

Informatiemodellering van transportnetwerken

Hein Corstens, 2 september 2024, ook gepubliceerd in [Geo-Info 2024-4](#)

*De Object Type Library's (OTL's) in het fysieke domein zijn veelal gericht op assetmanagement, waarmee het beheer van bouwwerken en wegen bedoeld wordt. Centraal staat dan een verzameling van reële objecten, geordend in een **taxonomie** (classificatie) en onderling verbonden in **meronomieën** (samenstellingen). Het is belangrijk die **reële** objecten te plaatsen in de **functionele** netwerken. Zoals een sluis in het vaarwegennetwerk. Bij Rijkswaterstaat gebeurt dat bijvoorbeeld door de assets te koppelen aan zogenaamde **netwerkschakels**. Een netwerkschakel is een **pad** – een aaneenschakeling van netwerkverbindingen zonder splitsingen – in het netwerk, waarop prestatieniveaus gedefinieerd worden, die vervolgens vertaald worden naar plannen en maatregelen.*



Hoe moet zo'n netwerk¹ gemodelleerd worden? Welnu, hiervoor worden handvatten geboden door de standaarden Regels voor informatiemodellering van de gebouwde omgeving (NEN 2660) en Basismodel geo-informatie (NEN 3610²). In dit artikel wordt dit uitgewerkt. Eerst wordt een abstract netwerk geschetst, dat vervolgens steeds verder geconcretiseerd wordt.

¹ Een netwerk is een geheel van knopen en verbindingen. Dit kan abstract zijn, maar ook concreet, zoals bijvoorbeeld het Nederlandse hoofdvaarwegennetwerk. Een netwerkmodel is een afbeelding van een abstract of concreet netwerk, bijvoorbeeld in de vorm van een plaatje met knopen en verbindingen. Een netwerkinformatiemodel is een model van een netwerkmodel: het beschrijft netwerken in termen van klassen, eigenschapstypen en relaties. Voor het representeren van informatiemodellen bestaan diverse standaarden, zoals bijvoorbeeld UML. In de praktijk lopen de terminologieën nogal eens door elkaar en wordt een netwerkinformatiemodel een netwerkmodel genoemd. In de bouw is BIM een bekende afkorting: daarmee wordt geen bouwwerkinformatiemodel bedoeld, maar een bouwwerkmodel. In dit artikel wordt een globale modelleringstechniek gebruikt, waarvan de resultaten bedrijfsobjecttypenmodellen genoemd worden. Ze worden echter ook wel aangeduid als bedrijfsobjectmodellen (afgekort als BOM).

² NEN 3610 conformeert zich aan de Europese standaard INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe). Er is een mapping mogelijk van de relevante onderdelen van het INSPIRE Generic Network Model en INSPIRE Transport Network Model naar het in dit artikel besproken model.

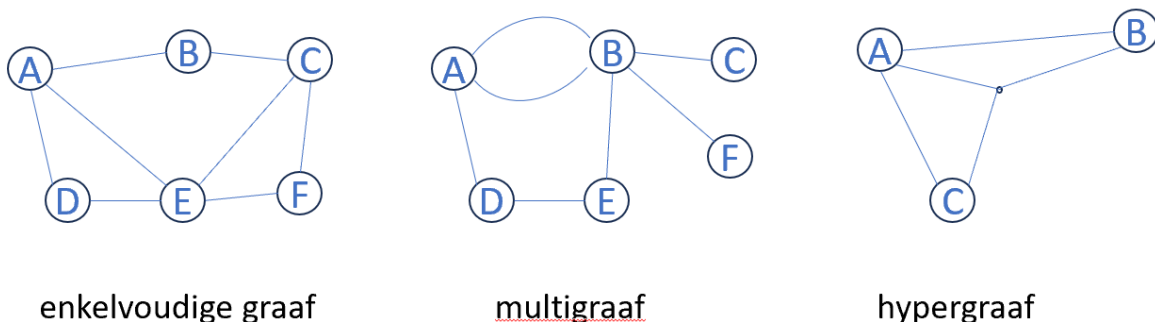
Basis: abstracte netwerkmodellen

Een **netwerk** is een samenhangend geheel van punten en lijnen ofwel een stelsel van **knopen** (EN: nodes) en **verbindingen** (EN: links). Een netwerk beschrijft de '**topologie**' van een deel van de werkelijkheid. Die topologie geeft op een wiskundige manier de relaties weer tussen ruimtelijke objecten, onafhankelijk van hun vorm.

In het geval van een transportnetwerk verwijzen de verbindingen naar fysieke objecten zoals wegen en vaargeulen en de knopen naar splitsingen, overgangen in dimensionering, en dergelijke. Hierdoor is het netwerk een basis voor een integrale registratie van al die objecten.

Een netwerk van knopen en verbindingen of 'zijden' wordt ook wel '**graaf**' genoemd. Een graaf is geschikt voor relevante berekeningen zoals de berekening van de kortste weg tussen twee knopen. Aan de zijden kunnen extra attributen worden toegevoegd, zoals richting en gewicht, hetgeen extra berekeningen mogelijk maakt. Er zijn meerdere soorten grafen (zie figuur 1):

- enkelvoudige graaf: daarin bestaat er maximaal één zijde tussen twee **verschillende** knopen (er zijn dus geen lussen);
- multigraaf: daarin bestaan er tussen twee knopen meerdere zijden;
- hypergraaf: daarin kan een zijde twee of meer knopen met elkaar verbinden.



Figuur 1 Drie soorten grafen

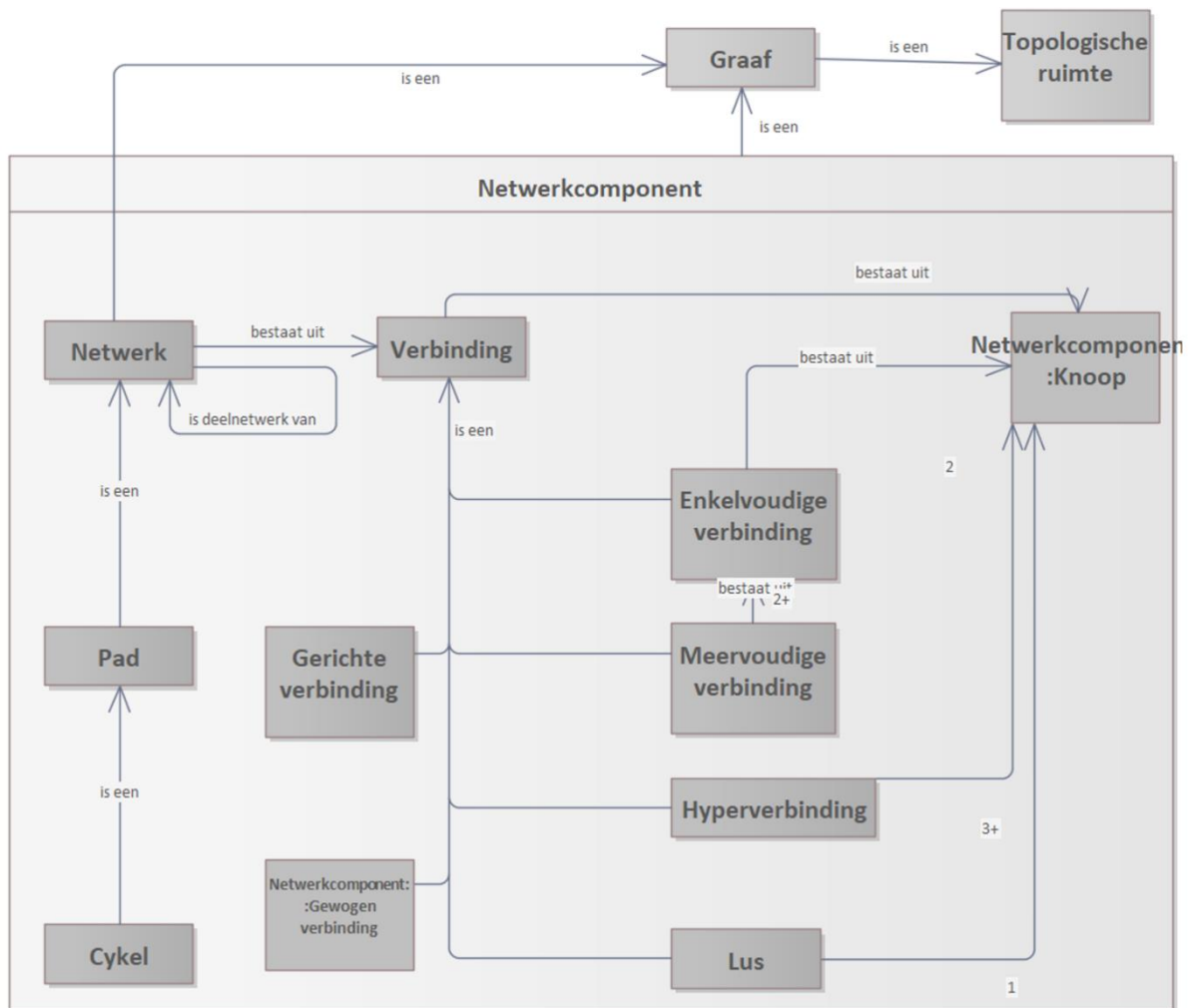
De concepten Graaf en Topologische ruimte, een verzameling met een nabijheidsfunctie, worden gebruikt als basis voor het netwerkinformatiemodel.

Geometrie en Geografie

Een topologische ruimte kan uitgebreid worden tot een geometrische ruimte door lengten en richtingen toe te kennen aan de zijden. En de geometrie kan verder uitgebreid worden tot geografie door aan de elementen van het netwerk locaties toe te voegen, als waarden in een coördinaatreferentiesysteem. Hierop komen we later nog terug.

Abstract netwerkmodel

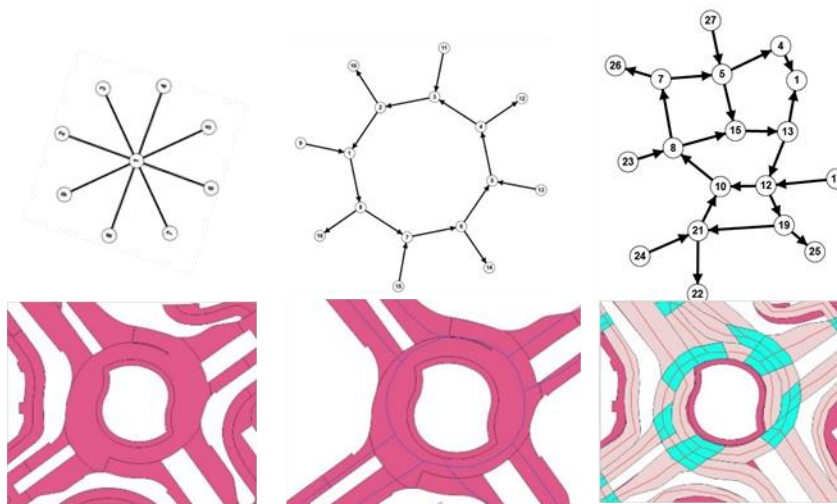
Figuur 2 geeft een weergave van het informatiemodel op globaal niveau (het niveau van bedrijfsobjecten). Ter toelichting: de basis van een abstract netwerk wordt gelegd door knopen, atomaire objecten zonder interne structuur. Een verzameling van twee knopen wordt een verbinding genoemd. Deze verbinding kan uitgebreid worden tot een hyperverbinding door het aantal twee los te laten. Maar je kunt ook meer verbindingen tussen twee knopen hebben, dan spreken we van een meervoudige verbinding. Vanuit deze basisbegrippen zijn allerlei nieuwe begrippen te vormen, zoals:



Figuur 2 Bedrijfsobjecttypenmodel abstract netwerk

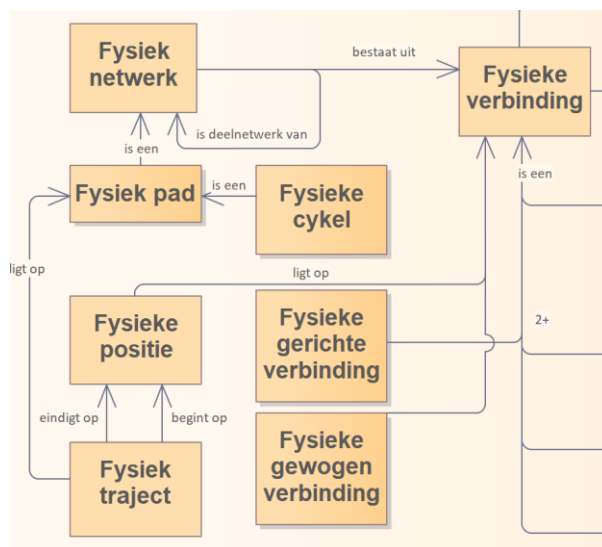
- Lus** Verbinding met dezelfde knoop als beginpunt en eindpunt.
 - Pad** Aaneenschakeling van enkelvoudige verbindingen zonder splitsingen.
 - Cykel** Pad met dezelfde knoop als beginpunt en eindpunt.
 - Gerichte verbinding** Enkelvoudige verbinding, waarbij de knopen een geordend paar vormen.
 - Gewogen verbinding** Verbinding met een waarde volgens een bepaald criterium.
- Een verzamelnaam voor alle Netwerk-objecttypen is **Netwerkcomponent**.

Het netwerk kan op meerdere detailniveaus beschreven worden. Iedere knoop en iedere verbinding kan gezien worden als een netwerk op een lager detailniveau. Je kunt bijvoorbeeld de knopen van een wegennet op hoog abstractieniveau decomponeren tot een rotonde, bestaande uit knopen en verbindingen (zie figuur 3).



Figuur 3. Bron: Eric van der Ster: 'Toelichting op conceptueel model netwerken. Netwerken in de Samenhangende Objecten Registratie', presentatie Ministerie van I en W, 7-9-2020

Fysiek netwerkinformatiemodel



Figuur 4 Deel van een fysiek netwerkinformatiemodel

De volgende stap is de vertaling naar een fysiek netwerk. Een **fysiek object** is volgens NEN 2660-1:2022 een 'Object, dat bestaat of kan bestaan binnen de fysieke 4D ruimte-tijd. Een fysiek object vormt een manifestatie en een afbakening van materie en/of energie, en is (in)direct waarneembaar door de zintuigen.' Fysieke netwerken, zoals wegennetwerken en leidingnetwerken, en de elementen daarvan zijn fysieke objecten. Het hierboven gedefiniëerde abstracte netwerkmodel is te gebruiken als model voor fysieke netwerken. De objecttypen van het abstracte netwerk komen dan terug in het fysieke netwerkinformatiemodel met de toevoeging 'fysiek': zo zijn er 'fysieke verbindingen', 'fysieke knopen', 'fysieke lussen',

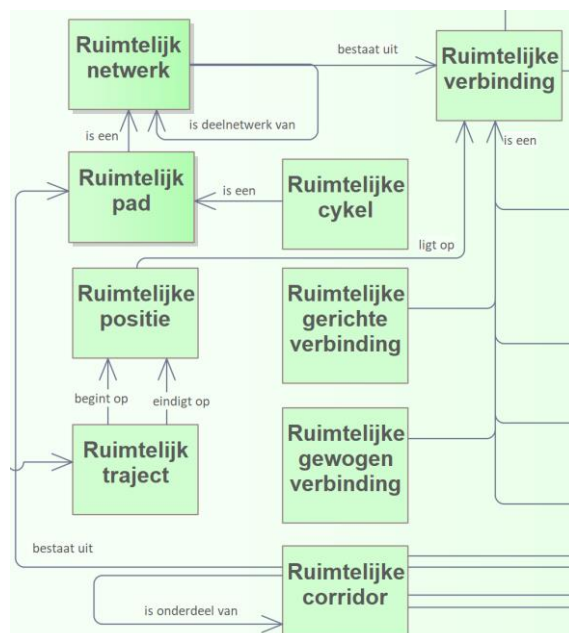
enzovoorts. Daarnaast zijn er aanvullingen. In figuur 4 is een stukje van het fysiek netwerkinformatiemodel te zien. Je ziet daarin de objecttypen van het abstracte netwerkinformatiemodel terugkomen, maar ook een toevoeging: fysieke posities en fysieke trajecten. Een **fysieke positie** is een punt op een fysieke verbinding, waarop een metriek gedefinieerd is, een **fysiek traject** is een

aaneengesloten deel van een fysiek netwerk tussen twee of meer fysieke posities op een fysiek pad van dat fysiek netwerk. Een traject is te operationaliseren met behulp van 'linear referencing', het vastleggen van een punt of een lijn op een geografisch netwerk door gebruikmaking van de positie.

Ruimtelijk netwerkinformatiemodel

Er zijn twee soorten fysieke objecten: reële objecten en ruimtelijke gebieden. Een **ruimtelijk gebied** is een fysiek object dat een bepaalde ruimte omsluit, zoals een vertrek, rijbaan of rivier, terwijl een reëel object een ruimtelijk afgebakende hoeveelheid vormvaste of niet-vormvaste materie is, zoals een brug of een gebouw of onderdeel daarvan.

Voor de verdere verbijzondering van het netwerk zijn wij hier geïnteresseerd in de ruimtelijke gebieden (volgens NEN 2660-2:2022, die overigens overeenkomen met de '**virtuele ruimten**' van NEN3610:2020).

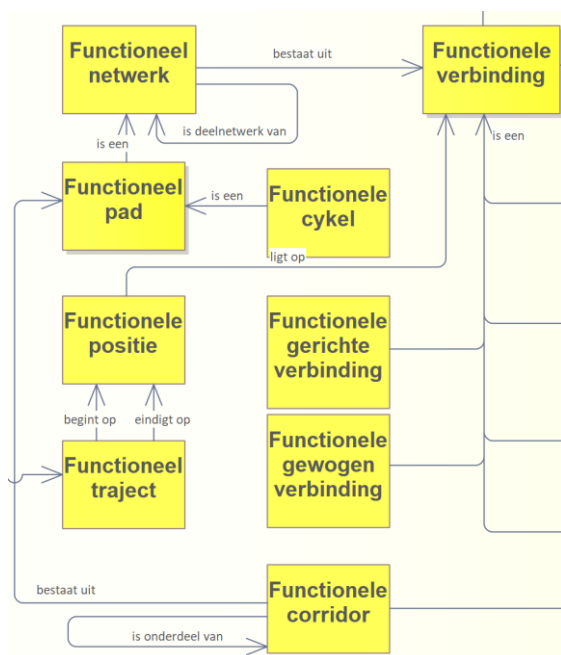


Figuur 5 Deel van een ruimtelijk netwerkinformatie-model

Belangrijk is dat op dit niveau de relatie gelegd kan worden tussen ruimtelijke gebieden en de assets, reële objecten, die deze implementeren. Neem bijvoorbeeld een vaarweg, die geïmplementeerd wordt door de bodem en de zijkanten (de 'bak') en constructies over de vaarweg (bruggen, kabels en wat dies meer zij). Ook op dit niveau zijn er aanvullingen. In figuur 5 is een gedeelte van het ruimtelijk netwerkinformatie-model te zien. In plaats van 'Fysiek' wordt hier het adjectief 'Ruimtelijk' toegevoegd aan de termen uit het abstracte netwerkinformatiemodel. In het ruimtelijk netwerkinformatiemodel duikt ook de zogenaamde '**corridor**' op. Dat is een set bij elkaar behorende paden tussen de ruimtelijke begin- en eindknopen in twee gebieden

(bijvoorbeeld economische centra). Corridors kunnen voor allerlei doeleinden gebruikt worden: verkeersmanagement, vervoersmanagement, assetmanagement. Belangrijk is dat corridors gecombineerd kunnen worden (van unimodaal tot multimodaal).

Functioneel netwerkinformatiemodel



Figuur 6 Deel van een functioneel netwerkinformatiemodel

Het Functioneel netwerkinformatiemodel is een verbijzondering van het Ruimtelijk netwerkinformatiemodel door specifieke **functies**, zoals transport, toe te kennen aan de ruimtelijke gebieden. Het kader hiervoor wordt geboden door het Basismodel geo-informatie (NEN 3610:2022). In figuur 6 is een deel van het functioneel netwerkinformatiemodel te zien.

Op dit niveau kan een geografische relatie gelegd worden met andere typen virtuele ruimten, namelijk **registratieve ruimten** (zoals gemeentelijke grondgebieden), **geografische ruimten** (zoals landstroken) en **juridische ruimten** (zoals bestemmingen).

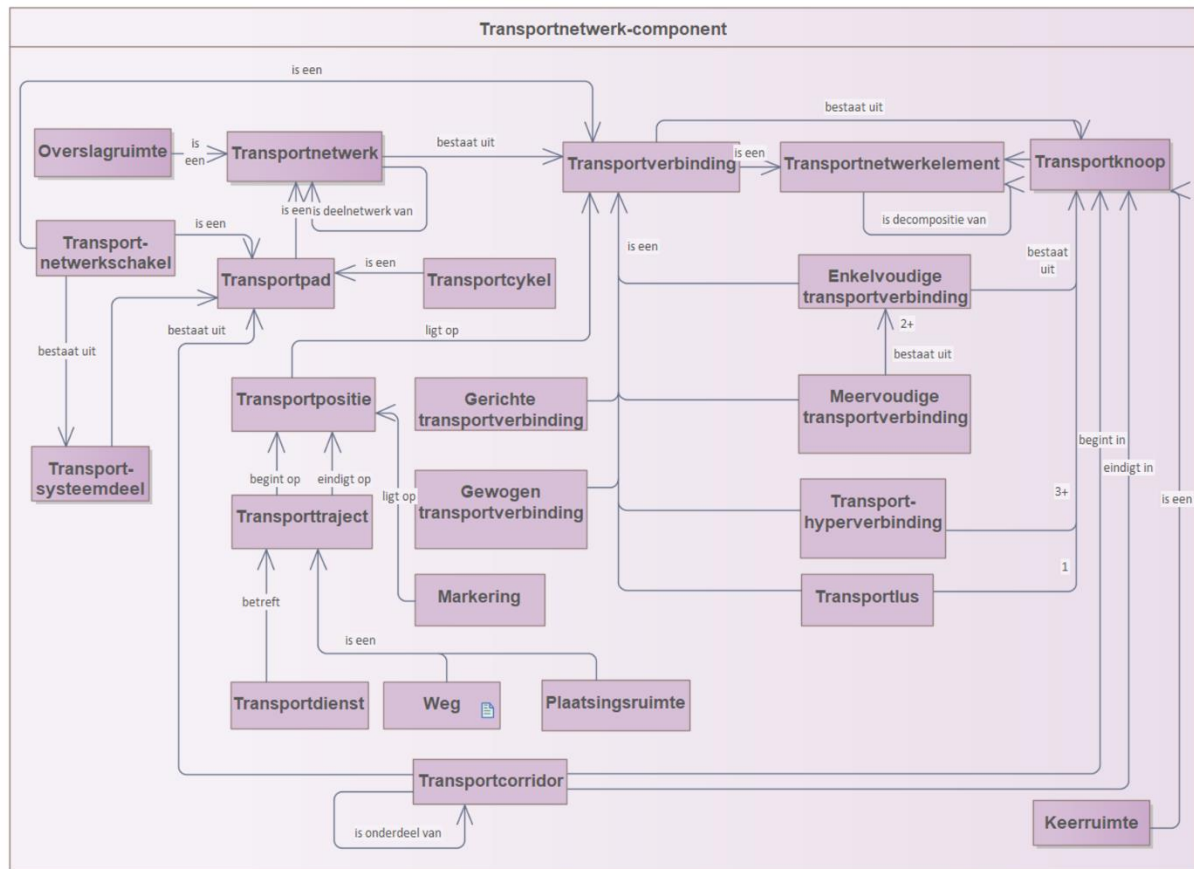
Transportnetwerkinformatiemodel

Het Transportnetwerkinformatiemodel is een verdere specialisatie van het Functioneel netwerkinformatiemodel. Het is weergegeven in figuur 7. Ten opzichte van het Functioneel netwerkinformatiemodel zijn toegevoegd:

Overslagruimte	Deeltransportnetwerk met een overdrachtsfunctie (overslaan van goederen en/of overstappen door mensen), zoals een haven.
Netwerkschakel	Transportpad, bedoeld om prestatieniveaus te definiëren en te vertalen naar plannen en maatregelen (zoals eerder uitgelegd). Alle netwerkschakels tezamen vormen zelf weer een netwerk op een hoger niveau.
Systeemdeel	Deel van een Transportnetwerkschakel, bedoeld om plannen en maatregelen te specificeren.
Markering	Teken ('betekenisdrager': een object met een betekenis) op een Transportpositie, bijvoorbeeld een hectometerpaal.
Transportdienst	Dienst die over een bepaald Transporttraject geleverd wordt, bijvoorbeeld het leveren van verkeersinformatie.
Weg	Transporttraject met een officiële naam, bijvoorbeeld Rijksweg 12.
Plaatsingsruimte	Transporttraject, waar voertuigen kunnen verblijven, bijvoorbeeld een parkeerplaats.

Keerruimte

Transportknoop met keerfunctie, zoals een zwaaiком in een vaarweg.



Figuur 7 Transportnetwerkinformatiemodel

Vaarwegennetwerkinformatiemodel

Het transportnetwerkinformatiemodel kan verder gespecialiseerd worden tot **wegennetwerkinformatiemodel**, **spoorwegennetwerkinformatiemodel**, **vaarwegennetwerkinformatiemodel** en **watersysteem-informatiemodel** (vier typen volgens NEN 3610, maar uit te breiden tot luchtvaartnetwerkinformatiemodel, leidingennetwerkinformatiemodel en meer). Ik geef hier als voorbeeld een uitwerking van het vaarwegennetwerkinformatiemodel. Dit bouwt voort op het in 2021 opgeleverde referentiemodel³.

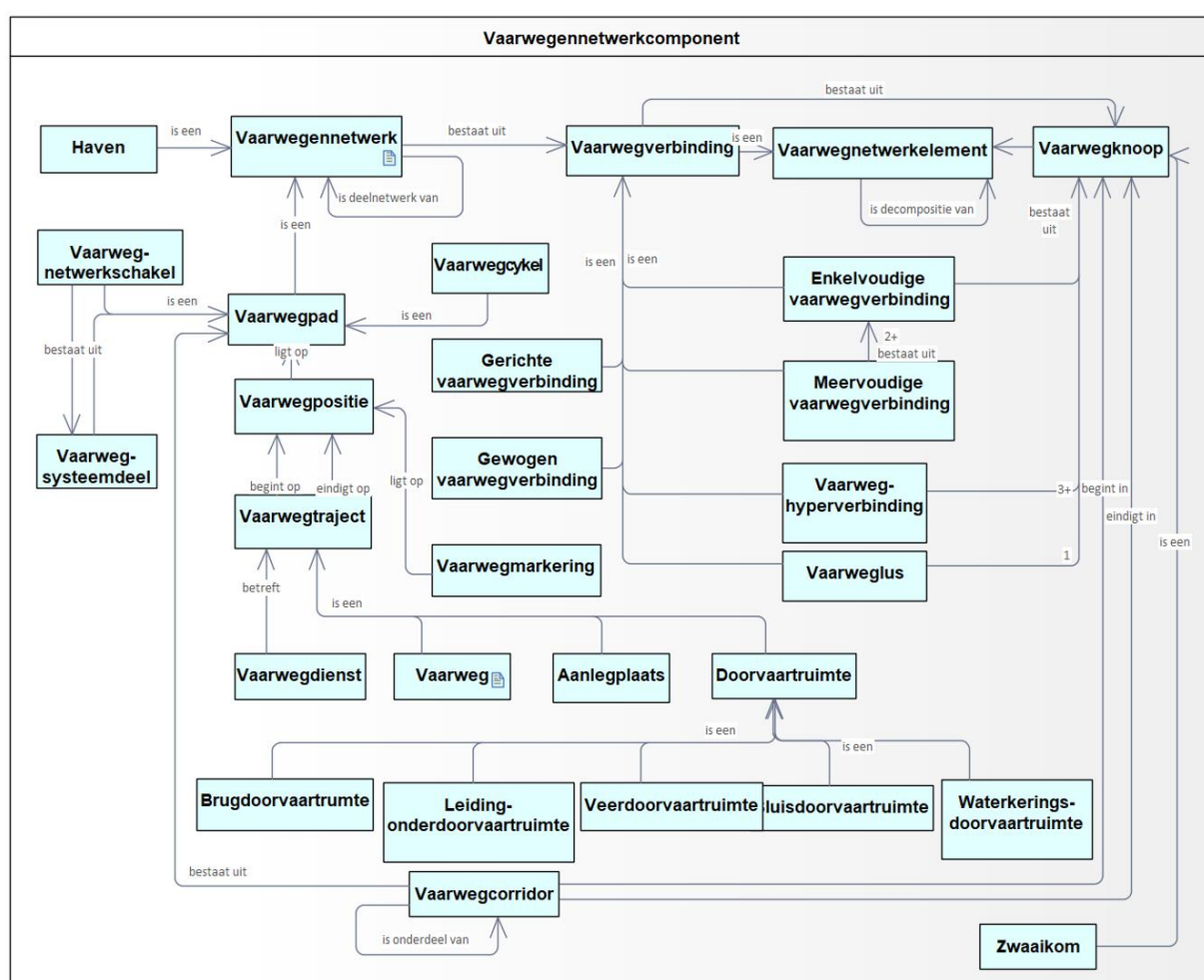
Een uniform vaarwegennetwerkmodel, eenvoudig gedefinieerd als een samenhangend geheel van punten en lijnen, dat alle vaarwegen met hun kenmerken representeert, is een noodzakelijke basis voor scheepvaartverkeersmanagement. Maar ook in breder verband is zo'n netwerkmodel nodig, bijvoorbeeld om vaarwegassets te registreren of om vaarweg- en watersysteemgegevens te koppelen. Het netwerkmodel is ook een basis voor verkeers- en vervoersmodellen. In een nog breder verband is zo'n vaarwegennetwerk een schakel in een systeem van meerdere transportnetwerken, geïntegreerd in landelijke geografische basisregistraties.

Met het model is een 'kapstok' geformuleerd voor vele toepassingsgebieden (River Information

³ Hein Corstens, 'Naar een toekomstgericht vaarwegennetwerk 2022', [GeoInfo 2022-2](#)

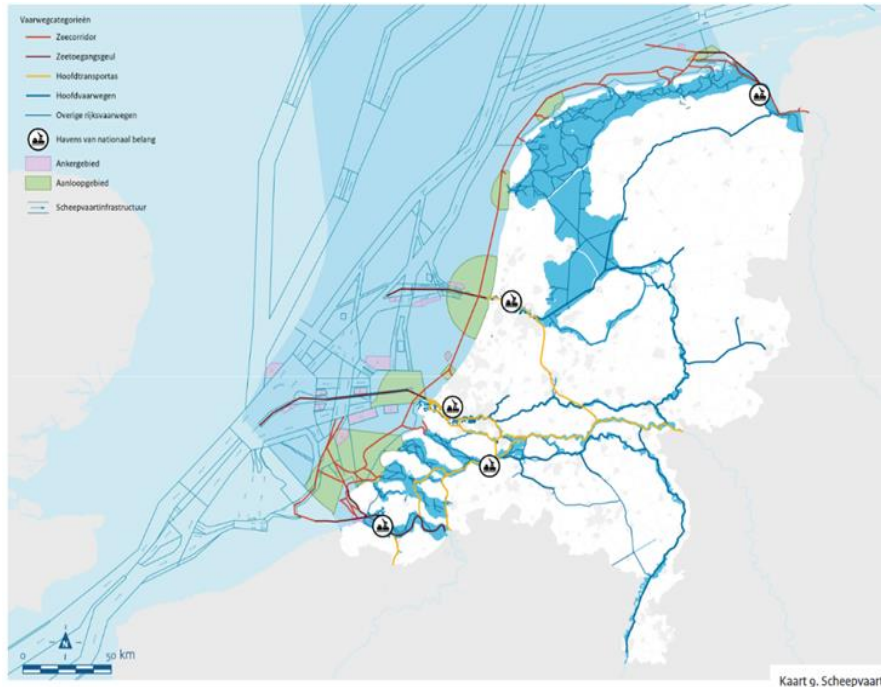
Figuur 8 geeft een indruk van het informatiemodel. Deze specialisatie levert een groot aantal nieuwe termen op, zoals:

Doorvaartruimte	Ruimte naast onder of boven een object aan een Vaarwegverbinding, waar- doorheen schepen kunnen varen, met als soorten: brugdoorvaartruimte, leidingonderdoorvaartruimte en sluisdoorvaartruimte
------------------------	--



Figuur 8 Vaarwegennetwerkinformatiemodel

Het model kan verder uitgewerkt worden in nog verder gespecificeerde objecttypen, zoals de differentiatie van vaarwegen naar hoofdvaarwegen, hoofdtransportassen enzovoorts en uitbreiding met meer attributen (zie figuur 9). Dit is verder uitgewerkt in een ontologie. Hieraan wordt verderop aandacht besteed.



Figuur 9 Vaarwegcategorieën (bron: Nationaal Waterprogramma 2022-2027)

Relaties van de netwerkmodellen onderling en met de standaarden

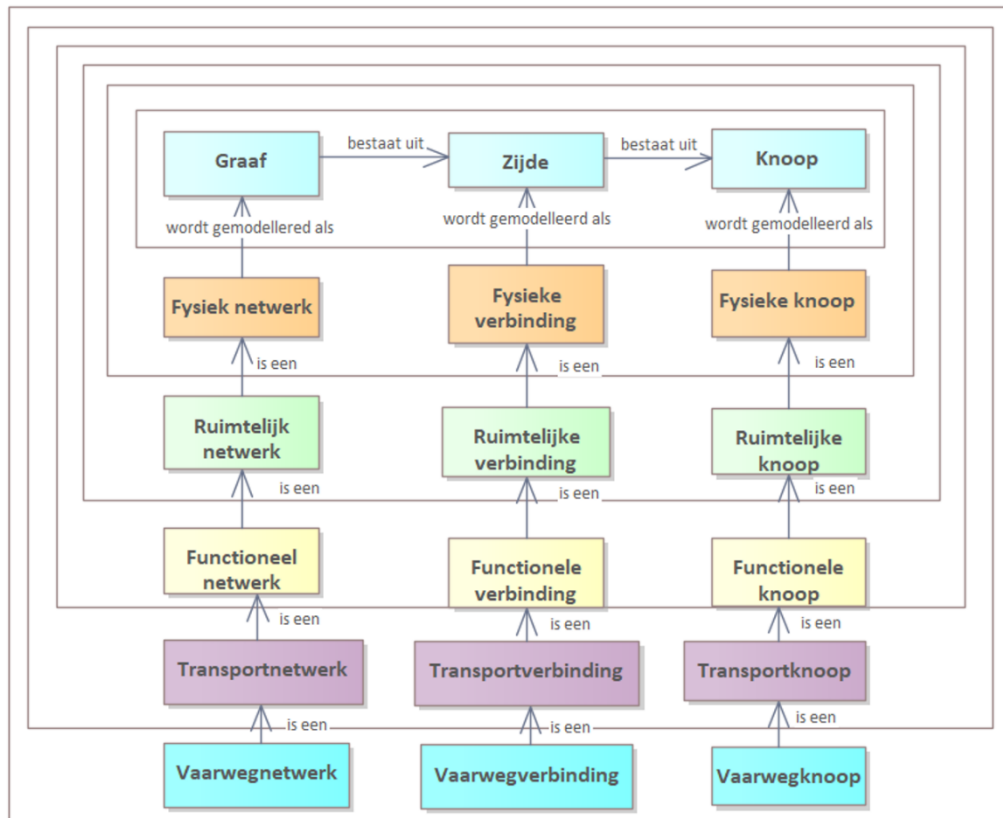
Figuur 10 geeft de relaties tussen de netwerkinformatiemodellen weer.

Figuur 11 relateert het geheel aan NEN 2660 en NEN 3610.

Uitwerking in Netwerkdefinities

Om de resultaten te verwerken in een ontologie of set ontologieën (een OTL) dienen aan de benoemde objecttypen en de daarbij behorende relaties definities toegevoegd te worden. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van bestaande definities en referentiemodellen. Om tot een vergelijking daarvan te komen en vervolgens tot afstemming dient er een strikte definiëring volgens de opgestelde modellen, die een taxonomie als ruggengraat hebben, plaats te vinden van waaruit mappings gemaakt kunnen worden naar de domeindefinities. Op die manier wordt een basis gelegd voor interoperabiliteit van gegevens.

Voor Rijkswaterstaat heb ik het bovenstaande uitgewerkt in een overzicht, dat verder vertaald kan worden naar OTL-inhoud op basis van de **linked datastandaarden** (RDF, RDFS, OWL en SHACL). De basis is een taxonomie van alle relevante netwerkbegrippen en aanpalende begrippen (zoals assets, functies, gebieden, e.d.). De taxonomie loopt van heel abstract ('Topconcept') tot heel concreet ('Basculebrugdoorvaartruimte', 'Brugdoorvaartruimtepuntgeometrie', 'Maximale scheepslengte', e.d.). Figuur 12 illustreert dat aan de hand van een stukje van het overzicht.



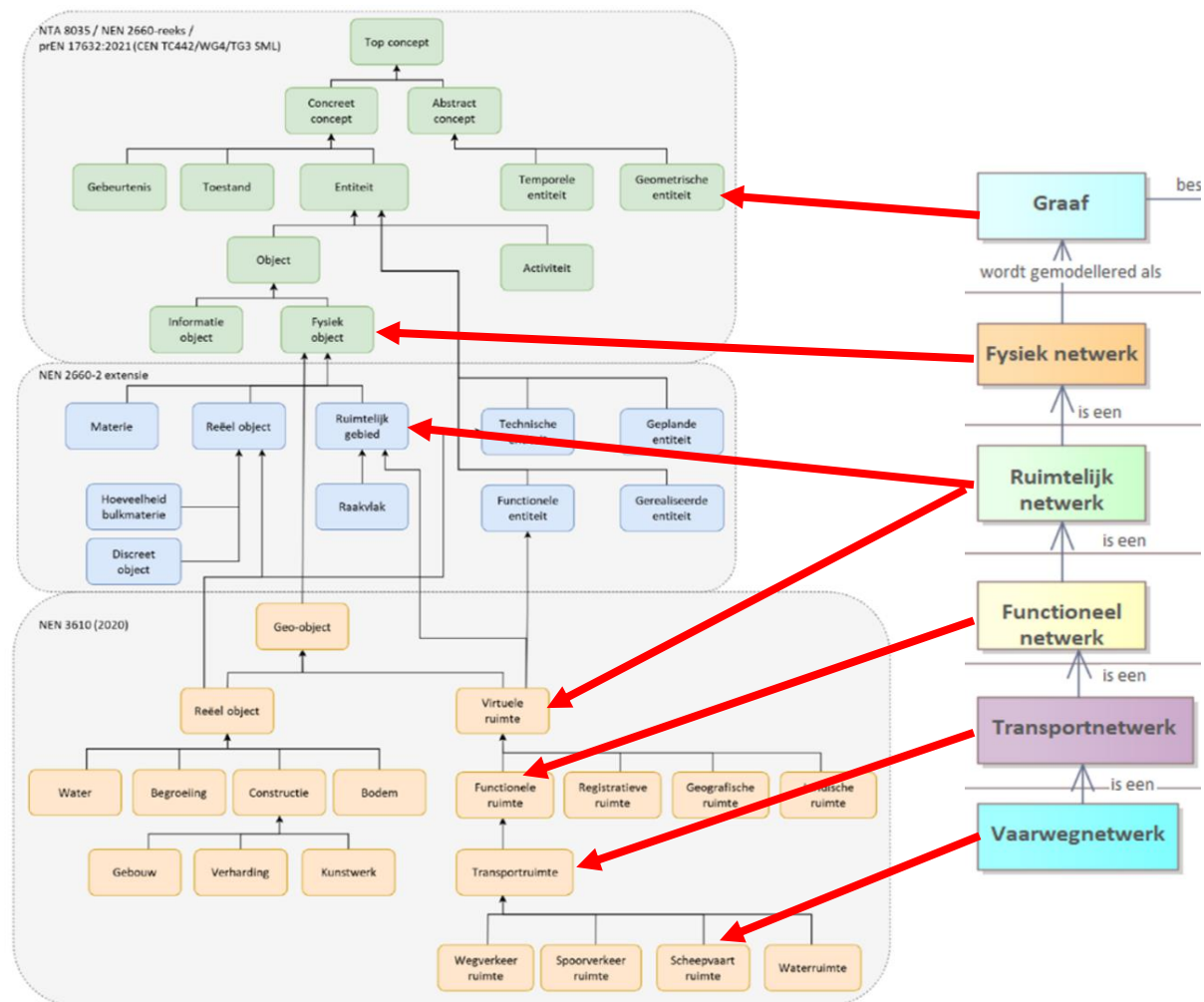
Figuur 10 Samenhang van de netwerkinformatiemodellen

Per objecttype worden twee definities vermeld:

- OTL-definitie: definitie, waarbij zoveel mogelijk strikt volgens de methode van subtypering door middel van het toevoegen van eigenschappen gewerkt wordt.
- Domeindefinitie: definitie die binnen het domein gehanteerd wordt, eventueel logisch en taalkundig bijgesteld.

Op die manier zijn de begrippen enerzijds geschikt voor logische afleidingen en anderzijds begrijpelijk voor de gebruikers in het relevante domein.

Bij de verdere uitwerking is het van belang mappings te maken tussen dit informatiemodel en andere informatiemodellen als basis voor transformatie van data. Deze is nodig is als die data in een ander domein gebruikt worden als waarin ze ontstaan zijn. Een voorbeeld: data over oevers, kaden, steigers, etc. in het vaarwegdomein, die vertaald worden naar data over bevaarbaarheid, aanlegmodelijkheden, etc. in het navigatiedomein.



Figuur 11 Relatie van de netwerkinformatiemodellen met NEN 2660 en NEN 3610

Voordelen van het informatiemodel

1. Gebruikmaking van **overerving**: objecten en eigenschappen worden zo hoog mogelijk in de taxonomie geplaatst, waardoor ze in zoveel mogelijk domeinen gebruikt kunnen worden en in die domeinen niet in extenso opnieuw gedefinieerd hoeven te worden. Bijvoorbeeld is er één definitie voor een pad: een aaneenschakeling van enkelvoudige verbindingen zonder

Fysie/Ruim/Funct/Trans/Scheepvaartnetwerk	OTL-definitie	Bron OTL-def.	Eigenaar OTL-DEF
Vaarwegverbindingsgeometrie	Geometrie van een vaarwegverbinding		
Vaarwegprofiel	Het deel van de Dwarsdoorsnede van een Vaarweg , BOM-V2 (voorstel)		
Intensiteitsprofiel beroepsvaart	Vaarwegprofiel ten behoeve van meerstrooksverkeer, :Richtlijnen Vaarwegen		
Normaal profiel beroepsvaart	Vaarwegprofiel ten behoeve van tweestrooksverkeer. 15-30K passages per jaar		
Krap profiel beroepsvaart	Vaarwegprofiel ten behoeve van tweestrooksverkeer. 5-15K passages per jaar		
Enkelstrooksprofiel beroepsvaart	Vaarwegprofiel ten behoeve van verkeer in één vaarrichting, <5K passages per ja		
Brugdoorvaartruimtegeometrie	Geometrie van een Brugdoorvaartruimte		
Brugdoorvaartruimpuntgeometrie	Puntgeometrie van een Brugdoorvaartruimte		
Brugdoorvaartruimtelijngeometrie	Lijngeometrie van een Brugdoorvaartruimte		
Brugdoorvaartruimtevlakgeometrie	Vlakgeometrie van een Brugdoorvaartruimte		
Brugdoorvaartruimtevolumegeometrie	Volumegeometrie van een Brugdoorvaartruimte		

Figuur 12 Stukje uit de ontologie van het vaarwegennetwerkinformatiemodel

splitsingen. Die definitie is geldig voor het wegennetwerk, het vaarwegennetwerk, het watersysteem, etc. Door deze aanpak vindt er ook uniformering van definities in verschillende domeinen plaats, waardoor ze makkelijker gekoppeld worden, bijvoorbeeld tot multimodale corridors.

2. Het model sluit aan bij de wijze van modellering die in de wereld van **linked data** wordt toegepast, ofwel: er is op een natuurlijke wijze een vertaling mogelijk naar een ontologie.
3. Alle begrippen in alle relevante domeinen worden meegenomen in het definitiestelsel. Hierdoor is het maken van **mappings** en daarmee het vergelijken en zo mogelijk afstemmen van begrippen in verschillende domeinen mogelijk.
4. Aansluiting op de relevante normen maakt **inpassing** mogelijk in **breder definitiestelsels**. Zo kunnen op basis van NEN 2660 aan de fysieke netwerken (functionele entiteiten) reële objecten (technische entiteiten) gekoppeld worden. Daardoor kan een sluitend beeld verkregen worden van alle assets in een stelsel, zoals het watersysteem, gekoppeld aan hun prestaties. Vervolgens kan het gewenste beeld vergeleken worden met de bestaande toestand om op basis van de geconstateerde kloof een investeringsprogramma op te stellen. Op basis van NEN 3610 is het mogelijk het netwerk te relateren aan allerlei ruimtelijke objecten, zoals ecologische zones, eigendomsgrenzen en bestuurlijke gebieden.
5. Er worden **interne en externe definities** onderscheiden. De interne definitie is netjes en logisch opgebouwd, de externe definitie kan wat informeler zijn maar wordt beter begrepen in het relevante domein. De nette opbouw wordt bewaakt door een 1:1 koppeling van interne en externe definitie.

Als nadeel zou benoemd kunnen worden dat er **investeringen** nodig zijn, omdat de communicatie tussen domeinspecialisten en gegevensarchitecten verbeterd moet worden: domeinexperts moeten eraan wennen over de organisatorische en systeemtechnische grenzen van hun domein te kijken en gegevensarchitecten moeten zich meer verdiepen in de idiomen van domeinspecialisten. Maar investeren is natuurlijk geen echt nadeel.

Over de auteur

Hein Corstens is semantisch analist en data-architect bij Corstens informatiearchitectuur (www.corstens.nl)