

## KNOOPPUNTEN DIE AANSLUITEN OP DE PRAKTIJK

Paper voor het Nationaal Verkeerskunde Congres 2021

### Knooppunten die aansluiten op de praktijk

Afstudeerscriptie over het opstellen van een ontwerpmethodiek voor knooppunt-aansluiting-combinaties

Auteur	Sibren van Vliet
Onderwijsinstelling	NHL Stenden Hogeschool
Opleiding	Ruimtelijke Ontwikkeling
Uitgevoerd bij	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
In opdracht van	Rijkswaterstaat

## 1 SAMENVATTING

In de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA) is het niet toegestaan om een knooppunt tussen autosnelwegen te combineren met een aansluiting op het onderliggend wegennet. Zo'n knooppunt-aansluiting-combinatie levert meestal een te complex wegontwerp op dat niet aan de onderliggende eisen kan voldoen.

In de praktijk is het echter vaak moeilijk om een knooppunt en een aansluiting te ontvlechten, bijvoorbeeld vanwege ruimtelijke of financiële dwangpunten. Hierdoor ontstaat een suboptimaal wegontwerp, waarin de verkeersveiligheid en de doorstroming mogelijk onvoldoende zijn gewaarborgd. Uit een inventarisatie blijkt dat 34 van de 110 knooppunten in Nederland knooppunt-aansluiting-combinaties zijn.

In deze paper worden hulpmiddelen voorgesteld die de wegontwerper ondersteunen bij het ontwerpen van knooppunt-aansluiting-combinaties. Hiermee wordt het ontwerpproces versneld en vereenvoudigd, en wordt de verkeersveiligheid en de doorstroming op knooppunt-aansluiting-combinaties gewaarborgd.

De hulpmiddelen voor het ontwerpen van knooppunt-aansluiting-combinaties bestaan uit 21 standaardontwerpen en een afpelmethodiek.

- De 21 standaardontwerpen zijn ingedeeld naar de configuratie van de takken van het knooppunt, de belangrijke relaties, de vorm van de verbindingswegen en de ligging van de aansluiting. Deze indeling begeleidt de wegontwerper bij de keuze van het juiste standaardontwerp. De standaardontwerpen zijn uitgewerkt op viltstiftschetsniveau en getoetst aan de richtlijnwaarden uit de ROA.
- De afpelmethodiek bestaat uit acht afpellingen die stapsgewijs doorlopen worden. Hiermee werkt de wegontwerper systematisch van een standaardontwerp tot een inpasbaar ontwerp. Hierin wordt ook vastgelegd welke compenserende maatregelen getroffen moeten worden om de verkeersveiligheid en de doorstroming te waarborgen.

De standaardontwerpen en de afpelmethodiek zijn getest op een actuele casus. Dit heeft geresulteerd in een inpasbaar ontwerp waarin de verkeersveiligheid en de doorstroming zoveel mogelijk zijn gewaarborgd.

## 2 AANLEIDING EN PROBLEEMSTELLING

Op de Nederlandse autosnelwegen wordt onderscheid gemaakt tussen knooppunten en aansluitingen.

- Een knooppunt is een ongelijkvloerse kruising van een autosnelweg en een andere stroomweg (autosnelweg of autoweg), waarbij er uitwisseling plaatsvindt.
- Een aansluiting is een ongelijkvloerse kruising van een autosnelweg en het onderliggend wegennet, waarbij er uitwisseling plaatsvindt.

In de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA) is het niet toegestaan om aansluitingen en knooppunten met elkaar te combineren (Rijkswaterstaat, 2019b, p. 24). Zo'n combinatie levert meestal een te complex wegontwerp op dat niet aan de onderliggende eisen kan voldoen.

In de praktijk is het echter vaak moeilijk om een knooppunt en een aansluiting te ontvlechten. Mogelijke redenen hiervoor zijn ruimtelijke en financiële dwangpunten. Doordat er wordt afgeweken van de ROA, heeft de wegontwerper geen handvatten bij het ontwerpen van een knooppunt-aansluiting-combinatie. Het ontwerpproces kost hierdoor meer tijd, geld en inspanning.

In 2020 was het wegvak met de meeste ongevallen de verbindingsweg van Purmerend naar Amsterdam in knooppunt Zaandam (Schenk, 2021). Knooppunt Zaandam is een voorbeeld van een knooppunt-aansluiting-combinatie. Hier is uitwisseling mogelijk tussen de A7 en de A8, en met het onderliggend wegennet (de s151). De hoofdbaan van de A7 (vanuit Purmerend) eindigt bij dit knooppunt op het onderliggend wegennet. Om op het hoofdwegennet te blijven, moet het verkeer een afslaande beweging maken.

Dit gaat in tegen het verwachtingspatroon van de weggebruiker op een autosnelweg, wat leidt tot onjuist en onveilig weggedrag (Theeuwes, 2021). De weggebruiker verwacht dat hij een uitvoegende beweging moet maken om op het onderliggend wegennet te komen, en dat hij de hoofdbaan moet volgen om op het hoofdwegennet te blijven. De weggebruiker verwacht niet dat hij op de hoofdbaan geconfronteerd wordt met het einde van de autosnelweg. Ook zorgt een dergelijke situatie voor veel rijstrookwisselingen. Dit heeft een negatieve invloed op de doorstroming, en verhoogt de kans op dodehoekongevallen, vooral bij vrachtwagens.

## 3 DOELSTELLING EN ONDERZOEKSVRAAG

Om de wegontwerper te ondersteunen bij het ontwerpen van knooppunt-aansluiting-combinaties, is een ontwerpmethodiek opgesteld. Hiermee wordt het ontwerpproces versneld, en wordt een goede verkeersveiligheid en doorstroming gewaarborgd in het resulterende ontwerp.

Het uitgangspunt blijft dat knooppunten en aansluitingen van elkaar gescheiden zijn. Voor situaties waarin dit niet mogelijk is, moet de wegontwerper gesteund worden bij het ontwerpen van een knooppunt-aansluiting-combinatie. Hiervoor heeft de wegontwerper behoefte aan standaardontwerpen, en een afpelmethode om eventueel van het standaardontwerp af te pellen naar een inpasbaar ontwerp. De standaardontwerpen voor knooppunt-aansluiting-combinaties en de afpelmethode moeten, net zoals de standaardontwerpen voor knooppunten in de ROA, generiek toepasbaar zijn voor situaties in Nederland.

De hoofdvraag van het onderzoek is als volgt geformuleerd:

**Welke standaardontwerpen en bijbehorende afpelmethode voor knooppunt-aansluiting-combinaties zijn generiek te adviseren?**

## 4 INVENTARISATIE

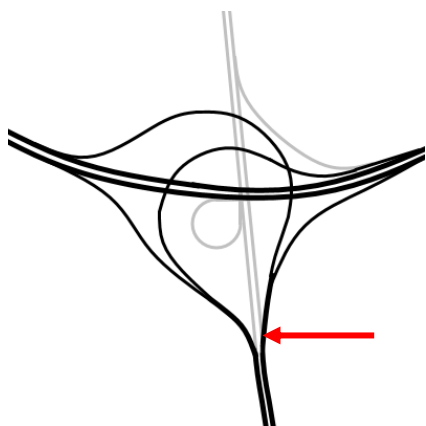
Uit een inventarisatie blijkt dat 34 van de 110 knooppunten en knooppunt-achtige aansluitingen in Nederland te kwalificeren zijn als knooppunt-aansluiting-combinaties.

Voor deze kwalificatie voldoet het knooppunt aan twee kenmerken:

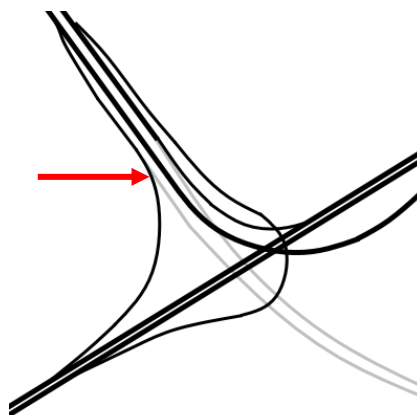
- **Kenmerk 1:** Minimaal twee takken van het knooppunt hebben de autosnelwegstatus.
- **Kenmerk 2:** Minimaal één relatie leidt naar of maakt gebruik van het onderliggend wegennet, op één (of meer) van de onderstaande manieren:
  - minimaal één hoofdbaan van het hoofdwegennet eindigt op het onderliggend wegennet (het verkeer maakt een afslaande beweging om op het hoofdwegennet te blijven) (rode pijl op Afbeelding 4.1);
  - minimaal één verbindingsweg van het hoofdwegennet eindigt op het onderliggend wegennet, (het verkeer maakt een afslaande beweging om op het hoofdwegennet te blijven) (rode pijl op Afbeelding 4.2);
  - het knooppunt is onvolledig, waarbij minimaal één relatie hoofdwegennet-hoofdwegennet (rode pijl op Afbeelding 4.3) niet wordt gefaciliteerd door een verbindingsweg, maar via het onderliggend wegennet, door middel van een afrit en toerit direct aan het knooppunt gelegen; en/of
  - binnen het knooppunt bevindt zich een aansluiting waarvan minimaal één in- of uitvoegstrook van een toerit of afrit is gelegen aan een verbindingsweg, of aan een hoofdbaan tussen de in- en uitvoegstroken van de verbindingswegen van het knooppunt (rode pijl op Afbeelding 4.4).

Op de onderstaande voorbeelden zijn zwarte lijnen de hoofdbanen en verbindingswegen van het hoofdwegennet, en grijze lijnen het onderliggend wegennet en toe- en afritten.

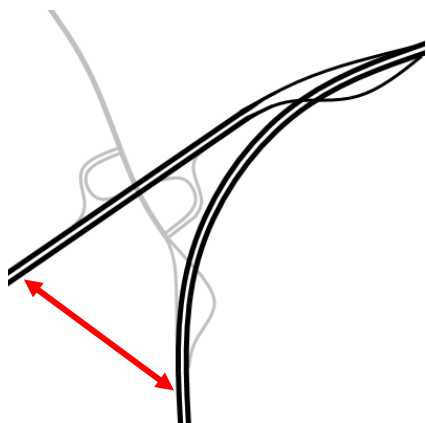
Afbeelding 4.1 Knooppunt Amstel



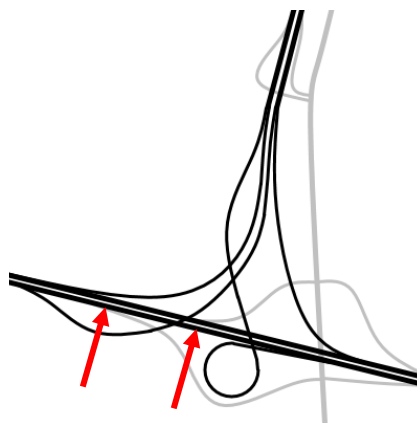
Afbeelding 4.2 Knooppunt Kleinpolderplein



Afbeelding 4.3 Knooppunt Vught



Afbeelding 4.4 Knooppunt Waterberg



## 5 STANDAARDONTWERPEN

De ROA bevat standaardontwerpen voor knooppunten, die wegontwerpers gebruiken bij het ontwerpen van knooppunten in praktijksituaties (Rijkswaterstaat 2019b, p. 21). Een voorgestelde aanvulling hierop zijn standaardontwerpen voor knooppunt-aansluiting-combinaties. Wegontwerpers kunnen deze gebruiken als uitgangspunt voor het ontwerp, wanneer het niet mogelijk is om een knooppunt en een aansluiting van elkaar te scheiden.

Knooppunt-aansluiting-combinaties worden gecategoriseerd op vier eigenschappen:




- **De configuratie van de takken.** Er wordt onderscheid gemaakt tussen knooppunt-aansluiting-combinaties met drie takken, vier takken, en vier takken met een scherpe snijhoek. In alle gevallen is één van de takken het onderliggend wegennet.
- **De importantie van de relaties.** Een belangrijke relatie is een richting op het knooppunt die een belangrijke doorgaande verbinding in het netwerk vormt en/of een relatief hoge verkeersintensiteit heeft.
- **De vorm van de verbindingswegen op de belangrijke relaties.** Dit zijn semidirecte of directe verbindingswegen.
- **De ligging van de aansluiting in het knooppunt.** Deze ligt centraal of decentraal in het knooppunt.

Uit de verschillende mogelijke combinaties van deze eigenschappen vloeien 21 standaardontwerpen voort. Deze standaardontwerpen zijn weergegeven in Tabel 5.1, 5.2 en 5.3. De ontwerpen zijn uitgewerkt op het niveau van een viltstiftschets, zoals dit is voorgeschreven in het Functioneel Ontwerp van het Kader Wegontwerpproces (Rijkswaterstaat 2019a, p. 21).


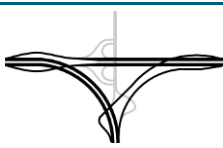
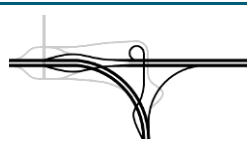

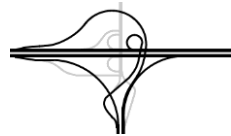
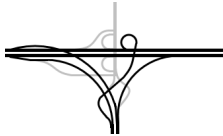
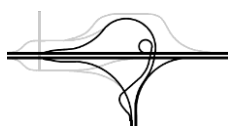
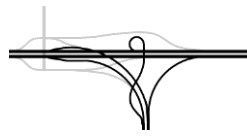

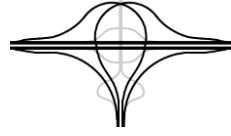
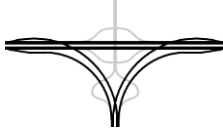
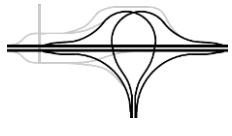
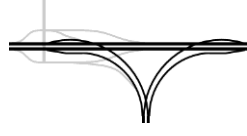
Vervolgens zijn deze standaardontwerpen getoetst aan de eisen en richtlijnwaarden die gelden voor een viltstiftschets. De getoetste richtlijnwaarden zijn de ontwerpsnelheid, acceleratie- en deceleratielengtes, horizontale bogen, verticaal verloop, verticale vrije ruimte, turbulentielengtes en bewegwijzeringssafstanden (Rijkswaterstaat 2019a, p. 21).

De standaardontwerpen voldoen aan deze richtlijnwaarden. Daarmee vormen ze een technisch haalbare basis voor het ontwerp van een knooppunt-aansluiting-combinatie in een praktijksituatie.


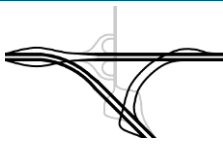
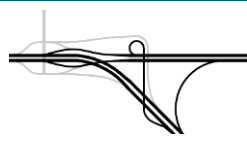

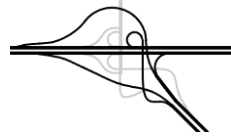
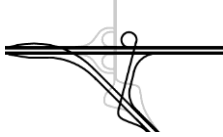
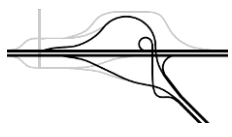
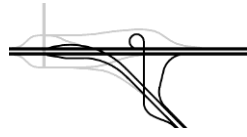


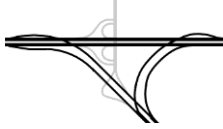

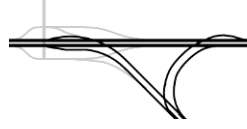
Tabel 5.1 Overzicht viltstiftschetsen standaardontwerpen voor drietaks knooppunt-aansluiting-combinaties.

Importantie van de relaties	Vormgeving verbinding met onderliggend wegennet		
	Aansluiting	Semirect	Direct
	Aansluiting toepassen in plaats van knooppuntvorm 		Niet toepassen. Bij deze vorm wordt de snelheid niet voldoende afgebouwd bij het naderen van het onderliggend wegennet.

Tabel 5.2 Overzicht viltstiftschetsen standaardontwerpen voor viertaks knooppunt-aansluiting-combinaties.

Importantie van de relaties	Centrale aansluiting		Decentrale aansluiting	
	Semirect	Direct	Semirect	Direct
	Niet van toepassing		Niet van toepassing	
				
				

Tabel 5.3 Overzicht viltstiftschetsen standaardontwerpen voor viertaks knooppunt-aansluiting-combinaties met scherpe snijhoek.

Importantie van de relaties	Centrale aansluiting		Decentrale aansluiting	
	Semirect	Direct	Semirect	Direct
	Niet van toepassing		Niet van toepassing	
				
				

## 6 VERKEERSTECHNISCHE ASPECTEN

De richtlijnen waaraan de standaardontwerpen zijn getoetst, vloeien voort uit onderliggende eisen en principes. Aan de hand van een literatuurstudie zijn zestien verkeerstechnische aspecten geïnventariseerd, die de onderliggende eisen en principes voor het ontwerp van knooppunt-aansluiting-combinaties vormen (Rijkswaterstaat, 2016, p. 9-18) (Rijkswaterstaat, 2020, p. 82-84).

De zestien verkeerstechnische aspecten zijn ingedeeld in vier categorieën:

- **Wegcategorie:** Continuïteit, Uniformiteit, Homogeniteit, Herkenbaarheid.
- **Verkeersafwikkeling:** Evenwichtigheid, Robuustheid, Flexibiliteit, Compleetheit.
- **Verkeersveiligheid (technisch):** Berijdbaarheid, Vergevingsgezindheid, Comfort.
- **Verkeersveiligheid (gedrag / human factors):** Voorspelbaarheid, Zichtbaarheid, Begrijpbaarheid, Duidelijkheid, Complexiteit.

Als er van een richtlijn wordt afgeweken, heeft dit gevolgen voor minstens één van de verkeerstechnische aspecten. Door deze aspecten te begrijpen en te koppelen aan ontwerpelementen, kan de wegontwerper compenserende maatregelen treffen bij het afwijken van een richtlijn.

## 7 AFPELMETHODIEK

Wanneer een wegontwerper een knooppunt-aansluiting-combinatie ontwerpt, wordt hiermee afgeweken van het uitgangspunt in de ROA dat knooppunten en aansluitingen gescheiden moeten worden. Als dit het gevolg is van ruimtelijke dwangpunten, is een standaardontwerp voor een knooppunt-aansluiting-combinatie mogelijk ook niet inpasbaar.

Daarom is er ook een afpelmethodiek opgesteld. Deze begeleidt de wegontwerper door het proces om van een standaardontwerp te komen tot een inpasbaar ontwerp in de praktijksituatie.

De afpelmethodiek bestaat uit acht afpellingen, zie Tabel 7.1. Deze afpellingen staan globaal op volgorde van hoogste voorkeur naar laagste voorkeur. Deze voorkeur is indicatief beredeneerd aan de hand van de gevolgen die iedere afpelling zal hebben voor de verkeersveiligheid en de doorstroming van de knooppunt-aansluiting-combinatie.

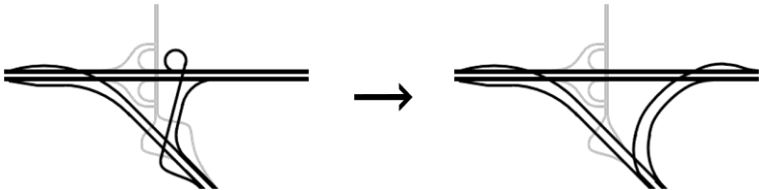
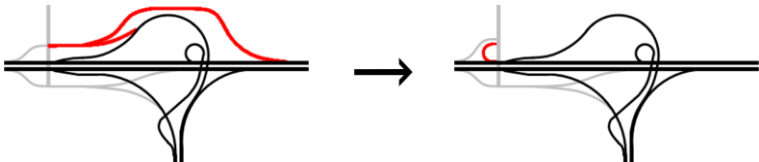
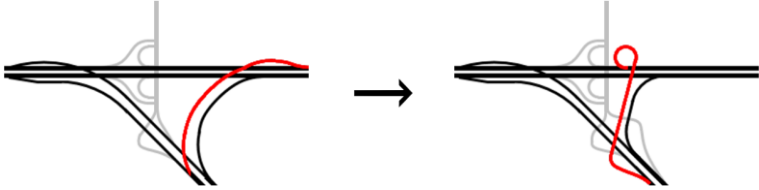
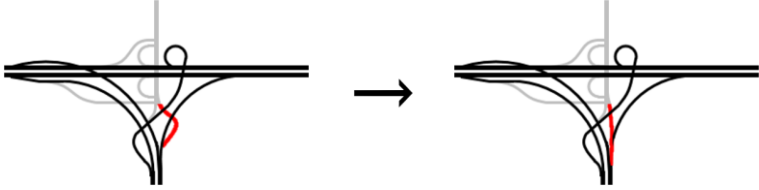
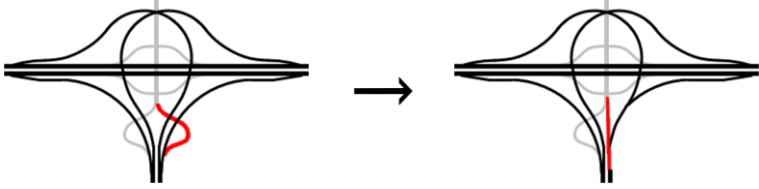
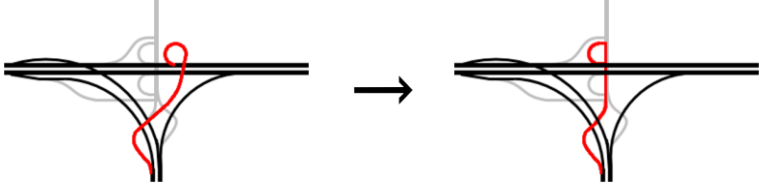
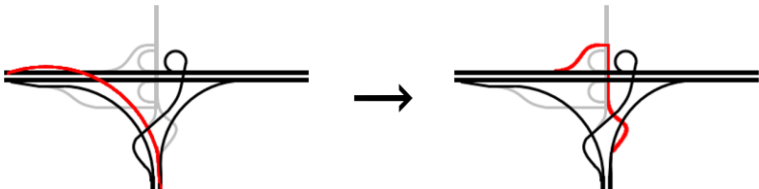
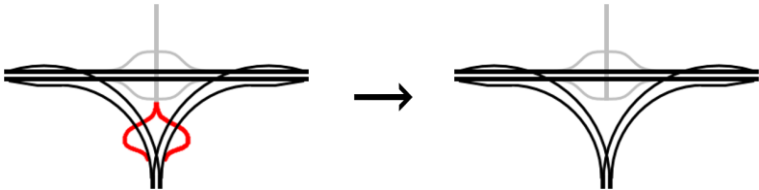
Als een standaardontwerp niet inpasbaar is, moet de wegontwerper dit onderbouwen in de ontwerpnota. Vervolgens probeert de ontwerper de eerste afpelling uit de afpelmethodiek toe te passen. Als dit niet tot een inpasbaar ontwerp leidt, moet de ontwerper dit wederom onderbouwen. De wegontwerper probeert vervolgens de tweede afpelling toe te passen. Dit proces herhaalt zich totdat er een afpelling wordt gevonden die wel tot een inpasbaar ontwerp leidt.

Door iedere afpelling te onderbouwen in de ontwerpnota, worden alle overwegingen vastgelegd bij iedere afwijking van het optimale wegontwerp. Het combineren van een knooppunt en een aansluiting is immers een afwijking van het uitgangspunt in de ROA: het scheiden van knooppunten en aansluitingen.

Bij iedere afpelling wordt ook aangegeven welke verkeerstechnische aspecten zijn aangetast. Hieruit kan de ontwerper afleiden welke compenserende maatregelen hij moet treffen. Bijvoorbeeld:

- **Evenwichtigheid:** Bied voldoende lengte voor veilige weefbewegingen en rijstrookverschuivingen in een afwijkende situatie.
- **Robuustheid:** Gebruik dynamisch verkeersmanagement om te waarschuwen voor filevorming. Verbeter de doorstroming bij kruispunten op het onderliggend wegennet middels een bypass of een groene golf.
- **Compleetheit:** Faciliteer ontbrekende relaties door middel van een andere aansluiting en maak dit tijdig duidelijk op de bewegwijzering.
- **Voorspelbaarheid:** Gebruik bewegwijzering, bebording en bebakening om de weggebruiker voor te bereiden op onverwachte situaties, zoals een scherpe bocht of het einde van de autosnelweg.
- **Complexiteit:** Bied voldoende turbulentielengte en bewegwijzeringsafstand in een afwijkende situatie.

Tabel 7.1 Afpelmethode voor het ontwerpen van knooppunt-aansluiting-combinaties.

Afpelling	Voorbeeld
<b>Hoogste voorkeur</b>	
<p><b>Afpelling 1:</b> Toepassen van een andere standaardvorm met gelijke of betere facilitering van de belangrijke relaties.</p> <p><i>Geen negatieve effecten.</i></p>	
<p><b>Afpelling 2:</b> Aanpassen van de vorm of locatie van de aansluiting(en) in de knooppunt-aansluiting-combinatie.</p> <p><i>Verkeerstechnische aspecten: Evenwichtigheid, Complexiteit</i></p>	
<p><b>Afpelling 3:</b> Toepassen van een indirecte verbindingsweg op een belangrijke relatie.</p> <p><i>Verkeerstechnische aspecten: Evenwichtigheid, Robuustheid, Voorspelbaarheid</i></p>	
<p><b>Afpelling 4:</b> Verbindingsweg laten eindigen op het onderliggend wegennet.</p> <p><i>Verkeerstechnische aspecten: Evenwichtigheid, Voorspelbaarheid</i></p>	
<p><b>Afpelling 5:</b> Hoofdbaan laten eindigen op het onderliggend wegennet.</p> <p><i>Verkeerstechnische aspecten: Evenwichtigheid, Voorspelbaarheid</i></p>	
<p><b>Afpelling 6:</b> Opheffen verbindingsweg(en) op een niet-importante relatie.</p> <p><i>Verkeerstechnische aspecten: Robuustheid, Compleetheid, Voorspelbaarheid</i></p>	
<p><b>Afpelling 7:</b> Opheffen verbindingsweg(en) op een belangrijke relatie.</p> <p><i>Verkeerstechnische aspecten: Robuustheid, Compleetheid, Voorspelbaarheid</i></p>	
<p><b>Afpelling 8:</b> Opheffen relatie(s) met het onderliggend wegennet.</p> <p><i>Verkeerstechnische aspecten: Compleetheid.</i></p>	
<b>Laagste voorkeur</b>	

## 8 VOORBEELD TOEPASSING

Om de bruikbaarheid van de standaardontwerpen en de afpelmethode te toetsen, zijn deze toegepast op een praktijksituatie. Een actuele casus die hiervoor is gebruikt is het knooppunt A1/A30 bij Barneveld, zie Afbeelding 8.1. Op dit punt vindt uitwisseling plaats tussen twee hoofdwegen (de A1 en de A30) en het onderliggend wegennet (de N301). Het is één van de 34 knooppunt-aansluiting-combinaties in Nederland.

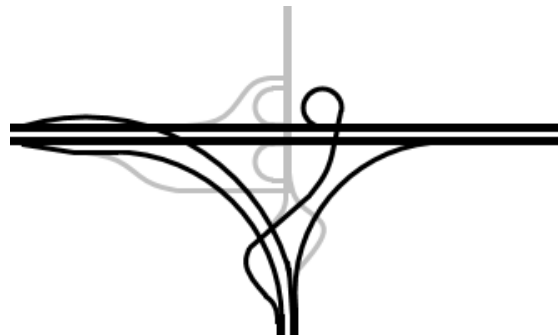
Afbeelding 8.1 Het knooppunt A1/A30 in de bestaande situatie (Achtergrondkaart overgenomen uit OpenStreetMap, z.d.).



De eerste stap van het ontwerpproces is het kiezen van een standaardontwerp.

- Het knooppunt heeft vier takken, dus er is gekozen voor een viertaks configuratie.
- De belangrijke relaties zijn bepaald aan de hand van verkeersintensiteitsgegevens. Dit zijn de relaties Oost ↔ West en Zuid ↔ West.
- Directe verbindingswegen zijn gekozen op de belangrijke relaties Zuid ↔ West. Een semidirecte verbindingsweg is niet inpasbaar vanwege het wegrestaurant in het noordwestelijke kwadrant van het knooppunt.
- De aansluiting blijft centraal in het knooppunt liggen. Vanwege de aanwezigheid van een verzorgingsplaats en andere aansluitingen in de omgeving, is het niet mogelijk om de aansluiting te verplaatsen naar het oosten, zuiden of westen.

Afbeelding 8.2 Het gekozen standaardontwerp voor het knooppunt A1/A30.

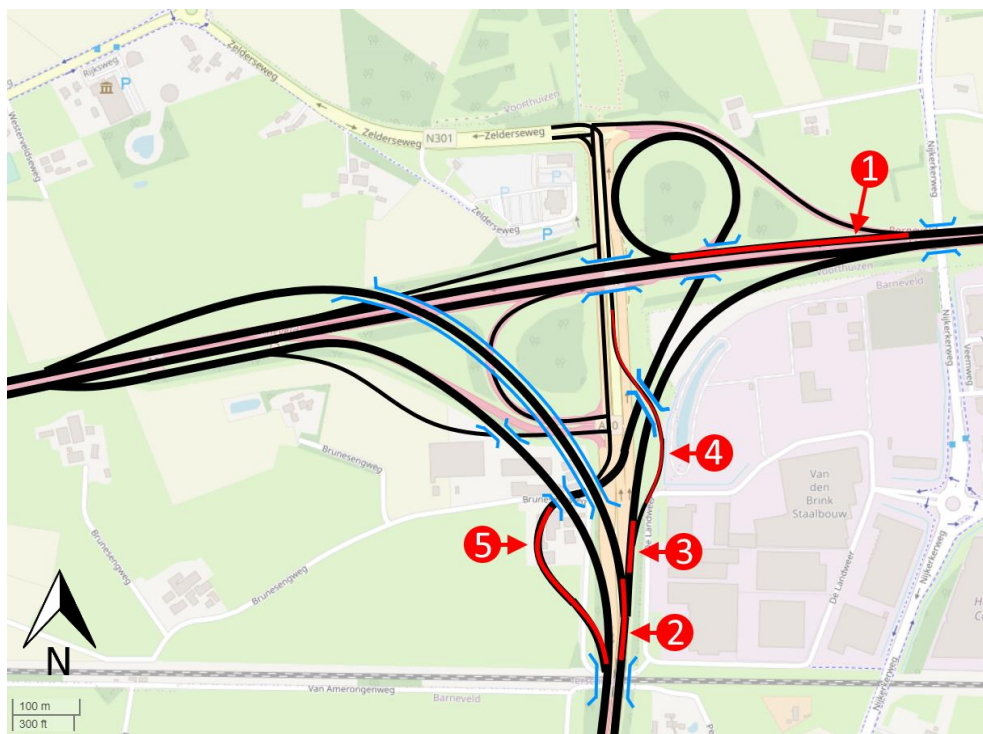




Wanneer het standaardontwerp (Afbeelding 8.2) wordt geprojecteerd op de situatie van het knooppunt A1/A30, blijkt dat dit standaardontwerp niet als zodanig inpasbaar is. Afbeelding 8.3 geeft de volgende knelpunten aan:

- Knelpunten 1 en 3: Onvoldoende afstand tussen uitvoeringen om te voldoen aan de benodigde turbulentielengte en bewegwijzeringsafstand.
- Knelpunt 2: Onvoldoende afstand tussen het spoorviaduct en de uitvoering voor de benodigde lengte van de uitrijstrook.
- Knelpunten 4 en 5: Onvoldoende afstand om het hoogteverschil te overbruggen binnen de toegestane hellingspercentages.

Afbeelding 8.3 Knelpunten die ontstaan bij toepassen van het standaardontwerp op het knooppunt A1/A30 (Achtergrondkaart overgenomen uit OpenStreetMap, z.d.).



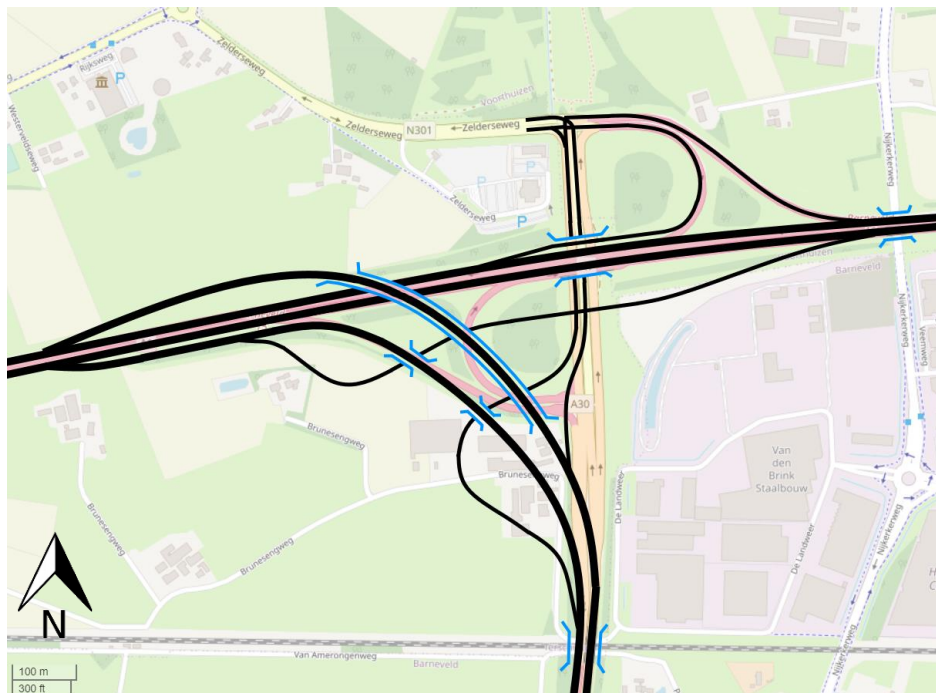
Vervolgens is de afpelmethodeik doorlopen om van het standaardontwerp te werken naar een ontwerp dat inpasbaar is in deze praktijksituatie.

- **Afpelling 1: Het toepassen van een andere standaardvorm met gelijke of betere facilitering van de belangrijke relaties.** Dit is niet mogelijk vanwege de ruimtelijke beperkingen. De andere standaardontwerpen eisen meer ruimte dan het huidige standaardontwerp.
- **Afpelling 2: Aanpassen van de vorm of locatie van de aansluiting(en) in de knooppunt-aansluiting-combinatie.** Deze afpelling is vooral van toepassing op standaardontwerpen met een decentrale ligging van de aansluiting. Er zijn geen mogelijkheden op het knooppunt A1/A30 om ruimte te besparen door het aanpassen van de vorm of locatie van een toerit of afrit.
- **Afpelling 3: Toepassen indirecte verbindingsweg op een belangrijke relatie.** De directe verbindingswegen op de belangrijke relaties zorgen niet voor knelpunten, dus deze afpelling geeft geen oplossing.
- **Afpelling 4: Verbindingsweg laten eindigen op het onderliggend wegennet.** De verbindingsweg van de A30 naar de A1-Oost kan aangepast worden zodat deze overgaat in het onderliggend wegennet. Het verkeer maakt dan een afslaan beweging vanaf de verbindingsweg om de A1-Oost te bereiken. Dit scheelt één ongelijkvloerse kruising van de afrit met de verbindingsweg. Dit lost knelpunt 3 echter niet op. Er blijft onvoldoende afstand tussen de twee uitvoeringen.
- **Afpelling 5: Hoofdbaan laten eindigen op het onderliggend wegennet.** De hoofdbaan van de A30 loopt over in de directe verbindingsweg naar de A1-West. Om deze hoofdbaan te laten eindigen en de directe verbindingsweg rechts te laten uitvoegen, moet een (onnodige) extra ongelijkvloerse kruising worden toegepast. Deze afpelling geeft dus geen verbetering.
- **Afpelling 6: Opheffen verbindingsweg(en) op een niet-importante relatie.** Door de verbindingsweg Oost → Zuid op te heffen, wordt knelpunt 1 opgelost. Door de verbindingsweg Zuid → Oost op te heffen, worden knelpunten 2, 3 en 4 opgelost. Met de vrijgekomen ruimte kan knelpunt 5 ook worden opgelost.

De afpelmethodeik is doorlopen tot aan de zesde afpelling. Door deze afpelling toe te passen, ontstaat een ontwerp dat inpasbaar is in een voorbeeld van een praktijksituatie (zie Afbeelding 8.4).

Deze voorbeeldcasus toont aan dat de standaardontwerpen en de afpelmethodeik toepasbaar zijn om systematisch een inpasbaar ontwerp te creëren voor een knooppunt-aansluiting-combinatie.

Afbeelding 8.4 Ontwerp knooppunt A1/A30 na het toepassen van de afpelmethodeik (Achtergrondkaart overgenomen uit OpenStreetMap, z.d.).



## 9 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit onderzoek is antwoord gegeven op de hoofdvraag: **Welke standaardontwerpen en bijbehorende afpelmethoediek voor knooppunt-aansluiting-combinaties zijn generiek te adviseren?** Het antwoord op deze vraag bestaat uit een overzicht van standaardontwerpen en een afpelmethoediek voor het ontwerpen van knooppunt-aansluiting-combinaties.

De 21 standaardontwerpen zijn ingedeeld naar de configuratie van de takken van het knooppunt, de belangrijke relaties, de vorm van de verbindingswegen en de ligging van de aansluiting. De afpelmethoediek bestaat uit acht stappen waarmee de wegontwerper systematisch van een standaardontwerp naar een inpasbaar ontwerp werkt, en de onderbouwing en compenserende maatregelen voor iedere afwijking vastlegt.

Uit een inventarisatie is gebleken dat 34 van de 110 knooppunten in Nederland knooppunt-aansluiting-combinaties zijn. Dit benadrukt de relevantie van het vraagstuk en de behoefte aan een systematische methode die wegontwerpers ondersteunt bij het ontwerpen van knooppunt-aansluiting-combinaties.

Als voorbeeld zijn de standaardontwerpen en de afpelmethoediek getest op een actuele casus, het knooppunt A1/A30 bij Barneveld. Dit heeft geresulteerd in een inpasbaar ontwerp waarin de verkeersveiligheid en de doorstroming zoveel mogelijk zijn gewaarborgd.

De aanbeveling aan Rijkswaterstaat is om wegontwerpers kennis te laten maken met de standaardontwerpen en de afpelmethoediek voor het ontwerpen van knooppunt-aansluiting-combinaties. Dit kan bijvoorbeeld middels een workshopsessie waarin de ontwerpers deze hulpmiddelen gebruiken om een ontwerp te maken voor een casus. Door de resultaten te vergelijken en de ontwerpers te vragen om feedback, kunnen de hulpmiddelen worden geëvalueerd en gefinetuned.

Wanneer de standaardontwerpen en de afpelmethoediek voldoende getest en gefinetuned zijn, kunnen deze desgewenst worden geïmplementeerd in de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA). Het uitgangspunt voor optimaal wegontwerp blijft dat knooppunten en aansluitingen gescheiden zijn. Daarom moet de richtlijn duidelijk vermelden dat de ontwerpsystematiek voor knooppunt-aansluiting-combinaties alleen gebruikt wordt als een gescheiden knooppunt en aansluiting aantoonbaar niet mogelijk zijn.

## 10 BRONVERMELDING

OpenStreetMap. (z.d.). *OpenStreetMap*. Geraadpleegd op 25 maart 2021, van <https://www.openstreetmap.org/>

Rijkswaterstaat. (2016, 31 januari). *Human Factors voor verkeersveiligheid in het wegontwerp*. Geraadpleegd op 5 februari 2021, van [https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC\\_166883\\_31/](https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_166883_31/)

Rijkswaterstaat. (2019a, 7 oktober). *Kader wegontwerpproces*. Geraadpleegd op 5 februari 2021, van [https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC\\_166307\\_31/](https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_166307_31/)

Rijkswaterstaat. (2019b, 21 oktober). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2019*. Geraadpleegd op 5 februari 2021, van [https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC\\_166321\\_31/](https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_166321_31/)

Rijkswaterstaat. (2020, 17 maart). *Kader Verkeersveiligheid - Deel B: Methodieken en Achtergrondinformatie*. Geraadpleegd op 5 februari 2021, van [https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC\\_166883\\_31/](https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_166883_31/)

Schenk, N. (2021, 17 februari). Dit is het gevaarlijkste stuk snelweg van Nederland. *Algemeen Dagblad*. Geraadpleegd op 18 februari 2021, van <https://www.ad.nl/auto/dit-is-het-gevaarlijkste-stuk-snelweg-van-nederland~a6ca0fc8/>

Theeuwes, J. (2021, 4 maart). *Self-explaining roads: What does visual cognition tell us about designing safer roads?* Geraadpleegd op 14 april 2021, van <https://link.springer.com/article/10.1186/s41235-021-00281-6>