

Effecten gewichten vrachtverkeer

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

21 oktober 2024 - Public

Contactpersoon

PATRICK KALDERS
Senior Adviseur

T 06 5073 6310
M +31 6 5073 6310
E patrick.kalders@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	5
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Vraagstelling en scope	8
1.3 Verantwoording	9
1.4 Leeswijzer	9
2 Wettelijk kader	10
2.1 Europese regelgeving	10
2.2 Wet- en regelgeving Nederland	10
2.2.1 Gewichten	10
2.2.2 Aslasten	11
2.2.3 Typen voertuigen	11
2.2.3.1 Trekker-oplegger-combinatie (TOC)	11
2.2.3.2 LZV/EcoCombi	11
2.3 Wet- en regelgeving andere Europese landen	12
3 Overzicht beschikbare kennis en literatuur	13
3.1 Nederland	13
3.2 Duitsland, Frankrijk, België	14
3.3 Spanje en Scandinavië	14
3.4 Overige literatuur	14
4 Effecten van totaalgewicht zware voertuigen	15
4.1 Interpretatie van onderzoeksvraag	15
4.2 Bevindingen	15
5 Effecten marginale wijzigingen totaalgewicht zware voertuigen	22
5.1 Interpretatie van onderzoeksvraag	22
5.2 Bevindingen	22

6	Effecten van assen	25
6.1	Interpretatie van onderzoeksvraag	25
6.2	Bevindingen	25
7	Effecten van wielen	30
7.1	Interpretatie van onderzoeksvraag	30
7.2	Bevindingen	30
8	Conclusies en aanbevelingen	33
8.1	Conclusies	33
8.1.1	Beantwoording deelvraag 1: effecten van totaalgewicht zware voertuigen	33
8.1.2	Beantwoording deelvraag 2: effecten marginale wijzigingen totaalgewicht zware voertuigen	33
8.1.3	Beantwoording deelvraag 3: effecten van assen	34
8.1.4	Beantwoording deelvraag 4: effecten van wielen	34
8.2	Analyse invloedrijke factoren	34
8.3	Kennislacunes	35
8.4	Aanbevelingen	36
	Bijlage A Literatuurlijst	38
	Colofon	39

Managementsamenvatting

Aanleiding

Zoals de minister van Infrastructuur en Waterstaat in het voorjaar van 2023 aan de Tweede Kamer schreef, beschikt Nederland in vergelijking met de landen om ons heen over een goede infrastructuur. Deze infrastructuur is echter geen vanzelfsprekendheid en staat onder spanning. Enerzijds heeft de infrastructuur het zwaar te verduren (zwaarder dan bij aanleg werd aangenomen). Anderzijds zijn de bereikbaarheidsopgaven groot en veelsoortig. Het doel van het rijksbeleid is om op alle netwerken de veiligheid te blijven bieden en toe te werken naar een hoger niveau van voorspelbaarheid en beschikbaarheid.

Eén van de bedreigingen voor het wegennetwerk bestaat uit de belasting en schade die wordt veroorzaakt door zware vrachtwagens. Hier is veel onderzoek naar gedaan, maar het ontbreekt nog aan een helder en duidelijk overzicht van de bestaande kennis en inzichten. Om deze reden wil het ministerie een inventarisatie laten maken van beschikbare kennis en literatuur, en inzicht in waar nog leemtes zitten en hoe daarmee om te gaan.

Vraagstelling

De hoofdvraag van de literatuurstudie luidt:

Welke effecten hebben aslasten en totaal massa's van bedrijfsvoertuigen die worden gebruikt voor het zware wegtransport, op verhardingen en kunstwerken van het Nederlandse hoofdwegennet in termen van slijtage, constructieve veiligheid, betrouwbaarheid en levensduur?

De hoofdvraag is in vier deelvragen onderverdeeld:

1. Wat zijn de effecten van het totaalgewicht van een zwaar voertuig (uitgesplitst per gewichtscategorie) op de infrastructuur van het hoofdwegennet?
Veroorzaakt een voertuig dat zich aan de voorgeschreven maximale aslasten houdt, meer schade aan het wegdek en kunstwerken naarmate het totaalgewicht van het voertuig hoger is?
2. Wat is de 'marginale' beschadiging/ontlasting van elke ton extra gewicht respectievelijk elke ton reductie van het maximale gewicht?
3. Wat zijn de effecten van meer assen op het wegennet? Wordt het gewicht door meerdere assen beter verdeeld of veroorzaken meer assen een extra last op het Nederlandse hoofdwegennet?
4. Wat zijn de effecten van meer wielen op het Nederlandse hoofdwegennet (eventueel aangevuld met verschillen in bandenspanning)? Wordt het gewicht met meer wielen beter verdeeld of veroorzaakt het bijkomende schade?

Verantwoording

In het onderzoek is een aantal stappen doorlopen:

- **Deskresearch:** allereerst is een brede inventarisatie uitgevoerd naar de beschikbare literatuur en kennis over de impact van vrachtverkeer op het Nederlandse hoofdwegennet. In de deskresearch zijn drie 'zoeklichten' gebruikt om relevante rapporten en onderzoeken te vinden. De drie zoeklichten zijn: Nederland, Duitsland/Frankrijk/België en Spanje/Scandinavië.
- **Interviews experts:** het literatuuronderzoek heeft geresulteerd in een overzicht van informatie uit eerdere onderzoeken naar de effecten van vrachtverkeer op de weginfrastructuur. Als aanvulling op de deskresearch zijn (semigestructureerde) interviews gehouden met zes experts binnen de overheid (Rijkswaterstaat) en twee experts binnen Arcadis. Daarnaast is een gesprek gehouden met het Duitse Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV).
- **Kennissessie:** na het verwerken van de interviews en het literatuuronderzoek is een kennissessie georganiseerd met zes experts van TNO, ILT, RDW en Rijkswaterstaat. In deze sessie is een koppeling gelegd naar de uitvoering en zijn de kennislacunes in de huidige literatuur besproken.

Conclusies

Wij beantwoorden de hoofdvraag van deze literatuurstudie door de vier deelvragen te beantwoorden.

Beantwoording deelvraag 1: effecten van totaalgewicht zware voertuigen

In de rapporten en studies die in deze literatuurstudie zijn verzameld is geen onderzoek gedaan naar het solitaire effect van zwaardere voertuigen (uitgesplitst naar verschillende gewichtscategorieën) op de infrastructuur van het Nederlandse hoofdwegennet. Duidelijk wordt dat er vele verschillende effecten zijn van zware voertuigen, waaronder slijtage aan de weginfrastructuur (Bevinding 1). Ook wordt duidelijk dat de effecten van het totaalgewicht van zware voertuigen op het HWN zeer verschillend zijn voor wegverhardingen (onderverdeeld naar: deklaag, tussenlagen en wegfundering) en kunstwerken (bruggen en viaducten: staal en beton; overige kunstwerken, Bevinding 2), waardoor het verschillend doorweegt in de onderhoudskosten (Bevinding 3). De exacte, kwantitatieve impact van het totaalgewicht en aslast van zware voertuigen op het HWN (wegverhardingen en kunstwerken) is onbekend (Bevinding 4).

Daarnaast wordt in de literatuur aangegeven dat naast totaalgewicht veelal andere voertuigparameters van belang zijn voor de schade aan de weginfrastructuur, zoals aslasten, aantal assen, asafstanden, banden en belading (Bevinding 5). In de literatuur zijn meerdere studies te vinden waarin de effecten van zwaar vrachtverkeer per gewichtscategorie worden onderzocht door middel van voertuigcombinaties (Bevinding 6). Zo is een Europese studie verricht waarin verschillende gewichtscategorieën en voertuigcombinaties zijn onderscheiden en de schadelijkheid voor de weginfrastructuur is onderzocht, maar is het effect niet specifiek voor het Nederlandse hoofdwegennet in beeld gebracht (Bevinding 7). Verder zijn er verschillende opvattingen over de vraag of een voertuig dat zich aan de voorgeschreven maximale aslasten houdt, meer schade aan de weginfrastructuur veroorzaakt naarmate het totaalgewicht van het voertuig hoger is. Een algemeen beeld dat naar voren komt is dat een hoger totaalgewicht van zwaardere voertuigen niet per definitie leidt tot meer schade aan de weginfrastructuur als het aantal assen dienovereenkomstig wordt verhoogd en de aslasten niet stijgen (ook hierbij geldt dat de effecten anders uitpakken voor wegverhardingen en kunstwerken). In de literatuur is echter ook de conclusie terug te vinden dat deze algemeen aanvaarde overtuiging onjuist is en dat er toch effecten optreden op de wegconstructie (Bevinding 8).

Beantwoording deelvraag 2: effecten marginale wijzigingen totaalgewicht zware voertuigen

In de in deze literatuurstudie verzamelde rapporten is ook geen kwantitatief onderzoek verricht naar de 'marginale' beschadiging/ontlasting van elke ton extra gewicht respectievelijk elke ton reductie van het maximale gewicht. Zoals bij de beantwoording van deelvraag 1 is aangegeven (Bevinding 6), zijn de effecten van marginale wijzigingen in totaalgewicht van zwaardere voertuigen op de weginfrastructuur (wegverhardingen en kunstwerken) sterk afhankelijk van de typen voertuigcombinaties (Bevinding 9). Verder komt naar voren dat als een marginale toename van het totaalgewicht van zwaardere voertuigen leidt tot een marginale toename van de aslast, er dan een verhoging is te verwachten van de kosten voor beheer en onderhoud van wegverhardingen (Bevinding 10). Een factor die veel impact heeft is overbelading. Dit heeft een grote impact op de wegbelasting, bestaat vaak uit een combinatie van totaalgewicht en overschrijding van aslast, en neemt in ernst toe in de tijd (Bevinding 11).

Beantwoording deelvraag 3: effecten van assen

Uit de in deze literatuurstudie verzamelde rapporten blijkt dat meer assen het totaalgewicht van de vrachtwagen beter verdelen voor zowel wegdek als stalen kunstwerken. Er is consensus over de grotere schade die hogere aslasten toebrengen aan het wegdek in vergelijking met lagere aslasten (Bevinding 13). De veelgebruikte vierdemachtsregel (of n-demachtsregel) staat centraal in de bepaling van de schade van de aslast aan asfalt, geldend voor het (gehele) wegdek (Bevinding 12). Een macht van 4 is de beste indicator voor schade aan wegdekken, en geldt met name voor sterke wegdekken (asfalt > 150 mm). Uit deze regel blijkt dat, indien een macht van 4 wordt gehanteerd, een twee keer zo zware aslast zestien keer zoveel schade aan het wegdek veroorzaakt. Een reductie in aslast resulteert volgens dezelfde verhoudingen in minder schade. De extra schade door de langere inwerktijd – de tijd dat een punt op het asfalt druk van assen ervaart – als resultaat van de extra assen weegt niet op tegen de reductie in schade door de lagere aslast (Bevinding 14). Kanttekening bij de vierdemachtsregel is dat deze alleen geldt voor het hele wegdek. Schade aan de deklaag, waar het gros van de onderhoudskosten naartoe gaat, is hiermee niet te bepalen. In algemene zin zijn er verschillen in schadelijke effecten van vrachtverkeer afhankelijk van het deel van de constructie waar men naar kijkt (Bevinding 17).

Met betrekking tot kunstwerken laat deze literatuurstudie zien dat dezelfde redenering geldt voor de effecten op het subdraagsysteem van stalen kunstwerken. Door een groter aantal en grotere spanningswisselingen treden vermoeiingsverschijnselen op. Voor het hoofddraagsysteem is vooral het totaalgewicht van de vrachtwagen een belangrijke factor en maken de aslast en het aantal assen beperkt verschil. Het hoofddraagsysteem draagt de gehele constructie; een hoger gewicht van een vrachtwagen leidt direct tot een hogere belasting op de gehele constructie. Ook truck platooning heeft potentieel schadelijke effecten op kunstwerken en wegdek (Bevinding 18). Voor kunstwerken geldt het risico met name voor het hoofddraagsysteem. Meer voertuigen op kortere afstand van elkaar zorgen voor een bezwijkrisico voor de constructie, en meer spanningswisselingen door meer passerende assen op kortere afstand van elkaar leidt tot vermoeiingsverschijnselen. Voor het wegdek is met name de potentiële reductie van vetergang een risico – het afwijken van de rechte lijn – omdat daardoor de belasting telkens optreedt in hetzelfde spoor. Daarnaast is ook de onderlinge afstand tussen assen een bepalende factor in de schade aan het wegdek (Bevinding 16). Bij kortere afstand krijgt het wegdek minder hersteltijd.

Beantwoording deelvraag 4: effecten van wielen

Uit de in deze literatuurstudie verzamelde rapporten blijkt dat meer banden op één as het gewicht van de vrachtwagen beter verdelen. Dit komt doordat, door gebruik van meer banden, het contactoppervlak tussen banden en wegdek wordt vergroot. Een groter contactoppervlak tussen band en wegdek zorgt voor een betere lastverdeling, omdat de druk per vierkante centimeter kleiner wordt (Bevinding 19). Belangrijk hierbij is de invloed van de bandenspanning. Om de schade te minimaliseren, dient de bandenspanning zodanig te zijn dat het contactoppervlak gemaximaliseerd wordt.

Zowel een te hoge bandenspanning als een te lage bandenspanning zorgt voor een kleiner contactoppervlak. Kanttekening hierbij is dat bij toename van het contactoppervlak, de rolweerstand ook stijgt. Dit zorgt voor schade aan het wegdek (Bevinding 20).

In de bestudeerde literatuur wordt veelvuldig ingegaan op de schade veroorzaakt door supersingles (breedbanden). Zowel het wegdek als stalen kunstwerken ondervinden veel schade door deze banden, die worden ingezet als alternatief voor dubbellucht. De negatieve effecten van het gebruik van supersingles zijn voornamelijk het resultaat van de hoge bandenspanning van deze banden (Bevinding 21).

Kennislacunes

Uit onze analyse is gebleken dat nog veel onbekend is over de exacte, kwantitatieve relaties tussen de relevante factoren en de effecten op het HWN. Uit de literatuur, de interviews en de kennissessie komen enkele thema's naar voren waarover een helder beeld verkregen moet worden, vooralsnog kan worden overgegaan om de invloed te bepalen op de kosten van beheer en onderhoud. Wij geven de belangrijkste thema's hieronder weer.

1. Kwantificering van impact van ontwikkeling naar verhoging toegestane aslast van aangedreven as naar 12,5t (voorstel van de Europese Commissie).
2. Kwantificering van impact van toekomstige ontwikkelingen in het vrachtverkeer, zoals SEC's, truck platooning, elektrificering en digitalisering.
3. Kwantificering van impact van overbelading (dit is een empirisch probleem dat in de modelstudies niet wordt ondervangen).
4. Kwantificering van impact van banden (hierover is nog te weinig bekend, specifiek super singles).
5. Invloed van mitigerende beleidsmaatregelen (algemene vraag naar wat is er te doen om de kosten van beheer en onderhoud te drukken).

Aanbevelingen

Op basis van de beantwoording van de onderzoeksvragen en de analyse van invloedrijke factoren en de gevonden kennislacunes, doen wij twee aanbevelingen voor het omgaan met deze kennisleemtes.

Aanbeveling 1: Doe aanvullend kwantitatief onderzoek naar de belangrijkste factoren die van invloed zijn op het toekomstige effect van zwaardere voertuigen op de kosten van beheer en onderhoud.

Uit de literatuurstudie komt een rijk beeld naar voren van de factoren die van invloed zijn op de schadelijke effecten die zware voertuigen hebben op de weginfrastructuur. Er is echter weinig bekend over de exacte kwantificering van deze effecten. Meer onderzoek is nodig door feitelijke dataverzameling met monitoring bij alle schakels in de keten. Bij het bepalen van onderzoek naar de toekomstige effecten van zwaardere voertuigen op de onderhoudskosten van het Nederlandse wegennet, is het advies om deze factoren te prioriteren naar omvang van hun effect. Vervolgens kan kwantitatief onderzoek worden verricht met behulp van een vraagstelling die meerdere factoren bevat (naast totaalgewicht, assen, aslasten en wielen), rekening houdt met ontwikkelingen in het vrachtverkeer en uitgaat van de specifieke kenmerken van het Nederlandse wegennet (inclusief toekomstige kenmerken). Bijvoorbeeld of er mogelijkheden zijn om het wegdek in te richten zodat het meer kan dragen in de toekomst?

Aanbeveling 2: Vul de kennisleemtes voor het in beeld brengen van de toekomstige kosten van beheer en onderhoud op, samen met onderzoekers en experts uit de praktijk van beheer en onderhoud.

De kennis die op basis van literatuurstudies kan worden opgedaan over de schadelijke effecten van zwaardere voertuigen op de weginfrastructuur is in zekere zin beperkt van aard. In de praktijk van beheer en onderhoud is ook veel kennis en ervaring aanwezig die essentieel is om tot een kwantitatieve effectbepaling te komen. Wij adviseren daarom om de volgende stappen in het opvullen van de kennisleemtes niet alleen met onderzoekers te zetten, maar ook samen met de experts uit de praktijk, zoals Rijkswaterstaat, ILT en RDW. Ook adviseren wij om deze onderzoeken te borgen in onderzoeksprogramma's.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Zoals de minister van Infrastructuur en Waterstaat in het voorjaar van 2023 aan de Tweede Kamer schreef, beschikt Nederland in vergelijking met de landen om ons heen over een goede infrastructuur. Deze infrastructuur is echter geen vanzelfsprekendheid en staat onder spanning. Enerzijds heeft de infrastructuur het zwaar te verduren (zwaarder dan bij aanleg werd aangenomen). Anderzijds zijn de bereikbaarheidsopgaven groot en veelsoortig. Het doel van het rijksbeleid is om op alle netwerken de veiligheid te blijven bieden en toe te werken naar een hoger niveau van voorspelbaarheid en beschikbaarheid. Ook heeft de Europese Commissie in 2023 een voorstel gedaan voor een herziening van richtlijn 96/53/EG, waarbij wordt voorgesteld om 44 ton voor zware bedrijfsvoertuigen toe te laten tussen alle lidstaten die dit tonnage reeds nationaal hanteren.

Eén van de bedreigingen voor het wegennetwerk bestaat uit de belasting en schade die wordt veroorzaakt door zware vrachtwagens. Hier is veel onderzoek naar gedaan, maar het ontbreekt nog aan een helder en duidelijk overzicht van de bestaande kennis en inzichten. Om deze reden wil het ministerie een inventarisatie laten maken van beschikbare kennis en literatuur, en inzicht in waar nog leemtes zitten en hoe daarmee om te gaan.

1.2 Vraagstelling en scope

Vraagstelling

De hoofdvraag voor de literatuurstudie luidt:

Welke effecten hebben aslasten en totaal massa's van bedrijfsvoertuigen die worden gebruikt voor het zware wegtransport, op verhardingen en kunstwerken van het Nederlandse hoofdwegennet in termen van slijtage, constructieve veiligheid, betrouwbaarheid en levensduur?

Wij hebben de hoofdvraag onderverdeeld in vier deelvragen:

1. Wat zijn de effecten van het totaalgewicht van een zwaar voertuig (uitgesplitst per gewichtscategorie) op de infrastructuur van het hoofdwegennet? Veroorzaakt een voertuig dat zich aan de voorgeschreven maximale aslasten houdt, meer schade aan het wegdek en kunstwerken naarmate het totaalgewicht van het voertuig hoger is?
2. Wat is de 'marginale' beschadiging/ontlasting van elke ton extra gewicht respectievelijk elke ton reductie van het maximale gewicht?
3. Wat zijn de effecten van meer assen op het wegennet? Wordt het gewicht door meerdere assen beter verdeeld of veroorzaken meer assen een extra last op het Nederlandse hoofdwegennet?
4. Wat zijn de effecten van meer wielen op het Nederlandse hoofdwegennet (eventueel aangevuld met verschillen in bandenspanning)? Wordt het gewicht met meer wielen beter verdeeld of veroorzaakt het bijkomende schade?

Bij de beantwoording van bovenstaande vragen houden wij rekening met de gewichtscategorie van het (vracht)voertuig dat in de literatuur is onderzocht.

In onderstaande figuur is de hoofdvraag van de literatuurstudie schematisch weergegeven:



Figuur 1. Schematische weergave hoofdvraag

Scope

Wat betreft de scope van de opdracht, is bepaald dat de kern van de studies Nederlands moet zijn aangezien deze studies het meeste inzicht bevatten over de effecten van de 50 ton grens. Hierbij ligt de nadruk op studies na 1994, aangezien 50 ton toen al was toegestaan. Daarnaast zijn ook studies uit het buitenland over 40-44 ton meegenomen. Dit is beperkt tot de landen Duitsland, Frankrijk en België, met toevoeging van informatie uit Scandinavische landen en uit Spanje over LZV/SEC.

De scope van de literatuurstudie is beperkt tot het hoofdwegennet. Er zijn ook effecten van zwaar vrachtverkeer op het onderliggende wegennet, maar deze zijn in deze studie niet meegenomen.

1.3 Verantwoording

In het onderzoek is een aantal stappen doorlopen:

Deskresearch: allereerst is een brede inventarisatie uitgevoerd naar de beschikbare literatuur en kennis over de impact van vrachtverkeer op het Nederlandse hoofdwegennet. Gekeken is naar de belasting van de verschillende soorten vrachtverkeer op het wegdek. In de deskresearch zijn drie 'zoeklichten' gebruikt om relevante rapporten en onderzoeken te vinden. De drie zoeklichten zijn: Nederland, Duitsland/Frankrijk/België en Spanje/Scandinavië.

Interviews experts: het literatuuronderzoek heeft geresulteerd in een overzicht van informatie uit eerdere onderzoeken naar de effecten van vrachtverkeer op de weginfrastructuur. Als aanvulling op de deskresearch zijn (semigestructureerd) interviews gehouden met zes experts binnen de overheid (Rijkswaterstaat) en twee experts binnen Arcadis. In deze interviews is de opgehaalde informatie uit het literatuuronderzoek geverifieerd en aangevuld. Daarnaast is een gesprek gehouden met het Duitse Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV).

Kennissessie: na het verwerken van de interviews en het literatuuronderzoek is een kennissessie georganiseerd met zes experts van TNO, ILT, RDW en Rijkswaterstaat. In deze sessie is een koppeling gelegd naar de uitvoering en zijn de kennislacunes in de huidige literatuur besproken.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het geldende wettelijke kader in Nederland en Europa. In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van de deskresearch beschreven. In de hoofdstukken 4 t/m 7 worden de deelvragen 1 t/m 4 beantwoord. Het rapport sluit af met hoofdstuk 8 met de conclusies (beantwoording van de vier deelvragen), een analyse van de invloedrijke factoren en kennisleemtes, en een formulering van enkele aanbevelingen. De verwijzingen in het rapport zijn aangegeven met [] en verwijzen naar het documentnummer in bijlage A Literatuurlijst.

2 Wettelijk kader

2.1 Europese regelgeving

De in Europa toegestane maximale afmetingen en gewichten voor vrachtwagens zijn beschreven in richtlijn 96/53/EG en bijgesteld in 2015/719/EU. Het doel van de richtlijn is het waarborgen van veiligheid, voorkomen van schade aan wegen, bruggen en tunnels, en het verbeteren van de interne markt van de Europese Unie (EU) en het waarborgen van het vrije verkeer van goederen in de EU. In de richtlijn zijn maximale grenswaarden voor vrachtwagens opgenomen, die worden gebruikt voor internationaal vervoer binnen de EU. Nationale transportbedrijven moeten voldoen aan deze voor het internationaal vervoer vastgestelde normen.

In de richtlijn is de maatvoering voor vrachtwagens met standaard configuraties opgenomen. De EU-richtlijn bevat voor alle voertuigcomponenten voorschriften voor de afmetingen en gewichten. De richtlijn bepaalt dat de maximale totale lengte van een reguliere vrachtauto(combinatie) 18,75 meter mag bedragen, terwijl het maximale totaalgewicht 40 ton inclusief lading mag zijn. Het maximale toegestane gewicht hangt echter af van de voertuigkenmerken en kan dus ook lager zijn dan 40 ton (of hoger als het een zero-emissievoertuig is). Elke lidstaat uit de Europese Unie mag langere voertuigcombinaties gebruiken, zolang deze gebaseerd zijn op het modulair concept van het European Modular System (EMS). De totale combinatie is langer en mag zwaarder zijn dan in de richtlijn vastgelegd. De EMS-componenten zijn: de trekker, de aanhangwagen en de oplegger. Er zijn twee vormen: EMS1 is een LZV (maximale lengte 25,25 meter, maximale gewicht in de meeste landen 60 ton), EMS2 is een SEC (maximale lengte 32 meter, maximale gewicht 72 ton).

In 2023 heeft de Europese Commissie een voorstel gedaan voor een herziening van richtlijn 96/53/EG. Dit voorstel, genaamd COM (2023)445, heeft drie doelen. Ten eerste het wegnemen van belemmeringen voor de introductie van emissievrije zware bedrijfsvoertuigen, ruimte bieden voor alternatieve aandrijvingen en het stimuleren van intermodaal transport. Ten tweede het harmoniseren van regels voor maximale gewichten en afmetingen van zware bedrijfsvoertuigen in grensoverschrijdende situaties. Ten derde, de handhaving van grensoverschrijdende regelgeving voor internationaal wegvervoer verbeteren.

Als onderdeel hiervan heeft de Commissie voorgesteld om 44 ton voor zware bedrijfsvoertuigen toe te laten tussen alle lidstaten die dit tonnage reeds nationaal hanteren. Hieraan wordt voor Zero Emissie Vrachtwagens (ZEV's) een verhoogde aslast tot 12,5 ton op de aangedreven as toegevoegd. Het voorstel stelt dat de toegestane verhoging van de limiet naar 44 ton voor conventionele vrachtwagens tot 2035 geldt. Hierna vervalt deze, om het gebruik van ZEV's te bevorderen. In fiche 3783 beschrijft de Nederlandse overheid haar standpunt aangaande dit voorstel. Nederland staat positief tegenover de voorstellen rondom de verhoging van het gewicht van ZEV's naar 44 ton. De verhoging van de aslast naar 12,5 ton heeft echter grote consequenties voor het Nederlands wegennet. Daarom steunt Nederland deze verhoging niet en heeft Nederland het standpunt ingenomen om de 11,5 ton aslast te behouden.

In maart 2024 heeft het Europees Parlement een standpunt ingenomen op de herziening van de richtlijn maten en gewichten. Het maximumgewicht van voertuigcombinaties in het grensoverschrijdend vervoer gaat, indien het voorstel wordt aangenomen, van 40 naar 44 ton.

Deze verhoging geldt voor ZE-combinaties voor alle lidstaten, en voor de fossiele aandrijving alleen voor landen die dit gewicht al voor het nationaal vervoer toestaan. De verhoging in aslast naar 12,5 ton voor ZEV is geen onderdeel van het standpunt van het Parlement.

2.2 Wet- en regelgeving Nederland

De maximale gewichten en afmetingen voor het nationaal wegtransport in Nederland zijn vastgelegd in de Regeling Voertuigen (zie: <https://wetten.overheid.nl/>).

2.2.1 Gewichten

Nederland hanteert de toegestane aslasten van de EU-normen, maar wijkt voor het toegestane maximale totaalgewicht soms af. Vanaf de jaren negentig wijkt Nederland al af door wegvervoer tot 50 ton toe te staan. Daarnaast zijn vanaf 2001 LZV's op bepaalde wegen toegestaan, met ontheffing.

De EU-normen stellen de maximale totaalgewichten voor voertuigen en combinaties mede afhankelijk van de asconfiguratie. In het algemeen wordt een maximaal gewicht van 40 ton gehanteerd voor voertuigen met vijf of zes assen.

In een aantal gevallen kan hiervan af worden geweken:

- Voor voertuigen met vijf of zes assen (road trains en voertuigcombinaties) die aangedreven worden door alternatieve brandstof of elektriciteit wordt het maximaal toegestane gewicht verhoogd met het gewicht van de aandrijving (bijvoorbeeld de accu), met een maximum van:
 - 1 ton bij een twee-assige trekker met een drie-assige trailer.
 - 2 ton bij een drie-assige trekker met een twee- of drie-assige trailer.
- Voor voertuigcombinaties met vijf of zes assen, met een maximale lengte van 45 voet, die gebruikt worden voor intermodaal transport wordt het maximaal toegestane gewicht verhoogd met:
 - 4 ton bij een drie-assige trekker met twee- of drie-assige trailer.
 - 2 ton bij een twee-assige trekker met drie-assige trailer.

De toegestane maximum massa is beperkt tot maximaal 40 ton. In overeenkomsten tussen landen onderling worden soms hogere totaalgewichten toegestaan. Nederland hanteert standaard 50 ton. Voor rijdende werktuigen wordt een hoger totaalgewicht toegestaan, namelijk 60 ton.

2.2.2 Aslasten

De last onder één (enkele) as mag niet meer zijn dan:

- 10 ton voor een niet aangedreven as.
- 11,5 ton voor een aangedreven as.
- 12 ton voor een as van een werktuig (uitsluitend in Nederland).

Buiten deze algemene regels zijn er in de Regeling Voertuigen nadere regels gespecificeerd voor specifieke voertuigen. Voorbeelden hiervan zijn motorvoertuigen met een asstel met twee of drie niet-aangedreven assen, motorvoertuigen met een asstel met twee of drie assen waarvan één of twee aangedreven, en aanhangwagens.

2.2.3 Typen voertuigen

2.2.3.1 Trekker-oplegger-combinatie (TOC)

Het type vrachtwagen dat in Nederland het meest gebruikt wordt is de trekker-oplegger-combinatie (TOC). Een trekker-oplegger-combinatie heeft de volgende kenmerken [9]:

- Maximale lengte van 16,5 meter.
- Maximaal volume van 100 m³.
- Maximaal gewicht van 50 ton.
- 5 of 6 assen.
- Gemiddelde aslast bij maximaal gewicht van 8,3 - 10 ton.

2.2.3.2 LZV/EcoCombi

In Nederland is het toegestaan om met langere en zwaardere voertuigen te rijden (LZV, ofwel EcoCombi's). Een LZV moet voldoen aan de volgende eisen:

- Maximale afmeting van 25,25 meter.
- Minimale laadlengte van 18 meter.
- Maximale laadlengte van 21,82 meter.
- Bestaan uit maximaal twee draaipunten.
- Toegestane maximum massa bedraagt 60 ton.

Daarnaast moet de LZV ook aan bepaalde technische eisen voldoen, zoals verplichte aslastmeters op elke as (behalve de sturende vooras) en een draaicirkel die tussen de 14,5 (buitenste straal) en 6,5 meter (binnenste straal) ligt.

Een LZV heeft de volgende extra kenmerken [9]:

- Maximaal volume van 150 m³.
- Tussen de 7 en 10 assen.
- Gemiddelde aslast bij maximaal gewicht van 6 - 8,6 ton.

Het rijden met een LZV mag alleen op bepaalde wegen, waarbij een ontheffing nodig is.

De LZV is verder uit te splitsen in verschillende categorieën. In het rapport van TNO worden 5 categorieën gehanteerd [9]:

1. Trekker-oplegger-middenasaanhanger.
2. Trekker-oplegger-oplegger.
3. Vrachtauto-aanhangwagen.
4. Vrachtauto-dolly-oplegger.
5. Vrachtauto-middenasaanhanger-middenasaanhanger.

2.2.3.3 Rijdend werktuig

Een rijdend werktuig is een bedrijfsauto die is ingericht voor het uitvoeren van in hoofdzaak andere werkzaamheden dan het vervoer van goederen of personen. Een rijdend werktuig moet voldoen aan de volgende kenmerken:

- Maximale lengte van de combinatie van het rijdend werktuig en de aanhangwagen is 20 meter.
- Maximaal toegestaan gewicht in beladen toestand is 60 ton, ook wanneer het werktuig is gecombineerd met een aanhangwagen.
- Maximaal toegestane aslast is 12 ton, of de voor het voertuig opgegeven toegestane maximumlast.

2.2.3.4 Exceptioneel vervoer

Exceptioneel vervoer omvat al het vervoer dat qua afmetingen en/of gewicht niet binnen de bestaande regels past. Zoals eerder benoemd is het maximumgewicht voor een vrachtwagen 50 ton; voor een rijdend werktuig is dat 60 ton. Indien het te vervoeren object zwaarder is dan dat, valt het onder exceptioneel vervoer. Wat betreft afmetingen kan de lading van een vrachtwagen niet te ver uitsteken in verband met het passeren van af- en toeritten. Voor exceptioneel vervoer dient een vergunning aangevraagd te worden, waarbij een route en tijdstip worden gezocht om het transport te kunnen vervoeren.

2.3 Wet- en regelgeving andere Europese landen

De richtlijnen voor maten en gewichten zijn in Europees verband opgesteld. Veel van de wetgeving in andere landen komt daarom overeen met de Nederlandse wetgeving. Er zitten echter ook belangrijke verschillen in. In deze paragraaf behandelen we de belangrijkste verschillen en overeenkomsten. Voor deze analyse hebben wij gekeken naar Frankrijk, België, Spanje, Duitsland, Finland, Zweden en Denemarken.

Een belangrijk verschil tussen Nederland en andere Europese landen is het maximaal toegestane totaalgewicht voor nationaal wegtransport. Nederland hanteert een maximaal totaalgewicht van 50 ton voor nationaal wegtransport. De meeste Europese landen, zoals Spanje, Frankrijk, België, Duitsland, Finland en Zweden, hanteren het Europese maximum van 44 ton voor internationaal wegtransport ook voor hun nationaal wegtransport. In Denemarken mogen vrachtwagens in het nationaal wegtransport maximaal 48 ton wegen.

Wat betreft de toegestane aslasten is de wetgeving in de bestudeerde Europese landen gelijk aan de Nederlandse wetgeving. Zoals eerder besproken is het gebruik van een LZV in Nederland alleen toegestaan met ontheffing op bepaalde wegen; het gebruik van een SEC is niet toegestaan. In verschillende landen is het gebruik van LZV's en SEC's al opgenomen in de wetgeving. Zo zijn er regels over LZV's opgenomen in de wet in bijvoorbeeld Finland, Zweden, Duitsland en Spanje. Wetgeving omtrent de SEC bestaat in Finland en Zweden.

3 Overzicht beschikbare kennis en literatuur

In dit hoofdstuk worden de rapporten weergegeven die in de literatuurstudie zijn gevonden en meegenomen.

Wat zijn de belangrijkste Nederlandse studies op het gebied van totaalgewichten, marginale wijzigingen totaalgewicht, assen (inclusief aslasten) en wielen (banden)?

De rapporten zijn verdeeld naar de drie zoeklichten: Nederland, Duitsland/Frankrijk/België en Spanje/Scandinavië.

Sommige rapporten vallen niet onder één van deze zoeklichten, deze rapporten zijn opgenomen in het onderdeel overig.

3.1 Nederland

Het zoeklicht Nederland bevat studies die door of in opdracht van een Nederlandse instelling zijn uitgevoerd. Binnen dit zoeklicht vallen veel rapporten van en in opdracht van Rijkswaterstaat. Ook zijn meerdere TNO-studies gevonden.

De rapporten zijn onderverdeeld in vijf thema's.

1. Effecten van grotere, nieuwere voertuigen en innovaties

- V&W (1997), "Langere en zwaardere vrachtwagens": inventarisatiestudie naar de wenselijkheid en haalbaarheid.
- Rijkswaterstaat (2010), Langere en Zwaardere Vrachtauto's in Nederland: kennis en ervaringen over de periode 1995-2010.
- Arcadis (2006), Monitoringsonderzoek vervolgproef LZV: resultaten van de vervolgproef met langere of langere en zwaardere voertuigcombinaties op de Nederlandse wegen.
- Rijkswaterstaat (2020), Impact op infrastructuur door innovaties binnen het goederenvervoer [interne rapportage].
- Aarts, L. & Feddes, G. (2009), Experiences with longer and heavier vehicles in the Netherlands.
- Traffic Test (2002), Praktijkproef LZV: Resultaten van een proef met langere en/of zwaardere voertuigcombinaties op Nederlandse wegen.
- TNO (2017), Inventarisatiestudie van het effect van platooning op de beoordeling van de constructieve veiligheid van kunstwerken.
- ENSEMBLE (n.d.), Impact of platooning on roads & bridges.

2. Super EcoCombi's

- TNO (2008), Vergelijking Trekker-Oplegger-Combinaties en LZV's-EcoCombi's met betrekking tot de invloed op kunstwerken.
- Topsector Logistiek (2020), Super-EcoCombi: verkenning van kansen en verwachte effecten.
- TNO (2021), Verkenning naar de mogelijke impact van de Super-EcoCombi op de Nederlandse infrastructuur.
- TNO (2022), Impact analyses Super EcoCombi and Truck Platooning scenarios: final evaluation report on bridges and viaducts: Impact analyses.

3. Banden en wielen

- Rijkswaterstaat/Dienst Weg- en Waterbouwkunde (1996), Breedbanden en zwaar verkeer: kosten-batenanalyse op hoofdlijnen.
- Rijkswaterstaat/Dienst Weg- en Waterbouwkunde (2003), Studie naar wegvriendelijke vrachtwagenbanden.
- TNO (2020), Wielprentschematisatie in het vermoeiingsbelastingmodel voor bruggen: literatuuronderzoek en belastingeffectberekeningen.

4. Scenariostudies

- Arcadis (2023), Maatschappelijke kosten en baten van lang en zwaar goederenvervoer.
- Ecorys (2020), Scenariostudie toekomstig gebruik weginfrastructuur door vrachtverkeer.
- TNO (2018), Platooning – ontwikkelscenario's 2026 en 2033 t.b.v. belastingen op bruggen en viaducten.

5. Overbelading

- Rijkswaterstaat/Dienst Weg- en Waterbouwkunde (1996), Rapport overbelading.
- Panteia (2022), Belasting en overbelading (middel-)zwaar wegtransport.
- Rijkswaterstaat (2014), Belasting weginfrastructuur door zwaar vrachtverkeer.
- Rijkswaterstaat (2013), Bewustwording van de invloed van (zwaar)vrachtverkeer op bruggen en viaducten.

3.2 Duitsland, Frankrijk, België

Het zoeklicht Duitsland/Frankrijk/België is gekozen omdat deze landen lagere gewichtslimieten hanteren dan Nederland. In Frankrijk geldt voor nationaal transport een limiet van 44 ton. België hanteert over het algemeen een limiet van 44 ton, met mogelijke verhoging naar 48 ton of 50 ton indien wordt voldaan aan aanvullende voorwaarden. In Duitsland geldt een limiet van 40 ton indien het vervoer alleen wegtransport betreft; indien onderdeel van een multimodale rit geldt een limiet van 44 ton. Voor internationaal transport hanteren deze landen de Europese richtlijn van 40 ton.

Binnen dit zoeklicht vallen de studies die in Duitsland, Frankrijk of België zijn uitgevoerd. Het rapport door TML, TNO, RWTH, LCPC en Sétra is een studie gelieerd aan de Universiteit van Leuven, uitgevoerd in opdracht van de Europese Commissie. De rapporten van de Bundesanstalt für Straßenwesen zijn toegestuurd door het Duitse Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV), Trunk Roads Directorate-General (StB).

- TML, TNO, RWTH, LCPC, Sétra (2008), Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC.
- Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (2011), Moving Freight With Better Trucks.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2006), Effects of new vehicle concepts on the infrastructure of the federal truck road network.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2014), Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2016), Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw Stufe 2 Nacherhebung.

3.3 Spanje en Scandinavië

Het zoeklicht Spanje en Scandinavië is gekozen gezien de ruimere ervaring van deze landen in langere en zwaardere voertuigen (LZV) en Super EcoCombi's (SEC). Zo is in Finland de SEC al een aantal jaar toegestaan, met een gewichtslimiet van 76 ton.

- Universiteit Zaragoza (2020), Analysis of behaviour of modular vehicles in DUOTRAILER groups during performance tests.
- Nordiska Vägtekniska Förbundet/Nordic Road Association (2007), Vehicle combinations based on the modular concept.
- TFK & KTH (2007), European Modular System for road freight transport: experiences and possibilities.
- Centre for Transport Studies Stockholm (2015), Estimating the marginal cost of road wear.
- Liimatainen, H., Pöllänen, M. & Nykänen, L. (2020), Impacts of increasing maximum truck weight – case Finland.
- J. Granlund/WSP Sverige AB (2018), Reduced pavement service life – causes and costs.
- ROADDEX (2014), Effect of axle and tyre configurations on pavement durability – a prestudy.
- ROADDEX (2014), Truck axles, tyre types, tyre pressures and road performance.

3.4 Overige literatuur

Een aantal rapporten valt niet binnen/buiten de gedefinieerde zoeklichten, maar is wel interessant om op te nemen in deze studie.

- Department of Transportation Texas (2001), Effects of truck size and weights on highway infrastructure and operations: a synthesis report.
- TNO (2000), Algemene veiligheidsbeschouwing en modellering van wegverkeersbelasting voor brugconstructies.
- TNO (2012), Algemene veiligheidsbeschouwing en modellering van wegverkeersbelasting voor brugconstructies – update.
- Hayek (1995), General axle load equivalency factors.
- Dfine (2024), Study on weights and dimensions.
- DGPO (2022), Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen.
- TNO (2013), Voertuigcategorieën en gewichten van voertuigcombinaties op de Nederlandse snelweg op basis van assen-combinaties en aslasten.
- TNO (2022), Load effect measurements at the box girder bridge near Geldrop in the A67.
- TNO (2022), Load effect measurements at the Moerdijk bridge in the A16.
- Virginia Tech (2004), Pavement Damage Due to Different Tires and Vehicle Configurations.

4 Effecten van totaalgewicht zware voertuigen

4.1 Interpretatie van onderzoeksvraag

Deelvraag 1 luidt:

Wat zijn de effecten van het totaalgewicht van een zwaar voertuig (uitgesplitst per gewichtscategorie) op de infrastructuur van het hoofdwegennet? Veroorzaakt een voertuig dat zich aan de voorgeschreven maximale aslasten houdt, meer schade aan het wegdek en kunstwerken naarmate het totaalgewicht van het voertuig hoger is?

Bij de beantwoording van deze vraag hanteren wij, mede in relatie tot de herziening van de richtlijn 96/53/EG, de volgende gewichtscategorieën van zware voertuigen:

1. Trekker-Oplegger-Combinatie (TOC), maximaal 50 ton (Nederland) en maximaal 40-44 ton (Europese landen).
2. Langere en Zwaardere Voertuigen (LZV) oftewel EcoCombi, maximaal 60 ton.
3. Super Eco Combi (SEC), maximaal 72 ton (Nederland) en 76 ton (Finland).

Opmerkingen bij de vraagstelling zijn:

- Onder het hoofdwegennet (HWN) wordt het geheel verstaan van wegverhardingen en kunstwerken.
- Met wegdek wordt bedoeld op wegverhardingen; hieronder wordt de gehele wegconstructie verstaan, bestaande uit deklaag, tussenlagen, onderlaag en fundering.
- Bij kunstwerken wordt met name bedoeld op bruggen en viaducten. Er zijn ook andere kunstwerken in het HWN aanwezig, zoals fly-overs en tunnels.

4.2 Bevindingen

Bevinding 1:

Er is een breed scala aan effecten van zware voertuigen (naast de effecten op de infrastructuur van het HWN).

Zware voertuigen hebben verschillende effecten op de infrastructuur van het hoofdwegennet, afhankelijk van de gewichtscategorieën en de specifieke kenmerken van de wegen. Er zijn meerdere effecten van zware voertuigen. Naast effecten op infrastructuur (assetmanagement) zijn er effecten op verkeersveiligheid, milieu (emissies), economie, mobiliteit, bereikbaarheid, transportkosten, wegontwerp en verzorgingsplaatsen [1, 2, 14].

Effecten die kunnen optreden zijn:

- Slijtage van de weg: zware voertuigen oefenen een grotere druk uit op het wegdek, wat kan leiden tot versnelde slijtage van het wegooppervlak. Dit kan resulteren in scheuren, kuilen en andere vormen van schade aan de weg, vooral op wegen met zwakkere funderingen.
- Structurele schade: het gewicht van zware voertuigen kan de structurele integriteit van de weg zelf beïnvloeden, met name op bruggen en viaducten. Overmatige belasting leidt tot vermoeidheid van het materiaal en in extreme gevallen tot structureel falen.
- Onderhoud en onderhoudskosten: de aanwezigheid van zware voertuigen kan leiden tot frequenter onderhoud en meer reparaties om de schade veroorzaakt door zware voertuigen te herstellen. Dit leidt tot hogere onderhoudskosten voor de wegeninfrastructuur en lagere beschikbaarheid en kwaliteit van wegen.

Daarnaast zijn er ook andere effecten die van belang zijn voor verkeer, economie en omgeving:

- Verkeersveiligheid: zware voertuigen kunnen de verkeersveiligheid beïnvloeden door het verhoogde risico op ongevallen, met name bij hoge snelheden en in bochten. Het beheersen van zware voertuigen vergt meer ruimte en tijd, wat de manoeuvreerbaarheid en reactietijd kan beperken. Uit onderzoek blijkt dat, mits aan een aantal randvoorwaarden wordt voldaan, voor zowel voertuig, chauffeur als traject, er geen nadelige effecten te verwachten zijn voor de verkeersveiligheid.
- Milieueffecten: zware voertuigen hebben milieueffecten, zoals een verhoogde uitstoot van schadelijke stoffen door zwaardere motoren en geluidsoverlast. Hieronder vallen ook emissies die impact hebben op klimaat (CO₂) en leefomgeving (NO_x).
- Economie: doordat zware voertuigen de transportkosten drukken, kunnen consumentenprijzen en de concurrentiepositie positief worden beïnvloed.

- Mobiliteit: zware voertuigen leiden tot meer onderhoud aan de wegen, waardoor vaker wegwerkzaamheden en omleidingen optreden. Er is een aanvullend effect op de mobiliteit als speciale rijtijden en routes voor zware voertuigen (bijvoorbeeld SEC) worden ingesteld.
- Bereikbaarheid: op drukke wegen kunnen zware voertuigen congestie veroorzaken door langzamere acceleratie- en remcapaciteit, evenals door bredere omvang (ze nemen meer ruimte op de weg in en maken het moeilijker voor andere voertuigen om in te halen).
- Transportkosten: zware voertuigen zijn efficiënter doordat ze meer lading kunnen vervoeren waardoor de transportkosten dalen.
- Incidentmanagement: grote en zware vrachtwagens kunnen tot extra incidenten leiden met meer directe en indirecte kosten.
- Wegontwerp en verzorgingsplaatsen: zware voertuigen hebben invloed op het geometrisch ontwerp van het wegennet, zoals wegen (bochten, breedte rijstroken, hellingen) en bruggen. Verzorgingsplaatsen moeten parkeerplaatsen van voldoende omvang hebben en ruim genoeg zijn voor de toegang en manoeuvres van zware voertuigen.

Bevinding 2:

De effecten van het totaalgewicht van zware voertuigen op het HWN zijn zeer verschillend voor wegverhardingen (onderverdeeld naar: deklaag, tussenlagen en wegfundering) en kunstwerken (bruggen en viaducten: staal en beton; overige kunstwerken).

In de rapporten en onderzoeken die we hebben bestudeerd, wordt hoofdzakelijk de invloed van een hoger totaalgewicht van voertuigen op het hoofdwegennet onderzocht, omdat zwaardere voertuigen eerder en vaker daar rijden. Voor de Nederlandse rijkswegen gaat het dan om meer dan 5.000 kilometer weg (CBS, 2018), en meer dan 4.000 bruggen en viaducten (waarvan ongeveer 70% in beheer van Rijkswaterstaat). [9] In de gevoerde interviews met experts uit de praktijk is nadrukkelijk gewezen op het verschil in impact dat uitgaat van zware voertuigen op de verschillende onderdelen van de infrastructuur.

Uit de rapporten wordt duidelijk dat de effecten van zwaar vrachtverkeer zeer verschillend zijn voor wegverhardingen en kunstwerken. Voor kunstwerken is onder meer het totaalgewicht van een voertuig erg belangrijk. Het totaalgewicht heeft met name impact op bruggen op het moment dat overspanningen groter zijn dan de lengte van het voertuig. Op dat moment moet het hoofddraagstelsel van een kunstwerk het volledige gewicht van de vrachtwagen dragen en speelt bijvoorbeeld de aslast in mindere mate een rol dan het totale gewicht [15]. Voor wegverhardingen zijn niet alleen het totaalgewicht, maar ook vooral aslasten, asafstanden, afstand tussen de voertuigen en de banden van belang (zie ook inzicht 3) [15]. Ook in een studie van de OECD (2011) wordt geconcludeerd dat veranderingen in het totaalgewicht van zware voertuigen een andere invloed heeft op de slijtage van bruggen in vergelijking met wegen. Om aan te geven dat de impact van meer dan alleen totaalgewicht afhankelijk is en verschillend is voor wegverhardingen en kunstwerken, wordt geconcludeerd:

Wegverhardingen

Als vanuit de infrastructuur wordt geredeneerd, dan zijn de kenmerken van de weginfrastructuur van invloed op de schade die kan worden veroorzaakt door zwaardere voertuigen. Er zijn verschillende typen wegconstructies met verschillende typen wegverhardingen die allemaal verschillend reageren op belasting door zwaarder wegverkeer [19]. Wegconstructies in Nederland zijn hoofdzakelijk opgebouwd uit meerdere lagen (van boven naar onderen): een asfalt deklaag, een asfalt tussenlaag, een asfalt onderlaag, een fundering van granulaat (ongebonden of gebonden) en een zandbed op een natuurlijke ondergrond. De grote verschillen in hardheid van de ondergrond in Nederland is waarschijnlijk van invloed op de effecten van zware belasting. Op de Nederlandse snelwegen is zeer open asfaltbeton (ZOAB) de meest toegepaste deklaag. ZOAB heeft een aantal voordelen, zoals vermindering van het verkeersgeluid en vergroting van de capaciteit van de weg door minder spat- en stuifwater tijdens regen. Ook heeft ZOAB een zeer goede weerstand tegen spoorvorming. In 2007 is hier een nieuwe verbeterde variant ontwikkeld: duurzaam ZOAB (DZOAB). Dit wegdek is sterker en duurzamer dan standaard ZOAB, waardoor de levensduur met twee jaar wordt verlengd [9].

In een studie van de Nordic Road Association (2007) wordt over de samenhang tussen de voertuigparameters en de wegkenmerken aangegeven dat het slijtagemechanisme op de weg niet eenvoudig kan worden weergegeven. Ten eerste zijn er verschillende faalmechanismen die van belang zijn, afhankelijk van het type weg. Ten tweede zijn er verschillende voertuigparameters van invloed op de slijtage van de weg, zoals het ontwerp van de ophanging, het type band, de bandenspanning en de asafstand [24].

Kunstwerken (zie ook Bevinding 15)

In algemene zin (niet gespecificeerd naar type effect) komt uit de rapporten naar voren dat het totaalgewicht van een voertuig van belang is voor de impact op kunstwerken [15]. Een hoger voertuiggewicht heeft met name impact op kunstwerken met een langere overspanning [9]. De effecten van verkeersbelastingen op bruggen zijn echter moeilijker in te schatten dan op wegen, onder meer omdat de totale belasting van bruggen ook afhankelijk is van het aantal betrokken vrachtwagens. Dat aantal is weer afhankelijk van de lengte en breedte van de brug (ofwel het aantal rijstroken) en de verkeersdichtheid [19]. Ook is er verschil van effect bij betonnen en stalen kunstwerken [7].

In een verkennende studie van TNO (2021) naar de mogelijke impact van SEC's op de Nederlandse infrastructuur wordt geconcludeerd dat het aannemelijk is dat de komst van SEC's gepaard gaat met meer transport over de weg, wat effect heeft op de levensduur van wegen en de veiligheid van bepaalde bruggen en viaducten. Eén van de deelconclusies is dat de SEC tot andere belastingsscenario's kan leiden die negatief bijdragen aan de constructieve veiligheid, met name bij bruggen en viaducten met een langere overspanning. (Overigens zijn snelheid en trillingen die daardoor ontstaan ook van invloed). De aslastverdeling van SEC's is moeilijk te voorspellen, maar is relevant voor de impact op wegconstructies en vermoeiing van stalen bruggen. Aangegeven wordt dat de invloed van een hoger voertuiggewicht vooral invloed heeft op bruggen met grotere overspanningen en bepaalde constructievormen, waarbij het maximale belastingeffect wordt bepaald door meerdere zware voertuigen die zich tegelijkertijd op de brug kunnen bevinden. Bij bepaalde bruggen is het aannemelijk dat eerder maatregelen nodig zijn zoals versterking en/of vervanging. In de studie wordt ook aangegeven dat bij stalen bruggen (vereenvoudigd gesteld) de levensduur een functie is van het aantal spanningswisselingen die optreden op het desbetreffende onderdeel, en de hoogte van die spanning. Verder wordt beschreven dat de hoogte van de belastingen, en hoe deze wijzigen als gevolg van de komst van de voertuigen met een hoger totaalgewicht, afhankelijk is van een aantal factoren (zoals voertuiggewicht, aslasten, asafstanden, aantal voertuigen en afstand tussen de voertuigen). In combinatie daarmee is ook de lengte van de overspanning(en) van belang [9].

TNO (2022) heeft ook onderzoek gedaan naar de invloed van SEC's op de levensduur van betonnen en stalen bruggen [10]. Zij hebben gewerkt met een aantal scenario's, die variëren in de aanwezigheid van SEC's en hebben metingen uitgevoerd bij twee typische bruggen in het Nederlandse wegennet (Moerdijk en Geldrop). In de studie wordt uitgegaan van een normatieve levensduur van 100 jaar voor nieuwe bruggen.

- Voor betonnen bruggen wordt geconcludeerd dat de reductie van de levensduur voor bruggen met een overspanning tot 20 meter minimaal is. Bij grotere overspanningen is de reductie van de levensduur groter: een overspanning van 50 meter laat de grootste impact zien (een reductie van 30 jaar). Ook laat dit onderzoek zien dat een toename in SEC's in de toekomst resulteert in een grotere reductie in levensduur.
- Voor stalen bruggen wordt geconcludeerd dat de reductie in levensduur kan veranderen naar 90 jaar. In de meeste gevallen is de reductie echter tussen de 5 en 25 jaar. Als er meer SEC's rijden in de toekomst, dan resulteert dit in een grotere reductie in levensduur.

In een studie van de OECD (2011) wordt aangegeven dat in verschillende Europese studies is aangetoond dat voor de bepaling van het globale effect van belang is wat het totaalgewicht van de vrachtwagen is gedeeld door de totale lengte. Zelfs wanneer de lengte en het gewicht met dezelfde verhouding werden verhoogd, neigt de agressiviteit van de vrachtwagencombinatie toe te nemen, met name voor middellange en lange overspanningen (hierbij moet worden opgemerkt dat deze studies niet specifiek zijn gericht op de Nederlandse situatie).

In deze studie wordt ook geconcludeerd dat bij een ontwikkeling van een toenemend totaalgewicht van het vrachtverkeer maatregelen nodig zijn om bruggen beter te beschermen. Dit kunnen eisen aan vrachtwagens zijn met betrekking tot de lengte en het aantal assen, maar ook maatregelen die leiden tot een betere configuratie van het geheel aan vrachtwagens dat over bruggen rijdt. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan een inhaalverbod en andere maatregelen om het totale gewicht van vrachtwagens op bruggen te beheersen.

Bevinding 3:

De werking en effecten van zwaar vrachtverkeer verschillen voor de verschillende onderdelen van het HWN en wegen daardoor verschillend door in de kosten voor beheer en onderhoud.

De impact van het totaalgewicht van voertuigen op de infrastructuur verloopt, afhankelijk van de onderdelen waarop de impact betrekking heeft, via verschillende mechanismen. Hierdoor zijn ook steeds andere voertuigparameters van belang. Met andere woorden, er zijn verschillende schadefuncties voor asfalt, staal en beton.

In een studie van Rijkswaterstaat (2010) wordt beschreven dat schade aan het wegdek op twee manieren kan optreden. Enerzijds kan deformatieschade optreden, waarbij door inwerking van de aslast het asfalt deels blijvend zal rekken en vervormen (bijvoorbeeld spoorvorming).

Anderzijds kan vermoeiingsschade optreden, die wordt veroorzaakt door gerepeteerde doorbuiging door een groot aantal aspassages. Bij deformatieschade spelen met name de voertuigparameters askracht en de inwerktijd van deze kracht een rol. De inwerktijd is de totale tijd dat het asfalt op één punt blootgesteld wordt aan de askracht. Dit is afhankelijk van zowel snelheid als aantal assen. Bij vermoeiingsschade zijn het aantal aspassages en de askracht belangrijke voertuigparameters [2].

Voor kunstwerken zijn andere mechanismen van belang, zoals dwarskrachten en buigende momenten. Zo concludeert TNO (2008) in een studie over de vergelijking tussen TOC's en LZV's-EcoCombi's dat de dwarskracht die ontstaat bij 60 ton LZV's niet ongunstiger is dan de dwarskracht die ontstaat bij een 50 ton TOC, mits het grotere gewicht voldoende gespreid wordt over een grotere lengte (van een LZV). Ook blijkt uit deze studie dat in vergelijking met een vrachtwagen van 50 ton (TOC) of 60 ton (LZV), zand- en asfaltwagens en betonmixers respectievelijk 5% en 10% schadelijker zijn voor een brug [7].

Dat de werking en effecten van zwaar vrachtverkeer verschillend uitpakken voor de verschillende onderdelen van het HWN, heeft als gevolg dat er een verschillende invloed is op de kosten van beheer en onderhoud. In een studie uit 2014 constateert Rijkswaterstaat dat tweederde van het totaal aan beheer en onderhoudskosten is gerelateerd aan verhardingen en kunstwerken, waarbinnen weer ongeveer 60% uitgaat naar verhardingen [36].

Bevinding 4:

De exacte, kwantitatieve impact van het totaalgewicht en aslast van zware voertuigen op het HWN (wegverhardingen en kunstwerken) is onbekend.

In de scenariostudie van Ecorys (2020) wordt genoemd dat de precieze relatie tussen voertuiggewicht en aslast enerzijds en de impact op de infrastructuur anderzijds onbekend is. Wel is bekend dat het geen lineaire relatie is, wat onder meer komt doordat verschillende factoren en invloeden een rol spelen bij de slijtage van de infrastructuur [15]. Ook een Zweedse modelstudie van het Centre for Transport Studies (2015) beschrijft dat algemeen wordt aangenomen dat de relatie tussen voertuiggewicht en wegslijtage een niet-lineaire relatie is [26].

In een verkennende studie van TNO (2021) wordt aangegeven dat het voor het maken van een kwantitatieve inschatting bij bruggen nodig is inzicht te hebben in de mate van gebruik, voertuiggewichten, aslasten en nog te maken beleidskeuzes. Hoe de impact van voertuiggewicht en aslasten zal zijn, is afhankelijk van factoren die nu nog onbekend zijn: verschuivingen in het wegtransport (tussen vormen van wegvervoer), toename van wegvervoer en ontwikkelingen met betrekking tot de belasting op infrastructuur. Een andere deelconclusie is dat de verwachte toename van het wegtransport in beginsel een negatieve invloed zal hebben op de infrastructuur, aangezien het aantal voertuigen (of aantal passerende assen) invloed heeft op de verwachte levensduur. De SEC kan ook tot andere belastingsscenario's leiden die negatief bijdragen aan de constructieve veiligheid, met name bij bruggen en viaducten met een langere overspanning. De aslastverdeling is relevant voor de impact op wegconstructies en vermoeiing van stalen bruggen, maar deze is juist nog moeilijk te bepalen [9].

Voor de bepaling van de exacte impact van zwaardere voertuigen en hun aslasten op de infrastructuur, is ook van belang welke nadere eisen aan deze voertuigen worden gesteld. Daarnaast is van belang wat de innovatiegraad is (bijvoorbeeld ten aanzien van samenwerking tussen bedrijven), buitenlands beleid, invoering van een vrachtwagenheffing en op welk deel van het wegennet deze voertuigen worden toegelaten [9].

Bevinding 5:

De invloed van het totaalgewicht van zwaardere voertuigen op de weginfrastructuur is eveneens sterk afhankelijk van andere voertuigparameters, zoals aslasten, aantal assen, asafstanden, banden en belading.

In de zoektocht naar literatuur over de effecten van gewichten van vrachtverkeer op infrastructuur zijn wij geen studies tegengekomen waarin de solitaire invloed van het totaalgewicht van zwaardere voertuigen is onderzocht. In iedere studie is het uitgangspunt dat de invloed van zwaardere voertuigen op de infrastructuur met name afhankelijk is van andere voertuigparameters als het aantal assen, aslasten en aslastverdelingen [9]. Ook hier geldt dat de effecten verschillend zijn voor verschillende onderdelen van de infrastructuur (zie Bevindingen 2 en 3). Dit uitgangspunt komt overeen met de wijze waarop de standaard vrachtwagenschadefactor wordt berekend. Deze factor vertaalt de schade die een vrachtwagen veroorzaakt naar een equivalent aantal passages van een standaard referentie-aslast. In een studie van het Zweedse Transportonderzoeksvereniging TFK en het Zweedse Department of Transportation and urban economics (2007) wordt het kernachtig verwoord: "Road wear is primarily dependant on load per axle, not load per vehicle." [25].

Uit een Spaanse studie van de Universiteit van Zaragoza (2020) blijkt dat een groter aantal assen met hetzelfde totaalgewicht minder impact heeft op de weg [23]. Ook een studie van de OECD (2011) concludeert: "For pavement fatigue and wear assessment, axle loads and configurations are much more important than the gross vehicle mass (GVM)." [19].

Uit de literatuur komt naar voren dat verschillende voertuigparameters bepalend zijn voor de invloed van zwaardere voertuigen op de infrastructuur. In een scenariostudie van Ecorys (2020) in opdracht van Rijkswaterstaat naar het toekomstig gebruik van de weginfrastructuur door vrachtverkeer, wordt gekeken naar de volgende parameters om grip te krijgen op de belasting op de weginfrastructuur [15]:

- Aslast.
- Banden.
- Totaalgewicht voertuig.
- Afstand tussen de assen.
- Afstand tussen de voertuigen.

In deze scenariostudie wordt gewerkt met een overzicht van verschillende vrachtwagentypen en bijbehorende aslasten. Deze worden gehanteerd bij de berekening van de belasting. Uit dit overzicht blijkt dat de individuele aslasten voor LZV's ongeveer gelijk zijn aan of lager zijn dan de aslasten van reguliere vrachtwagens en trekkers met opleggers, maar dat (door het hogere totaalgewicht en het grotere aantal assen; zie verderop) de totale impact van LZV's groter is dan die van reguliere vrachtwagens en trekkers met opleggers. Hoe meer zware, grote voertuigen er dus komen, hoe groter de impact op de infrastructuur. Daar staat tegenover dat twee LZV's een vervanging kunnen zijn van drie reguliere vrachtvoertuigen, en één SEC van twee reguliere vrachtvoertuigen, waardoor er uiteindelijk minder voertuigen zijn. Dit heeft een gunstig effect op wegverhardingen, maar niet op kunstwerken [15].

In de Europese studie van de OECD (2011) wordt beschreven dat al sinds de jaren '60 bekend is dat de aslast een grote invloed heeft op de slijtage van het wegdek. In dit verband is een zogenaamde vierdemachtsregel ontwikkeld, die stelt dat het toevoegen van 2 ton aan een as van 10 ton, de agressiviteit van de as verdubbelt en zo de levensduur van de weg met de helft verkort (zie verder Bevinding 12) [19]. De vermogenswet is een vuistregel die in veel studies wordt toegepast om de slijtage van de weg te schatten. Ook al levert deze berekening niet onder alle omstandigheden kwantitatief nauwkeurige resultaten op, toch wordt het gebruik van de vuistregel gerechtvaardigd om de relatieve slijtage van het wegdek van verschillende generieke voertuigcombinatietypen te schatten, zoals wordt gesteld in het modelonderzoek van de Nordic Road Association uit 2007 [24].

Naast de aslast is ook de asafstand van invloed op wegverhardingen. In de scenariostudie van Ecorys (2020) wordt uitgelegd dat asfaltlagen vervormen als ze onder druk komen te staan en dat de herstelperiode langer of korter kan zijn, afhankelijk van de elasticiteit van de verharding. Bij kort opeenvolgende drukperiodes heeft het asfalt minder tijd om te herstellen, waardoor bij hogere aslasten een grotere afstand nodig is tussen de assen om slijtage te verminderen [15].

In de scenariostudie van Ecorys (2020) wordt ook aangegeven dat er vanzelfsprekend een relatie is tussen het totaalgewicht en de aslast van eenzelfde voertuig. Hoe hoger het totaalgewicht, des te hoger de aslast. Echter, ook wordt beschreven dat de manier van belading van een voertuig kan zorgen voor een ongelijke verdeling van het gewicht. Zo kan tussentijds een deel van de lading worden gelost, waardoor de verdeling van het totaalgewicht over de assen verandert. Overschrijdingen van de aslast zijn daardoor niet altijd te wijten aan een te hoog totaalgewicht van een voertuig [15]. Overigens wordt in deze studie ook verschil gemaakt tussen wegverhardingen en kunstwerken (zie Bevindingen 2 en 3).

Bevinding 6:

De effecten van zwaar vrachtverkeer per gewichtscategorie zijn sterk afhankelijk van type voertuigen c.q. voertuigcombinaties.

In veel scenario- en modelstudies wordt gewerkt met type voertuigen of voertuigcombinaties (gewicht, aantal assen en lengte) om de effecten van de voertuigen op de infrastructuur (wegverhardingen en kunstwerken) in beeld te brengen. In veel studies wordt gerefereerd aan de Europese typologie of de mogelijke types LZV's. In de overzichtsstudie van Rijkswaterstaat (2010) wordt bij het in beeld brengen van de invloed van LZV's op deformatie- en vermoeiingsschade een indeling gebruikt van: reguliere vrachtauto met 5 assen, LZV met 5 assen, LZV met 8 assen en LZV met 10 assen [2]. In de scenariostudie van Ecorys worden uiteindelijk 5 types meegenomen in de scenariostudie: vrachtwagen, trekker met oplegger, vrachtwagen met aanhangwagen, LZV/SEC en speciaal voertuig. In een Europese scenariostudie van TML, TNO, RWTH en LCPC (2008) in opdracht van de Europese Commissie worden uiteindelijk 15 types meegenomen in de analyse. Hierbij is een combinatie toegepast van voertuigtype (7 in totaal) en totaalgewicht (variërend van 40 tot 60 ton) en is het effect voor verschillende typen weginfrastructuur onderzocht [18].

Bevinding 7:

Er zijn verschillende opvattingen over de consequenties van toename van het totaalgewicht van zware voertuigen voor de schade aan de weginfrastructuur.

Uit de literatuur komt in het algemeen het beeld naar voren dat zwaardere voertuigen niet per definitie leiden tot meer schade aan de weginfrastructuur. In een inventarisatiestudie van Rijkswaterstaat naar de wenselijkheid van langere en zwaardere voertuigen (1997) komt naar voren dat zolang de geldende wetgeving voor maximaal toelaatbare aslasten wordt gerespecteerd, LZV's (bijvoorbeeld van 25,25 meter en 60 ton) geen nadelige gevolgen hebben voor het Nederlandse hoofdwegennet. Op het onderliggend wegennet moet vanwege de diversiteit per traject bekeken worden of vrachtwagencombinaties met een hoger totaalgewicht schadelijke gevolgen hebben. Hierbij kunnen (kleinere) kunstwerken (bruggen) een rol spelen.

Verder blijkt dat zolang de maximale druk per as (uit het Voertuigreglement) niet stijgt, dat een stijging van de totale massa van de huidige 50 ton naar 60 of 70 ton geen extra belemmering vormt voor de infrastructuur. De slijtage van het wegdek wordt namelijk grotendeels bepaald door de massa en het oppervlak van het gedeelte van de band dat het wegdek raakt. Zolang de druk per as binnen de wettelijke grenzen blijft en de contactspanning tussen band en wegdek niet afwijkt van de momenteel gangbare spanning, zijn er geen grote belemmeringen te verwachten. Voor de levensduur van de wegverharding zijn met name de contactdrukken bepalend. Voor kunstwerken zijn korte en zware vrachtwagens maatgevend. Uit het onderzoek komt naar voren dat de wegschade per voertuig bij zwaardere voertuigen groter zal zijn (meer assen bij gelijkblijvende asdruk), maar ook is de verwachting dat dit wordt gecompenseerd door minder ritten [1].

Vanuit de invalshoek van de weginfrastructuur is nog op te merken dat het snelwegennet door de nationale wegbeheerder Rijkswaterstaat na onderzoek naar de draagkracht van bruggen en andere kunstwerken in 2007 geheel is vrijgegeven voor gebruik door LZV's tot maximaal 60 ton [2].

In een paper in het European Transport Research Review (2020) worden de resultaten van een onderzoek in opdracht van de Finse regering gepresenteerd (2020). Uit het onderzoek blijkt dat onder invloed van zwaarder vrachtverkeer (dat wil zeggen 64, 68 en 76 ton) op de infrastructuur extra kosten zijn opgetreden in verband met brugaanpassingen en reparaties aan wegverhardingen. Echter, de economische opbrengsten van zwaarder vrachtverkeer zijn in waarde hoger dan de kosten. Ook zijn er voordelen in termen van reductie van CO₂-emissies [27].

Echter, in een studie van ROADDEX (2014) worden andere conclusies getrokken die ingaan tegen het beeld dat het verhogen van het totaalgewicht van zware voertuigen geen effect heeft op de schade aan het wegdek als het aantal assen dienovereenkomstig wordt verhoogd en de aslasten niet worden verhoogd. In de studie wordt geconcludeerd dat deze algemeen aanvaarde overtuiging onjuist is. De studie maakt duidelijk dat het vergroten van het aantal assen op hetzelfde voertuig ervoor zorgt dat de poriënwaterdruk in de wegconstructie en/of in de ondergrond stijgt, waardoor de stijfheid van de constructiematerialen in de weg afneemt. Bij meerdere opeenvolgende zware belastingen leidt dit tot verhoogde vervormingen en spoorvormingssnelheid. Meer assen op hetzelfde voertuig resulteren ook in meer banden die hetzelfde wielpad belasten. Een ander conclusie is dat toenemende aslasten het risico op beschadiging van wegdekconstructies verhogen. Bij hetzelfde bandentype en dezelfde bandenspanning kan de geschatte levensduur van het wegdek met een as van 10 ton bijvoorbeeld tientallen procenten korter zijn dan de levensduur met een as van 8 ton. Ook wordt aangegeven dat het bandentype een veel grotere invloed heeft op de levensduur van het wegdek dan kleine stijgingen van het totale gewicht (zie ook hoofdstuk 7) [29].

Bevinding 8:

In studies naar toekomstige ontwikkelingen (zoals het aantal zware voertuigen c.q. groei van het vrachtverkeer) en in scenariostudies wordt niet alleen ingegaan op het totaalgewicht van zware voertuigen, maar ook op andere voertuigparameters en factoren die van invloed zijn op schade aan weginfrastructuur.

Het totaalgewicht van zware voertuigen is een parameter die effect heeft op de infrastructuur (zowel wegverhardingen als kunstwerken). In studies naar toekomstige ontwikkelingen en scenariostudies worden de effecten van de verwachte groei van het wegvervoer in kaart gebracht [14, 15]. Bij het effect van toekomstige trends en ontwikkelingen wordt breder gekeken dan alleen naar een mogelijke toename van het totaalgewicht van zware voertuigen.

Zoals hierboven aangegeven, zijn er meerdere parameters die bepalend zijn voor de invloed van zwaar vrachtverkeer op de infrastructuur, bijvoorbeeld totaalgewicht, assen, banden en afstand tussen voertuigen. Deze parameters kunnen worden beïnvloed door trends en ontwikkelingen in de economie en in de transport- en logistieke sector.

De factoren die daarbij een rol spelen zijn onder meer [15]:

- Demografie.
- Economie.
- Technologie.
- Klimaatbeleid.
- Energieprijzen.
- Ruimte.
- Gedrag van consumenten.

In deze studies worden enkele scenario's uitgewerkt, waarbij vaak wordt verwezen naar de WLO-scenario's. Vervolgens wordt per scenario een inschatting gegeven van de kwantitatieve gevolgen voor het hoofdwegennet.

Uit de scenariostudie van Ecorys (2020) blijkt dat er grote onzekerheid is wat betreft toekomstige wegslijtage als gevolg van ontwikkelingen in het wegvervoer. Het toekomstige tempo van wegslijtage is in hoge mate afhankelijk van technologische innovaties (zoals nieuwe voertuigtechnieken) en organisatorische innovaties (zoals optimalisaties in laadcapaciteit). Deze trends en ontwikkelingen hebben invloed op (de spreiding van) aslasten van voertuigen en op het totaal aantal ritten en de voertuigverdeling waarmee deze ritten worden gereden in de gehele wegvervoersector. Er zijn gevolgen te verwachten voor zowel de aanleg en het beheer en onderhoud van weginfrastructuur als voor beleid en handhaving van de wegvervoersector [15].

In het empirische dataonderzoek van Panteia (2022) wordt als aanleiding van het onderzoek gewezen op de groei van het goederenverkeer en vervoer over de weg als gevolg van de economische groei. Het aantal vrachtwagens neemt toe, maar ook neemt de gemiddelde belading toe, zijn er meer afwijkende maten en gewichten en zijn er innovaties die tot hogere belasting van de weg leiden (bijvoorbeeld breedband) [17].

In de modelmatige scenariostudie van Arcadis (2023) komt naar voren dat de impact van het groeiende goederenvervoer op de levensduur van de geselecteerde kunstwerken lijkt mee te vallen. Daarnaast blijkt uit de gevoeligheidsanalyse in deze studie, waarbij 10% meer aslast is verondersteld, dat er een toename van kosten voor beheer en onderhoud is te verwachten van de weginfrastructuur van het HWN doordat de asfaltdikte vervangen en opgehoogd moet worden. Door de toename van het verkeer is de verhardingsconstructie niet sterk genoeg om het toekomstige zwaar verkeer te kunnen dragen zonder te bezwijken. Hierop moet de asfaltconstructie worden aangepast [14].

Ook in Scandinavische studies wordt gewezen op de verschillende invloeden van toekomstige ontwikkelingen. In een paper in het European Transport Research Review, op basis van onderzoek in opdracht van de Finse regering (2020), wordt gesteld dat technologische ontwikkelingen en voertuigontwikkelingen moeten worden meegenomen om de te verwachte schade van toekomstige zwaardere voertuigen op de weginfrastructuur te kunnen bepalen. Deze ontwikkelingen kunnen ook oplossingen bieden voor de uitdagingen die de toekomstige groei van het vrachtverkeer met zich meebrengt [27].

In 2015 is in Zweden de toegestane tonnage verhoogd van 70 ton naar 74 ton. Omdat de overheid overwoog een wegschadetarief voor zware voertuigen in te voeren in verband met hogere onderhoudskosten, is onafhankelijk onderzoek gedaan naar deze extra onderhoudskosten. In het onderzoek zijn de jaarlijkse totale kosten voor onderhoud van bestrate rijkswegen verdeeld in reparatie door schade gerelateerd aan verkeer en reparatie door schade niet gerelateerd aan wegverkeer. In het onderzoek is een kostenreferentie voor wegschade door zware voertuigen geschat, door de kosten voor schade gerelateerd aan wegverkeer te delen door de hoeveelheid zware voertuigen. Door middel van de vierdemachtsregel c.q. vierde vermogenswet zijn de schadelijke effecten van elf zware voertuigcombinaties berekend, waarbij ook as- en wielconfiguraties in acht zijn genomen. In het onderzoek is een schatting gedaan naar de extra onderhoudskosten die door deze zwaardere voertuigen worden veroorzaakt [28].

5 Effecten marginale wijzigingen totaalgewicht zware voertuigen

5.1 Interpretatie van onderzoeksvraag

Deelvraag 2 luidt:

Wat is de 'marginale' beschadiging/ontlasting van elke ton extra gewicht respectievelijk elke ton reductie van het maximale gewicht?

Opmerkingen bij de vraagstelling zijn:

- Onder 'marginale' verstaan wij de toe- of afname in het totaalgewicht van een zwaar voertuig, met andere woorden iedere ton meer of minder.
- Wij constateren dat deelvraag 2 veel relatie heeft met het tweede deel van deelvraag 1: Veroorzaakt een voertuig dat zich aan de voorgeschreven maximale aslasten houdt, meer schade aan het wegdek en kunstwerken naarmate het totaalgewicht van het voertuig hoger is?

De bevindingen in dit hoofdstuk zijn daardoor te zien als een verlengde van enkele bevindingen in hoofdstuk 4.

5.2 Bevindingen

Bevinding 9:

De effecten van marginale wijzigingen in totaalgewicht van zwaardere voertuigen op de weginfrastructuur (wegverhardingen en kunstwerken) zijn sterk afhankelijk van de typen voertuigcombinaties.

In geen van de rapporten en onderzoeken die we in deze literatuurstudie hebben gevonden, wordt ingegaan op de vraag wat de 'marginale' beschadiging of ontlasting is van elke ton extra gewicht respectievelijk elke ton reductie van het maximale gewicht. Wat we wel terugzien in de onderzoeken, is dat de schade aan de weginfrastructuur wordt onderzocht voor de gewichtstoename als die wordt samengenomen met andere voertuigparameters (zie hoofdstuk 4) en met het type voertuigcombinatie (zie Bevinding 8, zie ook Bevinding 6 in hoofdstuk 4). Ook zien we dat de vraag raakvlakken heeft met onderzoek naar overbelading (zie Bevinding 10).

In een Europese scenariostudie van TML, TNO, RWTH en LCPC (2008) in opdracht van de Europese Commissie is de invloed van verschillende voertuigcombinaties onderzocht. Hierbij zijn per voertuigcombinatie ook verschillende gewichtscategorieën te onderscheiden. In het onderzoek is een globale vergelijking gemaakt tussen de in totaal 15 types voertuigcombinaties die zijn onderscheiden en in de invloed onderzocht op wegverhardingen en bruggen (hierbij is uitgegaan van een netwerk dat bestaat uit 5% flexibele verharding, 15% asfalt, 40% hogere asfaltdikte en 40% uit semi-flexibele verharding) waarbij de mate van impact is weergegeven op een driepuntschaal (groen, oranje, rood). Uit de studie blijkt dat in sommige gevallen belangrijke gevolgen zijn te verwachten van bepaalde voertuigcombinaties (rode scores). De studie concludeert dat bepaalde combinaties moeten worden vermeden. Zo is de standaard vrachtwagen van 16,50 meter, 40 ton en 5 assen zeer slecht voor wegverhardingen en bruggen. De studie adviseert dat deze combinatie het beste kan worden vermeden in alle EU-lidstaten, zelfs in de lidstaten die deze configuratie al hebben goedgekeurd (bijvoorbeeld Frankrijk, België, Italië). Aanbevolen wordt om deze combinatie te vervangen door een andere combinatie, bijvoorbeeld C44, die minder schade veroorzaakt aan de weginfrastructuur. De invloed van het vrachtverkeer op de weginfrastructuur is nog wel te beïnvloeden door het nemen van beleidsmaatregelen [18].

In een Zweedse studie van Volvo (2007) zijn de equivalente standaardaslasten (de zgn. ESAL) van verschillende voertuigcombinaties doorgerekend. Het aantal equivalente standaardaslasten is berekend met behulp van de aslasten en de vierdemachtsregel. Om te bepalen hoeveel ESAL's nodig zijn om 1000 ton per voertuigcombinatie te vervoeren, zijn de getallen genormaliseerd met het totaalgewicht en vermenigvuldigd met 1000. Uit de berekeningen blijkt dat de modulaire combinaties minder wegslijtage veroorzaken dan de vijf-assige trekker-opleggercombinatie. De reden hiervoor is in de eerste plaats dat de maximale en gemiddelde aslasten kleiner zijn in de modulaire combinaties. De zes-assige trekker-opleggercombinatie zorgt daarentegen voor veel minder slijtage van het wegdek. De belangrijkste conclusie uit de studie is dat de slijtage van de wegen van de huidige modulaire voertuigcombinaties en in het bijzonder van de voorgestelde toekomstige combinaties doorgaans minder is dan bij de huidige Europese voertuigcombinaties [24].

In een studie van de Zweedse Transportonderzoeksvereniging TFK en het Zweedse Department of Transportation and urban economics (2007) wordt een vergelijkbare conclusie getrokken. De conclusie is dat LZV's niet per se leiden tot een hogere aslast en dat voor dezelfde hoeveelheid vervoerde goederen de slijtage van de weg minder is [25]. Opgemerkt wordt dat deze conclusie verschilt van de conclusie in de scenariostudie van Ecorys (2020), namelijk dat door het hogere totaalgewicht en het grotere aantal assen, de totale impact van LZV's groter is dan die van reguliere vrachtwagens en trekkers met opleggers [15]. Op basis van de betreffende rapporten hebben wij geen verklaring kunnen vinden van deze verschillen.

Bevinding 10:

Als een marginale toename van het totaalgewicht van zwaardere voertuigen leidt tot een marginale toename van de aslast, dan is een verhoging te verwachten van de kosten voor beheer en onderhoud van wegverhardingen.

In de modelmatige scenariostudie van Arcadis (2023) is als gevoeligheidsanalyse voor de belasting van het netwerk in relatie tot assetmanagement, een extra variant doorerekend waarbij de gemiddelde aslast per aslastklasse is verhoogd met 10% als gevolg van zwaardere belading. Uit de modelberekening blijkt dat er sprake is van een verwachte toename van kosten voor beheer en onderhoud doordat de asfaltdikte vervangen en opgehoogd moet gaan worden. Door de toename van het verkeer is de verhardingsconstructie niet sterk genoeg om het toekomstige zwaar verkeer te kunnen dragen zonder te bezwijken (in verband met scheurvorming). Hierop zal de asfaltconstructie moeten worden aangepast. Daarbij wordt aangenomen dat dit gebeurt als de deklaag rijbaanbreed moet worden vervangen. De extra asfaltdikte heeft geen algehele aanpassing van geleiderail constructies, berm, portalen en kunstwerken tot gevolg [14].

In de gevoeligheidsvariant worden geen wijzigingen van het onderhoud met betrekking tot rafeling verwacht. Dit komt omdat er geen wetenschappelijke studies zijn waaruit blijkt hoe rafeling zich ontwikkelt bij een toename in het vrachtverkeer of zwaarder vrachtverkeer. Nader onderzoek naar deklaagonderhoud is nodig om beter zicht te krijgen op de mogelijke impact op rafeling door (meer) zwaar wegverkeer [14].

Met betrekking tot kunstwerken is de conclusie in het onderzoek dat de impact op de verkorting van de levensduur lijkt mee te vallen [14].

Bevinding 11:

Overbelading heeft een grote impact op de wegbelasting, bestaat vaak uit een combinatie van totaalgewicht en overschrijding van aslast, en neemt in ernst toe in de tijd.

In de rapporten die wij hebben gevonden, wordt de marginale toename van het totaalgewicht meegenomen in onderzoek naar overbelading. In een oudere studie van Rijkswaterstaat (1996) wordt aangegeven dat overbelading van vrachtverkeer bij overbeladen assen onevenredig veel schade aan wegen kan veroorzaken. Het begrip overbelading kan verschillend worden geïnterpreteerd. Voor een wegbouwkundige is sprake van overbelading als het totaalgewicht van een voertuig groter is dan 500 kN en als een as zwaarder is dan 100 kN [16]. In de scenariostudie van Ecorys in opdracht van Rijkswaterstaat (2020) wordt van overbelading gesproken als een voertuig in totaal meer dan 50 ton weegt, als een voertuig meer weegt dan is toegestaan volgens het kentekenbewijs of als de aslast op een van de assen hoger is dan toegestaan [15].

Rijkswaterstaat geeft in een studie naar overbelading (2014) aan dat op basis van empirische Weight-in-Motion-gegevens (WiM) is vastgesteld dat 6,5% van de voertuigen in het reguliere transport is overbeladen op voertuiggewicht en 19,7% is overbeladen op een as. Bij LZV-voertuigen is dit respectievelijk 7,2% en 30,9%. Bij voertuigen in het exceptionele transport is dit respectievelijk 13,3% en 82,7% (conform ontheffing) en bij rijdende werktuigen is dit respectievelijk 49,3% en 92,8%. Uitgangspunt van de studie is dat tweederde van het totaal aan beheer en onderhoudskosten is gerelateerd aan verhardingen en kunstwerken, waarbinnen de verhardingen een aandeel hebben van ongeveer 60%. Rijkswaterstaat concludeert dat de problemen van overbelading zich met name bevinden op het gebied van de aslasten bij de zwaardere voertuigen (enkele procenten van het verkeer op het weggennet) en minder op de overbelading van voertuigen in het reguliere transport. De conclusie is daarom dat de meeste aandacht moet uitgaan naar de overschrijdingen van aslasten en voertuigen en dan relatief meer bij het exceptioneel transport [36].

Rijkswaterstaat geeft in een recent rapport (2020) aan dat overbelading voor een groot aandeel van de onderhoudskosten zorgt. Ook wijst Rijkswaterstaat op een studie van TNO (uit 2008) waaruit blijkt dat door overbelading de vermoeiingseffecten voor bruggen mogelijk groter zijn [4].

In een recent empirisch onderzoek van Panteia (2022) zijn gegevens gebruikt van 9 WiM-maatlocaties om overbelading in beeld te brengen. Uit de analyse blijkt dat bij 10,1% (bijna 252.000) van alle gemeten voertuigen sprake is van

overbelading. Verder wordt geconcludeerd dat overbelading op basis van aslast driemaal zo vaak voorkomt als overbelading op basis van aslast én totaal gewicht.

Ook wordt geconcludeerd dat overbelading op basis van alleen totaal gewicht niet voorkomt. Het blijkt dat als de norm voor totaalgewicht wordt overschreden, ook minimaal een van de normen voor een aslast wordt overschreden [17].

Met betrekking tot de ernst van de overbelading, geeft het Panteia-onderzoek aan dat meer dan de helft van de gevallen van overbelading in de categorie 100-110% valt, ruim een derde in de categorie 110-125% en een tiende in de categorie >125% overschrijding van de norm. Met betrekking tot de ontwikkeling van overbelading in de tijd (vergelijking met gegevens uit 2014), blijkt dat overbelading van het totaalgewicht bij regulier transport fors is afgenomen (van 6,5% naar 2,3%) en bij LZV's is toegenomen (van 7,2% naar 9,4%). Ook is de ernst van de overbelading bij LZV's toegenomen. Met betrekking tot de overbelading op aslasten is de ontwikkeling positiever en lijkt er voor beide categorieën sprake te zijn van een afname van ongeveer een factor 2 [17].

Uit het Panteia-onderzoek blijkt ook dat in relatieve zin vier-assige vrachtwagen-aanhanger combinaties het vaakst overbeladen zijn, namelijk in ruim 45% van de gevallen. Qua ernst van de overschrijding is de categorie T2O de koploper [17].

6 Effecten van assen

6.1 Interpretatie van onderzoeksvraag

Deelvraag 3 luidt:

Wat zijn de effecten van meer assen op het wegennet? Wordt het gewicht door meerdere assen beter verdeeld of veroorzaken meer assen een extra last op het Nederlandse hoofdwegennet?

Opmerkingen bij de vraagstelling zijn:

- De effecten van meer assen worden beschouwd bij gelijkblijvend totaalgewicht.
- Bij assen kan het gaan om zowel losse assen als een asgroep. In dit onderzoek wordt uitgegaan van losse assen.

6.2 Bevindingen

Bevinding 12:

De aslast heeft een impact tot de macht n op de (gehele) asfaltconstructie.

De aslast draagt tot de n -macht bij aan schade aan de wegverharding, zowel aan deformatieschade (waarbij het asfalt blijvend rekt en vervormt, zoals spoorvorming) als aan vermoeiingsschade. Een n -macht van 2 betekent dat een drie keer zo hoge aslast een negen keer zo grote bijdrage aan de schade levert.

De n -macht van 4 voor aslasten bij vermoeiingsschade van wegverharding is een veelgebruikte vuistregel, opgesteld door de American Association of State Highway and Transportation Officials. Deze regel beschrijft de schade als functie van het aantal equivalente 10 ton assen ($\frac{A}{10}$), en is alleen van toepassing op het gehele asfaltwegdek.

$$totale\ schade = \sum \left(\frac{A}{10}\right)^4$$

In bovenstaande formule is A de aslast van een specifieke as. De formule normaliseert de aslast door deze te delen door de equivalente aslast (10 ton). De uitkomst van deze deling tot de macht 4 is de equivalente aslast factor, een factor om de relatieve schade van deze specifieke as op het wegdek aan te geven, vergeleken met een standaard as van 10 ton. Het $\sum$ -teken geeft aan dat de uitkomsten voor alle assen bij elkaar opgeteld worden. De somming resulteert in een weergave van de schade van alle assen bij elkaar, vergeleken met een as van 10 ton. Volgens een rapport van Topsector Logistiek is de vierdemachtsregel de beste indicator voor schade aan het asfalt [8]. Volgens het Finse ministerie van Transport geldt de vierdemachtsregel voor sterke wegdekken, waarvan de asfaltdikte groter is dan 150 mm. Voor zwakke wegdekken gaat de n richting de 8-10.

De vierdemachtsregel is te simpel om de werkelijkheid in beeld te brengen, maar het geeft een indicatie van de relatieve schadelijkheid van vrachtwagens met verschillende aslasten. Daarnaast benadrukt het de non-lineaire relatie tussen schade en aslast. De macht 4 wordt vaak vervangen door een macht α , waarbij α afhangt van de sterkte van het asfalt [19]. Dit wordt bevestigd door een studie van de Zweedse Transportonderzoeksvereniging TFK en het Zweedse Department of Transportation and urban economics (2007), gericht op de ervaringen van vervoerders met het European Modular System. De onderzoekers hebben vervoerders en transportautoriteiten geïnterviewd. De studie geeft daarbij aan dat een stevig wegdek correspondeert met een lagere macht [25].

De non-lineaire bijdrage aan de schade van de aslast aan het asfalt wordt in meerdere studies aangehaald. Onder andere de studies van Rijkswaterstaat [2], ROADEX [29] en Topsector Logistiek [8] nemen de vierdemachtsregel als uitgangspunt.

Doordat de aslast tot de n -macht bijdraagt aan schade aan het asfalt, hebben verkeerd beladen voertuigen een grote impact. Rijkswaterstaat geeft aan dat overbelading tot overmatige slijtage kan leiden van zowel wegdek als kunstwerken [2]. Uit de gevoerde interviews bleek dat de aslast vaak wordt overschreden door verkeerd beladen voertuigen, waarbij de extra last tot de n -macht extra schade veroorzaakt. Daarnaast is er structureel sprake van overbelading, waardoor de meeste wegen hun levensduur niet halen.

Bevinding 13:
Een hogere aslast veroorzaakt meer schade aan het wegdek dan een lagere aslast.

Het gewicht van een zwaar voertuig wordt verdeeld over meerdere assen. Afhankelijk van de wijze van belading komt een bepaald gedeelte van het totaalgewicht voor rekening van een specifieke as. Deze as brengt de last over op het wegdek.

Uit vele onderzoeken blijkt dat de aslast een belangrijke factor is in de schade aan het wegdek. Zo laat modelonderzoek van de Nordic Road Association (2007) zien dat modulaire vrachtwagencombinaties minder schade veroorzaken aan het wegdek dan de vijf-assige vrachtwagen, primair door lagere aslasten [24]. Ook een studie van de universiteit van Zaragoza (2020) komt tot de conclusie dat een lagere aslast als gevolg van betere verdeling van de last leidt tot minder impact op het wegdek. Deze studie is gebaseerd op rijtesten op de weg [23].

Rijkswaterstaat (2006) concludeert dat een lagere gemiddelde aslast zorgt voor minder spoorvorming op het wegdek [2]. Een rapport van de OECD haalt aan dat een aslast van 12 ton een verdubbeling van de impact op het wegdek veroorzaakt ten opzichte van een aslast van 10 ton, zoals eerder beschreven in Bevinding 5. Het beter verdelen van de lading, en daarmee het verlagen van de hogere aslasten, kan de schadelijke effecten van de vrachtwagen substantieel verminderen. Daardoor verminderen de schade aan het wegdek en de onderhoudskosten. Deze studie is gebaseerd op literatuurstudie en een benchmarking studie.

Ook modelonderzoek door het Zweedse Centre for Transport Studies (2015) komt tot de conclusie dat een lagere aslast minder schade aan het wegdek veroorzaakt dan een hogere aslast. In dit onderzoek is voor voertuigcombinaties met verschillende totaalgewichten (28, 34, 40, 50 en 50+ ton) gekeken wat het aantal equivalente 10-ton assen is bij een verschillend aantal assen. Bij meer assen is de aslast lager, wat resulteert in minder schade [26].

Bevinding 14:
De aslast weegt zwaarder door in de schade aan het wegdek dan de inwerktijd.

In voorgaande bevindingen is een aantal keer aangehaald dat een vrachtwagen met gelijkblijvend totaalgewicht minder schade aan het wegdek veroorzaakt als hij meer assen heeft. Als een vrachtwagen meer assen heeft, zijn de aslasten lager. Dit resulteert in minder schade aan het wegdek. Dit impliceert dat de toename in aantal assen (en daarmee een toename in inwerktijd) minder extra schade veroorzaakt dan de afname in aslast aan schade reduceert. Het totale schadelijke effect is lager.

Dit verschil in impact tussen aslast en inwerktijd is expliciet gemaakt in een literatuurstudie van Rijkswaterstaat (2006). Deze studie maakt onderscheid tussen deformatieschade en vermoeiingsschade aan asfalt. Bij deformatieschade rekt en vervormt het asfalt (deels) blijvend, zoals bij spoorvorming. Bij deformatieschade zijn aslast en de inwerktijd van deze last belangrijke factoren. De askracht draagt tot de n-macht bij aan de schade; de inwerktijd heeft een lineaire bijdrage [2].

Een vrachtwagen met meer assen heeft bij gelijkblijvend gewicht een lagere gemiddelde aslast. Een vrachtwagen met meer assen heeft echter wel een hogere inwerktijd, aangezien het asfalt op één punt meer assen te verwerken krijgt. Het asfalt krijgt hierdoor minder tijd om te herstellen.

Door het verschil tussen de niet-lineaire bijdrage van de askracht en de lineaire bijdrage van de inwerktijd, is te zien in onderstaande tabel dat de totale deformatieschade aan het wegdek afneemt bij een hoger aantal assen bij gelijkblijvend totaalgewicht [2].

Type	Aslast	Invloed kracht (n=2)	Invloed inwerking (lineair met #assen)	Totaal effect
Reguliere vrachtwagen met 5 assen	5 x 10 ton	100%	100%	100%
LZV met 5 assen	5 x 10 ton	100%	100%	100%
LZV met 8 assen	8 x 6,25 ton	39%	160%	63%
LZV met 10 assen	10 x 5 ton	25%	200%	50%

Tabel 2. Overzicht invloed van LZV op deformatieschade bij n=2

Bij vermoeiingsschade spelen met name aslast en het aantal aspassages een rol. Bij elke aspassage buigt het asfalt door. De schade die hierdoor ontstaat zal na verloop van tijd zo groot zijn dat de constructie scheurt. De mate van schade is afhankelijk van de grootte van opgewekte spanningen en rekken. Een vrachtwagen met meer assen heeft logischerwijs een hoger aantal aspassages. De aslast heeft een niet-lineaire bijdrage aan de vermoeiingsschade, waarbij vaak de vuistregel $n=4$ wordt gehanteerd. De bijdrage aan de vermoeiingsschade van de aspassages is lineair.

In onderstaande tabel is te zien dat de totale vermoeiingsschade afneemt bij een hoger aantal aspassages met lagere aslast (bij gelijkblijvend totaalgewicht).

Type	Aslast	Invloed kracht ($n=4$)	Invloed aspassages	Totaal effect
Reguliere vrachtwagen met 5 assen	5 x 10 ton	100%	100%	100%
LZV met 5 assen	5 x 10 ton	100%	100%	100%
LZV met 8 assen	8 x 6,25 ton	15%	160%	24%
LZV met 10 assen	10 x 5 ton	6%	200%	12%

Tabel 3. Overzicht invloed van LZV op vermoeiingsschade bij $n=4$

In de gevoerde interviews is als kanttekening bij het verschil in schadelijke effect tussen aslast enerzijds en inwerktijd anderzijds naar voren gebracht dat de snelheid ook een rol speelt bij de inwerktijd. Bij filevorming, en daarmee een lagere snelheid, drukt de aslast gedurende langere tijd op hetzelfde stuk asfalt.

Het verschil in effect op asfalt tussen aslast en inwerktijd wordt bevestigd door verschillende andere onderzoeken [8, 23].

Bevinding 15:
Er zijn verschillende effecten van aslasten en aantal assen op kunstwerken.

Door het verdelen van het totaalgewicht over meer assen, gaat het aantal assen omhoog en de aslast per as omlaag. De effecten hiervan zijn verschillend voor hoofddraagsysteem en subdraagsysteem van kunstwerken [36]. Het hoofddraagsysteem draagt de gehele constructie. Wanneer dit systeem wordt aangetast, ontstaat het risico dat het kunstwerk instort. Het subdraagsysteem werkt lokaal en draagt bij aan het totale draagvermogen van het kunstwerk. Wanneer aantasting optreedt, resulteert dit in lokale schade. In zo'n geval is er niet direct bezwijkgevaar, maar kan er verhoogd risico ontstaan voor de verkeersveiligheid, zoals een gat in het wegdek.

Voor stalen kunstwerken geldt dat het aantal assen en de aslasten beperkt invloed hebben op het hoofddraagsysteem. Schade die ontstaat aan dit systeem is voornamelijk het resultaat van een hoger totaalgewicht van de vrachtwagen en een hoger aantal vrachtwagens. Een hoger gewicht van een vrachtwagen leidt direct tot een hogere belasting op het kunstwerk; een hoger aantal vrachtwagens geeft een grotere kans op meer vrachtwagens tegelijkertijd op het kunstwerk. Uit een Europese scenariostudie van TML, TNO, RWTH en LCPC (2008) in opdracht van de Europese Commissie blijkt dat, bij gelijkblijvend gewicht, vrachtwagencombinaties met meer assen niet significant minder schade toebrengen aan kunstwerken [18].

Volgens het rapport van Rijkswaterstaat (2014) geldt voor betonnen kunstwerken dat zowel aslasten als het aantal assen van een vrachtwagen weinig invloed hebben op het hoofddraagsysteem. Deze systemen hebben met name te lijden onder de toename van het aantal vrachtwagens, met name de kunstwerken met een grotere overspanning [36].

Het aantal assen en de aslasten hebben wel effect op het subdraagsysteem, met name van stalen kunstwerken. Hogere aslasten zorgen bij stalen kunstwerken voor grotere wisseling in *grootte* van de spanning in het subdraagsysteem van het stalen kunstwerk. Een groter aantal assen vergroot het *aantal* wisselingen. Zowel de grootte van de spanning als het aantal spanningswisselingen resulteert in vermoeiingsverschijnselen. Zoals blijkt uit bevinding 14 en beschreven door [7], is de vermoeiing evenredig met het aantal wisselingen tot de eerste macht en met de spanning tot de vierde macht. Daarom zal een vrachtwagen met gelijkblijvend gewicht met meer assen geen ongunstig effect hebben op het kunstwerk. Deze redenering geldt ook voor voegovergangen.

Volgens een ander rapport van TNO (2021) wordt de mate van vermoeiing van stalen bruggen met name bepaald door het aantal wisselingen van het belastingeffect. Deze wisselingen worden veroorzaakt door zware assen die de constructie passeren. Door de toename in verkeer neemt ook het aantal spanningswisselingen toe en neemt de levensduur af. De hoogte van de spanning is een belangrijke factor. Daarom wordt gekeken naar spanning onder invloed van de aslast. Hogere spanningen wegen zwaarder mee dan lagere spanningen, waardoor de aslast een belangrijke factor is [9].

Voor betonnen bruggen gelden andere mechanismen, behandeld in een modelstudie door TNO (2008). Een belangrijk mechanisme is scheurvorming, dat op kan treden door verkeersbelasting. Hierdoor kunnen processen als corrosie versnellen. Scheurvorming is primair gerelateerd aan optredende spanningen, onder andere onder invloed van de aslast. Een hogere aslast leidt tot hogere spanningen en daarmee tot een hoger risico op scheurvorming. Vermoeiing is voor betonnen bruggen vrijwel nooit een maatgevend mechanisme [7].

Bevinding 16:

Een kortere afstand tussen de assen zorgt voor meer schade aan het wegdek.

Naast de aslast en het aantal assen, laat de literatuur zien dat ook de onderlinge afstand tussen de assen een belangrijk gegeven is. Een scenariostudie van Ecorys in opdracht van Rijkswaterstaat (2020) geeft aan dat de afstand tussen de assen invloed heeft op asfalt. Bij uitoefening van druk vervormen de asfaltlagen. De herstelperiode van het asfalt hangt af van de elasticiteit van het materiaal. Bij kort opeenvolgende drukperiodes (zoals banden die snel achter elkaar volgen door korte afstanden tussen assen) heeft het asfalt minder tijd om te herstellen. Mede daarom zijn bij hogere aslasten grotere afstanden tussen de assen nodig om slijtage te beperken [15].

Het feit dat het asfalt minder tijd heeft om te herstellen bij passering van meerdere assen, is een relevant gegeven voor de ontwikkeling van truck platooning. Bij deze ontwikkeling passeren er meerdere zware assen met relatief korte afstand. In een presentatie uit 2021 laat het ENSEMBLE consortium zien dat er meerdere parameters zijn om te zorgen dat de levensduur van het wegdek niet verandert, zoals belading, onderlinge afstand tussen vrachtwagens en het aantal vrachtwagens in een platoon [37].

De OECD (2011) geeft aan dat het effect van assen afhangt van de onderlinge afstand. De schade die optreedt als resultaat van een as die (op korte afstand) volgt op een andere as is groter dan de schade die optreedt als resultaat van één enkele as. Uit de afgenomen interviews is naar voren gekomen dat de onderlinge afstand tussen assen een factor van invloed is, maar dat de precieze invloed lastig hard te maken is [19].

Een studie door ROADDEX (2014) heeft testen uitgevoerd op een weg in Finland. In deze test reden twee vrachtwagens van elk 60 ton met 4 km/h over de weg. De resultaten laten zien dat de waterdruk in de ondergrond verhoogt onder invloed van dicht op elkaar volgende assen. De ondergrond heeft te weinig tijd om te herstellen. Hierdoor vermindert de stijfheid van de grondlagen. Als gevolg van meerdere opeenvolgende zware belastingen, kan dit leiden tot meer vervorming en spoorvorming op het wegdek. De afstand tussen de assen is bestudeerd aan de hand van berekeningen binnen het ROADDEX-project. Uit deze berekeningen bleek dat de minimale benodigde afstand tussen twee opeenvolgende assen 1.3 meter is; het vergroten van de onderlinge afstand tussen assen heeft een significant effect tot 1.6 meter [29].

Bevinding 17:

De effecten van de assen op het wegdek en ondergrond hangen af van het onderdeel waarnaar wordt gekeken.

Uit de interviews met de experts blijkt dat er verschil is tussen de effecten op verschillende delen van het wegdek. Het gewicht op één as kan op een bepaalde manier schade veroorzaken aan de deklaag, maar indien het gehele wegdek wordt beschouwd zijn de effecten weer anders. De aslast draagt volgens een n-macht bij aan de schade aan het wegdek, maar deze n-macht geldt niet als $\sec$ naar de schade aan de deklaag wordt gekeken. Schade aan de deklaag is een belangrijke factor voor beheer en onderhoud. Ook blijkt uit de interviews dat de ondergrond weinig schade ondervindt van langsrijdende zware assen. Zolang de voertuigen in beweging zijn, betreft de schade door de aslasten voornamelijk de deklaag. Dit is echter anders in het geval van filevorming.

Daarnaast haalt een modelonderzoek van het Zweedse Centre for Transport Studies (2015) aan dat er weinig bekend is over de kwaliteit van de weg onder de deklaag. Wegen die hetzelfde geclassificeerd worden en eenzelfde belasting ervaren, kunnen een heel andere levensduur hebben. Dit kan het resultaat zijn van het materiaal waaruit de ondergrond bestaat. Er is veel informatie over de deklaag, maar de variatie in de constructie eronder maakt het lastig om de achteruitgang in kwaliteit te beoordelen [26].

Bevinding 18:***Truck platooning kan negatieve effecten hebben op wegdek en kunstwerken.***

Truck platooning heeft een aantal effecten op het wegdek en kunstwerken. Volgens een studie van TNO (2018), waarin een aantal toekomstscenario's voor truck platooning wordt gedefinieerd, is de verwachting dat platooning leidt tot minder vetergang, het ten gevolge van storende krachten en koerscorrecties afwijken van de rechte lijn. Indien er minder of geen vetergang optreedt, zal de belasting steeds in hetzelfde spoor plaatsvinden. Het is echter de verwachting dat het mogelijk is om de vetergang (deels) te behouden.

Naast effect op het asfalt, heeft dit effect op de constructie van kunstwerken. Zo zal eerder vermoeiing optreden bij orthotrope brugdekken waarbij het spoor precies boven de lasnaden van de troggen loopt [38]. Ook in een presentatie van het programma ENSEMBLE over de impact van platooning op wegen en bruggen wordt de vetergang genoemd als variabele die invloed heeft op de uiteindelijke mate van schade aan het wegdek [37].

Daarnaast wordt de afstand tussen de vrachtwagens genoemd als relevante factor in schade aan het wegdek [37].

Dit geldt ook voor bruggen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen statische belasting (belastingeffecten met grote herhalingstijd) en wisselende belasting (door passerende assen).

De statische belasting is met name relevant voor bruggen met grote overspanning, zoals betonnen kokerbruggen of de hoofddraagconstructie van een stalen brug van meer dan 100 meter. De belasting betreft de hoofddraagconstructie, waarvoor met name de kans op meerdere zware voertuigen op de brug relevant is. De brug moet in zo'n geval het gelijktijdig aanwezige gewicht van deze zware voertuigen dragen. De afstand tussen de vrachtwagens c.q. de assen van vrachtwagens is daarom een belangrijke factor [39].

Voor de wisselende belasting (resultierend in vermoeiing) zijn wisselingen in voertuiggewicht door aspassages van met name zware voertuigen van belang. Gewichtswisselingen zorgen voor spanningswisselingen, die bijdragen aan meer vermoeiing en daarmee een kortere levensduur. De belasting betreft de hoofddraagconstructie van met name stalen bruggen. De afstand tussen de voertuigen c.q. tussen de assen van de voertuigen, is daarom relevant. Volgens de scenariostudie van TNO is platooning alleen relevant voor de beide belastingtypen bij overspanningen van 200 meter of minder [38]. De meeste overspanningen vallen in deze categorie.

7 Effecten van wielen

7.1 Interpretatie van onderzoeksvraag

Deelvraag 4 luidt:

Wat zijn de effecten van meer wielen op het Nederlandse hoofdwegennet (eventueel aangevuld met verschillen in bandenspanning)? Wordt het gewicht met meer wielen beter verdeeld of veroorzaakt het bijkomende schade?

Opmerkingen bij de vraagstelling zijn:

- Er zijn drie belangrijke typen banden: enkellucht, dubbellucht en breedbanden. Enkellucht bestaat uit twee banden per as met een breedte van 220 mm. Dubbellucht bestaat uit vier banden per as, elk met een breedte van 220 mm. Breedbanden bestaan uit twee banden per as van elk 270 mm.
- Wielen en banden worden beschouwd als twee verschillende dingen. Een as heeft twee wielen, afhankelijk van de bandenmontering kunnen er meerdere banden op zitten. Bij dubbellucht heeft de as twee wielen met elk twee banden.

7.2 Bevindingen

Bevinding 19:

Een groter contactoppervlak tussen band en infrastructuur zorgt voor een betere lastverdeling.

De aslast wordt overgebracht op het wegdek door de banden. Deze krachtoverbrenging vindt plaats via het contactoppervlak. Het contactoppervlak van een band is het oppervlak van het deel van de band dat het onderliggende wegdek raakt. Bepalend hierbij zijn de breedte van het contactvlak, en de diameter [13]. Een groter contactoppervlak tussen band en wegdek betekent een groter oppervlak om de last mee te verdelen. De last per vierkante centimeter gaat daardoor omlaag. Een groter contactoppervlak zorgt daarom voor een betere lastverdeling. In een inventarisatiestudie van Rijkswaterstaat naar de wenselijkheid van langere en zwaardere voertuigen (1997) wordt aangegeven dat de slijtage van het wegdek grotendeels wordt bepaald door het gewicht dat overgedragen moet worden en de oppervlakte van het gedeelte van de band dat het wegdek raakt [1].

Zowel in de gevonden literatuur als in de gevoerde interviews met experts komt deze conclusie naar voren. Volgens DWW (2003) wordt de band wegvriendelijker als de contactbreedte en/of de diameter groter wordt [13]. Ecorys (2020) geeft ook aan dat de kracht beter wordt verdeeld naarmate het contactoppervlak groter is [15]. De studie uit Leuven, in opdracht van de Europese Commissie, heeft input van stakeholders gevraagd via een enquête. Deze enquête bevatte vragen over de verwachte effecten van LZV's op onder andere transportvraag, infrastructuur en intermodaliteit. Het Franse ministerie van Transport geeft hierin aan dat vrachtwagens dubbele banden of breedbanden moeten hebben om hun schade aan de infrastructuur (wegdek en kunstwerken) te beperken [18]. Een studie door ROADDEX [29] haalt aan dat dubbellucht over het algemeen de meest wegvriendelijke keuze is. Dit komt doordat het contactoppervlak van de wielen het grootst is.

In een studie naar wegvriendelijke banden door Rijkswaterstaat wordt een concept aangehaald waarmee de schade aan het wegdek van verschillende vrachtwagenbanden vergeleken kan worden [13]. Dit concept is ontwikkeld binnen het EU-programma COST. Om tot dit concept te komen hebben zij full-scale experimenten, numerieke simulaties en praktijkmetingen uitgevoerd. De resultaten laten zien dat de enkele voorband met een lagere aslast meer schade veroorzaakt dan dubbellucht met een hogere aslast.

Het rapport van Ecorys (2020) geeft aan dat het contactoppervlak, en daarmee de impact op de infrastructuur (wegdek en kunstwerken), afhankelijk is van de vorm van de band. Voor het realiseren van de juiste vorm is de bandenspanning relevant [15].

Bevinding 20:***Er zijn verschillende perspectieven op de effecten van bandenspanning op het wegdek.***

Zoals beschreven bij Bevinding 19, is het contactoppervlak afhankelijk van de vorm van de band. De vorm van de band hangt (onder andere) af van de bandenspanning. Het is van belang om het contactoppervlak tussen band en wegdek zo groot mogelijk te maken, om de last zo goed mogelijk te verdelen. Zowel bij (te) hoge als bij (te) lage bandenspanning is het contactoppervlak kleiner dan bij de juiste bandenspanning. Meerdere factoren bepalen de juiste bandenspanning, zoals het profiel, de aspositie en afmeting van de band en voertuigaspecten zoals belading en gebruiksomstandigheden [15].

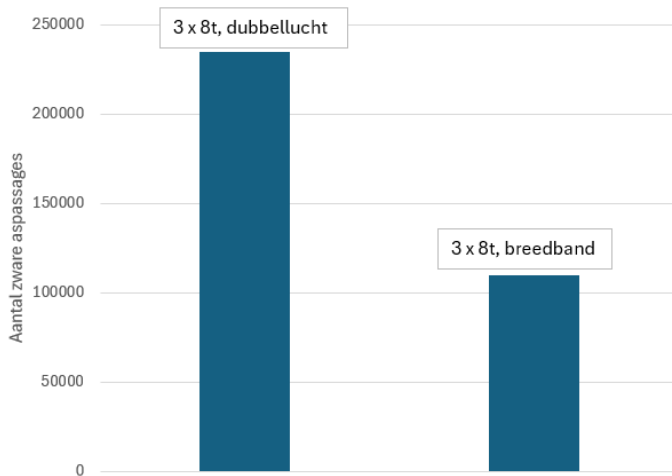
Een studie door ROADDEX (2014) heeft door middel van berekeningen de levensduur geschat van verschillende typen wegdekken in verschillende landen. De studie laat zien dat de levensduur van het wegdek afneemt met oplopende bandenspanning. Hierbij hebben zij de bandenspanning laten variëren met stappen van 100 kPa, tussen de 600 en 1000 kPa. De afname in voorspelde levensduur verschilde per land, van een kwart tot de helft van de oorspronkelijke levensduur. Dit verschil komt door een verschil in dikte van het wegdek [29]. Een ROADDEX-studie uit 2014 [29] concludeert ook dat lagere bandenspanning de spanningen in het wegdek significant kan verminderen. Dit vermindert het risico op permanente vervorming. De effecten op de ondergrond zijn niet significant.

Uit de gevoerde interviews komen verschillende perspectieven naar voren over de effecten van bandenspanning op het wegdek. Enerzijds wordt benadrukt dat hoe lager de bandenspanning is, hoe beter het is voor het wegdek. Dit komt vooral doordat het contactoppervlak langer wordt. Hierbij is wel sprake van een ondergrens. Dit sluit aan bij de hiervoor besproken studies. Anderzijds komt in de interviews ook naar voren dat een lagere bandenspanning schadelijke effecten heeft. Een lagere bandenspanning en bijbehorend groter contactoppervlak, zorgt voor een hogere rolweerstand. Door deze extra rolweerstand slijt de deklaag van asfalt sneller, en is de deklaag eerder aan vervanging toe. Daarnaast zorgt de hogere rolweerstand voor meer brandstofverbruik van de vrachtwagen. Lagere bandenspanning resulteert dus in schade aan het wegdek, hogere brandstofkosten voor de vervoerder en meer uitstoot van schadelijke emissies. Daarnaast leidt het tot hoge piekbelasting en daarmee deformatieschade. Dit gebeurt met name in combinatie met aslastoverschrijdingen bij voegovergangen.

Bevinding 21:***Het gebruik van super singles (breedbanden) veroorzaakt veel schade aan wegdek en kunstwerken.***

In de jaren '90 vond de ontwikkeling naar supersingles plaats. Deze banden vergroten het contactoppervlak ten opzichte van normale banden, en waren een alternatief voor dubbellucht (twee normale banden naast elkaar). Omdat het contactoppervlak kleiner werd maar de toegestane aslast hetzelfde bleef, is de druk per vierkante centimeter fors toegenomen. Het grote gebruik van supersingles is gunstig voor de vervoerders. Door de hogere bandenspanning hebben supersingles minder rolweerstand, waardoor de vrachtwagen minder brandstof gebruikt en daardoor lagere kosten heeft.

Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar de effecten van supersingles op de infrastructuur. Begin jaren '90 zijn metingen uitgevoerd waaruit bleek dat supersingles een significante impact hebben op het subdraagsysteem van stalen kunstwerken. De bandenspanning van een supersingle is hoger dan van normale banden, waardoor de gemeten wegbelasting gemiddeld 31% hoger was [12]. Dit resulteert in snellere lokale vermoeiing, zoals de lasverbindingen in orthotrope brugdekken [39]. Ook een monitoringsonderzoek van Arcadis (2006) laat zien dat de levensduur van het wegdek negatief wordt beïnvloed bij gebruik van supersingles [3]. Dit is in lijn met onderzoek van ROADDEX [29]. Als oorzaak wijzen zij naar de spanningen veroorzaakt door de supersingles, die veel hoger zijn dan de spanningen veroorzaakt door dubbellucht. Dit wordt geïllustreerd door figuur 2 op de volgende bladzijde. De eerste twee staven zijn weergaves van de levensduur van het wegdek bij gebruik van vrachtwagens met 3 assen van elk 8 ton. De eerste staaf is de levensduur van het wegdek bij gebruik van dubbellucht, de tweede staaf is de levensduur bij gebruik van supersingles. De levensduur bij gebruik van dubbellucht is ruim twee keer zo groot als bij gebruik van supersingles.



Figuur 2. De levensduur van wegdek bij verschillende typen banden (bron: ROADEX [29])

In 2004 heeft de Roadway Infrastructure Group van de Virginia Tech Transportation Institute een inschatting gemaakt van het verschil in impact tussen supersingles en dubbellucht aan het wegdek. Bij een snelheid van 105 km/u is de mate van spoorvorming door supersingles tussen de 18 en 57% groter dan bij dubbellucht. Kanttekening hierbij is dat de nieuwe generatie supersingles een lagere radiale stijfheid heeft, waardoor de dynamische impact van de band vermindert [43].

Onderzoek door Ecorys (2020) in opdracht van Rijkswaterstaat geeft aan dat de impact van supersingles op lokale vermoeiing van bruggen (op het subdraagsysteem) vele malen groter is door de hogere bandenspanning. Door deze hogere bandenspanning treedt er minder vervorming van de band op bij verticale oneffenheden, waardoor de impact groter is. Bij dubbellucht is deze spanning lager, omdat de kracht kan worden verdeeld over twee banden [15]. Vooral stalen bruggen ondervinden veel schade door de breedband [44].

Simulaties uitgevoerd door ROADEX [29] laten zien dat de spanningen in zowel wegdek als ondergrond hoger zijn bij supersingles dan bij dubbellucht. De spanningen bij supersingles zijn in deze studie bijna 50% hoger dan de spanningen bij dubbellucht. Daarnaast laat het model ontwikkeld door Europese onderzoekscommissie COST 334 zien dat het prototype breedband voor de aangedreven as 22% meer schade aan het wegdek veroorzaakt dan dubbellucht. Voor een getrokken as is de extra schade 17% [13].

Voor de wegbeheerder resulteert het gebruik van breedbanden in een verhoging van de wegbelasting en daardoor in een negatief effect op de levensduur van het wegdek. Eerder onderzoek van Rijkswaterstaat heeft aangetoond dat de extra kosten van onderhoud van asfalt als gevolg van het gebruik van breedbanden circa 10% is [14]. Tegelijkertijd wordt in de literatuur ook aangehaald dat het lastig is hard te maken in welke mate de breedband verantwoordelijk is voor de impact op het wegdek. Innovaties en trends komen immers vaak tegelijk. In een rapport van Rijkswaterstaat (2020) staat beschreven dat de reparatiekosten met een directe relatie met vermoeiing het resultaat zijn van veranderingen in het gebruik van de infrastructuur (zowel wegdek als kunstwerken). Hierbij wordt gekeken naar verschillende (nieuwe) soorten voertuigen, hogere aantallen en ook de breedband [4].

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Wij beantwoorden de hoofdvraag van deze literatuurstudie door de vier deelvragen te beantwoorden.

8.1.1 Beantwoording deelvraag 1: effecten van totaalgewicht zware voertuigen

Deelvraag 1: Wat zijn de effecten van het totaalgewicht van een zwaar voertuig (uitgesplitst per gewichtscategorie) op de infrastructuur van het hoofdwegennet? Veroorzaakt een voertuig dat zich aan de voorgeschreven maximale aslasten houdt, meer schade aan het wegdek en kunstwerken naarmate het totaalgewicht van het voertuig hoger is?

In de in deze literatuurstudie verzamelde rapporten is geen onderzoek verricht naar louter het effect van zwaardere voertuigen (uitgesplitst naar verschillende gewichtscategorieën) op de infrastructuur van het Nederlandse hoofdwegennet. Duidelijk wordt dat er vele verschillende effecten zijn van zware voertuigen, waaronder slijtage aan de weginfrastructuur (Bevinding 1). Ook wordt duidelijk dat de effecten van het totaalgewicht van zware voertuigen op het HWN zeer verschillend zijn voor wegverhardingen (onderverdeeld naar: deklaag, tussenlagen en wegfundering) en kunstwerken (bruggen en viaducten: staal en beton; overige kunstwerken, Bevinding 2), waardoor het verschillend doorweegt in de onderhoudskosten (Bevinding 3). De exacte, kwantitatieve impact van het totaalgewicht en aslast van zware voertuigen op het HWN (wegverhardingen en kunstwerken) is onbekend (Bevinding 4). Daarnaast wordt in de literatuur aangegeven dat naast totaalgewicht veelal andere voertuigparameters van belang zijn voor de schade aan de weginfrastructuur, zoals aslasten, aantal assen, asafstanden, banden en belading (Bevinding 5).

In de literatuur zijn meerdere studies te vinden waarin de effecten van zwaar vrachtverkeer per gewichtscategorie worden onderzocht door middel van voertuigcombinaties (Bevinding 6). Zo is een Europese studie verricht waarin verschillende gewichtscategorieën en voertuigcombinaties zijn onderscheiden en de schadelijkheid voor de weginfrastructuur is onderzocht, maar is het effect niet specifiek voor het Nederlandse hoofdwegennet in beeld gebracht (Bevinding 7).

Verder zijn er verschillende opvattingen over de vraag of een voertuig dat zich aan de voorgeschreven maximale aslasten houdt, meer schade aan de weginfrastructuur veroorzaakt naarmate het totaalgewicht van het voertuig hoger is. Een algemeen beeld dat naar voren komt is dat een hoger totaalgewicht van zwaardere voertuigen niet per definitie leidt tot meer schade aan de weginfrastructuur als het aantal assen dienovereenkomstig wordt verhoogd en de aslasten niet stijgen (ook hierbij geldt dat de effecten anders uitpakken voor wegverhardingen en kunstwerken). In de literatuur is echter ook de conclusie terug te vinden dat deze algemeen aanvaarde overtuiging onjuist is en dat er toch effecten optreden op de wegconstructie (Bevinding 8).

8.1.2 Beantwoording deelvraag 2: effecten marginale wijzigingen totaalgewicht zware voertuigen

Deelvraag 2: Wat is de 'marginale' beschadiging/ ontlasting van elke ton extra gewicht respectievelijk elke ton reductie van het maximale gewicht?

In de in deze literatuurstudie verzamelde rapporten is ook geen kwantitatief onderzoek verricht naar de 'marginale' beschadiging/ontlasting van elke ton extra gewicht respectievelijk elke ton reductie van het maximale gewicht. Zoals bij de beantwoording van deelvraag 1 is aangegeven (Bevinding 6), zijn de effecten van marginale wijzigingen in totaalgewicht van zwaardere voertuigen op de weginfrastructuur (wegverhardingen en kunstwerken) sterk afhankelijk van de typen voertuigcombinaties (Bevinding 9). Verder komt naar voren dat als een marginale toename van het totaalgewicht van zwaardere voertuigen leidt tot een marginale toename van de aslast, dan is een verhoging te verwachten van de kosten voor beheer en onderhoud van wegverhardingen (Bevinding 10). Een factor die veel impact heeft is overbelading. Dit heeft een grote impact op de wegbelasting, bestaat vaak uit een combinatie van totaalgewicht en overschrijding van aslast, en neemt in ernst toe in de tijd (Bevinding 11).

8.1.3 Beantwoording deelvraag 3: effecten van assen

Deelvraag 3: Wat zijn de effecten van meer assen op het wegennet? Wordt het gewicht door meerdere assen beter verdeeld of veroorzaken meer assen een extra last op het Nederlandse hoofdwegennet?

Uit de in deze literatuurstudie verzamelde rapporten blijkt dat meer assen het totaalgewicht van de vrachtwagen beter verdelen voor zowel wegdek als stalen kunstwerken. Er is consensus over de grotere schade die hogere aslasten toebrengen aan het wegdek in vergelijking met lagere aslasten (Bevinding 13). De veelgebruikte vierdemachtsregel (of n-demachtsregel) staat centraal in de bepaling van de schade van de aslast aan asfalt, geldend voor het (gehele) wegdek (Bevinding 12). Uit deze regel blijkt dat, indien een macht van 4 wordt gehanteerd, een twee keer zo zware aslast zestien keer zoveel schade aan het wegdek veroorzaakt. Een reductie in aslast resulteert volgens dezelfde verhoudingen in minder schade. Extra assen zorgen door de langere inwerktijd voor extra schade; dit weegt niet op tegen de reductie in schade door de lagere aslast. Per saldo treedt daardoor minder schade op (Bevinding 14). Kanttekening bij de vierdemachtsregel is dat deze alleen geldt voor het hele wegdek. Schade aan de deklaag, waar het gros van de onderhoudskosten naartoe gaat, is hiermee niet te bepalen. In algemene zin zijn er verschillen in schadelijke effecten van vrachtverkeer afhankelijk van het deel van de constructie waar men naar kijkt (Bevinding 17). Met betrekking tot kunstwerken laat deze literatuurstudie zien dat dezelfde redenering geldt voor de effecten op het subdraagsysteem van stalen kunstwerken. Voor het hoofddraagsysteem is vooral het totaalgewicht van de vrachtwagen een belangrijke factor en maken de aslast en het aantal assen beperkt verschil. Ook truck platooning heeft potentieel schadelijke effecten op kunstwerken en wegdek (Bevinding 18). Voor kunstwerken geldt het risico met name voor het hoofddraagsysteem.

Meer voertuigen op kortere afstand van elkaar zorgen voor een bezwijkrisico voor de constructie, en meer spanningswisselingen door meer passerende assen op kortere afstand van elkaar leidt tot vermoeiingsverschijnselen. Voor het wegdek is met name de potentiële reductie van vetergang een risico, omdat daardoor de belasting telkens optreedt in hetzelfde spoor. Daarnaast is ook de onderlinge afstand tussen assen een bepalende factor in de schade aan het wegdek (Bevinding 16). Bij kortere afstand krijgt het wegdek minder hersteltijd.

8.1.4 Beantwoording deelvraag 4: effecten van wielen

Deelvraag 4: Wat zijn de effecten van meer wielen op het Nederlandse hoofdwegennet (eventueel aangevuld met verschillen in bandenspanning)? Wordt het gewicht met meer wielen beter verdeeld of veroorzaakt het bijkomende schade?

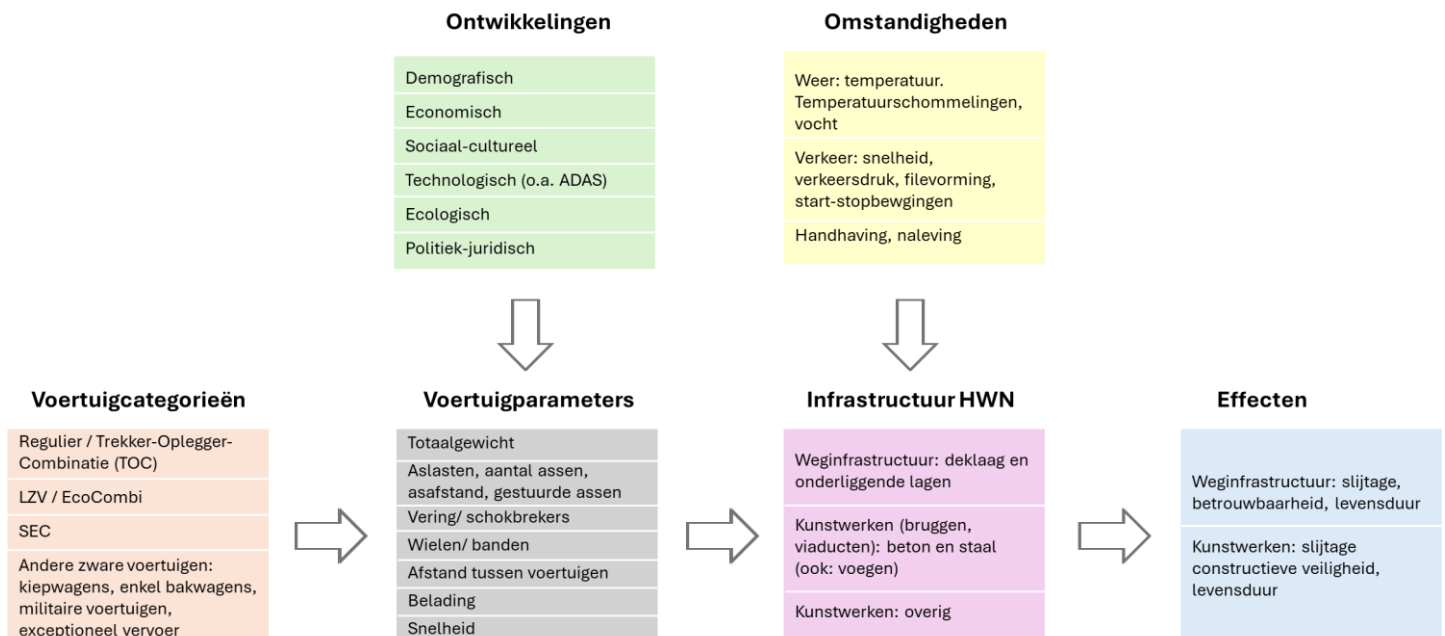
Uit de in deze literatuurstudie verzamelde rapporten blijkt dat meer banden op één as het gewicht van de vrachtwagen beter verdelen. Dit komt doordat, door gebruik van meer banden, het contactoppervlak tussen banden en wegdek wordt vergroot. Een groter contactoppervlak tussen band en wegdek zorgt voor een betere lastverdeling, omdat de druk per vierkante centimeter kleiner wordt (Bevinding 19). Belangrijk hierbij is de invloed van de bandenspanning. Om de schade te minimaliseren, dient de bandenspanning zodanig te zijn dat het contactoppervlak gemaximaliseerd wordt. Zowel een te hoge bandenspanning als een te lage bandenspanning zorgt voor een kleiner contactoppervlak.

Kanttekening hierbij is dat bij toename van het contactoppervlak, de rolweerstand ook stijgt. Dit zorgt voor schade aan het wegdek en meer emissies in de leefomgeving (Bevinding 20). In de bestudeerde literatuur wordt veelvuldig ingegaan op de schade veroorzaakt door supersingles (breedbanden). Zowel het wegdek als stalen kunstwerken ondervinden veel schade door deze banden, die worden ingezet als alternatief voor dubbellucht. De negatieve effecten van het gebruik van supersingles zijn voornamelijk het resultaat van de hoge bandenspanning van deze banden (Bevinding 21).

8.2 Analyse invloedrijke factoren

Om tot meer inzicht te komen in waar leemtes zitten in de beschikbare kennis en literatuur, hebben wij tijdens de literatuurstudie bijgehouden welke relevante voertuigparameters, factoren, ontwikkelingen, infrastructuurverdelingen en effecten worden gebruikt in de rapporten en onderzoeken. Deze opbrengst hebben wij in een kennissessie voorgelegd aan experts op het gebied van wegbelasting en schade door zwaardere voertuigen aan de Nederlandse weginfrastructuur.

Als wij deze aspecten op eenzelfde manier structureren als de aspecten in de vraagstelling van dit onderzoek, dan ontstaat het volgende beeld (zie figuur 3):



Figuur 3. Overzicht invloedrijke factoren op basis van literatuurstudie en kennissessie

Als we deze figuur vergelijken met de schematische weergave van de onderzoeksvraag van deze studie, dan valt op dat aanmerkelijk meer factoren van invloed zijn op de schade die wordt veroorzaakt door zwaardere voertuigen aan het WHN dan in de onderzoeksvragen zijn opgenomen. Met andere woorden; om duidelijkheid te krijgen over de kosten van beheer en onderhoud aan het HWN in de toekomst, is het nodig om een helder beeld te hebben van de toekomstige veranderingen van deze factoren en de kwantitatieve invloed die dit heeft als geheel op de toekomstige te verwachten effecten.

8.3 Kennislacunes

Uit bovenstaande analyse kan de conclusie worden getrokken dat veel onbekend is over de exacte, kwantitatieve relaties tussen de weergegeven factoren en de effecten op het HWN. Uit de literatuur, de interviews en de kennissessie komen enkele thema's naar voren waarover een helder beeld verkregen moet worden, vooralsnog kan worden overgegaan om de invloed te bepalen op de kosten van beheer en onderhoud. Wij geven de belangrijkste thema's hieronder weer.

1. Kwantificering van impact van ontwikkeling naar verhoging toegestane aslast van aangedreven as naar 12,5 ton (voorstel van de Europese Commissie).
2. Kwantificering van impact van toekomstige ontwikkelingen in het vrachtverkeer, zoals SEC's, truck platooning, elektrificering en digitalisering (ieder punt kort toelichten).
3. Kwantificering van impact van overbelading (dit is een empirisch probleem dat in de modelstudies niet wordt ondervangen).
4. Kwantificering van impact van banden (hierover is nog te weinig bekend, specifiek super singles).

Wij lichten de genoemde thema's nader toe:

1. Kwantificering van impact van ontwikkeling naar verhoging toegestane aslast van aangedreven as naar 12,5t

In het kader van de herziening van de richtlijn afmetingen en gewichten van zware wegvoertuigen stelt de Commissie in het voorstel COM(2023)445 voor om 44 ton voor zware bedrijfsvoertuigen toe te laten tussen alle lidstaten die dit tonnage reeds nationaal hanteren. Verwacht wordt dat vanaf 2035 voertuigen die 44 ton grensoverschrijdend vervoeren, ZEV's zijn. Hieraan wordt voor ZEV's een verhoogde aslast tot 12,5 ton op de aangedreven as toegevoegd. In reactie op dit voorstel geeft de Nederlandse regering aan dat een onverhoopte verhoging van de aslast naar 12,5 ton zou kunnen leiden tot verhoogde instandhoudingskosten. Om hierover meer duidelijkheid te krijgen, is onderzoek nodig naar het kwantitatieve effect van een verhoogde aslast van 12,5 ton voor ZEV's op het Nederlandse wegennet en de kwantitatieve impact die dit heeft op de kosten voor beheer en onderhoud.

Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat ZEV's kunnen bestaan uit verschillende voertuigcombinaties en dat de effecten verschillend zijn voor de verschillende onderdelen van het HWN: wegverhardingen (onderverdeeld naar: deklaag, tussenlagen en wegfundering) en kunstwerken (bruggen en viaducten: staal en beton; overige kunstwerken).

2. Kwantificering van impact van toekomstige ontwikkelingen in het vrachtverkeer

In de literatuur wordt een oproep gedaan om ervoor te zorgen dat er structureel een beter beeld komt van de veranderingen in het wegtransport die het toekomstig tempo van slijtage van infrastructuur beïnvloeden.

Enkele belangrijke ontwikkelingen in het vrachtvervoer zijn de steeds zwaarder wordende voertuigen (SEC's), truck platooning, elektrificering en digitalisering. Nieuwe voertuigconcepten als SEC's en truck platooning hebben impact op de slijtage van het HWN, maar de exacte kwantiteit en omvang hiervan is nog onduidelijk. Elektrificering is als ontwikkeling interessant als het leidt tot een verhoging van het toegestane totaalgewicht van zwaardere voertuigen, aangezien een elektrisch voertuig een batterij nodig heeft. Het thema tractie (grip van de wielen op het wegdek) is hierbij relevant, omdat elektrische vrachtwagens meer tractie hebben. Digitalisering biedt optimalisatiemogelijkheden voor het wegvervoer, waardoor er steeds meer gewicht per voertuig vervoerd kan worden. Zonder tegenmaatregelen zou dit sneller kunnen leiden tot meer overbelading. Tegelijkertijd biedt digitalisering ook nieuwe handhavingsmogelijkheden. Om meer duidelijkheid te krijgen over deze ontwikkelingen, is onderzoek nodig naar het kwantitatieve effect op de verschillende onderdelen van het HWN en de consequenties hiervan voor de kosten van beheer en onderhoud.

3. Kwantificering van impact van overbelading

Een van de bevindingen is dat overbelading een grote impact heeft op de wegbelasting, vaak bestaat uit een combinatie van totaalgewicht en overschrijding van aslast, en in de tijd in ernst toeneemt (zie Bevinding 10). Uit de kennissessie is gebleken dat het thema overbelading beperkt onderzocht is. Overbelading van assen is in veel gevallen het resultaat van foutieve belading. In deze gevallen valt het totaalgewicht van de vrachtwagen binnen de toegestane limiet, maar is de lading zodanig verdeeld dat de toegestane aslast van (een) bepaalde as(sen) overschreden wordt. Het is onduidelijk hoe overbelading zich in de toekomst gaat ontwikkelen. Met de toelating van zwaardere voertuigen nemen de risico's op overbelading op de aslasten toe als er geen maatregelen worden genomen. Onduidelijk is ook wat de exacte kwantitatieve impact op het wegennet zal zijn en welke (extra) onderhoudskosten dit met zich meebrengt. Onderzoek is vooral nodig in de vorm van monitoring van feitelijke oorzaken, gevolgen en factoren, voor meer inzicht en controle.

4. Kwantificering van impact van banden

Onderzoek naar de impact van banden gaat met name in op de impact die wordt veroorzaakt door breedbanden, vergeleken met dubbellucht. Hierbij wordt de conclusie getrokken dat breedbanden een stuk schadelijker zijn dan dubbellucht. De kwantitatieve relatie tussen de verschillende typen banden en de schade die zij veroorzaken wordt echter vanuit de literatuur niet duidelijk. In de bevinding rondom de schade van de breedband wordt ook benoemd dat er een nieuwe generatie breedbanden bestaat. Het is onbekend welke schade deze nieuwe banden veroorzaken. Onderzoek naar het kwantitatieve effect van verschillende typen banden op de infrastructuur is relevant om meer zicht te krijgen op de consequenties van verschillende typen banden voor beheer en onderhoud.

8.4 Aanbevelingen

Op basis van de beantwoording van de onderzoeksvragen en de analyse van invloedrijke factoren en de gevonden kennislacunes, doen wij twee aanbevelingen voor het omgaan met deze kennisleemtes.

Aanbeveling 1: Doe aanvullend kwantitatief onderzoek naar de belangrijkste factoren die van invloed zijn op het toekomstige effect van zwaardere voertuigen op de kosten van beheer en onderhoud.

Uit de literatuurstudie komt een rijk beeld naar voren van de factoren die van invloed zijn op de schadelijke effecten die zware voertuigen hebben op de weginfrastructuur. Er is echter weinig bekend over de exacte kwantificering van deze effecten. Meer onderzoek is nodig door feitelijke dataverzameling met monitoring bij alle schakels in de keten. Bij het bepalen van onderzoek naar de toekomstige effecten van zwaardere voertuigen op de onderhoudskosten van het Nederlandse wegennet, is het advies om deze factoren te prioriteren naar omvang van hun effect. Vervolgens kan kwantitatief onderzoek worden verricht met behulp van een vraagstelling die meerdere factoren bevat (naast totaalgewicht, assen, aslasten en wielen), rekening houdt met ontwikkelingen in het vrachtverkeer en uitgaat van de specifieke kenmerken van het Nederlandse wegennet (inclusief toekomstige kenmerken). Bijvoorbeeld of er mogelijkheden zijn om het wegdek in te richten zodat het meer kan dragen in de toekomst?

Aanbeveling 2: Vul de kennisleemtes voor het in beeld brengen van de toekomstige kosten van beheer en onderhoud op, samen met onderzoekers en experts uit de praktijk van beheer en onderhoud.

De kennis die op basis van literatuurstudie kan worden opgedaan over de schadelijke effecten van zwaardere voertuigen op de weginfrastructuur is in zekere zin beperkt van aard. In de praktijk van beheer en onderhoud is ook veel kennis en ervaring aanwezig die essentieel is om tot een kwantitatieve effectbepaling te komen. Wij adviseren daarom om de volgende stappen in het opvullen van de kennisleemtes te zetten, niet alleen met onderzoekers maar ook samen met de experts uit de praktijk, zoals Rijkswaterstaat, ILT en RDW. Ook adviseren wij om deze onderzoeken te borgen in onderzoeksprogramma's.

Bijlage A Literatuurlijst

1. Ministerie van V&W (1997), "Langere en zwaardere vrachtwagens": inventarisatiestudie naar de wenselijkheid en haalbaarheid.
2. Rijkswaterstaat (2010), Langere en Zwaardere Vrachtauto's in Nederland: kennis en ervaringen over de periode 1995-2010.
3. Arcadis (2006), Monitoringsonderzoek vervolgproef LZV: resultaten van de vervolgproef met langere of langere en zwaardere voertuigcombinaties op de Nederlandse wegen.
4. Rijkswaterstaat (2020), Impact op infrastructuur door innovaties binnen het goederenvervoer [interne rapportage].
5. Aarts, L. & Feddes, G. (2009), Experiences with longer and heavier vehicles in the Netherlands.
6. Traffic Test (2002), Praktijkproef LZV: Resultaten van een proef met langere en/of zwaardere voertuigcombinaties op Nederlandse wegen.
7. TNO (2008), Vergelijking Trekker-Oplegger-Combinaties en LZV's-EcoCombi's met betrekking tot de invloed op kunstwerken.
8. Topsector Logistiek (2020), Super-EcoCombi: verkenning van kansen en verwachte effecten.
9. TNO (2021), Verkenning naar de mogelijke impact van de Super-EcoCombi op de Nederlandse infrastructuur.
10. TNO (2022), Impact analyses Super EcoCombi and Truck Platooning scenarios: final evaluation report on bridges and viaducts: Impact analyses.
11. ROADEX (2014), Truck axles, tyre types, tyre pressures and road performance.
12. Rijkswaterstaat/Dienst Weg- en Waterbouwkunde (1996), Breedbanden en zwaar verkeer: kosten-batenanalyse op hoofdlijnen.
13. Rijkswaterstaat/Dienst Weg- en Waterbouwkunde (2003), Studie naar wegvriendelijke vrachtwagenbanden.
14. Arcadis (2023), Maatschappelijke kosten en baten van lang en zwaar goederenvervoer.
15. Ecorys (2020), Scenariostudie toekomstig gebruik weginfrastructuur door vrachtverkeer.
16. Rijkswaterstaat/Dienst Weg- en Waterbouwkunde (1996), Rapport overbelading.
17. Panteia (2022), Belasting en overbelading (middel-)zwaar wegtransport.
18. TML, TNO, RWTH, LCPC, Sétra (2008), Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC.
19. Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (2011), Moving Freight With Better Trucks.
20. Bundesanstalt für Straßenwesen (2006), Effects of new vehicle concepts on the infrastructure of the federal truck road network.
21. Bundesanstalt für Straßenwesen (2014), Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw.
22. Bundesanstalt für Straßenwesen (2016), Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw Stufe 2 Nacherhebung.
23. Universiteit Zaragoza (2020), Analysis of behaviour of modular vehicles in DUOTRAILER groups during performance tests.
24. Nordiska Vägtekniska Förbundet / Nordic Road Association (2007), Vehicle combinations based on the modular concept.
25. TFK & KTH (2007), European Modular System for road freight transport: experiences and possibilities.
26. Centre for Transport Studies Stockholm (2015), Estimating the marginal cost of road wear.
27. Liimatainen, H., Pöllänen, M. & Nykänen, L. (2020), Impacts of increasing maximum truck weight – case Finland.
28. J. Granlund / WSP Sverige AB (2018), Reduced pavement service life – causes and costs.
29. ROADEX (2014), Effect of axle and tyre configurations on pavement durability – a prestudy.
30. Department of Transportation Texas (2001), Effects of truck size and weights on highway infrastructure and operations: a synthesis report.
31. TNO (2000), Algemene veiligheidsbeschouwing en modellering van wegverkeersbelasting voor brugconstructies.
32. TNO (2012), Algemene veiligheidsbeschouwing en modellering van wegverkeersbelasting voor brugconstructies – update.
33. Hayek (1995), General axle load equivalency factors.
34. Dfine (2024), Study on weights and dimensions.
35. DGPO (2022), Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen.
36. Rijkswaterstaat (2014), Belasting weginfrastructuur door zwaar vrachtverkeer.
37. ENSEMBLE (n.d.), Impact of platooning on roads & bridges.
38. TNO (2018), Platooning – ontwikkelscenario's 2026 en 2033 t.b.v. belastingen op bruggen en viaducten.
39. TNO (2017), Inventarisatiestudie van het effect van platooning op de beoordeling van de constructieve veiligheid van kunstwerken.
40. TNO (2022), Load effect measurements at the box girder bridge near Geldrop in the A67.
41. TNO (2022), Load effect measurements at the Moerdijk bridge in the A16.
42. Virginia Tech (2004), Pavement Damage Due to Different Tires and Vehicle Configurations.
43. Rijkswaterstaat (2013). Bewustwording van de invloed van (zwaar)vrachtverkeer op bruggen en viaducten.

Colofon

EFFECTEN GEWICHTEN VRACHTVERKEER

KLANT

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR

Patrick Kalders

ONZE REFERENTIE

S2AAYKQSDVPF-508928712-283:2.0

DATUM

21 oktober 2024

STATUS

Definitief

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende datagedreven duurzame ontwerp-, advies- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij zijn met 36.000 architecten, data-analisten, ingenieurs, projectplanners, water- en duurzaamheidexperts. Onze gedeelde passie is: Improving quality of life. Toewijding aan de strategie 'accelerating a planet positive future' onderschrijft onze wereldwijde samenwerking met klanten en hoe we hen helpen met duurzame projectkeuzes. We combineren digitale met mensgerichte innovaties en omarmen toekomstgerichte vaardigheden op het gebied van milieu, energie, water, gebouwen, transport en infrastructuur. We werken vanuit meer dan dertig landen en rapporteerden in 2023 een bruto omzet van 5 miljard euro. www.arcadis.com

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 220
3800 AE Amersfoort
Nederland

T [+31 \(0\)88 4261 261](tel:+3120884261261)

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



[Arcadis](https://www.arcadis.com)