Verkenning semantische basis voor de tunnelsector

Afspraken voor eenduidige betekenis van data ten behoeve van informatie-uitwisseling

COB
Nederlands kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik

Voorwoord

Dit onderzoek heeft plaatsgevonden in het kader van het tunnelprogramma van het COB-netwerk. De deelnemers hebben zich tot doel gesteld in 2030 een gemeenschappelijke taal te spreken voor het uitwisselen en gebruiken van data in de tunnelsector. Er is daarom onderzoek gedaan naar een taalopzet – een semantische basis – voor alle levensfasen en aspecten van een tunnel.

De eerste bevindingen zijn in januari 2022 gepubliceerd in een tussenrapportage. Deze bevindingen zijn aangevuld en verder uitgewerkt in onderliggend rapport.

Inhoudsopgave

	Voorwoord	2
1	Basisbegrippen	4
1.1	Semantiek	4
1.2	Semantische basis	5
1.3	Taal	5
1.4	Ontologie	6
1.5	Common data environment (CDE)	7
2	Semantische afspraken in Nederland: NEN 2660-serie	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Theoretisch kader (NEN 2660-1)	8
2.3	Praktische invulling (NEN 2660-2)	11
3	Tunnelspecifieke toepassing	12
3.1	Inleiding	12
3.2	CDE-groeiboek	12
3.3	Gegevenswoordenboek voor tunnels	12
3.4	Toepasbaarheid	13
4	Projectvervolg	14
4.1	Aanbeveling: herstructurering ontwikkellijn Digitalisering	14
4.2	Rol COB	15
4.3	Vervolgstappen ontwikkellijn Digitalisering	15
BIJLAGE A	Verslag vooronderzoek	17
A.1	Inleiding	17
A.2	Rijkswaterstaat	17
A.3	Gemeenten: Amsterdam en Rotterdam	17
A.4	N.V. Westerscheldetunnel	18
A.5	Agentschap Wegen en Verkeer (Vlaanderen)	19
BIJLAGE B	Voorbeelduitwerking NEN 2660	20
B.1	Realisatie in Linked Data	20
B.2	Relatie tussen elementen en modellen	22
B.3	Weergave in Turtle-formaat	23
	Colofon	29

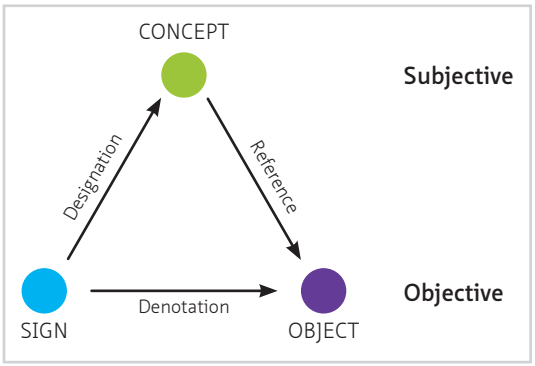
1 Basisbegrippen

1.1 Semantiek

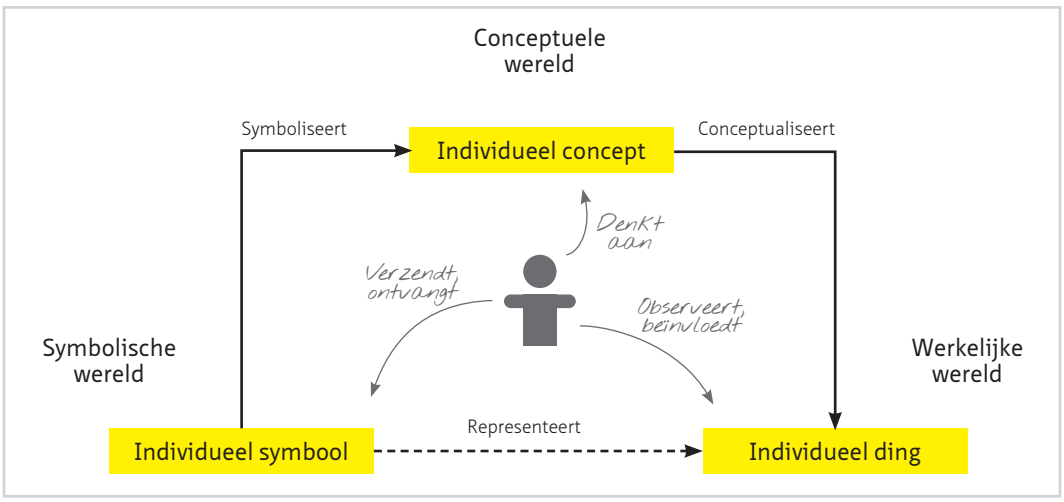
In de taalkunde[1] is semantiek (of betekenisleer) de studie van de betekenis van woorden en van hogere eenheden zoals woordgroepen en zinnen. Een semantische discussie gaat bijvoorbeeld over de vraag wat het woord 'iedereen' precies betekent. En het semantische verschil tussen de ene 'bank' en de andere 'bank' is dat de eerste een zitmeubel is en het tweede een financieel instituut.

In datawetenschap is de interpretatie van semantiek heel vergelijkbaar, maar ligt het accent iets meer op de relatie die symbolen (betekenaars) in de data hebben met de betekenis die wij er als mensen in de werkelijke wereld aan geven (denotatie). Met semantische technologie is het mogelijk om die betekenis voldoende sterk vast te leggen, zodat computers geholpen worden om de gegevens te 'begrijpen'. Een computer zal wellicht nooit iets begrijpen zoals mensen dat doen, maar kan wel de juiste relaties zoeken met andere data, nieuwe informatie afleiden die volgt uit de definities van de betekenis, of kunnen nagaan in hoeverre de data ook zinvolle informatie representeert.

Bovenstaande wordt in het algemeen weergegeven als een 'betekenisdriehoek' (*meaning triangle*), zie FIGUUR 1.1. In de standaard NEN 2660-1 wordt de betekenisdriehoek weergegeven zoals in FIGUUR 1.2.



Figuur 1.1 / Meaning triangle.



Figuur 1.2 / Betekenisdriehoek volgens NEN 2660-1.

1 Bronnen: Neerlandistiek en de Digitale bibliotheek voor de Nederlandse letteren (DBNL).

In gebruikelijke programma's die op computers worden uitgevoerd, wordt de betekenis van data gegeven door (de programmeurs van) het programma dat de data verwerkt. Bij verschillende programma's of zelfs bij verschillende versies van hetzelfde programma kan de data dus ook verschillend worden geïnterpreteerd.

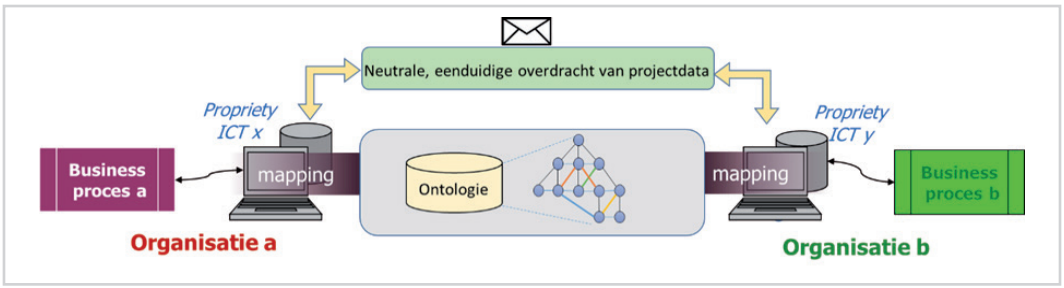
Het voordeel van het vastleggen van de betekenis van data met behulp van semantische technologie is dan ook dat de interpretatie van de data hetzelfde is voor alle programma's die gebruikmaken van deze semantische technologie. Dat is van belang voor de interoperabiliteit van de informatie die we willen uitwisselen tijdens de levenscyclus van een systeem, zoals een tunnel.

1.2 Semantische basis

Rond het toepassen van semantische technologie moeten afspraken worden gemaakt. De kennis die wordt vastgelegd via de semantische technologie is immers afhankelijk van de context waarin die wordt gedefinieerd. De definitie van een aspect van een tunnel zou bijvoorbeeld in Frankrijk anders kunnen zijn dan in Nederland, of in Den Haag anders dan in Amsterdam. Als verschillende datasets betrekking hebben op eenzelfde element, wil je garanderen dat het verband daartussen ook gevonden kan worden, en dat de afleidingen die op basis van de semantiek kunnen worden gedaan ook voor beide datasets gelden. Branche-afspraken worden centraal vastgelegd, dus veel van de semantische informatie zal verwijzen naar sectorafspraken en -standaarden (denk aan conceptbibliotheken[2] of *object type library*, OTL) die op hun beurt de relevante semantische elementen op een afgesproken manier ter beschikking moeten stellen.

Semantische technologie maakt het dus wel mogelijk om betekenis te geven aan data, maar we moeten ervoor zorgen dat in de verschillende omgevingen dezelfde technologie wordt toegepast en dat de interpretatie in verschillende omgevingen ook tot dezelfde betekenis leidt. Het pakket aan afspraken dat we maken rond het toepassen van semantische technologie vormen de semantische basis.

Daarom moet er een gemeenschappelijke taal afgesproken worden tussen partijen die data eenduidig willen uitwisselen, dus een gezamenlijke OTL en informatiemodel (zie FIGUUR 1.3).



Figuur 1.3 / Een gemeenschappelijke taal tussen partijen die data eenduidig willen uitwisselen. (Bron: NTA-8035-2020, figuur 2)

1.3 Taal

Om informatie zinvol te kunnen communiceren, gebruiken we talen. Dezelfde informatie wordt meestal in vele talen gerepresenteerd. Computers kunnen onderling talen verwerken die voor mensen onleesbaar zijn, en programmeertalen zijn onderling verschillend ook al wordt dezelfde data verwerkt. Voor de interactie tussen mens en computer worden grafische en tekstuele talen gebruikt, eventueel in tabelvorm. Zo kunnen voor de informatie adequate representaties worden gekozen die de mens helpen om de informatie te ver- en bewerken. Eenzelfde representatie kan in verschillende contexten een andere betekenis hebben.

2 Conceptbibliotheken zoals beschikbaar gesteld door CB-NL.

Om de representaties (gevormd door betekenaars) juist te interpreteren, moet de juiste betekenis (de denotatie) kunnen worden gevonden. Een taal is een invulling van afspraken over representaties (syntax) en de bijbehorende betekenis (semantiek)[3].

Let op: vaak wordt er over 'taal' gesproken als het gaat om definities van concepten en relaties voor een bepaald domein (zie ontologie, PARAGRAAF 1.4).

Bij een representatie zijn afspraken over taal meestal impliciet (bijvoorbeeld in boeken of e-mails). Om misverstanden te verminderen, kunnen afspraken over de betekenis aan de representaties worden toegevoegd. Daarvoor is opnieuw een representatie nodig waarmee we verwijzen naar iets dat een betekenis vertegenwoordigt. Kortom, we hebben een taal nodig waarmee we de betekenis van een taal kunnen beschrijven. Ook zijn er talen nodig om syntaxen te beschrijven, zodat we representaties kunnen lezen. Talen die andere talen definiëren noemen we meestal meta-talen. Met meta-talen kunnen we ook de meta-talen definiëren.

In natuurlijke talen is het onderscheid tussen 'gewone' taal en meta-taal iets minder duidelijk, omdat we typisch vele talen met elkaar vermengen in ons taalgebruik. Toch kennen we ook woordenboeken, waarin we betekenis aan woorden geven door die met andere woorden te definiëren, of de ANS waar men probeert de grammatica van het Nederlands te beschrijven.

Om een taal een betekenis te geven, beelden we vaak een taal af in andere talen. Dat doen we zo in een woordenboek, maar ook in een taaldefinitie voor een computer. De referentietalen kunnen weer goed gedefinieerde (geformaliseerde) talen zijn. Als we echter een semantiek willen geven die relateert aan de werkelijke wereld, beelden we uiteindelijk toch af op een taal die we als mensen in een context met elkaar afspreken. Zo kan het taalgebruik in de tunnelstandaard als een referentie dienen om een tunnel-taal te definiëren. De taalafbeeldingen maken het mogelijk om domeinen aan elkaar te relateren. Taal vormt dus ook het bindmiddel tussen de diversiteit aan begrippen die relevant zijn rondom een toepassing in bijvoorbeeld de levenscyclus van een systeem.

Talen evolueren voortdurend, en worden op die manier geoptimaliseerd voor de communicatie in een zekere omgeving, bijvoorbeeld binnen een bedrijf of project. De semantische afspraken zullen van toepassing zijn wanneer er informatie moet worden uitgewisseld. Op dat moment zal de taal die in een omgeving gesproken wordt, moeten worden afgebeeld op taalgebruik dat zich conformeert aan concepten en formaten die via semantische afspraken zijn vastgelegd.

1.4 Ontologie

Als we betekenis aan iets willen geven, spreken we over concepten, relaties en regels rond samenstellingen en waarden die we aan eigenschappen van concepten kunnen toekennen. De

definities die in een bepaald domein zinvol zijn, kunnen worden vastgelegd in een ontologie. Een ontologie kan gezien worden als 'een beschrijving van de werkelijkheid, die door computers kan worden geïnterpreteerd' (bron: Wikipedia). In semantische technologie zullen dan ook talen zijn gedefinieerd dit het mogelijk maken om ontologieën te definiëren.

Ook hier geldt dat de computer niet de relatie heeft met de werkelijkheid zoals wij die als mensen ervaren of bedoelen. Daarom kiezen we er bij de definitie van een ontologie vaak voor om concepten in de ontologie te beschrijven in natuurlijke taal of om te verwijzen naar een normatieve definitie van het concept: de link met de werkelijkheid wordt immers uiteindelijk toch door de mens gemaakt.

Zoals we ook in ons spraakgebruik talen vermengen, zullen ook ontologieën vaak naar elders gedefinieerde ontologieën verwijzen. Zo ontstaan netwerken van ontologieën die begrippen delen, waarbij samenhang kan worden gecreëerd door relaties te definiëren met generieke begrippen die in een 'foundation'- of 'top-level'-ontologie zijn vastgelegd. Maar ook daar zijn er vele van te vinden.

3 Dit is nog een zeer eenvoudige definitie, afdoende voor deze context.

Als onderdeel van de semantische afspraken rond informatiestromen, zal dus ook moeten worden afgesproken welke relaties met reeds bestaande, branche-gedefinieerde, normatieve of top-level-ontologieën van belang zijn. Dergelijke afspraken zijn gerelateerd aan de informatiestromen en worden daarmee vooral bepaald door de toepassingen die te maken hebben met de informatie.

1.5 Common data environment (CDE)

In de context van het bouwinformatiemodel (BIM) worden op het gebied van informatie-uitwisseling wereldwijd stappen gezet, waarbij voor de gebouwde omgeving de normering ISO 19650 een belangrijk referentiekader schept. Het BIM Loket beschrijft de normering als volgt:

> *ISO 19650 beschrijft de samenwerkingsprocessen voor effectief beheer van informatie. Dit betreft de gehele leverings- en operationele fase van een gebouw. Oorspronkelijk is deze norm ingevoerd om het gebruik van een gemeenschappelijke taal binnen BIM te bevorderen en om professionals in de gebouwde omgeving aan te moedigen om BIM toe te passen. De normserie geeft een algemene beschrijving van begrippen als Level of Information Need (LOIN), Exchange Information Requirements (EIR, in het Nederlands Informatie Leveringsspecificaties), BIM Execution Plan (BEP) en Common Data Environment (CDE). (Bron: BIM Loket)*

Binnen de context van het project WP1C Taal/data gaat de aandacht vooral uit naar de *common data environment* (CDE), omdat daarin de noodzakelijke semantische basis moet worden gerealiseerd en het de omgeving is waarmee engineers in projecten concreet moeten werken.

Een CDE is vrij vertaald volgens BIMportal een 'virtuele plaats waar alle informatie van een bepaald project (o.a. grafische modellen en documenten, maar ook niet-grafische gegevens) verzameld, bijgehouden, beheerd en verspreid wordt voor alle partijen.'

Het is daarmee dan ook de plaats waarin informatie-interoperabiliteit wordt gerealiseerd. De term plaats moet daarbij ruim genomen worden, want het betreft een applicatielandschap waarin vele zaken rond informatie-uitwisseling worden geregeld.

De ontwikkelingen rond interoperabiliteit en de bijbehorende semantische afspraken zoals die gemaakt worden rond BIM-toepassingen (internationaal en nationaal), '*digital twinning*' en systemen voor productlevenscyclusmanagement (PLM), leiden alle naar een basis voor een dergelijke omgeving met ook een redelijk overeenkomstige keuze in de (vele) benodigde standaarden.

In zo'n CDE moeten heel wat zaken worden geregeld, zoals techniek en formaten van bestanden, metadata om de rol van data in het proces en in relatie tot het systeem te kunnen begrijpen, regels voor de informatiemodellering en de te hanteren begrippen die voor de tunnellevenscyclus van belang zijn, zodat de data ook aan de werkelijke omgeving en omstandigheden kan worden gerelateerd. Daar blijft het echter niet bij: ook het beheer van de informatie moet worden gereguleerd, er moet gezorgd worden voor autorisatie, het intellectueel eigendom (intellectual property, IP) moet kunnen worden gerespecteerd, de informatie moet beveiligd zijn tegen ongeautoriseerde toegang. De informatie moet ook geldig zijn, zodat er daadwerkelijk beslissingen op kunnen worden gebaseerd. Daartoe moet wel de juiste informatie worden gedeeld en zullen er mechanismen moeten zijn om om te gaan met onvolledige of onjuiste informatie. Enzovoort.

De scope van het project WP1C betreft de semantische afspraken, maar het gegevensbeheer rond zo'n CDE gaat dus veel verder dan dat.

2 Semantische afspraken in Nederland: NEN 2660-serie

2.1 Inleiding

In Nederland is rond interoperabiliteit een fundament gelegd in de Nederlandse technische afspraak NTA 8035, die is ontwikkeld om gefragmenteerde databronnen met elkaar te kunnen verbinden. De NTA bouwt voort op recente ervaringen in gegevensuitwisseling en het gebruik van onder andere begrippen-bibliotheken (OTL's). Uit de standaard:

> *Deze NTA legt, samen met ISO ICDD[1], de basis voor eenduidigheid in de toepassing van semantische W3C-talen bij de toekomstvaste modellering, uitwisseling of deling, en integratie van gegevens (Engels: data) in de gebouwde omgeving. Het gaat hier met name om gegevensstructuren (Engels: data models) die betekenis (semantiek) geven aan de gegevens.*

Diverse Nederlandse standaardisatie-initiatieven in de civieltechnische wereld houden inmiddels rekening deze NTA via de daaruit volgende standaarden, met name de NEN 2660-serie. Voor de tunnelbouwsector is het belangrijk om aansluiting te houden bij ontwikkelingen in de nationale en internationale civieltechnische sectoren. Het lijkt dan ook voor de hand liggend om de coördinerende afspraken rond informatiemodellering en data-uitwisseling die in nationale en internationale normen worden vastgelegd, te volgen.

De normenserie NEN 2660 is gebaseerd op en vervangt de NTA 8035, die daarmee is ingetrokken:

> *Met de publicatie van de NEN 2660-reeks wordt NTA 8035:2020 na overleg met betrokken partijen ingetrokken. De NEN 2660-reeks, in het bijzonder NEN 2660-2, dekt NTA 8035:2020 functioneel volledig af. Op detail en implementatie-technisch zijn er verschillen waardoor specificaties volgens NTA 8035:2020 moesten worden herzien.*

Momenteel zijn de volgende normen in de serie gepubliceerd en vrij te verkrijgen:

- **NEN 2660-1 - Regels voor informatiemodellering van de gebouwde omgeving - Deel 1: Conceptuele modellen**
  NEN 2660-1 biedt een raamwerk voor het ontwikkelen van samenhangende conceptuele modellen die betrekking hebben op het gebruik van, en de gehele levenscyclus van de gebouwde omgeving, en elementen uit deze omgeving. Deze norm is gericht op organisaties die conceptuele modellen binnen dit domein ontwikkelen, niet op de partijen die deze conceptuele modellen uit dit domein in de praktijk toepassen.

- **NEN 2660-2 - Regels voor informatiemodellering van de gebouwde omgeving - Deel 2: Praktische configuratie, extensie en implementatie van NEN 2660-1**
  NEN 2660-2 is een praktische invulling van NEN 2660-1. In deel 1 zijn theoretische/conceptuele en bouw- en taalonafhankelijke modelleerpatronen vastgelegd. Voor mensen die in de praktijk aan de slag gaan met informatiemodellering, is het aan te raden NEN-2660-2 als basis te gebruiken.

In de volgende paragrafen worden beide normen toegelicht.

2.2 Theoretisch kader (NEN 2660-1)

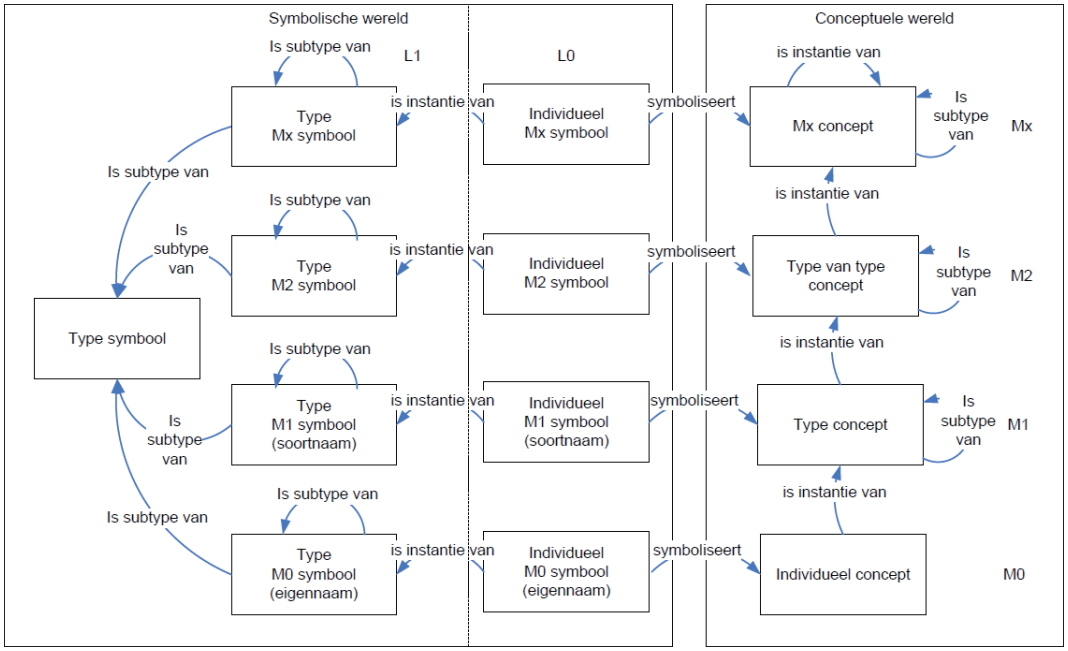
> *NEN 2660-1 gaat in op de conceptuele modellen die de basis vormen voor toekomstvaste, aanpasbare en uitbreidbare informatiemodellen. De inhoud van NEN 2660-1 is goed bruikbaar in de gebouwde omgeving, maar is door zijn conceptuele karakter ook bruikbaar voor veel andere domeinen in de werkelijkheid*

1 ICDD = Information container for data delivery, zie ISO 21597 of BIM Loket.

In NEN 2660-1 wordt een basis gelegd voor informatiemodellering. In het conceptueel modelleringsraamwerk worden principes beschreven die van belang zijn om informatie semantisch te kunnen beschrijven. De norm geeft een visie op wat modellen zijn en hoe wij als mens modellen maken, waarin de betekenisdriehoek centraal staat. Deze illustreert hoe we als mens in gedachten een individueel ding conceptualiseren en concepten (ook relaties en rollen) symboliseren. NEN-2660-1 is abstract; voor een implementatie in de praktijk biedt NEN-2660-2 een bruikbaarder fundament.

Er wordt ingegaan op diverse aspecten van het symboliseren van concepten die we willen kunnen communiceren (synoniemen, vertalingen, homoniemen) en hoe we met verzamelingenleer concepten classificeren (typen en individuen). Ook wordt beschreven hoe we zowel fysieke als niet-fysieke dingen conceptualiseren.

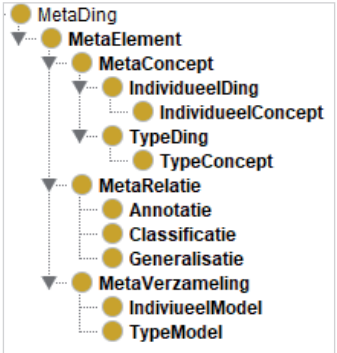
Deze mechanismen kunnen we ook toepassen op het conceptualiseren zelf: we kunnen redeneren over onze gedachten. Zo ontstaat er een gelaagdheid in zowel de symbolische wereld (taalniveaus genoemd in deze standaard) als in de conceptuele wereld (modelniveaus).



Figuur 2.1 / Gelaagdheid in de symobolische en conceptuele wereld. (Bron: NEN-2660-1-2022, figuur 9)

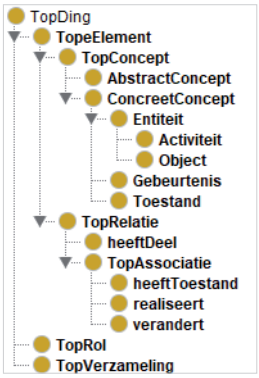
De niveaus worden vervolgens ingevuld via:

- Een conceptueel metamodel (CMM) dat de dingen beschrijft dit nodig zijn om informatie te definiëren (types) en vast te leggen (individuen). Het is een M2-niveau model en het bepaalt dus feitelijk hoe dingen gemodelleerd kunnen of moeten worden in domein modellen op M1-niveau. Het domein van het CMM is dus 'domeinmodellering'. FIGUUR 2.2 toont ter illustratie een deel van het CMM.



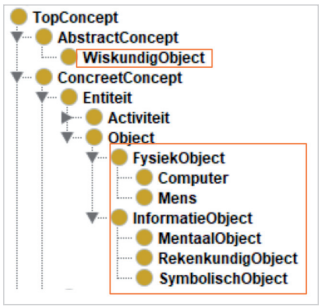
Figuur 2.2 / Voorbeeld van deel van CMM.

- Een conceptueel top-levelmodel (CM) dat een fundament vormt op M1-niveau voor het ontwikkelen en beheren van een verzameling van domain modellen op M1-niveau. Het domein van het CM is 'de werkelijke wereld'. Specifieke domeinmodellen zullen een specialisatie zijn van dit CM. FIGUUR 2.3 illustreert een CM.

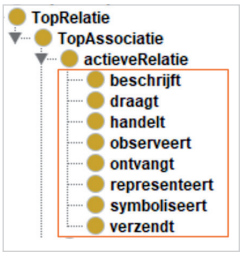


Figuur 2.3 / Voorbeeld van deel van CM.

- Enkele uitbreidingen op het CM die nuttig zijn in het beschrijven van iets specifiekere subdomeinen van de werkelijkheid:
  - Soorten werkelijkheden (fysiek, conceptueel, symbolisch en rekenkundig), zie FIGUUR 2.4.
  - Communicatie (tussen mensen), zie FIGUUR 2.5.

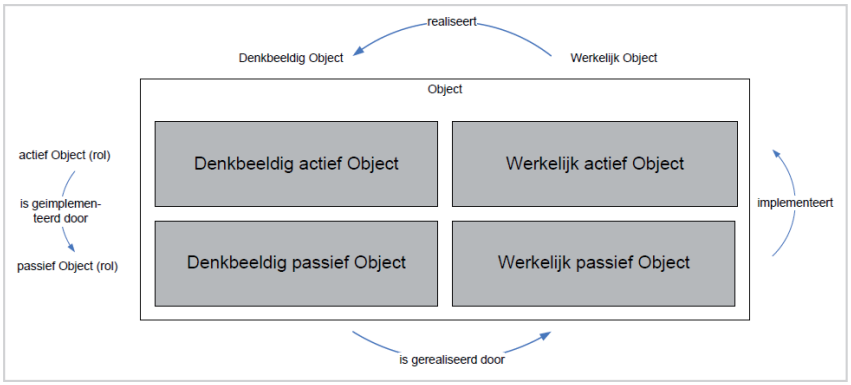


Figuur 2.4 / Voorbeeld van uitbreiding CM voor het modelleren van werkelijkheden.

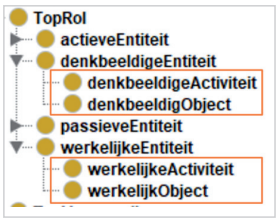


Figuur 2.5 / Voorbeeld van uitbreiding CM voor het modelleren van communicatie.

  - De vier kwadranten die de rol van een object beschrijven, zie FIGUUR 2.6. Dit vertaalt zich in een uitbreiding op het CM zoals weergegeven in FIGUUR 2.7.



Figuur 2.6 / Beschrijving van de rol van een object. (Bron: NEN-2660-1-2022, figuur 38)



Figuur 2.7 / Voorbeeld van uitbreiding CM met rollen.

In NEN 2660-1 wordt vooral een theoretisch/filosofisch kader gedefinieerd voor de relevante Mx-niveaus. Om het praktisch te kunnen gebruiken, is een afbeelding nodig op een modelleertaal (of set modelleertalen) zodat bestaande technologie kan worden toegepast. Hiertoe dient een taalbinding te worden gedefinieerd. De principes daarvoor worden aangegeven:

- Selecteren van de relevante top-leveldomeinconcepten. Bestaande definities blijven daarbij ongewijzigd
- Mapping van het CMM op het metamodel van de modelleertechnologie. Hierbij kan geselecteerd, aangescherpt of platgeslagen worden. De relatie met het CMM moet altijd gedefinieerd zijn.

2.3 Praktische invulling (NEN 2660-2)

Om aan de slag te kunnen met informatiemodellering, biedt NEN-2660-2 een opzet voor het abstracte kader dat in NEN-2660-1 wordt gedefinieerd. NEN 2660-2 gaat in op de praktische invulling, zijnde de configuratie, extensie en implementatie van de conceptuele modellen uit NEN 2660-1 in termen en concepten van semantic web en linked data.

Configuratie van het CMM:

- Geen onderscheid van metarollen in het metamodel. Dit worden 00k-metaconcepten. De relatie 'speelt de rol van' wordt inverse ingevuld door 'is subtype van' (generalisatie).
- Alleen binaire gerichte (geen n-aire) relaties. Hierdoor is er geen behoefte aan relatierollen.
- Meer praktijkgerichte termen voor theoretische termen.
- Een simpelere, compactere structuur met minder tussenitems.

Extensie van het CM:

- Assetlevenscyclusinformatiemodellering (ALIM):

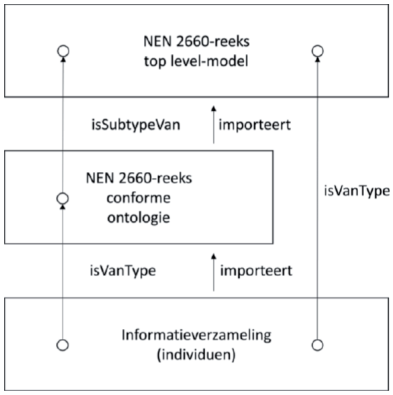
  Dit biedt de mogelijkheid om naast sec het 'areaal' – dat wil zeggen reële, technische en gerealiseerde fysieke objecten – ook hun ruimtelijke, functionele respectievelijk geplande manifestaties in kaart te brengen en onderling te relateren.

  Het resulterende CMM en CM worden hier niet beschreven, maar deze zullen wel de basis vormen voor de uitwerking van praktische instructies in een groeiboek (referentie-architectuur, zie PARAGRAAF 3.2).

Implementatie van het top-levelmodel op basis van het resulterende metamodel:

- SKOS[2]: [nen2660-term] <https://w3id.org/nen2660/term>
- RDFS[3], OWL[4], SHACL[5]: [nen2660] <https://w3id.org/nen2660/def>

Op basis van deze implementaties kunnen specifieke domeinmodellen en informatieverzamelingen worden ontwikkeld. Het globale patroon ziet er dan uit zoals in FIGUUR 2.8.



Figuur 2.8 / Globale patroon domeinmodellen en informatieverzamelingen volgens NEN 2660. (Bron: NEN-2660-2-2022, figuur 27)

In de NEN 2660-2 zijn in bijlage D voorbeelden opgenomen van toepassingen. Ter illustratie is een uittreksel hiervan opgenomen in BIJLAGE B van dit rapport.

2 SKOS = Simple knowledge organization scheme
3 RDFS = Resource description framework schema
4 OWL = Web ontology language
5 SHACL = Shapes and constraints language

3 Tunnelspecifieke toepassing

3.1 Inleiding

Er zijn vele initiatieven rond digitalisering in de civieltechnische wereld waarvan er een behoorlijk aantal ook een weg vindt naar normeringen[1]. Het zijn er zoveel dat het moeilijk is door de bomen het bos te zien. Ofschoon de NEN 2660 wel diverse werelden beter op elkaar afstemt, is het niet evident om afspraken door alle subdomeinen heen, ook in de praktijk consistent toe te passen met inachtneming van overige afspraken die in die subdomeinen relevant zijn, zoals internationale (niet-NEN 2660 gebonden) industriestandaarden.

Om helderheid te kunnen scheppen in deze complexe en veranderende wereld van standaarden en overige afspraken, is het aan te bevelen een op tunnels afgestemde opzet voor een CDE te ontwikkelen.

Een referentie-architectuur is een set van structuren, principes, richtlijnen (heuristieken) en keuzes (van bv. standaarden of technologie waar gewenst) die gebruikt worden voor de opzet van concrete architecturen in oplossingen. Zo zou een CDE-referentie-architectuur moeten dienen als een basis voor toepassingen in tunnelprojecten. Praktijkervaringen kunnen hierin worden terug-gevoerd, zodat de opzet mee-evolueert met het voortschrijdend inzicht. Binnen het COB zou deze referentie-architectuur het best in de vorm van een groeiboek kunnen worden gegoten.

3.2 CDE-groeiboek

Een CDE is een noodzakelijke, maar ook complexe omgeving en het vergt tijd en expertise om deze goed in te richten. Daarbij kun je in grote lijnen wel bedenken hoe een en ander moet worden ingericht (een initiële referentie-architectuur voor de CDE), maar wil je deze uiteindelijk ook evalueren en verfijnen aan de hand van praktijkprojecten om erachter te komen of de gekozen standaarden voldoen, welke aanvullingen of specifieke zaken nodig zijn, of deze aanpassingen project- of tunnelspecifiek zijn of dat ze tot onderdeel van de referentie-architectuur kunnen worden gepromoveerd. Daarnaast is het belangrijk te achterhalen wat er precies nodig is om ook de (zeer diverse) engineers en de andere stakeholders (beheer en onderhoud) ermee te kunnen laten werken: de gebruikers zijn immers geen datawetenschappers. Hierin zal taal en het verwerken ervan in de software die door deze gebruikers wordt toegepast, een belangrijke rol gaan spelen.

3.3 Gegevenswoordenboek voor tunnels

Een van de onderdelen van de semantische afspraken die van belang zijn voor tunnels is dat er een referentie wordt geboden voor de te hanteren begrippen in de levenscyclus van tunnels. Hiertoe dient een gegevenswoordenboek te worden ontwikkeld dat enerzijds praktisch toepasbaar is voor het duiden van de relevante tunnelspecifieke begrippen, en anderzijds aan de standaarden voor de informatiemodellering en data-uitwisseling voldoet. Ook zal waar mogelijk aansluiting moeten plaatsvinden met gegevenswoordenboeken van aanpalende domeinen.

De Landelijke Tunnelstandaard (LTS) en eventuele regionale standaarden dienen als een basis om tot een gegevenswoordenboek te komen. Ook is het belangrijk om in lijn te werken met de landelijke ontwikkelingen bij grotere kennisplatformen voor andere domeinen (bv. stedelijk water en verlichting), zoals het CROW, RIONED en HWBD.

Een gegevenswoordenboek voor tunnels zal dan via CB-NL ter beschikking kunnen worden gesteld. Het zal moeten voldoen aan de informatiemodellering zoals vastgelegd in NEN 2660.

1 Zie bijvoorbeeld Forum Standaardisatie.

3.4 Toepasbaarheid

Het is belangrijk om aandacht te besteden aan de mechanismen die nodig zijn om het toepassen van de semantische basis te vergemakkelijken, zowel voor het maken van de afspraken (bv. toepassing van/integratie met de ILS Configurator) als voor het gebruik door de betrokken engineers (bv. vorm van evaluatie, feedback naar hulpbronnen en softwarepakketten waarin betere aansluiting kan worden gerealiseerd via het aanbieden van de juiste taal).

4 Projectvervolg

De toepassing van semantische afspraken zal zijn weg naar de praktijk het beste vinden via een CDE-groeiboek. Hierin kunnen de vraagstukken rond informatielevering waarmee praktijkprojecten worden geconfronteerd, worden uitgewerkt in adviezen en richtlijnen, liefst op basis van ervaringen die elders zijn opgedaan.

4.1 Aanbeveling: herstructurering ontwikkellijn Digitalisering

Om een vervolg te kunnen geven aan de invulling van het CDE-groeiboek, is het aanbevolen om de projecten in de ontwikkellijn Digitalisering anders te organiseren.

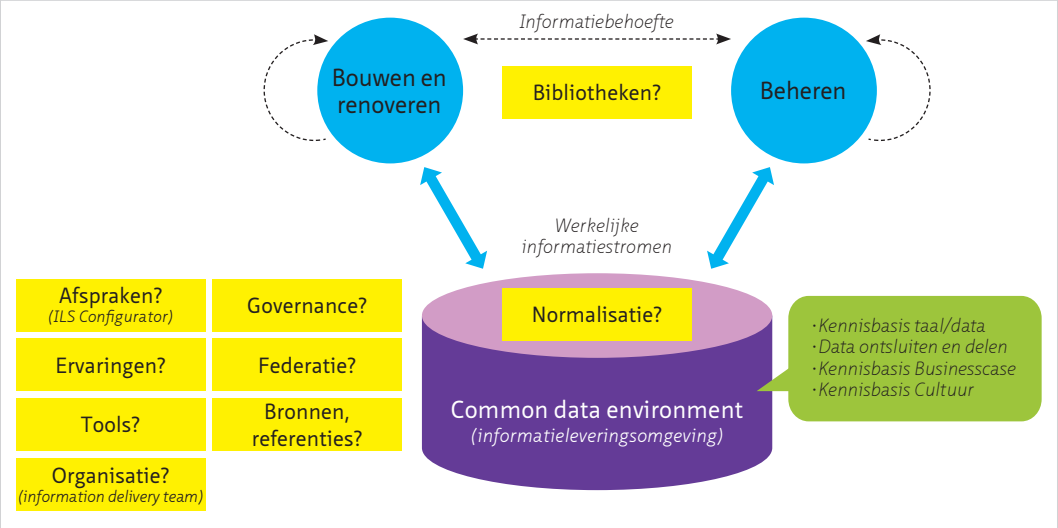
De vraagstukken die spelen rond het opzetten van een omgeving waarin de informatielevering wordt georganiseerd, betreffen niet enkel de semantische basis, die een formeel fundament vormt voor de technologische aspecten van interoperabiliteit. De toepassingen van de semantische basis ligt in de realisatie van de informatiestromen via een CDE, waarvoor informatiebehoefte, engagement en governance nodig zijn. Deze aspecten zitten nu verspreid in projecten als Cultuur, Businesscase, Data ontsluiten en delen, Dashboard en feitelijke alle toepassingsgerichte projecten die informatiebehoefte en levering definiëren.

De projecten zouden geherstructureerd kunnen worden, zodat een projectorganisatie kan worden weerspiegeld. Het CDE-groeiboek moet een wegwijzer worden voor de organisatie van de informatie-levering in praktijkprojecten. Dit kan worden opgezet rond de praktische processen die ten behoeve van de interoperabiliteit moeten worden uitgevoerd in een praktijkproject. Een voorbeeld kan zijn om een activiteitenflow per praktisch vraagstuk uit te werken met daarin de verwijzingen naar de adviezen en status van de opgedane kennis. Natuurlijk zal er ook een index van onderwerpen komen, zodat het groeiboek ook als referentiegids kan dienen.

Op deze manier vormt het groeiboek een praktische vertaling van projectactiviteiten naar adviezen die gebaseerd zijn op de inzichten rond semantiek, data-ontsluiting, businesscase en cultuur. De vraagstukken en prioritering ervan komen voort uit de meer functioneel gerichte projecten die de informatiebehoefte definiëren. Er zal dan een algemeen deel zijn rond organisatorische, economische en technische aspecten van de inrichting van de CDE (breed geïnterpreteerd als de omgeving die nodig is voor het verwerken van informatie die uitgewisseld moet worden).

Per informatiebehoefte moet dan het groeiboek worden uitgewerkt ten behoeve van interopera-biliteit, bijvoorbeeld:

- Welke engineeringstandaard en -bibliotheken zijn relevant? (gerelateerd aan de informatie zelf, bv. sectorstandaarden, ILS-afspraken)
- Welke tools zijn gangbaar voor aanleveren en gebruiken van de informatie? (dus aan de applicatiekant, zowel engineeringtools als monitoring, dashboarding, assetmanagement, etc.)
- Hoe conformeren standaarden, bibliotheken en tools zich aan de technische afspraken en normen voor informatiemodellering en data-uitwisseling? (statusconformering aan de semantische basis voor uitwisseling)
- Welke tools, instructies, adviezen en ervaringen zijn er ten aanzien van de bewerking van dit soort data? (governance, referenties, bronnen, beveiliging)
- Welke afspraken moeten met de toeleveranciers en afnemers worden gemaakt? (governance, federatie, ILS)



Figuur 4.1 / Positionering groeiboek CDE in ontwikkellijn Digitalisering.

4.2 Rol COB

Het COB zou voor het tunneldomein een centrale, coördinerende rol kunnen spelen in het adopteren van de semantische basis die op nationaal niveau is gelegd en het afstemmen ervan op het tunnel-domein. Het COB kan op die manier richting geven aan de te maken afspraken en de praktische toepassing ervan in nieuwe praktijkprojecten. Daartoe zou onder het COB een platform (meer dan een programma) kunnen ontstaan dat deze rol invult middels:

- De ontwikkeling van een CDE-referentie-architectuur (in een projectcontext).
- Het verwerken van ervaringen uit de praktijk in de vorm van terugkoppeling naar relevante organisaties en het bijsturen van de vastgelegde inzichten.
- Het leveren van bijdragen aan de andere relevante lopende ontwikkelingen op het gebied van digitalisering.
- Het sturen van de tunnelspecifieke aspecten, zoals het opstellen van een gegevenswoordenboek voor tunnels.
- Het beheren van een 'centrale relevante kennisbron' die als verzamelplaats fungeert voor inzichten en ervaringen en de juiste relaties legt naar andere kennisbronnen.
- Het stimuleren van de toepassing van de afspraken via het samenbrengen van deskundigen en projectleden.
- Het monitoren van toepassing in de praktijk om zo gerichter op de kennis- en technologiebehoeften te kunnen inspelen.

4.3 Vervolgstappen ontwikkellijn Digitalisering

De voorgestelde ‘semantische basis’ die nodig is voor de informatie-uitwisseling staat niet alleen: de andere projecten binnen het digitaliseringsprogramma zullen mede bepalen hoe we hiermee moeten/kunnen omgaan. Welke informatie moet kunnen worden uitgewisseld? Welke raakvlakken zijn er met de data met andere partijen? Welke tools en processen zijn van belang? Wat is de interesse van de partijen in de levenscyclus? Op welke manier moet een en ander worden beheerd? Het groeiboek moet worden gevormd vanuit de praktijkervaring en de vraag naar informatie en dient een praktisch hulpmiddel te worden. Met de herstructurering zouden de krachten in het digitaliseringsprogramma beter gekanaliseerd kunnen worden.

Daarnaast is het belangrijk aansluiting te vinden bij praktijkprojecten. De gespecialiseerde kennis wordt in praktijkprojecten toegepast, waardoor het COB kan meeliften.

Advies vervolgacties:

- Stimuleren ontwikkeling van een gegevenswoordenboek voor tunnels/tunnelinstallaties.
  - Identificeren relevante begrippen in de vorm van een glossary. Hierbij moet vooral gebruik worden gemaakt van wat er al ligt.
  - Regie om te verbinden, consensus te krijgen over de te hanteren begrippen.
  - Zoeken naar een structuur waarin bv. via 'launching customers' (zoals PTZ?) een meerwaarde kan worden gecreëerd.
  - Aansluiten bij/aanreiking aan CB-NL-initiatief dat loopt voor de infrasector vanuit het BIM Loket.
- De enige manier om de hiaten te vinden en de tunnelspecifieke aspecten boven water te krijgen, is volgens ons: ermee aan de gang gaan. We zouden dus liefst een tunnelproject aan de slag laten gaan met het opzetten en toepassen van een referentie-architectuur voor een CDE. Het COB kan daarbij faciliteren in de rol van advies en evaluatie en het consolideren van de ervaringen in het CDE-groeiboek.
- Voor die toepassing zullen engineers ondersteund moeten worden met middelen die aansluiten bij hun primaire werk, maar wel aan de CDE-eisen kunnen voldoen. Taal is hierin het bindmiddel. We kunnen niet op voorhand bedenken wat er waar nodig is of al werkt en zullen vanuit de praktijk adviezen aan betrokken leverancies en softwareontwikkelaars moeten geven.
- Inventariseren hoe het veranderingstraject kan worden gestimuleerd en verzacht voor de betrokken partijen.
- De aansluiting met Vlaanderen kan gerealiseerd worden door ook daar een praktijkproject aan te pakken. Eventueel kan wel gewacht worden tot een referentie-architectuur voor de CDE is opgezet, zodat die als basis kan worden gebruikt, maar dat is niet noodzakelijk.

Bijlage A Verslag vooronderzoek

A.1 Inleiding

Ter voorbereiding op het onderzoeksproject hebben gesprekken plaatsgevonden bij organisaties en projecten met praktijkervaring op het gebied van informatie-uitwisseling:

- Wat zijn goede en slechte ervaringen bij het samenbrengen van data?
- Welke semantische afspraken lijken goed of niet goed te werken?
- Wat bevordert or remt het toepassen van semantische afspraken door de mensen in praktijkprojecten?
- Welke kennisnetwerken kunnen in welke vorm bijdragen aan het toepassen van semantische afspraken?

In dit verslag staan de conclusies van gesprekken met:

- Rijkswaterstaat, onderdelen Grote projecten en onderhoud (GPO) en Programma's, projecten en onderhoud (PPO)
- Gemeenten Rotterdam en Amsterdam
- N.V. Westerscheldetunnel
- Agentschap Wegen en Verkeer (Vlaanderen)

A.2 Rijkswaterstaat

Bij alle rijkstunnels is er een contract waarin de afspraken/spelregels zijn vastgelegd tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer. Hierin zijn ook de data-afspraken vastgelegd vanuit de CIV. Deze 'data-eisen' worden toegevoegd aan de contracten die worden aanbesteed.

Het elektronisch opleverdossier (EOD) omvat alle documenten die nodig zijn om de systemen binnen de beheerorganisatie te vullen, aangevuld met geografische data (KernGIS & DTB). Naast deze EOD-leveringen zijn er tegenwoordig steeds vaker BIM-leveringen, waarin de data verwerkt is die nodig is om de toekomstige systemen goed te kunnen vullen.

Met het Rijkswaterstaat-traject Van veel naar drie (onderdeel van het programma AIRBIM) is de informatiestroom voor rijkstunnels zich aan het ontwikkelen; de geo-informatie/documenten en organisatiemanagementsysteem (OMS) van de objecten zijn de basis. Het loskomen van documenten – het uitgaan van data – is de grootste stap die we aan het maken zijn en het kan misschien nog wel vijftien jaar duren voordat deze stap volledig is gemaakt.

Het taal/datalandschap is niet alleen vanuit opdrachtgeverszijde in beweging. Ook opdrachtnemers gaan steeds verder digitaliseren. De uitvoerende ketenpartners hebben een flinke stap gezet om ervoor te zorgen dat hun organisaties steeds effectiever omgaan met informatie. Het juist aansluiten van alle ontwikkelingen is een grote uitdaging, omdat er vele verschillende talen gesproken worden, zowel bij nieuwbouwprojecten als bij de onderhoudsprojecten in alle regio's.

A.3 Gemeenten: Amsterdam en Rotterdam

Er zijn veel parallellen tussen gemeenten en de rijksinfrastructuur: het digitaliseren van de gebouwde omgeving gaat ook bij gemeentelijke tunnels in een rap tempo. Voor het komen tot een gemeenschappelijke taal binnen projecten is er veel interactie nodig. Iedere opdrachtnemer heeft zijn eigen manier van het inrichten van het documenten/datahuis. De gesproken talen variëren doordat we maar op een bepaald niveau harde afspraken hebben over de taal die we spreken. De talen zijn heel goed verstaanbaar tussen een specifieke opdrachtgever en – nemer, maar wil je met meerdere opdrachtgevers en opdrachtnemers samenkomen, zal er in de gehele keten meer uniform moeten worden gesproken.

Tool	Eigenschap
SAP	Digitale beheeromgeving van bedrijfsvoering en klantrelaties. Wordt o.a gebruikt voor data analyse, rapportages en opstellen dashboards.
Shares en sharepoint	Digitale omgeving om documenten te delen met collega's en samenwerken met meerdere gebruikers aan documenten, processen en projecten.
People Power	Digitale bibliotheek om technische tekeningen (PDF en A-CAD) van diverse assets te raadplegen en beheren. Tevens portaal om annotaties in te brengen.
Service Now	Automatiseren en beheren van IT-bedrijfdiensten. Wordt gebruikt voor cloud- en virtualisatie-levenscyclusmanagement. Te gebruiken om te rapporteren over o.a. KPI's en om benchmarking te genereren en opstellen dashboards.
Geotools	
Decos Join	DMS systematiek waarbij in een centraal gedeelde omgeving documenten en dossiers digitaal worden opgeslagen.
Excel	(ook voor rapportages)
Planio	Planio is een probleemtracker en agile projectmanagementtool op basis van open source Redmine. Bevat o.a wiki's, forums en blogs, zodat je projecten met je team kunt bespreken. Ook plek om een teamchat voor realtime discussies te houden.
MIRO	
Techdesk	Omgeving om incidenten en registraties centraal te beheren (input voor o.a Service now)
Snagstream	Digitale tool voor veldwerk werkzaamheden om te keuren, opleveren, formulieren invullen, direct uitzetten van acties naar betrokken partijen, rapportages exporteren ed.

Figuur A.1 / Voorbeeld data/documentenlandschap. (Bron: gemeente Amsterdam)

A.4 N.V. Westerscheldetunnel

Voor inventarisatie is er gesproken over de informatiestructuur binnen de organisatie N.V. Westerscheldetunnel. Hierin ging het vooral over de manier waarop het informatiehuis is opgezet en hoe de data wordt beheerd.

Zoals FIGUUR A.2 laat zien, is er zeker veel informatie beschikbaar in de diverse formats/systemen. Een stap dieper is er geen directie link naar eventuele taalsoorten die er gesproken zouden kunnen worden. Het gaat vaak over een structuur van het object, met daarin de informatie zoals die tijdens de realisatie met elkaar is besproken. Er is een relatie ontstaan tussen opdrachtgever en -nemer waarin men elkaar verstaat. De vraag werpt zich op waarom we dit anders zouden willen organiseren als zaken al goed lopen ...

	Dossier bouwfase	Civiele en E&M tekeningen dat als papieren dossier is opgeleverd
		Informatie in hoofden van ontwerpers, bouwers en inbedrijfstellers
	FMECA	Studie naar faalgedrag van installatie en het effect hiervan
	RAMS analyse	Studie naar betrouwbaaheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheidsaspecten
	Foutenboom	Risicoanalyse op faalgedrag en het keteneffect hiervan
	Eisenset / recuirements	Eisen van Opdrachtgever waaraan Deelsystemen moeten voldoen
	Faalcriteria	Beschrijving van door Opdrachtgever toegestaan faalgedrag
BP	Bouwplan	Document waarin de initiële gegevens (basisconstructie, wegcategorie, verkeersintensiteit, etc.) vastliggen
VO	Voorontwerp	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
DO	Detailontwerp	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
UO	Uitvoerinsontwerp	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
FO	Functioneelontwerp	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
	Integraal ontwerprapport	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
SDD	System Design Sescription	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
SBS	System Design Structure	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
SRS	Software Requirement Specification	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
SSDD	System of Sunsystem Design Description	Document dat bij nieuwbouw / renovatie project kan ontstaan
LTS	Landelijke Tunnel Standaard	RWS standaard waaraan rijkstunnels moeten voldoen
	Specificatie document deelsysteem	Specificaties van leverancier over hardware
	Instandhoudingsplan	Plan mbt preventief-, correctief-, storing- en vervaningsonderhoud
	Procedures / Protocollen	Set van procedures en protocollen om een tunnel veilig te kunnen bedienen
	Onderhoudsmanagement systeem	Bijvoorbeeld Ultimo of Maximo, waarin het onderhoud en de rapportages hiervan digitaal worden vastgelegd
	Relatics	Tool om de eisenset te beheren
	Enter Prise Architect	Tool om de eisenset te beheren, deze tool ondersteund ook het vastleggen van dynamisch gedrag
	Meridian	Technisch document management systeem
	Gebruiksvergunning / openstellingsvergunning	Document waarin de vereisten van het bevoegdgezag vastliggen
VBP	Veiligheidsbeheerplan	Set van documenten mbt de veiligheid, zoals: calamiteitenbestrijdingsplan, bedrijfsnoodplan, bedrijfsnoodplan, etc.
	Release Notes	Document dat de wijzigingen bij het aanpassen van de tunnelbesturing beschrijft
QRA	Kwantitatieve Risico Analyse	Aantoonbaarheid van veiligheidsnorm in relatie tot het gebruik, de verkeerssamenstelling, etc.
OTO	OTO programma	Programma van Opleiden, Trainen en Oefenen
	E-learning	Digitale module voor het opdoen van kennis over een tunnel.
	Veiligheidsdossier	Dossier waarin essentiele wijzigingen, storingen, ongevallen, calamiteiten, etc. worden bijgehouden

Figuur A.2 / Voorbeeld data/documentenlandschap. (Bron: N.V. Westerscheldetunnel)

A.5 Agentschap Wegen en Verkeer (Vlaanderen)

Op de website van het Vlaamse Agentschap Wegen en Verkeer staat te lezen:

> *Het belang van BIM (digitaal samenwerken in de bouwsector) groeit, ook voor infrastructuurprojecten. Als wegbeheerder willen wij hierin richtinggevend zijn, zowel voor het samenwerken tijdens de studie en uitvoering van projecten, als voor het gebruik van intelligente informatiemodellen tijdens het verdere beheer en onderhoud. Wij kunnen dit uiteraard niet alleen, een constructieve samenwerking met al onze projectpartners is cruciaal voor het slagen van ons BIM-traject.*
> *(Bron: webpagina AWV)*

Het digitale landschap in Vlaanderen is snel aan het veranderen. Om als eigenaar van de gebouwde omgeving een stuur te hebben, is er een heldere set aan afspraken nodig om samen met de keten-partners te komen tot een juiste taal. Het spreken van de juiste taal is ook in Vlaanderen een uitdaging, omdat er net zoals in Nederland vele talen worden gesproken.

Andere relevante zinsneden van de website wegenenverkeer.be:

> *Het zogenaamde 'Master Data Model' vormt de unieke gegevensbron voor het beheer en onderhoud van onze infrastructuur. Voor nieuw uitgevoerde werken op het terrein, vormt het as-built model de basis input voor het Master Data Model. Informatie over bestaande assets op het terrein wordt na een grondige controle overgenomen uit de reeds bestaande beheers- en onderhoudstoepassingen.*
>
> *Onze AWV ObjectTypenBibliotheek (OTL) vormt de ruggengraat van dat Master Data Model. BIM modellen die worden opgestart tijdens de studie van een project en tijdens de uitvoering verder evolueren naar een as-builtmodel worden ook al opgebouwd op basis van dat OTL. Zo zorgen we er voor dat de verzamelde gegevens maximaal kunnen overgedragen en gerecupereerd worden doorheen de verschillende fases van het project. De opeenvolgende partijen (bv. studiebureau en aannemer) kunnen op die manier verder bouwen op een reeds bestaand model en zich focussen op hun kerntaken in het project.*
>
> *Voor het efficiënt beheer en onderhoud van onze infrastructuur bouwen we een unieke gegevensbron op, ons zogenaamd 'Master Data Model' op basis van de OTL. Welke types objecten in dat datamodel moeten zitten, welke eigenschappen van elk objecttype moeten gekend zijn en wat de mogelijke relaties zijn tussen die fysieke objecten, wordt vastgelegd in onze AWV ObjectTypenBibliotheek (OTL).*
> *(Bron: webpagina AWV)*

Bijlage B Voorbeelduitwerking NEN 2660

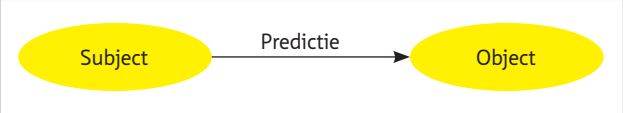
Dit voorbeeld is gebaseerd een casus die beschreven wordt in de standaard NEN 2660-2 (in bijlage B3 en D3). De casus betreft de IJsselbruggen, een bruggencomplex dat de kruising van de A12 met de IJssel realiseert. Het complex bestaat uit enkele liggerbruggen.

B.1 Realisatie in Linked Data

De uitwerking op basis van de gedefinieerde taalbindingen naar SKOS, RDFS, OWL en SHACL is gegeven in bijlage D3 van de standaard. Om te illustreren wat de rol is van de standaarden in het definiëren van de semantiek van een informatieverzameling, zijn de relaties tussen enkele elementen en modellen gevisualiseerd in PARAGRAAF B.2. De uitwerking in linked-datatermen van enkele gekozen elementen op diverse niveaus volgt in PARAGRAAF B.3.

W3C Linked Data en RDF

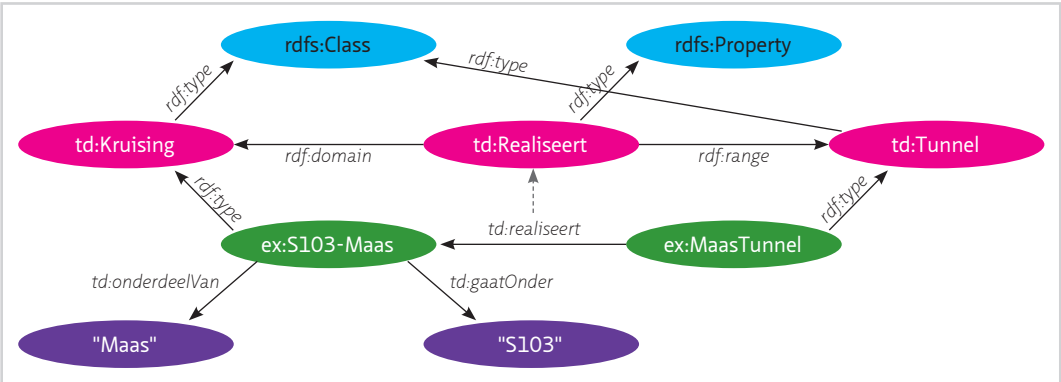
Het World Wide Web Consortium (W3C) is een internationale gemeenschap die open standaarden publiceert die de langetermijngroei van het internet moeten garanderen. Een belangrijke basis daarvoor is het *resource description framework* (RDF). Met RDF kunnen netwerken (*graphs*) worden gebouwd van elementaire triplets: subject, predicate en object, zie FIGUUR B.1.



Figuur B.1 / Elementaire triplets volgens W3C.

Een object kan weer een subject zijn, of het kan een waarde bevatten. Zo kan een netwerk ontstaan. Binnen een graph zijn de elementen uniek te identificeren. Het viertal g, s, p en o is dus uniek[1]. Zo kunnen elementen via referenties over het internet worden gerelateerd.

Met RDFS (RDF-schema) kan ook worden omgegaan met elementen die gedefinieerd worden door een type, en kunnen predicaten (*properties*) worden gespecificeerd in termen van de typen. Zo kan er een sterker gedefinieerd model ontstaan waaruit al enkele additionele eigenschappen kunnen worden afgeleid (*inference*). Daarmee worden domeinmodellen opgezet.



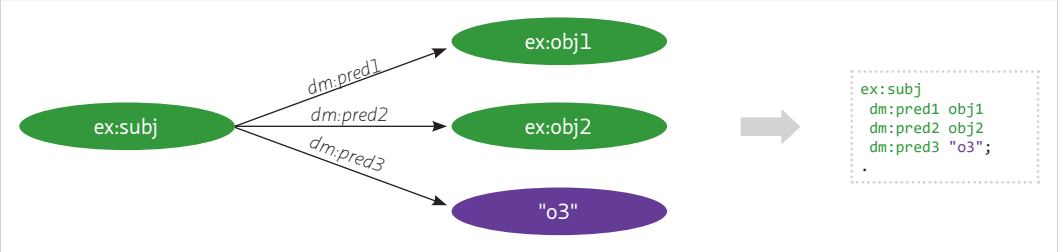
Figuur B.2 / Vereenvoudigd voorbeeld van een RDF-gelaagd datamodel.

Met OWL en SHACL kunnen sterkere semantiek en constraints worden gedefinieerd voor geavanceerdere gevolgtrekkingen of validaties. Voor begrippendefinities (bv. eenvoudige taxonomieën) wordt typisch SKOS toegepast.

1 Blank nodes worden hier buiten beschouwing gelaten.

RDF-representatie

Naast de visuele representatie zoals in FIGUUR B.2 vrijelijk is gebruikt, zijn er diverse tekstuele syntaxen gedefinieerd die de informatie kunnen weergeven. Voor computertoepassingen wordt veelal JSON-LD gebruikt. Een eenvoudigere en relatief leesbare syntax is Turtle, zie FIGUUR B.3.



Figuur B.3 / Representatie van graph in Turtle.

De eerder gepresenteerde graph zouden in Turtle worden weergegeven zoals hieronder, waarbij 'a' standaard syntax is voor 'rdf:type':

```
@base <http://tunnels.org/td> .
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .

#prefix:td
@prefix td: <http://tunnels.org/td#> .

td:Kruising a rdfs:Class.
td:Tunnel a rdfs:Class.

td:realiseert a rdfs:Property;
 rdfs:domain td:Kruising;
 rdfs:range td:Tunnel;
.
```

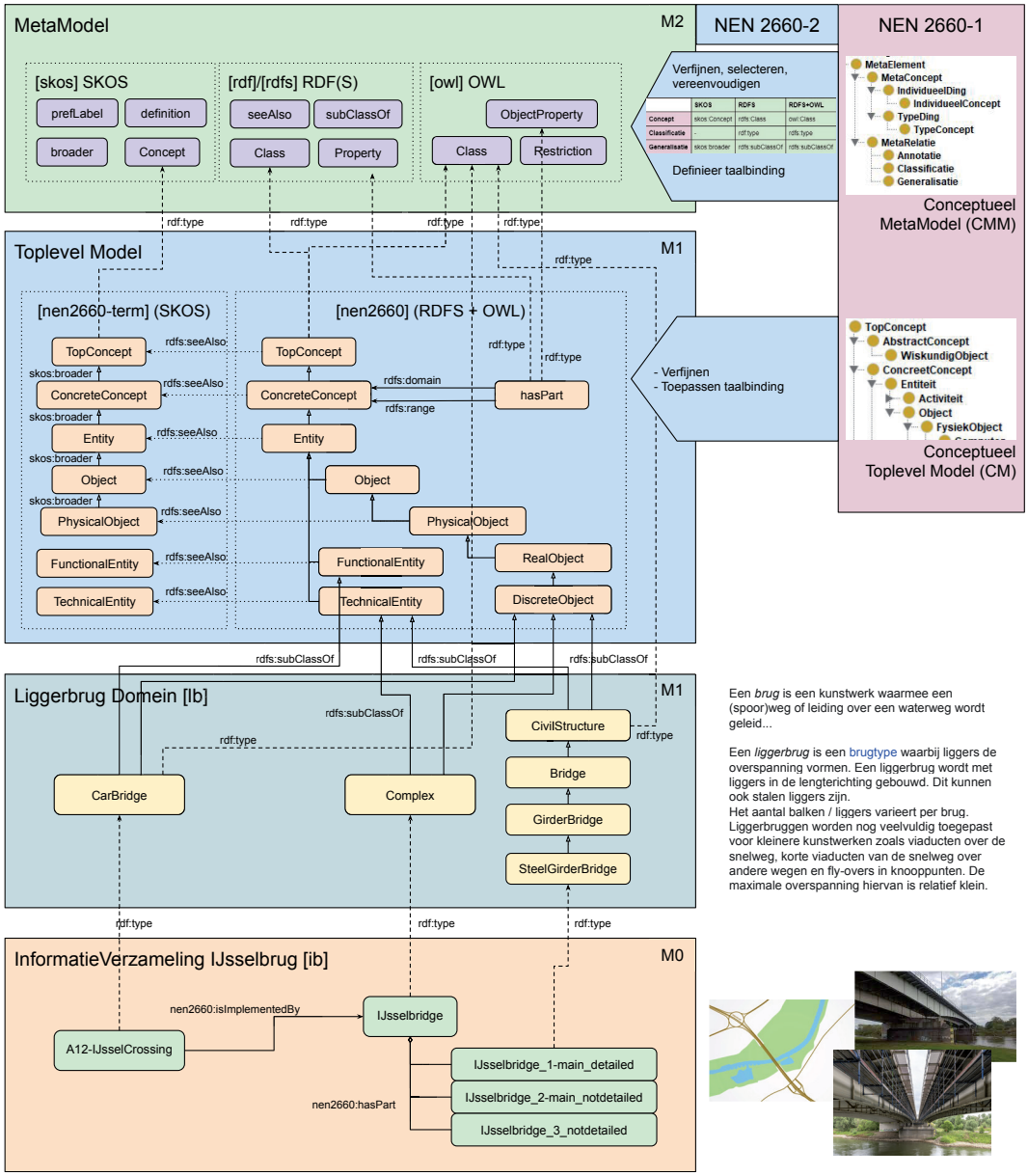
```
@base <http://example.org/ex> .

#prefix:ex
@prefix ex: <http://example.org/ex#> .

ex:MaasTunnel
 a td:Tunnel;
 td:realiseert ex:S103-Maas
.

ex:S103-Maas a td:Kruising;
 td:onderdeelVan "S103";
 td:gaatOnder "Maas";
.
```

B.2 Relatie tussen elementen en modellen



Figuur B.4 / Overzicht van het IJsselbruggen voorbeeld uit NEN-2660-2.

B.3 Weergave in Turtle-formaat

Hieronder volgt een weergave van enkele van de relevante elementen in Turtle-formaat (ttl). De kleuring correspondeert met die in de overzichtsplaat in PARAGRAAF B.2.

Tabel B.1 / IJsselbruggen data (informatieverzameling)

```
# baseURI: https://w3id.org/ijsselbrug/id
# imports: https://w3id.org/liggerbrug/owl/def

# prefix: ib
@prefix ib: <https://w3id.org/ijsselbrug/id#> .
@prefix lb: <https://w3id.org/liggerbrug/def#> .
@prefix nen2660: <https://w3id.org/nen2660/def#> .

ib:A12-IJsselCrossing
   a lb:CarBridge ;
   nen2660:isImplementedBy ib:IJsselbridge ;
.
ib:IJsselbridge
   a lb:Complex ;
   nen2660:hasPart ib:IJsselbridge_1-main_detailed ;
   nen2660:hasPart ib:IJsselbridge_2-main_notdetailed ;
   nen2660:hasPart ib:IJsselbridge_3_notdetailed ;
   nen2660:isDescribedBy ib:TNO-BasicReport ;
.

ib:IJsselbridge_1-main_detailed
   a lb:SteelGirderBridge ;
   lb:amountOfSpans 5 ;
   lb:constructionMethod lb:WithGirders ;
   lb:designLifespan [
      a nen2660:QuantityValue ;
      rdf:value 80.0 ;
      nen2660:hasUnit unit:YR ;
   ] ;
   lb:length [
      rdf:value "295.0"^^xsd:float ;
      nen2660:hasUnit unit:M ;
   ] ;
   lb:materialType lb:Steel ;
   lb:residualLifespan [
      rdf:value "20.0"^^xsd:float ;
      nen2660:hasUnit unit:YR ;
   ] ;
   nen2660:hasPart ib:MainLoadbearingStructureOfIJsselBridge ;
.

ib:TNO-BasicReport
   a lb:ReferenceDocument ;
   rdfs:seeAlso <https://github.com/.../Reports/main%20report/
         REPORT%20IJssel%20bridge%20A12.pdf> ;
.
```

Tabel B.2 / Liggerbrug domeinmodel (informatiemodel)

```
# baseURI: https://w3id.org/liggerbrug/owl/def
# imports: https://w3id.org/nen2660/owl/def

# prefix: lb
@prefix lb: <https://w3id.org/liggerbrug/def#> .

<https://w3id.org/liggerbrug/owl/def>
   a owl:Ontology ;
   owl:imports <https://w3id.org/nen2660/owl/def> ;
.

lb:CarBridge
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf nen2660:FunctionalEntity ;
   rdfs:subClassOf nen2660:DiscreteObject ;
   rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:allValuesFrom lb:Bridge ;
      owl:onProperty nen2660:isImplementedBy ;
   ] ;
   rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:hasValue lb:CarTraffic ;
      owl:onProperty lb:TrafficKind ;
   ] ;
   skos:prefLabel "AutoBrug"@nl ;
   skos:prefLabel "CarBridge"@en ;
.

[
   a owl:AllDisjointClasses ;
   owl:members (
      lb:CarBridge
      lb:PedestrianBridge
      lb:BicycleBridge
      lb:RailwayBridge
   ) ;
].

lb:Complex
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf nen2660:DiscreteObject ;
   rdfs:subClassOf nen2660:TechnicalEntity ;
   skos:prefLabel "Complex"@en ;
   skos:prefLabel "Complex"@nl ;
.

lb:SteelGirderBridge
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf lb:GirderBridge ;
   rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:hasValue lb:Steel ;
      owl:onProperty lb:materialType ;
   ] ;
   rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:onClass lb:MainLoadbearingStructureOfSteelGirderBridge ;
      owl:onProperty nen2660:hasPart ;
      owl:qualifiedCardinality "1"^^xsd:nonNegativeInteger ;
   ] ;
   skos:prefLabel "StaleLiggerbrug"@nl ;
   skos:prefLabel "SteelGirderBridge"@en ;
.

lb:GirderBridge
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf lb:Bridge ;
   rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:hasValue lb:WithGirders ;
      owl:onProperty lb:constructionMethod ;
   ] ;
   skos:prefLabel "GirderBrdige"@en ;
   skos:prefLabel "Liggerbrug"@nl ;
.
```

```
lb:Bridge
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf lb:CivilStructure ;
   skos:prefLabel "Bridge"@en ;
   skos:prefLabel "Brug"@nl ;
.

lb:CivilStructure
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf nen2660:DiscreteObject ;
   rdfs:subClassOf nen2660:TechnicalEntity ;
   skos:prefLabel "CivilStructure"@en ;
   skos:prefLabel "Kunstwerk"@nl ;
.

lb:length
   a owl:ObjectProperty ;
   rdfs:range nen2660:QuantityValue ;
   nen2660:hasQuantityKind quantitykind:Length ;
.
```

Tabel B.3 / Top-levelmodel (OWL)

```
https://w3id.org/nen2660/owl/def
# baseURI: https://w3id.org/nen2660/owl/def
# imports: https://w3id.org/nen2660/rdfs/def
# prefix: nen2660
@prefix nen2660: <https://w3id.org/nen2660/def#> .

nen2660:hasPart
   a owl:ObjectProperty ;
.

nen2660:isImplementedBy
   a owl:ObjectProperty ;
.

nen2660:DiscreteObject
   a owl:Class ;
.

nen2660:Entity
   a owl:Class ;
.

nen2660:TechnicalEntity
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:allValuesFrom nen2660:Entity ;
      owl:onProperty nen2660:hasPart ;
   ] ;
.

nen2660:FunctionalEntity
   a owl:Class ;
   rdfs:subClassOf [
      a owl:Restriction ;
      owl:allValuesFrom nen2660:Entity ;
      owl:onProperty nen2660:hasPart ;
   ] ;
.

nen2660:isDescribedBy
   a owl:ObjectProperty ;
.

nen2660:ConcreteConcept
   a owl:Class ;
.

nen2660:TopConcept
   a owl:Class ;
.
```

Tabel B.4 / Top-levelmodel (RDFS)

```
# baseURI: https://w3id.org/nen2660/rdfs/def
# prefix: nen2660
@prefix nen2660: <https://w3id.org/nen2660/def#> .
@prefix nen2660-term: <https://w3id.org/nen2660/term#> .

<https://w3id.org/nen2660/rdfs/def>
   a owl:Ontology ;
.

nen2660:TopConcept
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:TopConcept ;
   skos:definition "The most generic concept"@en ;
   skos:prefLabel "Top concept"@en ;
.

nen2660:ConcreteConcept
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:ConcreteConcept ;
   rdfs:subClassOf nen2660:TopConcept ;
   skos:definition "Concept that forms a manifestation and
         a demarcation in a concrete space-time. A concrete
         concept has a life cycle"@en ;
   skos:prefLabel "Concrete concept"@en ;
.
nen2660:Entity
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:Entity ;
   rdfs:subClassOf nen2660:ConcreteConcept ;
   skos:definition "Concept that forms a manifestation and
         a demarcation in a concrete space-time, and which
         has a certain state at any moment in time. An
         entity has a unique identity that remains constant
         throughout its life cycle. The life cycle of an
         entity is made up of the sequence of states of that
         entity, which follow each other in time. An entity
         is an object or an activity. An object exists, an
         activity takes place"@en;
   skos:prefLabel "Entity"@en ;
.

nen2660:PhysicalObject
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:PhysicalObject ;
   rdfs:subClassOf nen2660:Object ;
   skos:definition "Object that exists or may exist within
         physical 4D space-time. A physical object forms
         a manifestation and a demarcation of matter and/
         or energy, and is (in)directly perceptible by the
         senses"@en ;
   skos:prefLabel "Physical object"@en ;
.

nen2660:hasPart
   a rdf:Property ;
   rdfs:domain nen2660:ConcreteConcept ;
   rdfs:range nen2660:ConcreteConcept ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:hasPart ;
   skos:definition "A decomposition (hasPart) relation
         between concrete concepts"@en ;
   skos:prefLabel "has part"@en ;
.

nen2660:isDescribedBy
   a rdf:Property ;
   rdfs:domain nen2660:TopConcept ;
   rdfs:range nen2660:InformationObject ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:isDescribedBy ;
   skos:definition "The information object that describes
         something"@en ;
   skos:prefLabel "is described by"@en ;
.
```

```
nen2660:Object
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:Object ;
   rdfs:subClassOf nen2660:Entity ;
   skos:definition "Entity that exists or can exist
         within a concrete space-time. An object executes
         an activity, and is transformed by an activity"@
         en ;
   skos:prefLabel "Object"@en ;
.

nen2660:RealObject
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:RealObject ;
   rdfs:subClassOf nen2660:PhysicalObject ;
   skos:definition "physical object (rigid or non-rigid)
         that is (or can be) tangible and visible in
         reality, man-made or naturally occurring"@en ;
   skos:prefLabel "Real object"@en ;
.

nen2660:DiscreteObject
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:DiscreteObject ;
   rdfs:subClassOf nen2660:RealObject ;
   skos:definition "A real object consisting of a
         contiguous amount of form-retaining matter, held
         together primarily by internal forces (gravity
         or electromagnetic force)"@en ;
   skos:prefLabel "Discrete object"@en ;
.

nen2660:FunctionalEntity
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:FunctionalEntity ;
   rdfs:subClassOf nen2660:Entity ;
   skos:definition "An entity involving the external
         behavior where the output contributes to
         stakeholder objectives implemented/played by one
         or more technical entities"@en ;
   skos:prefLabel "Functional entity"@en ;
.

nen2660:TechnicalEntity
   a rdfs:Class ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:TechnicalEntity ;
   rdfs:subClassOf nen2660:Entity ;
   skos:definition "An entity concerned with technical
         properties and relations that implements or
         plays functional entities"@en ;
   skos:prefLabel "Technical entity"@en ;
.

nen2660:isImplementedBy
   a rdf:Property ;
   rdfs:domain nen2660:FunctionalEntity ;
   rdfs:range nen2660:TechnicalEntity ;
   rdfs:seeAlso nen2660-term:isImplementedBy ;
   rdfs:subPropertyOf nen2660:hasSolution ;
   skos:definition "The technical entity that implements
         a functional entity"@en ;
   skos:prefLabel "is implemented by"@en ;
.
```

Tabel B.5 / Top-levelmodel (skos): [loosely coupled via 'seeAlso']

```
nen2660-term:TechnicalEntity
   a skos:Concept ;
   skos:broader nen2660-term:Entity ;
   skos:definition "An entity concerned with technical
         properties and relations that implements or
         plays functional entities"@en;
   skos:definition "Een entiteit waarbij het gaat
         om technische eigenschappen en relaties,
         die functionele entiteiten implementeert of
         speelt"@nl ;
   skos:prefLabel "Technical entity"@en ;
   skos:prefLabel "Technische entiteit"@nl ;
.

nen2660-term:FunctionalEntity
   a skos:Concept ;
   skos:broader nen2660-term:Entity ;
   skos:definition "An entity involving the external
         behavior where the output contributes to
         stakeholder objectives implemented/played by
         one or more technical entities"@en ;
   skos:definition "Een entiteit waarbij het gaat om het
         externe gedrag waarbij de uitvoer bijdraagt
         aan doelstellingen van belanghebbenden
         geïmplementeerd/gespeeld door een of meer
         technische entiteiten"@nl ;
   skos:prefLabel "Functional entity"@en ;
   skos:prefLabel "Functionele entiteit"@nl ;
.

nen2660-term:Entity
   a skos:Concept ;
   skos:broader nen2660-term:ConcreteConcept ;
   skos:definition "Concept dat een manifestatie en een
         afbakening vormt in een concrete ruimte-tijd,
         en dat op elk moment in de tijd een bepaalde
         toestand heeft. Een entiteit heeft een unieke
         identiteit die constant blijft gedurende de
         levenscyclus. De levenscyclus van een entiteit
         is opgebouwd uit de reeks van toestanden van
         die entiteit, die elkaar in de tijd opvolgen.
         Een entiteit is een object of een activiteit.
         Een object bestaat, een activiteit vindt
         plaats"@nl ;
   skos:definition "Concept that forms a manifestation
         and a demarcation in a concrete space-time,
         and which has a certain state at any moment
         in time. An entity has a unique identity that
         remains constant throughout its life cycle.
         The life cycle of an entity is made up of the
         sequence of states of that entity, which follow
         each other in time. An entity is an object or
         an activity. An object exists, an activity
         takes place"@en ;
   skos:prefLabel "Entiteit"@nl ;
   skos:prefLabel "Entity"@en ;
.
```

```
nen2660-term:ConcreteConcept
   a skos:Concept ;
   skos:broader nen2660-term:TopConcept ;
   skos:definition "Concept dat een manifestatie en een
         afbakening vormt in een concrete ruimte-tijd. Een
         concreet concept heeft een levenscyclus"@nl ;
   skos:definition "Concept that forms a manifestation and
         a demarcation in a concrete space-time. A concrete
         concept has a life cycle"@en ;
   skos:prefLabel "Concreet concept"@nl ;
   skos:prefLabel "Concrete concept"@en ;
.

nen2660-term:hasPart
   a skos:Concept ;
   skos:definition "A decomposition (hasPart) relation
         between concrete concepts"@en ;
   skos:definition "Een decompositie (heeftDeel)-relatie
         tussen concrete concepten"@nl ;
   skos:prefLabel "has part"@en ;
   skos:prefLabel "heeft deel"@nl ;
.

nen2660-term:isDescribedBy
   a skos:Concept ;
   skos:definition "Het informatieobject dat iets
   beschrijft"@nl ;
   skos:definition "The information object that describes
         something"@en ;
   skos:prefLabel "is beschreven door"@nl ;
   skos:prefLabel "is described by"@en ;
.

nen2660-term:TopConcept
   a skos:Concept ;
   skos:definition "Het meest generieke concept"@nl ;
   skos:definition "The most generic concept"@en ;
   skos:prefLabel "Top concept"@en ;
   skos:prefLabel "Top concept"@nl ;
.
```

Tabel B.6 / OWL-model

```
@prefix owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> .
<https://www.w3.org/2002/07/owl#> :

owl:Class a rdfs:Class ;
   rdfs:label "Class" ;
   rdfs:comment "The class of OWL classes." ;
   rdfs:isDefinedBy <http://www.w3.org/2002/07/owl#> ;
   rdfs:subClassOf rdfs:Class
.
```

Tabel B.7 / SKOS-model

```
skos:Concept rdf:type owl:Class;
   rdfs:label “Class”;
   rdfs:isDefinedBy <http://www.w3.org/2002/07/owl#> ;
   skos:definition “An idea or notion; a unit of thought.”@en
.
```

Tabel B.8 / RDF(S)-model

```
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .

rdfs:Resource a rdfs:Class ;
   rdfs:isDefinedBy <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> ;
   rdfs:label "Resource" ;
   rdfs:comment "The class resource, everything."
.

rdfs:Class a rdfs:Class ;
   rdfs:isDefinedBy <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> ;
   rdfs:label "Class" ;
   rdfs:comment "The class of classes." ;
   rdfs:subClassOf rdfs:Resource
.

rdfs:subClassOf a rdf:Property ;
   rdfs:isDefinedBy <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> ;
   rdfs:label "subClassOf" ;
   rdfs:comment "The subject is a subclass of a class." ;
   rdfs:range rdfs:Class ;
   rdfs:domain rdfs:Class
.

rdf:type a rdf:Property ;
   rdfs:isDefinedBy <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> ;
   rdfs:label "type" ;
   rdfs:comment "The subject is an instance of a class." ;
   rdfs:range rdfs:Class ;
   rdfs:domain rdfs:Resource .

rdf:Property a rdfs:Class ;
   rdfs:isDefinedBy <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> ;
   rdfs:label "Property" ;
   rdfs:comment "The class of RDF properties." ;
   rdfs:subClassOf rdfs:Resource
.
```

Colofon

Uitgever
Het Nederlands kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik (COB).

Van der Burghweg 2, 2628 CS Delft • gebouw De Bouwcampus
Postbus 582, 2600 AN Delft
085 4862 410 • info@cob.nl • www.cob.nl

Auteurs
- Marc Hamilton (projectleider), Capgemini Engineering
- Johannes Braams (secretaris), TEC
- Jenny Daverveld- van Gelder (coördinator), COB
- Alex Kalden (rapporteur vooronderzoek), Transmeto
- Bilal Akdeniz, Heijmans
- Natasha Blommaert, Agentschap Wegen en Verkeer
- Patrick Dankaart, N.V. Westerscheldetunnel
- Roy van Hattem, TEC
- Peter Imbrechts, Neanex
- Richard de Roon, Croonwolter&dros
- Leo van Ruijven, Croonwolter&dros
- Peter van Velden, Vialis
- Johan de Wit, Rijkswaterstaat

Eindredactie en opmaak
Marije Nieuwenhuizen, COB/Gryffin

Publicatiedatum
27 september 2022

Coverbeeld
Schilderij *De toren van Babel* van Pieter Bruegel de Oude, gebaseerd op het bijbelverhaal waarin God de bouwers van de toren straft met de Babylonische spraakverwarring, zodat de mensen, die eerst één taal hadden, elkaar niet meer konden verstaan.

Downloaden
Deze publicatie is gratis te downloaden via www.cob.nl/kennisbank.

Hergebruik
Teksten uit deze publicatie mogen vrij worden overgenomen, mits voorzien van een duidelijke bronvermelding. Voor hergebruik van figuren en foto's dient u vooraf toestemming te vragen van de aangegeven bronhouder. Als er geen bron is vermeld, dan geldt deze publicatie als bron.

Het COB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van de uitgave. Toch moet niet worden uitgesloten dat er fouten of onvolledigheden in voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker. Het COB sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens het COB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Verkenning semantische basis voor de tunnelsector

Afspraken voor eenduidige betekenis van data ten behoeve van informatie-uitwisseling

Taal helpt stabiliteit te krijgen in te delen informatie. Het COB-netwerk wil in 2030 een gemeenschappelijke taal spreken voor het uitwisselen en gebruiken van data in de tunnelsector. Er is daarom onderzoek gedaan naar een taalopzet – een semantische basis – voor alle levensfasen en aspecten van een tunnel.

Semantische technologie maakt het mogelijk om betekenis te geven aan data, maar er zijn afspraken nodig om ervoor te zorgen dat in verschillende omgevingen dezelfde technologie wordt toegepast en dat de interpretatie in verschillende omgevingen ook tot dezelfde betekenis leidt. Dit pakket aan afspraken vormt een semantische basis.

Dit rapport start met een toelichting op onderliggende begrippen, zoals semantiek, taal en ontologie. Er wordt dieper ingegaan op het concept *common data environment* (CDE), omdat hierin de semantische basis kan worden gerealiseerd en engineers in projecten daarmee moeten werken. Het CDE is het applicatielandschap dat zorgt voor informatie-interoperabiliteit. In het rapport wordt uitgebreid stilgestaan bij de NEN 2660-serie; een recente norm voor informatie-interoperabiliteit in de gebouwde omgeving.

Uit het onderzoek komt naar voren dat het zinvol lijkt om een CDE-groeiboek te starten; de opzet van een CDE-referentie-architectuur die als basis dient voor toepassingen in tunnelprojecten, en tegelijk mee-evolueert met het voortschrijdend inzicht doordat praktijkervaringen worden teruggevoerd in het groeiboek. Daarnaast wordt aangeraden een gegevenswoordenboek voor tunnels op te zetten dat enerzijds praktisch toepasbaar is voor het duiden van de relevante tunnelspecifieke begrippen, en anderzijds aan de standaarden voor de informatiemodellering en data-uitwisseling voldoet.

COB
Nederlands kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik