svarer til de højeste anbefalede værdier for kategori F og G som er angivet i både DS/EN 1991-1-1:2007 og DS/EN 1991-1-1:2025. Den alternative kategori F er indført i DS/EN 1991-1-1 DK NA:2012 for at tage højde for, at den øvre grænse for almindelige personkøretøjer og mindre last/varebiler i Danmark er 3500 kg. Hvis et parkeringshus dimensioneres efter kategori F med en bruttovægt op til 3000 kg, kræver det nationale annekts tydelig skiltning og anden fysisk begrænsning, og at køretøjer, som overstiger kategoriens vægtbegrænsning, ikke må benytte parkeringshuset.

Kategorier af trafikarealer	Fladelast = q_k	Punktlast = Q_k
Kategori F Bruttovægt ≤ 30 kN (3000 kg)	2,5 kN/m ²	20 kN
Alternativ kategori F Bruttovægt ≤ 35 kN (3500 kg)	3,0 kN/m ²	20 kN
Kategori G 30 kN < bruttovægt < 160 kN	5,0 kN/m ²	90 kN

Tabel 1. Nuværende kategorier for nyttelast i DS/EN 1991-1-1 DK NA:2024.

2.2 Baggrund og metoder

Baggrunden for nyttelasterne i parkeringsarealer i DS/EN 1991-1-1 er ikke angivet i baggrundsdokumentet. Derimod er der beskrevet metoder til bestemmelse af nyttelaster i artikler og andre dokumenter:

- Joint Committee on Structural Safety (JCSS), som er en international komite indenfor sikkerhed af konstruktioner, har udgivet en *Probabilistic*



Model Code (JCSS 2001), hvor afsnit 2.6 handler om nyttelaster i parkeringsgarager. Dette dokument angiver grundlæggende probabilistiske modeller, men ikke mere detaljerede beregningsprocedurer.

- I artiklen Wen & Yeo (2001) præsenteres resultaterne af et amerikansk studie, der har til formål at bestemme karakteristiske nyttelaster i parkeringshuse.
- I artiklen Kemper, Funke & Feldmann (2022) præsenteres resultaterne af et tysk studie, der har til formål at bestemme karakteristiske nyttelaster i parkeringshuse, og PhD afhandlingen af Funke (2023) er relateret til samme studie.
- I rapporten Corotis, Arwade & Ha (2025) præsenteres resultaterne af et amerikansk studie, der er baseret på samme model som Wen & Yeo (2001), men hvor der laves fremskrivninger for hvordan en øget mængde elbiler vil påvirke de karakteristiske nyttelaster.

I disse dokumenter er der angivet forskellige metoder til at bestemme karakteristiske lasteffekter i konstruktionselementer, idet der tages højde for køretøjers vægt samt konfigurationen af parkeringshuse. En helt simpel tilgang til at bestemme fladelasten, er at tage tyngden svarende til den højest tilladelige totalvægt og dividere med størrelsen af en parkeringsbås. I forhold til den tidlige variation af lasten, er dette en konservativ antagelse, idet de fleste køretøjer har en vægt væsentligt lavere end den maksimalt tilladte totalvægt for personbiler. I forhold til den rumlige variation kan det være en ikke-konservativ antagelse, idet det kan give større lasteffekter i nogle konstruktionselementer, hvis lasten fordeles mere realistisk ud som hjultryk, i stedet for at betragte den som en jævnt fordelt fladelast.

I de angivne kilder tages der generelt både højde for den tidlige og den rumlige variation af lasten, når lasteffekten bestemmes, og vægten af de enkelte køretøjer modelleres på baggrund af data. Resultaterne angives generelt som en ækvivalent fladelast, som er den jævnt fordelte fladelast, som giver samme lasteffekter (fx moment i bjælke eller normalkraft i søjle), som den karakteristiske lasteffekt beregnet på baggrund af sandsynlighedsfordelingen af vægten af køretøjer samt konkrete repræsentative eksempelkonfigurationer af parkeringshuse. I det følgende beskrives, metoderne ift. modellering af vægten af køretøjer, beregning af lasteffekt, samt beregning af karakteristisk lasteffekt, og de vigtigste resultater præsenteres og diskuteres.

Vægt af køretøjer

JCSS (2001) angiver at vægten af det enkelte køretøj kan beskrives som en normalfordeling med en middelværdi på 15 kN og en variationskoefficient på 15-30%. Datagrundlaget for dette er ikke angivet.

Wen & Yeo (2001) har modelleret nyttelasten af køretøjer på baggrund af observationer af køretøjer i ni parkeringshuse i USA. Hvert parkeringshus blev besøgt én gang, og mærke samt model for hvert parkeret køretøj blev registreret. Vægten blev fastsat på baggrund af opslag af den køreklare vægt for køretøjerne, med et tillæg for passagerer og last. På baggrund af en statistisk analyse blev det konkluderet, at en lognormalfordeling bedst beskrev dataene.

Kemper et al. (2022) kombinerer officielle statistikker af egenvægt, køreklar vægt og totalvægt med data fra vejninger af køretøjer i fire parkeringshuse i Tyskland i 2017. Det blev konkluderet, at den målte vægt af køretøjerne ligger 20% over egenvægten, og en fremskrivning til 2030 resulterede i en vægt 30% højere end egenvægten i 2017. Denne fremskrivning tager dog ikke højde for elbiler. I beregningerne blev der tilfældigt trukket køretøjer fra databasen med køretøjer registreret i Tyskland, og egenvægt samt geometri blev fastsat på baggrund af dette. I dette studie blev der ligeledes taget højde for belægningsgraden.

Corotis et al. (2025) laver statiske analyser af data fra USA, og ser på forskellen mellem elbiler og hele populationen af biler. Det konkluderes, at middelværdien for elbiler er højere, mens spredningen er mindre. Der tillægges hhv. 7% og 17% af køreklar vægt for parkerede og kørende køretøjer, for at tage højde for last og passagerer, og lasteffekten beregnes ud fra dette. Der præsenteres resultater med hhv. 20%, 40% og 100% elbiler.

Beregning af lasteffekt

For at tage højde for effekten af den rumlige variation, er det nødvendigt at opstille repræsentative konfigurationer for parkerings- og kørearealer samt statiske systemer. I JCSS (2001) angives, at lette køretøjer kan modelleres som en punktlast midt i parkeringsbåsen, og denne antagelse er anvendt i Wen & Yeo 2001 samt Corotis et al. (2025). Derimod anvender Kemper et al. (2022) en langt mere detaljeret model, hvor geometrien af de enkelte køretøjer anvendes, køretøjernes vægt påføres på fire hjul, der tages hensyn til ujævn fordeling på for- og bagaksel, og der tages hensyn til variationen af bilernes placering i parkeringsbåsene.

Wen & Yeo (2001) opstiller en parkeringskonfiguration med otte båse og plads til to biler i kørearealet, og der opstilles influensflader, der angiver maksimal lasteffekt (normalkraft i søjler samt for moment i bjælker) for en enkeltkraft afhængig af position af lasten. Corotis et al. (2025) tager udgangspunkt i modellen fra Wen & Yeo (2001), og ser på parkeringskonfigurationer med hhv. ti og seks båse, og trafik i begge retninger i kørearealet. Både Wen & Yeo (2001) og Corotis et al. (2025) anvender influensfunktioner baseret på simple statiske modeller for lasteffekter som normalkraften i en søjle og momentet i en bjælke.

Kemper et al. (2022) opstiller i alt 120 konfigurationer med størrelser af influensarealer fra 12,5 m² til 840 m², forskellige størrelser af bjælker og dæk, kontinuerede og simpelt understøttede dæk, og med eller uden kompositvirkning, og anvender numerisk bestemte influensmatricer. Eksempler på størrelse af parkeringsområder:

- 1 parkeringsbåse: 2,5m x 5,0m
- 4 parkeringsbåse: 5,0m x 10,0m
- 4 parkeringsbåse og køreareal med plads til 2 biler: 5,0m x 16,0m
- 8 parkeringsbåse og køreareal med plads til 4 biler: 17,5m x 16,0m



Beregning af karakteristisk lasteffekt

I studierne anvendes to forskellige tilgange til at bestemme karakteristiske lasteffekter: analytiske tilgange baseret på ekstremfordelinger og Monte Carlo simuleringer. I JCSS (2001), modelleres lastprocessen analytisk som en *rectangular wave renewal process*, og der angives parametre for modellen for forskellige typer af parkeringshuse. Wen & Yeo (2001) anvender type I og type II ekstremværdifordelinger, og beregner en karakteristisk værdi som en 30-års værdi, idet det antages at parkeringshuset fyldes én gang dagligt, dvs. 11.000 realisationer i løbet af 30 år. Corotis et al. (2025) anvender samme model, men beregner en karakteristisk last som en 50-års værdi idet der antages, at parkeringshuset er fyldt fem gange dagligt.

Kemper et al. (2022) anvender Monte Carlo simuleringer til at bestemme fordelingen for lasteffekten ved en tilfældig fyldning af parkeringshuset. Der tages højde for variation af belægningsgrad over døgnet, og det antages at parkeringshuset fyldes seks gange dagligt. For at bestemme den karakteristiske last bruges der dels en analytisk Poisson model og dels anvendes der direkte ekstrapolation på baggrund af simulerede årlige maksimale værdier og et fit til en Gumbel fordeling.

Resultater og diskussion

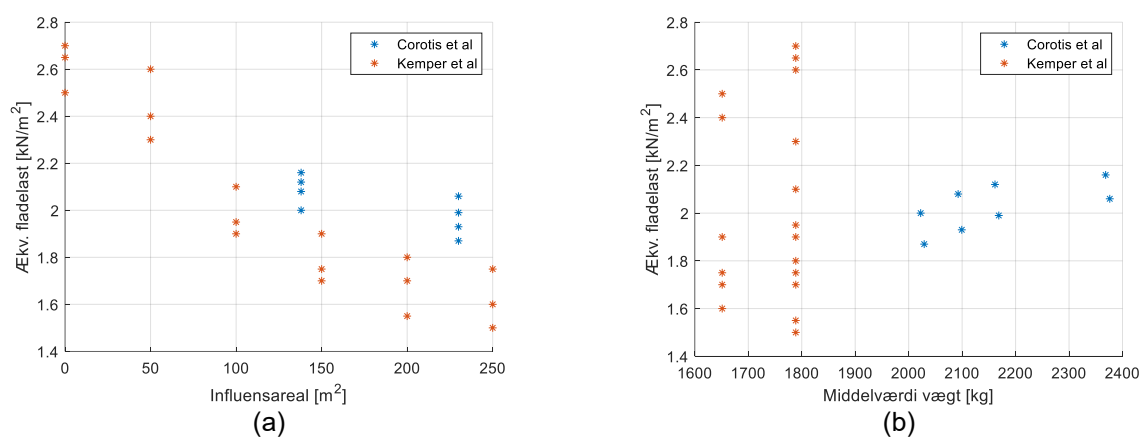
I Tabel 2 er der angivet de mest relevante resultater fra tre studier, samt de vigtigste inputparametre. Resultaterne fra Kemper et al. (2022) er givet for simpelt understøttede dæk, da de ikke direkte er præsenteret for kontinuerte dæk, og det er et udtryk for en øvre grænsekurve ift. de forskellige konfigurationer og lasteffekter.

Det vurderes, at den simuleringsbaserede metode i Kemper et al. (2022) er den mest nøjagtige, idet metoden gør det muligt at modellere den rumlige fordeling af lasten mere præcist, end når der anvendes deterministiske influensfaktorer, og køretøjet blot modelleres som en enkelt punktlast. Samtidig giver anvendelsen af simuleringerne til ekstrapolation en mere nøjagtig repræsentation af ekstremfordelingen. Kemper et al. (2022) konkluderer på basis af numeriske eksempler, at analytiske modeller ikke kan repræsentere trafiklasterne tilstrækkeligt nøjagtigt, specielt er den mangelfuld ved kombinationerne af forskellige vægte af køretøjer, den rumlige fordeling af køretøjerne og komplekse influenskurver der giver lasteffekter (momenter, forskydningskræfter, normalkræfter i søjler, ...) for givne køretøjer. Samtidig er modelleringen af vægten køretøjer i Kemper et al. (2022) mest realistisk, idet køretøjer trækkes tilfældigt fra populationen af køretøjer i Tyskland. Dog benyttes data for køretøjer fra 2017, og fremskrivningen til 2030 er foretaget på baggrund af en studie fra 2014 ved at tillægge fast procentsats oveni vægten for det enkelte køretøj. Dermed tager fremskrivningen ikke højde for elbiler.

Corotis et al. (2025) har lavet en mere præcis fremskrivning af vægten af køretøjer i USA, idet der på baggrund af den nuværende population af biler, laves en fremskrivning til hvordan vægtfordelingen vil blive, hvis benzin- og dieslbiler

erstattes med tilsvarende elbiler. Corotis et al. (2025) præsenterer en sensitivitetssanalyse, der viser, at den karakteristiske lasteffekt stiger tilnærmelsesvist lineært med både middelværdien og spredningen af vægten af køretøjerne. Den karakteristiske lasteffekt stiger ikke-lineært med andelen af elbiler, idet stigningen aftager, for store andele af elbiler. Dette skyldes, at spredningen på vægten af biler reduceres, hvis andelen af elbiler stiger over 50%. I beregningerne modelleres vægten af biler som en lognormalfordeling.

Det vurderes dermed, at vægtfordelingen anvendt i Corotis et al. (2025) er mest relevant ift. modelleringen af en øget mængde elbiler, mens der er effekter af den rumlige fordeling af vægten som modelleres mest præcist i Kemper et al. (2022). I Figur 1 er resultaterne fra disse to studier illustreret grafisk. Resultaterne fra Kemper et al. (2022) viser tydeligt, at den ækvivalente fladelast er større for små influensarealer. Resultaterne fra Corotis et al. (2025) er for relativt store influensarealer, mens middelværdien af vægten er større end i Kemper et al. (2022). Det ses af resultaterne fra Corotis et al. (2025), at den ækvivalente fladelast er stigende med vægten, men stigningen er ikke lineær, da spredningen også bliver mindre, når middelværdien af vægten er større. Dermed er det relevant at tage både resultaterne fra Corotis et al. (2025) og Kemper et al. (2022) med i vurderingen af lasten.



Figur 1. Ækvivalent fladelast som funktion af (a) influensareal og (b) middelværdien af vægten af køretøjer for resultaterne fra Corotis et al. (2025) og Kemper et al. (2022) fra Tabel 2.



Case	Vægt middelværdi (spredning) [kg]	Størrelse bås (længde x bredde) [m]	Influensareal [m ²]	Ækvivalent fladelast [kN/m ²]
Wen & Yeo 2001	1551 (483) + 7-17% last	6,10 x 3,05	223	1,48
Wen & Yeo 2001	1551 (483) + 7-17% last	6,10 x 2,44	242	1,67
Corotis et al 2025 (2023)	1847 (458) + 7-17% last	6,10 x 2,44	138 230	2,00 1,87
Corotis et al 2025 (fo- recast 20% elbiler)	1911 (459) + 7-17% last	6,10 x 2,44	138 230	2,08 1,93
Corotis et al 2025 (fo- recast 40% elbiler)	1974 (476) + 7-17% last	6,10 x 2,44	138 230	2,12 1,99
Corotis et al 2025 (fo- recast 100% elbiler)	2163 (459) + 7-17% last	6,10 x 2,44	138 230	2,16 2,06
Kemper et al 2022 (2017, 95% belæg- ning)	1376 (310) + 20% last	5,00 x 2,50	0 50 100 150 200 250	2,5 2,4 1,9 1,75 1,7 1,6
Kemper et al 2022 (2030, 95% belæg- ning)	1376 (310) + 30% last&fo- recast	5,00 x 2,50	0 50 100 150 200 250	2,7 2,6 2,1 1,9 1,8 1,75
Kemper et al 2022 (2030, 50% belæg- ning)	1376 (310) + 30% last&fo- recast	5,00 x 2,50	0 50 100 150 200 250	2,65 2,3 1,95 1,7 1,55 1,5

Tabel 2. Opsummering af vigtigste input samt ækvivalent fladelast svarende til den karakteristiske lasteffekt for relevante studier.

2.3 Nabotjek

For at undersøge, hvordan øvrige lande planlægger at håndtere den øgede belastning som følge af en øget andel af elbiler, er der sendt forespørgsler til relevante personer i Norge, Sverige, Storbritannien, Finland og Tyskland. Nedenfor at angivet svar fra de enkelte lande.

Norge

Laster fra køretøjer i kategori F og G i parkeringshuse, EN1991-1-1: planlægger pt. Ikke at øge i nye nationale annekser pga. elbiler.

Sverige

Laster fra køretøjer i kategori F og G i parkeringshuse, EN1991-1-1: overvejer om laster skal opdateres i nye nationale annekser pga. elbiler.

Storbritannien

Laster fra køretøjer i kategori F og G i parkeringshuse, EN1991-1-1: det overvejes at fladelaster øges til 3 kN/m^2 for totalvægt mindre end 32 kN bl.a. pga. den øgede andel af elbiler. Dette stemmer overens med anbefalingen i The Institution of Structural Engineers: Car park design (2023). Endvidere overvejes også at ændre fladelasten for totalvægt større end 32 kN idet springet til 5 kN/m^2 anses at være for stort eksempelvis for en totalvægt på 33 kN .

Det bemærkes at der kun sjældent vælges større parkeringspladser til nye parkeringspladser, og at det derfor kan det være rimeligt at anvende den øgede belastning for bjælker, søjler og fundamenter og dæk.

Endvidere overvejes følgende ændringer:

- Punktlaster: 15 kN pr hjul (30 kN for aksel)
- Areal for punktlast: $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$

Finland

Laster fra køretøjer i kategori F og G i parkeringshuse, EN1991-1-1: overvejer om laster skal opdateres i nye nationale annekser pga. elbiler, bl.a. om kategori F opdeles i kategori F1 og F2, hvor F2 er for elbiler.

Tyskland

Undersøgelserne i Kemper et al. indikerer at de nuværende karakteristiske nytelaster i det tyske nationale annekse er tilstrækkelige, men de tager ikke hensyn til det forøgede antal elbiler. Det påpeges at det forventes, at den teknologiske udvikling af batterier medfører at disse i løbet af få år vil blive lettere.

Tabel 3 viser anbefalinger til karakteristiske fladelaster som funktion af referencerearealet A som angivet i Kemper et al for simpelt understøttede og kontinuerte systemer, samt værdierne i det nuværende samt (forslag til) kommende tyske nationale annekse.

Det ses, at de nuværende karakteristiske fladelaster i det tyske nationale annekts stort set er tilstrækkelige i forhold til de anbefalede værdier i Kemper et al. (2022). Det ses dog at fladelasten i forslaget til det nye tyske nationale annekts afviger fra disse anbefalinger, idet der foreslås en større værdi (3,5 kN/m²) for influensarealer under 20 m², mens der anbefales en mindre værdi (2,5 kN/m²) for influensarealer over 20 m². Den større værdi for små influensarealer kan skyldes, at Kemper et al. (2022) ikke specifikt har taget hensyn til udviklingen med flere elbiler i fremtiden, hvilket understøttes af beregninger i Funke 2023, som indikerer at lasterne i Kemper et al. (2022) skal øges med en faktor 1,14 for at tage hensyn til forventede stigninger i middelværdi og spredning for populationen af køretøjer i fremtiden. Der kan ikke umiddelbart findes en begrundelse for, at lasten foreslås reduceret allerede ved 20 m².

Der foreslås ikke en ændring af punktlasten på 20 kN pr. aksel.

A [m ²]	0	50	100	150	200	250	500
Anbefaling i Kemper et al. Simpelt understøttet. [kN/m ²]	2,75	2,75	2,4	2,0	2,0	2,0	
Anbefaling i Kemper et al. Kontinuert system. [kN/m ²]	3,0	3,0	2,83	2,67	2,5	2,4	2,0
Anbefalet værdi i EN1991-1-1. [kN/m ²]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
Tysk nationalt annekts (2022) Kendt referenceareal A. [kN/m ²]	3,0	3,0* <45 m ²	2,5* >117 m ²	2,5	2,5	2,5	
Tysk nationalt annekts (2022) Ukendt referenceareal A. [kN/m ²]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
Forslag til tysk nationalt annekts (2025)	3,5 <20 m ²	2,5 >20 m ²	2,5	2,5	2,5	2,5	

Tabel 3. Forskellige anbefalinger til karakteristiske fladelaster som funktion af referencearealet A. * Der anvendes en ikke-lineær interpolation mellem 45 og 117 m².

2.4 Fastlæggelse af datagrundlag og beregningsforudsætninger

Vægt af køretøjer

I Danmark har Motorstyrelsen data om alle indregistrerede køretøjer. Inden 2006 blev egenvægt og totalvægt registreret, mens der i stedet blev registreret køreklar vægt og totalvægt fra 2006. Køreklar vægt svarer til egenvægten plus vægten af drivmidler (vand, olie og brændstof) samt vægten af føreren. For per-

sonbiler sættes vægten af fører og drivmidler som standard til 125 kg. Motorstyrelsen har leveret data i form af datafiler for hver år fra 2012 til 2025, med stelnummer, drivkrafttype, egenvægt, køreklar vægt og totalvægt for personbiler.

Der kunne observeres, at der fandtes fejlbehæftede data i datasættet, ligesom der som forventet var angivet enten egenvægt eller køreklar vægt. For eksempel indeholder datasættet for personbiler en del køretøjer, som er varebiler og autocampere med en totalvægt på over 3500 kg. For ikke at medtage ugyldige data i analysen, blev dataene forbehandlet på følgende måde:

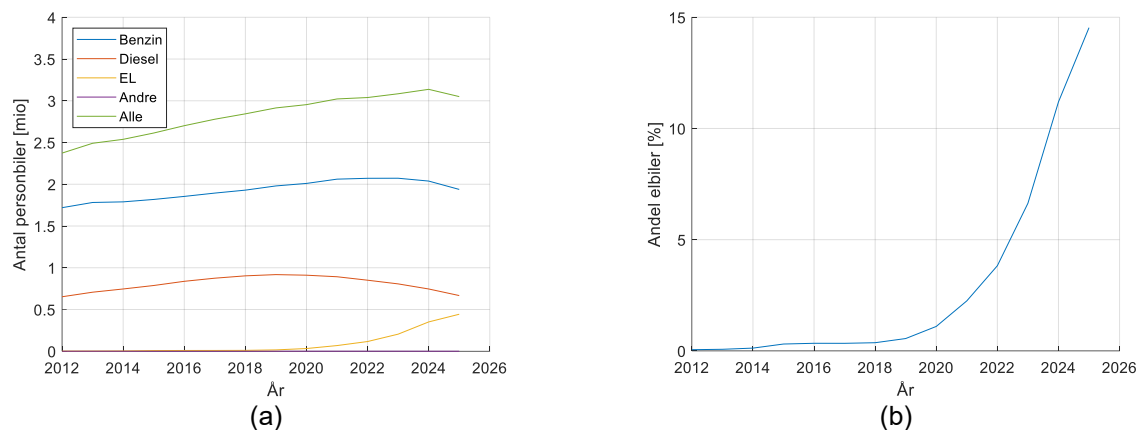
- For køretøjer, hvor der ikke er angivet køreklar vægt, er denne beregnet som egenvægt plus 125 kg.
- Data, hvor køreklar vægt er højere end totalvægt er kasseret.
- Data, hvor totalvægt er højere end 3500 kg er kasseret
- Data, hvor køreklarvægt er mindre eller lig nul er kasseret

En stikprøve viste, at mange af de tungeste dieslbiler i det forhandlede datasæt stadig er enten varebiler eller autocampere, og de medtages i analysen. Desuden er data, hvor drivkraftmidlet er brint, F-gas, N-gas eller petroleum, samlet i kategorien "Andre". Hybridbiler opgøres ikke separat, og indgår som benzin eller diesebil.

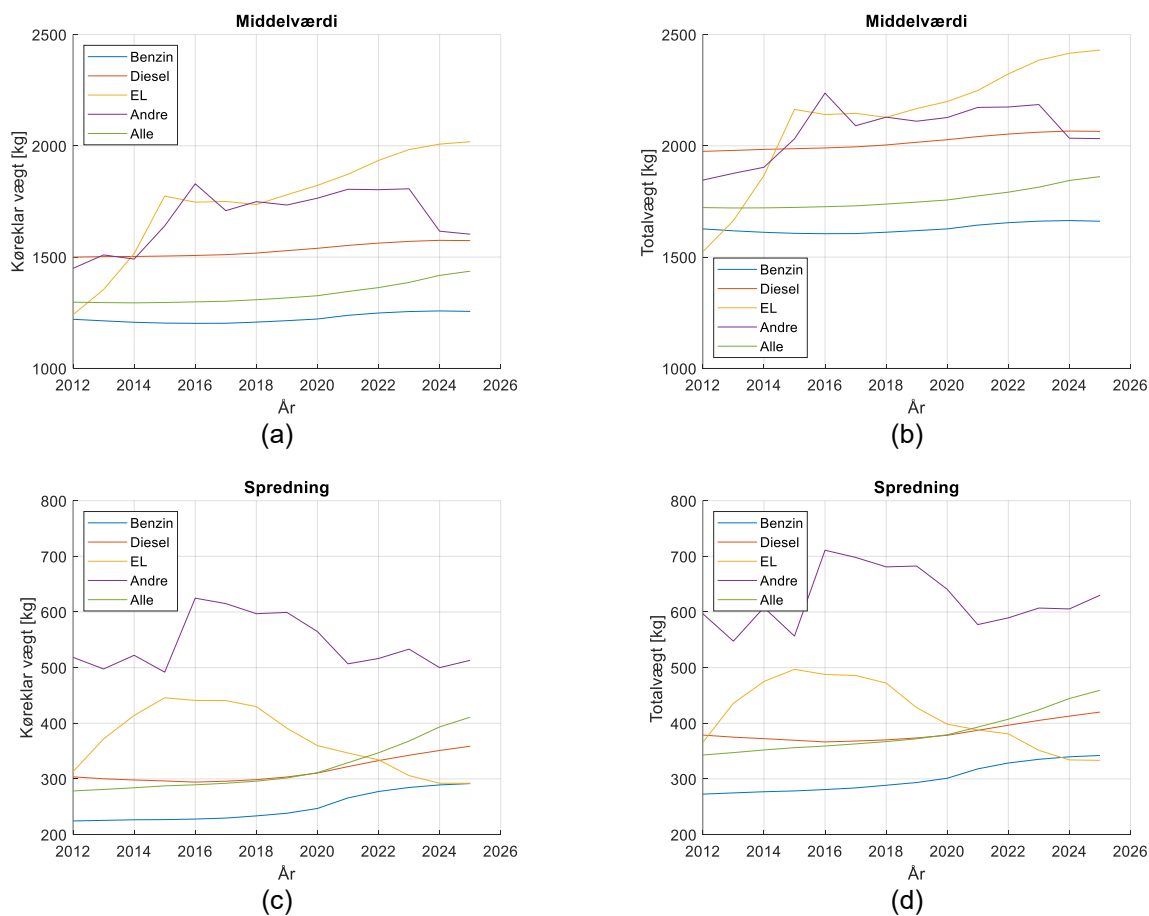
Figur 2 viser antal indregistrerede personbiler fordelt på drivkrafttype fra 2012 til 2025, samt hvor stor en andel af bilerne, der er elbiler. Det ses at andelen af elbiler er steget fra 1% i 2020 til næsten 15% i 2025.

Figur 3 viser middelværdi og spredning for køreklar vægt og totalvægt for indregistrerede personbiler fordelt på drivkraftmiddel fra 2012 til 2025, og Figur 4 viser histogrammer for køreklar vægt for hhv. alle biler og elbiler i 2025. Der er ligeledes vist lognormalfordelinger fittet til datapunkterne. Det ses at elbiler har en væsentligt højere køreklar vægt og totalvægt end benzin- og dieslbiler. I 2025 ligger middel køreklar vægt for elbiler på 2018 kg, mens køreklar vægt for benzin- og dieslbiler ligger på hhv. 1256 kg og 1574 kg. Den samlede middelværdi er på 1437 kg. Samtidig har spredningen for elbiler været faldende siden 2015, og i 2025 er spredningen for elbiler væsentligt mindre, end når der ses på hele populationen, hvilket skyldes at elbiler er en mere homogen gruppe.

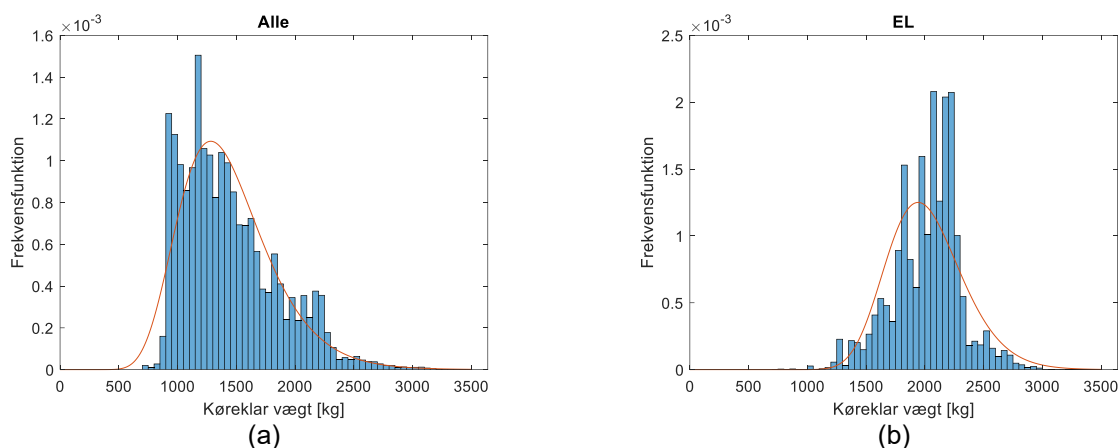
Et simpelt estimat for, hvordan middelværdien påvirkes af andelen af elbiler, kan fås ved at vægte middelværdien for benzin- og dieslbiler og elbiler, hvilket giver en lineær sammenhæng. Denne sammenhæng tager dog ikke højde for, hvordan vægten af elbiler vil udvikle sig, efterhånden som en større andel af bilerne bliver elbiler. Middelvægten for elbiler ses i Figur 3(a) at være stigende, men stigningen er de seneste år begyndt at stagnere. Det er svært at vurdere om der i fremtiden kommer til at ske en stigning (pga. krav til større rækkevidde) eller et fald (pga. mere effektive batterier). Det bemærkes at middelværdien for vægten af elbiler ligger lidt lavere end den værdi Corotis et al. (2025) anvendte for scenariet med 100% elbiler, hvor der blev lavet en fremskrivning baseret på amerikanske forhold.



Figur 2. Antal indregistrerede personbiler (a) og andel elbiler (b).



Figur 3. Vægt af personbiler fordelt på drivkraftmiddel: (a) og (b) middelværdi af hhv. køreklar vægt og totalvægt og (c) og (d) spredning af hhv. køreklar vægt og totalvægt.



Figur 4. Histogram og frekvensfunktion (lognormalfordeling fittet til data) for kørekklar vægt for (a) populationen af personbiler 2025 og (b) populationen af elbiler 2025.

Tabel 4 viser en oversigt over de ti mest solgte biler i Danmark i første halvår af 2025. Det ses at gennemsnittet er på 2086 kg, og den tungeste bil på listen er VW ID.Buzz med en egenvægt op til 2577 kg.

Mærke	Model	Antal	Egenvægt [kg]	Totalvægt [kg]
Skoda	Elroq	4.782	2181	2650
Volkswagen	ID.4	4.161	2256	2770
Tesla	Model Y	3.101	1979	2405
Volkswagen	ID.3	2.816	1853	2300
Skoda	Enyaq iV	2.302	2314	2750
Volkswagen	T-Roc	2.296	1497	2080
Toyota	bZ4X	2.194	2005	2275
Volkswagen	ID.Buzz	2.083	2577	3125
Audi	Q4 e-tron	2.026	2160	2750
Kia	EV3	1.708	1885	2355
Gennemsnit			2086	2560

Tabel 4. Egenvægt og totalvægt for de 10 mest solgte biler i Danmark i første halvår 2025 [<https://bilmagasinet.dk/bil-nyheder/her-er-de-10-mest-solgte-biler-i-danmark-i-2025-indtil-videre>]. Egenvægt og totalvægt fundet for den tungeste undermodel i bildatabaser.

Størrelser af parkeringsbåse

Den ækvivalente fladelast afhænger af størrelsen af parkeringsbåsene. Vejdirektoratets nuværende anbefaling er en bredde på minimum 2,6 m, og gerne 2,7 m. Tidligere har anbefalingerne været at båsene kunne være noget smallere. Før 2010, var anbefalingen minimum 2,3 m, hvorefter den steg til 2,5 m. De nuværende anbefalinger på 2,6 m stemmer overens med den britiske IStructE Car Park Design, som anbefaler en størrelse på 5 m x 2,6 m.

Beregning af fladelaster

På baggrund af metodebeskrivelsen, vurderes det at den karakteristiske værdi kan bestemmes mest nøjagtigt ved at anvende en simuleringsbaseret tilgang som i Kemper et al. (2022). I dette projekt foretages følgende beregninger:

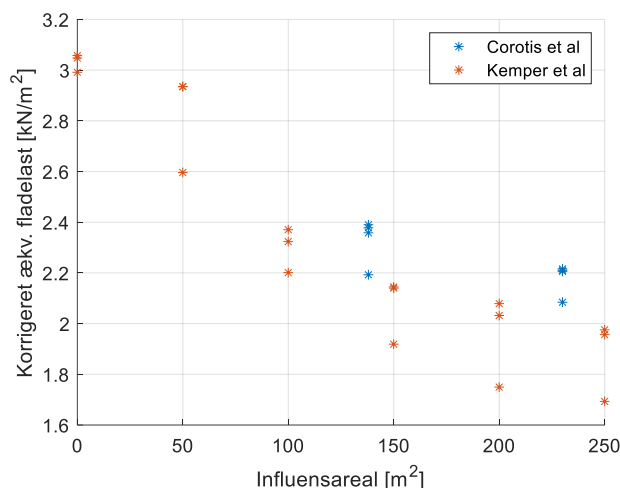
- Simpel beregning af ækvivalent fladelast for køretøjer fra 1000-3500 kg
- Korrektur af resultaterne fra Corotis et al. (2025) og Kemper et al. (2022)
- Beregning af ækvivalent fladelast for små influensarealer på baggrund af 2025 populationen af alle personbiler og alle elbiler. Der ses kun på små influensarealer, idet det er mest kritisk.

Tabel 5 viser en simpel beregning af den tilsvarende fladelast på baggrund af tyngden af et køretøj divideret med parkeringsbåsens areal. Denne beregning tager ikke højde for, at lasteffekten kan være højere, når lasten fordeles ud på punktlaster. Resultaterne fra Kemper et al. (2022) viste, at effekten af den rumlige fordeling er signifikant ved små influensarealer, dvs. når lasteffekten i et konstruktionselement kun påvirkes af få køretøjer. Samtidig vil der også oftere opstå en situation, hvor vægten af alle køretøjer i influensarealet ligger i den øvre ende af det tilladte, hvis influensarealet er lille.

Vægt af køretøj [kg]	Last [kN]	Simpel fladelast [kN/m ²]
1000	9,8	0,76
1500	14,7	1,13
2000	19,6	1,51
2500	24,6	1,89
3000	29,5	2,27
3500	34,4	2,64

Tabel 5. Fladelast pba. køretøjets vægt for en parkeringsbås på 5 m x 2.6 m.

Den ækvivalente fladelast er proportional med vægten og omvendt proportional med parkeringsbåsens areal. Resultaterne fra Corotis et al. (2025) og Kemper et al. (2022) kan justeres til danske forhold, ved at gange med korrektionsfaktorer på baggrund af middelværdien af lasten og parkeringsbåsens størrelse. Anvendes en parkeringsbås på 2,6 m x 5 m og en middelvægt på 2100 kg (~100% EL) fås Figur 5 for sammenhæng mellem korregeret ækvivalent fladelast og influensareal. Det ses, at resultaterne fra Corotis et al. (2025) ligger lidt højere end resultaterne i Kemper et al. (2022) for samme influensareal. Dette kan skyldes, at der generelt er anvendt en større spredning i Corotis et al. (2025). Det bemærkes, at de korrigerende ækvivalente fladelaster for små influensarealer kan nå op på 3 kN/m².



Figur 5. Korrigerede ækvivalente fladelaster, korrigeret mht. størrelse til en parkeringsbås på 2,6 m x 5 m og mht. køretøjsvægten til en middelvægt på 2100 kg.

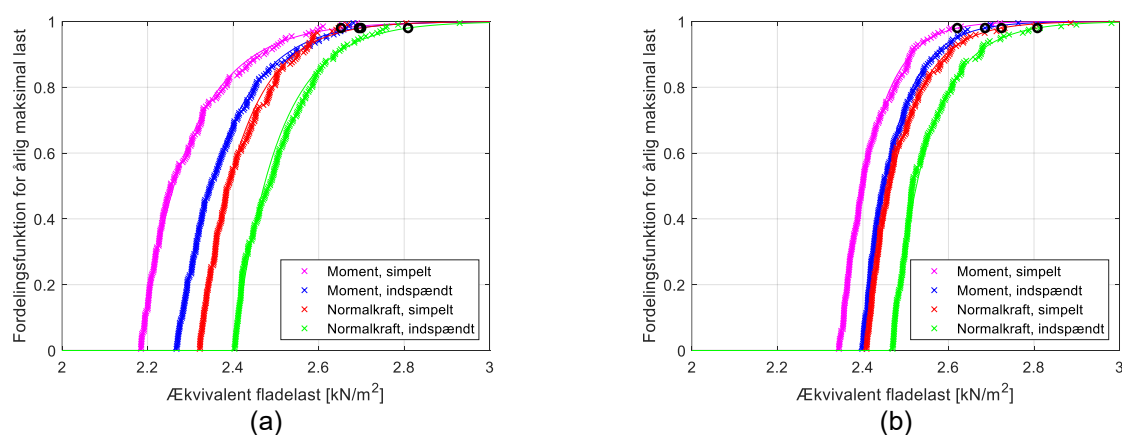
Endelig er der udført beregninger af den karakteristiske værdi af den ækvivalente fladelast med en metode, der er baseret på Kemper et al. (2022). Der er udført beregninger på en bjælke, som understøtter to parkeringsbåse på langs af båsene. Båsene er 2,6 m bredde og 5 m lange, så bjælken er 10 m lang. Lasteffekterne er beregnet i form af maksimalt moment i bjælken og maksimal normalkraft i en søjle, der understøtter bjælken. Der regnes på en bjælke, der er simpelt understøttet i enderne og en bjælke som er fast indspændt. Dækket antages at være simpelt understøttet. Der er udført simuleringer af geometriske parametre som akselafstand, sporvidde, vægtfordeling på for- og baghjul, orientering af bilen, placering af bilen i længde- og tværretningen. Der er anvendt intervaller af værdier, der er vurderet til at være relevante for store elbiler. Disse intervaller er fundet ved en kombination af brug af Copilot og kontrol ved opslag i bildatabaser og andre kilder. Der er anvendt følgende fordelinger:

- Akselafstanden følger en ligefordeling fra 2,7 m til 2,9 m.
- Sporvidden følger en ligefordeling fra 1,55 m til 1,65 m.
- Vægtfordelingen sættes til at følge en ligefordeling med 48% til 52% på forreste hjulpar.
- Placeringen i længderetningen følger en ligefordeling, idet afstanden fra hver ende af båsen til nærmeste aksel mindst skal være lig bilens overhæng, som sættes til 30% af akselafstanden i både for- og bagende.
- Placeringen i tværretningen sættes til en normalfordeling med middelværdi svarende til en placering midt i båsen, og to gange spredningen svarer til en placering hvor der er 0,2 m fra kanten af båsen (midt linje) til midten af dækket.

Vægten af køretøjerne trækkes tilfældigt fra databasen af personbiler for 2025, idet der anvendes den køreklare vægt. Længdedata for bilerne kunne i princippet også slås op på baggrund af stelnummer, men dette var ikke muligt indenfor rammerne af dette projekt. Der laves simuleringer, hvor alle køretøjer medtages, og hvor kun elbiler medtages. Det antages, at parkeringshuset fyldes 5 gange dagligt, og den karakteristiske værdi fastsættes som en 50 års værdi.

For at reducere den statistiske usikkerhed simuleres der 200 år, hvorefter der fittes en generaliseret ekstremværdifordeling til de 200 højeste værdier, for at

opnå fordelingen for den årlige maksimale last. Den karakteristiske værdi fastlægges som 98% fraktilen i denne fordeling, som er vist i Figur 6 og Tabel 6 for 2025 populationen af biler (med ca. 15% elbiler), samt når der kun medtages elbiler (som et estimat af en population med 100% elbiler). Det ses af fordelingsfunktionerne i Figur 6 at middelværdien for den årlige ekstreme last er større, når der kun medtages elbiler, mens spredningen er mindre. Dog resulterer det i, at der opnås nogenlunde samme 50 års værdi af lasten uanset om der ses på alle biler eller kun elbiler. I Tabel 6 er ligeledes vist værdierne, hvis der tilføjes 7% last oveni den køreklare vægt. Det ses at det resulterer i en værdi på 3,0 kN/m².



Figur 6. Fordelingsfunktion for den årlige maksimale last for (a) populationen af personbiler 2025 og (b) populationen af elbiler 2025 (b). Datapunkter er angivet med x, den fittede ekstremfordeling er angivet med en linje, mens 50 års værdien er angivet med o.

	Ækv. Fladelast for moment, simpelt under- støttet bjælke [kN/m ²]	Ækv. Fladelast for moment, indspændt bjælke [kN/m ²]	Ækv. Fladelast for normalkraft, simpelt under- støttet bjælke [kN/m ²]	Ækv. Fladelast for normalkraft, indspændt bjælke [kN/m ²]
Alle køretøjer	2,62	2,71	2,71	2,80
100 % Elbiler	2,65	2,71	2,73	2,81
Alle køretøjer (+7% last)	2,80	2,90	2,90	3,00
100% Elbiler (+7% last)	2,84	2,90	2,92	3,01

Tabel 6. Karakteristiske værdier (50 års) af ækvivalente fladelaster.

Punktlaster

I DS/EN 1991-1-1 er det angivet, at konstruktionselementer udover fladelasten også skal eftervises for en punklast. For parkeringsarealer, er 'punktlasten' en aksellast med to punktlaster placeret med en afstand på 1,80 m, hvor hver last har en værdi på $Q_k/2$. Både den anbefalede værdi i DS/EN 1991-1-1:2025 samt den nuværende værdi i DS/EN 1991-1-1 DK NA:2024 er $Q_k = 20$ kN.



Denne værdi svarer ca. til det højeste akseltryk fra en bil på 3500 kg, hvor 60% af lasten er på den ene aksel. Store dieslbiler kan have 60% last på forreste aksel, og vægtfordelingen bliver mere jævn, når den lastes. Elbiler derimod har et tungt batteri, som er placeret centralt, hvilket gør at vægtfordelingen er mere jævn end for dieslbiler. Dermed vurderes 20 kN stadig at være en tilstrækkelig værdi for aksellasten, selvom der kommer flere tungere elbiler, så længe der er en grænse for totalvægten på 3500 kg.

2.5 Fastsettelse af kommende lastværdier

Det kan konkluderes, at en værdi af fladelasten på 3,0 kN/m² er passende for både den nuværende population af biler, samt for en population, hvor alle biler er elbiler. Denne værdi vurderes at være optimal for små arealer, mens der for større arealer, potentielt kan anvendes en mindre værdi, f.eks. på 2,5 kN/m², uden at indføre restriktioner på maksimal vægt at køretøjer (udover 3500 kg). Dette er dog ikke nærmere undersøgt i dette projekt. Ligeledes vurderes det at være passende fortsat at benytte en værdi af punktlasten (aksellast) på 20 kN.

3 Påkørselslaster

3.1 Nuværende regningsmæssige lastværdier for påkørsel i parkeringshuse

Påkørselslaster kan generelt bestemmes på basis af to grundlæggende antagelser:

- 'Hard impact' hvor deformation ved påkørslen hovedsageligt sker i køretøjet
- 'Soft impact' hvor deformationen ved påkørslen hovedsageligt sker i konstruktionen

'Hard impact' er f.eks. relevant ved påkørsel af bærende konstruktioner af beton, og er den antagelse, som er hovedsageligt benyttet ved fastsættelse af påkørselslasterne i ulykkeslastnormen DS/EN 1991-1-7.

'Soft impact' er f.eks. relevant ved påkørsel af rækværk og er den antagelse, som hovedsageligt er benyttet ved fastsættelse af påkørselslasterne i nyttelastnormen DS/EN 1991-1-1. Rækværk og afskærmninger kan dels have til formål at afskærme bærende konstruktioner og dels at sikre personsikkerhed hvor et køretøj f.eks. kan køre ud over en stejl skrænt.

Påkørselslasterne der findes ved 'soft impact' er generelt betydeligt større end påkørselslaster bestemt ved 'hard' impact og skal endvidere multipliceres med en partialkoefficient ($=1,5$) for at bestemme regningsmæssige laster idet lasten modelleres som en nyttelast.

Som det fremgår af nedenstående er påkørselslaster i den nye DS/EN1991-1-1:2025 fjernet og findes kun i DS/EN1991-1-7. baggrunden for dette er uklare informationer fra medlemmer af 'BSI Subcommittee B/525/1, Actions and basis of design, England' antyder at man i England overvejer at bibeholde påkørselslast modelleret som 'soft impact' i det kommende nationale annekse.

Regler for påkørselslaster er således anført både i nyttelastnormen DS/EN 1991-1-1:2002 Anneks B og i ulykkeslastnormen DS/EN 1991-1-7:2006. I det danske nationale anneks til DS/EN 1991-1-1:2002 anføres at Anneks B ikke anvendes, og i stedet henvises til DS/EN 1991-1-7:2006 med tilhørende nationalt anneks.

Danmark: Følgende værdier for påkørselslaster for køretøjer med adgang til parkeringsgarager er angivet i DS/EN 1991-1-7 DK NA:2024:

- 100 kN i kørselsretning, 50 kN på tværs af kørselsretning

Det anbefalede belastningsareal er angivet til 0,5 m (højde) x 1,50 m (bredde) eller konstruktionens bredde hvis mindre.

Endvidere kræves, at rækværk og brystværn i parkeringshuse skal projekteres på baggrund af projektspecifikke vurderinger.

EN 1991-1-7:2006 og EN 1991-1-7:2025: Følgende værdier er angivet for påkørselslaster for køretøjer med adgang til parkeringsgarager:

- 50 kN i kørselsretning, 25 kN på tværs af kørselsretning

Det anbefalede belastningsareal er angivet til 0,5 m (højde) x 1,50 m (bredde) eller konstruktionens bredde hvis mindre.

Sverige: De anbefalede værdier i EN 1991-1-7:2006 anvendes.

Norge: De anbefalede værdier i EN 1991-1-7:2006 anvendes.

Finland: For køretøjer med bruttovægt ≤ 3500 kg anvendes følgende værdier for påkørselslaster

- 25 kN i kørselsretning, 25 kN på tværs af kørselsretning

Tyskland: For køretøjer med vægt ≤ 30 kN anvendes følgende værdier for påkørselslaster

- 40 kN i kørselsretning, 25 kN på tværs af kørselsretning

De statisk ækvivalente stødkræfter virker i en højde $h = 0,5$ m over vejoverfladen. De maksimale stødområder er $b \times a = 0,5 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$.

De statisk ækvivalente stødkræfter kan alternativt bestemmes baseret på risikostudier, og der kan udarbejdes mere detaljerede undersøgelser af interaktionerne mellem det kolliderende køretøj og den ramte komponent

Holland: Følgende værdier for påkørselslaster er angivet:

- 100 kN i kørselsretning, 50 kN på tværs af kørselsretning

England: Karakteristiske værdier for påkørselslaster i et parkeringshus er typisk, se nedenfor

- 100-150 kN i kørselsretningen

Når påkørselslasten betragtes som en ulykkeslast benyttes den kun i konsekvensklasse CC3 og påkørselslasten skal ses i sammenhæng med reglerne for robusthed.

3.2 Baggrund og metoder

Påkørselslast F modelleret ved 'soft impact' bestemmes af:

$$F = \frac{0,5 m v^2}{\delta_a - \delta_b}$$

hvor

m vægt af køretøj (kg)

v hastighed af køretøj (m/sec)

δ_a deformation af køretøj (mm) = 0mm ved 'soft impact'

δ_b horisontal deformation af barriere (mm)

Med $m = 1500$ kg, $v = 4,5$ m/s (16 km/t), $\delta_a = 0$ mm og $\delta_b = 100$ mm (The Institution of Structural Engineers: Car park design. 2023) fås en påkørselslast på $F = 150$ kN. $\delta_b = 100$ mm vurderes at være en rimelig værdi ved påkørsel af et rækværk eller lignende. Øges massen m til 2000 kg fx pga. større andel af elbiler får en påkørselslast $F = 200$ kN.

Påkørselslast F modelleret ved 'hard impact' bestemmes af:

$$F = v \sqrt{m k}$$

hvor

m vægt af køretøj (kg)

v hastighed af køretøj (m/sec)

k stivhed af køretøj (kN/m)

Med $m = 1500$ kg, $v = 4,5$ m/s (15 km/t) og $k = 300$ kN/m fås en påkørselslast på $F = 100$ kN. Denne værdi vurderes at være en rimelig værdi ved påkørsels af en bærende konstruktion i stål eller beton. Øges massen m til 2.000 kg fx pga. større andel af elbiler fås en påkørselslast $F = 110$ kN. Ændres endvidere hastigheden til en mere realistisk hastighed i et parkeringshus 10 km/t fås en påkørselslast $F = 70$ kN. Der kan være forskellige hastigheder ved påkørsel indfra og udefra på et konstruktionselement i et parkeringshus.

3.2.1 ENV1992-7:1997

I baggrundsdokument til ENV1991-2-7 (CEN: Background document to ENV 1991-2-7: Accidental actions due to impact and explosion, 1997) antages 'hard impact' og der benyttes en hastighed ved påkørsel på $v=15$ km/t, som medfører

en påkørselslast på $F = 100$ kN. Hertil bemærkes i baggrundsdokumentet, at antagelsen om en lineær statisk model er konservativ og derfor at påkørselslasten $F = 50$ kN kan betragtes acceptabel.

3.2.2 prEN1991-1-7:2003

I en foreløbig udgave af ulykkeslastnormen, prEN1991-1-7:2003 er der anført et interval for påkørselslasten i kørselsretningen på 50-100 kN med 50 kN som anbefalet værdi.

3.2.3 EN1991-1-7:2006

Som beskrevet ovenfor er der i EN1991-1-7:2006 anført en statisk ækvivalent påkørselslast i kørselsretningen på 50 kN og 25 kN på tværs af kørselsretningen for køretøjer med en maksimal vægt på 3500 kg.

I EN1991-1-7:2006 Anneks C er vist i tabel C.1 en stokastisk model for påkørsel i parkeringshuse med bl.a. værdierne i Tabel 7.

	Middelværdi	Spredning
Hastighed v [km/h]	5	5
Stivhed k [N/m]	300	0
Vægt m [kg]	1500	0
Vinkel ved påkørsel	10°	10°

Tabel 7. Stokastisk model for beregning af påkørselslast i EN1991-1-7:2006 Anneks C.

I udkastet til baggrundsdokumentet for EN1991-1-7:2006 (CEN/TC 250/SC1-N 500.B-1-EUROCODE 1, Part 1.7 Accidental actions. Background document. Third draft, February 2010) anføres at den statisk ækvivalente påkørselslast i DS/EN1991-1-7:2006 på 50 kN i kørselsretningen, der er relevant for parkeringshuse, kan bestemmes med følgende antagelser: 'hard impact', stivhed $k=300$ kN/m, masse $m=1500$ kg og hastighed $v=8$ km/t fås en påkørselslast på $F=47$ kN ~ 50 kN, som er den anbefalede værdi i EN 1991-1-7:2006 tabel 4.1.

Med en hastighed på 10 km/t og masse $m=1500$ kg fås en påkørselslast på 60 kN, som anført i EN 1991-1-7:2006 Anneks C tabel C.2.

Det bemærkes at udtrykket for påkørselslast findes af kinetisk energi ($m v^2/2$) lig potentiel energi ved maksimum kompression ($F^2/2k$). Endvidere bemærkes at denne påkørselslast ikke inkluderer et dynamisk tillæg afhængig af konstruktionens (og køretøjets) dynamiske egenskaber. Den dynamiske tillægsfaktor estimeres konservativt til 1,0-1,4. Sammenholdt med at antagelsen om en lineær statisk model er konservativ vurderes påkørselslasten på 50 kN som passende.

3.2.4 EN1991-1-7:2025

I EN1991-1-7:2025 tabel 4.1 anbefales en statisk ækvivalent påkørselslast i kørselsretningen på 50 kN og 25 kN på tværs af kørselsretningen, dvs. uændret ift. EN1991-1-7:2006.

I EN1991-1-7:2025 Anneks C er vist i tabel C.1 en stokastisk model for parkeringshuse svarende til den stokastiske model i EN1991-1-7:2006.

I EN 1991-1-7:2025 Anneks C tabel C.2 er anført en dynamisk påkørselslast på 40 kN, der bestemmes med følgende antagelser: 'hard impact', stivhed $k=300$ kN/m, $m=1800$ kg og en relativ hastighed ved påkørsel $v_r=6$ km/t, dvs. vægten er forøget fra 1500 kg til 1800 kg.

3.2.5 JCSS PMC:2001

I JCSS (Joint Committee on Structural Safety) PMC:2001 antages 'hard impact' med parametrene modelleret ved stokastiske variabler med middelværdi og spredning som anført i Tabel 8.

	Middelværdi	Spredning
Hastighed v [km/h]	10	5
Stivhed k [N/m]	300	60
Vægt m [kg]	1500	400

Tabel 8. Stokastisk model for beregning af påkørselslast i JCSS PMC.

3.2.6 Pålideligheds-baseret model

I baggrundsdokumenter til EN1991-1-7 er der opstillet en stokastisk model til estimering af påkørselslast for konstruktioner der er placeret i en afstand fra kørebanen. Denne model er nedenfor simplificeret til at kunne anvendes ifm. påkørsel i parkeringshuse. Sandsynligheden for at påkørselslasten F er større end x estimeres af

$$\begin{aligned}
 P(F \geq x) &= \lambda P(v \sqrt{m k} \geq x | \text{givet påkørsel}) \\
 &= \lambda P(x - V \sqrt{m k} \leq 0 | \text{givet påkørsel})
 \end{aligned}$$

hvor

λ sandsynlighed pr år for at der sker en påkørsel af en bil med massen m og hastigheden v påkører ind i en søjle / væg.

Benyttes den stokastiske model fra JCSS PMC med alle stokastiske variabler normalfordelte, λ tilnærmet lig 0,01 pr år og at ulykkeslast tilnærmet bestemmes som den last der overskrides med en sandsynlighed på 10^{-4} pr år fås en påkørselslast på 101 kN.

λ [pr år]	Hastighed v [km/h]	Stivhed k [N/m]	Vægt m [kg]	Last F [kN]
0,001	N (10 , 5)	N (300 , 60)	N (1500 , 400)	101
0,01	N (10 , 5)	N (300 , 60)	N (1500 , 400)	141
0,001	N (10 , 5)	N (300 , 60)	N (2000 , 400)	115
0,001	N (10 , 5)	N (300 , 60)	N (2000 , 533)	117
0,001	N (12.5 , 5)	N (300 , 60)	N (2000 , 400)	134

Tabel 9. Påkørselslast estimeret på baggrund af stokastisk model i JCSS PMC.

I Tabel 9 er vist estimerede påkørselslaster med forskellige antagelser om parametrene i den stokastiske model. Valget i første række er foretaget således at påkørselslasten er tilnærmet lig værdien i det danske nationale anneks og dermed at resultaterne i de næste rækker kan vurderes relativt til dette valg. Resultaterne indikerer at med en forøget vægt og måske en forøget hastighed med flere elbiler bør påkørselslasten øges. Den stokastiske model er imidlertid konservativ i forhold til de stokastiske modeller i EN1991-1-7.

3.2.7 Sohel et al.

I Sohel et al. (2020) er beskrevet dels forsøg udført med måling af påkørselslaster på betonsøjler med varierende kvadratisk tværsnit fra et køretøj med forskellige hastigheder og dels resultater fra en numerisk model kalibreret til forsøgsresultaterne.

Forsøgene viser at der måles en meget stor last over et meget kort tidsinterval. Generelt kan hele søjlen ikke nå at reagere på den maksimale last indenfor den meget kort tid, og derfor er den maksimale slagkraft ikke repræsentativ som last. I Sohel et al. (2020) indføres en ækvivalent last, ESF som bestemmes ved at integrere lasten over et tidsinterval som svarer til egensvingningsperioden af søjlen.

Analysen foretaget med den numeriske model er beskrevet for

- Hastigheder på 10km/t, 20km/t, ..., 60km/t
- Vægt af køretøj på 2000kg til 2500kg
- Tværsnit af søjler på 300mm x 300mm, 400mm x 400mm, 500mm x 500mm, 600mm x 600mm,
- Stivhed af køretøj, k der er 400 kN/m for hastigheder under 20km/t, voksende til 1625 kN/m ved 40 km/t

Tabel 10 viser påkørselslaster bestemt vha. en numerisk model kalibreret til resultater fra forsøg og sammenlignet med påkørselslaster bestemt vha. modellen som grundlæggende er benyttet i EN1991-1-7 ($F = v\sqrt{km}$). Resultaterne viser at EN1991-1-7 undervurderer påkørselslasterne specielt for hastigheder større end 15 km/t. Endvidere viser resultaterne i Sohel et al. (2020) kun en meget lille forøgelse af de statisk ækvivalente påkørselslaster ved ændring af vægten fra 2000 kg til 2500 kg ved hastigheder mindre end 20 km/t. Påkørselshastigheder over 10 km/t vurderes at kunne anses som sjældne.

	10 km/t	15 km/t	20 km/t	25 km/t
EN1991-1-7	70 kN	100 kN	140 kN	180 kN
C400	70 kN	110 kN	150 kN	290 kN
C500	70 kN	120 kN	170 kN	240 kN
C600	75 kN	140 kN	205 kN	280 kN

Tabel 10. Indikative påkørselslaster bestemt vha. en numerisk model kalibreret til resultater fra forsøg.

3.3 Nabotjek

For at undersøge, hvordan øvrige lande planlægger at håndtere den øgede belastning som følge af en øget andel af elbiler, er der sendt forespørgsler til relevante personer i Norge, Sverige, Storbritannien, Finland, Holland og Tyskland. Nedenfor at angivet svar fra de enkelte lande.

Norge

Påkørselslaster i parkeringshuse, EN1991-1-7: planlægger pt. Ikke at øges i nye nationale annekser pga. elbiler.

Sverige

Påkørselslaster i parkeringshuse, EN1991-1-7: overvejer om laster i nye nationale annekser skal opdateres pga. elbiler.

England

Påkørselslaster i EN1991-1-7: overvejer om laster i nye nationale annekser skal øges.

Finland

Påkørselslaster i parkeringshuse, EN1991-1-7: overvejer om laster i nye nationale annekser skal opdateres pga. elbiler.

Holland

Der er endnu ikke foretaget vurdering af om påkørselslaster i parkeringshuse, EN1991-1-7 bør øges pga. elbiler.

Tyskland

Undersøgelserne i Kemper et al. indikerer at de nuværende karakteristiske ulykkeslaster i det tyske nationale anneks er tilstrækkelige, men de tager ikke hensyn til det forøgede antal elbiler. Det påpeges at det forventes at den teknologiske udvikling af batterier medfører at disse i løbet af få år vil blive lettere.

England

Det overves at øge påkørselslasten modelleret ved 'soft impact' og som en nyttelast fra 150 kN til 200 kN begrundet i den nuværende påkørselslast på 150 kN i det nationale anneks til nyttelastnormen EN 1991-1-1 og den større vægt af elbiler som beskrevet i (The Institution of Structural Engineers: Car park design. 2023).

3.4 Fastlæggelse af datagrundlag og beregningsforudsætninger

Datagrundlaget, som beskrevet ovenfor, er sparsomt. Flere projekterende ingeniører af parkeringshuse er kontaktet, og ingen af disse har kendskab til direkte påkørsel af bærende konstruktionsdele, men der er mange skader, hvor biler i

forbindelse med parkering og ind-/udkørsel får bule og skrammer uden at vægge og søjler får strukturelle skader.

Det bemærkes at kvantificering af hastighed ved påkørsel er vigtig men vanskelig. Større accelerationer af elbiler sammenlignet med benzin- og dieslbiler medfører mulighed for større hastigheder ved sammenstød. Automatisk fartreduktion når køretøj er tæt med konstruktion pga. kameraer i moderne biler kan reducere hastigheden ved påkørsel. De projekterende ingeniører, som er kontakttet, vurderer at hastigheder i parkeringshuse typisk er 10 km/t. Ved et uheld hvor der sker en påkørsel, kan hastigheden forventes at være større.

3.5 Fastsettelse af kommende lastværdier

Resultaterne indikerer at selv med en forøget vægt og måske en forøget hastighed som følge af flere elbiler kan påkørselslasten i kørselsretningen bibeholdes på 100 kN i det danske nationale annekse til ulykkeslastnormen EN 1991-1-7. Pga. flere SUV'ere, der typisk er højere, kan det overvejes at øge højden over vejoverfladen, hvor påkørselslasten virker.

Endvidere kan det overvejes at indføre en separat påkørselslast for rækværker mm. på 200 kN, svarende til overvejelserne i England; og med denne last modelleret som en ulykkeslast. 'soft impact' resulterer i større laster end 'hard impact' sammen med den større vægt af elbiler kan begrunde denne last for konstruktionselementer, der er eftergivelige.

4 Referencer

CEN: Background document to ENV 1991-2-7: Accidental actions due to impact and explosion, 1997.

CEN: Eurocode for actions on structures: Background document, June 1990.

CEN/TC 250/SC1-N 500.B-1-EUROCODE 1, Part 1.7 Accidental actions. Background document. Third draft, Februari 2010.

Corotis, R.B. et al.: Safe and Sustainable Parking Garage Live Loads In The Age Of The Electric Vehicle, 2024 – 2025, University of Colorado Boulder.

DS/EN 1990 DK NA: 2024, National Annex to Eurocode 0: Basis of structural design,

DS/EN 1991-1-1:2002: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings.

DS/EN 1991-1-1:2025: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings.

DS/EN 1991-1-1 DK NA:2012: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings.

DS/EN 1991-1-1 DK NA:2024: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings.

DS/EN1991-1-7:2006: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions.

DS/EN1991-1-7:2025: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions.

DS/EN 1991-1-7 DK NA:2024: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions.

DS S-1990: FAQ 195, 2025.

Funke, A. Nutzlasten für Parkhäuser. PhD thesis, RWTH Aachen University, 2023.

JCSS Probabilistic Model Code: Part 2, LOAD MODELS. 2.6 LOADS IN CAR PARKS, 2001

JCSS Probabilistic Model Code: Part 2, LOAD MODELS. 2.18 IMPACT LOAD, 2001.

Kemper, F.H., A. Funke & M. Feldmann: Revaluation of live load models for parking garages based on measurements, simulations, and extreme value determination. Structural Safety, 96 (2022).

prEN1991-1-7:2022: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions.

Sohel, K.M.A. , K. Al-Jabria, A.H.S. Al Abrib: Behavior and design of reinforced concrete building columns subjected to low-velocity car impact. Structures Vol. 26, 2020, pp.601–616.

The Institution of Structural Engineers: Car park design. 2023.

Wen & Yeo. Design Live Loads for Passenger Cars Parking garages, J. Struct. Eng. 2001, 127(3), 208-289.