

# Infrastructuurplanning

# Inhoud

## Artikelen

Infrastructuurplanning	1
<b>1. Wat is infrastructuurplanning?</b>	<b>2</b>
Infrastructuurplanning/Wat is infrastructuurplanning	2
<b>2. Infrastructuurplanning als planproces</b>	<b>6</b>
Infrastructuurplanning/Planproces	6
<b>3. Probleemanalyse</b>	<b>11</b>
Infrastructuurplanning/Probleemanalyse	11
<b>4. Eisen en randvoorwaarden</b>	<b>18</b>
Infrastructuurplanning/Eisen en randvoorwaarden	18
<b>5. Ontwerpen van alternatieven</b>	<b>25</b>
Infrastructuurplanning/Alternatieven	25
<b>6. Netwerkopbouw</b>	<b>29</b>
Infrastructuurplanning/Netwerkopbouw	29
<b>7. Horizontaal tracé</b>	<b>34</b>
Infrastructuurplanning/Horizontaal tracé	34
<b>8. Verticaal tracé</b>	<b>43</b>
Infrastructuurplanning/Verticaal tracé	43
<b>9. Dimensionering van verkeersinfrastructuur</b>	<b>50</b>
Infrastructuurplanning/Dimensionering	50
<b>10. Toetsing van alternatieven</b>	<b>61</b>
Infrastructuurplanning/Toetsing	61
<b>11. Plan- en projectevaluatie</b>	<b>65</b>
Infrastructuurplanning/Evaluatie	65
<b>A. Coördinatensystemen en kaartprojecties</b>	<b>73</b>
Infrastructuurplanning/Coördinatensystemen en kaartprojecties	73

<b>B. Geo-informatie</b>	<b>84</b>
Infrastructuurplanning/Geo-informatie	84
<b>C. Topologische structuur en ruimtelijke analyse</b>	<b>97</b>
Infrastructuurplanning/Topologie	97
<b>Referenties</b>	
Paginabronnen en auteurs	106
Afbeeldingsbronnen, licenties en bijdragers	107
<b>Paginalicenties</b>	
Licentie	109

# Infrastructuurplanning

---

## Voorwoord

Dit boek is een introductie in de infrastructuurplanning. Infrastructuurplanning houdt zich bezig met de planning van nieuwe civieltechnische infrastructuur, zowel op netwerkniveau (stadsuitbreiding) als op het niveau van afzonderlijke tracés. Hierbij kan het in principe om verschillende soorten (lijn) infrastructuur gaan: wegen, spoorwegen en waterwegen, maar ook kabels en leidingen.

De doelgroep van dit boek bestaat uit aankomend planologen, civieltechnici en verkeerskundigen. Meer in het bijzonder richt het zich op studenten op bachelorniveau in deze disciplines. Daarbij is het specifiek ontwikkeld als studiemateriaal voor studenten civiele techniek van de Hogeschool van Amsterdam.

Dit boek is voor een belangrijk deel geïnspireerd op dictaten van Prof. Sanders, hoogleraar Infra-structuurplanning van de Technische Universiteit Delft. De gedeeltes met betrekking tot geo-informatie zijn grotendeels een bewerking van delen van het boek Geo-visualisatie van T. Nijeholt. Voor meer informatie verwijst ik naar de in de literatuurlijst genoemde bronnen.

Dit wikiboek is nog in opbouw. Initiatiefnemer is K. Koolstra, als docent verbonden aan de Hogeschool van Amsterdam, domein Techniek. Hulp bij dit project, van spellingcontrole tot actief meedenken en meeschrijven aan dit boek, is welkom.

## Leeswijzer

Dit boek bestaat uit 11 basishoofdstukken en drie verdiepingshoofdstukken. De basishoofdstukken kunnen het beste na elkaar worden gelezen, dus lineair. De verdiepingshoofdstukken zijn het beste parallel aan de basishoofdstukken te lezen en zijn vooral interessant voor geïnteresseerden in de achtergronden van het gebruik van (digitale) kaarten en geografische informatiesystemen in het infrastructuurplanningsproces.

De eerste twee basishoofdstukken zijn vooral inleidend van karakter en gaan over wat infrastructuurplanning is, mede aan de hand van een uitgewerkte casus, en het proces van probleemanalyse tot realisatie van nieuwe infrastructuur. Basishoofdstukken 3 en 4 gaan vooral in op het nut van nieuwe infrastructuur en de inpasbaarheid in de ruimtelijke structuur. In het vijfde tot en met het negende hoofdstuk staat het ontwerpen van alternatieven centraal op verschillende niveaus: van conceptuele alternatieven tot varianten qua dimensionering. In hoofdstuk 10 en 11 staat ten slotte het toetsen en vergelijken van deze alternatieven centraal.

---

# 1. Wat is infrastructuurplanning?

---

## Infrastructuurplanning/Wat is infrastructuurplanning

---

Het vakgebied van de civiel ingenieur is zeer breed. Een civiel ingenieur kan zowel te maken krijgen met beleid t.a.v. verkeer en water als het ontwerpen van civieltechnische constructies en het uitvoeren van civieltechnische projecten. Ook binnen de specialisatie verkeer en mobiliteit zijn weer diverse deelgebieden te onderscheiden, waaronder verkeerskunde, verkeersbouwkunde en infrastructuurplanning. Ten slotte kan een verkeerskundig civiel ingenieur zich bezighouden met verschillende schaalniveaus: van het ontwerp van een voetgangersbrug in een woonwijk tot het ontwerp van een internationale hogesnelheidslijn.

### Het ruimtelijk aspect van de civiele techniek

Het deelgebied *infrastructuurplanning* heeft alles te maken met het ruimtelijk aspect van de civiele techniek. De kern van het vakgebied van de civiel ingenieur is dat alle activiteiten gericht zijn op het ontwerpen, bouwen en beheren van infrastructurale voorzieningen, gesitueerd in de ruimte. Het laatste is een belangrijke tegenstelling met energie- en telecomsystemen: dit zijn ook infrastructurale voorzieningen, maar deze nemen nauwelijks ruimte in en hebben daardoor een veel beperktere relatie met en impact op de omgeving. Civieltechnische werken – of het nu gaat om verkeers-, water-, of utiliteitsbouw – nemen ruimte in en hebben een invloed op hun omgeving, soms tot op grote afstand. Civieltechnische bouwwerken zijn in feite de belangrijkste bouwstenen van de inrichting van de (openbare) ruimte door de mens. Daarbij maken ze vrijwel altijd onderdeel uit van een groter systeem: een sluis is slechts een onderdeel van een waterbeheersingssysteem, een viaduct slechts een onderdeel van een wegennet. Om het nut, de functie en de neveneffecten van – bijvoorbeeld – weginfrastructuur te kunnen begrijpen, moeten we dus meer weten over ruimtelijke inrichting.

Vanuit de samenleving worden talloze aanspraken gedaan op de schaarse ruimte die ons ter beschikking staat. We hebben onder andere ruimte nodig om te wonen, om te werken, om voedsel te verbouwen, om te recreëren en ons te verplaatsen tussen allerlei activiteiten. Daarbij moet weer een evenwicht worden gevonden tussen de ruimtevraag van mensen en de behoefte aan ruimte voor water en voor natuur. Sommige van dit soort functies kunnen wellicht samen gaan, maar andere zullen elkaar hinderen. Ruimtelijke inrichting is het maken van dergelijke keuzes. *Ruimtelijke inrichting* kan worden gedefinieerd als:

het situeren van functies in de ruimte, inclusief de hiervoor noodzakelijke fysieke voorzieningen.

Het begrip *ruimtelijke inrichting* is gerelateerd aan allerlei andere begrippen. Hier zal een kort overzicht worden gegeven van een aantal belangrijke begrippen die gerelateerd zijn aan ruimtelijke inrichting.

- *ruimtelijke ordening*:  
de besluitvorming en regelgeving ten behoeve van de ruimtelijke inrichting
  - *ruimtelijke planning*:  
het proces van ontwerp, besluitvorming en uitvoering van ruimtelijke plannen
  - *planologie*  
de tak van wetenschap die zich bezighoudt met ruimtelijke planning
  - *stedenbouwkunde*:  
de tak van wetenschap die zich bezighoudt met het vormgeven van de gebouwde omgeving
-

De rol van de civieltechnicus bij ruimtelijke inrichtingsvraagstukken is vooral het analyseren van knelpunten en het ontwerpen van (civieltechnische) oplossingen hiervoor. Hierbij wordt in toenemende mate verwacht dat civieltechnici meedenken over niet-civieltechnische oplossingen binnen hun specialisatie. Als alternatief voor het bouwen van nieuwe verkeersinfrastructuur kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een beter verkeersmanagement of een beter verkeerstechnisch ontwerp.

Infrastructuurplanning is binnen dit spectrum het raakvlak tussen enerzijds de planologie en anderzijds de verkeerskunde en de civiele techniek. Het raakvlak tussen de vakgebieden civiele techniek en planologie wordt ook wel aangeduid met de begrippen civiele planologie en technische planologie. Hierbij gaat het om de planning van (civieltechnische) infrastructuur: wegen, kanalen, knooppunten, etc. De belangrijkste aandachtspunten van dit vakgebied zijn:

- globaal ontwerp van ruimtelijke inrichtingsalternatieven, alternatieve tracés e.d.
- evaluatie van alternatieven
- plannings- en besluitvormingsprocedures

In dit boek komen al deze drie aspecten nader aan bod, waarbij de nadruk ligt het ontwerpen van alternatieve infrastructuurtracés en het evalueren van deze alternatieven.

## Casussen

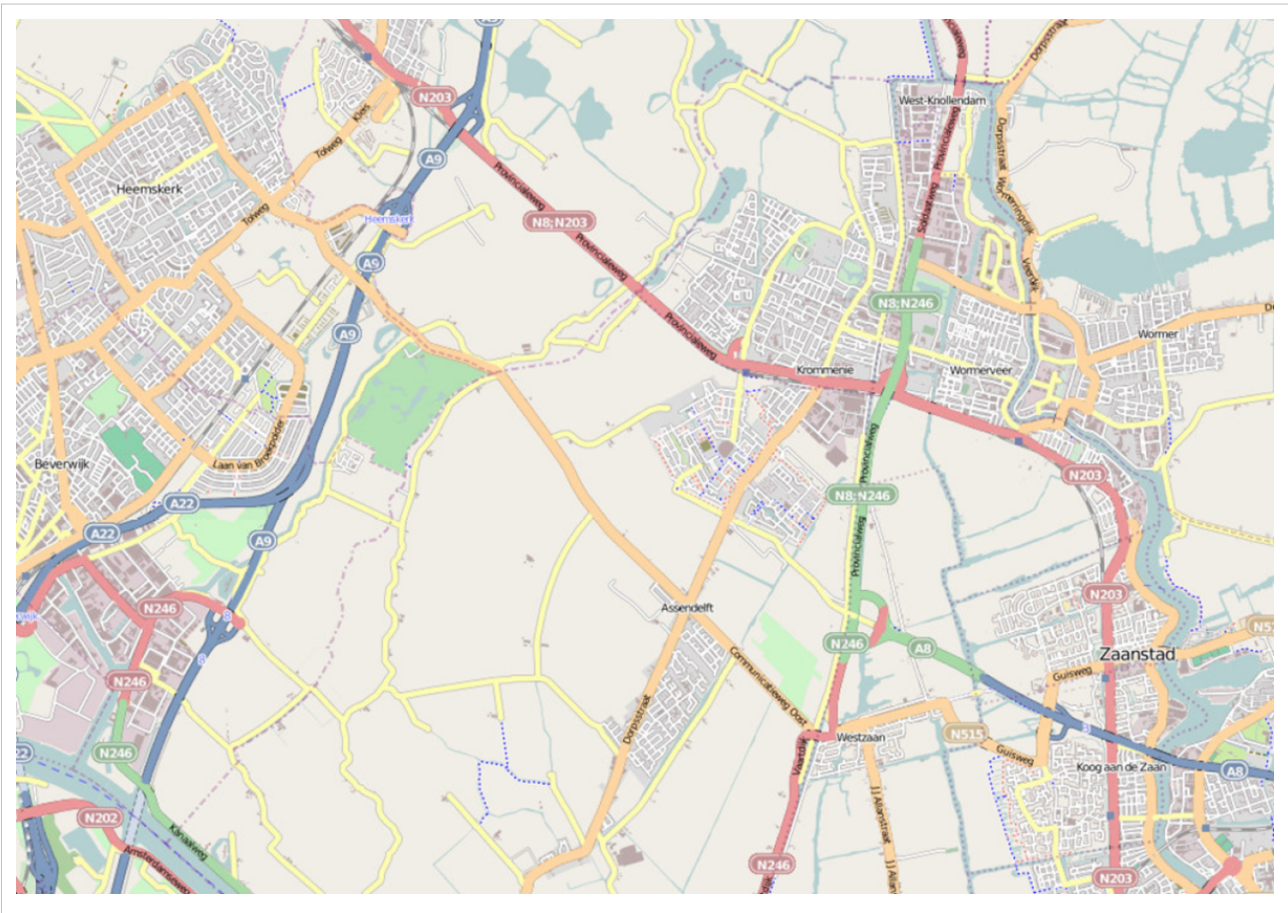
In de infrastructuurplanning zijn er grofweg twee typen casussen:

- ontsluiting van nieuwe woon- en werkgebieden
- nieuwe verbindingen tussen steden/gebieden

De hoofdcasus van dit boek is de planning van een nieuwe wegverbinding. Hierbij vragen we ons eerst af wat het probleem is dat moet worden opgelost. Vervolgens werken we stap voor stap aan de oplossing van het probleem: van vooronderzoek (analyse van probleem en mogelijk oplossingen) via systematisch ontwerpen en daarna systematisch evalueren van alternatieven tot aan het besluit van realisatie. Ook realisatie en beheer kunnen behandeld worden als onderdeel van de plancyclus, maar komen in dit boek niet nader aan bod.

Een ander type casus is de realisatie van een nieuw woon- en werkgebied. De groei van het verstedelijkte gebied door de realisatie van nieuwe woon- en werkgebieden vraagt ook om een goede verkeersontsluiting. Wegen, maar ook fietspaden en busbanen zijn onderdeel van de infrastructuur die steden en stadsdelen bereikbaar en toegankelijk maken. Maar ook voor de onderlinge verbinding tussen plaatsen is verkeersinfrastructuur nodig. Het verschil is, naast het schaalniveau, dat bij een nieuwe woonwijk het netwerk geheel nieuw kan worden ontworpen, terwijl bij nieuwe verkeersverbindingen er meestal sprake is van een (kleine) toevoeging op een bestaand netwerk.

## Voorbeeldcasus: verbinding A8 - A9 <sup>[1]</sup>



Ontbrekende schakel van de A8 tussen Westzaan en Heemskerk. <sup>[2]</sup>

De A8 is met een lengte van nog geen 10 km één van de kortste autosnelwegen van Nederland. De snelweg loopt van het Knooppunt Coenplein (aansluiting met de A10) in Amsterdam tot de aansluiting Westzaan. De eerste fase van de weg, Amsterdam – Zaandam, is opgeleverd in 1968 en de tweede fase (tot Westzaan) in 1970. Het tracébesluit van 1961 voorzag in een verdere doortrekking tot aan de A9 bij Heemskerk. Om uiteenlopende redenen (kosten, verwachte nadelige effecten op de files bij de Coentunnel) is deze laatste fase (tot op heden) nooit gerealiseerd.

De Provincie Noord-Holland studeert momenteel op mogelijkheden om de A8 alsnog een goede verbinding te geven met de A9. De provincie is van mening dat een verbindingsweg tussen de A8 en de A9 absoluut noodzakelijk is om de verkeersproblemen op de N203 en N246 nu en in de toekomst op te lossen. Toenemende verkeersdruk op de vervangende route (aangeduid als N8) leidt namelijk tot verkeersopstoppingen, milieuproblemen voor de aangrenzende bebouwing en leefbaarheidsproblemen door de barrièrewerking als gevolg van dergelijke grote verkeersstromen door de bebouwde kom van Krommenie.

Oorspronkelijk zou de A8 worden doorgetrokken als autosnelweg. Uit de verkenning die in opdracht van de Provincie is uitgevoerd blijkt echter dat een regionale stroomweg (90 km/h) of een gebiedsontsluitingsweg (80 km/h) ook de problemen voldoende kunnen oplossen. De voorkeur van de betrokken overheden gaat uit naar een verbinding die ter hoogte van de huidige aansluiting Heemskerk aansluit op de A9. Gezien de verwachte verkeersintensiteiten in de avondspits - afhankelijk van het type weg en de aansluitingen op het onderliggend wegennet tot ruim 3500 motorvoertuigen per uur - wordt in alle varianten uitgegaan van een 2\*2-strooks uitvoering van de weg, dus twee rijstroken per richting.

---

**Voetnoten:**

- [1] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma Rijksweg 8 op wikipedia; versie: ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksweg\\_8&oldid=19873926](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksweg_8&oldid=19873926)), auteurs: ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksweg\\_8&action=history](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksweg_8&action=history))
- [2] Bron: Bewerking van Openstreetmap (<http://www.openstreetmap.org>)
-



---

## 2. Infrastructuurplanning als planproces

---

### Infrastructuurplanning/Planproces

---

In het vorige hoofdstuk is benadrukt dat civieltechnische ingrepen een onderdeel zijn van de ingrepen in de ruimtelijke inrichting. Deze ingrepen gebeuren niet spontaan, maar worden gepland. Dit hoofdstuk gaat in op de vraag uit welke stappen het planningsproces bestaat. Hierbij is het uitgangspunt dat het uiteindelijke (civieltechnische) product de oplossing is van een bepaald maatschappelijk probleem. Civieltechnische oplossingen zijn altijd onderdeel van ruimtelijke inrichtingsmaatregelen en daarom gaat het hier specifiek om ruimtelijke planningsprocessen.

De belangrijkste beslissingsmomenten, maar ook eisen m.b.t. de afweging zelf en de te ontwikkelen alternatieven, zijn in Nederland vastgelegd in wetgeving. Het planvormingsproces is vaak langdurig, waardoor het jarenlang kan duren voordat er met de aanleg of uitbreiding van verkeersinfrastructuur begonnen kan worden. Daarna kan ook de uitvoeringsfase met name bij grote projecten nog lange tijd in beslag nemen.

Een ruimtelijk planningsproces is te omschrijven als het geheel van activiteiten met betrekking tot de voorbereiding, bepaling, uitvoering, monitoring, bijsturing en evaluatie van ruimtelijk beleid. <sup>[1]</sup>

Planningsprocessen bestaan uit twee hoofdstadia: planvorming en planuitvoering. De planvormingsfase kan weer worden onderverdeeld in de verkenningsfase (welke nauwelijks aan nadere regelgeving onderworpen is) en de planstudiefase (waarbij zowel bestuurlijke randvoorwaarden als regelgeving omtrent milieu-effecten bepalend kan zijn voor welke alternatieven in het onderzoek worden betrokken). De planvormingsfase staat centraal in dit boek, de planuitvoering komt na dit hoofdstuk niet nader meer aan bod.

In de dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de vraag uit welke stappen het planningsproces bestaat. Hierbij is het uitgangspunt dat het uiteindelijke (civieltechnische) product de oplossing is van een bepaald maatschappelijk probleem.

### Cycliciteit van het planvormingsproces

In de planologische en bestuurskundige literatuur wordt benadrukt dat een planningsproces niet als simpel lineair proces moet worden opgevat. Sommigen benadrukken dat het proces cyclisch is: na verloop van tijd zal ook het definitieve ontwerp vaak niet meer voldoen, hetgeen leidt tot een nieuwe probleemanalyse en uiteindelijk een nieuw ontwerp. Daarnaast wordt benadrukt dat er allerlei terugkoppelingen mogelijk zijn: ook later in het proces kunnen bijvoorbeeld nieuwe alternatieven worden ontwikkeld. Een bekend voorbeeld is de tunnel onder het Groene Hart in de HSL Zuid. Deze komt niet voor in de oorspronkelijk ontwikkelde alternatieven, maar is later in de procedure ingebracht als variant op het voorkeursalternatief dat een tracé door een deel van het Groene Hart behelst. Tenslotte wordt door sommige bestuurskundigen benadrukt dat ruimtelijke planningsproblemen vaak zo complex zijn, dat pragmatisme overheerst. Dit betekent dat vaak overzichtelijke deelproblemen worden aangepakt, slechts een beperkt aantal alternatieven wordt meegenomen, etc. Dit betekent ook dat wisselende (politieke) prioriteiten, druk van de publieke opinie e.d. invloed hebben op de planvorming in de vorm van het aandraagen van nieuwe alternatieven, versnellen of vertragen van het proces, etc.

## Planning van stadsuitbreidingen

In deze paragraaf kijken we specifiek naar het planningsproces ten aanzien van ruimtelijke inrichtingsvraagstukken en de rol van de civieltechnicus daarin. Hierbij gaat het met name om de planning van stadsuitbreidingen. De ruimtelijke inrichting tracht de behoefte aan functies naar aard en hoeveelheid vast te stellen in een programma van eisen en ze volgens een bepaalde ordening te situeren en technisch vorm te geven in een bepaalde ruimte. Het programma van eisen wordt gebaseerd op planologisch onderzoek en is weer de basis voor het ruimtelijk plan. Planologisch onderzoek heeft tot doel inzicht te verkrijgen in de behoeften, de mogelijkheden en de effecten van het ruimtegebruik.

In de vorige paragraaf is reeds geconstateerd dat niet alleen civieltechnici, maar (onder andere) ook planologen en stedenbouwkundigen zich bezig houden met aspecten van het ruimtelijke inrichtingsvraagstuk. Maar ook deskundigen van andere disciplines zijn van belang bij ruimtelijke inrichtingsvraagstukken zoals de planontwikkeling van stedelijke uitbreidingen: verkeerskundigen, planeconomen, sociaal-geografen, architecten. De ontwikkeling van ruimtelijke plannen vereist daarom de samenwerking van onderzoekers en ontwerpers vanuit verschillende disciplines.

De benodigde samenwerking tussen verschillende disciplines kan op verschillende manieren gestalte krijgen. In de traditionele aanpak worden de grenzen tussen de disciplines vrij strak gehanteerd en is de inbreng van éénieder beperkt tot het terrein van de eigen vakdiscipline. Daarbij werken de verschillende disciplines vaak na elkaar aan het plan in plaats van tegelijkertijd:

1. Eerst berekent de sociaal-geograaf of planoloog op basis van prognoses de behoefte aan woningen, bedrijfsterreinen, voorzieningen etc. Deze behoefte wordt vervolgens vertaald in een ruimtelijk programma: een overzicht van de ruimtebehoefte per functie.
2. Vervolgens ontwerpt de stedenbouwkundige een plan voor het ruimtelijk programma. In dit stedenbouwkundig plan worden de verschillende functies ruimtelijk gesitueerd en de ontsluitingsstructuur wordt aangegeven. Hierbij wordt in toenemende mate samengewerkt met marktpartijen zoals projectontwikkelaars e.d.
3. De ontsluitingsstructuur wordt door een verkeerskundige getoetst en samen met de stedenbouwkundige verder uitgewerkt. Hierbij worden wegen gecategoriseerd naar ontsluitings- en erftoegangswegen. Speciale aandacht moet hierbij worden gegeven aan de ontsluitingsroutes voor bevoorradend verkeer, routes voor vuilniswagens en de bereikbaarheid voor hulpdiensten. Ook wordt er specifiek gekeken naar de routes voor langzaam verkeer en voor het openbaar vervoer en worden keuzes gemaakt m.b.t. tot het parkeren (behoefte aan parkeerplaatsen, straat- of erfparkeren). Daarnaast werkt de landschapsarchitect het openbaar groen verder uit, in samenspraak met de stedenbouwkundige.
4. Op basis van de inbreng van de verkeerskundige en de landschapsarchitect wordt het concept stedenbouwkundig plan vastgesteld.
5. Op basis van dit plan maakt de civieltechnicus (watermanager) een waterbeheersplan, waaronder begrepen de hemelwaterafvoer (berging, h.w.a. riolen, singels) en de 'gewone' riolering. Ook de andere benodigde civieltechnische constructies worden in concept uitgewerkt (bruggen e.d.).
6. Vervolgens wordt een concept grondexploitatieberekening gemaakt door de planeconoom. In deze berekening worden alle uitgaven en inkomsten van het plan berekend en in de tijd gepland. Hierbij wordt gekeken of het plan financieel haalbaar is in de huidige vorm of dat er aanpassingen noodzakelijk zijn, dan wel dat er extra financiering nodig is. Aanpassingen die kunnen leiden tot een gunstiger exploitatieresultaat zijn o.a. goedkopere civieltechnische constructies, vergroting van het uitgeefbaar terrein ten koste van het openbaar gebied, gunstiger fasering door investeringen uit te stellen en/of grond vroeger te verkopen en het verkleinen van het aandeel van niet-rendabel programma, zoals sociale woningbouw.
7. In overleg met het gemeentebestuur stelt de stedenbouwkundige het definitieve stedenbouwkundige plan op, waarna het plan in procedure kan worden gebracht. De belangrijkste stap hierbij is het vaststellen van een concept-bestemmingsplan, wat door de gemeenteraad goedgekeurd moet worden.

Hoewel deze aanpak als voordeel heeft dat iedere discipline een diepgaande inbreng in het proces kan hebben, heeft dit als belangrijk nadeel dat er geen evenwichtige afweging plaatsvindt tussen functionele, esthetische, financiële en technische criteria, doordat in principe de inbreng van iedere discipline na elkaar plaats vindt. Derhalve wordt in toenemende mate gestreefd naar een integrale aanpak. Dit betekent niet alleen dat de verschillende disciplines tegelijkertijd hun inbreng hebben in het proces, maar ook dat er gestreefd wordt om belangrijke keuzes in samenspraak te nemen, waarbij een integrale afweging gemaakt wordt tussen de verschillende aspecten. Deze aanpak moet voorkomen dat een esthetisch geslaagd stedenbouwkundig plan onder invloed van technische en economische randvoorwaarden waarmee geen rekening is gehouden, uiteindelijk resulteert in een matig definitief plan.

Hoewel al enige decennia het belang van integraal ontwerpen door velen wordt onderstreept, blijkt de praktijk weerbarstiger. Problemen blijken o.a. te zijn de verkokering in het denken binnen gemeentelijke organisaties, verschillen in cultuur en taalgebruik van de verschillende disciplines en te weinig inzicht in de aanpalende disciplines om de 'eigen' belangen en criteria goed te kunnen afwegen tegen de belangen en criteria vanuit andere disciplines. Hierdoor krijgt integraal ontwerpen als snel het karakter van een onderhandelingsproces. Daarbij komt dat het niet de ontwerpers zijn die uiteindelijk beslissen hoe het plan eruit komt te zien, maar 'de politiek', hetgeen in feite betekent dat het resultaat is van een onderhandelings- en overlegproces tussen wethouders, gemeenteraadsleden van verschillende partijen, marktpartijen en betrokken burgers.

Uitgaande van een meer integraal ontwerpproces kunnen nog vier stadia van het planproces worden onderscheiden:

1. opstellen ruimtelijk programma en ontwerprijlijnen;
2. opstellen globaal stedenbouwkundig plan, inclusief voorlopige exploitatieberekening;
3. uitwerken van een gedetailleerd stedenbouwkundig plan met bijbehorend rioleringsplan, fasering en exploitatieberekening;
4. juridische uitwerking in een (concept) bestemmingsplan.

## **Tracéplanning** <sup>[2]</sup>

De belangrijkste beslissingsmomenten, maar ook eisen m.b.t. de afweging zelf en de te ontwikkelen alternatieven, zijn in Nederland vastgelegd in wetgeving. Het planvormingsproces is vaak langdurig, waardoor het jarenlang kan duren voordat er met de aanleg of uitbreiding van verkeersinfrastructuur begonnen kan worden. Daarna kan ook de uitvoeringsfase met name bij grote projecten nog lange tijd in beslag nemen.

De planning van verkeersinfrastructuur is vastgelegd in de Planwet verkeer in vervoer van 1998. Volgens deze wet moeten op nationaal, provinciaal en gemeentelijk niveau verkeersplannen worden gemaakt. Op rijksniveau wordt een Nationaal Verkeers- en Vervoersplan (NVVP) gemaakt. Provincies zijn verplicht om een Regionaal Verkeers- en Vervoersplan (RVVP) te maken en tenslotte moeten gemeentes zorgen voor een Gemeentelijk Verkeers- en Vervoersplan (GVVP).

De uitwerking van het NVVP vindt plaats in het jaarlijks geüpdate Meerjarenprogramma Infrastructuur, Transport en Ruimte (MITR), hetgeen tot enkele jaren geleden beperkt was tot MIT. In het MIT(R) wordt het strategische beleid uit het NVVP geëvalueerd en verder uitgewerkt. Verder wordt aangegeven welke infrastructuurprojecten er zijn, waarbij drie fasen worden onderscheiden: verkenning, planstudie en realisatie. Daarbij wordt aangegeven welk budget er de komende jaren beschikbaar is voor welk project. De verkenningsfase is met name een analyse van het probleem en de oplossingsmogelijkheden, bij een planstudieproject wordt een voorgestelde oplossingsrichting verder uitgewerkt en getoetst aan de alternatieven. Indien besloten wordt het project daadwerkelijk uit te voeren, dan begint de realisatiefase, die eindigt met het opleveren van het project. Na de planuitvoering komt een project in de beheersfase en eventueel in de sloopfase wanneer verkeersinfrastructuur disfunctioneel geworden is. Overigens kan sloop van infrastructuur prima worden opgevat als afzonderlijk project met een eigen planningstraject. Deze fasen komen echter in dit boek niet nader aan bod.

## Verkenningfase

In de verkenningfase wordt er onderzocht of er een probleem is of te verwachten is in de nabije toekomst bij ongewijzigd probleem en wordt geanalyseerd wat mogelijke oplossingsrichtingen zijn. Onderdeel van de verkenningfase is ook het analyseren van de te verwachten ontwikkelingen en het formuleren van de doelstellingen van het planproces.

Onderdeel van de verkenningfase is ook een verkenning van de alternatieven. Tracés worden uitgewerkt, over het algemeen op kaarten met schaal 1:25 000 of 1:50 000. Op deze manier wordt er voldoende detailniveau bereikt, om knelpunten en knooppunten te onderscheiden en nader te bekijken.

Het vooronderzoek wordt vastgelegd in een (openbaar) rapport en op basis van dit rapport wordt besloten, meestal door de financieel verantwoordelijke overheden, of er een planstudie wordt opgestart om alternatieve oplossingen van het probleem verder uit te werken.

## Planstudiefase

De planstudiefase heeft als belangrijkste elementen het uitwerken en evalueren van alternatieven. De beschrijving van het probleem wordt nader gedetailleerd en de oplossingsrichtingen uit het vooronderzoek worden nader uitgewerkt in alternatieven, inclusief mogelijkheden benuttingsalternatieven (nulplusalternatieven, zie hoofdstuk 5). Per alternatief worden de verwachte effecten in beeld gebracht en beoordeeld ten opzichte van de situatie met ongewijzigd beleid (nulalternatief). De volgende stap is het evalueren van alternatieven, waarbij eerst beoordelingscriteria moeten worden vastgesteld, om vervolgens de te verwachten effecten te analyseren om de alternatieven te kunnen beoordelen. Uiteindelijk zal dit leiden tot het vaststellen van een voorkeursalternatief.

Wanneer een project onder de Tracéwet valt <sup>[3]</sup>, wordt de planstudie gerapporteerd in een trajectnota. In de trajectnota is de milieueffectrapportage geïntegreerd. Ook in andere situaties wordt er echter wel gesproken van een trajectnota bij de rapportage van de planstudiefase.

## Besluitvormingsfase

De besluitvorming is de definitieve keuze van het uit te voeren alternatief, hetgeen bij publieke werken niet de taak is van de ontwerpers en analisten, maar van bestuurders en/of volksvertegenwoordigers. Deze besluitvorming behelst in de eerste plaats het vaststellen van het tracébesluit (bij projecten die onder de Tracéwet vallen). Het tracé- of projectbesluit geeft de grens aan tussen de afrondingen van de planvorming en de voorbereiding van de uitvoering. Daarnaast moet ook de financiering van het project worden geregeld, dit gebeurt bij rijksprojecten door reservering van middelen in het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Transport en Ruimte (MITR). Provincies hebben hun eigen meerjarenprogramma's. Overigens wordt ook de financiering van de verkennings- en planstudiefasen geregeld in deze meerjarenprogramma's.

## Uitvoeringsfase

Onder de uitvoeringsfase wordt niet alleen de uitvoering van de werken zelf verstaan, maar ook de voorbereiding van de uitvoering:

- aanbesteding;
- vergunningverlening;
- contract- en vergunningmanagement.

Een belangrijk aspect bij de aanbesteding is de contractvorm. Bij een 'traditioneel' contract is de opdrachtgever verantwoordelijk voor het definitief ontwerp en het bestek en heeft de uitvoerende partij geen ontwerpverantwoordelijkheid. Bij modernere contractvormen wordt een deel van de ontwerpverantwoordelijkheid overgeheveld naar de opdrachtnemer. Ook andere verantwoordelijkheden, zoals het vergunningmanagement, communicatie met omwonenden e.d. worden in toenemende mate overgelaten aan de opdrachtnemer. Hierdoor

wordt het contract- en vergunningmanagement bij de opdrachtnemer steeds belangrijker.

Na de oplevering van het werk, vindt de definitieve afrekening plaats. De opdrachtnemer kan daarbij gebonden zijn aan een onderhoudstermijn, variërend van 'gewoon' garantieonderhoud tot volledig onderhoudsverantwoordelijkheid voor meerdere jaren. Dit is wederom afhankelijk van de contractvorm.

---

**Voetnoten:**

[1] Voogd, H. J. Woltjer & T. van Dijk (2012), Facetten van de planologie. Kluwer, Alphen a/d Rijn, editie 2012.

[2] Deze paragraaf is gebaseerd op hoofdstuk 2 van Introductie in de Spoortechniek van P. van der Zwalm.

[3] zie o.a. Voogd *et al.*, 2012

---

---

## 3. Probleemanalyse

---

### Infrastructuurplanning/Probleemanalyse

---

Een belangrijke eerste stap in ieder infrastructuurplanningsproces is het vaststellen van de vraag in hoeverre er nu werkelijk sprake is van een probleem die vraagt om ingrijpen in de infrastructuur. Hierbij gaat het niet alleen om de huidige situatie, maar vooral om de te verwachten toekomstige situatie. We verbeteren bestaande en bouwen nieuwe infrastructuur immers niet voor het heden, maar voor de toekomst.

#### Nulalternatief

Het uitgangspunt bij de probleemanalyse is het *nulalternatief*. Een nulalternatief is in de planologie de meest waarschijnlijk te achten ontwikkeling die zal plaatsvinden in geval het project niet wordt uitgevoerd. <sup>[1]</sup> Het nulalternatief klinkt bijna als geen alternatief. Toch is het afzien van het voorgestelde ingrijpen - bijvoorbeeld de aanleg van een nieuw weg- of spoorwegtracé - juist een belangrijk alternatief is dat altijd in overweging moet worden genomen. Daarbij komt dat het beschrijven van de te verwachten ontwikkeling zonder ingrijpen goed duidelijk maakt hoe groot het probleem is. Het nulalternatief wordt vaak gebruikt als referentiepunt voor de andere alternatieven; de effecten van andere alternatieven hiertegen afgezet. Hierdoor wordt duidelijk wat de meerwaarde is van de voorgestelde alternatieven.

In planevaluaties, bijvoorbeeld als onderdeel van een milieueffectrapportage, is het nulalternatief de verplichte basis waartegen de effecten van de andere alternatieven worden vergeleken.

#### Bepalen van de autonome ontwikkeling

In dit hoofdstuk komen een aantal aspecten aan bod die vaak relevant zijn in de beschrijving van de nulsituatie. Het gaat hierbij vooral om de 'autonome' ruimtelijke ontwikkeling in de planperiode en in samenhang daarmee de verwachte behoefte aan ruimte voor verschillende functies (wonen, werken,...). Wellicht de belangrijkste vraag in Infrastructuurplanningsvraagstukken is echter het verwachte verkeersbeeld bij ongewijzigd beleid. In het vervolg van dit hoofdstuk gaan we daarom specifiek in op de raming van de behoefte aan nieuwe stedelijke functies als de raming van het te verwachten verkeersbeeld bij ongewijzigd beleid.

#### Ruimtelijke ontwikkelingen

Ruimtelijke ontwikkelingen, zoals de ontwikkelingen van nieuwe woonwijken en bedrijventerreinen, maar ook vergrijzing en bevolkingsafname in bestaande woonwijken, zijn in belangrijke mate van invloed op de vraag naar (verkeers)infrastructuur. Alleen al om deze reden is het heel belangrijk dergelijke ontwikkelingen mee te nemen in de probleemanalyse. Daarnaast stellen ruimtelijke ontwikkelingen als de ontwikkeling van nieuwe woonlocaties, recreatiegebieden, infrastructuur e.d. ook randvoorwaarden aan de mogelijkheden om nieuwe infrastructuur te ontwikkelen.

In de casus A8/A9 is zijn bijvoorbeeld belangrijke ontwikkelingen die verwacht mogen worden in de nabije toekomst:

- verdere uitbreiding van de woonwijk Saendelft (deel van Assendelft);
  - verdere 'vergrijzing' van de bevolking in de bestaande wijken;
  - capaciteitsuitbreiding bij de Coentunnel en daarmee toename van de verkeersvraag op de verbinding tussen de A8 en de A9;
-

## Bevolkingsontwikkeling

Bij het vaststellen van de vraag naar infrastructuur moet in eerste instantie worden gekeken naar de ontwikkeling van de bevolkingssamenstelling en het aantal huishoudens. Als bijvoorbeeld de bevolking in een bepaald stadsgewest stabiel in omvang blijft, maar wel vergrijsd, dan zal dit niet alleen leiden tot een daling van de behoefte aan scholen, maar ook tot een andere mobiliteitsbehoefte. De bevolkingsontwikkeling is op regionaal niveau, met een beperkte regiole en internationale migratie en met geen sterk veranderde geboorte- en sterftcijfers, relatief goed te voorspellen. Voor dit aspect zijn dan ook betrouwbare prognoses beschikbaar. De meest gebruikte – en ook meest betrouwbare – methode om een bevolkingsprognose te maken is de cohortmethode. Een cohort is een bevolkingsgroep die in dezelfde periode (meestal één of vijf jaar) geboren is. Uitgangspunt bij deze methode is dat iedere periode een bepaald percentage van een cohort zal sterven en een bepaald percentage zal emigreren. Na deze periode is het betreffende cohort één leeftijdsklasse opgeschoven: de 0-5 jarigen in 2005 zijn 5-10 jarigen geworden in 2010, etc. Het aantal geboortes per periode wordt afgeleid van het aantal vrouwen in de ‘vruchtbare’ leeftijdsklassen, waarbij iedere leeftijdsklasse een eigen leeftijdspecifiek vruchtbaarheidscijfer kent. Gegeven een goede schatting van de ontwikkeling van deze parameters (sterfte-, geboorte- en migratiekansen per leeftijdsklasse), kan nu een prognose worden gemaakt van de bevolkingsomvang na een willekeurig aantal periodes.

## Ruimtelijke plannen

Naast de autonome groei en krimp van de bevolking en de veranderende bevolkingssamenstelling, zijn ook ontwikkelingen als de realisatie van nieuwe woonwijken en bedrijventerreinen van invloed op de ruimtelijke spreiding van wonen en werken in de toekomst. Een belangrijk onderdeel van de probleemanalyse is daarmee het verkennen van de huidige ruimtelijke plannen voor nieuwe woon- en werkgebieden en grote publiekstrekkende functies en de daarbij verwachte ontwikkelingen qua aantallen inwoners, huishoudens, arbeidsplaatsen en bezoekers per gebied.

## Verkeers- en vervoersprognoses

Verkeersprognoses zijn onmisbaar in ruimtelijke planprocessen. Er verandert immers altijd wel iets aan de vraag naar verkeer (nieuwe woonwijken, nieuwe bedrijventerreinen) en/of het aanbod aan verkeersinfrastructuur (nieuwe of bredere wegen, etc.). Een goede prognose van de te verwachten verkeersintensiteiten kan echter pas worden gemaakt nadat het aanbod aan verkeersverbindingen bepaald is. Desalniettemin is het natuurlijk wenselijk om in de verkennende fase reeds een indruk te krijgen van de behoefte aan nieuwe verkeersinfrastructuur. Dit kan door een verkeersprognose te maken op basis van het nulalternatief.

## Verkeerstellingen en trendextrapolaties

Met name wanneer een reeds optredend of verwacht verkeersknelpunt de aanleiding is van de planstudie, is het wenselijk om de verwachte verkeerssituatie bij ongewijzigd beleid te voorspellen. Een simpele methode hiervoor is door eerst m.b.v. verkeerstellingen een beeld te krijgen van de huidige verkeersvolumes en de huidige kwaliteit van de verkeersafwikkeling (bijvoorbeeld reistijden en snelheden). Een eventueel te verwachten groei in de verkeersvolumes kan worden meegenomen door bijvoorbeeld een landelijk verwachte jaarlijkse groei van het verkeersvolume toe te passen. Bij verkeersinfrastructuur met een beperkt aantal gebruikers, zoals spoorwegen, is het echter gebruikelijk om bij het bepalen van de te verwachten of gewenste groei in het verkeersvolume vooral gebruik te maken van informatie van vervoerders hierover.

Ook bij planstudies waarbij gewenste verbetering van de infrastructuur het uitgangspunt is – bijvoorbeeld de wenselijkheid van een snelle treinverbinding naar het Noorden – is het logisch om reeds in de verkenningsfase te kijken naar het potentiële verkeers- en vervoersvolume. Ook voor dit type planstudies kan vaak gebruik worden gemaakt van bestaande gegevens over vervoersstromen en/of bestaande prognoses die uitgaan van ongewijzigd beleid. Door middel van eenvoudige trendextrapolaties (bijvoorbeeld een landelijk verwachte jaarlijkse groei van het

vervoersvolume) kan een inschatting worden gemaakt van toekomstige vervoersvolumes.

## **Verkeersmodellen**

Een alternatief is gebruik te maken van een verkeersmodel om de toekomstige situatie bij ongewijzigd beleid te voorspellen. Op nationale en regionale schaal zijn in veel gevallen reeds prognoses beschikbaar (bijvoorbeeld d.m.v. het Nederlands Regionaal Model (NRM) dat wordt beheerd door Rijkswaterstaat). Een dergelijk (traditioneel) verkeersmodel bestaat in feite uit enkele deelmodellen die alle drie al op zich interessante informatie opleveren:

- productie-attractiemodel
- distributie- en vervoerwijzekeuzemodel
- toedelingsmodel

Het productie- en attractiemodel geeft informatie over hoeveel verkeer een bepaald gebied genereert per tijdsperiode. Het distributie- en vervoerwijzekeuzemodel resulteert in een herkomst-bestemmingsmatrix per vervoerwijze, waaruit op te maken is welke verkeers- en vervoersvolumes verwerkt moeten worden. Het toedelingsmodel deelt ten slotte het verkeer toe aan het netwerk, waardoor ook per wegvak of OV-verbinding de verkeers- of vervoersvolumes verwacht mogen worden. Door deze volumes te vergelijken met de beschikbare capaciteit kun je capaciteitsknelpunten identificeren, bijvoorbeeld in de vorm van files op autosnelwegen of overbelasting van treinen.

## **In kaart brengen van de nulsituatie**

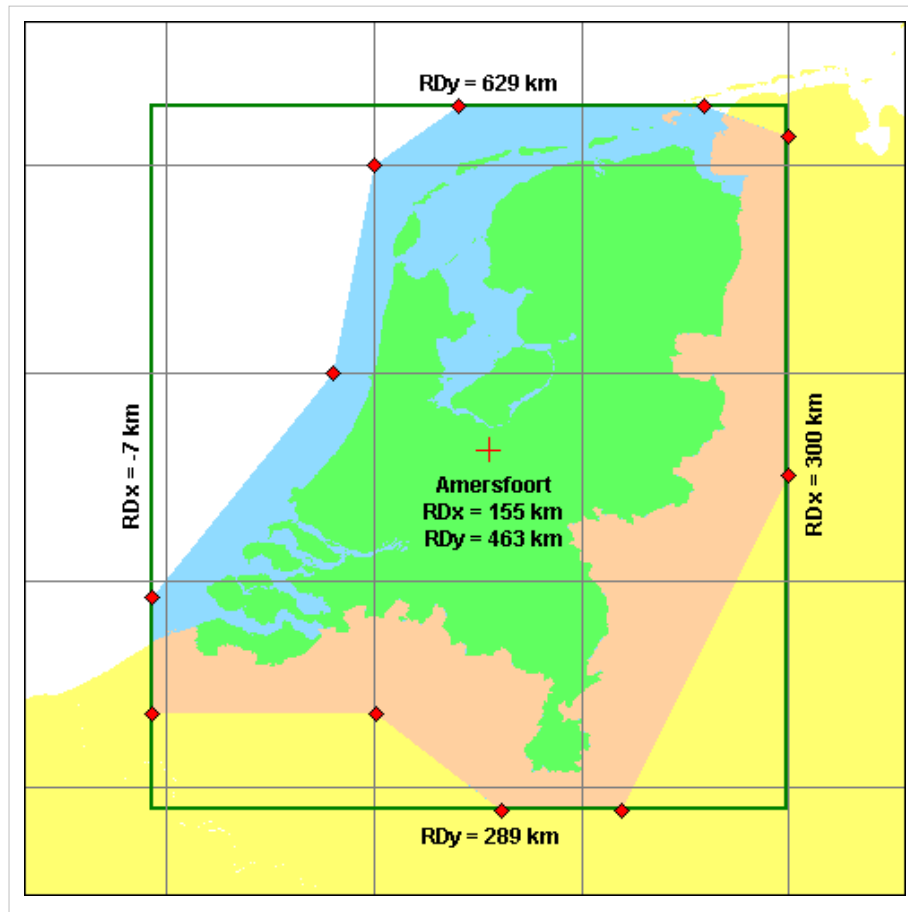
Uit de probleemanalyse komen vooral ruimtelijke gegevens: lokatiegeschiktheidsgegevens, maar ook verkeersprognoses. Deze ruimtelijke gegevens dienen vervolgens weer als basis om de ruimtelijke randvoorwaarden vast te stellen en om alternatieven te ontwerpen.

Bij het plannen van stadsuitbreidingen en nieuwe tracés maken we vanouds gebruik van kaarten. 'In kaart brengen' is echter in dit geval een verouderde term. Natuurlijk: we zouden alle informatie op papieren kaarten kunnen weergeven, net als we het tracé op een papieren kaart zouden kunnen ontwerpen. Tegenwoordig is een kaart meestal echter niet meer (en niet minder) dan een papieren product dat wordt gemaakt op basis van een digitaal informatiesysteem: een geografisch informatiesysteem (GIS). Maar geografische informatiesystemen kunnen meer dan alleen het karteren van de informatie: het kan eveneens worden gebruikt ter ondersteuning van het ontwerp van de tracés, de afweging tussen alternatieve tracés en uiteindelijk bij het beheer van de infrastructuur.



## Kaarten en coördinaten

Om de nulsituatie in kaart te brengen, hebben we allereerst een éénduidig coördinatensysteem nodig. In (continentaal) Nederland is het gebruikelijke coördinatenstelsel RD-NAP, waarbij RD staat voor *Rijksdriehoeksnet* (het oorspronkelijke systeem voor plaatsbepaling in het horizontale vlak) en NAP staat voor Normaal Amsterdams Peil.



Geldigheidsgebied van het RD-stelsel

### RD-coördinaten <sup>[2]</sup>

Rijksdriehoekscoördinaten (RD-coördinaten) zijn de coördinaten die in continentaal Nederland worden gebruikt als grondslag voor geografische aanduidingen en bestanden, zoals op kaarten van het kadaster, zoals de Grootchalige Basiskaart van Nederland (GBKN).

Het RD-stelsel is een Cartesisch (rechthoekig) coördinatenstelsel. De waarde van de x-coördinaat loopt van west naar oost, die van de y-coördinaat loopt van zuid naar noord. De oorsprong van het stelsel was voor 1960 de spits van de Onze-Lieve-Vrouwetoren ('Lange Jan') in Amersfoort. Daarom wordt ook wel gesproken van **Amersfoortcoördinaten**. De coördinaten zijn echter in de periode 1960-1978 rekenkundig opgehoogd. Hierdoor heeft elk punt in Nederland nu altijd een positieve waarde voor x en y en is de kleinste waarde van de y-coördinaat altijd groter dan de grootste x-coördinaat en kan geen verwarring optreden tussen de x- en de y-coördinaat. De Lange Jan heeft daarmee nu de coördinaten  $X = 155\ 000$ ,  $Y = 463\ 000$  gekregen. De geldigheid van de RD-coördinaten (het domein) is gedefinieerd binnen een nauwkeurig omschreven gebied waarvan de x-waarde ligt tussen -7 en +300 km en de y-waarde tussen +289 en +629 km.

Door de toegepaste transformatie ligt de oorsprong (0, 0) van het stelsel 120 km ten zuidoosten van Parijs, op een akker 1 km ten oosten van het plaatsje La Celle-Saint-Cyr.

## **Kaartprojectie** <sup>[3]</sup>

Het RD-stelsel is een zogenaamd geprojecteerd coördinatenstelsel. De aarde is (bij benadering) bolvormig; kaarten zijn echter plat. Om (topografische) kaarten te maken, is het dus nodig om een driedimensionale werkelijkheid te projecteren naar een tweedimensionale weergave. In het RD-stelsel kan een X-coördinaat direct worden vertaald in een horizontale positie en een Y-coördinaat naar een verticale positie op de kaart, gegeven natuurlijk de kaartschaal en de gekozen oorsprong van de kaart.

De voor het RD-stelsel gebruikte kaartprojectie bestaat uit twee stappen. De eerste stap corrigeert voor afwijkingen van de ellipsoïdale vorm van de aarde - de afplating als gevolg van de rotatie van de aarde om de eigen as - ten opzichte van de bolvorm. Vervolgens wordt een stereografische projectie toegepast. Als projectievlak is een vlak gekozen dat de bol snijdt op een afstand van ongeveer 122 km van het centrale punt Amersfoort. Het projectiepunt ligt diametraal tegenover het centrale punt aan de andere kant van de bol. Het projectievlak (en daarmee het kaartvlak) is evenwijdig aan het raakvlak van de aarde in Amersfoort.

Iedere projectie van het gekromde aardoppervlak naar een plat kaartvlak geeft een vertekening, maar door het vlak te laten snijden met de aardbol in plaats van te raken in het centrale punt, is deze vertekening minimaal. Bij de RD-projectie worden hoeken waarheidsgetrouw afgebeeld, afstanden niet, behalve op de snijcirkel van het projectievlak. De vertekening is echter klein, altijd minder dan 18 cm/km.

## **Meer weten?**

Behalve het RD-NAP stelsel zijn er veel meer coördinatenstelsels, zoals de wereldcoördinaten waarvan GPS-systemen gebruik maken. Hetzelfde geldt voor kaartprojecties. Het verdiepingshoofdstuk A. Coördinatensystemen en kaartprojecties gaat hier dieper op in.

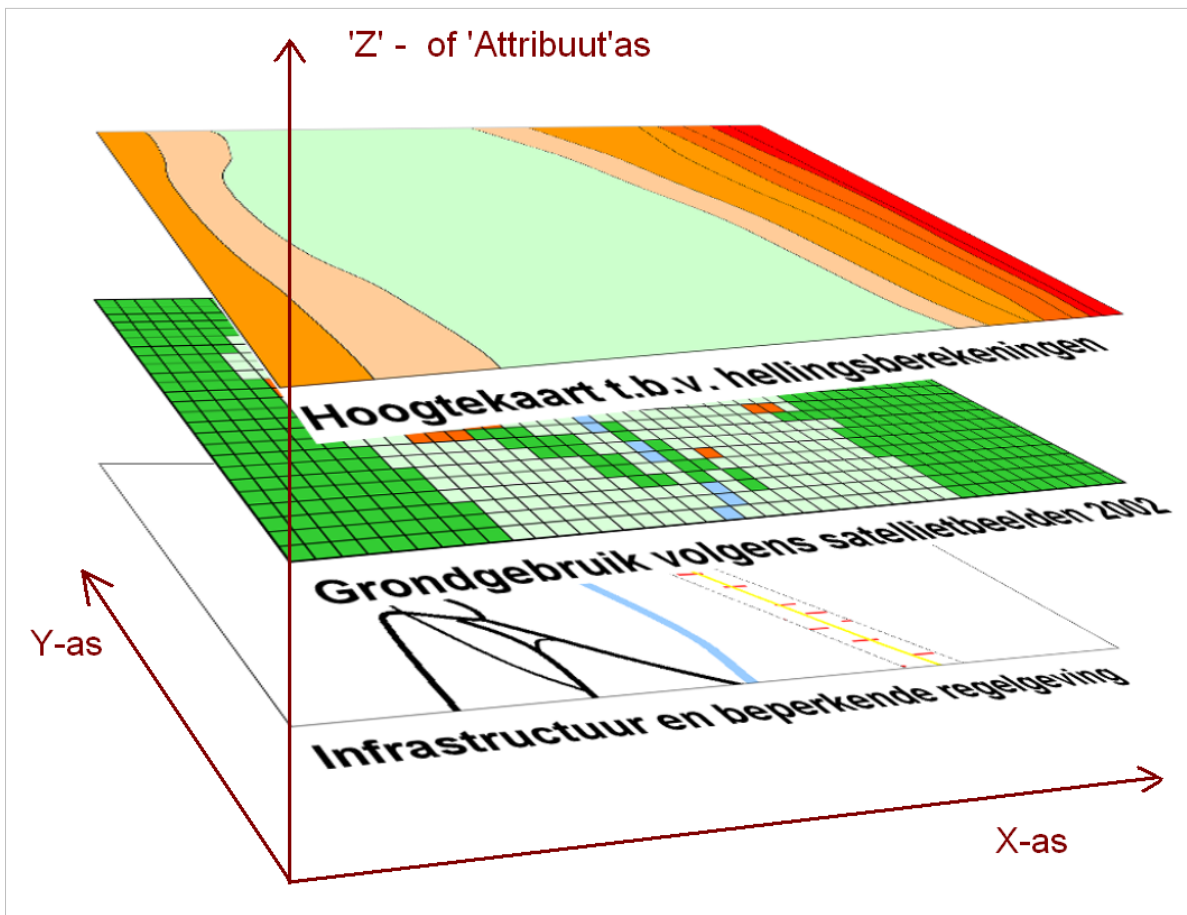
## **Geografische informatiesystemen**

Het in kaart brengen van de nulsituatie is niet zozeer het tekenen van kaarten, maar het bouwen van een geografisch informatiesysteem (GIS). In een GIS kunnen diverse (informatie)lagen over elkaar worden gelegd. Met GIS-technieken kunnen ruimtelijke gegevens worden gegenereerd, gevisualiseerd, bewerkt en geanalyseerd. In het spraakgebruik, ook door GIS-specialisten zelf, wordt met GIS vaak nog in een bredere definitie bedoeld.

## **Gebruik van GIS** <sup>[4]</sup>

### **GIS-model**

De kern van een GIS is het GIS-model. GIS-modellen bestaan uit gestapelde, digitale lagen (geo-)informatie (datasets). De lagen liggen in één overeenkomstig assenstelsel. Elke laag bevat (de locaties van) objecten. Elke locatie of object is gelinkt aan een database met attribuut-informatie (in het figuur de Z-as). De 'Z'-as is in dit verband niet per definitie een 'hoogte'as, maar geeft - voor welke laag dan ook - de attribuutwaarde weer. Bijvoorbeeld de hoogte, het grondgebruik, de onderhoudstatus of de aanwezigheid of toekomstige infrastructuur. Op basis van overeenkomstige Z- en Y-waarden kunnen de Z-waarden in een model verder verwerkt of gebruikt worden. Het kunnen combineren van de kaartlagen geldt dus niet alleen voor het kaarten maken, maar ook voor verdere analyses. De attribuutwaarden zelf kunnen namelijk geherclassificeerd worden. Of ze kunnen samen met attribuutwaarden van andere lagen gecombineerd worden, door zogenaamde ruimtelijke analyses.



Een voorbeeld van een GIS-model, hier afgebeeld als een serie op elkaar gestapelde lagen informatie. Elke locatie (met een X- en Y-coördinaat) kan zo met meerdere kenmerken (Z-waarden) beschreven worden.

### GIS: visualisatie en analyse

De visualisatie van een GIS gebeurt meestal in kaartvorm. Zo ontstaan ruimtelijke relaties tussen de verschillende informatielagen, relaties die zonder locatiecomponent niet gemaakt konden worden en die zonder gebruik van een GIS dus verborgen zouden blijven. Elke informatielaag (zie ook de bovenstaande figuur) bevat een aantal bij elkaar horende ruimtelijke objecten, zoals wegen, percelen en straatverlichting. Bij de definitie van GIS alléén aan een kaartengenerator denken, is echter veel te beperkt.

Met een GIS kunnen namelijk ook ruimtelijke analyses worden uitgevoerd met die informatielagen. GIS is in de tachtiger jaren ontstaan als meer een ruimtelijk, analytisch rekensysteem dan als een 'kaartengenerator'. Een hoogtekaart kan bijvoorbeeld om worden gerekend naar een hellingpercentagekaart. En vijf kaarten bij elkaar - locaties van supermarkten, wegen, aantal inwoners, gemiddeld inkomen per adres of wijk en de grondprijs - kunnen omgerekend worden naar een geschiktheidskaart voor de beste plekken voor een nieuwe supermarkt. Op vergelijkbare wijze kan met behulp van een GIS een belemmeringen- of zeefkaart worden gemaakt voor een nieuw wegtracé.

## Meer weten?

Om de mogelijkheden van GIS in het planningsproces van nieuwe infrastructuur beter te begrijpen, is meer kennis nodig over hoe een GIS intern is opgebouwd en wat de kaartbewerkings- en analysemogelijkheden zijn van geografische informatiesystemen. Daartoe heeft dit boek twee verdiepingshoofdstukken. Verdiepingshoofdstuk B. Geo-informatie gaat nader in op de volgende vragen:

- Wat is geo-informatie?
- Hoe is een GIS opgebouwd?
- Wat kan met een GIS?

De mogelijkheden van GIS worden daarbij toegelicht aan de hand van een tracéplanningsprobleem.

---

### Voetnoten:

- [1] Definitie volgens nl.wikipedia. Versie: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Nulalternatief&oldid=23803845>); auteurs: (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Nulalternatief&action=history>). De nulsituatie is dus niet hetzelfde als de huidige situatie; het is de te verwachten toestand na de planningsperiode bij 'ongewijzigd beleid'.
  - [2] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma Rijksdriehoekscoördinaten op nl.wikipedia. Versie: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksdriehoekscoördinaten&oldid=33285153>); auteurs: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksdriehoekscoördinaten&action=history>).
  - [3] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma Rijksdriehoekscoördinaten op nl.wikipedia. Versie: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksdriehoekscoördinaten&oldid=33285153>); auteurs: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Rijksdriehoekscoördinaten&action=history>).
  - [4] Deze paragraaf is een bewerking van delen van het hoofdstuk *Inleiding GIS* uit Nijeholt e.a. (2010), Handboek Geo-visualisatie. Zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding\\_GIS&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding_GIS&action=history)) voor een volledig overzicht van de auteurs.
-

---

## 4. Eisen en randvoorwaarden

---

### Infrastructuurplanning/Eisen en randvoorwaarden

---

Uit de probleemanalyse is gebleken dat bij ongewijzigd beleid een situatie ontstaat die door de beleidsmakers als onwenselijk wordt beschouwd. In het geval van de casus uit dit boek, de doortrekking van de A8 naar de A9, is het grootste probleem de slechte doorstroming op de vervangende route (N8) in de bebouwde kom van Krommenie. Daarbij komt de slechte oversteekbaarheid voor kruisend verkeer aldaar en de negatieve effecten op de leefbaarheid (geluid, fijn stof, etc.).

Het op basis van de probleemanalyse vaststellen van de randvoorwaarden en eisen voor de te ontwerpen oplossingen markeert de overgang van de verkenningsfase naar de planstudiefase. In plaats van te focussen op het probleem bij ongewijzigd beleid, verleggen we onze focus naar mogelijke oplossingen. Het vaststellen van de (globale) eisen en randvoorwaarden voor het project, geeft daarbij richting aan het zoeken van de oplossingen.

Overigens worden de woorden eisen, randvoorwaarden en criteria in de praktijk redelijk door elkaar gebruikt. Daarbij wordt het begrip 'eisen' meer gebruikt voor de criteria waaraan de oplossing moet voldoen en 'randvoorwaarden' de criteria die van buitenaf zijn opgelegd aan het project.

#### Soorten eisen en randvoorwaarden

De randvoorwaarden van een infrastructuurplanningsproject bestaan uit drie soorten:

- Interne criteria (interne eisen)
- Externe criteria (externe randvoorwaarden).
- Raakvlakeisen

#### Interne criteria

De interne criteria zijn de functionele eisen die het verkeer stelt aan het tracé. Voorbeelden van interne criteria zijn de minimale boogstralen benodigd voor veilig en comfortabel verkeer, de minimum doorrijhoogte (of doorvaarthoogte) en het maximale hellingpercentage. De interne criteria van het tracé zijn in belangrijke mate bepalend voor het tracéverloop. De uitwerking van deze criteria komt echter in dit wikiboek niet verder aan de orde.

De belangrijkste bron voor informatie over de interne criteria zijn ontwerprichtlijnen. In de onderstaande tabel is voor een aantal typen verkeersinfrastructuur aangegeven wat de geldende ontwerprichtlijnen zijn.

Type infrastructuur	Ontwerprichtlijn
Hoofdspoorwegen	OVS (OntwerpVoorschriften voor de Spoorwegbouw)
Trambanen	Eigen ontwerpvoorschriften GVB/HTM/RET etc.
Autosnelwegen	NOA (Nieuwe ontwerpvoorschriften voor autosnelwegen)
Wegen buiten de bebouwde kom	Handboek Wegontwerp
Wegen binnen de bebouwde kom	ASVV (Aanbevelingen Stedelijke VerkeersVoorzieningen)
Waterwegen	Richtlijnen Vaarwegen 2011

## Externe criteria

De externe criteria waaraan het tracéontwerp moet voldoen, hebben te maken met de inpassing van het tracé, gegeven de bestaande ondergrond en het bestaande en in ontwikkeling zijnde grondgebruik. Het gaat hierbij met name om de lokatiegeschiktheid (in hoeverre is een gebied geschikt om een nieuw tracé te herbergen) en omgevingsfactoren (in hoeverre is inpassing van het tracé aanvaardbaar voor de omgeving). In de paragraaf 'lokatiegeschiktheid' gaan we nader in op dergelijke externe criteria.

## Raakvlakeisen

Raakvlakeisen hebben ten slotte te maken met de aansluiting op andere systemen. Zo wordt in het voorbeeld van de verbinding van de A8 naar de A9 vereist dat het nieuwe tracé aansluit op deze bestaande autosnelwegen. Daarnaast wordt geëist dat bij Assendelft een aansluiting komt met het onderliggende wegennet.

Bij de uitwerking van het tracé zullen er nog meer raakvlakeisen worden gesteld, zoals het aansluiten van de afwatering van het tracé op het bestaande watersysteem. Op het niveau van het tracéontwerp gaat het echter meestal om de eerstgenoemde raakvlakeisen, dus de gevraagde aansluitingen op bestaande netwerken. Deze eisen zullen weinig vragen oproepen, dus worden in dit hoofdstuk niet verder behandeld. Dit laat echter onverlet dat qua belang - en dus invloed op het uiteindelijke tracé - de raakvlakeisen niet onderdoen voor de interne en externe eisen.

## Lokatiegeschiktheid

Bij de lokatiekeuze gaat het niet alleen om de samenhang tussen de verschillende ruimtevragende functies – gewenste nabijheid van of juist afstand tussen functies – maar ook om de geschiktheid van een bepaalde lokatie voor een bepaalde functie. Hierbij gaat het o.a. om: <sup>[1]</sup>

- fysieke bodemeigenschappen
- grondwaarde (economisch, ecologisch, historisch)
- juridische status (eigendom, bestemmingsplan, etc.)
- omgeving

## **Fysieke bodemeigenschappen**

Voor de aanleg en onderhoud van (vekeers)infrastructuur zijn relevante fysieke bodemeigenschappen onder andere de draagkracht van de bodem en de grondwaterstand (en mogelijkheden tot aanpassing daarvan). In de Nederlandse situatie is het dikwijls noodzakelijk om de bodemeigenschappen aan te passen om de aanleg van huizen, bedrijven of verkeersinfrastructuur mogelijk te maken.

In het verleden was de draagkracht van de bodem een belangrijke overweging bij de tracékeuze. Zo zijn in de lagengelegen delen van Nederland in het verleden niet alleen veel dorpen en steden maar ook wegen gebouwd op oeverwallen en stroomruggen. In de huidige praktijk zijn de fysieke bodemeigenschappen echter nog maar nauwelijks een overweging bij de tracékeuze. Wel zal er uiteraard rekening mee moeten worden gehouden met de keuze en dimensionering van de onderbouw van de infrastructuur.

## **Grondwaarde**

Naast bodemeigenschappen is ook de grondwaarde relevant bij ruimtelijke inrichtingsbeslissingen. Hierbij moet niet alleen worden gedacht aan de geldwaarde (economische waarde), maar ook aan – bijvoorbeeld – de ecologische en cultuurhistorische waarde. Van de bovengenoemde waarden is de economische waarde het minst moeilijk vast te stellen. De waarde kan in geld worden uitgedrukt op basis van de verwervingskosten: de waarde van de grond in het economisch verkeer. Deze marktwaarde kan door taxateurs worden geschat en indien een onteigeningsprocedure moet worden gestart - omdat de huidige eigenaar het niet vrijwillig wil verkopen en de geplande inrichtingsverandering geacht wordt het publieke belang te dienen - wordt de marktwaarde gerechtelijk vastgesteld op basis van de geschatte marktwaarde. Overigens wordt onder de verwervingskosten niet alleen de waarde van de grond verstaan, maar ook de waarde van de opstallen (bouwwerken op de grond), en eventuele inkomstenschade en verplaatsingskosten voor de huidige gebruikers.

De ecologische of cultuurhistorische waarde van een gebied is veel moeilijker objectief vast te stellen. Daarbij is het lastig om verschillende facetten van de ecologische of cultuurhistorische waarde tegen elkaar af te wegen. Zo kan het ene gebied een habitat zijn voor een bepaalde beschermde diersoort en een ander gebied weer het habitat van een zeldzame plantensoort. En het ene gebied kenmerkt zich door een grootschaligheid van het landschap dat door ruimtelijke ingrepen kan worden aangetast, terwijl bij een ander landschap weer andere kwaliteiten in het geding zijn. In al deze gevallen is het moeilijk om de ene kwaliteit tegen de andere af te wegen. In ieder geval is een onderzoek naar al deze waarden een belangrijk onderdeel van het planologisch onderzoek, zowel in de verkenningsfase als bij de afweging tussen alternatieven.

De landschappelijke en ecologische waarden, en de handhaving daarvan in de wet- en natuurwetgeving, zijn in belangrijke mate richtinggevend bij de keuze van uitbreidingslokaties. Dit blijkt ook uit de keuze van woningbouwlokaties in de Noordvleugel van de Randstad. Rond Amsterdam is uitbreiding in het veenweidegebied ten Noorden en Zuiden van de hoofdstad taboe, waardoor uitbreiding dichtbij uitvalt. Ten Westen van Amsterdam ligt Schiphol, wat door geluidsnormen en uitbreidingsplannen verdere woningbouw in dit gebied moeilijk maakt. Daarom kiest men steeds vaker voor uitbreiding naar het Oosten: zowel in de vorm van wonen in het IJ (IJburg) als verdere uitbreiding van Almere.

## **Juridische status**

Een ander aspect dat meegenomen moet worden in ruimtelijke plannen zijn allerlei juridische aspecten m.b.t. eigendom, bestemming en milieuregels. Eigendom is een belangrijk aspect in ons recht, maar is bij grootschalige projecten van beperkt belang omdat dan meestal toch onteigend dient te worden. Als grond echter reeds in bezit is van één van de deelnemende private of publieke partijen in een bepaald project, kan dit echter voordelen met zich meebrengen. Dit zal nog sterker gelden voor kleinschalige projecten, waar onteigening vaak niet aan de orde is en de medewerking van huidige eigenaars een belangrijk voordeel kan zijn. Ook met betrekking tot bestemmingsplannen geldt dat deze meestal toch moeten worden aangepast om veranderingen in de ruimtelijke inrichting mogelijk te

maken. Bij kleinschalige projecten kan er echter ook weer een keuze zijn tussen een alternatief dat wel en een alternatief dat geen bestemmingsplanwijziging nodig heeft, waarbij het laatste alternatief tijdswinst en minder risico's op aanpassing of uitstel betekent. Ten slotte moet bij ruimtelijke inrichtingsplannen rekening worden gehouden met allerlei wet- en regelgeving op milieugebied. Hierbij valt te denken aan normen op het gebied van geluid, veiligheid en schadelijke emissies, maar ook op het gebied van habitatbescherming. Ook hier zijn tot zekere hoogte vaak weer ontheffingen mogelijk, maar in ieder geval zullen deze normen een belangrijke rol spelen bij het maken van ruimtelijke plannen.

Tegenwoordig is het niet meer mogelijk voor eigenaren om de grond die nodig is voor belangrijke civiele werken, bijvoorbeeld een spoorverbinding of een uitbreiding van een luchthaven, tegen te houden door de grond niet te verkopen, dan wel woekerwinsten te halen uit de verkoop van de grond. In de negentiende eeuw, toen de eerste spoorlijnen werden aangelegd, waren er beperktere juridische mogelijkheden voor onteigening, waardoor grondeigenaren vaak concessies konden afdwingen aan de spoorwegmaatschappijen, met name in de vorm van extra haltes. <sup>[2]</sup>



Karikatuur van de "Kromme Lijn" door H.W. Last, in De Nederlandsche Stoompost van 6 juni 1847.

In het midden van de vorige eeuw werd de spoorlijn tussen Haarlem en Leiden aangelegd. Oorspronkelijk was daarbij het plan om geen plaatsen tussen Leiden en Haarlem te bedienen. Bij de verkoop van de grond wisten verschillende plaatsen langs de lijn echter met succes een eigen halte te bedingen: onder andere Vogelenzang, Hillegommerbeek en Warmond kregen zo een eigen stopplaats. Een dergelijke concessie had de HIJSM echter geweigerd bij de verkoop van één van de benodigde gronden nabij het huidige station van Heemstede.

Toen bleek dat verschillende andere plaatsen wél een eigen halte kregen, verzochten bewoners van Heemstede, Berkenrode, Bloemendaal en Zandvoort verschillende malen aan de directie van de HIJSM om ook een halte bij Heemstede te openen. Toen de HIJSM herhaaldelijk had geweigerd om ook een halte bij Heemstede te maken, probeerde dhr. A.H.J. van Wickevoort Crommelin, samen met twee andere heren, de spoorwegen alsnog te dwingen een halte te openen. Dhr. Crommelin was de oude eigenaar van een stuk grond bij de beoogde halte Heemstede, dat hij had verkocht aan de spoorwegen zonder een halte te hebben bedongen. Een halte bij Heemstede had hij echter graag gewenst: zijn onderneming exploiteerde onder andere een badhuis in Zandvoort.

Van Wickevoort Crommelin, inmiddels samenwerkend met de Zandvoortse burgemeester Van der Meije en met A.K. van Lennep, zag in 1845 een mogelijkheid om de HIJSM opnieuw tot medewerking te bewegen. Op dat moment was deze bezig met de aankoop van gronden voor de spoorlijn tussen Den Haag en Rotterdam. Een van de te verwerven percelen was een laantje, slechts enkele meters breed, dwars op de geprojecteerde spoorweg, eigendom van de logementshouder J. van der Gaag. Het laantje lag enkele honderden meters ten zuiden van het huidige station Delft, net ten zuiden van de huidige Prinses Irenetunnel. Van Wickevoort Crommelin c.s. kochten dit laantje voor f 200,-. Vervolgens bood Van Wickevoort Crommelin de grond aan aan de HIJSM voor de door hem betaalde prijs, plus een halte aan de Zandvoortseweg.

Aanvankelijk leek de HIJSM genegen hierop in te gaan, maar in november 1845 bleek dat de HIJSM toch een onteigeningsprocedure had gestart. De onteigeningsprocedure duurde echter zo lang dat begin 1847 de spoorlijn nagenoeg gereed was, op dit stukje na. De HIJSM koos voor een praktische oplossing: het aankopen van omliggende



gronden, en het aanleggen van een lusvormig hulpspoor. Dit hulpspoor werd als snel de 'kromme lijn' genoemd, als verwijzing naar de naam 'Crommelin'.

Op 31 mei 1847 vonden de proefritten plaats en op 3 juni kon de spoorlijn Den Haag - Rotterdam in gebruik worden genomen, inclusief het hulpspoor. Op 7 juni 1847 wierp Van Wickevoort Crommelin definitief de handdoek in de ring. Hij schreef de HIJSM: "[...] dat wij, van dit ogenblik aan, het bewuste laantje geheel vrij te uwer beschikking stellen, hetzelfde op uwe eerste aanvraag aan u in eigendom zullen transporteren, en dat wij deswege van uwe maatschappij niets verlangen te ontvangen." Van Wickevoort Crommelin sprak nog de hoop uit dat de HIJSM nog eens van gedachten zou veranderen, en alsnog een halte aan de Zandvoortse weg zou openen. Het zou echter nog tot 1928 duren totdat dit, in de vorm van het station Heemstede-Aerdenhout, zou gebeuren. De HIJSM zat, na ontvangst van deze brief, niet stil: nog in de nacht van 7 op 8 juni werd, in het licht van fakkels, het spoor doorgetrokken, en vanaf 8 juni 1847 konden de treinen ongehinderd tussen Delft en Rotterdam rijden.

Om speculatie met gronden te voorkomen waar de overheid woningbouw wil plegen of kantorenlokaties wil ontwikkelen, kunnen gemeentes al een voorkeurspositie verwerven m.b.t. de aankoop van grond voordat de betreffende lokatie aangewezen is in een structuur- of bestemmingsplan. Dit voorkeursrecht wordt geregeld in de Wet voorkeursrecht gemeenten van 1981. De mogelijkheden om grond te onteigenen zijn geregeld in de Onteigeningswet, welke in 1851 werd aangenomen - slechts vijf jaar na de affaire met het Laantje van Van der Gaag (zie kader).

### **Effecten op de omgeving**

Bij alle bovengenoemde aspecten moet niet alleen worden gekeken naar de geschiktheid van de lokatie zelf voor een bepaalde functie, maar ook naar de effecten voor de omgeving. Zo kan een bepaalde lokatie qua bodemeigenschappen, financiële en maatschappelijke grondwaarde en juridische status geschikt zijn voor bijvoorbeeld ontwikkeling als bedrijventerrein, maar kan deze lokatie toch minder geschikt zijn, bijvoorbeeld doordat deze de belevingswaarde van een naastgelegen recreatiegebied duidelijk vermindert.

### **Autonome ontwikkeling**

Bij de bovenstaande beschrijving moeten we niet uit het oog verliezen dat het hier gaat om de nulsituatie, dus niet de huidige situatie maar de verwachte situatie. Dit is inclusief de verwachte ontwikkelingen bij ongewijzigd beleid. Bij het vaststellen van de geschiktheid van gebieden moet je dus ook rekening houden met plannen die waarschijnlijk voor de plandatum worden gerealiseerd, zoals nieuwe woonwijken, maar ook andere nieuwe infrastructuur.

### **Zeef- of belemmeringenanalyse**

In de vorige paragraaf stond de geschiktheid van potentiële lokaties centraal. Daarna hebben we gezien dat ook de verwachte ontwikkelingen in het gebied moeten worden meegenomen in het onderzoek.

De vraag is nu hoe de verzamelde gegevens over het gebied gebruikt kunnen worden om tracés te ontwerpen en alternatieven te vergelijken. Men zou kunnen proberen om dit probleem helemaal te formaliseren, door alle gegevens te vertalen in een geschiktheidsscore per lokatie. De volgende stap is dan om het optimale alternatief te vinden: het optimale tracé. In de praktijk blijkt het echter ondoenlijk om alle criteria naar scores te vertalen. Bovendien is het zoeken van een tracé of de optimale vorm van een woonwijk zeer lastig te vertalen naar een wiskundig optimalisatieprobleem. Deze methode is echter wel geschikt voor het zoeken van lokaties voor voorzieningen met een relatief klein ruimtebeslag zoals ziekenhuizen, benzinstations, etc.

In de praktijk is het zoeken van alternatieve lokaties en tracés een probleem dat door de ontwerper moet worden opgelost. Hiervoor staan echter wel hulpmiddelen ter beschikking. Met behulp van Geografische Informatiesystemen (GIS) kunnen de verschillende geschiktheidsgegevens letterlijk in kaart worden gebracht. Hierbij ligt meestal de nadruk op het in kaart brengen van mogelijke knelpunten; een dergelijke kaart wordt daarom meestal een

*belemmeringenkaart* genoemd.

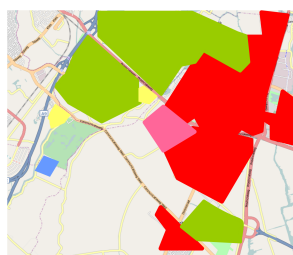
Een stapje verder dan een belemmeringenanalyse is een zeefanalyse. Een mogelijke aanpak is om op basis van de verschillende geschiktheidsgegevens de ongeschikte locaties eruit te zeven, op basis waarvan alternatieve ontwerpen kunnen worden gemaakt. De kaart die zo wordt gemaakt, wordt een zeefkaart genoemd.

In de eerste plaats wordt de zeefkaart gebruikt om de minst geschikte locaties te bepalen. Bij het zoeken van een autosnelwegtracé kan het bijvoorbeeld gaan om gebieden met een hoge natuurwaarde, locaties met hoge verwervingskosten (o.a. woonwijken), etc. Vervolgens kunnen ook buffers worden aangelegd rond woonwijken en natuurgebieden. Om bijvoorbeeld te voorkomen dat een natuurgebied teveel geluid- en lichthinder ondervindt van een snelweg, moet een zekere afstand tot dit gebied worden aangehouden. Ook de buffers worden gemarkeerd als ‘ongeschikt’.

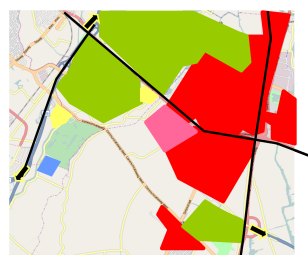
De zeefanalyse kan ook stapsgewijs worden toegepast. Eerst worden bijvoorbeeld alleen de locaties uitgezeefd die fysiek volkomen ongeschikt zijn, of waar wettelijke bezwaren tegen bestaan. Vervolgens worden locaties uitgezeefd waar de aanleg- of aanpassingskosten erg hoog zijn, of waar het onzeker is of er (bijvoorbeeld om milieuredenen) wel toestemming zal worden verleend. Blijft er nu nog een grote zoekruimte over, dan kunnen de normen nog wat worden aangescherpt, waardoor wellicht weer meer locaties afvallen.

In de onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van een zeefanalyse voor onze casus A8-A9. Achtereenvolgens worden (i.v.m. de geplande aanleg van een nieuwe snelweg) de bestaande woongebieden (2), geplande woongebieden (3), natuurgebieden (4) en gebieden met grote cultuurhistorische waarden (5) uitgezeefd. De laatste bestemming die wordt uitgezeefd is een gasverdeelstation (6).





(7)



(8)

Wellicht vind je het niet voldoende om de bovenstaande bestemmingen uit te zeven, maar wil je ook voldoende afstand aanhouden tot gevoelige bestemmingen. In het bovenstaande voorbeeld is een buffer gemaakt van ongeveer 100 meter rond de geluidsgevoelige bestemmingen (7). Ten slotte willen we op de zeefkaart nog informatie toevoegen over de belangrijkste overige knelpunten in het tracé: kruisende lijninfrastructuur (8).

Bovenstaande figuur is gemaakt in een grafisch programma, niet in een GIS. Door de analyse in een GIS uit te voeren is het niet alleen mogelijk om verschillende visualisaties te maken (met en zonder bepaalde kaartlagen), ook is het mogelijk om eenvoudig de grootte van de buffers aan te passen. In het verdiepingshoofdstuk Geoinformatie zullen we daarom verder ingaan op het digitaal beheren en verwerken van geografische informatie in een GIS. De mogelijkheden om met behulp van GIS zeefkaarten te maken en andere toetsende analyses uit te voeren staan ten slotte centraal in het hoofdstuk Toetsing.

---

**Voetnoten:**

- [1] Als bron en uitgangspunt voor deze paragraaf zijn enkele dictaten van Prof. Sanders (Technische Universiteit Delft) gebruikt.
- [2] Deze casus is een bewerking van het lemma Het Laantje van Van der Gaag op nl.wikipedia. Versie: ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Het\\_Laantje\\_van\\_Van\\_der\\_Gaag&oldid=23369323](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Het_Laantje_van_Van_der_Gaag&oldid=23369323)); auteurs: ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Het\\_Laantje\\_van\\_Van\\_der\\_Gaag&action=history](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Het_Laantje_van_Van_der_Gaag&action=history)). Belangrijkste bronnen daarvan zijn [www.bcpeters.dds.nl](http://www.bcpeters.dds.nl) ([http://www.bcpeters.dds.nl/spoorzoeker\\_tmp/overig/laantje\\_van\\_van\\_der\\_gaag/page\\_01.html](http://www.bcpeters.dds.nl/spoorzoeker_tmp/overig/laantje_van_van_der_gaag/page_01.html)) en Veenendaal, G. (2004), Spoorwegen in Nederland.

---

# 5. Ontwerpen van alternatieven

---

## Infrastructuurplanning/Alternatieven

---

Als geconstateerd is dat er behoefte is aan nieuwe of betere verkeersinfrastructuur, dan is de vraag hoe hieraan het beste tegemoet kan worden gekomen. Vaak zijn hiervoor verschillende mogelijkheden, ofwel alternatieve oplossingen. Daarnaast is het nog maar de vraag of de kosten en andere nadelen van de voorgestelde alternatieven wel opwegen tegen de voordelen. Daarom zal ook altijd het nulalternatief moeten worden meegenomen in de afweging: de situatie met 'ongewijzigd beleid'.

### Soorten alternatieven

Het zal duidelijk zijn dat in de meeste situaties er verschillende oplossingen denkbaar zijn om knelpunten op te lossen. Zo kan een nieuwe wegverbinding tussen twee plaatsen worden uitgevoerd als eenvoudige autoweg of als autosnelweg, kan een kanaal worden gekruist door een brug of een tunnel, etc. In het planningsproces van ingrepen in de ruimtelijke inrichting is het wenselijk dat er meerdere alternatieven (globaal) worden uitgewerkt, om vervolgens een afgewogen keuze te kunnen maken. Er zijn verschillende redenen om altijd meerdere alternatieven uit te werken:

- Het maken van een goed ontwerp vereist oefening en inzicht in de kern van het probleem. Het maken van alternatieven kan het startpunt zijn voor betere ontwerpen. Dit geldt zeker voor technisch complexe problemen.
- Betrokkenen en opdrachtgevers hebben vaak verschillende doelstellingen en meestal is geen enkel alternatief optimaal voor alle doelstellingen. Het aanbieden van alternatieven betekent dat de opdrachtgever kan kiezen of meer aan de ene, of meer aan de andere doelstelling tegemoet te komen. Daarbij willen opdrachtgevers (en zeker politici) graag zelf een keus kunnen maken, ook al is er één alternatief dat duidelijk boven de andere uitsteekt.
- Het beoordelen van alternatieven is eenvoudiger als met referentie-alternatieven wordt gewerkt. Het kunnen vergelijken van alternatieven geeft inzicht in de kwaliteiten en kenmerken ervan.

Een principieel onderscheid tussen typen alternatieven is tussen ingrijpen in het proces, aanpakken van de infrastructuur en het bestrijden van de gevolgen. Ingrijpen in het proces maakt aanpassing van de infrastructuur overbodig. Een voorbeeld is het oplossen van congestieproblemen op de weg door tolheffingen, beter dynamisch verkeersmanagement, e.d.

Aanpakken van de infrastructuur betekent dat er daadwerkelijk gebouwd gaat worden. Bestaande wegen worden bijvoorbeeld verbreed, nieuwe kanalen gegraven en gelijkvloerse kruisingen worden ongelijkvloers.

Het bestrijden van de gevolgen betekent tenslotte dat er niet het eigenlijke knelpunt in de infrastructuur wordt aangepakt, maar dat er maatregelen worden genomen om de effecten van het knelpunt te verminderen. Als we weer het voorbeeld nemen van congestie op de weg, dan kan het bijvoorbeeld betekenen dat stroomopwaarts van het knelpunt de bufferruimte wordt uitgebreid, om zodoende te voorkomen dat de congestie te ver terugslaat en daarmee andere delen van het netwerk blokkeert.

## Voorbeelden van typen alternatieven

In deze paragraaf geven we een overzicht van enkele gebruikelijke typen alternatieven. Deze typen alternatieven komen voor in de studies van bijna alle grote infrastructuurprojecten, de meeste van de hier genoemde typen worden dan ook genoemd in de Handleiding Projectnota's (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989). Deze indeling heeft dus betrekking op alternatieven met betrekking tot de (verkeers)infrastructuur; voor bredere ruimtelijke inrichtingsproblemen kunnen echter vergelijkbare indelingen worden gemaakt.

### Nulalternatief

Het nulalternatief klinkt bijna als geen alternatief. In hoofdstuk 3 is echter al aangegeven dat het handhaven van de huidige situatie juist een belangrijk alternatief is dat altijd in overweging moet worden genomen. Daarbij komt dat het beschrijven van de te verwachten ontwikkeling zonder ingrijpen goed duidelijk maakt hoe groot het probleem is. Het nulalternatief is dus niet hetzelfde als de huidige situatie; het is de te verwachten toestand na de planningsperiode bij 'ongewijzigd beleid'. Het nulalternatief wordt vaak gebruikt als referentiepunt voor de andere alternatieven; hieruit is op te maken wat voor inspanning wat voor meerwaarde oplevert.

### Nulplusalternatief

Ook het formuleren van één of meerdere nulplusalternatieven is zeer wenselijk. Nulplusalternatieven kenmerken zich door bescheiden maatregelen, waarvan verwacht mag worden dat deze een relatief groot positief effect hebben, vergeleken met de bescheiden ingrepen. Bescheiden kan hier betekenen een relatief kleine investering, maar meestal wordt hieronder vooral verstaan dat de fysieke ingreep relatief klein is, zeker vergeleken met de aanlegalternatieven. Het nulplusalternatief wordt ook wel aangeduid als combinatie-alternatief.

### Aanlegalternatief

Een aanlegalternatief heeft als belangrijkste kenmerk dat hierin een relatief grote fysieke ingreep wordt voorgesteld in de vorm van de aanleg van nieuwe infrastructuur. Meestal zijn er meerdere mogelijkheden om dit te realiseren, bijvoorbeeld verschillende tracés, verschillende knelpuntoplossingen etc. Soms worden deze aangeduid als afzonderlijke uitvoeringsalternatieven, maar vaker nog wordt hiervoor de term variant gebruikt, om duidelijk onderscheid te maken tussen alternatieven op hoofdlijnen en varianten binnen de alternatieven.

### Doelstellingsalternatief

Bij een doelstellingsalternatief wordt geprobeerd om vanuit een bepaalde doelstelling een zo ideaal mogelijke oplossing te bedenken. Doelstellingsalternatieven kenmerken zich door hun hoge ambitieniveau. Een voorbeeld is een alternatief dat ook op lange termijn de groei van het autoverkeer kan opvangen, of juist een alternatief dat zorgt voor de meeste beperking van de groei van het autoverkeer, bijvoorbeeld door een forse verbetering van het openbaar vervoer.

### Meest milieuvriendelijk alternatief

Het meest milieuvriendelijke alternatief (MMA) laat zien hoe tegemoet kan worden gekomen aan de doelstellingen van het project met zo min mogelijk negatieve consequenties voor het milieu. Het meenemen van een MMA in de afwegingsprocedure is verplicht voor MER-plichtige infrastructuurprojecten. Bij grote nieuwe infrastructuurprojecten zoals de HSL Zuid en de Betuwelijn komt het MMA meestal neer op het ondergronds brengen van de infrastructuur. Aangezien de kosten die gemoeid zijn met de MMA vaak beduidend hoger zijn dan die gemoeid zijn met de aanlegalternatieven, zal het MMA zelden gekozen worden. Het MMA kan echter ook worden gebruikt om aanlegalternatieven te optimaliseren vanuit milieuoogpunt. De Betuwelijn en de HSL Zuid worden grotendeels op maaiveld uitgevoerd, maar er zijn uiteindelijk meer tunnels gekomen dan voorgesteld in de

aanlegalternatieven.

Indien een tracéwet-procedure wordt gevolgd, dan moeten de bovengenoemde soorten alternatieven worden uitgewerkt en geëvalueerd in de trajectnota/MER. Het opstellen van dergelijke alternatieven is echter (vanuit maatschappelijk oogpunt) ook wenselijk wanneer dit procedureel niet verplicht is, bijvoorbeeld bij infrastructuurprojecten op regionale schaal of bij stadsuitbreidingsprojecten. De mate waarin verschillende alternatieven echt worden uitgewerkt en geëvalueerd is echter een kosten-batenafweging: in hoeverre weegt de extra inspanning en tijdsinvestering van een uitgebreide bestudering van de alternatieven op tegen de (mogelijke) hogere kwaliteit van het voorkeursalternatief en het (mogelijk) kleinere risico op latere vertragingen in de procedure omdat belanghebbenden alsnog alternatieve oplossingen inbrengen via inspraak- en adviesprocedures.

## Ruimtelijke varianten

Hoewel sommige alternatieven zullen uitgaan van de bestaande situaties, zullen met name de aanleg- en doelstellingsalternatieven impliceren dat nieuwe infrastructuur moet worden ontworpen. Hierbij kan het gaan om de aanleg van een autoweg, kanaal, spoorlijn, etc. Voor de ruimtelijke inrichting is nu vooral van belang waar deze infrastructuur gaat worden aangelegd; hiervoor kunnen meestal – althans in theorie – haast oneindig veel alternatieven worden bedacht. Uiteraard worden in de praktijk slechts een beperkt aantal kansrijke ruimtelijke alternatieven ontworpen.

Bij ruimtelijke varianten kunnen drie dimensies worden onderscheiden:

- netwerkopbouw (staat vaak al in grote lijnen vast);
- horizontaal tracé;
- verticaal tracé.

Varianten qua netwerkopbouw zijn niet van toepassing bij eenvoudige lijnverbindingen, maar wel bijvoorbeeld bij het ontwerp van de ontsluitingsstructuur van een nieuwe woonwijk of bij de herinrichting van een openbaar vervoerknooppunt. De vrijheden in de 'horizontale' dimensies betekenen dat er verschillende horizontale tracés kunnen worden ontworpen, terwijl alternatieven qua hoogteligging ruimte geven voor alternatieve verticale tracés.

Het horizontaal tracé is het verloop van de lijninfrastructuur in het horizontale vlak. Hierbij wordt de ontwerpvrijheid in de praktijk vooral beperkt doordat bepaalde gebieden gemedend dienen te worden (bijvoorbeeld bebouwing, natuur), terwijl andere punten juist aangedaan moeten worden door het tracé om een goede verknoping te krijgen met het bestaande netwerk. Het hoofdstuk Horizontaal tracé gaat in op alternatieve manieren om goede tracés te ontwerpen: rechtlijnig (zo doelgericht mogelijk), bundeling (zo min mogelijk nieuwe doorsnijdingen) en vrije tracering (zo veel mogelijk kwetsbare gebieden mijden).

Het verticaal tracé is, gegeven een horizontaal tracé, het hoogteverloop van het tracé ten opzichte van zowel het maaiveld als de referentiehoogte. Het hoofdstuk Verticaal tracé gaat in op alternatieven qua basishoogteligging gekozen kan worden (op, onder of boven maaiveld), en het kruisen van andere infrastructuur. Daarbij moet infrastructuur ruim worden opgevat: ook het kruisen van transportleidingen en natuurlijke verbindingen hoort hierbij.

Ten slotte zijn er, gegeven de ruimtelijke ligging van tracé, vaak ook alternatieve mogelijkheden om het tracé verder uit te werken. Het hoofdstuk Dimensionering en verknoping met het netwerk gaat verder in op de volgende typen keuzes:

- aantal en locatie van de aansluitingen van het tracé met het bestaande netwerk;
- type en dimensionering van de knooppunten (inclusief keuzes tussen gelijkvloers en ongelijkvloers kruisen)
- dimensionering van de schakels (aantal rijstroken/rijbanen)

Na het ontwerp van tracéalternatieven (en het kiezen van het voorkeurstacé) zullen overigens ook weer alternatieven worden ontwikkeld binnen de randvoorwaarden van het gekozen tracé. Een tracé heeft namelijk een zekere bandbreedte, dit om optimalisaties in het verdere ontwerpproces mogelijk te maken. Als bijvoorbeeld wordt gekozen voor een spoortracé 'op maaiveld', dan zal de precieze hoogteligging van de dwarsliggers en de spoorstaven pas in de

definitieve detailuitwerking worden bepaald. Wanneer een tracéwetprocedure wordt gevolgd, ligt de toegestane bandbreedte zelfs al helemaal vast. Ten opzichte van de aangegeven lijn mag de as van het tracé in het definitief ontwerp ten hoogste 100 meter in het horizontale vlak of 2 meter in het verticale vlak verschoven worden. Dit betekent dat met name qua verticaal tracé de mogelijkheden tot aanpassingen in het ontwerp beperkt zijn!

Voorbeelden van inrichtingsalternatieven binnen de randvoorwaarden van een gekozen tracé zijn:

- de keuze van de rijstrookbreedte van een 2\*2-strooks autosnelweg;
- het type brug (boogbrug, tuibrug);
- ligging van de perrons in een station (één eilandperron of twee zijperrons)
- etc.

De inrichtingsalternatieven vallen echter buiten het bestek van dit boek, waarin alternatieven op tracéniveau centraal staan.

---

**Voetnoten:**

---

## 6. Netwerkopbouw

---

### Infrastructuurplanning/Netwerkopbouw

---

In het vorige hoofdstuk is aangegeven dat er alternatieve oplossingen moeten worden ontwikkeld, voordat besloten wordt tot de aanleg van nieuwe infrastructuur. In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van de aanleg van nieuwe infrastructuur. Bij het ontwerp van aanlegalternatieven moeten een aantal belangrijke keuzes worden gemaakt: het bepalen van de netwerkopbouw, het horizontale tracé en de hoogteligging. In dit hoofdstuk staat de netwerkopbouw centraal. In hoofdstuk 7 en 8 volgen respectievelijk het horizontaal tracé en het verticaal tracé.

#### Hiërarchische opbouw van wegnetwerken

Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven, is er in een aantal typen probleemstellingen sprake van varianten m.b.t. de netwerkopbouw. Een belangrijk voorbeeld hiervan is het ontwerp van nieuwe woonwijken, waarvan het ontwerp van de ontsluitingsstructuur een onderdeel vormt.

De ontsluitingsstructuur van een nieuwe woonwijk dient volgens de huidige inzichten plaats te vinden volgens de richtlijnen van een duurzaam veilige wegcatégorisering. Hetzelfde geldt overigens voor de ontsluiting van en verbindingen tussen landelijke gebieden. Dit betekent dat de verblijfsgebieden (gebied met woningen, winkels, bedrijven e.d.) in de eerste plaats ontsloten worden door erftoegangswegen (ETW). De verblijfsgebieden worden weer ontsloten door gebiedsontsluitingswegen (GOW), via welke het (gemotoriseerde) lange-afstandsverkeer het netwerk van stroomwegen (SW) kan bereiken, dat bestaat uit auto(snel)wegen.

#### Erftoegangswegen

Het belangrijkste kenmerk van een ETW is dat behalve voetgangers alle verkeerssoorten (fietsers, bromfietsers, auto's, etc.) gebruik maken van dezelfde rijbaan. Erftoegangswegen kunnen en mogen overal worden overgestoken. Voetgangers hebben wel de beschikking over een trottoir. Om bij gemengd verkeer de veiligheid te waarborgen is binnen de bebouwde kom de snelheid beperkt tot 30 km/uur. De inrichting van erftoegangswegen moeten zo veel mogelijk uitnodigen tot het matigen van de snelheid door bromfietsers en motorvoertuigen. Dit betekent dat bochten, asverspringingen e.d. verkeerskundig beter voldoen dan lange rechte straten zonder veranderingen in het dwarsprofiel. Suggesties voor een goede inrichting van erftoegangswegen binnen de bebouwde kom (ETW bibeko) zijn te vinden in het ASVV (CROW, 2004).

Erftoegangswegen buiten de bebouwde kom (ETW bubeko) kenmerken zich ook door menging van langzaam verkeer en motorvoertuigen op dezelfde rijbaan. Aangezien een ETW buiten de bebouwde kom overzichtelijker en rustiger zal zijn, is echter besloten om hier 60 km/uur toe te staan als maximumsnelheid; hoewel sommigen dit zien als een te grote concessie (Prof. Hansen van de TU Delft stelt bijvoorbeeld 50 km/uur voor op dit type wegen). Richtlijnen voor de inrichting van erftoegangswegen buiten de bebouwde kom zijn te vinden in het Handboek Wegontwerp (CROW, 2002).

Gebiedsontsluitingswegen Verblijfsgebieden worden ontsloten door gebiedsontsluitingswegen. Dit zijn wegen met gelijkvloerse kruisingen, waarbij oversteken op wegvakken sterk ontmoedigd wordt. Bromfietsers rijden ook op een GOW binnen de bebouwde kom tussen het autoverkeer, maar fietsers hebben een eigen fietspad (of fietsstrook als er onvoldoende ruimte is). Door de scheiding tussen enerzijds fietsers en voetgangers en anderzijds motorvoertuigen is een hogere maximumsnelheid verantwoord. Binnen de bebouwde kom wordt standaard 50 km/uur gehanteerd; een stedelijke GOW met gescheiden rijbanen kan worden ontworpen op een maximumsnelheid van 70 km/uur en buiten de bebouwde kom geldt 80 km/uur als maximumsnelheid voor gebiedsontsluitingswegen. Bij kruisingen is er echter

---



wel nog sprake van overstekende fietsers en voetgangers en daarom moet de snelheid van al het verkeer daar wel weer worden teruggebracht – in principe tot maximaal 30 km/uur. Langs het tracé van een gebiedsontsluitingsweg kunnen ook woningen worden ontsloten, als hiervoor maar gebruik wordt gemaakt van een parallelle erftoegangsweg. Parkeren langs een gebiedsontsluitingsweg kan worden toegestaan, tenzij er wegens ruimtegebrek is besloten om fietsstroken toe te passen i.p.v. aparte fietspaden. De combinatie van parkeren langs de weg en fietsstroken op een GOW is relatief gevaarlijk, maar wordt helaas ook bij de herinrichting van bestaande gebiedsontsluitingswegen nog steeds veelvuldig toegepast. Een ander veiligheidsaspect bij de GOW is de scheiding van rijrichtingen. Deze moet minimaal gemarkeerd zijn met onderbroken strepen, maar er kan ook gekozen worden voor een echte rijbaanscheiding. Voor een uitgebreid overzicht van alternatieven om gebiedsontsluitingswegen en kruisingen tussen GOW en ETW vorm te geven kan eveneens het ASVV (GOW bibeko) of het Handboek Wegontwerp (GOW bubeko) worden geraadpleegd.

Een nadeel van de wegategorisering is overigens dat de functionaliteit voor motorvoertuigen hierin centraal staat, waarbij het netwerk voor fietsers en voetgangers slechts volgend lijkt te zijn. Een onderdeel van de systematiek is echter ook om voor fietsers en voetgangers eigen wensbeelden te maken, waarbij gekozen kan worden voor verbindingen met een ontsluitingsfunctie die slechts zijn opengesteld voor langzaam verkeer. In Houten is het ontsluitingsnetwerk voor motorvoertuigen gebaseerd op twee ringwegen, terwijl het fietsverkeer gebruik kan maken van radiale fietspaden richting het centrum. Deze fietspaden hebben in feite de functie van gebiedsontsluitingsweg, maar zullen niet 'officieel' als zodanig worden aangemerkt.

Stroomwegen Bij stroomwegen kent de wegategorisering geen onderscheid tussen binnen en buiten de bebouwde kom, hoewel in het verleden wel degelijk stroomwegen binnen de bebouwde kom zijn aangelegd met een bijbehorende lagere maximumsnelheid (o.a. de S 112 van het Amstelstation naar Amsterdam Zuidoost met een maximumsnelheid van 70 km/uur). Tegenwoordig wordt in dergelijke situaties echter meestal gekozen voor uitvoering als gebiedsontsluitingsweg.

Volgens het Handboek Wegontwerp zijn er twee typen stroomwegen: autosnelwegen en regionale stroomwegen. Autosnelwegen kenmerken zich door ongelijkvloerse kruisingen, gescheiden rijbanen, meerdere rijstroken per rijbaan en een goede afscherming van obstakels (geleiderails). Hierdoor is het mogelijk om hoge snelheden te combineren met een relatief gunstig veiligheidsniveau. De ontwerprichtlijnen voor autosnelwegen staan in de Richtlijnen voor het Ontwerp van Autosnelwegen (ROA), welke binnenkort vervangen zal worden door nieuwe richtlijnen.

Ook regionale stroomwegen kenmerken zich (in principe) door een rijbaanscheiding en toepassing van obstakelafscherming. Deze wegen hebben echter meestal slechts één rijstrook per richting (soms met inhaalstroken) en i.p.v. een vluchtstrook is een verharde berm voldoende. Gezien de hoge kosten die gepaard gaan met het ombouwen van huidige autowegen zonder gescheiden rijbanen naar stroomwegen, zijn in de praktijk de meeste regionale stroomwegen vormgegeven als een soort opgewaardeerde gebiedsontsluitingsweg: geen echte rijbaanscheiding, maar slechts een groene markering tussen de rijstrookmarkeringen als scheiding tussen beide rijrichtingen. Duidelijk mag zijn dat een dergelijke oplossing betekent dat hierdoor een zeker risico op frontale botsingen blijft bestaan, dat door een rijbaanscheiding verholpen had kunnen worden. Belangrijker nog uit oogpunt van verkeersveiligheid is de toepassing van een verstevigd bermgedeelte in combinatie met een geleiderailconstructie wordt toegepast. Meer dan 50% van de dodelijke ongevallen op stroomwegen zijn namelijk eenzijdige ongevallen, bijvoorbeeld doordat de bestuurder in een bocht de macht over het stuur verliest en van de weg raakt. Een geleiderailconstructie kan het fataal risico (risico op een dodelijk ongeluk) in dergelijke situaties sterk verkleinen.

1.2. Typen ontsluitingsnetwerken van woonwijken Zoals meer uitgebreid beschreven door Schoemaker (2002) zijn er verschillende typen netwerken, waarbij in de praktijk vooral mengvormen van de beschreven ideaaltypen voorkomen. Een belangrijk onderscheid is tussen open netwerken en gesloten netwerken. Schoemaker geeft verschillende voorbeelden van open en gesloten netwerken, waaronder een lineair netwerk (open),

vertakkingsstructuur (open), raster (gesloten) en ring-radiaalstructuur (gesloten). Binnen ieder type kan weer onderscheid worden gemaakt naar radiale en tangentiële netwerken. Bij radiale netwerken concentreren de belangrijkste schakels zich op de centra (steden), terwijl bij tangentiële netwerken de schakels juist zo min mogelijk de bebouwing doorsnijden.

In deze paragraaf wordt specifiek gekeken naar de ontsluitingsnetwerken op lokaal niveau. Voor woonwijken zijn in de literatuur verschillende typen ontsluitingsstructuren met ieder zijn positieve en negatieve aspecten vergeleken. De volgende ontsluitingsstructuren worden hier vergeleken: • rasterstructuur • ring-lusstructuur • boomstructuur

Elk type ontsluitingsstructuur heeft bepaalde positieve en negatieve aspecten. Deze voor- en nadelen worden in deze paragraaf besproken en van ieder type wordt een voorbeeld gegeven.

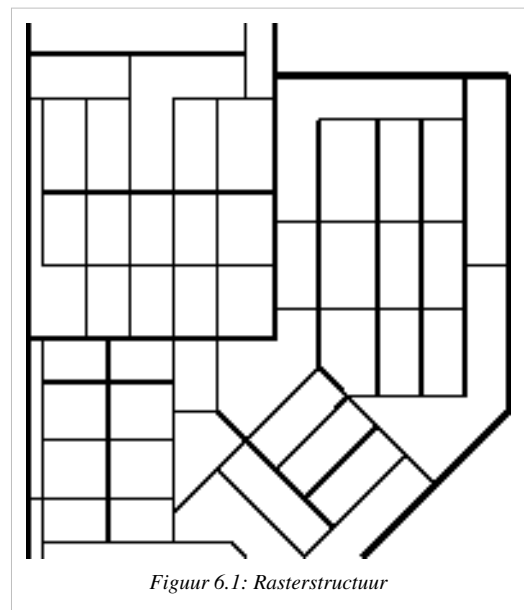
## Rasterstructuur

Rasterstructuren kenmerken zich door de orthogonale opbouw, waarbij straten in principe eindeloos kunnen doorlopen. Rasterstructuren zijn in het verleden veelvuldig toegepast bij het ontwerp van steden (klassieke Griekse steden werden bijvoorbeeld al met een rasterstructuur aangelegd). Rasters zijn in het recentere verleden vooral toegepast in woonwijken met relatief veel herhaling: eenzelfde soort straat met hetzelfde type huizen kan eenvoudig op een andere plaats weer worden gerealiseerd. In de klassieke rasters waren echter vrijwel alle straten gelijkwaardig en liepen wegen recht door de hele stad, terwijl in modernere rasterstructuren het patroon veelvuldig wordt verschoven, zoals geïllustreerd is in figuur 6.1 Hierdoor ontstaat er toch een hiërarchie tussen ontsluitingswegen (dikke lijnen) en erftoegangswegen (dunne lijnen).

Het voorbeeld illustreert dat in een rasterstructuur gebiedsontsluitingswegen zowel tangentiël als radiaal kunnen liggen. Dwars door de woonwijk loopt een gebiedsontsluitingsweg met relatief veel aansluitingen met erftoegangswegen. De tangentiële gebiedsontsluitingsweg rechts langs de woonwijk heeft duidelijk minder aansluitingen, mede doordat hier gekozen is om het raster van erftoegangswegen niet tot aan de ontsluitingsweg door te trekken.

Positieve aspecten van de rasterstructuur zijn o.a. de korte aftanden tussen verschillende bestemmingen binnen de wijk. Daarbij zijn er altijd route-alternatieven, waardoor bij wegonderhoud of andere stremmingen de bereikbaarheid nauwelijks problemen ondervindt.

Nadelen van een rasterstructuur zijn o.a. dat het moeilijk is om doorgaand (sluip)verkeer over erftoegangswegen te mijden. De verdeling van het verkeer is moeilijk beheersbaar, waardoor sommige erftoegangswegen relatief zwaar belast kunnen worden met autoverkeer. Bovendien is snelheidsbeheersing op erftoegangswegen lastiger bij relatief lange rechte straten. Verder nodigt een rasterstructuur uit tot veel kruisingen tussen gebiedsontsluitings- en erftoegangswegen, met name bij een radiale ligging. Bij meer tangentiële rasterstructuur is het mogelijk om meer hiërarchie in het netwerk aan te brengen, zoals geïllustreerd in figuur 6.1.



Figuur 6.1: Rasterstructuur

## Ring-lusstructuur

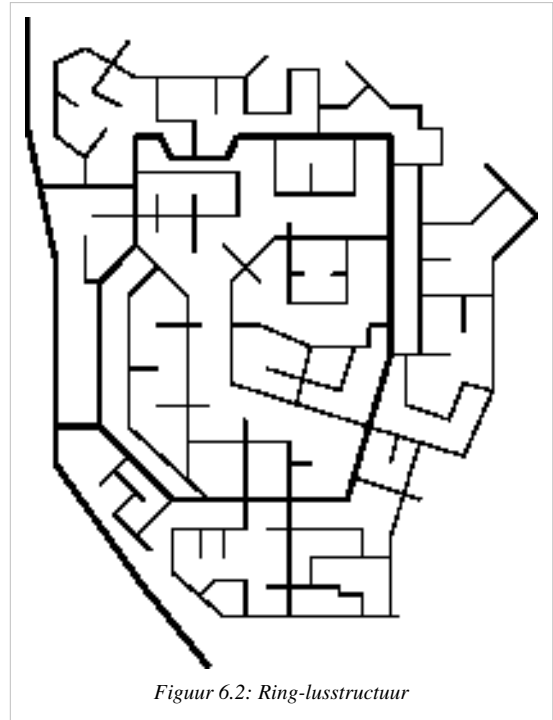
Een ring-lusstructuur (figuur 6.2) kenmerkt zich door een centrale ring als ontsluitingsweg binnen de wijk. Deze ring heeft liefst twee verschillende verbindingen richting andere stadswijken. De erftoegangswegen zijn grotendeels vormgegeven als lussen, waardoor vanaf de meeste lokaties de ontsluitingsring in twee richtingen is te bereiken.

Varianten van ring-lusstructuren zijn vooral veel toegepast in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw. De woonstraten zijn in deze periode vaak niet ontworpen als straat met een scheiding tussen weg en trottoir, maar als woonerf waarop in principe al het verkeer gelijkwaardig is. De centrale ring is meestal tweestrooks zonder rijbaanscheiding, waarbij vaak gekozen is voor een bochtig tracé om de snelheid te remmen. In de praktijk zijn deze wijkringen vaak toch een probleem voor de verkeersveiligheid, aangezien ze midden door de wijk lopen, maar het vaak niet acceptabel wordt gevonden om de snelheid terug te brengen tot 30 km/uur.

Een alternatief voor het afgebeelde voorbeeld met een ring die centraal door de wijk loopt is het toepassen van een tangentiële wijkontsluitingsring. Deze structuur is toegepast bij het ontwerp van de Nederlandse 'new town' Houten. Ook bij de recente uitbreidingen naar het Zuiden is hetzelfde principe aangehouden: een tangentiële ringstructuur als ontsluiting voor de auto's, aangevuld met een radiaal netwerk voor langzaam verkeer dat is geconcentreerd op het stadscentrum met het station.

Voordelen van de ring-lusstructuur zijn onder andere de duidelijke hiërarchie in het wegennet, waarbij de lussen (woonerven) niet uitnodigen tot doorgaand verkeer. Daarbij is de centrale ring geschikt als ontsluitingsroute voor stadsbussen. De ring-lusstructuur maakt het bovendien mogelijk om vrij grote aaneengesloten verblijfsgebieden te creëren, vooral wanneer gekozen wordt voor een variant met een buiten- in plaats van binnenring. Een ander voordeel is tenslotte dat een dergelijke structuur goede mogelijkheden biedt voor directe fietspaden buiten de auto-ontsluitingsstructuur om, die relatief veilige verbindingen binnen de wijk kunnen bieden – hetgeen stimulerend werkt voor het fietsgebruik voor verplaatsingen binnen de wijk.

Een nadeel van de ring-lusstructuur is de relatief grote verkeersdruk op de ring. Bij een binnenring zal daarbij een probleem zijn dat deze de wijk doorsnijdt, met bijbehorende negatieve effecten voor de leefbaarheid en verkeersveiligheid. Een buitenring (tangenteel) is echter weer minder gunstig voor de ontsluiting per openbaar vervoer, aangezien dan hetzij de loopafstanden tot de bushaltes relatief groot worden, hetzij de bus over erftoegangswegen zich een weg door de wijk zal moeten banen. Tenslotte is een nadeel van deze structuur dat, zeker in vergelijking tot een rasterstructuur, de omwegen op bepaalde relaties binnen de wijk vrij groot zal zijn, in ieder geval voor het gemotoriseerde verkeer.



Figuur 6.2: Ring-lusstructuur

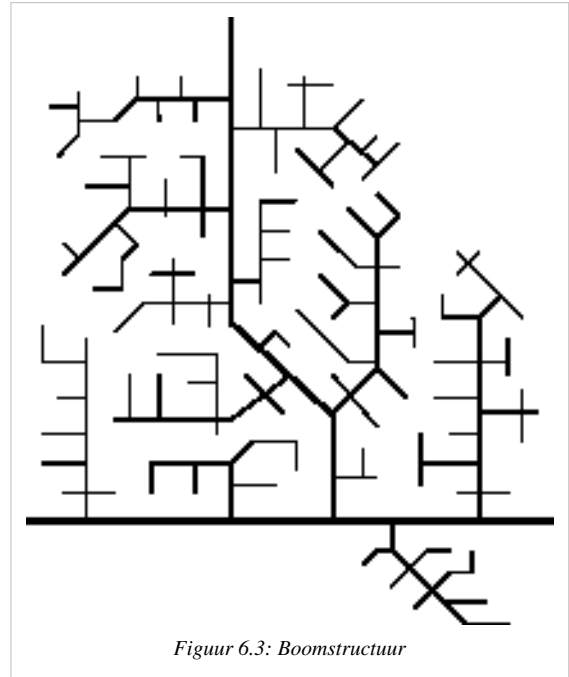
## Boomstructuur

Een boomstructuur is een hiërarchisch wegennet, waarbij in principe steeds slechts één verbinding tussen de erven in de wijk en de hoofdontsluitingsweg wordt geboden. Slechts voor fietsers en voetgangers worden kortere verbindingen geboden.

Boomstructuren zijn op beperkte schaal toegepast in de jaren '60 en begin jaren '70. Er zijn overigens maar weinig voorbeelden van zuivere boomstructuren, vaker is er gekozen voor een combinatie van een boom- en een ring-lusstructuur. Tegenwoordig wordt dit type wijkontsluiting echter zelden meer toegepast, met name gezien het gebrek aan alternatieve routes bij calamiteiten en wegwerkzaamheden.

Zoals figuur 6.3 laat zien, lopen alle erftoegangswegen in principe dood in de wijk, waardoor sluipverkeer onmogelijk is. Bovendien is het verblijfsgebied vrij groot, waardoor veel bewoners zonder oversteken van een GOW voorzieningen als het wijkwinkelcentrum en de basisscholen kunnen bereiken.

Een nadeel van de boomstructuur is de relatief zware verkeersbelasting aan het begin van de takken, aangezien al het verkeer in een bepaalde buurt hierlangs moet passeren. Ook de relatief grote afstand naar het eind van de takken is een probleem, met name voor de ontsluitingskwaliteit per lijnbus en de overzichtelijkheid voor gasten. Het grootste probleem is echter het gebrek aan omleidingsroutes bij wegonderhoud of calamiteiten.



*Figuur 6.3: Boomstructuur*

---

### Voetnoten:

---

## 7. Horizontaal tracé

---

### Infrastructuurplanning/Horizontaal tracé

---

Het horizontaal tracé is de lijn die infrastructuur beschrijft in het platte vlak. Om twee punten te verbinden in het platte vlak, eventueel met aanvullende eisen m.b.t. minimale boogstralen etc., zijn er meestal zeer veel mogelijkheden. In dit hoofdstuk worden een aantal principes uitgelegd op basis waarvan kansrijke tracéalternatieven kunnen worden ontworpen. Een traceringsprincipe is echter niet meer dan een richtlijn, op basis van één traceringsprincipe kan een ontwerper vaak meerdere verschillende tracés tekenen. Ook kan het zinvol zijn om verschillende traceringsprincipes te combineren. De volgende traceringsprincipes worden hier verder uitgewerkt: <sup>[1]</sup>

- rechtlijnigheid
- vrije tracering
- bundeling

Deze traceringsprincipes zijn afgeleid van verschillende traceringscriteria. Deze traceringscriteria zijn in te delen in een drietal categorieën:

1. zo goed mogelijk laten functioneren van de infrastructuur zelf (intern)
2. zo gemakkelijk en goedkoop mogelijke constructie (intern)
3. minimalisatie omgevingseffecten (extern)

Allereerst gaan we echter in op de vraag uit welke elementen tracés worden opgebouwd.

#### Opbouw van het horizontaal tracé

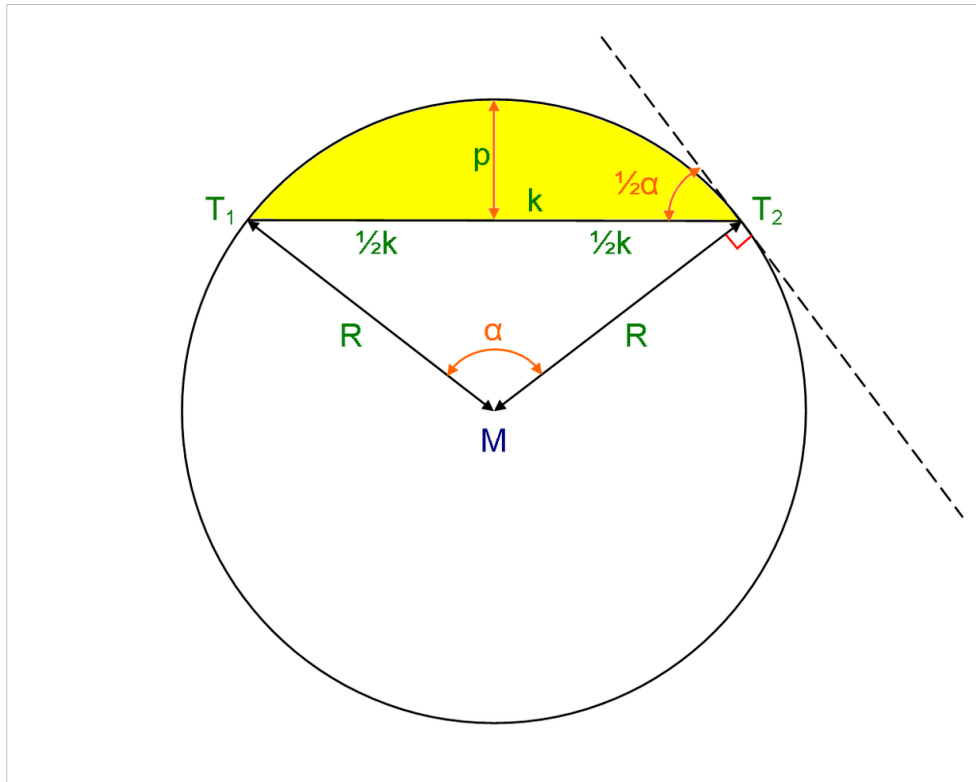
Het horizontaal tracé van wegen, spoorwegen en fietspaden (en ook van de meeste soorten leidingen) wordt opgebouwd uit een beperkt aantal elementen. De belangrijkste elementen zijn:

- rechte lijn;
  - cirkelboog;
  - overgangsboog.
-

## Rechte lijn

De rechte lijn is in de Euclidische meetkunde de kortste verbindingsweg tussen twee punten. De rechte lijn is daarmee de meest directe manier om twee plaatsen te verbinden. Veel tracés van kanalen, spoorwegen en wegen bevatten daarom rechte lijnen.

## Cirkelboog



Voorbeeld van een cirkelsegment met tangelhoek  $\alpha$ , koorde  $k$  en pijl  $p$ .

Naast rechte lijnen worden cirkelbogen gebruikt in het horizontaal alignement om vloeiende richtingsveranderingen mogelijk te maken. Een cirkelboog is een deel van een volledige cirkel. Kenmerkend voor de cirkelboog is dat de hoeksnelheid en de benodigde middelpuntzoekende kracht om een boog te berijden constant zijn. Hierdoor is een cirkelboog berijdbaar met een constante stuurverdraaiing. Ook de theoretische verkanting, de verkanting waarbij de benodigde middelpuntzoekende kracht voor het berijden van een boog geheel wordt geleverd door de normaalkracht, is constant bij een constante boogstraal.

## Overgangsboog <sup>[2]</sup>

Een *overgangsboog* is de geleidelijke overgang tussen een rechtstand en een cirkelboog of tussen twee bogen met een verschillende straal  $R$  in het (horizontaal) alignement van een weg of spoorweg. Door de kromming van de weg of spoorweg geleidelijk toe- of af te laten nemen, wordt een plotselinge toe- of afname van de zijdelingse versnelling vermeden. Een nevenfunctie van de overgangsboog is om de verkanting van de weg geleidelijk te kunnen aanpassen, waarbij de gewenste verkanting weer afhankelijk is van de boogstraal en de ontwerpsnelheid.

Zowel voor wegen als spoorwegen geldt over het algemeen dat een overgangsboog enkel hoeft te worden toegepast tussen een rechtstand en een (ruime) boog, indien ook de verkanting verandert. Hoe ruim de betreffende boog moet zijn hangt samen met de ontwerpsnelheid. Zo hoeft volgens het Nederlandse

Handboek Wegontwerp een boog met een straal vanaf 2000 meter in een stroomweg niet te worden ingeleid met een overgangsboog, terwijl bij een ontwerpsnelheid van 50 km/uur een boog met een straal vanaf 300 meter reeds geen overgangsboog meer behoeft <sup>[3]</sup>.

Als overgangsboog wordt in Europa meestal de clothoïde gebruikt voor zowel wegen als spoorwegen. Een clothoïde (Grieks: κλοθειν (klothein), spinnen (wol)) is een symmetrische dubbelspiraal met het buigpunt in de oorsprong, met de eigenschap dat met toenemende booglengte ook de kromming toeneemt en wel geldt in elk punt van de kromme. De kromming is hierbij de inverse van de boogstraal:

$$\frac{1}{r} = k \cdot l$$

waarbij:

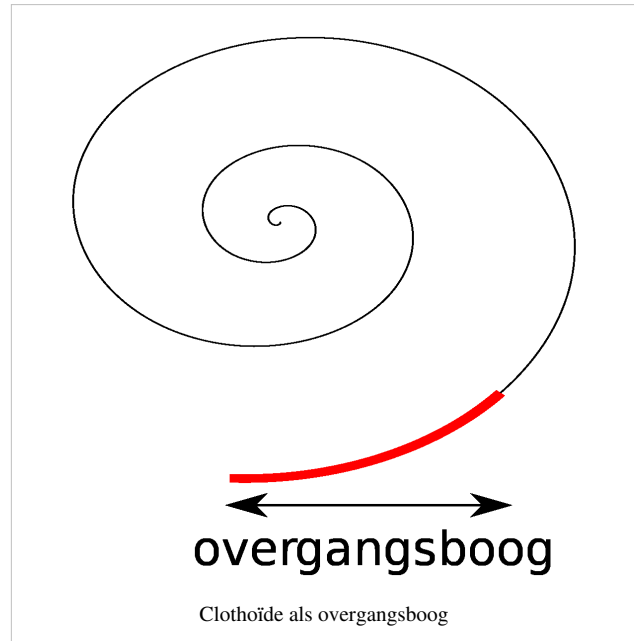
- $r$  = de lokale boogstraal op een punt van de clothoïde
- $l$  = de verstreken booglengte van de clothoïde, gemeten vanaf het buigpunt
- $k$  = een constante

De clothoïdeparameter  $k$  bepaalt dus de 'snelheid' van de verandering van de kromming.

Toepassing van de clothoïde als overgangsboog heeft een aantal kenmerken die over het algemeen als gunstig worden gezien door verkeersingenieurs:

- Bij constante snelheid is de toename van de kromming per tijdseenheid gelijk. Met andere woorden, de hoeksnelheid van een voertuig neemt lineair toe of af, of nog met andere woorden de hoekversnelling is constant.
- De toename van de dwarsversnelling per afgelegde afstand is gelijk, waardoor de toename van de dwarsversnelling per tijdseenheid gelijk is bij constante snelheid.
- De ideale verkanting neemt lineair toe als functie van de afgelegde afstand.

Indien geen overgangsboog zou worden toegepast, zou bij een overgang van een rechtstand of ruime boog naar een krappe boog de dwarsversnelling ineens toenemen, zou in het geval van wegverkeer een automobilist ineens een grote stuurverdraaiing moeten maken en zou al in de rechtstand of ruime boog de verkantingsovergang moeten worden aangebracht, wat ongunstig zou zijn uit comfortredenen.



## Rechtlijnig traceren

Rechtlijnigheid is vooral interessant vanuit oogpunt van de interne criteria. Het traceren volgens de rechte lijn is niet anders dan het zoeken van de kortste verbinding. Overigens kunnen aanvullende criteria, zoals het aandoen van een bepaald tussengelegen (dwang)punt en het aansluiten van een weg op een bestaande weg in een bepaalde richting, in combinatie met criteria m.b.t. minimale boogstralen, ervoor zorgen dat het ideale 'rechtlijnige' tracé niet helemaal een rechte lijn is. Het belangrijkste voordeel van een 'rechtlijnig' tracé is dat het de kortste en snelste route biedt aan de gebruikers.

In situaties waar de kosten per meter infrastructuur nauwelijks verschillen naar plaats, zal het tracé met de laagste aanlegkosten grotendeels overeenkomen met het rechtlijnige tracé. De rechte lijn kan dus ook een interessant traceringsprincipe zijn uit oogpunt van een zo gemakkelijk en goedkoop mogelijke constructie. De fysische geografie (bergen, meren) kan echter vrij grote afwijkingen van de rechte lijn wenselijk maken uit kosten oogpunt. Daarnaast kan het uit oogpunt van beperking van aanlegkosten wenselijk zijn om andere infrastructuur zo veel mogelijk haaks te kruisen, teneinde de lengte van kunstwerken te beperken. Ook hierdoor ontstaan afwijkingen van de rechte lijn.



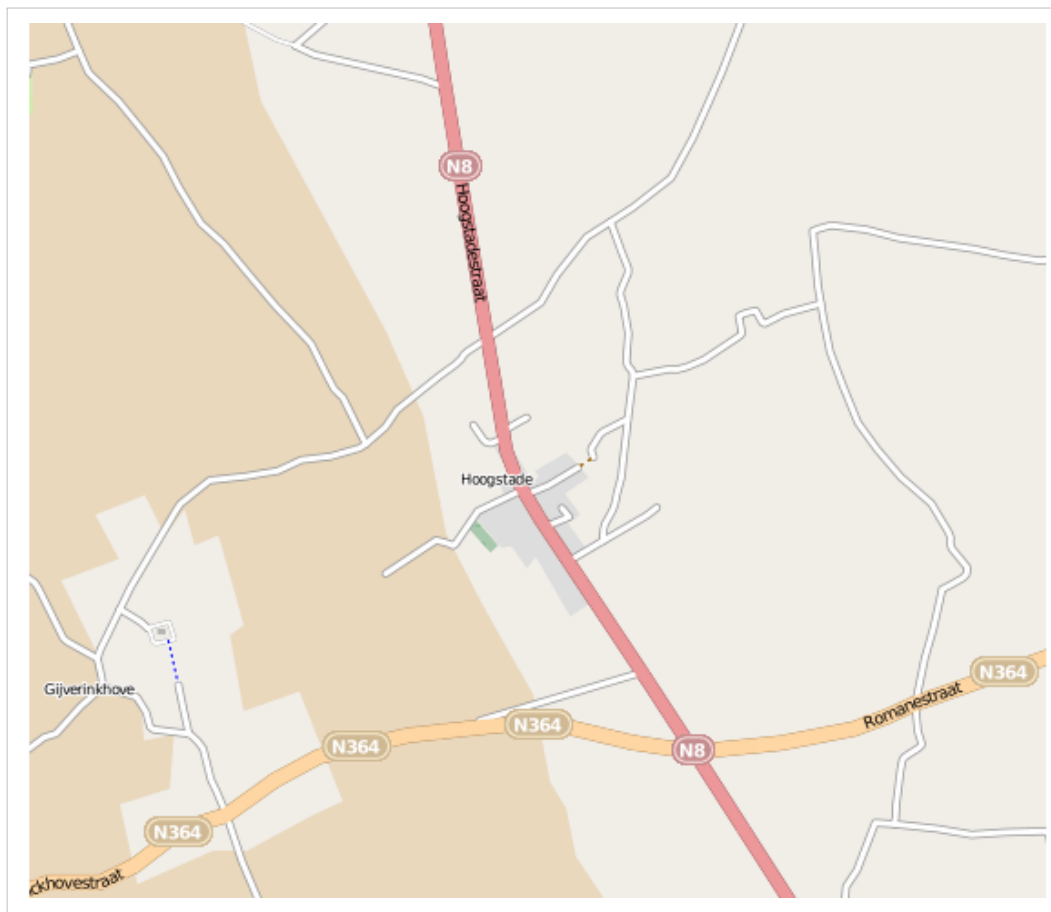
Tussen Purmerend en Hoorn vinden we meerdere voorbeelden van rechtlijnige tracering: de Spoorlijn Zaandam - Enkhuizen en de A7 volgen een zo recht mogelijke lijn van Purmerend naar Scharwoude (nabij Hoorn). Ook de N247 is tussen Edam en Oosthuizen en tussen Oosthuizen en Scharwoude rechtlijnig getraceerd.



## Nadelen van rechtlijnig traceren

Rechtlijnige tracés hebben een aantal nadelen, met name uit oogpunt van minimalisatie van omgevingseffecten, maar ook uit kosten oogpunt. Een rechte lijn kan leiden tot zowel hogere constructiekosten als hogere grondverwervingskosten dan alternatieven die bepaalde gebieden mijden. Verder zal een rechte lijn vaak leiden tot bezwaren uit oogpunt van omgevingseffecten. Vooral in Nederland wordt de ruimte zeer intensief benut, waarbij veel gebieden of objecten als 'kwetsbaar' of anderszins beschermwaardig worden gezien: natuurgebieden, stiltegebieden, monumenten, etc. Het traceren door zulke gebieden kan het betreffende tracé bij voorbaat onacceptabel maken, of tenminste ervoor zorgen dat een dergelijk tracé een ongunstige beoordeling krijgt. Een ander nadeel is dat een rechtlijnig tracé vrijwel altijd leidt tot een nieuwe doorsnijding van het landschap, tenzij het toevallig samenvalt met een bestaand tracé of er gekozen wordt tot volledige ondertunneling. Ook het moeten slopen van veel woningen, doordat een tracé door een woongebied loopt, maakt een tracé meestal bij voorbaat al kansloos. Een alternatief is het verticaal mijden van dergelijke knelpunten, bijvoorbeeld d.m.v. een (geboorde) tunnel. Deze oplossingen zijn echter vaak weer niet acceptabel uit kosten oogpunt.

Rechtlijnige tracés hebben echter soms zelfs interne nadelen. Met name bij wegtracés is rechtlijnigheid ongewenst uit oogpunt van veiligheid. Autosnelwegen worden derhalve tegenwoordig getraceerd als een aaneenschakeling van (ruime) horizontale bogen. Bij erftoegangswegen is het zelfs gebruikelijk om rechtlijnigheid zo veel mogelijk te vermijden, bijvoorbeeld door asverspringingen en bogen. Eén van de gevaren van rechtlijnigheid is 'polderblindheid': het over het hoofd zien van discontinuïteiten als kruispunten, bochten e.d. als gevolg van de monotonie van de betreffende weg en de relatief hoge snelheid waartoe een rechte weg uitnodigt.



Het tracé van de N8 tussen Veurne en Ieper bestaat uit kaarsrechte stukken weg. Bij de doortocht in Hoogstade (Alveringem) loopt de gewestweg doorheen de bebouwde kom van het polderdorp. De rechte wegen nodigen uit tot snel verkeer ('polderblindheid'). Dit leidt tot problemen, bijvoorbeeld wanneer dit snelle verkeer geconfronteerd wordt met overstekende voetgangers.

## Praktische waarde van rechtlijnige tracé-alternatieven

Gezien de bovenstaande commentaren rest de vraag in hoeverre de nietsontziende rechte lijn nog van praktisch nut is om goede tracéalternatieven te ontwerpen. In de eerste plaats is een rechte lijn een interessante eerste benadering, vooral in gebieden waar de verschillen in economische en maatschappelijke grondwaarde beperkt zijn. Dit kan zijn in een situatie waar een gebied met een relatief lage 'waarde' moet worden doorkruist, maar ook wanneer ondertunneling van een kwetsbaar gebied een interessant alternatief is, zoals bij de tunnel onder het Groene Hart in de HSL-Zuid.

## Vrije trasering

Bij vrije trasering is de basisfilosofie dat een tracé zo goed mogelijk gewenste aansluitingen moet realiseren, waarbij kwetsbare gebieden en dure oplossingen zo veel mogelijk vermeden worden. Gewenste aansluitingen zijn bijvoorbeeld gunstige lokaties van op- en afritten bij autosnelwegen en gunstige stationslokaties bij spoorwegen. Het vrij traceren kiest de weg van de minste weerstand. Dit kan leiden tot een grillig tracéverloop, waarbij de minimale boogstralen de belangrijkste beperkingen vormen. De vrije trasering laat zich dus leiden door omgevingseisen en -wensen, binnen de marges van interne eisen m.b.t. de traceerbaarheid, waardoor inpassingsproblemen zo veel mogelijk worden vermeden. Door het ontwijken van probleemgebieden kunnen extra omwegen en bochten ontstaan die theoretisch kunnen leiden tot een lagere kwaliteit voor de gebruiker en wellicht tot (wat) hogere aanlegkosten dan bij rechtlijnige trasering. In de praktijk zullen de kosten van een slim gekozen omweg echter meestal (veel) lager zijn dan van een de maatregelen die nodig zijn om een rechtlijnig tracé in te passen in een gevoelig gebied, of om een strakke bundeling mogelijk te maken.



## Nadelen van vrije tracering

Afgezien van de mogelijke nadelen voor de gebruiker door omwegen en eventueel krappere boogstralen, heeft vrije tracering weinig nadelen omdat problemen juist zo veel mogelijk worden omzeild. Wellicht het belangrijkste externe nadeel is dat evenals bij rechtlijnige tracering er vrijwel altijd sprake zal zijn van nieuwe doorsnijdingen van gebieden. Weliswaar worden de meest ongewenste doorsnijdingen vermeden (natuur, woongebieden), maar ook daarbuiten zal een nieuwe doorsnijding vaak niet wenselijk zijn. Een alternatief daarvoor is bundeling, een tracersingsprincipe dat in de volgende paragraaf wordt beschreven.

## Praktische waarde van vrije tracering

Het mijden van bepaalde gebieden is van wezenlijk belang om te komen tot tracéontwerpen die zowel uit kosten oogpunt als uit maatschappelijk oogpunt aanvaardbaar zijn. De praktische waarde van vrije tracering is dat dit principe leidt tot tracés waarbij deze gebieden inderdaad zo veel mogelijk vermeden worden. Een belangrijk hulpmiddel bij vrije tracering is een zeefanalyse, waardoor de ontwerper kan zien welke gebieden vermeden dienen te worden. Afhankelijk van de mate van uitzeving van gebieden blijven er echter vaak veel potentiële tracés over. De vraag is hoe een overdaad aan alternatieven kan worden voorkomen. Daarnaast is het de vraag of beperkte doorsnijdingen van 'gevoelige' gebieden toch aanvaardbaar kunnen zijn, bijvoorbeeld als hiermee grote omwegen vermeden kunnen worden.

Geconcludeerd kan worden dat het wenselijk is om bij vrije tracering nadere criteria op te stellen om kansrijke alternatieven uit te filteren. Zo zullen bijvoorbeeld alternatieven die langer of duurder zijn maar niet of nauwelijks meer gevoelige functies mijden niet kansrijk zijn. Een sneller of goedkoper alternatief dat beperkt te koste gaat van (bijvoorbeeld) natuurwaarden kan echter wel kansrijk zijn. Ieder alternatief heeft liefst op één of meerdere punten een duidelijke meerwaarde ten opzichte van andere alternatieven.

## Bundeling

Bundeling is een tracersingsprincipe waarbij het aantal doorsnijdingen van de open ruimte wordt geminimaliseerd door verschillende infrastructuurlijnen te bundelen in één tracé. Hierdoor wordt de milieubelasting geconcentreerd en versnippering van het open landschap beperkt. Bij horizontale bundeling kan echter restruime ontstaan tussen de gebundelde lijnen, waardoor het totale ruimtebeslag groter kan zijn dan wanneer een nieuw tracé wordt gekozen. Bundeling kan een gunstige oplossing opleveren uit zowel het oogpunt van externe als constructieve en interne criteria, maar dit is zeker niet gewaarborgd.

Bundeling kan het beste plaatsvinden met infrastructuur met vergelijkbare tracersingscriteria. Een infrastructuur met ruime boogstralen (autosnelweg, spoorlijn) kan het beste worden gebundeld met andere infrastructuur met ruime boogstralen. Indien de bestaande infrastructuur krappere boogstralen heeft, zal bij bundeling daarmee restruimtes ontstaan door bochtafsnijdingen (tenzij de tracering van de bestaande infrastructuur ook wordt aangepast, maar dit zal vaak zowel functionele als financiële bezwaren hebben). Een ander aspect is de vraag in hoeverre bundeling ook goed mogelijk is nabij aansluitingen en knooppunten. Bij bundeling van een spoorlijn aan een autosnelweg zal bijvoorbeeld rekening moeten worden gehouden met de ruimte die benodigd is voor aansluitingen van de autosnelweg en voor stations aan de spoorlijn. Tenslotte moet bij bundeling goed worden nagegaan in hoeverre er een bufferruimte gewenst is om veiligheidsredenen (bijvoorbeeld om te voorkomen dat een geschaarde vrachtwagen een spoorlijn raakt of te water raakt in een kanaal).

Naast bundeling met bestaande (lijn)infrastructuur is het ook mogelijk om infrastructuur te bundelen met de randen van de bebouwing. Hierdoor wordt zowel doorsnijding van stedelijk gebied als doorsnijding van open ruimte voorkomen. De vraag is echter hoe duurzaam een dergelijke oplossing is. Veel wegen en spoorwegen die bij aanleg langs de bebouwing liepen lopen inmiddels dwars door steden heen, met alle nadelen (milieuhinder, barrièrewerking) van dien.

## Nadelen van bundeling

In de bovenstaande kenschets van bundeling is gebleken dat dit traceringsprincipe een belangrijk voordeel heeft (voorkomen van verdere versnippering van gebieden). Bundeling heeft echter ook een aantal belangrijke nadelen, waardoor bundelingsalternatieven in bepaalde situaties slecht scoren op zowel interne, externe en constructieve criteria.

Het grootste nadeel van bundeling is (vaak ) het grotere ruimtebeslag en het ontstaan van restruimtes. Afhankelijk van de gewenste veiligheidsmarges, ruimte voor latere uitbreidingen, verschillen in boogstralen e.d. kan het feitelijke ruimtebeslag (inclusief onbruikbare rest-ruimtes) bij bundeling beduidend groter zijn dan bij vrije tracering of tracering volgens een rechte lijn. Daarnaast kunnen er zijn plaatsen waar lokaal de bundeling moet worden losgelaten, bijvoorbeeld doordat de bestaande infrastructuur door bebouwd gebied loopt. De restruimtes die daar ontstaan, zijn weliswaar bruikbaar voor bepaalde functies (bijvoorbeeld autosloperijen), maar een dergelijke oplossing is verre van ideaal.

De figuur hieronder laat de restruimte zien die ontstaat doordat de Betuwelijn bij kooppunt Gorinchem de strakke bundeling van de A15 loslaat. Bij eventuele latere uitbreiding van Gorinchem naar het Noorden is hiermee een extra grote barrière te overwinnen. Strakkere bundeling met de A15 was technisch weliswaar mogelijk geweest, maar uit constructief oogpunt ongewenst, gezien de vele doorsnijdingen met verbindingswegen die zouden zijn opgetreden.



Het tracé van de Betuwelijn is zo veel mogelijk gebundeld met de A15. De bundeling is echter niet altijd even *strak*. Aan de westzijde van Gorinchem (links op de kaart) is de bundeling duidelijk losser om ruimte te maken voor een knooppunt en aansluiting.

Een ander nadeel van bundeling is dat het soms tot beduidend hogere aanlegkosten leidt dan vrije tracering of tracering volgens een rechte lijn. Bij de gekozen bundeling van de HSL-Zuid met de A16 treden bijvoorbeeld problemen op bij de aftakking van de spoorlijn naar Roosendaal in Lage Zwaluwe en bij de aansluiting van de A59 op de A16. Deze problemen zijn uiteraard oplosbaar, maar leiden tot relatief hoge kosten. Bundeling kan er ook toe leiden dat bebouwd gebied wordt doorsneden, hetgeen kan leiden tot hogere kosten door vereiste maatregelen ter beperking van milieuhinder, hogere grondverwervingskosten en meer kruisende infrastructuur. Dit is bijvoorbeeld de situatie bij de doorsnijding van de met de A16 gebundelde HSL-Zuid door Breda.

## Praktische waarde van bundeling

De praktische waarde van bundeling is met name groot in situaties waar er een goede kandidaat is om mee te bundelen. In dergelijke gevallen kan bundeling positief zijn uit oogpunt van beperken van versnippering van het landschap en concentreren van milieuhinder. Bovendien zal bij een gunstige kandidaat om mee te bundelen de omweg en extra aanlegkosten ten opzichte van een rechte lijn beperkt kunnen blijven. Het is daarom belangrijk om altijd op zoek te gaan naar geschikte bundelingsmogelijkheden. Het ontwerpen van een gebundeld tracé is in principe vrij eenvoudig. Eerst wordt het zoekgebied afgebakend aan de hand van de maximaal aanvaardbare omweg en het begin- en eindpunt van het tracé. Vervolgens zoekt men in het gebied naar bestaande infrastructuur waarmee gebundeld zou kunnen worden. Voor zover deze bestaande tracés niet aansluiten op het gewenste begin- of eindpunt, kan vrije of rechthoekige tracering worden toegepast om het alternatief volledig te maken.

In de praktijk kunnen meerdere kansrijke bundelingsalternatieven voorkomen, bijvoorbeeld doordat er verschillende bestaande tracés zijn om mee te bundelen, er verschillende routes zijn om bij de bundel te komen, etc. Verder zijn er varianten mogelijk t.a.v. de onderlinge afstand van de infrastructuurlijnen in de bundel, met name bij de knelpunten. De praktijkrelevantie van bundeling als traceringsconcept wordt geïllustreerd door de keuze van het voorkeursalternatief in diverse grote infrastructuurprojecten uit de afgelopen jaren: o.a. bij de HSL Zuid en de Betuwelijn is (deels) gekozen voor bundeling met bestaande infrastructuur.

---

### Voetnoten:

- [1] bron: Willems, J. (2001), *Bundeling van infrastructuur: Theoretische en praktische waarde van een ruimtelijk inrichtingsconcept*. Proefschrift TU Delft. ([http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:ab53be99-5ea8-4cf4-bf03-cc07f7c306ea/trail\\_willems\\_20010619.pdf&ei=-wOfTamUPI2WOtX\\_7fUE&usg=AFQjCNHxgEtQM\\_ty7FJJ2Ea4KfqLx5BmBg](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:ab53be99-5ea8-4cf4-bf03-cc07f7c306ea/trail_willems_20010619.pdf&ei=-wOfTamUPI2WOtX_7fUE&usg=AFQjCNHxgEtQM_ty7FJJ2Ea4KfqLx5BmBg))
- [2] Deze paragraaf is een bewerking van de lemmata overgangsbog en clothoïde van nl.wikipedia. Versie: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Overgangsbog&oldid=24380786>) en (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Clothoïde&oldid=27241478>); auteurs: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Overgangsbog&action=history>) en (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Clothoïde&action=history>).
- [3] CROW (2002), Handboek Wegontwerp

---

## 8. Verticaal tracé

---

### Infrastructuurplanning/Verticaal tracé

---

De trasering van infrastructuur in het platte vlak is bestudeerd in het vorige hoofdstuk. De derde dimensie – de hoogteligging – is hierbij buiten beschouwing gebleven. Het verticale alignement is echter ook van groot belang, juist op het gebied van de hoogteligging en kruisingstypen kunnen interessante alternatieven bestaan, die mede de kwaliteit van het totale tracé als alternatief bepalen. Problemen met het verticaal alignement kunnen er zelfs voor zorgen dat een bepaald horizontaal tracé moet worden aangepast of zelfs oninteressant wordt als alternatief, bijvoorbeeld als de hoogteverschillen resulteren in te steile hellingen.

In dit hoofdstuk staat de keuze van het verticaal tracé centraal. Het verticaal tracé wordt voornamelijk bepaald door de gewenste hoogteligging. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de basis hoogteligging en het gekozen kruisingstype bij fysieke knelpunten. Bij de basis hoogteligging gaat het vooral om de hoogteligging ten opzichte van het maaiveld, waarbij het belangrijkste probleem is hoe hoogteverschillen in het maaiveld worden overwonnen. Bij de kruisingstypen gaat het echter om de vraag hoe knelpunten in de vorm van kruisende infrastructuur ‘overbrugd’ dienen te worden. Soms zal het betreffende knelpunt echter niet de vorm hebben van een infrastructuurtracé, maar een woonwijk, ecologische verbinding, cultuurhistorisch monument dat door het horizontale tracé onvoldoende wordt gemedend. In dit geval kan ervoor worden gekozen om deze functies in tact te laten door het tracé eronderdoor (of eroverheen) te leiden.

#### Basis hoogteligging

De basis hoogteligging is de verticale ligging van de infrastructuur ten opzichte van het maaiveld. Dit is een belangrijk verschil met het verticaal alignement, dat wordt bepaald ten opzichte van een vast punt (NAP in Nederland). In veel gevallen is het echter niet mogelijk of wenselijk dat het verticaal alignement exact het maaiveld volgt. De maximale helling is bijvoorbeeld beperkt bij wegen en spoorwegen en bij kanalen zijn hellingen zelfs niet toegestaan (wel evt. hoogteverschillen die overbrugt worden door sluisen). Daarnaast zijn knikken in het verticaal tracé meestal ongewenst; daarom worden verticale afrondingsbogen toegepast in de tracés van wegen en spoorlijnen. Bij een spoorlijn geldt bijvoorbeeld een maximale helling van 2,5% (minder is overigens gewenst bij spoorlijnen met goederenvervoer) en een verticale topboog met een straal van minimaal 20 000 meter. De topbogen kunnen meestal krappere zijn, aangezien daar comforteisen meestal maatgevend zijn i.p.v. zichteisen.

Ook wanneer echter voldaan wordt aan de gewenste maximale hellingen en minimale verticale boogstralen, is een grillig verloop van een (spoor)wegtracé ongewenst. Een grillig verticaal alignement heeft als nadeel dat voertuigen hoger mechanisch worden belast en dat het energieverbruik hoger zal zijn. De energie die wordt bespaard doordat met de zwaartekracht mee omlaag wordt gereden is o.a. door wrijving (snelheidsbeperking!) minder dan de extra energie die nodig is om een trein of auto weer dezelfde afstand omhoog te brengen. Met name wanneer een neerwaartse helling snel wordt gevolgd door een opwaartse wordt daarom wel gesproken over een ‘verloren helling’. Het verticaal tracé wordt minder grillig door o.a. tussen twee hogere delen hoog te blijven (bijvoorbeeld door een brug/viaduct toe te passen) of tussen twee lagere delen laag te blijven (bijvoorbeeld door een ingraving toe te passen).

---

## Normaal Amsterdams Peil <sup>[1]</sup>

De hoogte van het maaiveld en van het tracé wordt in Nederland aangegeven als hoogte ten opzichte van het NAP (Normaal Amsterdams Peil). De hoogtecoördinaat ten opzichte van het NAP is onderdeel van het RD-NAP stelsel, waarmee je dus het verloop van een tracé driedimensionaal kan specificeren.

Het NAP volgt in principe de geoïde, het vlak op gemiddeld zeeniveau waar dezelfde zwaartekrachtspotentialaast heerst. Alle punten op NAP zijn daarmee waterpas met het referentiepunt. De hoogte van het nulpunt, oorspronkelijk gedefinieerd als het gemiddeld hoogwater op het IJ, wijkt echter iets af van het huidige gemiddelde zeeniveau. Voor het gemak wordt het NAP echter vaak gelijkgesteld aan het gemiddeld zeeniveau.

### Peilmerken

Om in het veld hoogtes te kunnen relateren, is in Nederland een netwerk van ongeveer 50 000 peilmerken gemaakt. Peilmerken zijn meestal bronzen boutjes met het opschrift NAP, aangebracht in kaden, muren, bouwwerken of op palen en bovendien 250 ondergrondse peilmerken. Van iedere peilmerk is de hoogte in NAP na te zoeken. Vanaf een peilmerk kan de hoogte worden overgebracht naar het tracé met behulp van een waterpassing.

Als gevolg van bodembewegingen treden er voortdurend veranderingen op. Eens in de 10 jaar bepaalt Rijkswaterstaat met behulp van een nauwkeurigheidswaterpassing opnieuw de hoogte van de meeste peilmerken. De gegevens van de peilmerken worden bekendgemaakt in een NAP-peilmerkenlijst, waarin de gemeten hoogte t.o.v. het NAP-vlak staat aangegeven en de gegevens waar het merk te vinden is.



NAP-niveau aangegeven in het Stadhuis van Amsterdam. <sup>[2]</sup>

### Principe-mogelijkheden hoogteligging

diep (-2)	verdiept (-1)		maaiveld (0)		verhoogd (+1)		hoog (+2)	
tunnel	tunnel	ingraving	open bak	aardebaan	tunnel	aardebaan	viaduct	viaduct

In de tabel hierboven <sup>[3]</sup> zijn een aantal principe-mogelijkheden voor de hoogteligging van verkeersinfrastructuur afgebeeld, inclusief een aantal varianten. In deze tabel zijn vijf categorieën hoogteligging onderscheiden: diep, verdiept, maaiveld, verhoogd en hoog. Verdiept en verhoogd betekent dat het betreffende tracé net voldoende onder of boven maaiveld ligt om een vrije doorgang te garanderen over of onder de betreffende infrastructuur. Diepere trasering onder de grond is hier aangeduid met 'diep', terwijl een hoger trasering dan verhoogd wordt aangeduid met 'hoog'. De relatieve hoogteligging kan ook worden aangegeven met een cijfer; niveau 0 is op maaiveld; +1 is

verhoogd. Ook het begrip 'half verdiept' of 'half verhoogd' wordt wel gebruikt: een beperkte verdieping of verhoging, zodanig dat kruisende infrastructuur niet op maaiveld kan worden getraceerd.

In de bovenstaande tabel zijn bovendien voorbeelden gegeven van verschillende uitvoeringsvarianten, waaronder een tunnel, open bak, ingraving, aardebaan en viaduct. Een bijzondere variant is de tunnel op maaiveld: met name een interessante oplossing wanneer dubbel grondgebruik gewenst is, maar men de kosten van ontgraven van tunnels wil vermijden. Deze oplossing is recent toegepast bij de N14 langs Den Haag en Voorburg/Leidschendam, waar rond en op een tunnel op maaiveld woningen en een park zijn gerealiseerd. Verder worden tunnels in Nederland met name toegepast voor het kruisen van kanalen en rivieren.

In landen met veel reliëf zijn tunnels echter een algemeen verschijnsel in weg- en spoorwegtracés ter vermindering van onaanvaardbare omwegen en hoogteverschillen. In Nederland komen dergelijke tunnels niet voor, maar wel vlak over de grens. Onder het Belgische en Duitse gedeelte van de Vaalserberg bevindt zich namelijk de Gemmenichertunnel van de goederenspoorlijn Aachen – Tongeren (de Montzenroute).

## Kruisingstypen

Vrijwel iedere voorgestelde nieuwe infrastructuurverbinding kent knelpunten. Bij knelpunten kan het bijvoorbeeld gaan om andere infrastructuur die gekruist moet worden: een kanaal, een spoorlijn, een hoogspanningsmast, etc. Als de kruisende infrastructuur op een vergelijkbare hoogte ligt als de basis hoogteligging van het nieuwe tracé, dan zal bekeken moeten worden hoe deze infrastructuur gekruist gaat worden.

## Gelijkvloers of ongelijkvloers

In de eerste plaats is de vraag of een gelijkvloerse kruising mogelijk is, of dat een ongelijkvloerse kruising gewenst is. Gelijkvloerse kruisingen liggen meestal op maaiveld, maar er zijn ook voorbeelden van verdiept of verhoogd liggende gelijkvloerse kruisingen. Een diepe, verdiepte of verhoogde basisligging van de infrastructuur wordt namelijk voornamelijk toegepast om gelijkvloerse kruisingen juist te mijden.

Gelijkvloerse kruisingen komen in verschillende vormen voor, afhankelijk van de aard van de beide kruisende infrastructuren:

- spoorwegovergang (weg – spoor)
- spoorkruising (spoor – spoor)
- zebrapad (weg – voetpad)
- lage brug (rivier – weg)

Aandachtspunten bij gelijkvloerse kruisingen zijn de verkeersafwikkeling en de veiligheid. Bij gelijkvloerse kruisingen is een duidelijk voorrangregime van belang. Bij een spoorwegovergang hebben treinen altijd voorrang, bij een zebrapad de voetgangers en een veerpont moet voorrang verlenen op de overige scheepvaart op een rivier of kanaal. Bij ontbreken van veiligheidsvoorzieningen zoals verkeerslichten of slagbomen kan ook snelheidsbeheersing van belang zijn om de risico's op verkeersongevallen te beperken, bijvoorbeeld het beperken van de snelheid van trams op kruisingen tot maximaal 30 km/uur. Het veiligst is een situatie waar de voorrangverlening fysiek geregeld is, bijvoorbeeld met slagbomen. Een dergelijke kruising wordt ook wel een gelijkvloerse kruising met tijdelijke onderbreking genoemd. Het duidelijkste voorbeeld hiervan is een beweegbare (lage) brug, waarbij het beweegbare deel van het wegdek wordt gekanteld of weggedraaid om ruimte te maken voor kruisend scheepvaartverkeer.

Uit oogpunt van verkeersafwikkeling (en verkeersveiligheid) zal het wenselijk zijn om bij grotere verkeersintensiteiten te kiezen voor ongelijkvloerse kruisingen. Een spoorwegovergang die veel dicht is, is bijvoorbeeld zowel hinderlijk voor het kruisende verkeer als gevaarlijk, aangezien het risico groter wordt dat kruisend verkeer de veiligheidsmaatregelen (gesloten overwegbomen) gaat negeren. Een ongelijkvloerse kruising betekent dat beide infrastructuurlijnen ongehinderd kunnen functioneren. In sommige gevallen zal een ongelijkvloerse kruising echter niet tot voldoende hoogteverschil leiden voor al het kruisende verkeer, bijvoorbeeld



op vaarwegen die gebruikt worden door schepen met verschillende vereiste doorvaarthoogtes. In dat geval kan een ongelijkvloerse kruising met tijdelijke onderbreking worden toegepast: een beweegbare (hoge) brug.

### Wie wijkt uit in welke richting

Indien gekozen wordt voor een ongelijkvloerse kruising is de vraag welke infrastructuur uitwijkt, of dat beide zich een beetje aanpassen. Hierbij zijn verschillen in kosten doorslaggevend (welke oplossing is het minst duur), maar ook de functionaliteit van het verkeer (welke verkeersstroom ondervindt het minste hinder van aanpassing van het verticaal tracé) en de ruimtelijke inpasbaarheid van de toeritten van een brug of tunnel. Het zal duidelijk zijn dat een kanaal niet zal uitwijken bij een kruising, aangezien dit duur is en veel hinder geeft voor het scheepvaartverkeer.

Een gerelateerde vraag is in welke richting het beste kan worden uitgeweken. In veel gevallen wordt gekozen voor opwaarts uitwijken, aangezien de kosten van een brug beduidend lager zijn dan van een tunnel met dezelfde lengte, zeker wanneer het te overwinnen hoogteverschil vergelijkbaar is. In sommige gevallen is echter het te overwinnen hoogteverschil beduidend lager bij de keuze voor een tunnel, bijvoorbeeld wanneer een fiets- of voetpad een autoweg of spoorlijn kruist. Aangezien bij een keuze voor een tunnel dan ook het ruimtebeslag lager is, is begrijpelijk dat binnen de bebouwde kom in een dergelijk geval eerder voor een fietstunnel dan een fietsbrug gekozen wordt. Daarbij weet iedere fietser dat het kleinere hoogteverschil en het voordeel eerst te dalen en dan te stijgen ervoor zorgt dat een fietstunnel veel minder een barrière is dan een fietsbrug in een vergelijkbare situatie. Een bijkomend aspect is tenslotte dat de verharding van snelwegen en de sporen van spoorlijnen meestal meerdere decimeters boven maaiveld liggen, hetgeen de keuze voor een tunnel nog meer voor de hand liggend maakt uit oogpunt van minimalisatie van het te overwinnen hoogteverschil.

Om zonder gedetailleerde kostenberekeningen te kunnen bepalen welke infrastructuur uit kosten oogpunt het beste kan uitwijken in welke richting, zijn een aantal vuistregels beschikbaar:

- lichtere voertuigen en lichtere bovenbouw → lichtere kunstwerken;
- steilere hellingen → kortere toeritten;
- kleiner profiel van vrije ruimte onder → minder hoogteverschil → kortere toeritten;
- kleiner dwarsprofiel → smallere toeritten;
- kleinere horizontale boogstralen → makkelijker haaks kruisen → kortere kunstwerken;
- bestaande infrastructuur uitwijken → extra kosten reconstructie.

Het volgende voorbeeld dient ter toelichting. Bij een kruising van een erftoegangsweg met een snelweg zal de erftoegangsweg meestal uitwijken. De steilere hellingen en het smallere dwarsprofiel maken dat de toeritten korter en smaller zijn, hetgeen minder grondverzet en dus minder kosten betekent dan wanneer de snelweg verticaal zou moeten uitwijken. Bovendien kan een niet-haakse kruisingshoek het makkelijkst haaks gemaakt worden door het horizontale tracé van de erftoegangsweg iets aan te passen. Aangezien een erftoegangsweg en een autosnelweg nauwelijks verschillen qua hoogte van het profiel van vrije ruimte is er geen reden om deze in een tunnel i.p.v. een brug aan te leggen.

Wanneer bepaald is welke infrastructuur uitwijkt, rest nog de vraag in welke richting dit gebeurt: omhoog of om laag. Uit kosten oogpunt zal vaak voor een viaduct worden gekozen, aangezien een tunnel met een bepaalde breedte vele malen duurder is dan een viaduct met vergelijkbare afmetingen. Ook de toeritten van een tunnel (ingraving) zijn beduidend duurder dan de toeritten van een viaduct (talud). Daarbij komt dat bij tunnels vaak een ruimer profiel is vereist om een voldoende zichtafstand te garanderen, om obstakelvrees te vermijden en te zorgen voor voldoende sociale en fysieke veiligheid. Smalle tunnels zijn immers donker, voelen onprettig (met name bij fiets- en voetgangerstunnels) en bieden weinig vluchtruimte bij calamiteiten (met name bij grotere tunnels).

Er zijn echter een aantal redenen om toch tunnels toe te passen. Soms ligt de te kruisen infrastructuur bijvoorbeeld beduidend boven het maaiveld, waardoor de toeritten korter zijn en het te overwinnen hoogteverschil kleiner wanneer gekozen wordt voor een tunnel. Hetzelfde effect treedt op wanneer de hoogte van het profiel van vrije ruimte van de uitwijkende infrastructuur lager is dan van de infrastructuur die niet uitwijkt. Bij het kruisen van een

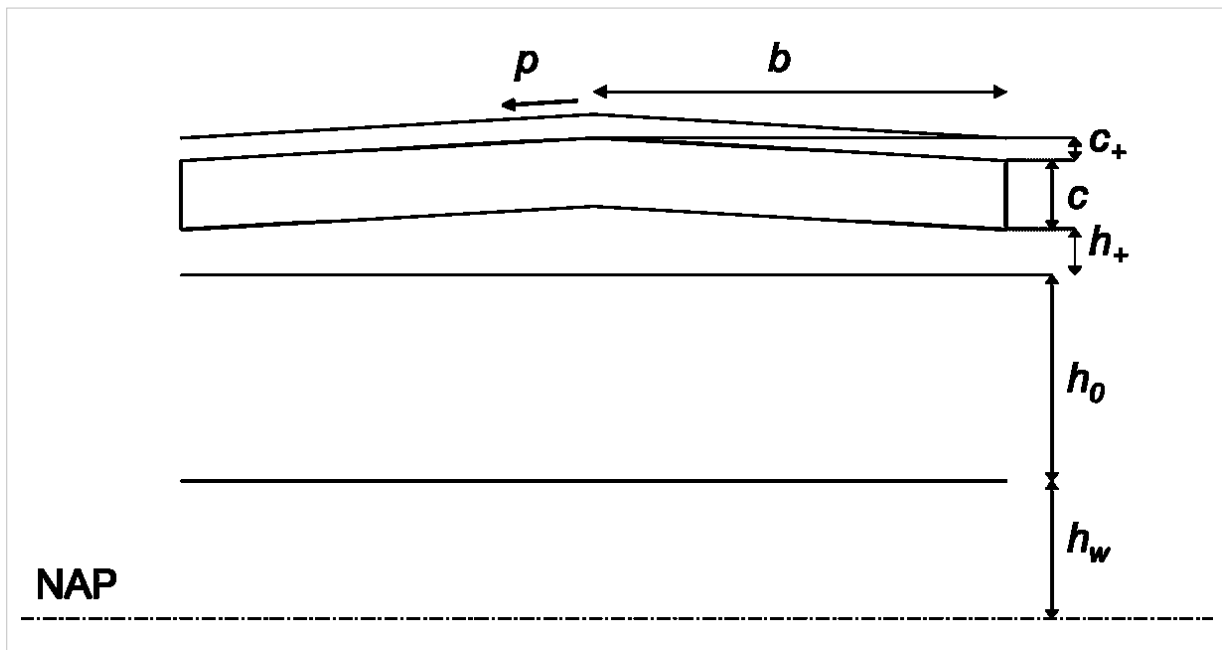
rivier of kanaal speelt hierbij mee dat weliswaar voor een relatief lage brug beweegbare brug kan worden gekozen (vaak de goedkoopste oplossing), maar dat uit oogpunt van het functioneren van de kruisende infrastructuur (weg, spoorlijn) het ongewenst is dat de brug regelmatig moet worden geopend voor kruisend scheepvaartverkeer. Bij (o.a.) fietsers speelt tenslotte ook mee dat een tunnel uit energetisch oogpunt efficiënter is dan een viaduct: eerst kan de zwaartekracht gebruikt worden om vaart te maken, waarna deze gebruikt wordt om het hoogteverschil omhoog weer te overwinnen. Om dezelfde redenen kan voor met name goederentreinen steilere hellingen worden toegepast bij een tunnel (bijvoorbeeld de Willemsspoortunnel) dan bij een brug.

In de praktijk wordt vooral gekozen voor een tunnel als kruisingsvorm wanneer inderdaad het te overwinnen hoogteverschil dan beduidend lager is, en/of wanneer de inpasbaarheid in het (stedelijk) gebied beduidend beter is door de kortere lengtes van de toeritten. Voorbeelden hiervan zijn de spoor- en snelwegtunnels onder grotere kanalen en rivieren, fietstunnels onder spoorlijnen en autosnelwegen en de autotunnels bij centrale stations.

## Dwanghoogtes

Bij ongelijkvloerse kruisingen is vervolgens de vraag op welke (relatieve en absolute) hoogte het tracé kan kruisen. In de eerste plaats zal het minimale hoogteverschil tussen de assen altijd meer dan de minimale vrije hoogte benodigd voor het kruisende verkeer. De volgende aspecten spelen mede een rol:

- de dikte van de constructie van het kunstwerk dat de ongelijkvloerse kruising mogelijk maakt;
- de helling van het onderste tracé;
- de verkanting van het bovenste tracé;
- eventuele ruimte voor correcties van de wegligging, bijvoorbeeld bij overlagingen van asfaltlagen.



Bepaling van dwanghoogte van wegas van autosnelweg (op kunstwerk) ten opzichte van NAP, gegeven de hoogte van de kruisende weg

De bovenstaande figuur illustreert de berekening van de minimum hoogteligging van de hartlijn van een nieuwe autosnelweg die een (vlakke) weg op maaiveld kruist. De zijkant van het viaduct is maatgevend voor de minimum doorrijhoogte, terwijl de wegas van de autosnelweg in het midden ligt. De minimumhoogte van de wegas wordt hier dus berekend door:

- De hoogte  $h_w$  van de as van de onderste weg t.o.v. NAP;
- plus de minimum doorrijhoogte  $h_0$ ;
- plus een marge, o.a. voor latere overlagingen  $h_+$ ;

- plus de constructiehoogte van het kunstwerk  $c$ ;
- plus de constructiehoogte van de bovenbouw van de (spoor)weg  $c_+$
- plus het hoogteverschil tussen zijkant en wegas autosnelweg (afstand wegas - rand kunstwerk  $b$  vermenigvuldigd met het verkantingspercentage  $p$ ).

### Inpasbaarheid van (ongelijkvloerse) kruisingen

Bij de keuze van het type kruising is, naast de hierboven genoemde economische aspecten, de inpasbaarheid van de hellingen een belangrijk aspect. Met name in stedelijk gebied kan het soms lastig zijn de benodigde helling voor een ongelijkvloerse kruising in te passen binnen de bestaande stedelijke structuur. Soms zal voor een bochtig horizontaal tracé worden gekozen om toch de benodigde hellinglengte in te kunnen passen in een vrij klein gebied. Bij verschillen in hoogte in basisligging van het tracé kan juist een gelijkvloerse kruising niet inpasbaar zijn.

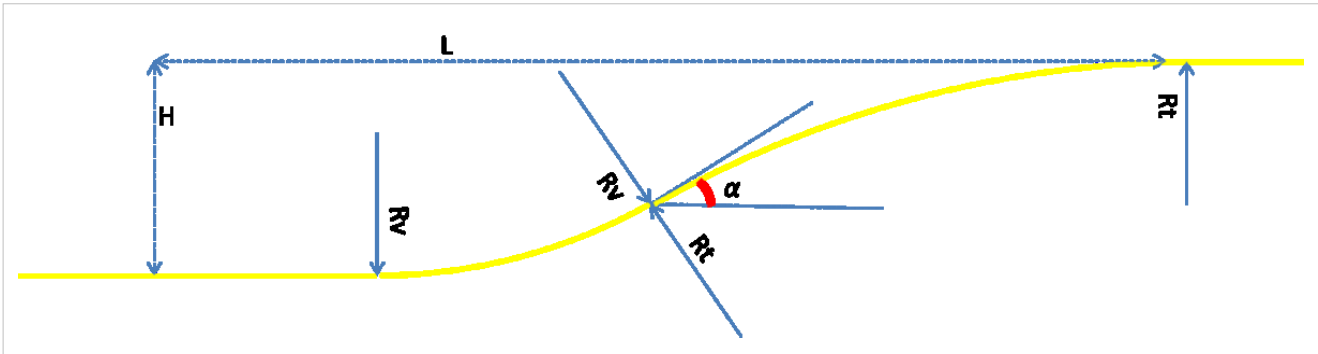
De hoogteverschillen in het verticaal tracé kunnen zowel worden bepaald door dwanghoogtes van kruisende infrastructuur als door variaties in de basishoogteligging en variaties van het maaiveld zelf. Daarbij is het vaak de vraag of het gegeven een horizontaal tracé mogelijk is om een bepaald hoogteverschil te overbruggen.

Om bij dwangpunten hoogteverschillen te overwinnen, gegeven een bij benadering vlak maaiveld, zijn globaal twee typen oplossingen toe te passen:

- overbrugging hoogteverschil met een helling (plus top- en voetboog)
- overbrugging hoogteverschil met enkel een top- en een voetboog

Gegeven een maximaal hellingspercentage en stralen van top- en voetbogen is vrij eenvoudig de benodigde hellinglengte te berekenen.

### Overbrugging van een hoogteverschil met enkel top- en voetboog



Overbrugging van hoogteverschil met enkel een top- en voetboog.

Bovenstaande figuur illustreert de relatie tussen hoogteverschil, de gekozen boogstralen en het maximum hellingpercentage bij een overbrugging van een hoogteverschil met een voetboog, direct gevolgd door een topboog. Uitgangspunt is dat het tracé voor en na de hoogteoverbrugging vlak is.

Op basis van de bovenstaande figuur kun je afleiden dat de totale lengte van de helling  $L$  gelijk is aan:

$$L = \sqrt{2 \cdot H \cdot \sum R - H^2} \approx \sqrt{2 \cdot H \cdot \sum R}$$

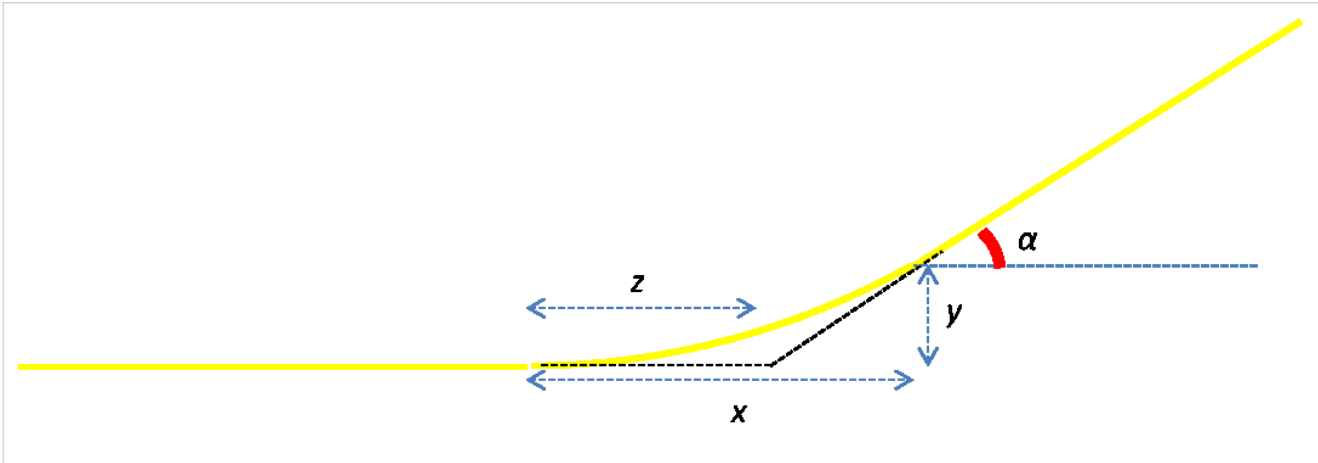
waarbij:

- $\sum R = R_v + R_t$ : de som van de straal van de voetboog  $R_v$  en de straal van de topboog  $R_t$  in meter;
- $H$ : het te overbruggen hoogteverschil in meter.

Het hellingpercentage  $i$  kan daarbij als volgt worden berekend:  $i = \frac{\sqrt{2H \sum R - H^2}}{\sum R - H} \approx \sqrt{\frac{2H}{\sum R}} = \frac{2H}{L}$

## Overbrugging van een hoogteverschil met een helling

Een probleem bij de bovenstaande oplossing kan zijn dat vanaf een zeker hoogteverschil het maximum hellingpercentage ontoelaatbaar wordt. Een oplossing kan dan zijn de boogstralen te vergroten, maar dit leidt tot een sterke toename van de totale hellinglengte. Om de hellinglengte zo kort mogelijk te houden, is een alternatief om een helling toe te passen tussen de voet- en de topboog.



Uit het lengteprofiel is de 'extra' lengte van een voetboog af te leiden ten opzichte van een situatie met enkel een helling

De hellinglengte is in dit geval gelijk aan de te overbruggen hoogteverschil gedeeld door het hellingpercentage, vermeerderd met de 'extra' hellinglengte  $z$  (zie bovenstaande figuur). Uit de bovenstaande figuur kan de volgende formule worden afgeleid voor de extra hellinglengte door voetboog  $z$ :

$$z = R \tan\left(\frac{1}{2}\alpha\right) \approx \frac{1}{2} \cdot i \cdot R$$

Hierbij is  $i$  het hellingpercentage, uitgedrukt als fractie (dus 5% wordt 0,05).

Uiteraard kunnen we dezelfde formule toegepassen voor de extra hellinglengte bij de topboog.

Verder geldt voor de lengte  $x$  van de voetboog:

$$x = R \tan \alpha = i \cdot R$$

Het hoogteverschil  $y$  overbrugd door de voetboog kan worden berekend als:

$$y = R - R \cos \alpha$$

---

### Voetnoten:

- [1] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma *Normaal Amsterdams Peil* op nl.wikipedia. Versie: zie ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Normaal\\_Amsterdams\\_Peil&oldid=32707804](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Normaal_Amsterdams_Peil&oldid=32707804)); auteurs: zie ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Normaal\\_Amsterdams\\_Peil&action=history](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Normaal_Amsterdams_Peil&action=history)).
  - [2] auteur: M.M. Minderhoud
  - [3] Deze tabel is een bewerking van een iets uitgebreidere versie uit het dictaat *Infrastructuurplanning* van E. de Boer en F.M. Sanders, Technische Universiteit Delft.
-

---

## 9. Dimensionering van verkeersinfrastructuur

---

### Infrastructuurplanning/Dimensionering

---

Gegeven het horizontaal en verticaal tracé van een alternatief, zijn er nog verschillende mogelijkheden om de nieuwe verbinding te dimensioneren. Zo kan de hele verbinding 2\*2-strooks worden uitgevoerd, maar wellicht volstaat een 2\*1-strooks uitvoering voor het rustigste gedeelte van het tracé. Ook kan voor verschillende knooppunttypen - met een verschillende capaciteit en comfort - worden gekozen. Bij de aansluiting met de A9 zou bijvoorbeeld gekozen kunnen worden voor een halfklaverbladaansluiting, maar dan zou het stroomwegkarakter worden onderbroken. Een alternatief is bijvoorbeeld een trompetknooppunt, waardoor er geen gelijkvloers kruisend verkeer meer is.

#### Soorten verkeersnetwerkelementen

Een tracé kan worden opgebouwd uit verkeersnetwerkelementen met een verschillende functie. Per definitie betekent het begrip 'netwerk' al dat we knooppunten en schakels kunnen onderscheiden. In een verkeersnetwerk kunnen we echter op functionele gronden meer soorten verkeersnetwerkelementen onderscheiden:

- schakels
- kruisingen
- verkeersknooppunten
- buffers
- parkeervoorzieningen
- stations (vervoersknooppunten)

Daarbij kunnen we verschil maken tussen de 'vorm' van de infrastructuur (doorgaand spoor, wissel, kruising) en de functie daarvan. Een stuk infrastructuur kan meerdere functies hebben, zoals een perronspoor op een spoorwegstation dat zowel wordt gebruikt voor doorgaand snelverkeer (schakel), voor stationsstops (station) en als stallingsplaats voor treinen (parkeervoorziening).

#### Capaciteit van verkeersnetwerkelementen

De capaciteit van de verkeersinfrastructuur hangt nauw samen met de functie van verkeersnetwerkelementen. Het begrip capaciteit moet echter in samenhang worden gezien met de functie van een verkeersnetwerkelement. Meestal wordt onder capaciteit de maximale intensiteit van het verkeer verstaan, maar bij een opstelstrook of een parkeerplaats is het logischer om de capaciteit te definiëren als het aantal voertuigen dat er kan wachten of parkeren.

#### Dimensionering van verkeersnetwerkelementen

De dimensionering hangt nauw samen met de capaciteit. Het aantal rijstroken op een weg, sporen van een spoorlijn etc. is bepalend voor de capaciteit die een weg of spoorlijn kan verwerken. In de meeste gevallen zal de dimensionering van deze verkeersnetwerkelementen worden gebaseerd op schattingen van de verkeersvraag, zonder dat er alternatieven qua dimensionering worden meegenomen.

Het is echter in een aantal situaties wel degelijk zinvol om alternatieven te onderscheiden qua dimensionering. Bij de capaciteitsuitbreiding van een tweesporig baanvak zouden bijvoorbeeld de alternatieven kunnen zijn:

- korte inhaalsporen op een station halverwege
-

- langere inhaalsporen over de lengte van twee stations
- integrale viersporigheid

Deze alternatieven leiden niet alleen tot een verschillende capaciteit, maar ook tot een verschillend afwikkelingsniveau. Zo kunnen vertragingen veel flexibeler worden opgevangen bij integrale viersporigheid als bij korte inhaalsporen, ook wanneer de eerste oplossing voldoende capaciteit biedt.

In dit hoofdstuk gaan we verder in op de vraag welke alternatieven er zijn voor de dimensionering en vormgeving van verschillende soorten verkeersnetwerkelementen.

## Schakels

Schakels hebben als primaire functie het faciliteren van voertuigverplaatsingen tussen de verschillende knooppunten van het netwerk. Voorbeelden hiervan zijn wegvakken en luchtvaartcorridors. De meeste verkeersinfrastructuur heeft een schakelfunctie: het mogelijk maken om van de ene naar de andere plaats te rijden.

De capaciteit van schakels wordt voornamelijk bepaald door de minimum volgtijd tussen de voertuigen. Belangrijk verschil tussen weg- en spoorwegverkeer is hierbij dat bij wegverkeer bestuurders zelf hun volgafstand kiezen en dat bij meerdere rijstroken er 'vrij' ingehaald kan worden. Bij spoorwegverkeer wordt de minimum volgtijd bepaald door het seinstelsel en zijn mogelijkheden tot inhalen sterk beperkt door de infrastructuur.

## Wegverkeer <sup>[1]</sup>

De capaciteit van een weg hangt af van het aantal rijstroken per richting. Een vuistregel voor autosnelwegen is dat een rijstrook een capaciteit heeft van ongeveer 2200 voertuigen per uur. Dat houdt in dat er ongeveer elke 1,63 seconden een voertuig passeert. Deze volgtijd is geen constante, en hangt af van het bestuurdersgedrag, weersomstandigheden, wegcondities, etc. Zo is de capaciteit van een autosnelweg bijvoorbeeld lager ter plaatse van hellingen, wegversmallingen e.d.

De capaciteit hangt ook samen met de verkeerssamenstelling. Zo is de capaciteit in motorvoertuigen per uur lager als het percentage vrachtauto's (ten opzichte van personenauto's) groter is. Om vrachtwagens en auto's bij elkaar op te tellen, worden 'personenauto-equivalenten' (p.a.e.) toegepast. Zo telt een vrachtwagen als 1,5 à 3 p.a.e. op autosnelwegen bij capaciteitssnelheden.

De capaciteit van wegen kan worden vergroot door het aantal rijstroken uit te breiden. Een alternatief is om alleen plaatselijk inhaal mogelijkheden te bieden. In dat geval wordt niet zozeer de (maximale) capaciteit vergroot, maar wel het afwikkelingsniveau. Immers, snellere auto's kunnen langzamere vrachtwagens nu lokaal inhalen.

## Spoorverkeer

Bij het huidige blokstelsel is de capaciteit van een hoofdspoorlijn 15 tot 20 treinen per richting per uur. Metrolijnen halen capaciteiten tot 30 treinen per uur, terwijl de capaciteit van een tramlijn nog hoger kan liggen door het ontbreken van een blokbeveiliging. Bij conventionele blokstelsels is de minimale volgtijd ruwweg twee blok lengtes, wat gelijk staat aan twee keer de maximale remweg.

In de praktijk is de capaciteit van spoorlijnen vaak lager door heterogeen gebruik. Als een dubbelsporig baanvak wordt bereden door stoptreinen met veel haltes, goederentreinen en intercity's, zonder dat er inhaal mogelijkheden zijn, kan de capaciteit dalen tot enkele treinen per uur. De capaciteit van enkelsporige baanvakken is nog lager, zeker bij alternerend gebruik door treinen uit tegenovergestelde richtingen. In dit geval is de dichtheid van kruisingsmogelijkheden bepalend.

De capaciteit van baanvakken kan worden vergroot door het aantal sporen uit te breiden. Indien de capaciteit wordt beperkt door de heterogeniteit van het treinverkeer, kan het voldoende zijn om alleen plaatselijk inhaal sporen aan te leggen, waardoor snellere intercity's bijvoorbeeld langzamere sprinters kunnen inhalen.

## Kruisingen

Kruisingen en knooppunten zijn beide punten in het verkeersnetwerk waar meerdere schakels elkaar ontmoeten. Het belangrijkste verschil is of er sprake is van uitwisseling van verkeer tussen twee kruisende schakels.

Een kruising is een infrastrukturelement waar de ene verkeersstroom de andere (gelijkvloers) kan kruisen. Op een kruising kan verkeer niet wisselen tussen de ene en de andere schakel. Een spoorwegkruising is een voorbeeld van een kruising binnen hetzelfde netwerk. Kruisingen komen echter ook voor tussen schakels van verschillende netwerken, bijvoorbeeld spoorwegovergangen en beweegbare bruggen.

De (gelijkvloerse of ongelijkvloerse) kruising is reeds aan bod gekomen in het hoofdstuk over het verticaal tracé. Bij volledig ongelijkvloerse kruisingen, zoals niet-beweegbare bruggen en viaducten, is er geen sprake van onderlinge beïnvloeding en is er dus geen sprake van beperking van de capaciteit. Bij gelijkvloerse kruisingen wordt de capaciteit, net als bij kruispunten (zie hieronder) in sterke mate bepaald door het voorrangregime. Over het algemeen kan de capaciteit van drukke kruisingen worden geoptimaliseerd door verkeersregelingen, waarbij het gunstig is om niet te vaak van 'richting' te wisselen. Hierdoor wordt bespaard op het 'ontruimen' van de kruising bij het wisselen van richting. Zo is de capaciteit van een beweegbare wegbrug over een kanaal voor het wegverkeer groter als meerdere schepen tegelijk de brug passeren, dan wanneer voor ieder schip afzonderlijk de brug wordt geopend - zonder dat dit ten koste gaat van de beschikbare capaciteit voor het scheepvaartverkeer. Voor de wachttijden voor het scheepvaartverkeer is dit echter wel weer nadelig - dit ten gunste van de wachttijden voor het wegverkeer. Voor het overige wordt de capaciteit van kruisingen geheel bepaald door de capaciteit van de betreffende schakels.

## Knooppunten

Een verbinding tussen schakels waar - in tegenstelling tot een kruising - wel uitwisseling van verkeer mogelijk is, noemen we een verkeersknooppunt. Verkeersknooppunten verbinden verschillende schakels, bijvoorbeeld drie of vier snelwegschakels bij een snelwegknooppunt. Een autosnelwegknooppunt bestaat overigens weer uit verschillende deelschakels en knooppunten als we deze op rijbaanniveau bestuderen. Ook een wissel in een spoorbaan kan worden opgevat als een verkeersknooppunt. Zelfs een sluis kan worden opgevat als een verkeersknooppunt, hoewel deze slechts sequentiële schakels met elkaar verbindt.

Hierbij onderscheiden we allereerst elementaire en samengestelde knooppunten. Veel gebruikte elementaire knooppuntvormen zijn *in- en uitvoeringen* en *kruispunten*. Daarnaast kennen we ook elementaire knooppunten ter overbrugging van hoogteverschillen als liften en sluizen en de draaischijf als bijzondere variatie op het thema 'kruispunt'.

Met behulp van kruispunten, in- en uitvoeringen en (on)gelijkvloerse kruisingen kunnen verschillende soorten samengestelde knooppunten worden gecreëerd. Afhankelijk van de vraag of kruisende verkeersstromen gelijkvloers of ongelijkvloers worden afgewikkeld, onderscheiden we daarbij:

- gelijkvloers knooppunt;
- gedeeltelijk ongelijkvloers knooppunt;
- volledig ongelijkvloers knooppunt.

Hieronder gaan we eerst nader in op het verschil tussen in- en uitvoeringen en kruispunten en de mogelijkheden tot capaciteitsvergroting bij deze elementaire knooppuntvormen. Daarna gaan we nader in op de mogelijkheden om, met name door de drukste of zelfs alle kruisende verkeersstromen ongelijkvloers af te wikkelen, de capaciteit van (samengestelde) knooppunten te vergroten. Bij gelijkvloerse kruisingen is het daarbij ook van belang hoe efficiënt het kruisingsproces is geregeld en hoeveel verkeer tegelijkertijd het kruispunt kan passeren. Maar ook de verdere vormgeving beïnvloedt de capaciteit, omdat dit medebepalend is voor hoe efficiënt het verkeer verwerkt kan worden.

## In- en uitvoegingen

Bij stroomwegen in het wegverkeer, maar ook bij knooppunten voor het spoorwegverkeer, worden knooppunten opgebouwd met behulp van in- en uitvoegingen. Bij geleide verkeerssystemen, zoals spoorwegen en trambanen, zijn in- en uitvoegpunten beter bekend als wissels.

De capaciteit van in- en uitvoegstroken hangt vooral af van de lengte ervan. Met name kortere invoegstroken kunnen een capaciteitsreducerend effect hebben, doordat verkeer met onvoldoende snelheid de hoofdrijbaan oprijdt. Voor relatief dure kunstwerken kan het uit kostentechnisch oogpunt echter aantrekkelijk zijn om kortere toeritten toe te passen, denk bijvoorbeeld aan aansluitingen vlak voor tunnels. Voor weefvakken (een samengestelde in- en uitvoegstrook) geldt al helemaal dat de capaciteit sterk samenhangt met de lengte ervan. Pas bij lengtes ruim boven de 1000 meter is er geen capaciteitsverhogend effect meer meetbaar van verdere verlenging van de weefvakken.

Fundamenteel wordt de capaciteit van een wissel bepaald door de tijd die een trein nodig heeft om het wissel te passeren en de tijd benodigd om het wissel om te zetten en vrij te geven. In de praktijk zijn echter vrijwel alle hoofd- en metrospoorwegen geregeld middels een blokstelsel. Daarbij zijn wissels vaak onderdeel van een complexer gelijkvloers knooppunt (wisselstraat, zie hieronder), waardoor een trein eerst het gehele knooppunt vrij moet hebben gemaakt, voordat een kruisend treinpad vrij gegeven kan worden.

## Kruispunten



Het kruispunt van het Amsterdam-Rijnkanaal met de rivier de Lek. In verband met de sterke stroming op de Lek zijn verbredingen toegepast bij de mondingen van het kanaal.



Een Engels wissel heeft de zelfde functionaliteiten als een kruispunt: het maakt zowel het kruisen als het afslaan van het verkeer mogelijk.

Een kruispunt is een verkeersnetwerkelement dat zowel het kruisen van verkeersstromen als het uitwisselen van verkeer tussen schakels mogelijk maakt. De meest voorkomende types zijn drie- en viersprongen. Deze komen onder andere voor in waterwegen, fietspaden en wegen voor gemengd verkeer.

Het equivalent van een kruispunt in het spoorverkeer is een Engels wissel. Een Engels wissel is een kruising en wissel in één en wordt vooral toegepast in wisselstraten nabij spoorwegstations. Een Engels wissel maakt alleen uitwisseling in de lengterichting van het wissel mogelijk, uiteraard niet over de scherpe hoeken.

De capaciteit van gelijkvloerse kruispunten hangt sterk samen met de dimensionering (het aantal voertuigen dat tegelijkertijd het kruisingsvlak kan passeren) en de regeling van de kruising. Daarbij is het niet mogelijk om 'de capaciteit' te bepalen voor een gelijkvloers kruispunt, aangezien deze mede afhangt van de verdeling van de verkeersintensiteiten per richting.



De capaciteit van kruispunten kan tot op zekere hoogte worden vergroot door het kruisingsvlak te vergroten (meer stroken per richting). In de praktijk gaat dit vooral op voor kruispunten met verkeersregelinstanties. Als er bijvoorbeeld drie stroken per rijrichting beschikbaar zijn over het kruisingsvlak voor rechtdoorgaand verkeer, kan er per groenfase van bijvoorbeeld 40 seconden meer verkeer worden verwerkt dan bij slechts twee of één rijstrook per rijrichting. Echter, dit werkt alleen als de extra rijstroken voldoende lang na de kruising worden doorgezet, anders blijven de extra rijstroken vaak onderbenut.

### **Gelijkvloerse knooppunten**

De eenvoudigste knooppunten zijn gelijkvloerse knooppunten. Bij een gelijkvloers knooppunt vindt zowel het kruisen als het uitwisselen van verkeer tussen schakels plaats op hetzelfde niveau.

Van de gelijkvloerse knooppunten is het kruispunt de (eerder in dit hoofdstuk reeds geïntroduceerde) basisvorm. Met een combinatie van een gelijkvloerse kruising met in- en uitvoeringen en verbindingbogen kun je echter ook uitgebreidere gelijkvloerse knooppunten bouwen. Zo worden knooppunten tussen trambanen vaak vormgegeven met gelijkvloerse kruisingen in combinatie met verbindingbogen voor rechts- en linksafslaand verkeer ook een soort 'kruispunt' maken voor geleid verkeer.

### **Rotondes en verkeerspleinen**

Je kunt ook gelijkvloerse knooppunten maken met alleen in- en uitvoeringen: rotondes en verkeerspleinen. Het belangrijkste verschil tussen een kruispunt en een *rotonde* of *verkeersplein* is dat op een rotonde of verkeersplein er geen kruisende verkeersstromen meer voorkomen, maar alleen in- en uitvoegend verkeer. In tegenstelling tot rotondes worden verkeerspleinen, grote meerstrooksrotondes met voorrang van rechts of geregeld met verkeersregelinstanties, in nieuwe situaties nog maar weinig toegepast. Qua doorstroming is een rotonde een efficiëntere oplossing dan een gewoon kruispunt (zonder verkeersregeling). De capaciteit van rotondes kan het beste worden gedefinieerd als de conflictbelasting in p.a.e. (personenautoequivalent) per tak van de rotonde. Deze varieert van ongeveer 1500 pae/h voor een enkelstrookstrotonde of een tweestrooksrotonde met enkele toe- of afritten tot 2400 pae/h voor een tweestrooks-rotonde met dubbele toe- en afritten (CROW, 1998).

## Wisselstraten



Wisselstraat aan de oostzijde van Amsterdam Centraal.

Een voorbeeld van een relatief complexe gelijkvloerse knooppuntvorm, die wordt toegepast in het spoorwegverkeer, is de wisselstraat. Een *wisselstraat* is een type knooppunt dat veel voorkomt bij grote spoorwegstations en rangeerterreinen. Een wisselstraat is een gelijkvloers knooppunt dat is opgebouwd uit wissels en engelse wissels. Een wisselstraat maakt het, wanneer deze volledig is uitgebouwd, mogelijk om vanaf de vrije baan (of baanvakken wanneer meerdere spoorlijnen aantakken) alle perron- of rangeersporen te bereiken. De capaciteit van een wisselstraat wordt in belangrijke mate bepaald door het gebruik. Indien er nauwelijks kruisende treinpaden zijn, kunnen verschillende treinen (vrijwel) tegelijkertijd de wisselstraat bereiden. Een trein die de gehele wisselstraat moet oversteken, blokkeert echter alle andere mogelijke treinpaden. Pas als de wisselstraat gepasseerd is en het nieuwe pad ingesteld, kan dan de volgende trein de wisselstraat passeren.

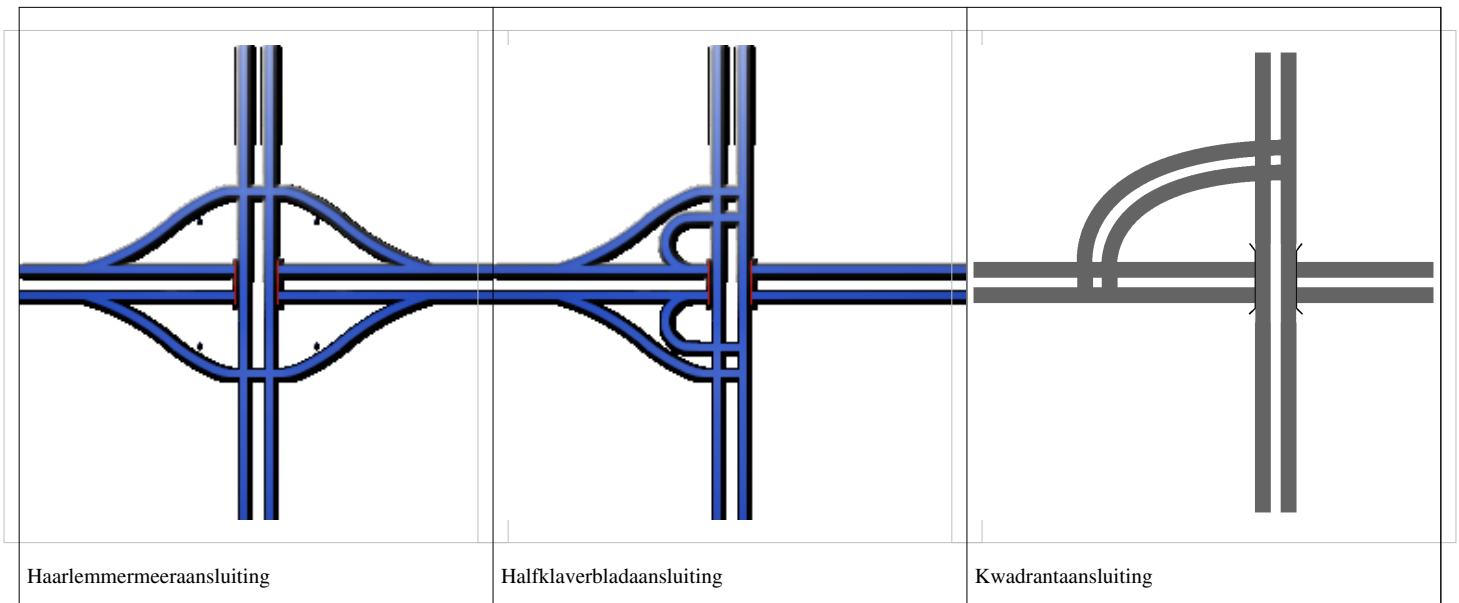
## Verkeersregelingen

Belangrijk onderscheid bij kruispunten in het (weg)verkeer is tussen kruispunten met en zonder verkeersregeling. In het wegverkeer hebben gelijkwaardige kruispunten de laagste capaciteit. Bij drukte kan er relatief veel tijd en daarmee capaciteit verloren gaan bij het oplossen van voorrangskonflikten. Bij voorrangskruispunten is de capaciteit beschikbaar voor het verkeer in de hoofdrichting vrijwel even groot als op een schakel zonder kruisend verkeer. Voor overstekend en invoegend verkeer wordt de beschikbare capaciteit echter sterk beperkt door de beschikbare hiaten in de hoofdstroom. De grootste capaciteit kan echter worden bereikt door het toepassen van verkeersregelingen. In het spoorverkeer wordt het verkeer op gelijkvloerse kruispunten per definitie geregeld door de treinbeveiliging met lichtseinen. Op luchthavens en drukke kruispunten van scheepvaartverkeer assisteert de verkeersleiding de gezagvoerders om een veilig en efficiënt kruisingsproces te waarborgen.

In het wegverkeer worden verkeersregelininstallaties bij voorkeur alleen toegepast als een rotonde onvoldoende capaciteit heeft of niet inpasbaar is, dan wel als alternatief voor een voorrangskruispunt of ongeregelde oversteekplaats voor fietsers of voetgangers. Belangrijk nadeel van verkeersregelininstallaties is namelijk het tijdsverlies door wachten bij lage intensiteiten hoger is dan bij kruispuntvormen met een voorrangregeling. Daarnaast is het een relatief dure oplossing.

**Gedeeltelijk ongelijkvloerse knooppunten**

Om de capaciteit van wisselstraten en aansluitingen in het spoorwegnet te vergroten, worden vaak fly-overs en dive-unders gebouwd om de belangrijkste kruisende treinpaden ongelijkvloers te kunnen afwikkelen. Met name bij een aantal centrale stations in Nederland zijn hierdoor gedeeltelijk ongelijkvloerse knooppunten ontstaan. Voorbeelden hiervan zijn de stations Utrecht Centraal (noordzijde) en Rotterdam Centraal (westzijde).



Gedeeltelijk ongelijkvloerse knooppunten zijn alle knooppunten waarin een ongelijkvloerse kruising is opgenomen, waar waarbij ook nog steeds gelijkvloerse kruispuntoplossingen zijn opgenomen. In het wegverkeer komt dit vooral voor bij aansluitingen van autosnelwegen met het onderliggend wegennet. Maar ook in spoorwegnetten komen dergelijke knooppunten veelvuldig voor, met name waar de capaciteit van een overigens gelijkvloers knooppunt is vergroot door het toevoegen van één of meer fly-overs of dive-unders.

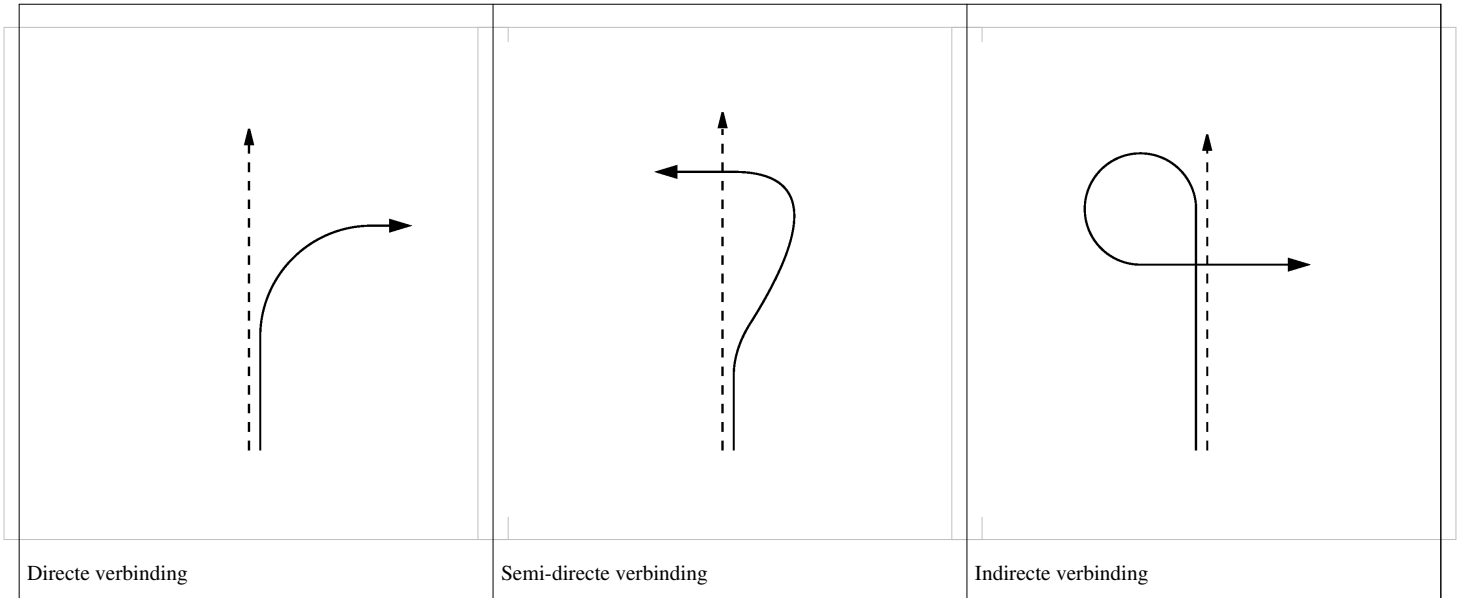
Een voorbeeld van een type gedeeltelijk ongelijkvloers knooppunt dat veel wordt toegepast in het wegverkeer is de aansluiting. een aansluiting is een knooppuntvorm waarbij een stroomweg (autoweg of autosnelweg) ongelijkvloers een secundaire weg kruist, maar waarbij de secundaire weg zelf wordt onderbroken door een gelijkvloerse knooppuntvorm: een kruispunt of rotonde. De meest voorkomende vormen zijn de Haarlemmermeeraansluiting en de Halfklaverbladaansluiting.

Minder toegepast in wegennetten is de zogenaamde kwadrantaansluiting. Hierbij worden de kruisende hoofdrichtingen ongelijkvloers afgewikkeld; het afslaande verkeer blijft gelijkvloers kruisen met de rechtdoorgaande richtingen. De naam 'kwadrantaansluiting' is waarschijnlijk gekozen omdat slechts één kwadrant van het 'vierkant' een verbinding geeft tussen de hoofdrichtingen.

Een variant van de kwadrantaansluiting, hoewel niet onder deze naam, wordt toegepast om (ongelijkvloers) kruisende spoorlijnen onderling te verbinden. Door één verbindingsboog aan te leggen, zijn door middel van kopmaken in principe alle afslaande bewegingen mogelijk.

**Ongelijkvloerse knooppunten <sup>[2]</sup>**

Een volledig ongelijkvloers knooppunt is een knooppunt waarin geen gelijkvloerse kruispunten en kruisingen voorkomen (of rotondes), maar waar uitwisseling van verkeer enkel plaatsvindt door in- en uitvoegen. In sommige typen ongelijkvloerse knooppunten komen wel weefvakken voor. Wevend verkeer (in- en uitvoegend verkeer op een relatief kort wegvak) is echter nadelig voor de capaciteit van een knooppunt.



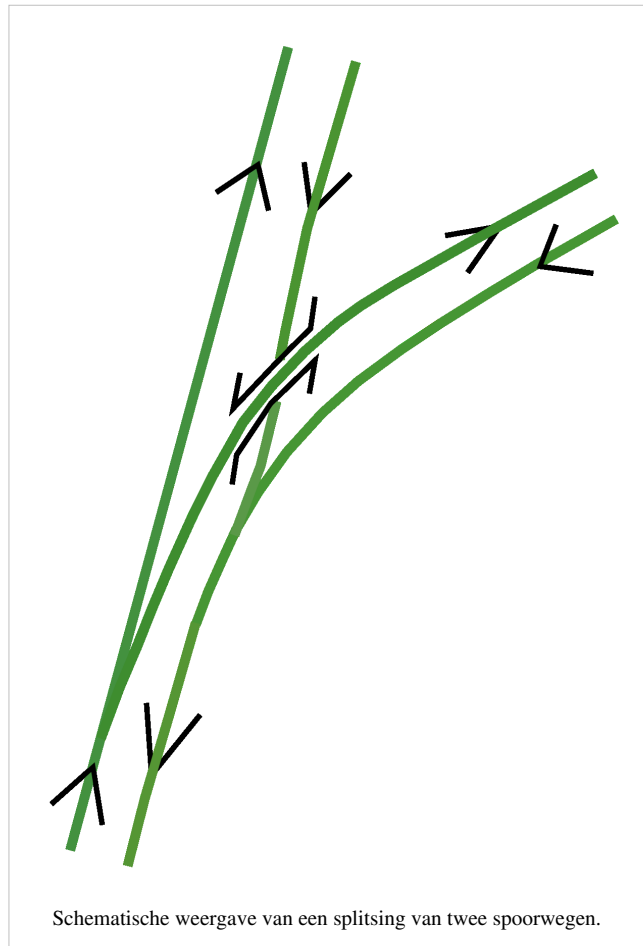
Het comfort en in mindere mate de capaciteit dat een knooppunt biedt voor het verkeer dat wordt uitgewisseld tussen schakels, wordt in belangrijke mate bepaald door de vormgeving van de verbindingbogen. Hierbij onderscheiden we directe, semi-directe en indirecte verbindingbogen.

Niet alle knooppunten zijn volledig. Onvolledigheid in de context van verkeersknooppunten houdt in dat voor slechts een deel van de theoretisch mogelijke relaties ook een verbinding wordt aangeboden. Een type volledig ongelijkvloers knooppunt dat per definitie onvolledig is, is de ongelijkvloerse *splitsing*. Voorbeelden hiervan zijn knooppunt Beverwijk waar de A22 zich afsplitst van de A9 en de ongelijkvloerse aansluiting bij Zaandam van spoorlijn Zaandam-Enkhuizen op de spoorlijn Amsterdam-Den Helder.

## Buffers en parkeervoorzieningen

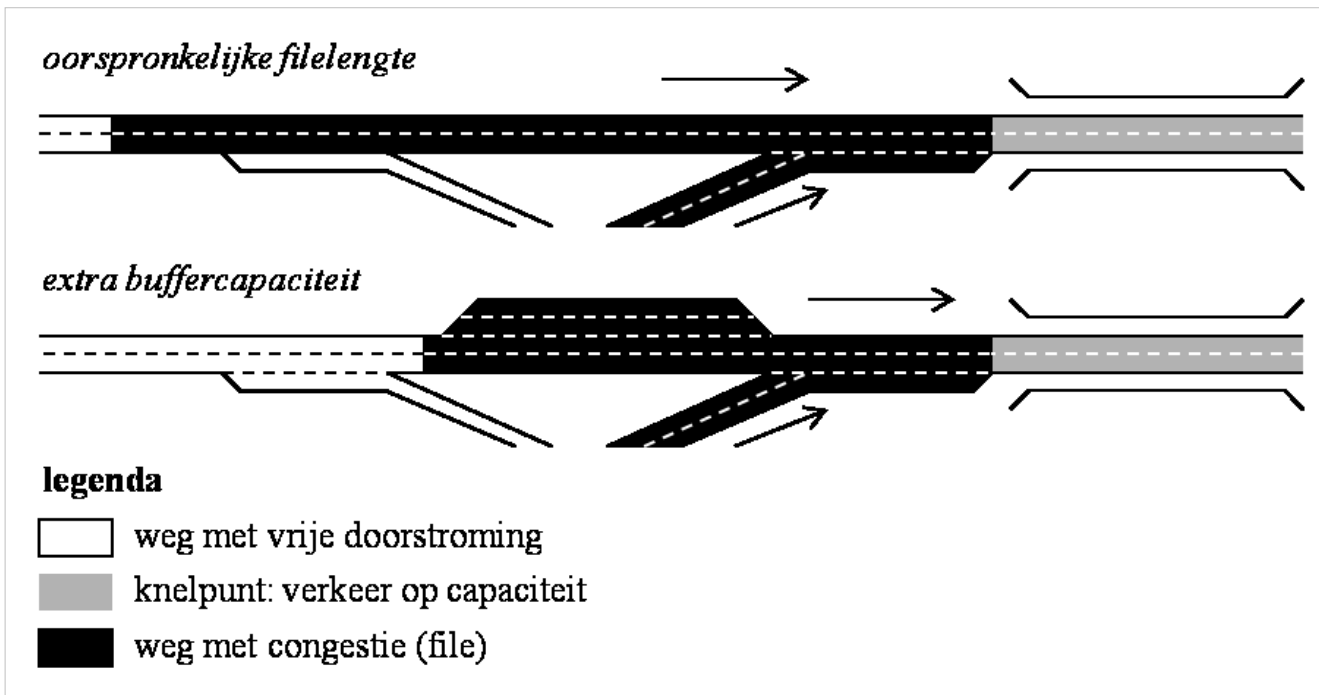
Buffers zijn schakels in een verkeersnetwerk waar niet de stroomfunctie centraal staat, maar waar voertuigen kunnen wachten totdat ze verder kunnen gaan. Voertuigen kunnen stilstaand bufferen, maar ook rijdend – zoals vaak in files op snelwegen het geval is. Vliegtuigen kunnen in de lucht zelfs alleen met een bepaalde snelheid bufferen en hiervoor zijn dan ook vaste delen van het luchtruim gereserveerd waar wachtende vliegtuigen kunnen cirkelen (Nolan, 1994).

Parkeervoorzieningen zijn nodig om voertuigen die op een bepaald moment niet gebruikt worden te plaatsen zonder dat zij het bewegende verkeer hinderen. Parkeervoorzieningen bevinden zich vaak nabij vervoersknooppunten, zoals de opstelplaatsen voor treinen nabij stations. De capaciteit ervan kan worden gelijkgesteld aan het aantal beschikbare plaatsen. Enige complicerende factor hierbij is wanneer dezelfde plaats gebruikt kan worden door één groot vervoermiddel of twee kleine vervoermiddelen (bijvoorbeeld één lange trein of twee korte treinen).



Schematische weergave van een splitsing van twee spoorwegen.

## Capaciteit van buffers en parkeervoorzieningen



Afhankelijk van de buffercapaciteit van de hoofdrijbaan kunnen files al dan niet bovenstrooms verkeer hinderen dat het eigenlijke knelpunt niet hoeft te passeren (bron: Koolstra, 2005).

Bufferen vindt vaak plaats op schakels die normaliter gewoon een stroomfunctie hebben (bijvoorbeeld files op autosnelwegen), maar waar regelmatig wordt gebufferd is het wenselijk om de inrichting van de verkeersinfrastructuur op deze functie in te richten. Voorbeeld hiervan is het dimensioneren van opstelvakken voor verkeerslichten op de hoeveelheid wachtend verkeer. Het is wenselijk om te voorkómen dat wachtend verkeer te ver stroomopwaarts komt te staan. Ook bij autosnelwegen is wel voorgesteld om op plekken waar vaak files staan het aantal rijstroken uit te breiden, waardoor de files korter worden – het tijdverlies voor het doorgaand verkeer blijft gelijk (zie figuur hierboven).

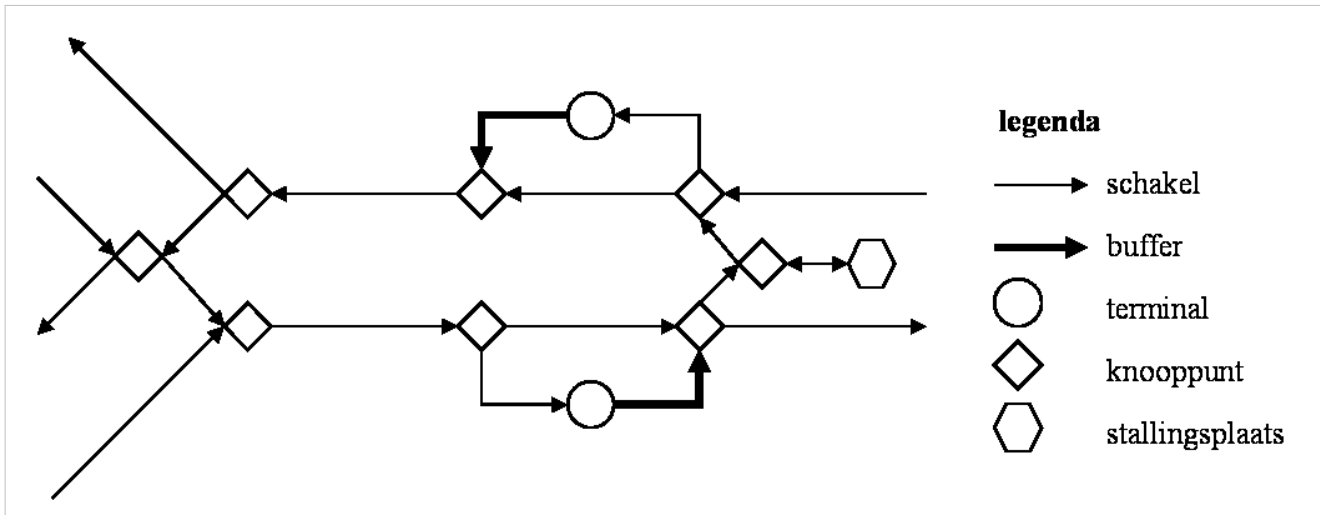
## Stations

Stations zijn tenslotte de verbinding tussen verkeers- en vervoernetwerken. Op een station vindt het in- en uitstappen van passagiers en het laden en lossen van vracht plaats. Het zijn knooppunten van vervoernetwerken, maar zijn ook duidelijk eigen elementen in een verkeersnetwerk. Het kenmerkende verkeersproces op een station is dat voertuigen er stoppen om het in- en uitstappen c.q. laden en lossen mogelijk te maken. Voorbeelden van stations zijn spoorwegstations, bushaltes, havenkades en luchthaventerminals.

## Capaciteit van stations

De capaciteit van stations wordt bepaald door een aantal factoren. In de eerste plaats is het aantal perrons op een station (of gates op een luchthaven) maatgevend voor het aantal voertuigen dat tegelijkertijd kan worden bediend voor in- en uitstappen. Daarnaast is de halteerduur van belang. De halteertijd van een bus op een gewone halte met weinig in- en uitstappers kan beperkt blijven tot minder dan een halve minuut. Bij grote knooppunten is het echter vaak gewenst om treinen, bussen of vliegtuigen langer te laten halteren om gelijktijdige uitwisseling van passagiers (en vracht, bagage, etc.) mogelijk te maken tussen verschillende vervoerdiensten. De capaciteit van een station is dus sterk afhankelijk van de exploitatie ervan. Zo zou het onmogelijk zijn om hetzelfde aantal treinen per uur per richting te verwerken op Amsterdam Centraal als alle treinen er net zoals vroeger zouden kopmaken (en er dus geen doorgaande treinen meer zouden zijn). Omgekeerd zou Amsterdam Centraal nog meer treinen kunnen verwerken als

nog meer treinseries zouden doorrijden in plaats van kop te maken.



Functies van verkeersnetwerkelementen: baanvak met station (bron: Koolstra, 2005).

De capaciteit van Amsterdam centraal wordt overigens ook beperkt door gelijkvloers kruisende treinpaden op de emplacementen en de capaciteit van de toeleidende baanvakken. De capaciteit van reinstations, maar ook luchthavens, wordt daarom niet alleen beperkt door de capaciteit van het station zelf (de 'terminal'), maar ook door de positie in het netwerk. De figuur hierboven geeft een voorbeeld van de ligging van een station in een verkeersnetwerk, waarbij de primaire functie van ieder element is aangegeven. Het betreft een station met twee doorgaande sporen zonder perrons, twee perronsporen aan weerszijden en een speciaal keerspoor tussen de hoofdsporen in.

#### Voetnoten:

[1] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma verkeerscapaciteit van nl.wikipedia.org. Versie: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Verkeerscapaciteit&oldid=17549576>); auteurs: zie (<http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Verkeerscapaciteit&action=history>).

[2] Deze paragraaf is een bewerking van het lemma Knooppunt (verkeer) van nl.wikipedia. Versie: zie ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Knooppunt\\_\(verkeer\)&oldid=30078879](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Knooppunt_(verkeer)&oldid=30078879)); auteurs: zie ([http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Knooppunt\\_\(verkeer\)&action=history](http://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Knooppunt_(verkeer)&action=history)).

---

# 10. Toetsing van alternatieven

---

## Infrastructuurplanning/Toetsing

---

In de voorgaande hoofdstukken stond het ontwerpen van alternatieven op verschillende schaalniveaus centraal. Uiteindelijk zal er een voorkeursalternatief aangewezen moeten worden. Om alternatieven op objectieve gronden te kunnen vergelijken, zullen de alternatieven op systematische wijze getoetst en vergeleken moeten worden. De criteria waarom getoetst kan of moet worden, zijn dezelfde soorten criteria als genoemd in hoofdstuk 4 (Eisen en randvoorwaarden).

In dit hoofdstuk gaan we in op het toetsen van alternatieven - en meer in het bijzonder alternatieve tracés. Uitgangspunt is de verwachte toekomstige situatie, gegeven het ontworpen alternatief. Het is dus per definitie een modelmatige toetsing.

### Soorten modelmatige toetsen

De modelmatige toetsing van (tracé)alternatieven is meestal het meest efficiënt te realiseren in een Geografisch Informatiesysteem. In dit hoofdstuk gaan we verder in op enkele soorten analyses die nuttig zijn bij het beoordelen van (tracé)alternatieven en die uitgevoerd kunnen worden met behulp van een GIS. Het gaat hierbij om:

- Overlay-analyses
- Diffusiemodellen en bufferanalyses
- Netwerkanalyses

Een overlay-analyse kan worden gebruikt om doorsnijdingslengtes te bepalen. Bij tracéplanningsproblemen wordt GIS in de verkenningsfase vaak gebruikt om te analyseren welke gebieden geschikter of minder geschikt zijn voor het tracé. Dit kan door alle technische en juridische belemmeringen voor het tracé in kaart te brengen: een belemmeringenkaart. Op basis van een dergelijke kaart is het mogelijk om het gebied te verdelen in geschikt of ongeschikt voor het tracé. Vervolgens kunnen we met behulp van een overlay-analyse eenvoudig toetsen in hoeverre tracés toch kwetsbare gebieden doorsnijden, hoeveel woningen worden doorsneden door het tracé, etc.

Ook complexere effecten van het tracé kunnen we beoordelen met behulp van GIS-analyses, bijvoorbeeld geluidsbelasting, verkeersintensiteiten, etc. Hiervoor wordt echter altijd ook gebruik gemaakt van 'externe' modellen. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van diffusiemodellen voor het bepalen van de geluidsbelasting die wordt veroorzaakt door een (spoor)wegverbinding. Vervolgens kan met behulp van een bufferanalyse worden bepaald hoeveel woningen, of hoeveel natuurgebied, zich binnen een zone met een zekere (hoge) geluidsbelasting bevindt.

Ten slotte kan een netwerkanalyse onder andere worden gebruikt om omwegfactoren te bepalen. Zo kan bijvoorbeeld worden nagegaan welke omwegen wandelaars moeten maken, indien een nieuw spoorwegtracé het aantal kruisingsmogelijkheden beperkt.

---






## Overlay-analyse

Bij een overlay-analyse worden twee kaartlagen gecombineerd tot een nieuwe kaartlaag. In principe gaat hierbij geen informatie verloren: zowel de attribuutinformatie uit kaartlaag I als de informatie uit kaartlaag II worden opgenomen in de nieuwe kaartlaag. In de nieuwe kaartlaag worden de vlakken waar nodig opgesplitst.

Bij het uitvoeren van een overlay-analyse ontstaan vaak nieuwe objecten. Bijvoorbeeld: bij een polygoon overlay van de kaartlaag 'grondgebruik' met de kaart 'gemeenten', zal een bosgebied dat zich over de gemeentegrens uitstrekt in de nieuwe kaartlaag worden opgesplitst in twee verschillende gebieden: het bos in gemeente A en het bos in gemeente B.

De drie meest gebruikte varianten verschillen enkel in manier van omgaan met de kaartgedeelten die in slechts één van beide kaartlagen voorkomen:

-  Union;
-  Identity;
-  Intersect.

Een union overlay bewaart alle elementen (features) die in kaartlaag 1 *of* kaartlaag 2 voorkomen. Een identity overlay bewaart alleen de elementen die in kaartlaag 1 voorkomen, maar niet de elementen die enkel voorkomen in kaartlaag 2, de overlay feature. En ten slotte worden bij een intersection alleen de elementen opgenomen in de nieuwe kaartlaag die in kaartlaag 1 *en* kaartlaag 2 voorkomen.

### Voorbeeld: het bepalen van doorsnijdingslengtes

Het bepalen van de doorsnijdingslengte per gebied (bijvoorbeeld een natuurgebied) kan op verschillende manieren.

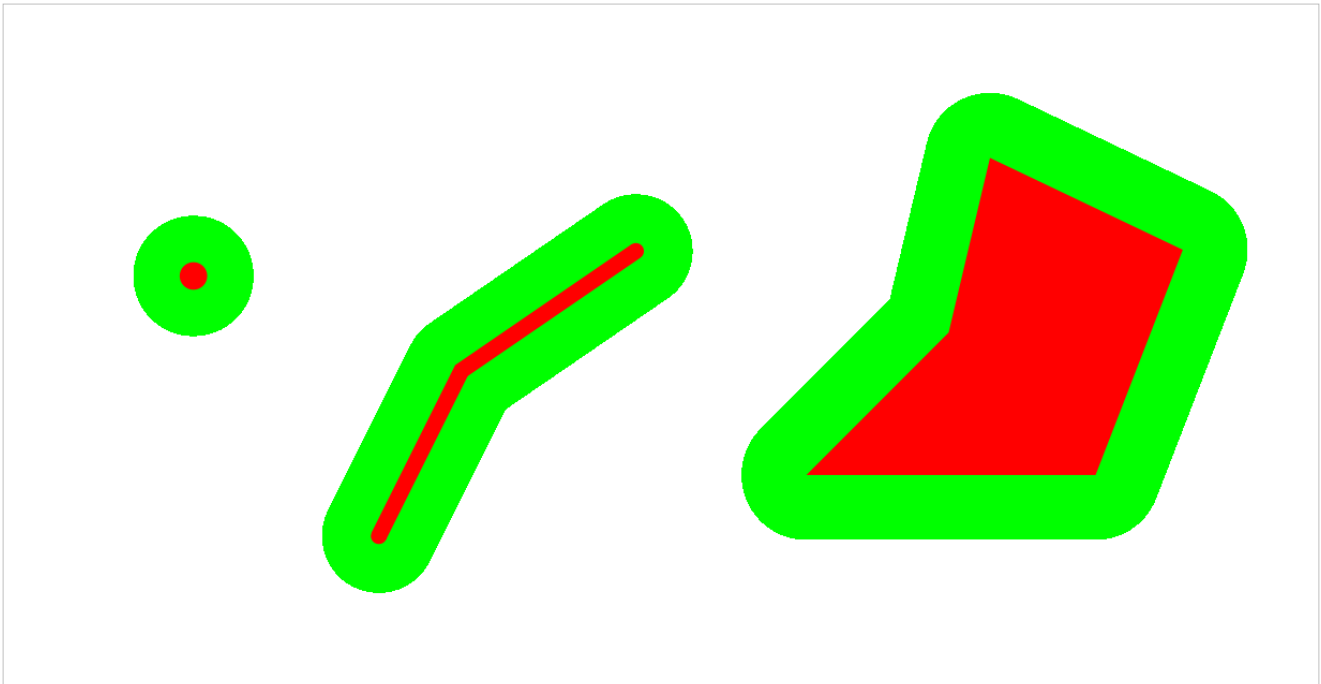
We gaan ervan uit dat we beschikken over de volgende GIS-kaarten:

- een vlakkenkaart met daarin de betreffende gebieden (waaronder het natuurgebied);
- een netwerkkaart met daarin het nieuwe tracé.

De eenvoudigste manier om een GIS de doorsnijdingslengte te laten berekenen, is door een overlay (Identity of Intersect) te doen van de vlakkenkaart over het netwerk. Het netwerk wordt dan opgesplitst in tracédelen per gebied. Het GIS rekent automatisch per link de nieuwe lengte uit. Door een *query* naar het betreffende tracédeel kun je de lengte opvragen. Let dan wel op dat je, als zich een knooppunt van het tracé binnen het gebied bevindt, je de lengtes van beide delen opvraagt en optelt.

Als je de totale netwerk lengte wilt weten in een gebied, waarbij er dus meerdere schakels zich in een gebied kunnen bevinden, is een alternatief om de overlay andersom te doen. Hiervoor heb je de meer geavanceerde functie *Ruimtelijke join* nodig. Indien je GIS over deze functie beschikt, kun je de som van alle lijnlengtes per gebied toevoegen aan de gebiedsinfo. Na de Ruimtelijke join *query* je dan het betreffende gebied naar de totale netwerk lengte binnen dat gebied.

## Buffer-analyse



Voorbeeld van een buffer rond een punt, een lijn en een vlak

Een buffer is een zone rondom een object (punt, lijn of vlak). Een buffer kan bijvoorbeeld worden gebruikt om aan te geven dat een zone rondom een object vrij gehouden moet worden van bepaalde functies (bijvoorbeeld een risicocontour rondom een LPG-installatie), of juist aan te geven dat een zone geschikt is voor een bepaalde functie (bijvoorbeeld door zones aan te geven waarbinnen er nog sprake is van bundeling van infrastructuur).

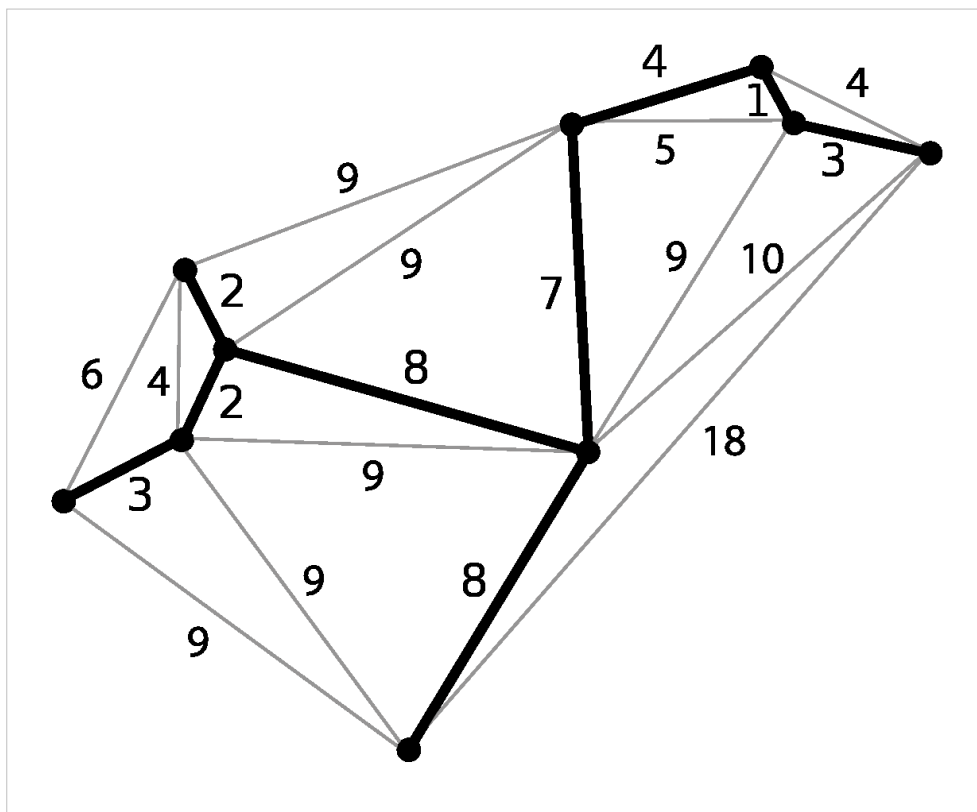
### Voorbeeld: het bepalen van het ruimtebeslag van het tracé

Het ruimtebeslag van een tracé wordt bepaald door de tracélengte en de tracébreedte. Stel nu dat we het tracé hebben als lijn, maar dat we het totale ruimtebeslag in een vlakkenkaart willen opnemen als vlak. Zo zouden we vervolgens via een overlay het ruimteverlies per functie (wonen, recreëren, landbouw, natuur, ...) kunnen berekenen.

Allereerst moeten we per tracédeel de tracébreedte toevoegen als attribut informatie. Vervolgens kunnen we met behulp van een Bufferanalyse een vlak maken die voor ieder tracédeel overeenkomt met de totale oppervlakte van het tracé. Vervolgens kunnen we tracédelen samenvoegen (mergen) om overlappen van tracégedeeltes weg te werken.

De kaart van de nieuwe situatie van het grondgebruik, inclusief tracé, kunnen we nu maken door een overlay-analyse (type: Update/Paste) te doen, waarbij we het resultaat van de Bufferanalyse als het ware plakken over de bestaande kaart van grondgebruik.

## Netwerkanalyse



Voorbeeld van een 'minimum spanning tree': de verzameling van schakels die samen het kortste netwerk opleveren dat alle punten verbindt.

Netwerkanalyses zijn GIS-analyses specifiek voor netwerktopologieën. Er zijn verschillende mogelijkheden, waaronder het bepalen of punten met elkaar verbonden zijn, het bepalen van de kortste/beste route, het bepalen van het dichtstbijzijnde servicepunt (over de weg), etc.

### Voorbeeld: het bepalen van omwegfactoren

Een nieuw tracé kan bestaande infrastructuur doorsnijden. De verbindingen worden niet altijd langs dezelfde route hersteld. Het is daarom interessant om te evalueren hoe groot de ontstane 'omweg' is, doordat bijvoorbeeld in het huidige plan niet alle lokale wegen een kruising met het nieuwe tracé hebben gekregen.

Om omwegen te kunnen berekenen, moeten we een vergelijking kunnen maken tussen de routelengte van een herkomst bestemmingspaar A-B in de oude en de nieuwe situatie. De routelengte kunnen we vervolgens laten berekenen door een kortste-padanalyse uit te voeren. Het GIS bepaalt dan eerst wat de kortste route is en bepaalt daarbij meteen hoe lang die route is. De 'kortste' route hoeft daarbij niet altijd werkelijk de kortste route te zijn. Het algoritme kan even goed 'reistijd' of 'reiskosten' gebruiken als maat voor de 'lengte' van een schakel, mits deze natuurlijk wel voorhanden is in het GIS-bestand.

---

**Voetnoten:**

---

# 11. Plan- en projectevaluatie

---

## Infrastructuurplanning/Evaluatie

---

In de vorige hoofdstukken hebben we gezien dat er voor een bepaalde voorgestelde nieuwe verkeersverbinding meestal vele alternatieve oplossingen zijn te bedenken, waarvan niet op voorhand vaststaat welke de beste is. Daarbij komt dat in onze samenleving geen overeenstemming bestaat hoe bepaalde aspecten als kosten, verkeersveiligheid, geluidhinder en versnippering van de natuur (om er maar een paar te noemen) moeten worden gewogen. Hoewel het echter moeilijk is om éénduidig het beste alternatief te kiezen, kan het toch wenselijk zijn om een voorkeursalternatief aan te wijzen, of ten minste een zodanige evaluatie te maken van de alternatieven dat de uiteindelijke beslissers (lokale, provinciale of nationale politici) een goed afgewogen keuze kunnen maken, die ook goed verantwoord kan worden naar het brede publiek. Om deze keuzes te onderbouwen moet gebruik worden gemaakt van één of andere evaluatiemethode.

Globaal kunnen drie groepen evaluatiemethoden worden onderscheiden, welke tot verschillende soorten uitkomsten leiden:

- monetaire methoden
- multi-criteria evaluatie
- overzichtstabellen

*Monetaire evaluatiemethoden* hebben tot doel inzicht te verschaffen in de kosten en effecten van beleidsmaatregelen, waarbij beide zo veel mogelijk in geld worden uitgedrukt (Hellendoorn, 2001). Dit maakt het mogelijk om éénduidig aan te wijzen of voorgestelde project voldoende 'rendabel' is en welk alternatief dan het beste is. Geld is hierbij het enige criterium, hoewel geprobeerd kan worden om niet-materiële aspecten (zoals onveiligheid en milieuschade) zoveel mogelijk in geld te waarderen. Tot de monetaire methoden behoren onder andere de kosten-batenanalyse (KBA) en de kosten-effectiviteitsanalyse (KEA).

*Multi-criteria evaluatie* (MCE) heeft ook tot doel om één alternatief als beste aan te wijzen, maar bij deze methoden worden kosten, interne kwaliteit en externe effecten gelijkwaardig behandeld. Afhankelijk van de voorkeuren van de beslisser kunnen verschillende gewichten worden toegekend aan verschillende criteria.

*Overzichtstabellen* hebben ten slotte nadrukkelijk niet tot doel om een 'beste' of voorkeursalternatief aan te wijzen, maar hebben tot doel om de voor- en nadelen van alle alternatieven zo overzichtelijk mogelijk te presteren, zodat de beslissers een afgewogen keuze kunnen maken. Deze drie typen methoden worden in de volgende paragrafen nader uitgewerkt.

### Het effectenoverzicht

Het uitgangspunt van iedere evaluatiemethode is het maken van een effectenoverzicht. In dit effectenoverzicht staan alle criteria en alternatieven in tabelvorm weergegeven. Bij de criteria wordt onderscheid gemaakt naar:

- kosten
- interne baten
- externe baten.

De kosten zijn hier de kosten die moeten worden gemaakt door de provincie als wegbeheerder. Hierbij gaat het om:

- plannings- en ontwerpkosten
  - aanlegkosten
  - beheer- en onderhoudskosten
-

- financiële afdekking van risico's en onzekerheden

De interne baten zijn de voor- en nadelen die worden ondervonden door de weggebruikers zelf. De belangrijkste zijn:

- reistijd
- verkeersveiligheid

De externe baten zijn tenslotte de voor- en nadelen die ten bate of laste van anderen dan de gebruikers komen: bijvoorbeeld omwonenden, of meer in het algemeen 'de natuur':

- verbetering bereikbaarheid
- vermindering kosten verkeersveiligheid
- aantasting landschap
- verstoring natuur
- etc.

### Casus

Ter toelichting is wordt hier een casus gegeven, waarbij wordt vastgesteld welke criteria moeten worden meegenomen in de beoordeling. Ergens in Nederland onderzoekt de provincie (als wegbeheerder) wat er moet gebeuren met een bepaalde enkelbaans autoweg (maximumsnelheid 100 km/uur), dit in het kader van 'duurzaam veilig'. De provincie overweegt een aantal alternatieve oplossingen om deze weg veiliger te maken:

- A1: verbreding en aanleg van een overrijdbare rijbaanscheiding
- A2: ombouw tot 2\*1-strooks regionale stroomweg
- A3: ombouw tot 2\*2-strooks autosnelweg

Daarnaast zijn ook een aantal nul- en nulplusalternatieven in de overweging meegenomen:

- 0 (nulalternatief): behoud enkelbaans autoweg 100 km/uur
- H1: enkel snelheidsbeperking tot 80 km/uur (met gericht verkeerstoezicht)
- H2: herinrichting tot gebiedsontsluitingsweg (GOW80)

Voor onze casus is het volgende uitgebreide effectenoverzicht vastgesteld voor variant A1:

criteria		periode
kosten planning & ontwerp (mln. €)	0,5	2013-2014
kosten aanleg (mln. €)	8,2	2014-2016
onderhoudskosten (mln. €/jaar)	0,32	2017-2067
risico's en onzekerheden (mln. €)	0,41	2016
reistijdwinst (voertuiguur per jaar)	0	2017 - 2067
winst verkeersveiligheid (ernstig letsel/jaar)	1,6	2017-2067
kosten verkeersonveiligheid (mln. €/jaar)	-0,4	2017-2067
verstoring landschap en natuur	-	2017-2067

Voor een aantal evaluatiemethoden is het echter wenselijk om het aantal criteria terug te brengen. In dit geval kan dat, door de verschillende kostenaspecten samen te voegen tot één kostenvariabele. Hiermee komen we tot het volgende effectenoverzicht (alle varianten):

	kosten (€)	veiligheidswinst (ernstig letsel/jaar)	reistijdwinst (min. per voertuig)	verstoring landschap
<b>0</b>	0 mln.	0	0	0
<b>H1</b>	0,1 mln.	0,28	-2,8	0
<b>H2</b>	0,8 mln.	0,30	-2,9	0
<b>A1</b>	12 mln.	0,80	0	-
<b>A2</b>	80 mln.	2,5	+0,2	-
<b>A3</b>	105 mln.	2,7	+2,2	--

In dit geval is gekozen voor een beperkt aantal criteria om op te vergelijken. Alle aanleg-, onderhouds- en planningskosten zijn geaggregeerd tot één waarde. Aan de batenkant wordt slechts onderscheid gemaakt naar de veiligheidswinst (vermindering van aantallen ernstige letselsoffers per jaar), de reistijdwinst (in minuten per voertuig) en de verstoring van het landschap (indicatief).

## Kosten-batenanalyse

De kosten-batenanalyse (KBA) is één van de oudste evaluatiemethoden en wordt van de monetaire evaluatiemethoden het meest gebruikt. Reeds in vroeger eeuwen was het gebruikelijk om bij grotere (investerings)projecten een kostenraming te maken, wat inhoudt dat de totale kosten van ontwerp, aanleg, onderhoud en gebruik van tevoren worden begroot en deze te vergelijken met de te verwachte inkomsten. Een systematische manier om deze vergelijking te maken is een bedrijfseconomische KBA. Deze methode is onder andere toegepast bij de aanleg van de Schiphollijn. Deze KBA had overigens vooral tot doel om de benodigde overheidssubsidie te bepalen.

Een nadeel van een bedrijfseconomische KBA is echter dat allerlei kosten (o.a. milieuhinder) en baten (o.a. reistijdwinsten) die door anderen dan de investeerder worden ondervonden niet worden meegenomen in de analyse. Zo was de bedrijfseconomische KBA van de Schiphollijn niet geschikt om te bepalen tot welk bedrag een overheidssubsidie nog te rechtvaardigen is vanuit maatschappelijk oogpunt. Derhalve is voor de Schiphollijn ook een maatschappelijke KBA gemaakt, waarin ook baten als reistijdwinst voor de reizigers e.d. zijn meegenomen (met als resultaat dat het project vanuit maatschappelijk oogpunt rendabel was). Om de KBA breder te maken is daarom vanaf de jaren '30 van de vorige eeuw in de VS de maatschappelijke kosten-batenanalyse ontwikkeld door steeds meer maatschappelijke kosten en effecten in de KBA's van grote investeringsprojecten mee te nemen. Vanaf de jaren '50 heeft de maatschappelijke KBA ook een stevige theoretische onderbouwing gekregen vanuit de economische wetenschap.

Bij een KBA worden uitgaven en inkomsten van een investering weergegeven in balansvorm. Zowel alle kosten (aanleg, onderhoud) als baten (reistijdwinst, verkeersveiligheid) worden met elkaar vergeleken. Dit kan door hetzij de gemiddelde kosten en baten per jaar te bepalen, hetzij door alle kosten en baten gedurende de periode van functioneren van de betreffende infrastructuur op te tellen.

Kosten en baten zijn in de tijd gespreid. Aanlegkosten zijn bijvoorbeeld geconcentreerd voor oplevering van het project, terwijl onderhoudskosten en reistijdbaten meer verspreid in de tijd zijn en pas na oplevering gelden. Om een verantwoorde vergelijking van kosten en baten mogelijk te maken moeten de kosten en baten in de toekomst worden vertaald naar kosten en baten in het heden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een disconteringsvoet, dit is vergelijkbaar met de rente die je ontvangt door nu geld beschikbaar te stellen en in de toekomst weer terug te ontvangen, of de rente die je moet betalen om nu al over een bepaald geldbedrag te beschikken dat je later weer aflost. Voor overheidsprojecten wordt sinds 1995 uitgegaan van een disconteringsvoet van 4%. Dit kan worden vergeleken met het rendement dat een particuliere belegger op zijn investeringen wil hebben. Met behulp van de discontovoet kunnen kosten en baten in een later jaar worden vertaald naar kosten en baten ten tijde van het vergelijkingsjaar:

Het toepassen van een maatschappelijke KBA als totaalafweging van alle maatschappelijke kosten en baten heeft echter een aantal belangrijke nadelen. In de eerste plaats is het maar de vraag hoe bijvoorbeeld veiligheidswinst of verlies aan natuurgebied moet worden gewaardeerd. Eén oplossing is om dit als imponderabilia (niet te kwantificeren) mee te nemen, deze komen dan als 'PM-post' op de balans te staan. Hierdoor dreigen dergelijke aspecten echter veronachtzaamd te worden. Een andere methode is door toepassing van één of andere methode een schatting te maken van de maatschappelijke waardering (in geld) van natuur, een mensenleven, e.d. De gevonden waarden blijken echter nogal af te hangen van de toegepaste methode. Veel van deze methoden zijn trouwens ronduit dubieus, zoals het waarderen van een mensenleven naar het inkomen dat deze persoon gegenereerd zou hebben als deze niet zou zijn gestorven. Een dergelijke gedachtengang zou bijvoorbeeld impliceren dat de dood van een kansarme werkloze een stuk minder erg zou zijn dan de dood van een rijke ondernemer. Een alternatief is onder andere om te bekijken hoe mensen zelf de afweging maken tussen riskantere en minder risicovolle alternatieven, maar gezien het gebleken onvermogen van mensen om risico's in te schatten en af te wegen lijkt ook dit geen verstandige methode. In feite moet men zich afvragen of keuzes tussen natuur, veiligheid, kosten e.d. niet per definitie niet 'objectief' te maken zijn en derhalve overgelaten moeten worden aan de 'politiek'.

## **Kosten-effectiviteitsanalyse**

In situaties waar maatregelen vergeleken worden op zowel kosten als een niet-monetaire variabele, bijvoorbeeld onveiligheid of natuurverlies, kan het toch zinvol zijn om een monetaire evaluatiemethode toe te passen. Kosten-effectiviteitsanalyse (KEA) maakt het mogelijk om alternatieve maatregelen te vergelijken, zonder dat de betreffende niet-monetaire variabele moet worden gewaardeerd in geld. Een KEA is vooral zinvol in situaties waarbij alternatieve maatregelen simpelweg vergeleken kunnen worden door de kosten die ermee gemoeid zijn te vergelijken met het (positieve) effect ervan. Deze methode is bijvoorbeeld toegepast voor de Britse spoorwegen om te bepalen welke maatregelen bij voorrang genomen zouden moeten worden om de veiligheid op en rond het spoor te verbeteren. De KEA werd in de eerste plaats gebruikt om te beoordelen hoe de beschikbare budgetten zo effectief mogelijk kunnen worden gebruikt om de kans op ongevallen zo veel mogelijk te verkleinen. Daarnaast werd ook een soort ondergrens vastgesteld voor de benodigde kosteneffectiviteit door deze te vergelijken met maatregelen om het wegverkeer veiliger te maken. Het idee daarbij is dat van spoorwegen tot op zekere hoogte een extra inspanning in de veiligheid mag worden verwacht, maar niet tot zodanige hoogte dat de spoorwegen zich uit de markt prijzen, terwijl hetzelfde geld beter geïnvesteerd had kunnen worden in het veiliger maken van 'concurrerende' vervoerssystemen.

Een belangrijk verschil tussen deze toepassing en infrastructuurprojecten is echter dat wat betreft verkeersveiligheid verschillende maatregelen naast elkaar konden worden getroffen, terwijl het bij infrastructuurprojecten in principe altijd gaat om alternatieven waarvan slechts één uitgevoerd zal worden. Daarbij is het meest kosteneffectieve alternatief niet per definitie het beste, zeker niet wanneer een nulplusalternatief (kleine investering) vergeleken wordt met een aanleg- of doelstellingsalternatief waarmee een veel grotere investering gemoeid is. Desalniettemin kan ook bij infrastructuurprojecten een KEA worden gebruikt om alternatieven ten aanzien van de belangrijkste doelstelling te kwalificeren als relatief effectief of relatief duur.

### Toepassing KEA op casus

Een KEA kan o.a. worden toegepast op de casus van dit hoofdstuk, indien we slechts de effectiviteit van de maatregelen qua reductie van verkeersslachtoffers zouden willen beoordelen, afgezet tegen de kosten die ermee gemoeid zijn. In de onderstaande tabel is steeds de kosteneffectiviteit berekend van de in de bovenste rij genoemde maatregel, afgezet tegen het in de linker kolom genoemde alternatief.

	H1	H2	A1	A2	A3
0	2,8	0,50	0,067	0,031	0,026
H1		0,029	0,044	0,028	0,023
H2			0,045	0,027	0,022
A1				0,025	0,020
A2					0,013

Uit de bovenstaande tabel kan o.a. worden afgelezen dat alternatief H1 ten opzichte van het nulalternatief relatief kosteneffectief is (2,8 bespaarde letselslachtoffers per jaar per mln. euro investering ineens). Bij de beoordeling van de kosteneffectiviteit gaat het om de marginale kosteneffectiviteit: de vooruitgang ten opzichte van alle andere meer kosteneffectieve alternatieven. Zo is H2 ten opzichte van het nulalternatief nog behoorlijk kosteneffectief (0,50), maar beduidend minder wanneer we H2 met H1 vergelijken (0,029). In dit geval blijkt het uit oogpunt van kosteneffectiviteit verstandiger te zijn om voor het duurdere A1 te kiezen: hierbij wordt nog 0,044 veiligheidswinst geboekt per miljoen geïnvesteerde euro. A2 en A3 blijken een nog lagere kosteneffectiviteit te bezitten. Dit betekent dat uit oogpunt van verkeersveiligheid deze aanlegalternatieven een relatief lage prioriteit zouden moeten krijgen, met name wanneer blijkt dat de beperkte budgetten van de provincie kosteneffectiever kunnen worden besteed aan andere projecten ter verbetering van de verkeersveiligheid elders in de provincie.

### Multi-criteria analyse

Om een meer evenwichtige afweging mogelijk te maken van enerzijds directe kosten en baten en anderzijds allerlei andere maatschappelijke effecten (milieu, verkeersveiligheid), zijn multi-criteria analysemethoden (MCA) ontwikkeld. Kenmerkend voor MCA is dat uitgegaan wordt van verschillende expliciete beoordelingscriteria, zonder alle aspecten direct te willen vertalen naar geld (of een andere variabele). Deze criteria kunnen onderling uiteenlopen en worden daardoor in zeer verschillende eenheden gemeten. Bij kwantitatieve variabelen kan het gaan om gulden, meters, aantallen, etc., terwijl bij kwalitatieve variabele het meestal gaat om rangordes (goed, matig, slecht). Een tweede belangrijk kenmerk van MCA is dat criteria een verschillende weging kunnen krijgen, waardoor een bepaald criterium zwaarder meeweegt in de beoordeling dan een ander criterium.

Het uitgangspunt bij het toepassen van MCA is het effectenoverzicht, waarin een systematisch overzicht wordt gegeven van de gevolgen van de verschillende alternatieven m.b.t de verschillende criteria. Vervolgens is het de bedoeling om aan de hand van al deze verschillende criteria toch een eindoordeel te geven over deze alternatieven in de vorm van een rangschikking. Afhankelijk van de vraag of de mee te nemen criteria kwantitatief (getallen) of kwalitatief (rangordes) zijn – of een mengeling van beide – kunnen verschillende methoden worden toegepast om deze rangschikking te bepalen. Helaas is het zelfs zo dat de rangschikking kan afhangen van de gebruikte methode.

Globaal zijn de MCA methoden in twee hoofdgroepen te verdelen: kardinale methoden en ordinale methoden. Het verschil is het meetniveau waarvan uit wordt gegaan voor de criteriumscores: intervalschaal of ratioschaal bij kardinale methoden en ordinaal schaalniveau bij ordinale methoden. Dat betekent dat bij kardinale methoden op ieder criterium een echte kwantitatieve score moet worden gegeven, terwijl bij ordinale methoden het voldoende is om de alternatieven een rangorde te geven op ieder criterium. Daarmee is het voor ordinale methoden, bijvoorbeeld, voldoende om bij het criterium 'onderhoudskosten' alternatieven te rangschikken op hogere of lagere onderhoudskosten, zonder dat de hoogte van deze kosten geschat hoeft te worden.



Ordinale methoden kunnen ook worden toegepast als (sommige) criteriumscores beschikbaar zijn op interval- of ratioschaal. Dit heeft echter als nadeel, dat informatie met betrekking tot de mate waarin het ene alternatief beter scoort dan het andere verloren gaat. Daarom verdient het de voorkeur om zoveel mogelijk gebruik te maken van kardinale methoden. De MCA-methode die in dit boek verder wordt uitgewerkt is de meest gebruikte kardinale methode: gewogen sommatie.

### **Gewogen sommatie met doelstandardisatie**

Bij rationale MCA-methoden wordt gebruik gemaakt van kwantitatieve criteriumscores, waardoor het mogelijk is om met de betreffende scores te 'rekenen'. De meest gebruikte MCA-methode is gewogen sommatie. Bij gewogen sommatie bestaat het 'rekenen' uit het bepalen van de gewogen som van alle criteriumscores. Daarbij kan gekozen worden uit verschillende standaardisatiemethoden. Uit oogpunt van een éénduidige interpretatie heeft doelstandardisatie de voorkeur, daarom zal alleen deze methode hier worden behandeld.

Bij toepassing van een rationele methode worden de criteriumscores eerst gestandaardiseerd. Standaardisatie heeft tot doel om de scores vergelijkbaar te maken door er dimensieloze getallen van te maken, bijvoorbeeld door alle scores te vertalen naar waarden tussen 0 en 1. Hiervoor zijn verschillende methoden beschikbaar. Een relatief eenvoudige methode is om eerst vast te stellen wat de ideaalwaarde is voor het betreffende criterium (de ultieme doelstelling) en wat de referentiewaarde (bijvoorbeeld huidige lokale situatie, Nederlands gemiddelde o.i.d.), waarbij de referentiewaarde scoort als 0 en de ideaalwaarde als 1. Vervolgens worden de criteriumwaarden vertaald naar de mate waarin de doelstelling wordt gehaald. Bij het criterium verkeersveiligheid is bijvoorbeeld de ongestandaardiseerde variabele het verwacht aantal verkeersdoden en ernstig gewonden per jaar. Vervolgens wordt vastgesteld wat de referentiewaarde is (bijvoorbeeld het huidige veiligheidsniveau) en wat de doelstellingswaarde (bijvoorbeeld 0 verkeersdoden). Een halvering van het aantal verkeersdoden wordt dan gestandaardiseerd tot de waarde 0,5. Evenzo kan bij het criterium reistijd het huidige niveau dienen als referentiewaarde en de minimale reistijd zonder congestie en omwegen als ideaalwaarde, waardoor 20% minder tijdverlies door congestie wordt gestandaardiseerd tot de waarde 0,2.

Om de gestandaardiseerde scores verder te kunnen verwerken moeten eerst de gewichten van de verschillende criteria bekend zijn. Door het toekennen van gewichten wordt tot uitdrukking gebracht hoe belangrijk iedere doelstelling is. Door bijvoorbeeld een gewicht toe te kennen van 0,4 aan het criterium verkeersveiligheid en 0,1 aan reistijd, wordt tot uitdrukking gebracht dat het realiseren van de veiligheidsdoelstelling 4\* zo belangrijk is als het realiseren van de doelstelling op het gebied van reistijd. Samen zijn deze criteria even belangrijk als de overige, hier niet genoemde criteria, waaraan een gewicht van 0,5 is toegekend. De waardering van een alternatief kan zodoende worden bepaald door voor ieder criterium de gestandaardiseerde score behorende bij het betreffende alternatief te vermenigvuldigen met de weegfactor van het criterium en deze waarden bij elkaar op te tellen. Het alternatief met de hoogste totaalscore is het beste alternatief.

### **Toepassing MCA op casus**

De werking van een multi-criteria analyse kan worden geïllustreerd aan de hand van de in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk geïntroduceerde casus. Hierbij is de eerste vraag of een rationele of ordinale methode toegepast dient te worden. Bij toepassing van een rationele methode moet het criterium 'verstoring landschap' worden vertaald van een rangorde naar reële getallen, terwijl bij toepassing van een ordinale methode de informatie over de grootte van de verschillen tussen de alternatieven op de eerste drie criteria verloren gaat.

Bij toepassing van gewogen sommatie (rationele methode) worden eerst de scores gestandaardiseerd, waarbij de +/- scores op verstoring van het landschap ook op één af andere manier moeten worden vertaald naar een gestandaardiseerde score. Bij de reistijdwinst is de reistijd bij een 80 km/h oplossing als referentiewaarde gekozen en de reistijd van een autosnelweg als doelwaarde. Bij het aspect *verstoring landschap* is ervoor gekozen om als ideaal te nemen dat het landschap niet (verder) versnippert (1) en de mate van verstoring door een autosnelweg te

waarden als 0. Ook zijn gewichten gekozen voor de verschillende criteria, waarbij veiligheidswinst als belangrijkste doelstelling het gewicht 0,5 heeft gekregen.

	kosten (€)	veiligheidswinst (ernstig letsel/jaar)	reistijdswinst (min. per voertuig)	verstoring landschap
<b>weging</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<i>0</i>	1,00	0	0,57	1
<i>H1</i>	1,00	0,07	0,02	1
<i>H2</i>	0,99	0,07	0	1
<i>A1</i>	0,90	0,19	0,57	0,67
<i>A2</i>	0,33	0,60	0,61	0,67
<i>A3</i>	0,13	0,64	1,00	0,33

De totaalscores van de alternatieven zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Het alternatief A2 (ombouw tot regionale stroomweg) blijkt bij de gegeven gewichten het hoogst te scoren, terwijl de herinrichtingsalternatieven slechter scoren dan het nulalternatief. Het alternatief H1 is weliswaar volgens de KEA erg kosteneffectief, maar in de huidige analyse is ook het reistijdverlies meegenomen, hetgeen in combinatie met de erg beperkte veiligheidswinst er voor zorgt dat dit alternatief bij de MCA laag scoort.

	totaalscore
<i>0</i>	0,46
<i>H1</i>	0,44
<i>H2</i>	0,43
<i>A1</i>	0,49
<i>A2</i>	0,53
<i>A3</i>	0,49

## Overzichtstabellen

Het is niet altijd noodzakelijk en in sommige gevallen onmogelijk om de verzamelde informatie verder te bewerken. In dergelijke gevallen is het raadzaam te volstaan met het effectenoverzicht. Zo nodig kan dit nader worden gestructureerd. De daartoe aan te wenden methoden worden aangeduid als overzichtstabel methoden. Deze methoden dienen ertoe een geordende beschrijving, dan wel een overzichtelijke presentatie van alternatieven mogelijk te maken. In de literatuur worden twee overzichtstabel methoden met name genoemd: de community impact analyse en de scorekaartmethode. In dit dictaat wordt slechts de laatste methode behandeld.

De scorekaart methode is te beschouwen als een presentatiemiddel, waarmee op overzichtelijke wijze een indruk kan worden gegeven van de voor- en nadelen van de in het geding zijnde alternatieven. Per aspect of voor alle aspecten tezamen wordt een effectenoverzicht opgesteld. In dit overzicht worden voor de onderzochte alternatieven de scores per criterium opgenomen. De kosten en de effecten met een marktprijs worden in termen van geld uitgedrukt. Effecten die geen marktprijs hebben, worden in andere geëigende eenheden weergegeven. Als geen kwantificering mogelijk is, vindt alleen benoeming van het verwachte gevolg plaats of worden de gevolgen op kwalitatieve wijze aangeduid. Na het tot stand komen van het effecten overzicht wordt per criterium de rangorde van de alternatieven aangegeven met behulp van arceringen, verschillende kleuren enz.

Een scorekaart kan uiteraard ook worden toegepast voor de eerder in dit hoofdstuk geïntroduceerde casus. De enige bewerking ten opzichte van het effectenoverzicht is de toevoeging van kleur, waardoor een waarde-oordeel wordt gegeven. Overigens kan de kleurkeuze bepalend zijn voor welk alternatief beter lijkt. In het onderstaande voorbeeld

lijkt vooral alternatief A1 er het beste uit te springen, doordat het op geen enkel criterium slecht genoeg scoort voor een rode arcering. Dat dit alternatief ook weinig echt goed scoort, valt bij de gekozen kleuren minder op.

	kosten (€)	veiligheidswinst (ernstig letsel/jaar)	reistijdwinst (min. per voertuig)	verstoring landschap
<i>0</i>	0 mln.	0	0	0
<i>H1</i>	0,1 mln.	0,28	-2,8	0
<i>H2</i>	0,8 mln.	0,30	-2,9	0
<i>A1</i>	12 mln.	0,80	0	-
<i>A2</i>	80 mln.	2,5	+0,2	--
<i>A3</i>	105 mln.	2,7	+2,2	---

**Voetnoten:**

# A. Coördinatensystemen en kaartprojecties

## Infrastructuurplanning/Coördinatensystemen en kaartprojecties

Locaties van de objecten in geo-informatie worden opgeslagen in coördinaten. Het is echter pas duidelijk waar die objecten zich bevinden, wanneer duidelijk is in welk coördinatenstelsel die coördinaten zijn gedefinieerd. Coördinaten krijgen namelijk pas met het bekend zijn van het coördinatensysteem een betekenis. Pas dan zijn ze correct te combineren met coördinaten uit geo-informatie met andere coördinatensystemen. Daarnaast zijn de locaties op aarde niet op een plat vlak gelegen, maar op een bol. Bij het in kaart brengen van die coördinaten op een plat vlak - want dat is een kaart! - wordt gebruik gemaakt van zogenaamde projecties. Een kaart of plat scherm is een afgeleide van deze werkelijkheid en brengt daarom per definitie vervormingen met zich mee. [1]



**Een globe, oftewel de wereld zoals die in werkelijkheid is: geen plat vlak maar een bol.** Een kaart of plat scherm is een afgeleide van deze werkelijkheid en brengt daarom per definitie vervormingen met zich mee.

### Coördinatensystemen

Locaties van de objecten in geo-informatie worden opgeslagen in coördinaten. Het is echter pas duidelijk waar die objecten zich bevinden, wanneer duidelijk is in welk coördinatenstelsel die coördinaten zijn gedefinieerd. Coördinaten krijgen namelijk pas met het bekend zijn van het coördinatensysteem een betekenis. Pas dan zijn ze correct te combineren met coördinaten uit geo-informatie met andere coördinatensystemen. Door gebruik te maken van een gangbaar (wereld)coördinatensysteem is het mogelijk om geografische data van verschillende bronnen te combineren. In deze paragraaf wordt ingegaan op enkele gangbare coördinatensystemen, waaronder de in Nederland toegepaste RD-coördinatenstelsel met hoogtes in NAP.

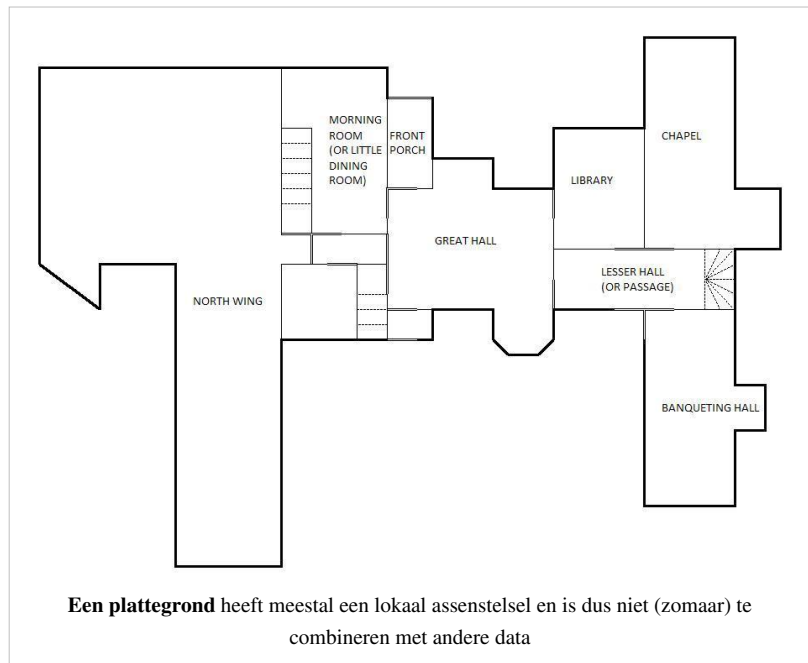
We onderscheiden drie typen coördinatensystemen:

- lokaal coördinatensysteem
- geografisch coördinatensysteem
- geprojecteerd coördinatensysteem

Een lokaal coördinatensysteem kan bruikbaar zijn voor een enkele lokatie, maar is niet algemeen toepasbaar. Geografische coördinaten hebben als voordeel dat deze in principe wereldwijd toepasbaar zijn. Voor GIS-toepassingen (en andere vormen van kartering) hebben we echter een geprojecteerd coördinatensysteem nodig. Het in Nederland gangbare (geprojecteerde) coördinatensysteem is RD-NAP.

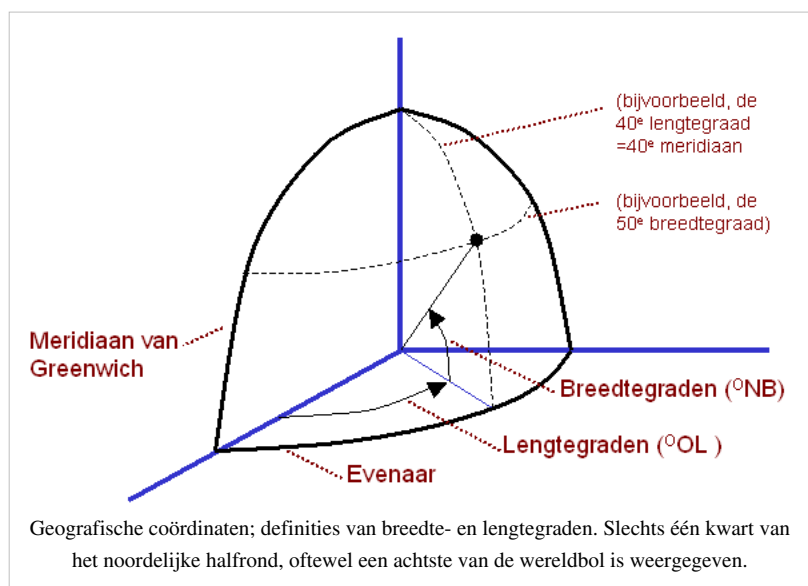
### Lokaal coördinatensysteem

Een lokaal coördinatensysteem wordt vaak gebruikt voor CAD-data bij ontwerpschetsen, lokale, grootschalige tekeningen van kleinere, stedelijke projectplannen. In de linkeronderhoek bevindt zich dan het nulpunt (0,0). Rechtsboven zijn de maximale x- en y-coördinaten te vinden, bijvoorbeeld (1000,200) wanneer de kartering zich uitstrekt over een gebied dat 1000 meter lang is en 200 meter breed. Het noorden hoeft zich niet aan de bovenkant van de kaart te bevinden. Deze gegevens kunnen alleen door lastige transformatieacties in een GIS-systeem gecombineerd worden met andere geo-informatie. Rasterbestanden hebben vaak eigen 'lokale' coördinaten; dat wil zeggen, het aantal pixels verticaal en horizontaal bepaalt dan het 'coördinatenstelsel'. Middels georefereren (zie later in deze module) kunnen deze lokale coördinatensystemen omgezet worden naar een geprojecteerd coördinatensysteem.



### Geografisch coördinatensysteem

Een geografisch coördinatensysteem gebruikt het driedimensionale oppervlak van de aarde om locaties aan te duiden. Dit zijn coördinaten gedefinieerd in graden, minuten en seconden. In spreektaal 'graden noorderbreedte' en 'graden oosterlengte' (tenminste, ten noorden van de evenaar en ten oosten van nul-meridiaan). Breedtegraden worden ook wel parallellen genoemd, lengtegraden worden meridianen genoemd (zie ook figuur hiernaast). Greenwich geldt meestal als nul-meridiaan, maar de Fransen gebruiken daar natuurlijk Parijs voor. Elk geografisch coördinatenstelsel heeft een standaard voor bepaling van de spheroïde. Dat wil zeggen dat elk coördinatenstelsel een eigen manier heeft om de bolling van de aarde te definiëren.



Twee voorbeelden van **geografische coördinaten**:

(0°,0°) - spreek uit nul komma nul graden - is het nulpunt; daar waar de evenaar en de Meridiaan van Greenwich elkaar snijden.

(5°OL,52°NB) - spreek uit 5 graden oosterlengte en 52 graden noorderbreedte) is een punt in Nederland, nabij Utrecht. Het betekent dat vanuit de (denkbeeldige) Meridiaan van Greenwich, 5 graden naar het oosten wordt gegaan, en 52 graden naar het noorden.

Vanaf de Meridiaan van Greenwich is de oostelijke helft van de aardbol in 180 graden ('oosterlengte') verdeeld. De westelijke helft van de aardbol is ook in 180 graden ('westerlengte') verdeeld. Vanaf de evenaar is de aarde naar zowel de noordpool als de zuidpool in 90 graden verdeeld. Naar het noorden heten die graden noorderbreedtes, naar het zuiden zuiderbreedtes.

Geografische coördinaten kunnen op twee wijzen worden weergegeven:

- in graden met decimalen, bijvoorbeeld (5,234°OL,52,126°NB)
- in graden, minuten en seconden, bijvoorbeeld (5°14'2"OL,52°7'34"NB)

Voor verwerking in een geografisch informatiesysteem is de eerste wijze het handigst. De tweede wijze is ouderwets te noemen. Destijds was dat handig omdat geen komma's gebruikt hoefden te worden, terwijl er toch heel nauwkeurig een locatie kon worden aangeduid. De tweede wijze vereist bij digitale opslag zes kolommen, daar waar de eerste wijze genoeg heeft aan twee kolommen.

## Geprojecteerd coördinatensysteem

Voordat geprojecteerde coördinatensystemen besproken worden, moet eerst iets over kaartprojecties uitgelegd worden. Om het gebogen aardoppervlak af te beelden in een platte weergave, moeten we namelijk een zogeheten kaartprojectie gebruiken.

In een geprojecteerd coördinatensysteem zijn coördinaten gedefinieerd in meters of een andere maateenheid. Een rechthoekig stuk ruitjespapier wordt als het ware op, of dwars door de aardbol geprojecteerd. Het papier 'bolt niet mee' en daardoor ontstaat enige vervorming ten opzichte van de graden en minuten van de aardbol.

Twee voorbeelden:

- **1) In Nederland** is 'het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting' dé standaard voor GIS- (en CAD-)data. Coördinaten in dit systeem worden Rijksdriehoekskoördinaten genoemd, maar vaker nog RD-coördinaten. Krijg je geo-informatie met deze coördinaten, dan kan je die vrijwel zonder problemen met en zonder het opgeven van een projectie in beeld brengen.
- **2) Mondiaal** De UTM-projectie (Universal Transverse Meractor) is een mondiaal projectiesysteem. De wereld is daarbij in zones verdeeld. Nederland ten westen van zes graden oosterlengte (de meridiaan van Wolvega en Rheden) valt in zone 31U, het oosten van Nederland in zone 32U. Het geprojecteerde coördinatensysteem dat bijvoorbeeld door Rijkswaterstaat op de Noordzee wordt gebruikt is ED50 (zone 31U), maar er is ook WGS84 (zone 31U) dat daar tientallen meters van verschilt.

Sinds de introductie van Google Earth is het bij iedereen ook bekend dat kaarten - zowel 2D als 3D ook op zogenaamde **globes** kunnen worden gerepresenteerd. Een globe (of **virtual globe**) is een bol waarop 2D- en 3D-kaarten - maar ook hemellichamen - kunnen worden geprojecteerd. De globe draaien en het standpunt van de kaartlezer wijzigen (van een recht van boven naar een 'scheerluchtpositie') zijn hierbij nieuwe functionaliteiten, vaak gecombineerd met traploos inzoomen dankzij moderne (AJAX-)technieken. Het aanzetten van verschillende kaartlagen is hierbij niet anders dan gewone (GIS-)viewers. De meerwaarde in deze globes boven traditionele platte kaarten is dat er vrijwel geen verstoring van het aardoppervlak is. Bij platte kaarten is er vaak maar één juiste projectiewijze op één specifiek continent of in één specifiek land, waardoor de combinatie van verschillende gegevens uit verschillende landen lastig wordt. Via een globe kan uit elk gebied alle geo-informatie worden toegevoegd, zonder dat met projecties rekening hoeft te worden gehouden. De globe is daarmee een nieuw

'communicatiemedium' (beter: 'projectievlak') geworden.

## Kaartprojecties

Voordat geprojecteerde coördinatensystemen besproken worden, moet eerst iets over kaartprojecties uitgelegd worden. Om het gebogen aardoppervlak af te beelden in een platte weergave, moeten we namelijk een zogeheten kaartprojectie gebruiken.

De aarde is bolvormig. Dat is lastig bij het karteren. We willen een kaart niet op een globe, maar op een plat scherm of een plat stuk papier weergeven. Als we de aarde opvatten als een ei (zie figuur) wordt onmiddellijk duidelijk dat er bij dit 'platslaan' van de werkelijkheid, vervormingen moeten ontstaan.

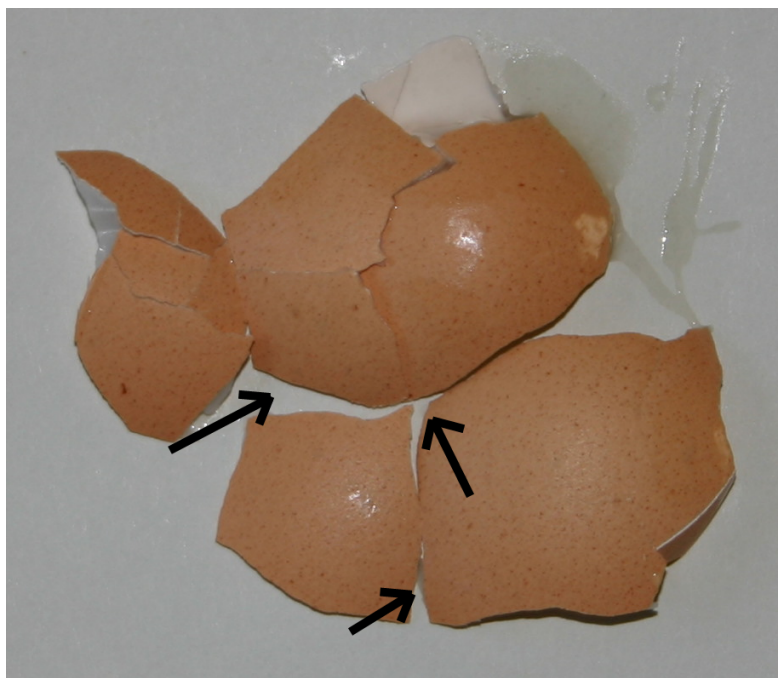
Een **kaartprojectie** converteert geografische coördinaten van een bol naar coördinaten in een plat vlak met x- en y-coördinaten, ook wel een cartesisch coördinatenstelsel genoemd. Per definitie wordt er zoals gezegd bij deze projectie geweld gedaan aan afstanden, richtingen, oppervlakten, vormen en/of hoeken. Afhankelijk van het doel van de kaart, de grootte en de oriëntatie (noord-zuid of juist oost-west) zal voor de ene kaartprojectie of juist voor de andere moeten worden gekozen.

Een kaartprojectie is dus een methode om de driedimensionale vorm van het aardoppervlak te converteren naar een tweedimensionale voorstelling.

Cartografen zien overigens de aarde niet als een perfecte bolvorm. Ook niet als een ei. Ze zien de aarde als een **ellipsoïde** (Engels: spheroid). Dat is een driedimensionale ellips,



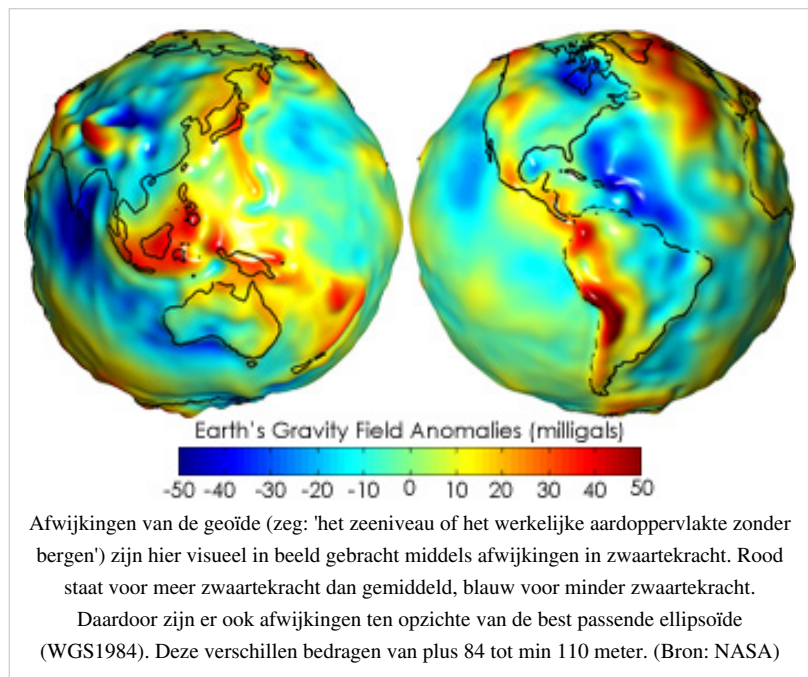
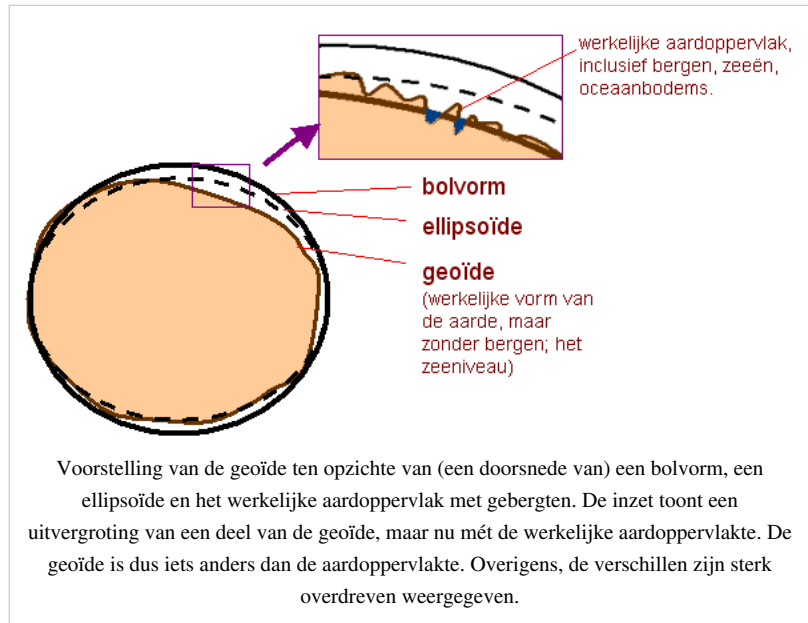
**De wereld volgens Ptolomeus.** Circa 150 na Christus, een van de oudst bekende kaarten, de geografische coördinaten lijken met een kegelprojectie op een plat vlak te zijn geprojecteerd.



Vergelijk de aarde met een ei; wordt dit ei platgeslagen, dan zullen vervormingen ontstaan (pijlen); deze vervormingen zijn steeds groter naar de rand toe.

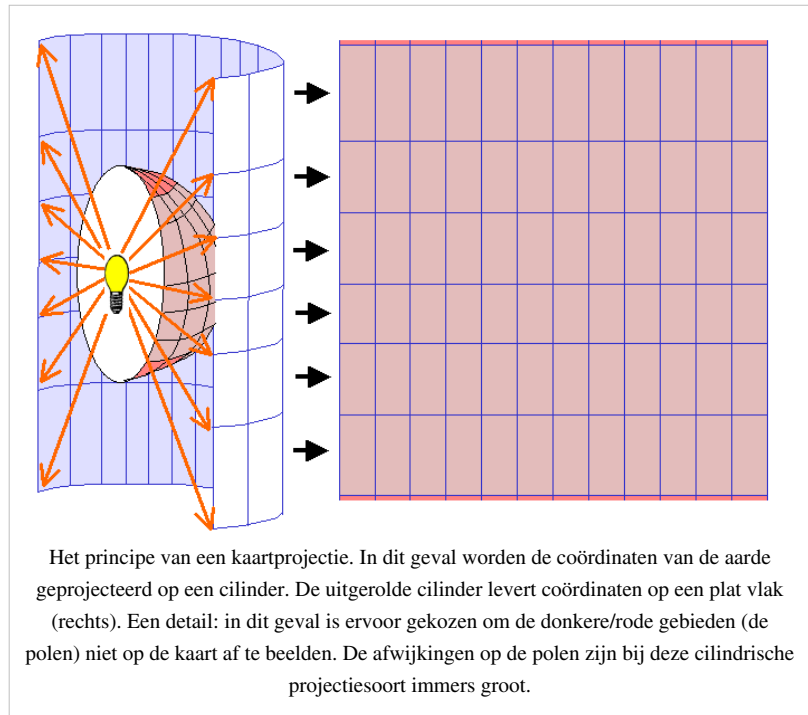
ronddraaiend om zijn kortste as. Het middelpunt ligt ergens in de buurt van het middelpunt van de aarde. De aarde is namelijk door de draaiing rondom zijn as en de centrifugale kracht afgeplat aan de polen. De aarde is echter eigenlijk ook weer geen ellipsoïde; kijk je namelijk nóg beter naar het zeewaterniveau - je vergeet daarbij de hobbels van de bergen en de diepzeetroggen - dan blijkt de aarde eerder een aardappel of onregelmatige pinda. Overal zitten verlagingen en verhogingen ten opzichte van de meest ideale ellipsoïde. Cartografen noemen deze specifieke 'aardappel- of pindavorm' daarom de **geoïde**. Letterlijk betekent dat de 'vorm van de aarde', dus de aarde met al haar in- en uitstulpingen zoals zij die van nature heeft, zonder dat er wiskundige beperkingen aan zijn opgelegd. Zie het plaatje met de regenboogkleuren.

Om de geografische coördinaten van de VS op een plat vlak te kunnen krijgen wil je zo min mogelijk vervorming. De ellipsoïde die daar gekozen wordt zal daar in de VS maximaal de oppervlakte goed beschrijven. Maar die ellipsoïde is door de 'aardappelvorm' van de aarde niet geschikt voor Nederland. Voor elk werelddeel, zelfs elke Amerikaanse staat en elk land gebruiken cartografen daarom steeds weer een andere ellipsoïde die (alleen) op die plek van de geoïde het beste het aardoppervlak beschrijft, met de minste vervormingen. Uitgaande van deze wiskundige ellipsoïde (beschrijving) van het aardoppervlak kan vervolgens aan een projectie op een plat vlak gedacht gaan worden.





Maar wat zijn nu kaartprojecties? Stel je een lamp voor in het midden van de (doorzichtige) aarde. En stel je daarbij voor dat er net buiten die aarde een cilinder om de aarde is gebogen; het projectievlak. De lichtstralen vanuit die lamp projecteren als het ware alle coördinaten op het aardoppervlak op die cilinder. Het (uitgerolde) projectievlak wordt nu de kaart. De bolle vormen zijn nu tot een plat vlak omgevormd. Dit is het principe van elke kaartprojectie.



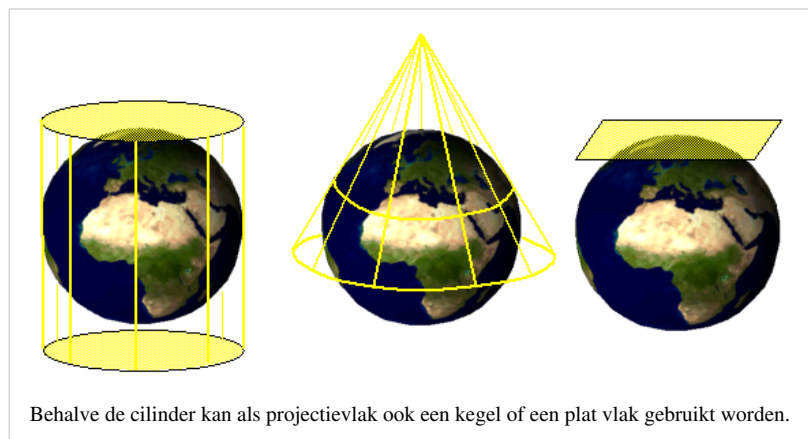
Afhankelijk van

- de exacte plaats van de lamp (het projectiepunt genoemd),
- de eigenschappen van het projectievlak en
- de definitie van de ellipsoïde die gehanteerd wordt,

ontstaan verschillende projecties, die allemaal verschillende 'platte' of 'cartesische' x- en y-coördinaten tot gevolg hebben.

Het projectievlak kan bestaan uit:

- een cilinder (bij cilindrische projecties)
- een kegel (bij conische of kegelprojecties) of
- een plat vlak (bij zogeheten azimuthale projecties).



Het projectievlak kan vervolgens de aarde raken of snijden.

Wanneer een grid (graadnet van breedte- en lengtegraden) zichtbaar is op een kaart, is redelijk te herkennen welk soort projectie is toegepast.

- Bij een cilinderprojectie komen de breedtegraden recht op de kaart terecht.
- Bij een kegelprojectie vormen de breedtegraden concentrische cirkels, dus cirkels met hetzelfde middelpunt, meestal buiten de kaart.
- Bij projectie op een plat vlak vormen de breedtegraden juist excentrische cirkels, dus cirkels waarvan het middelpunt verschuift met de breedtegraad.

Wiskundig mogen de projecties dan misschien lastig zijn, met bovenstaande voorstelling is het begrip kaartprojectie toch goed inzichtelijk te maken. Meer informatie? Zie [Kaartprojecties op Wikipedia](#) <sup>[2]</sup>. Hier is onder andere te zien wat bepaalde projecties betekenen voor bepaalde (werelddelen). In de literatuurlijst zijn meer sites en een boek te vinden over projecties en coördinatensystemen.

## Eigenschappen van kaartprojecties

Kaartprojecties kunnen onder andere beoordeeld worden op eigenschappen als (zie figuur 5.9):

- vormgetrouw (behoud van vorm, of 'conform')
- oppervlakgetrouw ('equal area')
- afstandsgetrouw (gelijke afstanden of 'equidistant')
- richtinggetrouw (of 'azimuthaal', behoudt sommige richtingen)
- behoud van kortste weg (de kortste (rechte) lijn op de kaart is ook de kortste weg over de aard-bol, bijvoorbeeld een gnomonische projectie)

Geen enkele projectie scoort perfect op alle kenmerken. Soms scoort een projectie perfect op één eigenschap. Vormgetrouw is bijvoorbeeld de Mercatorprojectie Oppervlakgetrouw is bijvoorbeeld een orthografische cilinderprojectie. Er is géén één projectie in alle richtingen vanuit elk punt afstandsgetrouw. Vlakprojecties (azimuthale projecties) geven vanuit één punt de juiste richting. Voor wereldkaarten wordt vaak een projectie gekozen die een compromis vormt tussen oppervlakte en afstandsgetrouw, zoals de Robinsonprojectie.

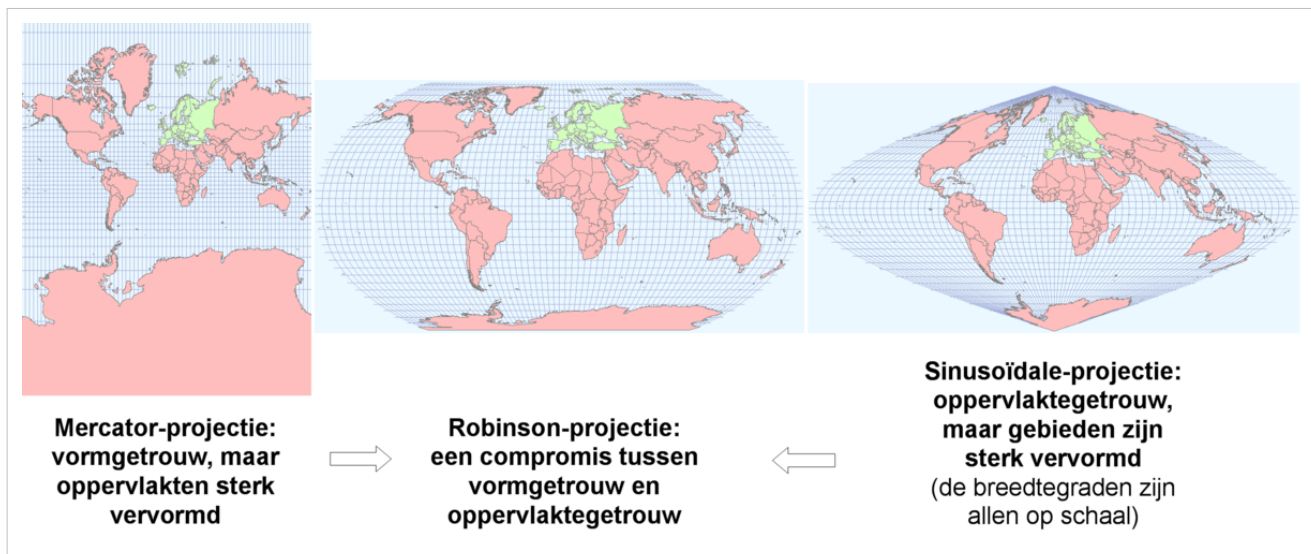
Door de eeuwen heen zijn projectiesoorten gekomen en gegaan. Gelukkig zijn er wat richtlijnen welke projectie(soorten) te gebruiken voor welk doel. In de paragraaf hierna wordt een aantal veel gebruikte projectiesoorten besproken, gesorteerd op gebied waarvoor de projectie bedoeld is.

Hieronder een (deels betwistbaar, en niet volledig) overzicht van gebruikte projecties / projectiesoorten voor bepaalde doeleinden <sup>[3]</sup>.

Projectie(soort)	Doel	Opmerkingen
RD-stelsel (een conforme, stereografische projectie)	<b>Nederland</b>	Is dé standaard in Nederland. Wijk hier niet van af. Is een conforme (vormgetrouwe) zeer nauwkeurige projectie. Wijkt pas significant (storend) af buiten Nederland. Voor wat voor kaartsoort dan ook, inclusief grootschalige kaarten en landmeetkundige toepassingen, dus ook voor weergave van delen van Nederland. Gebruik dit stelsel niet voor Europa. Zie hieronder.
'België Lambert 1972', een Conforme Kegelprojectie van Lambert	<b>België</b>	Deze heeft een centrale lengtegraad die verticaal loopt van 4,4°OL.
Lambert conforme kegelprojectie	<b>Europa</b>	Gebruik geen RD. Zorg dat de lengtegraad in het centrum van de kaart exact verticaal loopt. Neem bijvoorbeeld die van 10°OL, of die van 20°OL als het oosten van Europa ook van belang is. Andere projectie opties: Projectie van Bonne.
Stereografische projectie	<b>Poolgebied</b>	Is beter dan een Orthografische Azimuthale projectie. Een azimuthale projectie toont de aardbol vanaf een oneindig verre plek in de ruimte; die laat één helft van de aarde zien, maar is aan de randen sterk vervormd. Wordt bij de stereografische projectie als centrum niet een poolgebied, maar Nederland getoond, dan kan het beeld vreemd (of verfrissend!) overkomen. Kies zelf het centrum van de projectie. Als breedtegraad kies je voor de noord- respectievelijk zuidpool 90°(NB) of -90°(ZB), voor de lengtegraad is dat voor Europa bij voorkeur de 0-meridiaan: 0°.
Equidistante, azimuthale projectie	<b>VS</b> wegenkaarten (waar afstanden belangrijk zijn)	Dit is een afstandsgetrouwe (equidistante) projectie; de staten / VS lijkt wellicht vervormd, de afstanden worden (vrijwel) correct weergegeven. Op deze wijze voorkom je scheve conclusies, dat '10 cm snelweg op de kaart' in het noorden minder kilometers of mijlen betekent dan '10 cm snelweg op de kaart' in het zuiden.
Albers Equal Area kegelprojectie	<b>VS</b> thematische kaarten	Voor kleinere gebieden in de VS (staten) is het bij thematische kaarten gebruikelijk te kiezen voor de Lambert Conforme Kegelprojectie. Overigens, ook de (eveneens vormgetrouwe) Mercatorprojectie wordt voor zowel het weergeven van staten als van de beide continenten in Noord- en Zuid-Amerika veelvuldig gebruikt, zelfs al vervormt deze de hoge breedtegraden (Canada, poolgebied) sterk.

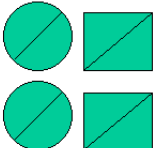
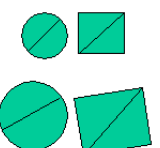
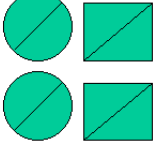

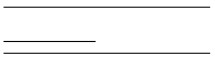
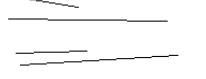
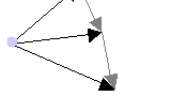

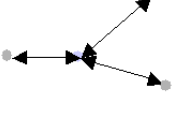
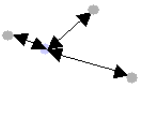
Projectie van Winkel	Weergave van de <b>wereld</b> , zowel thematisch kaarten als overzichtskaarten.	Goede tussenoplossing, is bijna oppervlaktegetrouw en vervormt minimaal, wellicht alleen de polen worden vaak vervormd weergegeven. Door gebruik van een grid (breedte- en lengtegraden om de 20° bijvoorbeeld) wordt een prettig beeld verkregen, omdat de gebruiker de bolvorm er nog min of meer in ziet. Dit is de favoriet van de bekende en befaamde Bosatlas en van de National Geographic Society.
Projectie van Robinson	Weergave van de <b>wereld</b> , zowel thematische kaarten als overzichtskaarten	Voormalige eerste keuze van de National Geographic Society. Voordelen: zie Projectie van Winkel. Nadelen: komt rekenkundig gezien lastig tot stand.

De Robinson-projectie kan worden opgevat als een compromis tussen een conforme projectie (afbeelding linksonder) en een oppervlaktegetrouwe projectie (afbeelding rechtsonder)



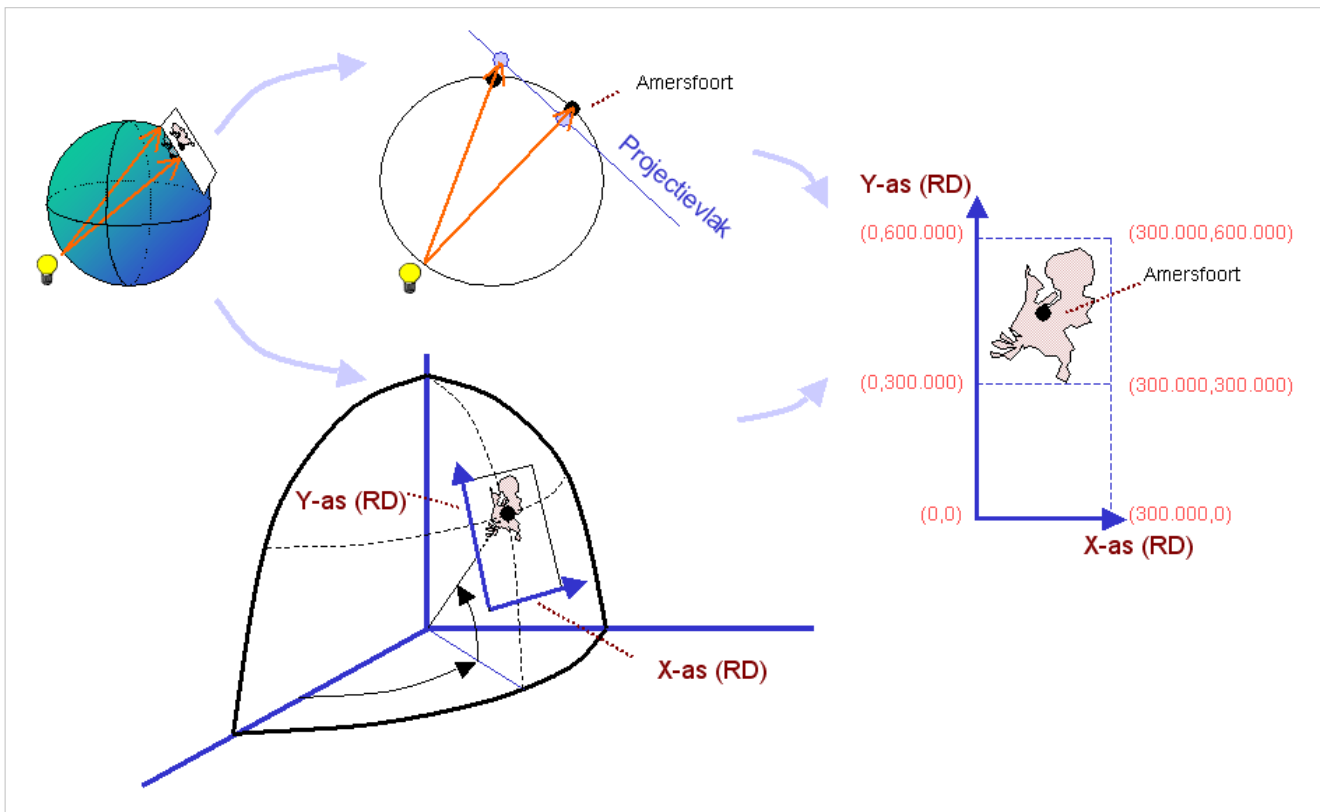
De Robinson projectie als compromis

Ten slotte is hieronder een schematische weergaven van eigenschappen van kaartprojecties. Links de oorspronkelijke objecten, rechts het geprojecteerde resultaat. Merk op dat bij de ene projectie de eigenschappen van een andere projectie *niet* waar worden gemaakt! Zo staan in de vormgetrouwe projectie de groottes van verschillende objecten niet in verhouding tot elkaar. En andersom, in de oppervlaktegetrouwe projectie zijn juist de objecten vervormd. Overigens, de linker kolom zou strikt genomen niet op dit platte scherm getoond kunnen worden, omdat hier '3D'-vormen (vormen op de globe) mee bedoeld worden.

Ongeprojecteerde ('3D') vormen op de globe:	Geprojecteerde (2D) vormen op de kaart:	Projectie eigenschap:
		<b>Vormgetrouw</b>
		<b>Oppervlaktegetrouw</b>
		<b>Afstandsgetrouw</b>
		<b>Richtinggetrouw</b> (op bepaalde plekken!)
		<b>Behoud van kortste afstand</b> (als rechte lijn)

Schematische weergave van kaartprojecties

## Geprojecteerde coördinatensystemen en het RD-stelsel



Hier is te zien hoe vanuit het geografische coördinatensysteem (links) het RD-coördinatensysteem (rechts) is gedefinieerd. Midden boven is een tweedimensionaal zijaanzicht te zien; midden onder een driedimensionaal aanzicht van de projectie. Deze projectie is niet met een cilinder, maar met een plat vlak tot stand gekomen. Het middelpunt ervan ligt in Amersfoort.

Een **kaartprojectie**, zo zagen we in het hoofdstuk hiervoor, is dus een manier om het gebogen oppervlak van de aarde over te brengen op een plat vlak; de kaart. Het coördinatensysteem waarmee die platte kaart is vastgelegd, heet een **geprojecteerd coördinatensysteem**.

In een geprojecteerd coördinatensysteem zijn de locaties (van objecten) zijn gedefinieerd door x- en y- coördinaten ten opzichte van een nulpunt.

In Nederland gebruikt men als geprojecteerd coördinatensysteem vrijwel zonder uitzondering **het RD-stelsel**.

- Voluit staat dit voor het Stelsel van de Rijksdriehoeksmeting. De coördinaten worden in meters vastgelegd. Hoe het RD-stelsel is gedefinieerd is in de figuur goed te zien. Er wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde dubbele stereografische projectie (projectie van Schreiber). Het projectievlak is een vierkant. Het middelpunt ervan - liever gezegd, het zwaartepunt - is de Onze Lieve Vrouwetoren in Amersfoort. Destijds was die toren van veraf goed te zien en dit was ongeveer het midden van Nederland. Het projectievlak raakt het aardoppervlak echter niet in Amersfoort; het vlak snijdt de geoïde (voorgesteld door ellipsoïde van Bessel, ook wel 'Bessel 1841' genoemd) met een cirkel op een afstand van 122 kilometer rondom Amersfoort. Hier is voor gekozen om de afwijkingen in heel Nederland te minimaliseren. Zou het projectievlak in Amersfoort de geoïde snijden, dan zouden de afwijkingen verder van Amersfoort af steeds erger worden. Nu worden deze afwijkingen eerlijker uitgesmeerd over Nederland; niet Amersfoort, maar alle plekken in die cirkel rondom Amersfoort hebben een minimale afwijking. De afwijking nog verder naar buiten toe is op deze wijze ook minder dan wanneer gekozen zou zijn voor het snijden van dit vlak in Amersfoort.
- Ook bijzonder is dat het projectiepunt ('de projectielamp') zich niet in het middelpunt van de ellipsoïde bevindt, maar op de ellipsoïde, recht tegenover Amersfoort, dus aan de andere kant van de wereld. Projecties

met een dergelijke positie van het projectiepunt worden ook wel stereografische projecties genoemd.

- Destijds was het middelpunt (Amersfoort) ook het nulpunt (0,0). Sinds de 70-er jaren van de vorige eeuw is het (kunstmatige) nulpunt gewijzigd, en wel richting het zuidwesten. Toevallig is dat ergens in een bos in de buurt van Parijs. Daarom wordt dit in de volksmond (onterecht) ook wel eens het 'Parijse stelsel' genoemd. De OLV-toren in Amersfoort heeft daardoor nu de coördinaten (155.000,463.000). Hier is voor gekozen om niet (meer) met negatieve coördinaten te hoeven werken, en om het verwisselen van x- en y-coördinaten te voorkomen. X-coördinaten liggen op deze wijze altijd tussen 0 en 300.000 meter, y-coördinaten liggen altijd tussen de 300.000 en 600.000 meter.
- Het RD-stelsel mag in principe alleen voor Nederland gebruikt worden; voor buiten Nederland zijn de afwijkingen te groot. Zelfs Europa met Nederland als middelpunt mag niet met het RD-stelsel in kaart worden gebracht.
- Sinds 2004 geldt voor het RD-stelsel aangepaste parameters; het RD-stelsel is toen licht verbeterd. Daardoor is het RD-stelsel (héél) licht verschoven, met enkele centimeters op bepaalde punten in Nederland. Bij het lezen van de literatuur dient hier rekening gehouden te worden.
- Daarnaast zijn er - ook na 2004 - nog steeds oude RD-conversiebestanden in omloop, en ook zijn er RD-conversiebestanden die bepaalde parameters afronden. Dit kan leiden tot decimeters verschil. Neem dus a) de jongste en b) altijd dezelfde RD-conversiebestanden.

---

**Voetnoten:**

- [1] Dit hoofdstuk is een bewerking van het hoofdstuk 'Vervolg cartografie' uit het wikiboek '*Geo-visualisatie*'; versie: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_Cartografie&oldid=139886](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_Cartografie&oldid=139886)); auteurs: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_Cartografie&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_Cartografie&action=history))
- [2] <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kaartprojectie>
- [3] Alle genoemde projecties en projectiesoorten zijn ook te vinden op het artikel Kaartprojectie op nl.wikipedia.
-

---

## B. Geo-informatie

---

### Infrastructuurplanning/Geo-informatie

---

Het begrip 'geografisch informatiesysteem' is reeds geïntroduceerd in hoofdstuk 2 van dit boek. In dit verdiepinghoofdstuk verkennen we de begrippen *geo-informatie* en *geografisch informatiesysteem* aan de hand van drie vragen: <sup>[1]</sup>

- Wat is geo-informatie?
- Hoe is een GIS opgebouwd?
- Wat kan met een GIS?

Ten slotte verkennen we de mogelijkheden van GIS in de tracéplanning aan de hand van een casus.

#### Wat is geo-informatie?

In de eerdere hoofdstukken hebben we gezien dat allerlei informatie nodig is om op juiste wijze tracés te kunnen ontwerpen en beoordelen. Het gaat hierbij om het 'in kaart brengen van de nulsituatie'. Een kaart is volgens J. Maantay en J. Ziegler een schaalmodel van de werkelijkheid, waarbij de informatie over de fysieke wereld die nodig is om die modellen op te bouwen gevormd wordt door **geo-informatie** (Engels: 'spatial data')<sup>[2]</sup>.

Geo-informatie is, kort gezegd, informatie met een ruimtelijke component. Informatie is hierbij gekoppeld aan *objecten*. Deze informatie, de objectgegevens, bestaat daarbij uit twee verschillende onderdelen:

- De **geografie**, waarin de coördinaten van de objecten - de locatie ervan op aarde in een bepaald coördinatiestelsel - worden beschreven.
- De **attributen**, waarin de objectkenmerken worden beschreven. Dit wordt ook wel aangeduid als de *administratieve objectgegevens*.

Ieder object heeft dus een *locatie* (coördinaten) en bepaalde objectkenmerken (attributen). Naast de geografische en administratieve objectgegevens kunnen bij de geo-informatie ook andere, extra gegevens worden opgeslagen, zoals:

- projectiegegevens;
  - onderlinge relaties;
  - cartografische coördinaten indien die moeten afwijken van hun geografische coördinaten;
  - topologische regels, waarmee onderlinge consistentie op attribuutwaarden en geografische kenmerken kunnen worden afgedwongen;
  - metadata, waarmee bedoeld wordt dat de gehele dataset, dus niet de individuele objecten, beschreven wordt met kenmerken als actualiteit, beheerder, betekenis van de attributen, compleetheid, geografische dekking, inwinningsschaal, enzovoort.
-

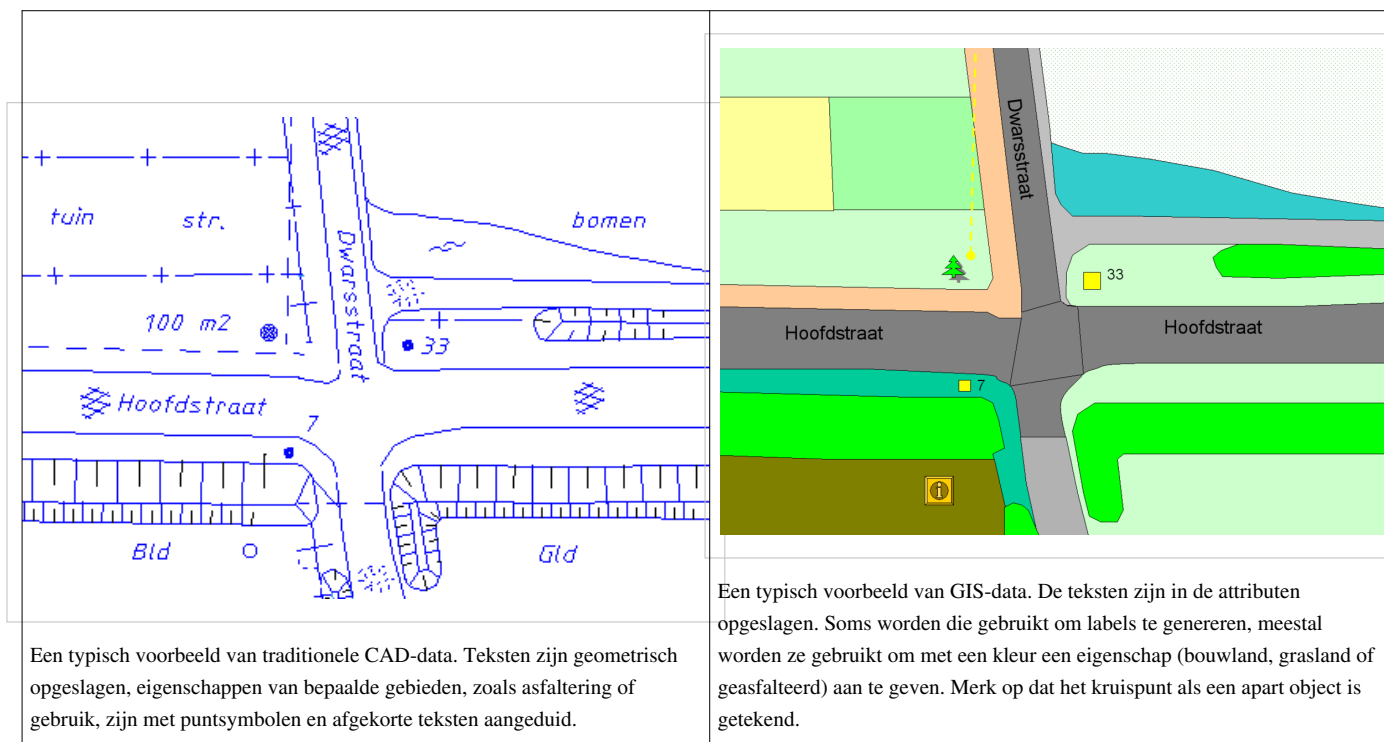
## Objecten

Informatie, in de vorm van attribuutwaarden, wordt in een GIS gekoppeld aan objecten. In werkelijkheid kan een object van alles zijn: een wegvak, een perceel, een gemeente, een transformatorhuisje... In een GIS kan dit op verschillende manieren worden gemodelleerd, afhankelijk van het type GIS (waarover later in dit hoofdstuk meer):

- Raster-GIS
- Vector-GIS

In een vector-GIS zijn de objecten gemodelleerd als punten, lijnen of vlakken. In een raster-GIS zijn de objecten vooraf gedefinieerd als 'vakken' in een raster en zijn de GIS-objecten dus niet direct gerelateerd aan de objecten (wegen, gebieden etc.) die in de werkelijkheid voorkomen.

Niet alle geo-informatie is object-georiënteerd. Zo zijn bijvoorbeeld veel digitale kaarten in een CAD-formaat getekend, waarbij lijnen en teksten los van elkaar staan. Het menselijk oog kan hieruit objecten herkennen, maar deze objecten zijn niet gedefinieerd in de data zelf.



Vaak wordt door GIS-specialisten gesproken over de term '**GIS-data**', als verbijzondering van geo-informatie. Het bijzondere van GIS-data is dat niet alleen de punten, lijnen en vlakken worden opgeslagen, ook de bij die objecten horende attributen. Vandaar dat GIS-data, boven CAD-data, ook wel 'intelligente' data worden genoemd. Daardoor zijn er binnen een GIS plotseling veel meer mogelijkheden, zowel op het gebied van visualisaties als op het gebied van ruimtelijke en administratieve analyses.

## Attributen

De 'inhoudelijke' data van een GIS bestaat uit de attributen. Dit zijn de kenmerken van de objecten, zoals bijvoorbeeld de lengte, verhardingssoort en datum van laatste onderhoud. Dit zouden de attributen kunnen zijn van een wegvak als object. In de database worden de attributen netjes gekoppeld aan de objecten. Middels een ID (dit is een Engelse afkorting, spreek uit: "ai-die") oftewel een overeenkomstig 'identificatienummer', is bekend welke regel in de tabel bij welke object in de kaart hoort.



Kolom of attribuut. Een object heeft meerdere attributen. Hier: 5 kolommen

GEOMETRIE	PUNT NUMMER ('ID')	GEMEENTE	INWONERS	OPPERVLAK	INW DICHTHEID
BLOB/Shapef...	1	Donderadeel	2000	22312	0,089637863
BLOB/Shapef...	2	Zaventher	4000	44231	0,090434311
BLOB/Shapef...	3	Schalkhoven	600	10241	0,058588029
BLOB/Shapef...	4	Werkbrug	40000	15021	2,662938553
BLOB/Shapef...	5	Averloos	3000	55027	0,054518691
BLOB/Shapef...	6	Zavelo	20000	12017	1,664308894
BLOB/Shapef...	7	Gaanderfeld	10000	17251	0,57967654

← kolom- of veldnamen of attributen  
← één record / rij: vertolkt één object (vlak / lijn of punt)  
← attribuutwaarde / celinhoud

↑ niet leesbare kolom; hierin wordt de geometrie bewaard; dit is wat je als punt, lijn of - in dit geval - vlak te zien krijgt op de kaart.

↑ ID's worden vaak automatisch gegenereerd, of kunnen worden ingevoerd, kunnen gebruikt worden om andere informatie te koppelen uit andere GIS-bestanden of databases

↑ Vakinhoudelijke gegevens dienen ingevoerd te worden, of uit een ander bestand te worden gekopieerd.

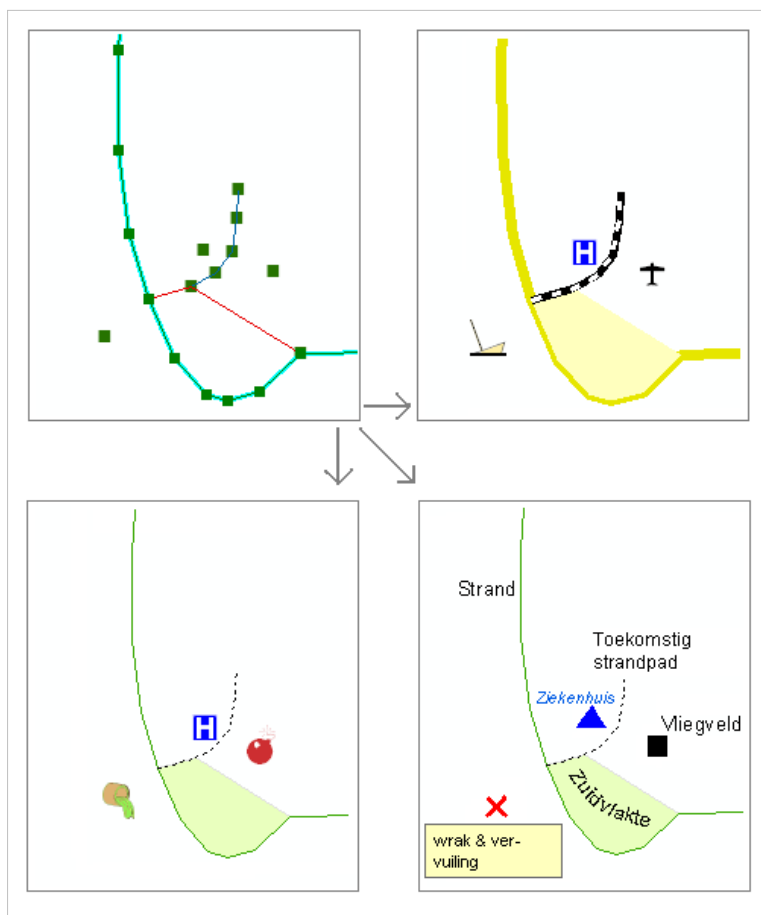
↑ Oppervlakten van vlakken (of lengtes van lijnen) kunnen berekend worden. Ook kunnen andere berekeningen of classificaties automatisch berekend worden, zoals hier het aantal inwoners per oppervlakte eenheid

**Algemeen:** Een GIS kan een selectie tonen, bijvoorbeeld alleen gemeentes groter dan 2500 inwoners. De data beschrijft dan alle gemeenten, maar de kaart toont alleen grote gemeenten. Naast de geometrie kunnen alle attributen kunnen getoond worden, zowel als label (tekst of getal) of als kleur.

Hoe objecten en hun attributen in rijen en kolommen worden opgeslagen in een GIS. Dit geldt voor vrijwel alle dataformaten van alle leveranciers, voor zowel file-gebaseerde bestanden als op databases. Het meeste zal de lezer logisch voorkomen. Maar wie nog onbekend is met GIS moet de opbouw kunnen begrijpen. Niet zozeer om een GIS-specialist te kunnen volgen, maar om het maximale uit een GIS te halen.

Bij bedrijfstoepassingen of bij zeer grote hoeveelheden administratieve gegevens wordt veel attribuutgegevens vaak opgeslagen en beheerd buiten de GIS-data, in een externe database. Slechts dat éne ID is dan voldoende om de objecten op basis van attributen uit de database juist te kunnen visualiseren. Er moet dan wel een verbinding (of on-line koppeling) tussen het GIS-pakket en die externe database zijn.

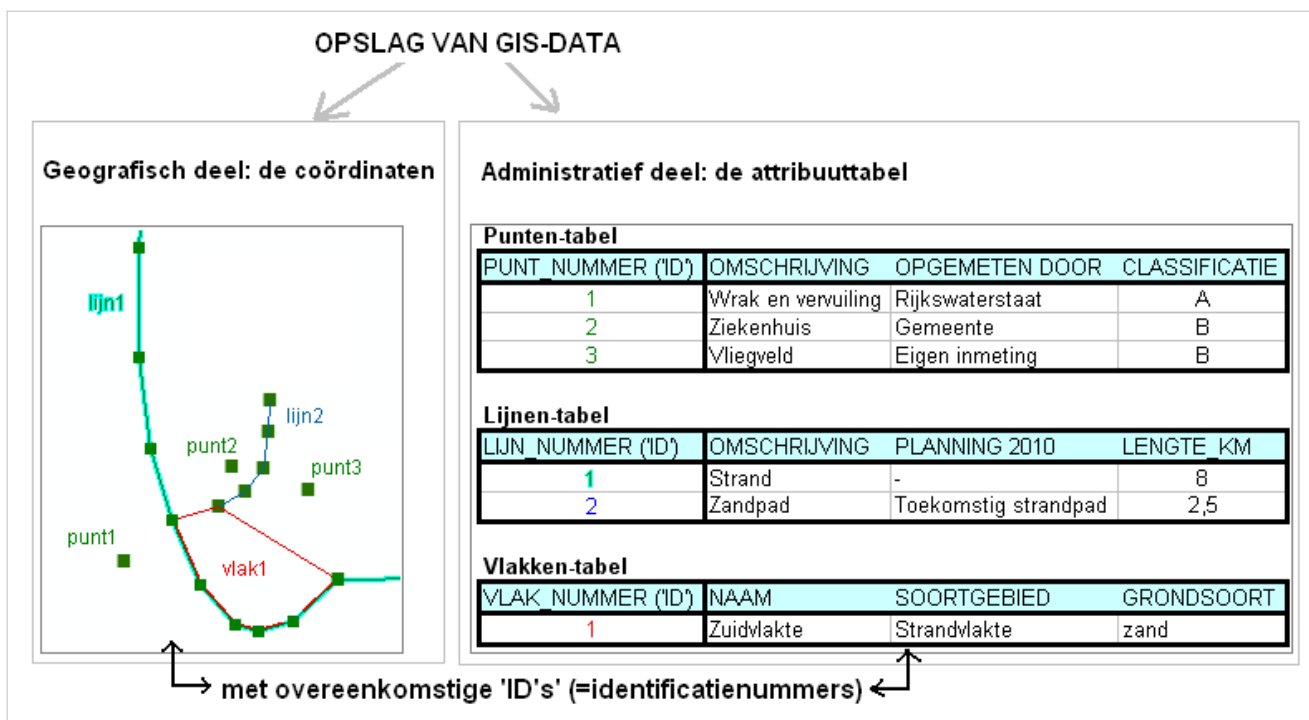
De attribuutdata in een GIS zijn niet meer en niet minder dan gegevens in een computerbestand. Pas door deze gegevens te visualiseren - deze letterlijk 'in kaart te brengen', komt de data 'tot leven'. Essentieel hierbij is steeds de koppeling object - plaats (geografie) - kenmerken.



Drie voorbeelden met dezelfde GIS-data (linksboven) als uitgangspunt. Rechtsonder zijn die attributen niet als symbolen, maar als teksten geplaatst. Pas met een GIS komt de data tot leven en ontstaat een echte kaart.

### Geografie

In het figuur hieronder wordt duidelijk dat GIS-data uit een geografische en een administratieve component bestaat:



GIS-data zoals die wordt opgeslagen in een bestand of database bestaat uit twee delen, een geografisch en een administratief deel. Of het nu punten, lijnen of vlakken zijn, de objecten die in beide delen worden beschreven zijn via een 'ID' gekoppeld.

In de geografische component wordt de geometrie beschreven, oftewel de bij de objecten behorende coördinaten van de punten of vertices (bij lijnen en vlakken). Dit is de zogenaamde topologische structuur in een GIS. Meer hierover vind je in het verdiepingshoofdstuk over Topologieën.

Ieder object, zowel in een vector- als een raster-GIS, wordt door de coördinaten gekoppeld aan de werkelijke plaats waar het object zich bevindt. Hierbij kunnen verschillende geografische coördinatensystemen worden gebruikt, zoals het voor internationale toepassingen (GPS!) gebruikte WGS-stelsel (met lengtegraden ten opzichte van de meridiaan van Greenwich en breedtegraden ten opzichte van de evenaar) en het in Nederland standaard gebruikte RD-NAP stelsel. Dit onderwerp wordt uitgelegd in het verdiepingshoofdstuk Coördinatensystemen en kaartprojecties.

## Hoe is een GIS opgebouwd?

Hierboven zijn we het onderscheid tegengekomen tussen een raster en een vector-GIS. Hoe een GIS is opgebouwd - en daarmee wat je met een GIS kunt doen - hangt sterk samen met het gekozen type GIS.

### Vector-GIS

In een Vector-GIS wordt de werkelijkheid beschreven drie objectsoorten:

- **punten**
- **lijnen**
- **vlakken.**

Een punt(object) wordt voorgesteld door één coördinaat. Het betreft dus een enkel object dat ongeacht de mate van inzoomen voor het GIS als een punt zonder afmetingen zal worden beschouwd.

Een lijn bestaat uit minimaal twee met elkaar verbonden coördinaten. Zijn het er méér dan twee dan worden de tussenliggende coördinaten vertices genoemd. Hoe méér vertices, hoe nauwkeuriger de lijn kan worden opgeslagen; De omtrek van een provincie is met 100 punten te beschrijven, maar met 1000 punten is beter wanneer ook op gemeenteniveau moet worden ingezoomd.

Een vlak (ook wel een polygoon genoemd) bestaat uit een lijn waarvan het beginpunt gelijk is aan het eindpunt; alle coördinaten ertussen behoren tot dat vlak. Er kunnen ook vlakken met gaten en zogeheten multivlakken (multipolygonen) beschreven worden. Bij multivlakken wordt bijvoorbeeld de provincie Friesland als één object gedefinieerd, dus de vlakken van het vaste land en die van de eilanden worden als één object, een regel, opgeslagen. Dit heeft onder andere als voordeel dat de naam en de afkorting van de provincie niet voor elk onderdeel van zo'n vlak hoeft te worden opgeslagen en beheerd. Maar ook is het oppervlak van de gehele provincie met dat ene multivlak direct te berekenen in een GIS.

### Raster-GIS

Bij **rasterdata** wordt de attributwaarde gekoppeld aan voorgedefinieerde elementen van een (meestal) regelmatig raster - ook wel aangeduid met het Engelse begrip *grid*. Een rastercel wordt ook wel pixel genoemd, niet te verwarren met de pixels van een beeldscherm. Pixel is afgeleid van het Engelse 'picture element'.

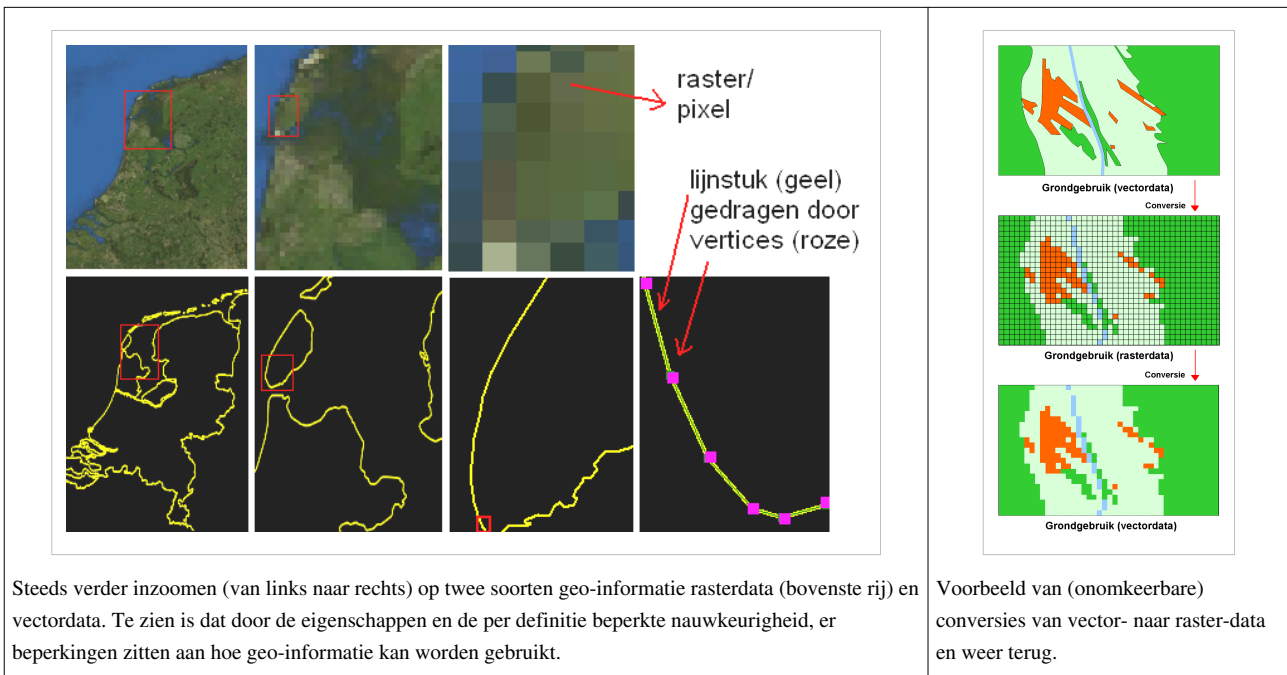
Een object in de werkelijkheid beslaat meerdere rasterelementen in een raster-GIS. Een object kan dus nooit nauwkeuriger dan de grootte van één pixel worden beschreven. In een raster-GIS wordt een lijn weergegeven door meerdere losse pixels (zie de rivier in het middelste plaat rechts). Zoals het is opgeslagen is het geen lijn, slechts visueel is dit als lijn te herkennen, omdat de individueel opgeslagen 'lijn/rivier' pixels met dezelfde kleur zijn gevisualiseerd. Merk op dat in het voorbeeld de rivier ergens ook geen aangrenzende pixels kent!

In elke pixel wordt één of meerdere attributen gedefinieerd, zoals in het voorbeeld de grondgebruiksklasse. Elke pixelwaarde is onafhankelijk van waarde in de pixel daarnaast, en wordt dus ook onafhankelijk van de andere waarde opgeslagen. Rasterbestanden zijn dan ook vaak groter dan vectorbestanden, waarin de waarde van een groot vlak slechts één keer wordt opgeslagen.

Uit het bovenstaande blijkt al dat een rasterformaat minder geschikt is om lijnen en vlakken als samenhangende ruimtelijke objecten weer te geven. In sommige gevallen zijn de brondata echter zelf in rasterformaat:

Een digitale satelliet- of luchtfoto, waarin de attribuutwaarde bestaat uit de gemeten kleurintensiteit (foto) of intensiteit in een bepaalde band van het elektromagnetisch spectrum (satelliet).

Een kaart als 'intelligente' bewerking van satellietdata, waarin elke rastercel een attribuut vertolkt dat ook een fenomeen beschrijft, zoals het landgebruik in het voorbeeld hieronder.



In de rechter figuur hierboven zie je een voorbeeld van hoe de kwaliteit van data achteruit kan gaan bij conversies. Hier betreft het eerst een 'vector-naar-raster' conversie, daarna een 'raster-naar-vector' conversie.

- Doordat bij de eerste conversie een grof grid is gebruikt, is de middelste rasterdata wellicht niet geschikt voor bepaalde gedetailleerde uitspraken.
- Het is ook mogelijk dat rasterdata geconverteerd wordt naar vectordata. Wanneer dat het geval is lijkt de nauwkeurigheid misschien groter geworden; er kan op worden ingezoomd zonder dat men de grootte van de originele cellen ziet. Merk op dat in dit voorbeeld de rastergrootte erg groot is, dat de rivier als vlak niet meer één gesloten vlak is en dat (veel detail bij de) bebouwing verdwenen is. Bij oppervlakte berekeningen van het bos zou een dergelijke kaart misschien nog voldoende zijn.
- Bij zowel raster- als vectordata is het ver kunnen inzoomen gelimiteerd. Bij ver inzoomen op rasterdata is de onnauwkeurigheid als snel te zien door de blokkerige structuur. Bij vectordata is de onnauwkeurigheid niet te zien: de objecten zijn in vlakken of lijnen.
- Er gaat altijd informatie verloren, deze kan beperkt worden bij een kleine celgrootte van het raster.

Tot nu toe hadden we het steeds over twee-dimensionale geo-informatie, waarin punten, lijnen en vlakken zowel als vectordata, als als rasterdata kunnen worden opgeslagen. Wanneer drie-dimensionale gegevens als raster worden opgeslagen, kan dat niet met 2-dimensionale (vierkante) vlakjes, maar moet dat met (rechthoekige) kubusjes. Sterk ingezoomd op zo'n model zal je die kubusjes ook kunnen zien. Deze kubusjes worden voxels genoemd. Voxels is een samentrekking van de twee Engelse woorden 'volume' en 'pixels'; oftewel een 'pixel met een volume'. Je zal deze term en dergelijke bestanden alleen tegen komen als je veel met hoogtemodellen (zie ook de figuur) gaat werken. Niet alle GIS-software-pakketten kunnen met voxels werken.

### Toepassing van Rasterdata:

Rasterdata:

- dient vaak als ondergrond;
- wordt gebruikt wanneer je de lijn niet wilt prijsgeven (bijvoorbeeld als commerciële partij), opdat derden jouw data niet kunnen gebruiken voor nauwkeurige analyses. De rasterondergrond is dan ook vaak goedkoper dan de originele vectorbestanden die ten grondslag liggen aan de rasterdata;
- wordt gebruikt wanneer de gebruiker, zeker bij verder inzoomen in een GIS, geen schijnnaauwkeurigheid wilt meegeven;
- gebruik je als de data nu eenmaal ook per grid (pixel, vierkant) is ingewonnen, zoals bij luchtfoto's, satellietbeelden en remote sensing, of wanneer deze gegevens op dit niveau zijn berekend middels GIS analyses met een bepaalde gridgrootte, denk aan de kans op erosie in vakken van 100 bij 100 meter, of de gemiddelde regenval in het stroomgebied van de Rijn in vakken van 1 km bij 1 km.



Voorbeeld digitaal hoogtemodel met hoogtelijnen. Een digitaal hoogtemodel (of terreinmodel) kan ook gebaseerd zijn op vectoren (mesh) als op een raster. In het laatste geval zijn deze rasterpunten zijn niet twee- maar drie-dimensionaal en heten daarom niet pixels (2D), maar voxels (3D). Zouden we hier ver op inzoomen, dan zouden we die zéér kleine kubusjes kunnen zien, allen met verschillende kleuren.







## Wat kan met een GIS?

De belangrijkste soorten toepassingsmogelijkheden van GIS-software zijn:

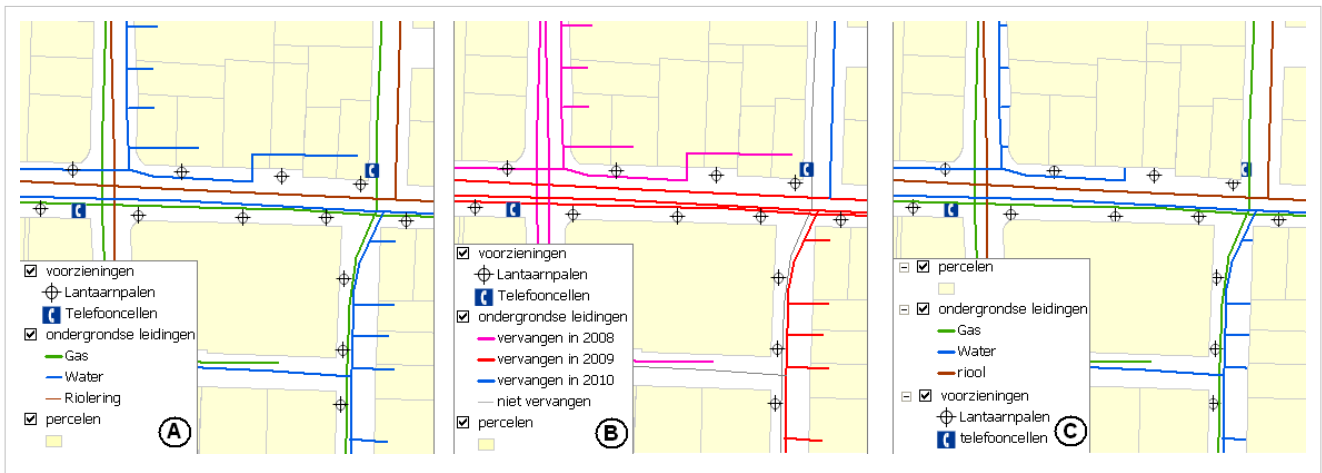
1. **Visualisatie** van informatie die op een locatie betrekking heeft. Dit is de bekendste bijdrage van GIS.
2. **Analyses** waarbij selecties van ruimtelijke objecten worden bepaald op basis van nabijheid, overlap of mogelijke verbindingen via een (wegen)netwerk van andere objecten.
3. **Berekeningen** waarbij - geheel geautomatiseerd - aan objecten afstanden, gebiedsbeschrijvingen worden toegekend, op basis van nabijheid of overlap met andere gebieden. Dit is te zien als verrijking van informatie, en maakt het beheer van informatie door de beherende instantie daarvan vaak veel efficiënter.
4. **Planning en voorspelling.** Bouwprojecten kunnen begeleid worden. Door kaarten van bodem, klimaat, helling, grondgebruik te combineren kan erosie voorspeld worden, en op basis van sociaal-economische thema's kunnen gunstigste locaties voor bedrijven, wegen, stations en natuurgebieden bepaald worden.
5. Het **beheer** van geo-informatie. Dat wil zeggen, de totstandkoming van geo-informatie en wijzigingen daarna verwerken.

1 tot en met 4 zijn toepassingsmogelijkheden waarbij het GIS ook als zogenaamd **decision support system** (beleidsondersteunend systeem) wordt gebruikt.

## Welke vragen zijn aan een GIS te stellen?

Welke vragen zijn aan een GIS(-viewer) te stellen? <sup>[3]</sup>			
	functie	vraag	voorbeeld
	<b>identificatie</b>	<b>Wat is daar?</b> Wat is de naam, bouwjaar of status van dat object / plaats?	Door te klikken met een muis op het object, of door een tekst in de kaart. De informatie van alle objecten uit alle beschikbare kaartlagen op die locatie aanwezig zijn kan getoond worden.
	<b>locatie</b>	<b>Waar is wat?</b> Waar is het object met de naam ...	Door de naam in te voeren in een zoekveld, waarna er automatisch wordt ingezoomd op de ligging van het object en zijn omgeving.
	<b>optimale route</b>	<b>Hoe kan ik...?</b> 1) Wat is de kortste of snelste route van A naar B of 2) waar moet een weg worden aangelegd van de kust om of door een steil gebergte naar een plek in het binnenland...	1) Door de locaties of namen van A en B in te voeren, en door de beschikking te hebben over een netwerk van wegen met bijbehorende snelheden en bewegingen. De naam in te voeren in een zoekveld, waarna er automatisch wordt ingezoomd op de ligging van het object en zijn omgeving. 2) Door een kaart van het gebergte en zijn omgeving te maken met voor elke plek (bijvoorbeeld elke hectare) kenmerken als steilheid, ontginningskosten en aanlegkosten. Hierna kan een GIS de goedkoopste aan te leggen route berekenen.
	<b>patroon</b>	<b>Hoe zijn ... en ... ruimtelijk gerelateerd?</b> of welk patroon bestaat er tussen ...? 1) Welke relatie is er tussen de spoorlijn Zwolle - Amersfoort en de A28? 2). Welke ufo-meldingen liggen in de provincie Utrecht?	1) Door beide wegen te selecteren, kunnen onder andere de locaties berekend worden waar ze elkaar kruisen: Ze kruisen elkaar drie keer, bij Nijkerkerveen, Harderwijk en Nunspeet. En ze liggen maximaal 8,4 kilometer uit elkaar. 2) Door kaart locaties van ufo-meldingen over de provincie Utrecht te zetten, worden automatisch die meldingen geselecteerd in een lijst en op de kaart. Nog een voorbeeld: 3) Welke gebieden stromen onder water na 3 uur wachten, een gat in de dijk op die plek en een waterstand van +0,8 meter boven NAP. Het GIS berekent vervolgens op basis van ingevoerde stroommodellen, de plek van de dijkdoorbraak en de hoogtegegevens in de polder welke gebieden onder water lopen. Overigens, vaak kunnen bepaalde relaties niet door de computer / het GIS zelf worden herkend, maar door ze in beeld te brengen is snel te zien waar wat voorkomt. Of er een relatie is tussen aardchokken en mijnbouw is vrijwel niet te berekenen. Het is wel te onderbouwen door de beide thema's (kaarten) mijnbouwlocaties en locaties van aardchokken ruimtelijk in beeld te brengen. Zo is door een wetenschapper te herkennen of aannemelijk te maken dat de lichte aardchokken in Noord-Nederland gerelateerd zijn aan mijnbouwactiviteiten (zout- en of aardgaswinning).
	<b>trend</b>	<b>Wat is er veranderd sinds...?</b> Wat is er de laatste 20 jaar gewijzigd, wat zal er over 20 jaar aanwezig zijn?	Door de beschikking te hebben over historische, huidige en geplande data (grenzen van bebouwde kommen van 1980, 2000 2020), kan getoond worden waar verschillen zich bevinden, in welke mate en in welke richting het fenomeen (in dit geval de stadsgrenzen) zich verplaatst. Via modellen is deze trend door te vertalen naar benodigde wegcapaciteit of mogelijke knelpunten.
	<b>model</b>	<b>Wat als...?</b> Wat gebeurt er als de weg hier wordt afgesloten?	Door de beschikking te hebben over een netwerk, kunnen alternatieve routes berekend worden. Of de hoeveelheid verkeer kan nu niet meer door de wijk, maar moet om de wijk, waardoor in de straat door de wijk het fijnstofgehalte onder het maximaal toelaatbare richtlijn komt, maar elders er ruim bovenkomt. Indien het GIS-model ook over aantallen inwoners beschikt, is te berekenen voor hoeveel mensen dit een vooruitgang is, en voor hoeveel mensen een achteruitgang is; misschien wonen de mensen bij de rondweg verder van de vervuilende weg vandaan dan in de wijk.

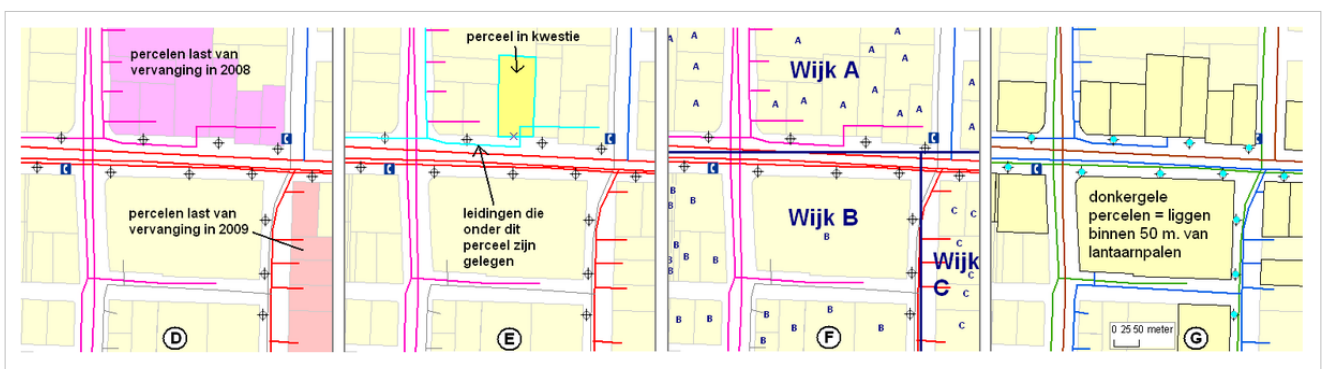
Met een aantal voorbeelden uit de gemeentelijke wereld wordt dit hieronder verder duidelijk gemaakt. Dit gebeurt zonder hierbij de indruk te willen wekken een volledige opsomming van alle mogelijkheden van een GIS te noemen. Wel zal de kracht en verscheidenheid van GIS in zijn volledige breedte duidelijk worden. Het voorbeeld komt uit de beheerstaken van de gemeente, die verantwoordelijk is voor het beheer van de openbare ruimte, zoals lantaarnpalen, de ondergrondse leidingen, en communicatie met de rechthebbenden van de percelen.



Hoe een kaart met één wijziging van de legenda kan wijzigen. De data-laag 'ondergrondse leidingen' is bij kaart A gevisualiseerd op soort, en bij kaart B gevisualiseerd op vervangingsjaar. Bij kaart C zijn de kaartlagen in de verkeerde volgorde gevisualiseerd. Vlakken dienen in het algemeen als eerste ('onderaan') getekend te worden.

**Ad Visualisatie:**

- In de figuur hierboven is te zien van hoe data-lagen in een GIS of GIS-model opgenomen zijn. Tezamen vormen ze een kaart. De informatie (lees: objecten) uit de datalagen wordt op het scherm getekend in een bepaalde volgorde; van onder naar boven.
- Bij **kaart A** kan de gemeente zien welke leidingsoort waar ligt en in welke straten lantaarns zijn.
- Bij **kaart B** is - dankzij een legendawijziging waarbij de data zelf niet wijzigt - te zien welke leidingen wanneer vervangen dienen te worden. De kleur staat plotseling niet meer voor een leidingsoort, maar voor een jaartal. De onderste kaartlaag - in dit voorbeeld bij kaart A en B: 'percelen' - wordt dus het eerst getekend. Datalagen met vlakken, zoals percelen, staan daarom vrijwel zonder uitzondering onderaan, lijnen daar boven en data-lagen met punten staan daar weer boven. Anders zouden de datalagen (vaak thema's of - foutief - kaartlagen genoemd) met vlakken de symbolen bedekken en onzichtbaar maken.
- Dit laatste is te zien in **kaart C**. Leuk detail: merk op dat in het GIS-model de ondergrondse leidingen 'boven' de percelen liggen... Zonder deze 'truc' - lees: zonder de werkelijkheid 'geweld aan te doen' - zouden ondergrondse leidingen nooit gevisualiseerd kunnen worden.



Vier toepassingsvoorbeelden van GIS. D = Welke percelen hebben last leidingen die in 2008 worden vervangen?; E = Welke leidingen liggen onder een bepaald perceel?; F = Bepaal de wijknummers voor alle percelen. G = Welke percelen liggen binnen 50 meter van een lantaarnpaal?

**Ad Analyses:**

- **Kaart D:** Wanneer een leiding vervangen moet worden, is het handig - voor het op de hoogte stellen van de betrokken bewoners - om te weten welke percelen hiermee gemoeid zijn. De betrokken percelen kunnen (per jaar of per leidingsoort) berekend worden. Met een GIS (lees: door het weten van de locaties van zowel de

percelen als de leidingen) kunnen dergelijke zaken vrijwel met één druk op de knop gevisualiseerd en berekend worden. Zonder een GIS had de gemeente alle percelen aan alle leidingen moeten koppelen, bijvoorbeeld in een relationele database. Dat was veel kostbaarder en lastiger te beheren geweest.

- **Kaart E:** van één perceel kan automatisch berekend worden welke soort objecten (hier: leidingen) er onder liggen. Dat kunnen er meerdere zijn, één, of géén. Ook dat laatste is een antwoord!

#### **Ad Berekningen:**

- **Kaart F:** Wanneer de gemaakte analyses worden weggeschreven in de database (bij de geo-informatie wordt opgeslagen) is sprake van verrijking van data. Bij kaart F is de data laag 'wijken' over de eerder getoonde kaart 'heen gelegd'. Met één 'druk op de knop' zijn alle percelen uit de database aangevuld met het 'attribuut' (kenmerk) "wijknummer". De GIS bespaart op deze wijze veel invoertijd bij de beheerders en de kans op fouten neemt af.
- **Kaart G:** Hier is te zien hoe percelen worden geselecteerd die binnen 50 meter van lantaarnpalen liggen. Wanneer hier bijvoorbeeld onderhoud bij moet worden gepleegd, of de kleur verandert van wit naar neon, dan zijn die omwonenden 'met een druk op de knop' bekend, zonder handmatige berekeningen.

#### **Ad beheer:**

- Met beheer wordt bedoeld, inwinning, controle, invoer, aanpassingen en verwerking van verkregen data tot dat deze maximaal geschikt is voor geautomatiseerde verwerking. In de paragrafen 'Objectsoorten en opslag van geo-informatie' en 'Het bijzondere van GIS-data: de attributen' wordt verder toegelicht hoe dit in zijn werk gaat. In de paragraaf hiervoor zagen we al een reden waarom beheer van data soms makkelijker in de GIS kan gebeuren dan met andere (teken- of database) systemen; door bepaalde berekeningen kunnen gegevens eenvoudiger en/of met minder fouten ingevoerd worden.

#### **Ad planning en voorspelling:**

- Eerder in dit hoofdstuk is het voorbeeld aan bod gekomen hoe bepaald kan worden hoe varianten van een nieuwe weg om en dorp berekend kunnen worden. De GIS-specialisten (vaak van ingenieursbureaus) gebruiken daartoe hellingkaarten, kaarten met juridische beperkingen, en natuurwaardekaarten om te bepalen welke wegen en varianten mogelijk zijn, en wat de varianten kosten qua natuuroffering en qua geld. Milieueffectrapportages zijn hier een mooi voorbeeld van. Als het gaat om voorspelling: hoe snel en waar een polder het eerst onderloopt is te bepalen met een GIS, waardoor een evacuatieplan beter kan worden geoptimaliseerd. Ook erosie in Limburg kan zo goed worden voorspeld.

### **Wat kan niet met GIS? <sup>[4]</sup>**

Voor veel typische cartografische toepassingen, voor analysedoeleinden, voor illustraties in kranten, op het web, in het bedrijfsleven, en of de toepassing nu statisch of zeer dynamisch is, in veel gevallen kan een GIS hier prima bij gebruikt worden.

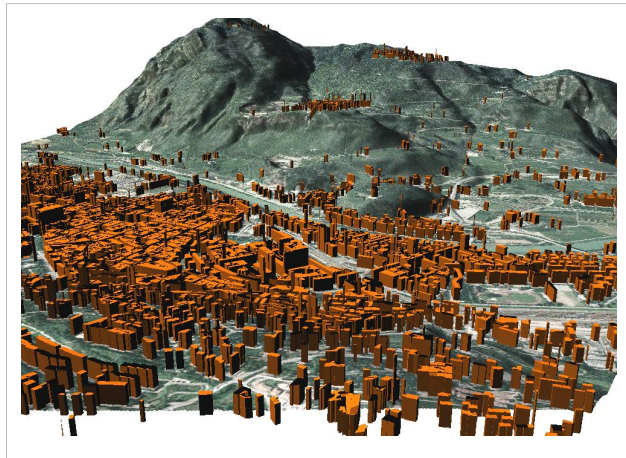
GIS is echter niet een oplossing voor alles. Er zijn cartografische wensen die beslist niet of maar ten dele met GIS-pakketten kunnen worden beantwoord. Zo zijn de visualisatiemogelijkheden van een pakket als Illustrator of specialistische kaart-software <sup>[5]</sup> veel groter, terwijl Bouw Informatie Management Systemen (BIM) geschikter zijn voor het integraal beheer van (3D) gebouwgegevens.

Dit kan wel met een GIS:





Gemaakt met GIS. Tegenwoordig worden (stads)plattegronden met GIS gemaakt. 10 jaar geleden geloofden cartografen niet dat dit goed mogelijk zou zijn. Er zijn zelfs GIS-pakketten die zowel geografische als cartografische ligging bijhouden. Ook de symbologie is cartografisch sterk verbeterd. Wel zijn nog steeds handmatige nabewerkingen nodig om wat ingewikkeldere (topografische) kaarten te perfectioneren.

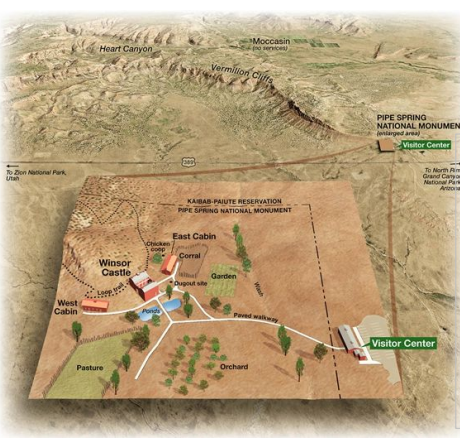


Gemaakt met GIS. 3D-visualisatie van de hoogte van gebouwen. De hoogte van gebouwen - en in mindere mate ook de hoogte van de ondergrond - is overdreven weergegeven omwille van de duidelijkheid. Behalve gebouwen zou ook de mate van vervuiling of de bevolkingsdichtheid op deze wijze weergegeven kunnen worden.

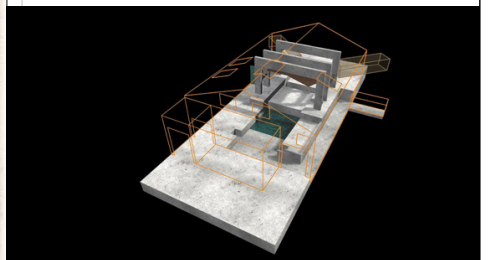
Dit kan slechts gedeeltelijk of niet met een GIS:



Dit had gemaakt kunnen worden met een GIS (zie ook afbeelding hiervoor), echter het is gemaakt met een CAD/CAM (architectonische / ontwerp-) softwarepakket. Dat is te zien aan de zijanten / raampjes op de gebouwen.



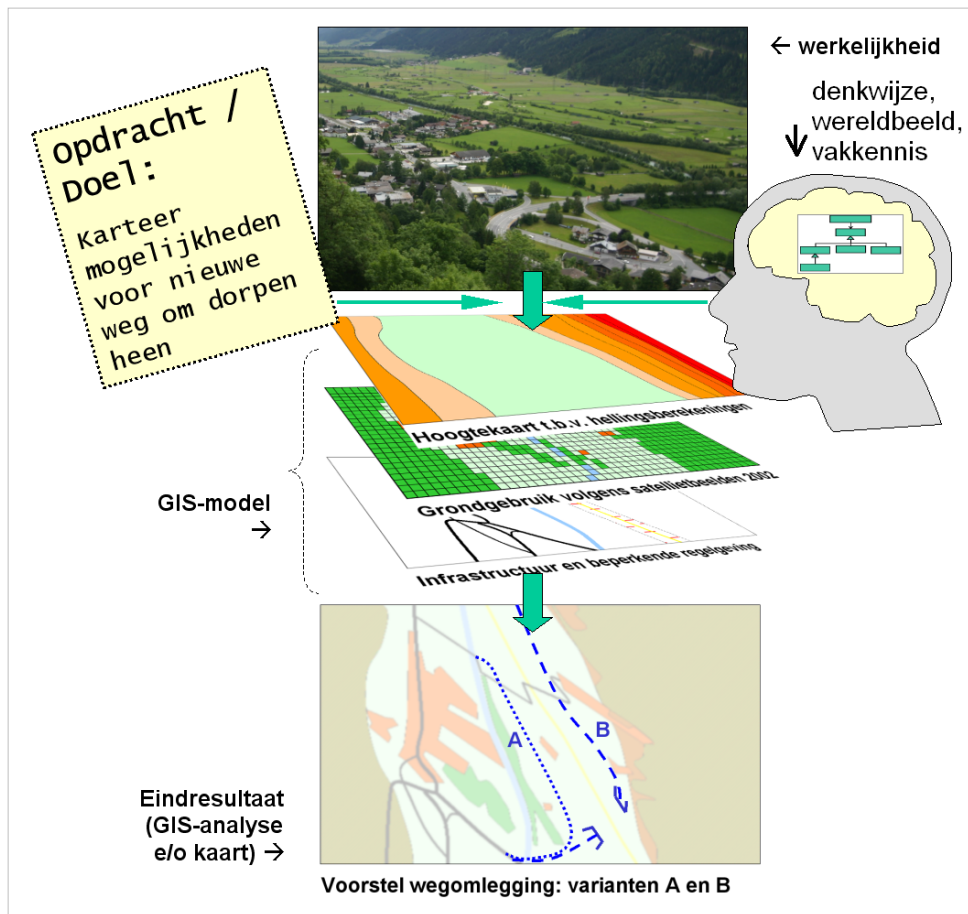
Dit soort situatie-kaarten (festivalterreinen, attractieparken) zijn zo specifiek, dat ze beter gemaakt kunnen worden met een grafisch tekenpakket. Wellicht zijn delen er van met een GIS gemaakt (de 3D-kaart op de achtergrond bijvoorbeeld).



Een draadmodel waarvan de vlakken gedeeltelijk gevuld zijn. Gemaakt met CAD/CAM (architectonische / ontwerp-) softwarepakketten. Door deze pakketten zijn vaak ook direct de beschikbare hoeveelheden glas, kozijn, beton en isolatiemateriaal te berekenen. Ook direct na een kleine wijziging!

## Voorbeeldcasus: een tracéplanningsprobleem in Oostenrijk

We besluiten dit hoofdstuk met een voorbeeld hoe GIS gebruikt kan worden bij een concreet tracéplanningsprobleem. In dit geval gaat het om het tracé van een nieuwe randweg om een dorp, gelegen in een Oostenrijks dal.



Kartering van een smal Oostenrijks dal met te veel wegverkeer door het dorp.

Kijk eens naar het figuur met de foto van een Oostenrijks dal. Hier is de plaats van een GIS-model te zien bij de totstandkoming van een GIS-opdracht. De GIS-opdracht was simpel; laat zien waar de mogelijkheden zijn om een weg aan te leggen om het dorp heen, gezien alle daar geldende beperkingen. Met de nodige vakkennis (het brein rechtsboven) van een planoloog of fysisch geograaf worden de benodigde informatielagen in stelling gebracht. Zoals maximaal mogelijke hellingshoeken, belemmerende regelgeving, bebouwing, enzovoort. Merk op dat al deze input (informatielagen) een ruimtelijke component hebben. Zelfs regelgeving is in een informatielaag weer te geven.

Tezamen vormen deze informatielagen het belangrijkste deel van het GIS-model. Het GIS-model wordt gebruikt als een modelmatige representatie van de werkelijkheid, op basis van hoe tegen de werkelijkheid aan wordt gekeken. Dat is dus een model met een bepaald (en beperkt) doel. De output / de kaarten die ermee gemaakt kunnen worden zijn dus ook per definitie beperkt. Merk op dat het GIS-model in de figuur niet alleen uit kaarten bestaat, maar ook uit (de mogelijkheid tot) berekeningen. In de output is namelijk ook het begrip steilheid nodig; deze wordt in het model berekend. De steilheid is door een GIS vanuit de informatielaag 'hoogte' op elk punt berekend. Dit was nodig om te kijken waar de steilheid niet te groot zou zijn.

Soms lees je dat het ontwerpen van een GIS-model (of de fysieke database ervan, of het verzamelen van een set data nodig voor een kaart) hetzelfde is als het zoeken naar de beste representatie van de werkelijkheid buiten. Eigenlijk is dat zéér fout. Omwille van kostenefficiëncy én om moeite te besparen ga je namelijk vooral niet 'alles wat je buiten ziet' in kaart brengen. Je zult nét zo nauwkeurig data willen inwinnen, of die data aanschaffen, die nét nog voldoende

is voor het beantwoorden van je vraag. Wat wél bedoeld wordt, is dat de werkelijkheid buiten - voor zover die nodig is voor het beantwoorden van vragen - zo goed mogelijk beschreven moet worden.

## Analysemogelijkheden met een GIS

In de bovenstaande casus is kort beschreven hoe een GIS kan worden gebuikt in een tracéplanningsprobleem. Om de volledige potentie te kunnen gebruiken, is echter meer kennis gewenst van de ruimtelijke analysemogelijkheden van GIS en de achterliggende topologische structuur die dat mogelijk maakt. Het derde en laatste verdiepingshoofdstuk, Topologische structuur en ruimtelijke analyse, gaat nader hierop in.

---

### Voetnoten:

- [1] Dit hoofdstuk, met uitzondering van de paragraaf *Wat kan niet met een GIS*, is een bewerking van delen van het hoofdstuk *Inleiding GIS* uit Nijeholt e.a. (2010), Handboek Geo-visualisatie. Zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding\\_GIS&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding_GIS&action=history)) voor een volledig overzicht van de auteurs.
  - [2] *GIS for the Urban Environment* J. Maantay en J. Ziegler, 2006, blz 25.
  - [3] naar Kraak en Ormeling (2003) *Cartography, Visualisation of Spatial Data*, 2e editie. Pearson Education, blz 7 en 8.; *Understanding GIS: the ArcInfo Method*. ESRI press, 3rd Edition, 1995, Redlands California, US, blz 1-7. en Meetkundige Dienst RWS (2000), *Theoretische Aspecten van GIS, Basisboek GIS*; versie september 2000, blz 13-14
  - [4] Deze paragraaf is een bewerking van de inleiding van *deel A: Theorie* van Nijeholt e.a. (2010), Handboek Geo-visualisatie. Zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Deel\\_A:\\_Theorie&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Deel_A:_Theorie&action=history)) voor een volledig overzicht van de auteurs.
  - [5] Zie bijvoorbeeld in het Handboek Geovisualisatie onder overige informatie: [http://www.wikibooks.org/wiki/Geo-visualisatie/Overige\\_informatie](http://www.wikibooks.org/wiki/Geo-visualisatie/Overige_informatie)
-

---

# C. Topologische structuur en ruimtelijke analyse

---

## Infrastructuurplanning/Topologie

---

Topologie is een belangrijk kenmerk van geografische informatiesystemen. Het maakt het mogelijk om allerlei soorten analyses te doen, zoals overlay-, buffer- en netwerkanalyse (zie hoofdstuk 10: Toetsing). Bovendien kunnen topologieregels worden gebruikt om inconsistenties in GIS-kaartlagen op te sporen, zoals bijvoorbeeld het niet juist aansluiten van twee aangrenzende gebieden.

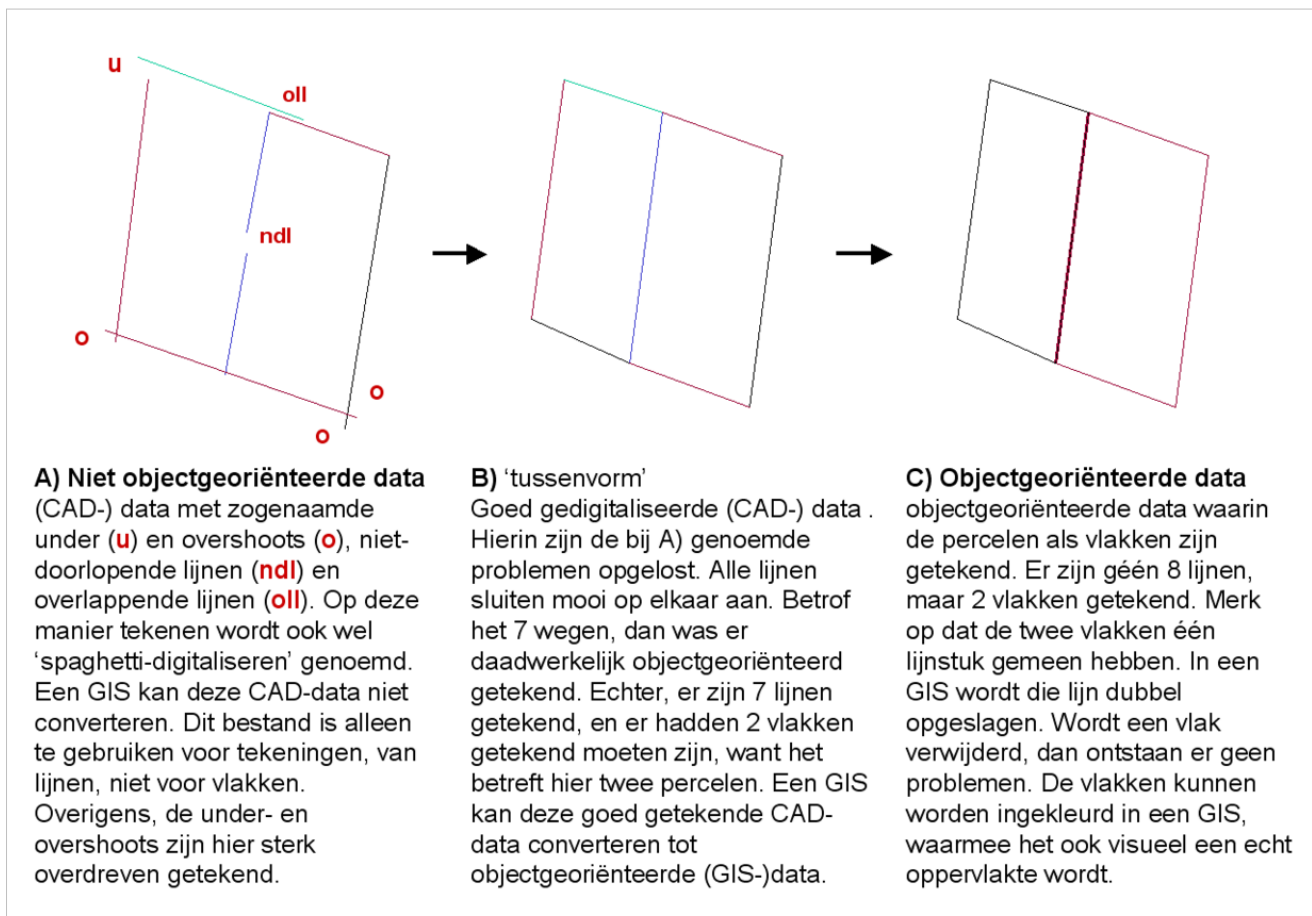
### Topologische verbanden <sup>[1]</sup>

Een belangrijk kenmerk van geoinformatie is dat tussen de verschillende objecten topologische verbanden bestaan. Het begrip topologie heeft betrekking op de onderlinge ligging van objecten. De topologie (of topologische structuur) van een GIS-bestand kan worden omschreven als de set van regels over hoe objecten (punten, lijnen, vlakken) onderling verbonden dienen te zijn, op elkaar dienen aan te sluiten, welke richting zij dienen te hebben en hoeveel exemplaren (nul, één of meer) van het ene in het andere mogen liggen. Een iets nettere definitie is 'het geheel van regels hoe onderling bij elkaar horende geografisch objecten - de punten, de lijnen en de vlakken - hun geometrie delen' (zie bovenstaande figuur).

Voor een GIS kunnen topologieregels aangewend worden om bestanden te controleren. Dit kan achteraf gebeuren, maar ook tijdens het tekenen zelf. Topologie gaat verder dan objectgerichtheid. Topologie beschrijft niet alleen dat de objecten (bijvoorbeeld de lijnen die wegen voorstellen) niet mogen overlappen, maar ook dat zij beginnen bij een andere weg, bij een kruispunt, dat zij wellicht eenrichtingsverkeer hebben, en dergelijke. Door topologische (controle- en of teken-) tools, is een bestand dat voor navigatiedoeleinden gebruikt wordt, van zo hoge kwaliteit dat de gebruikers 'nooit' de verkeerde kant op worden gestuurd.

Een voorbeeld: op het oog is het misschien duidelijk dat op een kaart een huis A, gelegen in Wijk B, via de wegen C, D en vervolgens E, naar huis F in Wijk G kan komen. Voor een GIS betekent dit dat de wegen C, D en E elkaar *moeten* raken, dat huis A in (en niet ernaast!) het vlak van Wijk B moet liggen, en dat huis F in Wijk G moet liggen. Dit kan exact worden afgedwongen door die topologische regels. Een huis ligt in een wijk, niet op een weg of in het water. Een weg kent een rijrichting en komt bij minimaal één andere weg uit. Die rijrichting is nodig om te zien of anders niet een andere route bereden had moeten worden. Behalve voor navigatiedoeleinden is dit ook handig voor netwerkanalyses, het plannen van optimale busroutes, en dergelijke.

## Topologie bij het digitaliseren van kaarten<sup>[2]</sup>



Wel of niet objectgeoriënteerd tekenen bepaalt de waarde ervan voor een GIS. In dit voorbeeld zijn twee aangrenzende kadastrale percelen op drie verschillende wijzen getekend. Links zijn **lijnen** getekend, rechts zijn **objecten** getekend (objectgeoriënteerd).

Met name bij CAD-data en handmatige digitalisatie van bestaande kaarten en tekeningen worden lijnen van objecten niet altijd netjes exact op elkaar aangesloten, zogeheten **undershoots**. Dat is ook niet erg wanneer deze data 'slechts' voor visualisatie wordt gebruikt, zolang er maar niet te ver op wordt ingezoomd. Het is dan ook niet erg dat de tekenaars de lijnen te ver doortrekken daar waar ze op een andere lijn hadden moeten eindigen, zogeheten **overshoots** (of **dangles**). Met andere woorden CAD-bestanden worden lang niet altijd wat we noemen 'objectgeoriënteerd' opgebouwd. '**Spaghetti-digitalisering**' is de wat licht negatief bedoelde naam voor het 'niet objectgericht karteren of digitaliseren'. Bij verwerking in een GIS is dit objectgeoriënteerd zijn vrijwel altijd een noodzaak.

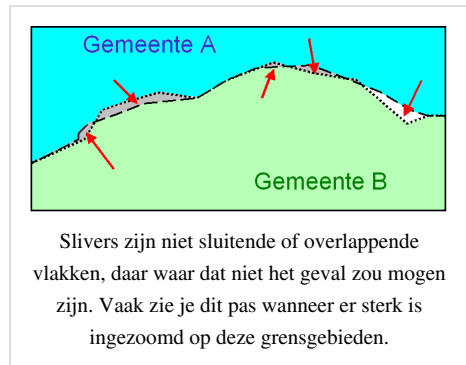
Met **objectgeoriënteerd** (ook vaak objectgericht genoemd) wordt bedoeld dat de lijnen niet getekend zijn om allerlei grenzen aan te geven, maar om de objecten aan te geven. Begin- en eindpunten van lijnen zijn niet lukraak gekozen, maar stoppen en starten daar waar het object ook begint en eindigt. Ook voor vlakken geldt dat die niet omgeven worden door lukraak getekende lijnen, maar door één omhullende lijn. Twee rechthoekige aangrenzende percelen worden niet weergegeven door 7 of 8 lijnen, maar door 2 vlakken (zie figuur). Bovendien zijn de van een objectgeoriënteerde dataset vrijwel altijd ook meteen koppelbaar gemaakt aan beschrijvingen in andere (administratieve) databases.

Tijdens het digitaliseren met CAD-software of achteraf met een GIS is middels topologische regels af te dwingen dat lijnen en vlakken objectgeoriënteerd worden getekend of opgeslagen. Er is bijvoorbeeld in te stellen dat lijnen op minimaal twee andere lijnen moeten aansluiten, anders had die lijn één lijn moeten zijn. Of dat vlakken (in het geval

van grondgebruik of percelen) elkaar niet mogen overlappen.

## Slivers

Zoals je bij lijnen under- en overshoots hebt, zo heb je bij vlakken zogeheten **slivers**, ook wel sliver-polygonen genoemd. Een Nederlandse term bestaat hier niet voor. Slivers zijn polygonen (vlakken) die elkaar onterecht niet over raken - er zitten dan gaten tussen de vlakken - of elkaar onterecht overlappen. Zo dienen gemeentegrenzen (de omtrekken van de vlakken die gemeentes beschrijven) van naburige gemeente te sluiten. Er mogen nooit gebieden zijn waarvoor geldt dat die niet tot een bepaalde gemeente vallen. Ook mogen de gemeentes elkaar niet overlappen. Bij veel soorten geo-informatie mogen géén slivers vóórkomen. Denk aan bodemkaarten, hoogtezones, geluidsniveau's en allerlei bestuurlijke indelingen. Er kan namelijk op één plek altijd maar één (niet meer en niet minder) waarde van toepassing zijn; er is op een bepaalde plek maar één bodemsoort, één hoogtezone, een geluidsniveau en één provincie van toepassing. Er kan op één punt niet géén bodemsoort voorkomen, of twee bodemsoorten.



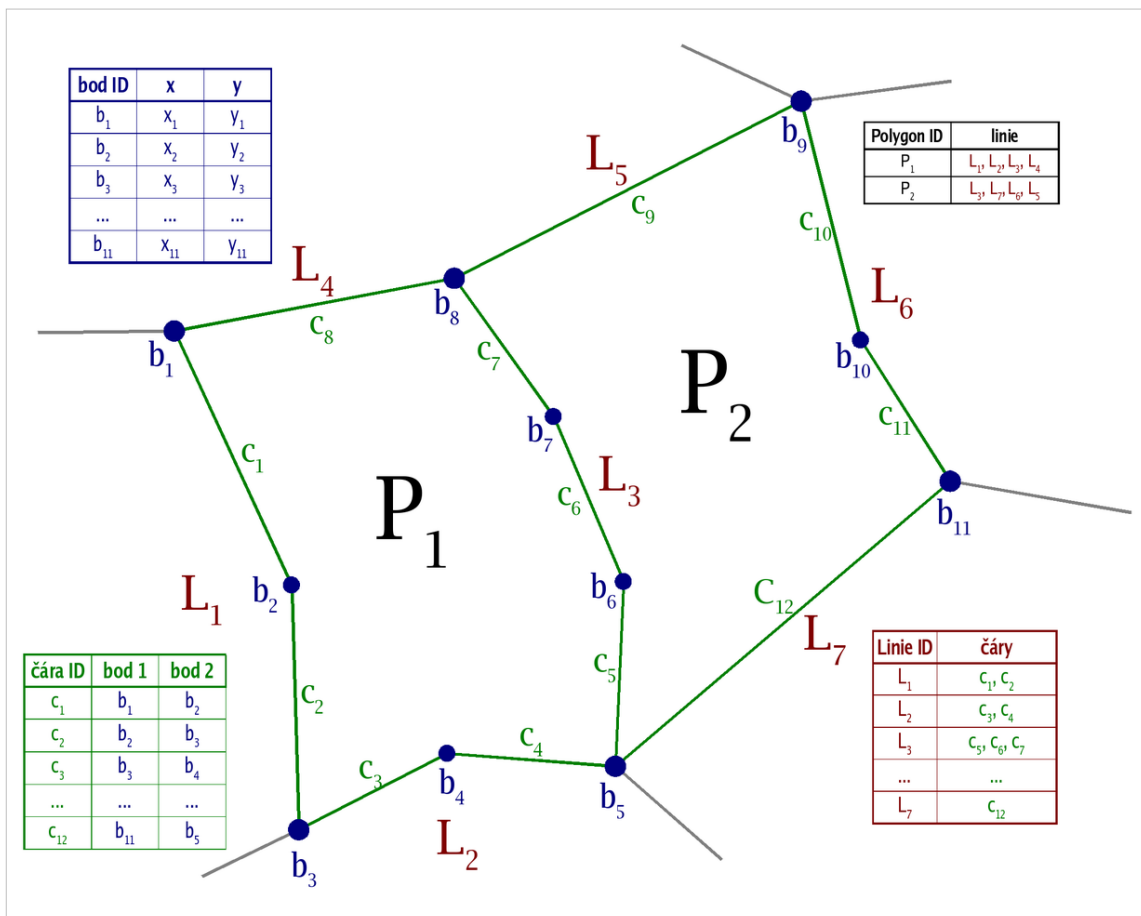
Slivers ontstaan vaak door het samenvoegen (of 'mergen') van verschillende bestanden van verschillende nauwkeurigheid of beheerd door verschillende instanties. Bijvoorbeeld: meerdere, naburige gemeentes leveren de door hun beheerde of in kaart gebrachte gemeentegrenzen aan één persoon die ze wil combineren.

Met allerlei GIS-tools zijn deze tekortkomingen (want dat zijn slivers!) op te sporen, en soms ook gedeeltelijk automatisch te verwijderen binnen een bepaalde marge en - helaas - met een risico dat de data toch gewijzigd wordt waar je dat niet wilt. Ook kunnen deze fouten handmatig verbeterd worden. Met allerlei **snapping**-tools kunnen - achteraf - of bij het tekenen zelf minieme over- en overshoots, dus ook slivers, voorkomen of verbeterd worden. Bij het gebruik van snapping tijdens het tekenen of wijzigen, wordt door het GIS-programma afgedwongen dat de punten goed worden geplaatst. Punten die je 'op zicht' ongeveer over een vertex (knikpunt) van een naburig vlak of lijn heen legt, komen zo ook daadwerkelijk exact op die ene vertex te liggen.

Beter is het om *topologieregels* in te voeren. Bijvoorbeeld: "een (gemeente)vlak dient over de gehele omtrek aangrenzend te zijn met een ander (gemeente)vlak (of zee)". Veel, duur en intensief correctiewerk wordt zo voorkomen en analyses zullen daarna betrouwbaar zijn en geen hiaten vertonen, zoals lantaarnpalen die niet aan een beheerder of gemeente worden toebedeeld.

Overigens: voor sommige vlakken kunnen mogen wél overlappen en gaten voorkomen; die overlappen worden dan ook géén slivers genoemd. Denk aan stankcirkels rondom dicht bij elkaar liggende varkensboerderijen, of verzorgingsgebieden van concurrerende winkelcentra.

### Soorten topologieën <sup>[3]</sup>



Een GIS-model gebruikt punten om lijnen en lijnen om vlakken te beschrijven. (b=punt en of vertex, c=lijnsegment, l=lijn, p=polygoon (vlak)). Dankzij deze strakke hiërarchie kunnen topologieregels worden afgedwongen en kunnen inconsistenties tussen informatielagen worden opgespoord en verbeterd. Daarnaast kunnen GIS-modellen zonder inconsistenties als netwerkmodellen worden gebruikt.

Topologie is voor een GIS van wezenlijk belang. Wanneer we ruimtelijk onderzoek doen, of op basis van kaarten beslissingen willen nemen, dan willen we dat de objecten, patronen en hun onderlinge relaties op de juiste plek liggen, niet met elkaar in tegenspraak zijn. De hoofdstad van een provincie ligt ook daadwerkelijk in die provincie, de zijrivier eindigt ook exact in een hoofdriever, en een weg die is afgesloten met paaltjes is ook in mijn GIS afgesloten naar de hoofdweg toe. En in het tweede figuur: Een gemeentegrens gaat niet door de zee, maar komt overeen met de objecten (hier: water en grasland) van het eiland. Alleen wanneer bestanden onderling deze zekerheden hebben, kunnen we deze ruimtelijke informatie met een goed resultaat gebruiken voor:

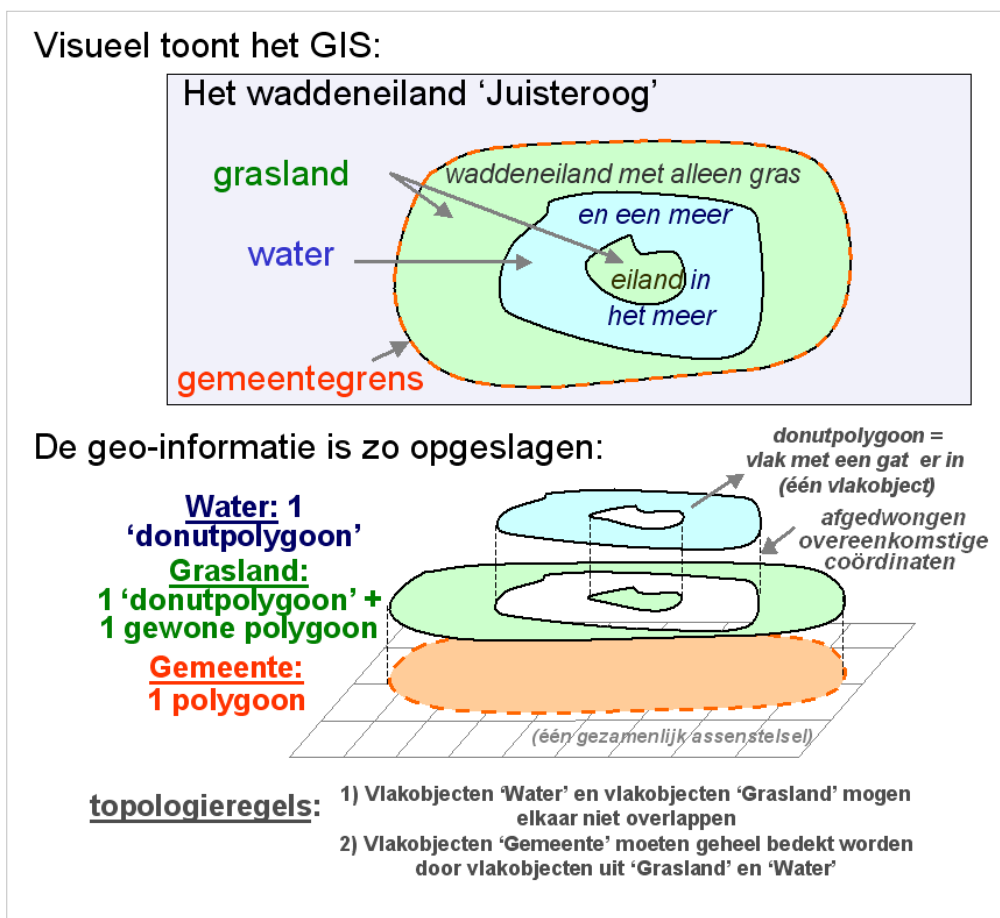
- navigatievragen; bijvoorbeeld: hoe kan ik het kortst of snelst van A via B naar C.
- netwerkanalyses; bijvoorbeeld: berekeningen die niet gebaseerd zijn op absolute afstanden ('door de lucht') maar op relatieve afstanden ('via de weg') en capaciteitsvraagstukken (de weerstand of snelheden zijn dan bekend per lijnstuk/wegsoort).
- rijtijdengebieden weergeven; bijvoorbeeld wat is het exacte bereik vanaf verschillende ambulance- of brandweerposten na melding (binnen 12 minuten en binnen 15 minuten), en wat zijn misschien betere locaties voor deze posten, nu er een nieuwe woonwijk is bijgebouwd.
- het uitvoeren van overige ruimtelijke analyses op zowel route(lijn-)netwerken als vlakobjecten.

Dit betekent dat er verschillende soorten topologieën kunnen worden gebouwd. Een netwerktopologie (zoals in het laatste voorbeeld) focust op de onderlinge relaties tussen knooppunten, schakels en rijrichtingen in een netwerk. Bij

een polygoon-topologie gaat het om de relaties tussen gebieden en de relaties daartussen (bijvoorbeeld dat polygoonen elkaar niet mogen overlappen, maar ook geen gaten mogen bevatten). Bij een punt-topologie gaat het ten slotte om de onderlinge ligging van punten.

Door de topologische verbanden in een bestand op te slaan in de database, wordt het mogelijk om bepaalde analyses efficiënt te doen. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om bij een netwerk-topologie de kortste of snelste weg te zoeken van A naar B. Doordat ieder lijnstuk 'weet' aan welke knooppunten deze grenst en ieder knooppunt welke lijnstukken er samen komen, is het mogelijk om stap voor stap paden te zoeken. Doordat bovendien de lengte van lijnen standaard wordt opgeslagen als lijnkenmerk - en het mogelijk is dit uit te breiden met eigenschappen als snelheid, rijrichting, etc., is het mogelijk om ook bijvoorbeeld een 'snelste' route te zoeken in een netwerktopologie.

### Donutpolygoonen



Donutpolygoonen en nut/noodzaak topologieregels. Donutpolygoonen zijn vlakken met gaten er in. Door topologieregels toe te passen wordt afgedwongen dat er geen slivers/gaten ontstaan. De gebruikte vertices voor vlakken die aangrenzend moeten zijn met andere vlakken of lijnen, zijn zo altijd en exact overeenkomstig met die van de aangrenzende vlakken of de er langslopende lijnen. Dit bespaart beheerwerk en levert consistente bestanden op die zich voor veelsoortige, ruimtelijke analyses lenen.

In het bovenstaande figuur kunnen we het percentage grasland en percentage water per gemeente berekenen. We krijgen niet het probleem dat er dubbeltellingen zijn, omdat het grasland als een gemeentevullende vlak is getekend, met er overheen een meer... Dat is de reden voor het bestaan van zogenaamde *donutpolygoonen*. Een typisch Amerikaanse term (GIS en de donut zijn hier beiden zo'n beetje uitgevonden!) voor vlakken waar een gat in zit. Voor cartografische toepassingen is dit principe niet altijd nodig, maar voor analytische (GIS) toepassingen wel. Zo zijn er in Nederland kadastrale percelen die gaten kennen: Denk aan een plein, waarbinnen een Kerk staat. De kerk staat op een kadastraal perceel van een kerkelijke gemeente, het plein is vaak van een gemeente. Bij automatische,



ruimtelijke (GIS-) analyses ("van wie is deze kerk?") moet de uitkomst niet zijn: twee eigenaren. Bij 'oude' GIS-software en oude geo-informatie-bestanden was de uitkomst in dergelijke gevallen nog wel eens dat er twee percelen / perceeleigenaren tevoorschijn kwamen. Sinds 15 jaar is dit geen probleem meer dankzij de donutpolygonen. Eén vlak kan één of meer gaten kennen. In het figuur zie je een meer met een gat, en een eiland met een gat. Er zijn dus twee donutpolygonen. Middels topologische regels worden onderlinge mogelijke gaten en overlaps (slivers) voorkomen.

## Coördinaten creëren met een GIS indien er geen coördinaten zijn <sup>[4]</sup>

Hierboven hebben we gezien dat door de topologische structuur van GIS het mogelijk is om objecten ruimtelijk aan elkaar te relateren. Deze 'ruimtelijke intelligentie' van GIS maakt het ook mogelijk om coördinaten te creëren in situaties waar deze nog niet aanwezig zijn in het oorspronkelijke bestand, maar waar er wel indirecte locatiegegevens zijn, zoals de een relatieve locatie of een adres.

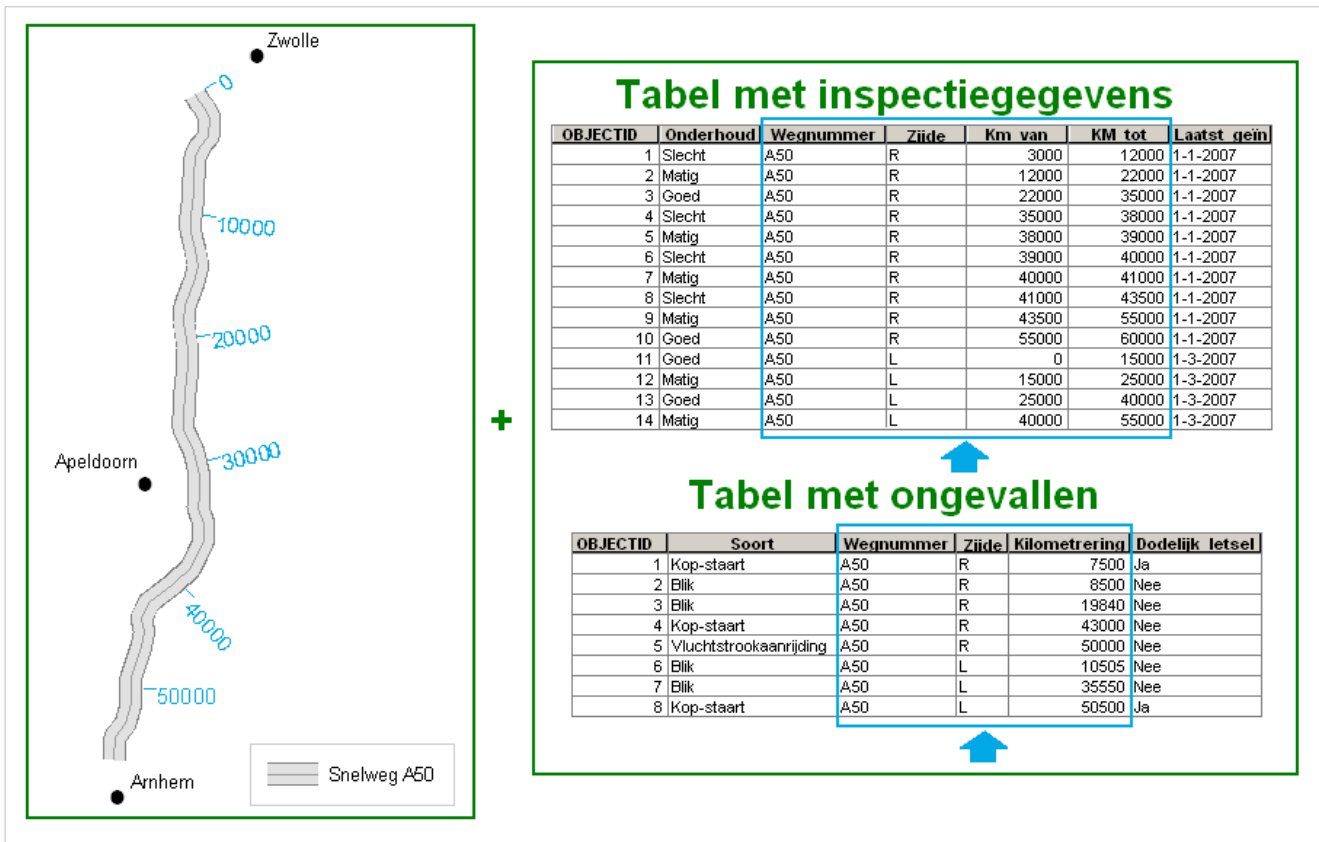
### Geocoderen

**Geocoderen** is het toevoegen van x- en y-coördinaten aan gegevens die die nog niet hebben op basis van een bepaalde locatieaanduiding. Die locatieaanduiding kan nauwkeurig (adres, dus postcode met huisnummer) zijn, of minder nauwkeurig (zoals alleen de postcode of een gemeentenaam). Twee voorbeelden:

- Een lijst met gemeentes waar zich een vestiging bevindt van universiteiten of andere objecten, is in een geo-informatie-bestand om te zetten door de zwaartepunten van de gemeente toe te voegen als extra kolom aan die lijst. De oorspronkelijke lijst bevatte een kolom gemeentenamen en een kolom met de naam van die universiteit. Na het geocoderen is er een kolom x en een kolom y toegevoegd. Door deze actie is de x en de y (dus de locatie) per adres bekend, en dus kunnen al deze adressen op de kaart worden weergegeven! Voor deze actie dient de GIS-ser over een bestand met gemeentes te beschikken.
- Een lijst met adressen van restaurants is door het geocoderen om te zetten in een (geo-informatie-) bestand waarmee direct een kaart gemaakt kan worden met restaurants. Er zijn commerciële aanbieders voor geocoderen, omdat er anders grote en dure adressenbestanden zouden moeten worden ingekocht.

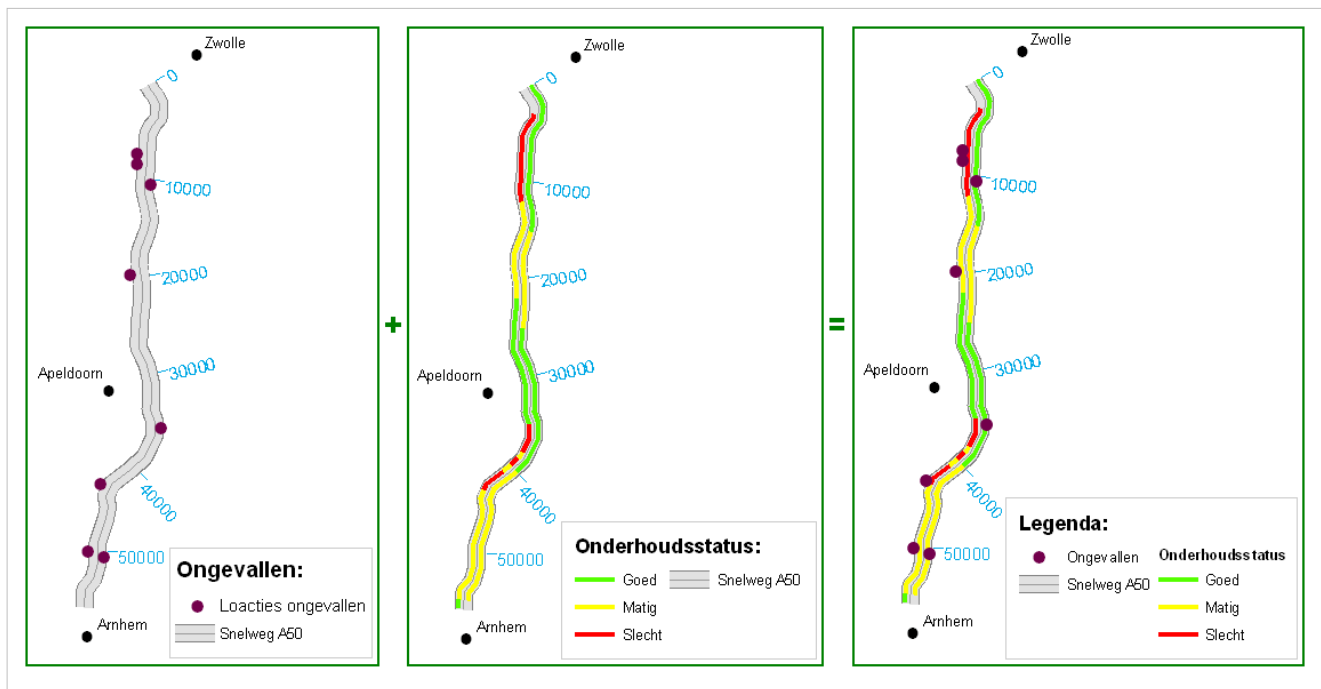
### Lineair refereren

**Lineair refereren** is het toevoegen van x- en y-coördinaten aan gegevens op basis van een opgegeven afstand vanaf een bepaald nulpunt op een bepaalde lijn. Stel je een snelweg voor, de A50, die begint met kilometering 0 (het nulpunt) bij Zwolle en eindigt bij kilometering 58 in Arnhem (zie onderstaande figuur)



Mogelijke input bij lineair refereren. Het belangrijkste is de beschikking over een 'as' (lijn, zoals een snelweg of metraai), waarvan het nulpunt bekend is, en hoe met de lijn mee een afstand oploopt. Administratieve tabel gegevens die refereren aan dezelfde afstandsmaat, kunnen nu op deze lijn geprojecteerd worden. In blauw zijn de benodigde kolommen die bij deze techniek gebruikt worden. (zie voor het resultaat de figuur hierna).

De locatie van kruisende infrastructuur (zoals een duiker onder de weg), ongelukken of de onderhoudstoestand van het wegdek kan nu met een afstand (kilometering) worden aangeduid tezamen met de naam van die weg. Is er op de A50 een ongeluk geregistreerd bij kilometering 7,5 (7.500 meter in de figuur), dan is exact de x- en y-coördinaat van dat ongeluk te berekenen, namelijk op exact op  $(7,5/58)^c$  deel van die A50, startende bij het nulpunt in Zwolle. Noodzakelijk hierbij is uiteraard een goed gedigitaliseerde A50. Bovendien moet dat niet zomaar een lijnobject zijn, maar het moet bekend zijn in welke richting de kilometering oploopt. In de tabel is de blauwe pijl een aantal 'blauwe' kolommen aangegeven. Deze kolommen zijn essentieel voor het lineair refereren. Op het moment dat lineair refereren niet gebruikt wordt om puntobjecten, maar lijnobjecten weer te geven, spreekt men van **dynamische segmentatie**. Dynamische segmentatie is dus een bijzondere soort van lineair refereren. De bovenste tabel (inspectiegegevens met de onderhoudsstatus) van de figuur geeft hier een voorbeeld van. In de figuur hierna is het resultaat te zien.



Mogelijke output als resultaat van lineair refereren. Zowel puntgegevens (gebeurtenissen) als kenmerken die zich afspelen op de as (lijngegevens) kunnen zo geprojecteerd worden op een kaart, zonder dat er oorspronkelijk van een coördinaat sprake was! In dit geval worden twee verschillende tabellen visueel gecombineerd. Er kan geanalyseerd worden of het aantal ongevallen over een bepaald tijdvak een relatie heeft met de onderhoudsstaat.

Met lineair refereren worden tekeningen dus automatisch gegenereerd. Door - simpel gezegd - een GIS naar een database te laten kijken, wordt de kaart gemaakt. Het bijzondere is dat op het moment dat die database verandert, de kaart ook verandert. Wanneer in het bovenstaand voorbeeld een wegvak bij nader inzien als kwaliteit toch 'Goed' in plaats van 'Matig' met zich meekrijgt, dan verschiet onmiddellijk de kleur van oranje naar groen. De moeite die het bijhouden van tekeningen kost is daardoor tot een minimum beperkt, terwijl de actualiteit en juistheid van de tekening maximaal geborgd zijn. Het getoonde voorbeeld maakt duidelijk dat GIS ook een duidelijke rol kan spelen op het gebied van assetmanagement, dat wil zeggen, het beheren (bouwen, onderhouden, gebruiken en slopen) van infrastructuur.

### Reverse geocoding

Hierboven zijn geocoderen (Engels: 'geocoding') en lineair refereren behandeld. Wanneer het omgekeerde gebeurt - voor beide technieken - wordt dit 'reverse geocoding' genoemd. Hier is geen Nederlandse term voor, maar het betekent zoiets als omgekeerd geocoderen. Het wordt niet zo vaak gebruikt. **Reverse geocoding** is het omzetten van een bekende locatie (met een x- en y- coördinaat) naar een adres. Het kan op twee manieren:

1. De uitkomst is een kilometreering langs een bepaalde weg, en het juiste wegnummer. Bijvoorbeeld de locatie van een gevaarlijke tankvrachtwagen met GPS, die in een file is vast komen te zitten. Dankzij de GPS is de locatie bekend, dankzij een GIS kan deze locatie worden omgerekend naar wegnummer (A50) en de juiste kilometreering, bijvoorbeeld 32,421
2. De uitkomst is een (post)adres.

Hieronder zie je dit schematisch weergegeven.

input	ouput
$(x_1, y_1)$	(wegnummer = "A50", kilometrering = 32,421)
$(x_2, y_2)$	(straatnaam = "Stationsstraat", huisnummer = 12, plaatsnaam = "Kedichem")

Een **offset** (de minimale afstand van de locatie tot de weg) kan ook tot de ouput behoren. Bijvoorbeeld de locatie van een zendmast die zich 53 meter naast de middenberm van een snelweg blijkt te bevinden:

input	ouput
$(x_3, y_3)$	(wegnummer = "A50", kilometrering = 32,421, offset = 53 meter)

De meeste GIS-applicaties kennen deze functie, waarmee dan vele locaties gelijktijdig en automatisch kunnen worden omgezet naar dergelijke (administratieve) aanduidingen.

---

#### Voetnoten:

- [1] Deze paragraaf is een bewerking van een deel van het hoofdstuk *Vervolg GIS* van het wikiboek Geo-visualisatie; versie: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_GIS&oldid=225425](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_GIS&oldid=225425)), auteurs: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_GIS&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_GIS&action=history))
  - [2] Deze paragraaf is een bewerking van een deel van het hoofdstuk *Inleiding GIS* van het wikiboek Geo-visualisatie; versie: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding\\_GIS&oldid=213345](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding_GIS&oldid=213345)), auteurs: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding\\_GIS&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Inleiding_GIS&action=history))
  - [3] Deze paragraaf is een bewerking van een deel van het hoofdstuk *Vervolg GIS* van het wikiboek Geo-visualisatie; versie: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_GIS&oldid=225425](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_GIS&oldid=225425)), auteurs: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_GIS&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_GIS&action=history))
  - [4] Deze paragraaf is een bewerking van een deel van het hoofdstuk *Vervolg GIS* van het wikiboek Geo-visualisatie; versie: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_GIS&oldid=225425](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_GIS&oldid=225425)), auteurs: zie ([http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg\\_GIS&action=history](http://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Geo-visualisatie/Vervolg_GIS&action=history))
-

# Paginabronnen en auteurs

- Infrastructuurplanning** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265108> *Auteurs:* Aventuretum, KKoolstra, 2 anonieme bewerkingen
- Infrastructuurplanning/Wat is infrastructuurplanning** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265142> *Auteurs:* KKoolstra, 1 anonieme bewerkingen
- Infrastructuurplanning/Planproces** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265143> *Auteurs:* KKoolstra, 3 anonieme bewerkingen
- Infrastructuurplanning/Problemanalyse** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265144> *Auteurs:* CommonsDelinker, KKoolstra
- Infrastructuurplanning/Eisen en randvoorwaarden** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265176> *Auteurs:* Aristoxenos, KKoolstra, 3 anonieme bewerkingen
- Infrastructuurplanning/Alternatieven** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265146> *Auteurs:* KKoolstra, MADe
- Infrastructuurplanning/Netwerkopbouw** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265147> *Auteurs:* KKoolstra
- Infrastructuurplanning/Horizontaal tracé** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265148> *Auteurs:* KKoolstra, MADe, Mathonius
- Infrastructuurplanning/Verticaal tracé** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265149> *Auteurs:* KKoolstra, 3 anonieme bewerkingen
- Infrastructuurplanning/Dimensionering** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265150> *Auteurs:* KKoolstra
- Infrastructuurplanning/Toetsing** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265151> *Auteurs:* KKoolstra, MADe, Rolof1991, 1 anonieme bewerkingen
- Infrastructuurplanning/Evaluatie** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265152> *Auteurs:* KKoolstra, 4 anonieme bewerkingen
- Infrastructuurplanning/Coördinatensystemen en kaartprojecties** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265153> *Auteurs:* KKoolstra
- Infrastructuurplanning/Geo-informatie** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265154> *Auteurs:* KKoolstra, MADe
- Infrastructuurplanning/Topologie** *Bron:* <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?oldid=265156> *Auteurs:* KKoolstra

# Afbeeldingsbronnen, licenties en bijdragers

**Bestand:Kaart\_A8A9.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Kaart\\_A8A9.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Kaart_A8A9.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Auteurs: (c) OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

**Bestand:RDbounds.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:RDbounds.png> Licentie: Creative Commons Attribution 3.0 Auteurs: Hans Erren

**Bestand:gismodelvoobeeld.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Gismodelvoobeeld.PNG> Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Afbeelding:Laantje van Van der Gaag.jpg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Laantje\\_van\\_Van\\_der\\_Gaag.jpg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Laantje_van_Van_der_Gaag.jpg) Licentie: Public Domain Auteurs: H.W. Last

**Bestand:Zeefanalyse 0.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_0.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_0.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Zeefanalyse 1.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_1.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_1.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Zeefanalyse 2.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_2.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_2.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Zeefanalyse 3.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_3.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_3.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Zeefanalyse 4.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_4.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_4.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Zeefanalyse 5.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_5.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_5.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Zeefanalyse 6.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_6.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_6.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Zeefanalyse 7.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse\\_7.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Zeefanalyse_7.png) Licentie: onbekend Auteurs: KKoolstra

**Image:Rasterstructuur.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rasterstructuur.png> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: User:KKoolstra

**Image:Ring-lusstructuur.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Ring-lusstructuur.png> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: User:KKoolstra

**Image:Boomstructuur.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Boomstructuur.png> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: User:KKoolstra

**Bestand:Oppervlakte Cirkelsegment 1.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Oppervlakte\\_Cirkelsegment\\_1.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Oppervlakte_Cirkelsegment_1.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: User:Mbkant

**Bestand:Clothoide.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Clothoide.svg> Licentie: Public Domain Auteurs: ~-helix84

**Bestand:Rechtlijnige tractering.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rechtlijnige\\_tractering.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rechtlijnige_tractering.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Nadelen rechtlijnig tracé Hoogstade.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Nadelen\\_rechtlijnig\\_tracé\\_Hoogstade.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Nadelen_rechtlijnig_tracé_Hoogstade.png) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: OpenStreetMap contributors

**Bestand:Vrije tractering.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Vrije\\_tractering.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Vrije_tractering.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Bundeling Gorinchem.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Bundeling\\_Gorinchem.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Bundeling_Gorinchem.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Auteurs: Foroa, KKoolstra, Lymantria

**Image:Nap reference2.jpg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Nap\\_reference2.jpg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Nap_reference2.jpg) Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: M.Minderhoud

**Bestand:Tunnel\_diep.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Tunnel\\_diep.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Tunnel_diep.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Tunnel\_verdiept.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Tunnel\\_verdiept.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Tunnel_verdiept.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Ingraving.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Ingraving.png> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Open\_bak\_verdiept.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Open\\_bak\\_verdiept.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Open_bak_verdiept.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Aardebaan\_maaiveld.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Aardebaan\\_maaiveld.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Aardebaan_maaiveld.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Tunnel\_maaiveld.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Tunnel\\_maaiveld.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Tunnel_maaiveld.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Aardebaan\_verhoogd.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Aardebaan\\_verhoogd.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Aardebaan_verhoogd.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Viaduct\_verhoogd.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Viaduct\\_verhoogd.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Viaduct_verhoogd.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Viaduct\_hoog.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Viaduct\\_hoog.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Viaduct_hoog.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Dwanghoogte.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Dwanghoogte.png> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: KKoolstra

**Bestand:Alignment voet- en topboog.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Alignment voet- en\\_topboog.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Alignment voet- en_topboog.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: User:KKoolstra

**Bestand:alignment voetboog.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:alignment voetboog.png> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: User:KKoolstra

**Bestand:CrossingLekRiver-AmsterdamRhineCanal.jpg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:CrossingLekRiver-AmsterdamRhineCanal.jpg> Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: China Crisis

**Bestand:Engels wissel.jpg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Engels\\_wissel.jpg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Engels_wissel.jpg) Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: HandigeHarry

**Bestand:Oostzijde Amsterdam CS.JPG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Oostzijde\\_Amsterdam\\_CS.JPG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Oostzijde_Amsterdam_CS.JPG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: Bontenbal, HenkvD, T Houdijk, Thryduulf, W.Rebel, 1 anonieme bewerkingen

**Bestand:Knooppunt\_haarlemmermeer.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Knooppunt\\_haarlemmermeer.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Knooppunt_haarlemmermeer.png) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: Original uploader was RubySS at nl.wikipedia (Original text : RubySS)

**Bestand:Halfklaverbladaansluiting.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Halfklaverbladaansluiting.png> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: Original uploader was RubySS at nl.wikipedia (Original text : RubySS)

**Bestand:AS-typWC.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:AS-typWC.svg> Licentie: Creative Commons Attribution-Share Alike Auteurs: Miko101

**Bestand:Rampa diretta.svg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rampa\\_diretta.svg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rampa_diretta.svg) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0,2.5,2.0,1.0 Auteurs: Mezzacartuccia

**Bestand:Rampa semidiretta.svg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rampa\\_semidiretta.svg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rampa_semidiretta.svg) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0,2.5,2.0,1.0 Auteurs: Mezzacartuccia

**Bestand:Rampa indiretta.svg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rampa\\_indiretta.svg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Rampa_indiretta.svg) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0,2.5,2.0,1.0 Auteurs: Mezzacartuccia

**File:Saut-de-mouton2.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Saut-de-mouton2.svg> Licentie: Public Domain Auteurs: Gonioul, Linumbrs, Tangopaso, W.Rebel

**Bestand:Blocking back and buffering.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Blocking\\_back\\_and\\_buffering.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Blocking_back_and_buffering.png) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: K. Koolstra

**Bestand:Functioneel ontwerp stationslayout.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Functioneel\\_ontwerp\\_stationslayout.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Functioneel_ontwerp_stationslayout.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: K. Koolstra

**File:Venn0111.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Venn0111.svg> Licentie: Public Domain Auteurs: CommonsDelinker, JurgenNL, Mate2code, Waldir, 1 anonieme bewerkingen

**File:Venn0101.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Venn0101.svg> Licentie: Public Domain Auteurs: CommonsDelinker, Mate2code, Waldir, Wknight94, 1 anonieme bewerkingen

**File:Venn0001.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Venn0001.svg> Licentie: Public Domain Auteurs: CommonsDelinker, Mate2code, Tony Wills, Waldir, 9 anonieme bewerkingen

**Bestand:Buffer GIS illustrations.svg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Buffer\\_GIS\\_illustrations.svg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Buffer_GIS_illustrations.svg) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Auteurs: Szombara88

**Bestand:Minimum spanning tree.svg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Minimum\\_spanning\\_tree.svg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Minimum_spanning_tree.svg) Licentie: Public Domain Auteurs: User:Dcoetzee

**Afbeelding:Wereldbol 3D globe.jpg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Wereldbol\\_3D\\_globe.jpg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Wereldbol_3D_globe.jpg) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Afbeelding:Bramallmap.jpg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Bramallmap.jpg> Licentie: Creative Commons Attribution 3.0 Auteurs: Majorly

**Afbeelding:Geografische coördinaten.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Geografische\\_coördinaten.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Geografische_coördinaten.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Afbeelding:PtolemyWorldMap.jpg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:PtolemyWorldMap.jpg> Licentie: Public Domain Auteurs: en:Ptolemy(!?)

**Afbeelding:Ei en aarde Bol 001.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Ei\\_en\\_aarde\\_Bol\\_001.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Ei_en_aarde_Bol_001.png) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Afbeelding:De geöïde.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:De\\_geöïde.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:De_geöïde.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Afbeelding:Geoids\_sm.jpg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Geoids\\_sm.jpg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Geoids_sm.jpg) Licentie: Public Domain Auteurs: Angrense, B jonas, Dennis, Look2See1, Maddox2, Mapmarks, Mario1952, Minor edit, Rainald62, RedAndr, 1 anonieme bewerkingen

**Afbeelding:Projectieprincipe.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Projectieprincipe.PNG> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Afbeelding:Projectiesoorten.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Projectiesoorten.PNG> Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Mercator\_robinson\_sinusoidaal.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Mercator\\_robinson\\_sinusoidaal.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Mercator_robinson_sinusoidaal.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Eigenschappen kaartprojecties.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Eigenschappen\\_kaartprojecties.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Eigenschappen_kaartprojecties.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Het RD coördinaten stelsel opgehangen aan het geografische coörd stelsel.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Het\\_RD\\_coördinaten\\_stelsel\\_opgehangen\\_aan\\_het\\_geografische\\_coörd\\_stelsel.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Het_RD_coördinaten_stelsel_opgehangen_aan_het_geografische_coörd_stelsel.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Cad-bestand.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Cad-bestand.PNG> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Gis-data-voorbeeld.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Gis-data-voorbeeld.PNG> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Gis bestand definities.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Gis\\_bestand\\_definities.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Gis_bestand_definities.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Visualisatie van geo-informatie.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Visualisatie\\_van\\_geo-informatie.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Visualisatie_van_geo-informatie.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:gis-data-opslag.png** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Gis-data-opslag.png> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks.

**Bestand:Raster-vs-vector-bestand.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Raster-vs-vector-bestand.PNG> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Vector-raster-vector-conversie.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Vector-raster-vector-conversie.PNG> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Image: geabios3d.jpg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Geabios3d.jpg> Licentie: Copyrighted free use Auteurs: Gap, Mdd

**Afbeelding:Map symbol info point 02.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Map\\_symbol\\_info\\_point\\_02.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Map_symbol_info_point_02.png) Licentie: Public Domain Auteurs: seamus mcgill (mcgill)

**Afbeelding:Flat Surface.svg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Flat\\_Surface.svg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Flat_Surface.svg) Licentie: Public Domain Auteurs: Inductiveload

**Afbeelding:Grid-spiderweb.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Grid-spiderweb.svg> Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: Benoit Serrier

**Afbeelding:Orthogonal-convex-hull.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Orthogonal-convex-hull.svg> Licentie: Public Domain Auteurs: Original uploader was David Eppstein at en.wikipedia

**Afbeelding:Analytic continuation 4.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Analytic\\_continuation\\_4.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Analytic_continuation_4.png) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: ja:user:1 3 2 人目

**Afbeelding:Computer.Science.AI.Neuron.svg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Computer.Science.AI.Neuron.svg> Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: User:Yearofthedragon

**Bestand:Geo visualisatie met een gis op drie wijzen.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Geo\\_visualisatie\\_met\\_eeen\\_gis\\_op\\_drie\\_wijzen.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Geo_visualisatie_met_eeen_gis_op_drie_wijzen.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Gis-reken-voorbeelden.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Gis-reken-voorbeelden.PNG> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Openstreetmap Paris.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Openstreetmap\\_Paris.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Openstreetmap_Paris.png) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Auteurs: OpenStreetMap contributors

**Bestand:Trento3d.jpg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Trento3d.jpg> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: Original uploader was Jb.henry at fr.wikipedia

**Bestand:CityGen.jpg** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:CityGen.jpg> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: Domenik2011, Dub, Snaily

**Bestand:Pisp\_3d\_map.jpg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Pisp\\_3d\\_map.jpg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Pisp_3d_map.jpg) Licentie: Public Domain Auteurs: NPS Map

**Bestand:AI 3d.jpg** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:AI\\_3d.jpg](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:AI_3d.jpg) Licentie: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 Auteurs: Alexandra Maringer

**Bestand:gismodelvoorbeeldtotstandkoming.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Gismodelvoorbeeldtotstandkoming.PNG> Licentie: Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:objectgericht\_tekenen.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Objectgericht\\_tekenen.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Objectgericht_tekenen.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Afbeelding:Slivers.PNG** Bron: <https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Slivers.PNG> Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:GIS hierarchic model.png** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:GIS\\_hierarchic\\_model.png](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:GIS_hierarchic_model.png) Licentie: Public Domain Auteurs: Original uploader was Teni at cs.wikipedia (Original text : cs>User:Teni)

**Bestand:Donut polygonen en topologie voorbeelden.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Donut\\_polygonen\\_en\\_topologie\\_voorbeelden.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Donut_polygonen_en_topologie_voorbeelden.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Lineair Refereren input voorbeeld bestanden A50.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Lineair\\_Refereren\\_input\\_voorbeeld\\_bestanden\\_A50.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Lineair_Refereren_input_voorbeeld_bestanden_A50.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T.Nijeholt at nl.wikibooks

**Bestand:Lineair Refereren output voorbeeld bestanden A50.PNG** Bron: [https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Lineair\\_Refereren\\_output\\_voorbeeld\\_bestanden\\_A50.PNG](https://nl.wikibooks.org/w/index.php?title=Bestand:Lineair_Refereren_output_voorbeeld_bestanden_A50.PNG) Licentie: GNU Free Documentation License Auteurs: T. Nijeholt at nl.wikibooks

# Licentie

---

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0  
[//creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)

---