



**Making Sense
for Society**

Living Lab for
the Internet
of Everything

Sensoren en Semantiek

IN DE NEDERLANDSE SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE

SEPTEMBER 2017

Platform Making Sense for Society

Contact (Geonovum) 033-460 4100 | info@geonovum.nl | www.geonovum.nl/sense4society



Inhoudsopgave

1. Management samenvatting	3
2. Aanbevelingen	4
2.1. Algemene aanbevelingen	4
2.2. Aanbeveling 1: Internationale werkgroepen	4
2.3. Aanbeveling 2: Harmonisatie SDI	4
2.4. Aanbeveling 3: Aanpassingen van sensor, actuator in IMGeo	5
2.5. Aanbeveling 4: Apart Informatiemodel voor sensoren	6
2.6. Aanbeveling 5: Uitproberen van standaarden	6
3. Convergeren van de verkenning.....	7
3.1. Semantische interoperabiliteit.....	7
3.2. Verticale en horizontale harmonisatie	8
4. Semantische harmonisatie sensor	9
4.1. Onderzoeksvragen.....	9
5. Semantische afstemming	12
5.1. Gebruik SOSA en SSN	12
6. Verticale harmonisatie SDI	15
6.1. OGC SWE	15
6.2. INSPIRE	16
6.3. NEN 3610:2011.....	18
6.4. IM Metingen.....	18
6.5. CityGML	19
7. Horizontale harmonisatie informatiemodellen	20
7.1. IMGeo/BGT.....	20
7.2. IMSens als nieuw Informatiemodel.....	25
7.3. IMBRO	25
7.4. DSO	27
8. Vervolg	30
9. Bibliografie	33
10. Bijlagen.....	35



Dit rapport is tot stand gekomen door samenwerking van:

Dirk Jan Veenema, domein specifieke inhoud
Demi van Weerdenburg, ondersteuning en onderzoek
Dick Krijtenburg, klankbord en redactie
Magdalena Grus, informatieportaal sensoren
Hans Nouwens, eindredactie, organisatie en marktverkenning

Met dank aan de waardevolle input van Geonovum collegae, vakspecialisten en geïnteresseerden in gesprekken, discussies, werksessies en bij hun deelname aan onze bijeenkomsten.



1. Management samenvatting

Terwijl de kosten en grootte van sensoren afnemen, nemen de bruikbaarheid en efficiëntie van sensoren toe. De verwachting is dan ook dat de komende jaren steeds meer sensoren in de openbare ruimte komen, een gebied waar de overheid zorg voor draagt. Deze sensoren zullen onderdeel uitmaken van een sensornetwerk, geïntegreerd in het stedelijk gebied. Zij zullen waarnemingen verrichten die een belangrijke plek zullen innemen in vele systemen en processen voor een veelheid aan activiteiten zoals mutatiedetectie, optimalisatie processen, constante of tijdelijke monitoring, bepalen van handelingsperspectieven, data-driven beslissingen en verbetering van de leefkwaliteit. Er valt nog veel te leren hoe overheden met deze innovatie kunnen omgaan en wat de invloed van sensoren is op de Nederlandse Spatial Data Infrastructure (SDI).

Om een semantische spraakverwarring te voorkomen hanteren we in dit rapport het woord sensor zoals in de volksmond wordt gebruikt voor het samengestelde object dat o.a. meet. Het samengestelde object heeft meestal een sensor (meet), actuator (zet iets in beweging), sampler (neemt monsters) en platform (voor bevestiging).

Vanuit de stuurgroep Making Sense for Society is het verzoek gekomen om een brede verkenning te doen naar de impact van sensoren in de openbare ruimte op onze leefomgeving. Deze verkenning is gestart met een marktverkenning en behoeftepeiling in werksessies met tientallen deelnemers. Als voorbeeld object in de openbare ruimte is de lichtmast gekozen om van daaruit met een praktische aanpak de verkenning uit te voeren. Een tweede object dat voor de verkenning is gekozen is het zelfrijdende voertuig. De lichtmast meet een zelfde omgeving terwijl het voertuig een steeds varieerde omgeving meet. Voor het zelfrijdende voertuig is een apart [rapport](#)¹ verschenen met een overzicht van marktontwikkelingen. Dit rapport gaat meer in op standaardisatie.

Tijdens het samenstellen van dit rapport zijn er 21 plenaire sessies en vele 1-op-1 gesprekken met specialisten geweest waar bevindingen zijn getoetst, nieuwe inzichten zijn opgehaald en draagvlak is gezocht voor een vervolg.

Gedurende de verkenning bleek al snel de animo voor een informatieportaal waarin de sensor als object te vinden is. Het Kadaster heeft dit signaal omgezet in een apart vervolgtraject op deze verkenning. Hier is tijdens de verkenning aan meegewerkt.

Uit de verkenning komen duidelijke omissies die grote consequenties gaan krijgen:

- Niet geharmoniseerde informatiemodellen (ontbreken van een informatiemodel voor sensoren - IMSens)
- Ontbreken van standaardisatie voor herkenbaarheid van een sensor
- Ontbreken van gestandaardiseerde data-uitwisseling
- Onbekende betrouwbaarheid van data uit sensoren

Internationale ontwikkelingen om bij aan te haken zijn er bij W3C en OGC. Gezien de omvang van impact van sensoren zijn er vele standaarden in de maak. In Nederland zijn er diverse organisaties die aan standaarden en normen voor sensoren werken zoals de IoT norm commissies, CROW voor de BOR, Connekt voor voertuigen, ALiS voor Openbare Verlichtingsprotocollen en natuurlijk Geonovum. Bij grootschalige projecten als Talking Traffic komen standaardisatievraagstukken vanzelf aan de orde om op te kunnen schalen.

Tijdens de verkenning is de noodzaak voor een meer centraal gecoördineerd programma duidelijk geworden. Een meer nationaal programma om de vele initiatieven te verbinden, het dupliceren van pilots te voorkomen, kennisdeling te versnellen en randvoorwaarden zoals uniforme afspraken en standaarden te bieden.

¹¹ <https://www.geonovum.nl/nieuws/data-ecosysteem-rond-zelfsturende-voertuigen-beeld>



2. Aanbevelingen

Elke organisatie kan zijn eigen aanbevelingen uit dit rapport halen. Voor Geonovum zijn de aanbevelingen uitgewerkt. Deze zijn te vinden op de website van Geonovum. Kadaster heeft de registratie van sensoren als object opgepakt en werkt aan een overzicht met algemene informatie van sensoren die in de openbare ruimte zijn geplaatst.

Naast algemene aanbevelingen gaat dit hoofdstuk in op 5 specifieke aanbevelingen.

2.1. Algemene aanbevelingen

Als data uit sensoren gebruikt gaan worden, en dat gebeurt, dan is inzicht in de betrouwbaarheid noodzakelijk. Hiervoor zijn enkele uitgangspunten essentieel, te weten:

- **De herkenbaarheid van een sensor.**
Hiervoor is metadata van een sensor nodig. Welke metadata nodig is in welk domein dient afgesproken te worden.
- **Standaardisatie van data-uitwisseling.**
Hoe data worden uitgewisseld is essentieel om systemen op elkaar aan te kunnen sluiten. Hier is een overlap met ICT standaarden. Hier zijn andere organisaties internationaal mee bezig. Zorg voor een goed aansluiting op de GEO standaarden.
- **Harmoniseer informatiemodellen.**
Modellen zijn vaak van voor de komst en/of grootschalige toepassing van sensoren. Trek de definities in de informatiemodellen gelijk van sensor, actuator, sampler, platform en feature of interest.
- **Betrouwbaarheid van data uit sensoren waarborgen**
Als data uit de sensor gebruikt wordt is het noodzakelijk dat men erop kan vertrouwen dat de data juist zijn. Voor een juiste duiding van de data is de metadata nodig, inzicht in de kwaliteit van de sensor, herkomst en zekerheid over de beveiliging van de hele keten: van sensordata opwekken tot gebruiken.

2.2. Aanbeveling 1: Internationale werkgroepen

Connecties zoeken met internationale Semantic Interoperability werkgroepen en bijeenkomsten, zoals:

- SensorThings SWG ([SWE-IoT](#) van OGC),
- Web of Things ([WoT](#) van W3C), W3C [IoT Landscape](#),
- Thing-to-thing Research Group ([T2TRG](#) van IETF),
- Workshop on IoT Semantic/Hypermedia Interoperability ([WISHI](#)),
- IoT Semantic Interoperability Workshop ([IAB](#)),
- of Semantic Interoperability and Standardization in the IoT ([SIS-IoT](#) bij Semantics 2017).

Overige groepen die bezig zijn met standaarden omtrent sensoren en Smart Cities:

- [Hypercat](#) met HyperCat Catalogue,
- [IPSO Alliance](#) met CoRE,
- [Open Mobile Alliance](#) met LWM2M,
- [schema.org](#) (wil SSN toevoegen).

2.3. Aanbeveling 2: Harmonisatie SDI

In deze verkenning is de semantische afstemming onderzocht aan de hand van verticale en horizontale harmonisatie. Daarvoor is een keuze gemaakt in sectoren en informatiemodellen die zijn bekeken

Bij de horizontale harmonisatie lag de nadruk nu vooral op de deskresearch, navraag bij informatiemodelbeheerders en enkele deskundigen en is het nog niet bediscussieerd in een werkgroep.



Resultaten kunnen worden teruggekoppeld aan informatiemodelbeheerders en een community, denk hierbij aan BRO, IMBOR en IMGeo.

Ga in gesprek gaan met domeinbeheerders om de informatiemodellen op elkaar af te stemmen qua terminologie over sensor, actuator, sampler, feature of interest en platform.

2.4. Aanbeveling 3: Aanpassingen van sensor, actuator in IMGeo

De sensoren en actuatoren die in IMGeo zitten kunnen geheel uitgewerkt worden volgens de SSN om aan te geven hoe uitgebreid de relaties kunnen zijn tussen sensor, waarneming, platform en feature of interest. Maar IMGeo gaat over de topografie en vooral over locaties van geografische objecten. SSN bevat meer dan waarschijnlijk in IMGeo zou moeten komen. Zo is het voor IMGeo niet nodig om de observatie in op te nemen. Juist de locatie van de sensor en actuator lijkt relevant voor IMGeo. Indien er een bredere definitie van locatie wordt gebruikt voor IMGeo dan zou ook de relatie tot het platform relevant zijn, bijv.: dat een sensor aan een lichtmast bevestigd is.

Er zijn drie punten waarop IMGeo vooral kan verbeteren: (1) het verbeteren van de definitie van sensor en toevoegen van actuator, (2) afbakening van sensor en actuator en (3) de herindeling van sensor- en actuatortypen in IMGeo.

Definities

Mogelijke definities van de sensor en actuator:

IMGeo sensor: een (elektronisch) apparaat/instrument dat een waarneming verricht van een verandering in de omgeving (stimulus), waaruit een (meet)resultaat wordt gegenereerd, om een eigenschap van het interesseobject te schatten.

IMGeo actuator: een (elektronisch) apparaat/instrument dat de staat van de fysieke werkelijkheid verandert, om een eigenschap van het interesseobject te veranderen (aan de hand van een waarneming gemaakt door een sensor?).

Afbakening

Er wordt in deze verkenning geen definitie afbakening voorgesteld voor de sensor/actuator, maar wel een aantal discussiepunten, zoals: Tot welk detailniveau moet de sensor worden opgenomen in geo-informatiemodel? Wat is het kleinst, relevante deel dat kan of moet worden opgenomen, ... is dat de daadwerkelijke sensor, de processing unit, het apparaat/instrument, platform waar het aan vast zit, het sensornetwerk?

Wanneer komt een sensor/actuator in IMGeo, als het 3 maanden wordt gebruikt? Een jaar? Er zijn allerlei tijdelijk sensornetwerken die niet noodzakelijk in IMGeo zouden hoeven te komen.

In IMGeo zit een afvalbak als object, terwijl het sensoren en/of actuatoren kan bevatten. Dit geldt voor meerdere objecten die als platform kunnen dienen voor sensoren en/of actuatoren. Hoe vast zit een sensor? Is het een apart object of is het geïntegreerd in een ander object (onlosmakelijk verbonden)? Wanneer wordt een sensor als apart object opgenomen in IMGeo?

Herindeling

SSN hanteert namelijk geen typologie van sensoren, sensor wordt daar als een concept aangeduid. Echter, in IMGeo zit wel een typologie, namelijk de verschillende type sensoren. Deze typen zullen heringedeeld moeten worden naar de juiste groep: sensor, actuator of (sensor)platform.

- **Sensor:** camera, debietmeter, detectielus, windmeter, waterstandmeter, GMS sensor, radar detector,
- **Platform:** hoogtedetectieapparaat, weerstation, flitser, telkast, GMS kast, dynamische snelheidsindicator, mogelijk ook: zendmast, straalzender, VRI kast, telpaal, drukknoppaal, poller,
- **Actuator:** lichtcel.



Verder zijn er platforms met actuatoren daarop: hoogtedetectieapparaat, flitser, mogelijk ook: zendmast, straalzender, weerstation, VRI kast.

2.5. Aanbeveling 4: Apart Informatiemodel voor sensoren

Meetobjecten worden gekoppeld aan meerdere objecten die in IMGeo zijn beschreven. Van putdeksels tot bomen, van masten tot daken. Steeds meer meetobjecten worden uitgerust met sensoren voor een meting. In de meetapparaten zitten ook vaak actuatoren die o.b.v. een meting een actie uitvoeren. Het meetapparaat is een samengesteld apparaat wat in de volksmond vaak wordt aangeduid met de naam sensor.

Hetzelfde meetapparaat kan gekoppeld worden aan meerdere objecten. Om luchtkwaliteit te meten kan een meetapparaat gekoppeld worden aan een boom, paal, dak, gevel of zelfs auto of fiets. Het meetapparaat kan diverse kenmerken van luchtkwaliteit meten zoals NOx, CO2, temperatuur, luchtvochtigheid etc. Afhankelijk van de locatie waar luchtkwaliteit gemeten wordt, zijn er normen waarop een actuator aangestuurd kan worden. Tevens is er een veelheid van actuatoren die aangestuurd kunnen worden. Bij routing van verkeer o.b.v. luchtkwaliteit kunnen dat bijvoorbeeld verkeerslichten, matrixborden voor snelheid en navigatie programma's zijn.

Uit de verkenning komen voldoende aanknopingspunten om een apart informatie model voor sensoren op te zetten waar zowel naar IMGeo verwezen kan worden als gebruikt kan worden voor een verbijzondering in de domein specifiek informatiemodellen. De redenen daarvoor zijn:

- de enorme hoeveelheid sensoren die geplaatst zijn en gaan worden;
- overheden behoefte hebben aan een standaardisatie en anders zelf modellen gaan bedenken;
- modellen nu al niet op elkaar aansluiten;
- verschillende definities gebruikt worden;
- er gezamenlijke kenmerken zijn die in elk sectormodel gebruikt kunnen worden.

De aanbeveling is om met de domeinbeheerders te onderzoeken of een specifiek sensor model onder IMGeo geplaatst kan worden waar andere modellen naar kunnen verwijzen. Werk daarvoor als voorbeeld voor een object, bijvoorbeeld lichtmast, samen met CROW en gemeenten een model uit waarin duidelijk wordt welke kenmerken uniform zijn voor meerdere sector modellen, welke omschrijving in IMGeo aangepast moet worden en wat als verbijzondering in het sectormodel IMBOR komt.

Als proef een van de sensoren en actuatoren die in IMGeo zitten geheel uitwerken volgens de SSN om aan te geven hoe uitgebreid de relaties kunnen zijn tussen sensor, waarneming, platform, sampler en feature of interest. Daarna specifieke data van type sensoren standaardiseren. Bijvoorbeeld voor luchtkwaliteit, water, mobiliteit, etc.

Na IMGeo vervolgens andere Informatiemodellen onderzoeken en harmoniseren. Betrekken van beheerders om de harmonisatie over de SDI heen te bespreken en afspraken maken over de effectuering.

2.6. Aanbeveling 5: Uitproberen van standaarden

Toepassen en uitproberen van standaarden die al bestaan, zoals: OGC MovingFeatures of W3C & OGC SSN. Het idee hierachter is door uit te proberen Geonovum een gefundeerde mening kan ontwikkelen over deze standaarden. In hoofdstuk 9 zijn hier activiteiten voor benoemd.



3. Convergeren van de verkenning

Uit een werkgroep georganiseerd door Geonovum op 24 januari (MS4S, 2017) ² bleek het gewenst om sensoren als geografisch object te kunnen registreren in de Nederlandse SDI. Tijdens de bijeenkomst "Werken met sensoren" ³ bij Rijkswaterstaat op 6 juli werd dit bevestigd, daar vond 83,33% van de 30 die hebben gestemd, een dergelijke centrale registratie belangrijk. De belangrijkste reden hiervoor was dat voorlopers in de markt problemen voorzagen indien er niets gedaan zou worden, door de hoeveelheid en diversiteit aan sensoren en gerelateerde processen. Beheerders constateerden dat hun beheersystemen over de openbare ruimte niet zijn voorbereid om gegevens over de sensor in op te slaan. Daarnaast vond 81,25%, van de 32 die hebben gestemd, dat het als een taak van de overheden gezien om kenbaar te maken wat er in de openbare ruimte aanwezig is. Overheden worden geacht informatie tot hun beschikking te hebben over waar welke waarnemingen worden gemaakt, door wie en met welk doel. In de kern wil men data over de sensor beschikbaar maken op het web, zodat de sensor vindbaar wordt (ofwel sensor discovery).

3.1. Semantische interoperabiliteit

Echter, momenteel zijn sensoren niet gedefinieerd op een abstract niveau in een globale semantiek, waardoor semantische interoperabiliteit tussen sectorale informatiemodellen (IM) ontbreekt. Hierdoor ontstaan eigen definities en interpretaties in sectoren. Dit maakt het vastleggen, uitwisselen en hergebruik van data en informatie over de sensor als fysiek object en de sensor-waarnemingen lastiger en onduidelijk. Zo is er nog onduidelijkheid over het object "sensor" in betekenis en tot welk detailniveau de registratie van het object "sensor" zou moeten gaan. Tot de sensor, de processor of de assemblage van sensoren en de processor in een apparaat? Wordt de sensor geregistreerd als los object of als het sensornetwerk dat kan bestaan uit meerdere sensoren?

De beschrijving van de sensor en zijn relaties in de Nederlandse SDI en bestaande informatiemodellen zal semantische interoperabiliteit bevorderen, zodat je niet voor elk type sensor hoeft te weten hoe je ermee moet communiceren. Uit een rapport van McKingsley Global Institute (2015) blijkt dat interoperabiliteit noodzakelijk is om 40% van de totale waarde in de Internet of Things (IoT) sector te kunnen creëren. Dit betekent dat voor 40% van de totale waarde het noodzakelijk is dat verschillende (IoT) systemen met elkaar kunnen communiceren en elkaar moeten begrijpen om een toepassing mogelijk te maken. Een aantal voorbeelden zijn te vinden in "Use Cases Collection" van oneM2M (2016), zoals automatische straatverlichting of intelligente verkeerssystemen.

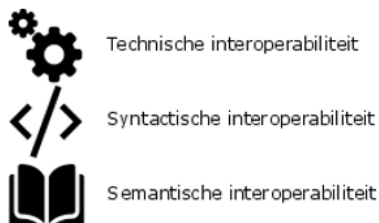
De laatste jaren zijn grote standaarden organisaties, zoals ETSI of IETF, vooral bezig geweest met technische en syntactische interoperabiliteit en bleef de semantische interoperabiliteit achter. Dit is evident als wordt gekeken naar de protocollen en standaarden die zijn gemaakt. Geonovum gaat meer over de semantische interoperabiliteit, de interoperabiliteit van data en informatie, en kan hier een rol in vervullen.

² "Sensoren in de openbare ruimte" waren twee werksessies, op 24 januari en 9 maart 2017, waar met verschillende partijen werd verkend of er behoefte was aan een eenduidige beschrijving van sensoren en hoe deze geregistreerd kunnen worden: <https://www.geonovum.nl/nieuws/verkenning-sensoren-de-openbare-ruimte> en <https://www.geonovum.nl/onderwerpen/sensor-data-en-smart-cities/nieuws/sensoren-de-openbare-ruimte-vervolgacties>.

³ "Werken met sensoren" was een bijeenkomst op 29 juni 2017 bij Rijkswaterstaat waar verschillende partijen een korte presentatie gaven over hoe zij met sensoren werken, welke meerwaarde sensoren hebben en tegen welke problemen zij aanliepen: <https://www.geonovum.nl/nieuws/werken-met-sensoren>. Tijdens deze bijeenkomst is een online-survey gehouden onder de aanwezigen.



Interoperabiliteit is het vermogen van één of meer systemen of componenten om data uit te wisselen en informatie te gebruiken. Vaak wordt er gesproken over drie niveaus van interoperabiliteit: technische, syntactische en semantische.



Figuur 1: Drie niveaus van interoperabiliteit.

Technische interoperabiliteit wordt veelal geassocieerd met hard- en software componenten en communicatie tussen machines in een systeem, zodat de data wordt geaccepteerd en een taak kan worden uitgevoerd zonder ingrijpen. Dit type interoperabiliteit gaat meestal over communicatie-protocollen en infrastructuur die nodig zijn voor die protocollen.

Syntactische interoperabiliteit gaat vaak over data formaten en betreft het verwerken en genereren van data volgens correcte syntax en encoding om het uitwisselen van berichten tussen systemen over verschillende netwerken mogelijk te maken.

Semantische interoperabiliteit is het begrijpen van de betekenis van de uitgewisselde data. Semantische interoperabiliteit maakt het mogelijk voor verschillende (software) agenten, services en applicaties om data, informatie en kennis uit te wisselen op een betekenisvolle manier, on- en offline. Semantische interoperabiliteit wordt bereikt als verschillende systemen dezelfde betekenis geven aan data en informatie.

3.2. Verticale en horizontale harmonisatie

Een onderdeel van semantische interoperabiliteit is het harmoniseren van informatiemodellen: het in overeenstemming brengen van informatiemodellen, zodat de sensor in verschillende informatiemodellen op eenzelfde manier is gedefinieerd en aan elkaar kan worden gerelateerd. In de Nederlandse SDI is de verticale harmonisatie bereikt via onder andere de NEN 3610:2011, maar omdat elke sector – vaak – onafhankelijk zijn sectorale IM's ontwikkelt, heeft dit geleid tot slechte horizontale semantische harmonisatie, i.e. cross-domain harmonisatie. Zo kunnen nagenoeg dezelfde concepten of objecten in twee of meer verschillende sectorale IM's anders zijn gedefinieerd, zonder dat men dit van elkaar weet. Dit maakt het lastig om concepten, objecten of informatie te hergebruiken in andere sectorale IM's. Zoals aangegeven door Van den Brink, Janssen, Quak en Stoter (2017) heeft enkel het hebben van een globale semantiek dit probleem niet opgelost bij andere geografische objecten en is een combinatie noodzakelijk met horizontale afstemming.

Kort gezegd, om de sensor als fysiek object op te kunnen nemen in de Nederlandse SDI, is een "semantisch fundament" gewenst. Dit houdt in dat in de Nederlandse SDI en relevante sectorale IM's de sensor op een eenduidige manier moet worden gedefinieerd. Derhalve, is de probleemstelling vanuit een semantisch-technisch perspectief tweeledig: (1) het ontbreken van een globale semantiek voor sensoren ⁴ en (2) het gebrek aan horizontale semantische afstemming tussen sectormodellen ⁵. Momenteel zijn beide vormen van semantische harmonisatie naar verwachting onvoldoende duidelijk voor sensoren. Deze verkenning is een aanzet om inzicht te krijgen in hoe de sensor als geografisch object kan worden opgenomen in de Nederlandse SDI.

⁴ Te zien in IMGeo, hierin worden sensoren gedefinieerd die een actuator zijn (lichtcel) of een sensorplatform (weerstation) of is de relatie tot de drager van de sensor (bijv. lichtmast) niet gedefinieerd.

⁵ Zichtbaar tussen IMGeo en IMBOR (m.b.t. de sensortypen), maar ook BRO en IMBOR (m.b.t. peilbuizen).



4. Semantische harmonisatie sensor

Uit deze verkenning bleek duidelijk het belang van de semantische interoperabiliteit met betrekking tot sensoren: het vermogen van één of meer sectoren om informatie over de sensor uit te wisselen en informatie te gebruiken. Een belangrijk onderdeel daarvan is semantische harmonisatie: het in overeenstemming brengen van (sectorale) IM's, zodat de sensor in verschillende IM's op eenzelfde manier is gedefinieerd en aan elkaar kan worden gerelateerd. Dit begint met de vraag: wat is een sensor/actuator en welke relaties heeft een sensor/actuator? Dit wordt uitgevoerd met behulp van SSN. De volgende vraag is: in welke IM's komen deze sensoren/actuatoren voor? Zodra dat duidelijk is kunnen de sensoren en actuatoren uit de IM's worden geharmoniseerd. Dat betekent dat elke sensor wordt gerelateerd aan hetzelfde kernconcept. Een vervolgstap van harmonisatie kan zijn om ook sensortypen te harmoniseren, maar dat is niet gebeurd in deze verkenning. Nog een stap verder zou gaan over harmonisatie van generieke attributen, ook dat is niet onderzocht.

Dit rapport is een weergave van de belangrijkste bevindingen uit de verkenning naar semantische interoperabiliteit omtrent sensoren in de openbare ruimte op de Nederlandse SDI. Het doel van semantische interoperabiliteit is om data over de sensor gemakkelijker te kunnen vastleggen ten behoeve van uitwisseling, om data over de sensor vindbaar te maken en om overlappende concepten over sensoren te voorkomen. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is de definitie van een sensor als object?
- Welke relaties heeft een sensor, ook tot andere geografische objecten?
- Welke (sectorale) IM's in de Nederlandse SDI bevatten sensoren en zijn relaties?
- Welke semantische afstemming en ontstemming is reeds aanwezig in de Nederlandse SDI, inclusief sectorale IM's, met betrekking tot sensoren?

Er zijn een aantal aannames gedaan, afkomstig uit de analyses die hebben geleid tot het starten van deze verkenning naar sensoren in de openbare ruimte. Het eerste rapport is in februari 2017 uitgebracht⁶. De aannames zijn:

- Het gebruik van sensoren groeit en de vastlegging van gegevens over de sensor is in meerdere systemen nodig. Hierdoor wordt de beheersbaarheid van processen en systemen complexer en inzicht in kwaliteit/actualiteit steeds moeilijker te borgen.
- Er komen meerdere stakeholders die sensoren bezitten en/of in de openbare ruimte plaatsen.
- Een (globale) semantiek is voor sensoren beperkt aanwezig.

4.1. Onderzoeksvragen

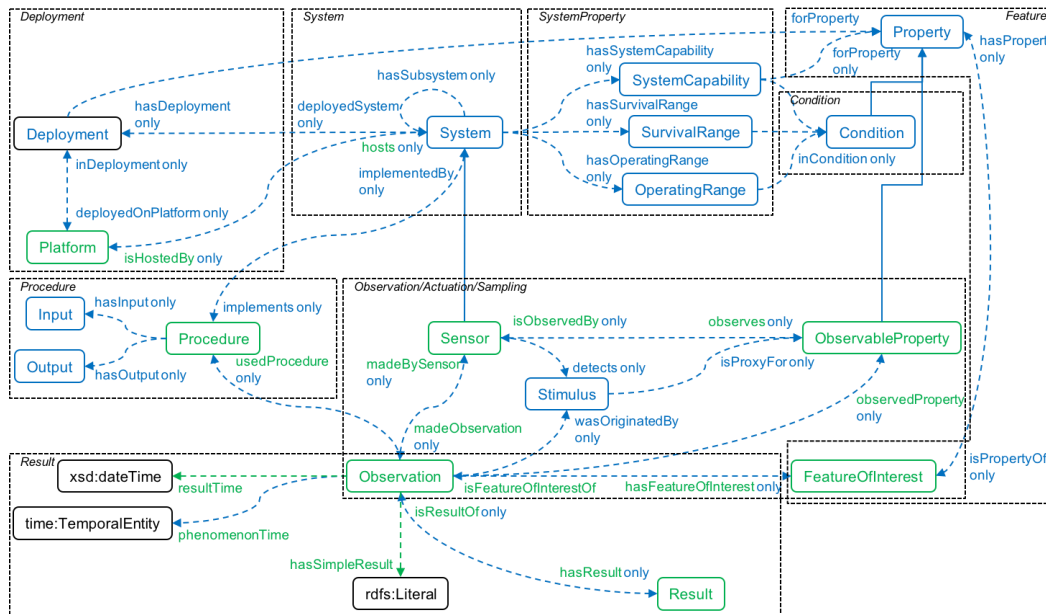
Wat is de definitie van een sensor als object?

In IM's in de Nederlandse SDI worden voor concepten en objecten definities gegeven die het begrip op een informele manier beschrijven. Dit betekent dat objecten op een manier worden beschreven die vooral voor mensen begrijpelijk is. Terwijl in SSN de concepten op een informele manier worden beschreven aan de hand van andere concepten, dus op een manier die vooral voor machines begrijpelijk is. Hierdoor worden in definities van concepten ook andere concepten geïmpliceerd.

Deze definitie in SOSA/SSN is een formele definitie, vooral gericht op machine-to-machine communicatie. Echter, het kan wel gebruikt worden om een definitie in een ander informatiemodel te verduidelijken, doordat de definitie in SOSA de belangrijke concepten en relaties van een sensor bevat. Deze concepten en relaties kunnen worden uitgewerkt tot een informele definitie, zoals te vinden in bijv. IMGeo. Hieronder zijn de belangrijkste concepten gezet, die kunnen helpen met het verbeteren van definities in IMGeo.

Een sensor is (1) een **apparaat/instrument** met (2) een bepaald **doel** – zit vast aan (3) een **platform** en in (4) een **systeem** – dat volgens (5) een **procedure** (6) een **waarneming/observatie** verricht als gevolg van (7) een **stimulus** in de omgeving om (8) een bepaalde **eigenschap** van (9) een **interesseobject** te schatten.

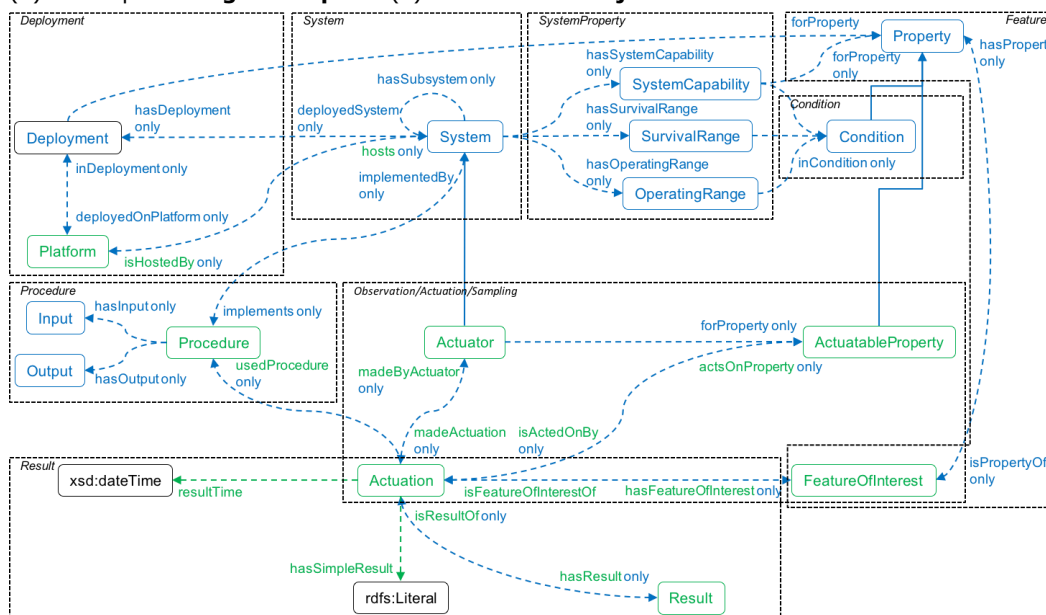
⁶ <https://www.geonovum.nl/nieuws/verkenning-sensoren-de-openbare-ruimte>



Figuur 1: Een visualisatie van de sensor in SSN en zijn relaties.

Zie hieronder de belangrijkste concepten van een actuator.

Een actuator is (1) een **apparaat/instrument** met (2) een bepaald **doel** – zit vast aan (3) een **platform** en in (4) een **systeem** – dat volgens (5) een **procedure** (6) een **verandering** verricht in de fysieke omgeving om (7) een bepaalde **eigenschap** van (8) een **interesseobject** te veranderen.



Figuur 2: Een visualisatie van de actuator in SSN en zijn relaties.

Welke relaties heeft een sensor, ook tot andere geografische objecten?

Tijdens de diverse presentaties en werksessies in het kader van de verkenning vond dat er meer informatie over de sensor moest worden vastgelegd dan enkel een locatie. Dat vond bijvoorbeeld 88,89% tijdens bij de bijeenkomst "Werken met sensoren" op 6 juli bij Rijkswaterstaat. Hierbij werd gedoeld op relaties tot het platform, de waarneming, het interesseobject en metadata over de sensor.



In SSN worden deze relaties gedefinieerd. Zoals gezegd in de inleiding, lag in deze verkenning de focus op het systeem, het platform, de observatie en het feature of interest. Het resultaat van de observatie, de waargenomen eigenschap, de procedure en het tijdscomponent zijn ook relevant, maar vermoedelijk vooral voor een domeinmodel. Net als metadata over de sensor, het platform, systeem, procedure of waarneming. Met name SensorML richt zicht op deze metadata.

Welke (sectorale) IM's in de Nederlandse SDI bevatten sensoren en zijn relaties?

Vermoedelijk bevatten veel IM's een gedeelte van de relaties van sensoren. In dit onderzoek is voor nu beperkt tot IMGeo en een drietal registratieobjecten van IMBRO. "Informatiemodellen in de Nederlandse SDI" in paragraaf 1.3 biedt een overzicht van een aantal informatiemodellen die vermoedelijk informatie bevatten over sensoren in de Nederlandse SDI.

OGC SWE bevat natuurlijk informatie over sensoren, al gaat het vooral over waarnemingen. SensorML en SensorThings API beschikken ook over componenten voor de sensor of actuator als object. INSPIRE dat grotendeels afhankelijk is van O&M, richt zich vooral op waarnemingen. Opvallend genoeg, zijn er informatie over de sensor als object te vinden in INSPIRE, bijvoorbeeld in het thema milieubewakingsvoorzieningen. Daarin komen sensoren, sensorplatforms en sensornetwerken voor. In CityGML is de sensor zeer beperkte aanwezig, eigenlijk alleen het object "weatherstation". IMBRO bevat informatie over sensoren, wederom vooral de waarnemingen. De IMBRO moet nog worden uitgewerkt, maar er zijn registratieobjecten waar sensoren in kunnen voorkomen: geo-elektrisch onderzoek, seismisch onderzoek, grondwaterstandonderzoek, grondwatermonitoringnet, bodemmeetnet en misschien geotechnisch sondeeronderzoek. IMGeo bevat het object "sensor" en ook een aantal objecten die wellicht sensor zijn maar niet zo gedefinieerd.

Welke semantische afstemming en ontstemming is reeds aanwezig in de Nederlandse SDI, inclusief sectorale IM's, met betrekking tot sensoren?

Om een volledig antwoord te geven op de noodzaak tot horizontale harmonisatie zouden meer IM's moeten worden verkend. Hiervoor zijn te weinig sectorale IM's meegenomen. Het doel van deze verkenning is ook om juist dat vervolg vorm te geven en te initiëren. Los daarvan zijn wel signalen te zien van een gebrek aan semantische afstemming.

O&M heeft een sterke nadruk op waarnemingen. SSN heeft een mapping module met O&M, waardoor de meeste OGC SWE informatiemodellen ook kunnen worden gerelateerd aan SSN.

Bepaalde onderdelen van sensoren zitten al in informatiemodellen van INSPIRE thema's. Sommige INSPIRE thema's hebben de sensor expliciet verwerkt en andere minder of niet. In het thema atmosferische condities wordt een weerstation als locatie voor een "sample" aangeduid. In milieubewakingsvoorzieningen wordt gesproken over een EMF met sensoren en een EMM. Sensoren komen terug in INSPIRE. De vraag is wel wanneer (of waarom) er gekozen is voor het opnemen van sensoren in het ene model en niet het andere. Daar zou enige harmonisatie kunnen worden uitgevoerd.

De vraag is of "inrichtingselement" wel de juiste categorie is voor sensor. Aangezien in CityGML's "cityfurniture" vooral over straatmeubilair lijkt te gaan en spreekt over immovable objects.

In de IMBRO gaan mogelijk ook sensoren voorkomen. Momenteel is het grootste gedeelte van de BRO nog in ontwikkeling. De nadruk ligt op de waarneming en op de data. De vraag is, als sensoren of actuatoren voorkomen, of deze dan explicieter moeten worden gemodelleerd in de BRO. Dat is een mooie onderzoeksvraag als een vervolg op deze verkenning.



5. Semantische afstemming

Om de sensor als fysiek object te kunnen vastleggen, wordt voorgesteld om de semantiek omtrent sensoren in de huidige Nederlandse SDI te onderzoeken, zowel de verticale als horizontale semantische afstemming. Voor deze typen semantische harmonisatie wordt in Van den Brink, et al. (2017) een methodologie voorgesteld. Echter, doordat er geen duidelijke globale semantiek is voor sensoren in de Nederlandse SDI, is er weinig houvast en zal het vergelijken van concepten beperkend en onpraktisch werken. Daarom wordt in deze verkenning voorgesteld om te vergelijken aan de huidige internationale ontwikkelingen van het W3C en OGC en de Semantic Sensor Network Ontology – SSN (Taylor, et al., 2017). Hierdoor zijn niet de huidige concepten in de Nederlandse SDI of sectormodellen leidend, maar een gering aantal definities en relaties in SSN.

In deze verkenning is SSN dus een middel om sensoren en hun relaties in de Nederlandse SDI te identificeren om vervolgens de sectorale IM's onderling te kunnen vergelijken. Dit betekent niet dat dit een haalbaarheidsonderzoek is naar de implementatie van SSN. Er zijn meerdere IM's die konden gebruikt worden als methode, zoals: SensorThings API, oneM2M Base Ontology, SAREF van TNO, OpenIoT, IOTDB, OMA LWM2M of IPSO Smart Objects. Echter SSN lijkt het meest compleet en geschikt voor dit onderzoek, omdat (1) SSN is gebaseerd op meerdere andere modellen, (2) de huidige versie van SSN ook daadwerkelijk geïmplementeerd wordt in de praktijk, (3) het concepten bevat en geen gedetailleerde uitwerking van typen en (4) deze concepten ook voorkomen in de huidige Nederlandse SDI en (5) het is een standaard het het OGC en W3C waardoor het aansluit op informatiemodellen in de Nederlandse SDI. Zo heeft SSN een mapping module waarin onder andere SSN is afgestemd op ISO/OGC 19156:2011 Observation en Measurements.

Verticale harmonisatie SDI

Voor verticale semantische harmonisatie wordt met deskresearch onderzocht hoe sensoren en waarnemingen in de OGC SWE, INSPIRE, NEN 3610:2011, IM-Metingen en CityGML voorkomen. Hier wordt overkoepelend gekeken naar meerdere informatiemodellen. Hoofdstuk 6 gaat verder in op de verticale harmonisatie.

Horizontale harmonisatie SDI

Horizontale harmonisatie gebeurt door middel van een community-driven "ontology matching" om menselijke interpretatie te integreren in drie stappen (Euzenat & Shvaiko, 2013; Van den Brink, et al. 2017). In (a) wordt deskresearch gedaan naar de mogelijke semantische overlap tussen sectormodellen aan de hand van SSN definities en relaties. Hiervoor moet ten eerste een lijst van informatiemodellen worden opgesteld waar sensoren of metingen in voorkomen (zie paragraaf 1.3), om vervolgens sensoren in de sectorale IM's te identificeren met behulp van SSN concepten die daaruit voortkomen onderling te vergelijken. In (b) worden de resultaten van de deskresearch met domeinbeheerders, i.e. deskundigen, geverifieerd en de meerwaarde achterhaald van verbeterde semantische afstemming (welke partijen hebben er baat bij; welk mogelijk hergebruik is er). In (c) worden de bevindingen van de voorgaande stappen bediscussieerd in een werkgroep, i.e. een community, om breder draagvlak te creëren. Tevens, kunnen eventuele inconsistentie of verbeteringen in de sectormodellen hier worden geïdentificeerd en aangeduid. Hoofdstuk 7 gaat in op de horizontale harmonisatie.

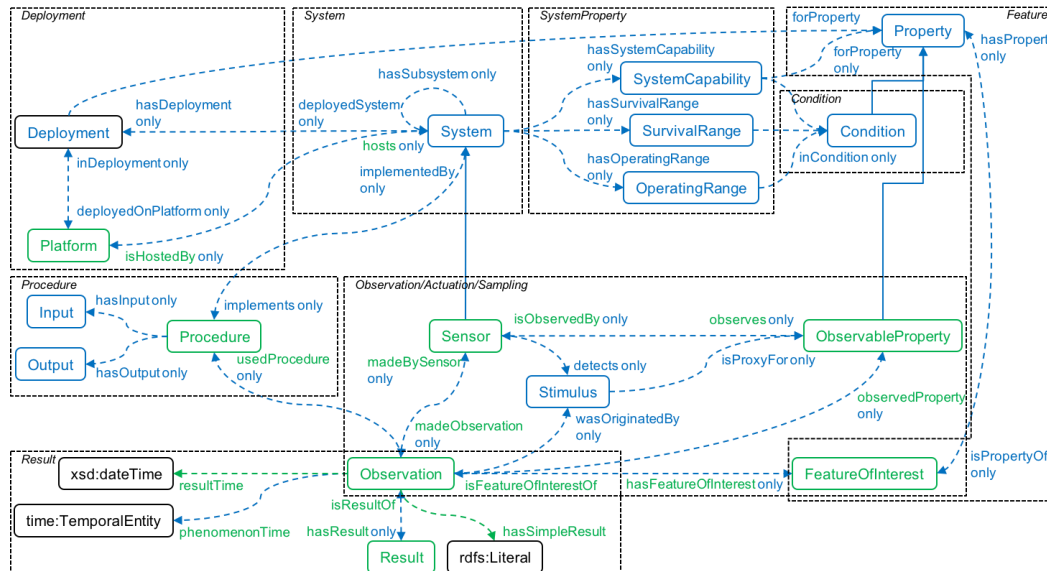
Om toekomstige semantische ontstemming te voorkomen, kunnen de resultaten worden geïntegreerd in de NEN 3610 conceptenbibliotheek (2017) en/of de DSO gegevenscatalogus. Zo kunnen toekomstige ontwikkelingen in sectorale IM's, die betrekking hebben op sensoren worden afgestemd op bestaande concepten, definities en relaties zoals gedefinieerd in één van die twee catalogi.

5.1. Gebruik SOSA en SSN

De definities en relaties van de sensor en gerelateerde concepten worden afgeleid van de SSN. Deze standaard is vanaf 7 september 2017 een Proposed Recommendation, wat betekent dat de SSN naar verwachting binnen 3 maanden een officiële standaard wordt. SOSA (Sensor, Observation, Sample, and Actuator) is de kern binnen de SSN, waar aanvullende klassen en relaties worden toegevoegd. De gehanteerde klassen en eigenschappen worden gezien als de algemene definities van een sensor netwerk die eenvoudig te gebruiken zijn. Hierdoor kan SOSA goed worden toegepast in verschillende domeinen. In Figuur 3 is het overzicht van de SOSA/SSN



structuur weergegeven, waarbij groen staat voor SOSA en blauw voor de aanvullende SSN klassen en eigenschappen (Taylor, et al., 2017).



Figuur 3: Een overzicht van SOSA/SSN klassen en relaties (Taylor, et al., 2017).

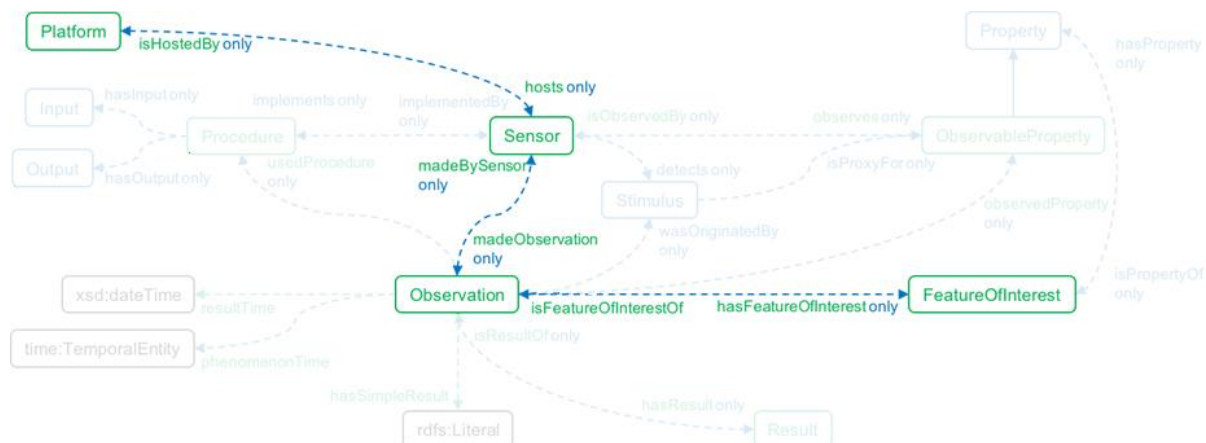
Aangezien een globale semantiek voor sensor slechts beperkt aanwezig is in de Nederlandse SDI, is de definitie en afbakening van een sensor onduidelijk. De SSN, met name de basis uit de SOSA, wordt gebruikt als referentie om te toetsen hoe sensoren in bestaande IM's binnen de Nederlandse SDI voorkomen. Dit dient als een middel om sensoren en hun relaties in de Nederlandse SDI te identificeren om vervolgens de sectorale IM's onderling te kunnen vergelijken en verbinden.

- *sosa:Sensor* – “Device, agent (including humans), or software (simulation) involved in, or implementing, a Procedure. Sensors respond to a Stimulus, e.g., a change in the environment, or Input data composed from the Results of prior Observations, and generate a Result. Sensors can be mounted on Platforms.”
- *sosa:Actuator* – “A device that is used by, or implements, an (Actuation) Procedure that changes the state of the world.”
- *sosa:Platform* – “A platform is an entity that hosts other entities, particularly sensors, actuators, samplers and other platforms.”
- *sosa:Observation* – “Act of carrying out an (Observation) Procedure to estimate or calculate a value of a property of a FeatureOfInterest. Links to a Sensor to describe what made the Observation and how; links to an ObservableProperty to describe what the result is an estimate of, and to a FeatureOfInterest to detail what that property was associated with.”
- *sosa:Actuation* – “An Actuation carries out an (Actuation) Procedure to change the state of the world using an Actuator.”
- *sosa:FeatureOfInterest* – “The thing whose property is being estimated or calculated in the course of an Observation to arrive at a Result, or whose property is being manipulated by an Actuator, or which is being sampled or transformed in an act of Sampling.”
- *ssn:System* - “System is a unit of abstraction for pieces of infrastructure that implement Procedures. A System may have components, its subsystems, which are other Systems.”

sosa:Sensor en *sosa:Actuator* beschrijven de sensoren en actuatoren. De connectie tot *sosa:Platform* (en *ssn:System*) is van belang om de relatie van een sensor tot andere geografische objecten in een informatiemodel te beschrijven. Dit kan het object zijn waar de sensor aan vastzit en het meetnet waar een sensor onderdeel van uitmaakt. *sosa:Observation* en *sosa:Actuation* beschrijven de relaties van de sensor tot de waarnemingen en actuator tot de handelingen die worden verricht. *sosa:FeatureOfInterest* beschrijft het



interesseobject dat wordt gemeten of veranderd, mogelijke andere geografische objecten. Met deze relaties wordt de integratie in de Nederlandse SDI duidelijk en de connectie tot bestaande, gebruikte concepten in informatiemodellen.

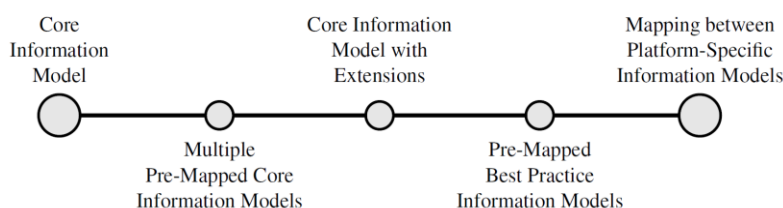


Figuur 4: Een visualisatie van SOSA/SSN met enkel de relevantie onderdelen voor deze verkenning (Taylor, et al., 2017).

In SSN bestaat ook een concept "sampler". De sampler is een concept dat moeilijk is om te integreren in de Nederlandse SDI, omdat het onderscheid tussen een sensor en sampler lastig is te maken. Het komt ook doordat een object in SSN tegelijkertijd zowel een sensor als sampler kan zijn en in de hiërarchische informatiemodellen in de Nederlandse SDI kan elk object slechts één concept zijn. Daarom wordt voorgesteld om de sensor en actuator uit te werken en de sampler voor nu niet.

Aanpak voor semantische interoperabiliteit

Er zijn verschillende manieren om semantische interoperabiliteit aan te pakken in de Nederlandse SDI, hieronder wordt een spectrum van aanpakken weergegeven.



Figuur 5: Spectrum van aanpakken voor semantische afstemming (Jacoby, 2017).

"Core Information Model" is een methode waarbij één standaard wordt gemaakt die door iedereen wordt gebruikt. Om dit te bereiken moet een model alle definities en relaties bevatten die noodzakelijk zijn voor alle sectoren, dit is praktisch onhaalbaar. Aan de andere kant van het spectrum staat "Mapping between Platform-Specific Information Models", waarbij een mapping wordt gemaakt tussen twee sectoren. Op deze manier hoeven niet alle sectoren het eens te zijn met de afstemming, maar leidt het wel tot $N \cdot (N - 1)$ mappings, wat mogelijk veel werk is. Bovendien sluit dit niet aan op de filosofie achter de Nederlandse SDI, die tot op zekere hoogte uitgaat van een centralistische model. De "Core Information Model with Extensions", beschrijft een model tussen deze twee uiteinden in, met daarin de minimale, kern concepten, waardoor elke sector zelf een mapping kan maken op de kern concepten en extensies kan toevoegen voor sectorspecifieke informatie. Dit is de richting die aansluit op de SSN.



6. Verticale harmonisatie SDI

In dit hoofdstuk wordt het resultaat van deskresearch naar verticale semantische harmonisatie weergegeven. Hierbij is onderzocht hoe sensoren in OGC SWE, INSPIRE, NEN 3610:2011, IM Metingen en CityGML voorkomen. Er is overkoepelend gekeken naar meerdere informatiemodellen.

Waarom deze standaarden? OGC SWE en met name ISO/OGC 19156:2011 en SOS worden toegepast in sectormodellen zoals IM Metingen en IMBRO, maar ook in INSPIRE. De NEN 3610:2011 is het moedermodel van de Nederlandse SDI, die de semantische basis voor geografische objecten beschrijft waar vrijwel alle IM's ook gebruik van maken. In deze verkenning wordt ook specifiek gekeken naar IMGeo en die is gebaseerd op CityGML, dus daarom wordt ook deze standaard meegenomen. Begrip over waar objecten van SOS/SSN voorkomen in de Nederlandse SDI, kan de basis vormen om deze objecten samen te brengen. Het uitgangspunt hierbij is het locatiecomponent.

6.1. OGC SWE

Het OGC definieert de term Sensor Web als: "an infrastructure enabling access to sensor networks and archived sensor data that can be discovered and accessed using standard protocols and application programming interfaces". Om de Sensor Web te integreren in een generiek raamwerk, in een SDI, heeft het OGC het Sensor Web Enablement (SWE) gedefinieerd, een initiatief om data over sensoren en de waarnemingen vindbaar, beschikbaar en bruikbaar te maken op het web. Deze set van standaard leidt ertoe dat de heterogeniteit van individuele sensors kan worden verbonden binnen een generiek raamwerk. SWE bevat verschillende services, zoals: SOS, SPS, SES, en informatiemodellen, zoals: SensorML en O&M. Hieronder worden vier relevante modellen kort behandeld: O&M, SOS, SensorML en SensorThings API.

ISO/OGC 19156:2011

ISO/OGC 19156:2011 Observation en Measurements (O&M) is een internationale standaard voor het conceptueel modelleren van waarnemingen en het beschrijven van hun relaties tot geografische features of interest. In O&M staat de waarneming centraal dat conform een specifieke procedure wordt verricht aan een feature of interest. Deze procedure kan met een sensor worden verricht, maar dat is niet expliciet opgenomen in O&M. Hoewel O&M een conceptueel model is, kunnen waarneming gemaakt met een sensor in O&M worden verwerkt en kan dit de connectie zijn naar verdere detaillering van de meetgegevens.

Een O&M Observation ondersteunt 5 attributen en 6 relaties (OGC & ISO, 2011, pp. 9-15). Twee relaties zijn met name relevant: Domain en ObservationContext. De relatie Domain relateert de waarneming aan het interesseobject, het Feature of Interest. Dit is een object in de werkelijkheid wiens eigenschappen worden geobserveerd of is een Feature bedoeld om een object in de werkelijkheid te bemonsteren. De Feature of Interest heeft mogelijk een geografische locatie en zou een ander geografisch object kunnen zijn. De relatie ObservationContext relateert de waarneming aan andere waarnemingen die essentieel zijn om de waarneming te begrijpen. Dit geeft context aan de waarneming. In O&M was dit bedoeld voor waarnemingen die hetzelfde interesseobject waarnemen over een tijdserie.

In O&M bestaat ook de ultimate Feature of Interest, bijv. de lucht of de ondergrond. Via een proximate Feature of Interest kan een Sample worden genomen van de ultimate Feature of Interest. Deze Samples worden uitgevoerd aan de hand van de Specialized Observations, die worden gedaan volgens een bepaald, geografisch, patroon. Elke waarneming heeft een Coverage (dekking) met een locatie (OGC & ISO, 2011). In sommige gevallen wordt een waarneming genomen met een sensor en wordt de locatie van de sensor gebruikt voor de locatie van de dekking, dus het is mogelijk dat een Specialized Observation de locatie aangeeft van een sensor:

- een point spatial sampling feature, wat mogelijk de locatie van een sensor kan weergeven;
- een point time series observation, wat mogelijk een gefixeerde locatie van een sensor kan weergeven;
- een trajectory observation, die mogelijk een mobiele sensor kan weergeven;
- en een multipoint observation, dit kan mogelijk een verspreid sensornetwerk weergeven.



Sensor Observation Service

OGC's Sensor Observation Service (SOS) is een web-service om sensor data online te ontsluiten. Deze standaard is afhankelijk van SWE en O&M en maakt het mogelijk om de waarnemingen, sensor metadata en Feature of Interest te bevragen. Daarnaast, bevat de standaard functionaliteit om nieuwe waarnemingen of sensoren toe te voegen en oude te verwijderen.

Net als bij O&M staat ook hier waarneming centraal. Een waarneming in SOS geeft een waarde van een eigenschap voor een domein entiteit, een Feature of Interest voor een specifiek moment en een volgens een bepaalde procedure. In de metadata wordt andere informatie verstrekt, zoals: Unit of Measurement (UOM), kwalitatieve informatie, maar ook een geografische locatie van de Feature of Interest waar de waarneming betrekking op heeft. In context van dit onderzoek zijn deze locaties niet altijd bruikbaar, omdat het de locatie van de waarneming betreft (zie de Specialized Observations hierboven) en niet de procedure waarmee deze is waargenomen. Deze procedure kan met een sensor, maar zou ook handmatige metingen of bemonstering kunnen zijn. Daarnaast kan een waarneming in sommige gevallen worden gemaakt met een ex-situ sensor, e.g. het landoppervlak dat wordt waargenomen via remote sensing.

SensorML

SensorML is afhankelijk van SWE en O&M, dus de verschillende O&M concepten komen ook grotendeels voor in SensorML, bijv. Feature of Interest, Process of Observation. SensorML beschrijft processen en proces-componenten die gepaard gaan met waarnemingen, dit omvat ook fysieke processen zoals sensoren. De nadruk van SensorML ligt echter net als O&M op het proces van waarnemen en meten, niet noodzakelijkerwijs de sensor. Al worden de sensoren, actuatoren en sensorsystemen wel redelijk uitgebreid omschreven in deze standaard.

Zo kan via de Extension Property metadata over de sensor worden opgenomen, zoals: naam, modelnummer, fabrikant, sensortype, contact info, gewicht, lengte, breedte, hoogte, behuizing materiaal, voltage, ampère bereik, etc. Een lijst is te vinden op <http://sensorml.com/orr/#http://sensorml.com/ont/swe/property>.

SensorML bevat een PhysicalSystem, een fysiek proces bestaande uit meerdere fysieke en niet-fysieke componenten – sml:components (bijv. weerstations). Het gehele systeem kan een locatie hebben via sml:position. Dit komt overeen met een ssn:System, een abstract concept dat kan bestaan uit meerdere componenten.

Het Feature of Interest zit in SensorML voor sensor discovery en om het doel van de sensor te beschrijven.

SensorThings API

SensorThings API (Liang, Huang, & Khalafbeigi, 2016) is een OGC standaard om IoT sensoren, data en toepassingen op het web te verbinden. Net als de andere standaarden is ook SensorThings API afhankelijk van O&M. SensorThings API bestaat uit drie onderdelen: Sensing, Actuating en Analyzing. Momenteel is alleen de Sensing definitief.

Het bevat een "Thing" dat een object in de fysieke of virtuele wereld is, ofwel het platform met een aantal sensoren of actuatoren. Dit Thing heeft een geografische locatie - dus niet de sensor zelf -, een aantal datastromen met een aantal waarnemingen van een eigenschap van het interesseobject. In vergelijking met SSN komen veel concepten terug in SensorThings API. Het enige wat hier niet expliciet in terugkomt is het systeem waar een sensor onderdeel van kan uitmaken.

6.2. INSPIRE

INSPIRE (**IN**frastructure **SP**atial **IN**fo**R**mation in **E**urope) is opgezet door de Europese Commissie en gaat over Europese afstemming van geografische data over milieu-data, zodat alle landen dezelfde standaarden gebruiken en de dezelfde taal spreken. Het doel is om een Spatial Data Infrastructure (SDI) te vormen in Europa om informatie te delen tussen publieke overheden en Europa en om geïnformeerde beslissingen te kunnen nemen over beleid dat betrekking heeft op het milieu. INSPIRE definieert standaarden voor 34 geografische thema's, die nodig zijn voor milieugerichte toepassingen (e.g. administratieve eenheden, beschermende



gebieden, spreiding van bevolking, energiebronnen en gebieden met natuurrisico's). INSPIRE leidt ertoe data efficiënter wordt ingewonnen en beter wordt gevonden, gedeeld en gebruikt via een online portal met web-services (INSPIRE, 2017).

INSPIRE bestaat vooral uit statische geo-informatie en daarbij gemeten, gemodelleerde of gesimuleerde data voor een (beperkt) aantal INSPIRE thema's. Hiervoor wordt ISO 19156:2011 "Geographic Information -- Observations and measurements" gebruikt (INSPIRE-MIG, 2016a). Deze standaard gaat over hoe waarnemingen en metingen met een specifieke procedure (via e.g. PointObservation, TrajectoryObservation, GridObservation), niet noodzakelijkerwijs met sensoren. De 34 thema's worden op basis van onder andere ISO 19516 uitgewerkt in een eigen specificatie.

INSPIRE specificeert niet expliciet volgens welke procedure een meting tot stand is gekomen. Het gaat over de data zelf. Echter, de informatie over een sensor kan relevant zijn als het validatie of kalibratie van de data raakt, e.g. dichtheid van een sensornetwerk, of als een sensor wordt gekoppeld aan een object.

In INSPIRE worden waarnemingen voor een zevental thema's als volledig relevant aangeduid, namelijk: geologie, atmosferische omstandigheden en meteorologische geografische kenmerken, milieubewakingsvoorzieningen, oceanografische geografische kenmerken, zeegebieden, bodem en spreiding van soorten (INSPIRE-MIG, 2016). Met name de geologie, bodem, atmosferische omstandigheden en milieubewakingsvoorzieningen zijn relevant voor de Nederlandse SDI, dus wordt dit onderzoek op die vier thema's afgebakend.

Geologie

Het model Geologie beschrijft de samenstelling en structuur, inclusief vast gesteente, waterhoudende grondlagen en geomorfologie. Dit voor de onderste lagen van de ondergrond zoals: grondwater, samenstelling en structuur en geomorfologie.

In dit model wordt de "Borehole" beschreven, de locatie waar een gat in de ondergrond wordt gegraven en die wordt gebruikt om waarnemingen of monsters te verzamelen. Het proces wordt niet gespecificeerd. Dit zou als een platform kunnen worden geïnterpreteerd in SSN context, maar in de praktijk zal het vaak bemonstering zijn. De Borehole heeft een punt-locatie.

Bodem

Het model Bodem is gekenmerkt volgens diepte, textuur, structuur en inhoud van deeltjes en organisch materiaal, steenachtigheid, erosie en, waar passend, gemiddelde hellingsgraad en verwachte wateropslagcapaciteit. Bodem beschrijft de bovenste laag van de ondergrond.

Net als in Geologie heeft ook Bodem een locatie waar de waarneming wordt genomen, namelijk de "SoilSite". Het proces wordt niet gespecificeerd, in de praktijk zal het vaak bemonstering zijn. De Soilsite heeft een punt-locatie, dit zou als een platform kunnen worden geïnterpreteerd in SSN context.

Atmosferische omstandigheden

Atmosferische omstandigheden beschrijven de fysische omstandigheden in de atmosfeer gebaseerd op metingen en modellen. Deze metingen en modellen hebben geografische locaties. Het data model van atmosferische omstandigheden neemt een aantal metingensoorten op die verplicht zijn, namelijk: windsnelheid, windrichting, temperatuur, luchtvochtigheid, neerslag en verdamping. In de praktijk zal een waarneming meestal met sensoren worden verricht.

Milieubewakingsvoorzieningen

De milieubewakingsvoorzieningen bevatten de waarneming en meting van emissies, de staat van de milieucompartimenten en van andere ecosysteemparemeters (biodiversiteit, ecologische omstandigheden van vegetatie) door of namens de overheidsinstanties.

EnvironmentalMonitoringFacility (EMF) heeft een geometrie en heeft om praktische redenen ook een attribuut met een punt representatie. Een EMF kan zowel vastzitten, mobiel of op een andere EMF zitten. Het kan drager



zijn van verschillende onderdelen en als platform dienen voor sensoren of andere metinginstrumenten. De voornaamste reden om deze onderdelen te integreren in EMF is om gerelateerde observaties aan elkaar te verbinden, zodat deze in een tijdserie kunnen worden geïnterpreteerd. De EMF heeft ook een attribuut "specialisedEMFType" dat aangeeft of het een sensor of station is. Dit komt sterk overeen met de `sosa:Platform` en de relaties tot sensoren en observaties.

Een `EnvironmentalMonitoringNetwork` (EMN) is een geografisch object en bestaat uit een aantal EMF's. Het is mogelijk om zowel geaggregeerde informatie over een aantal EMF's op te nemen in dit thema als sub-netwerken. Een EMF kan tot verschillende EMN's behoren, bijv. als het onderdeel is van een regionaal en nationaal netwerk. Dit komt sterk overeen met de `ssn:System`.

6.3. NEN 3610:2011

De NEN 3610:2011 is het basismodel over geo-informatie dat termen, definities, relaties en algemene regels bevat voor de uitwisseling van ruimtelijke objecten (NEN, 2011). Deze ruimtelijke objecten worden gedefinieerd als `featureType` superklasse `GeoObject`, een "abstractie van een fenomeen in de werkelijkheid dat direct of indirect is geassocieerd met een locatie relatief ten opzicht van de aard" (NEN, 2011, p. 9). Dit is onderverdeeld in hoofdklassen, zoals: weg, terrein, spoorbaan, water, leiding, gebouw, inrichtingselement of planologisch gebied.

Het woord sensor komt niet voor in NEN 3610:2011; het valt onder het `featureType` `GeoObject` en de hoofdklasse `inrichtingselement` en wordt uitgewerkt in sectorale modellen. Het is een "ruimtelijke object al dan niet ter detaillering dan wel ter inrichting van de overige benoemde ruimtelijke objecten of een ander inrichtingselement" (NEN, 2011, p. 38). Een mogelijke interpretatie hiervan, in context van SSN, is dat het altijd een sub-platform is van een ander platform (ander `GeoObject` of andere hoofdklasse).

In de NEN 3610:2005 kwam de meting als hoofdklasse van het geo-object nog wel voor. Daar werd het aangeduid als: "Aanduiding van een plaats of gebied waar een meting is verricht" (NEN, 2005, p. 44). In NEN 3610:2011 is dit geo-object verwijderd en vervangen met het IM Metingen (NEN, 2011).

Het metingenobject refereert aan het metingenmodel IM Metingen dat gebaseerd is op OGC/ISO 19156:2011 Observation and Measurements (OGC & ISO, 2011). In O&M staat de waarneming centraal dat conform een specifieke procedure wordt verricht aan een interesseobject. Dergelijke waarnemingen zeggen vaak iets over objecten in de werkelijkheid en in dat geval zijn de waarnemingen gerelateerd aan geo-objecten. Binnen elk applicatiedomein dient te worden vastgelegd aan welke specifieke objecten waarnemingen worden verricht. Daarnaast kan de locatie van een waarneming ook zelf als geo-object worden opgenomen. Doordat de NEN 3610:2011 wordt gekoppeld aan IM-metingen, kunnen de interesseobjecten en waarnemingen als geo-objecten worden uitgelezen (NEN, 2011, pp. 41-42, 57). In SSN context, is dit de relatie van de `sosa:Observation` tot de `sosa:FeatureOfInterest` en de `sosa:Observation` die een locatie heeft. De sensor zelf wordt in O&M gezien als een procedure.

6.4. IM Metingen

IM Metingen is een informatiemodel voor het uitwisselen van water gerelateerde meetgegevens om waterbeheerders meer inzicht te geven in de kwaliteit van wateren en waterkeringen. Het is gezamenlijk ontwikkeld door Informatiehuis Water en SIKB en gezamenlijk in beheer. Het is geschikt voor de uitwisseling van chemische, fysische en biologische meetgegevens en kan worden toegepast in zowel de watersector als bodemsector. IM Metingen is grotendeels gebaseerd op ISO 19156:2011 "Geographic Information -- Observations and measurements", dus worden niet alle concepten nogmaals hier uitgelegd.

In IM Metingen worden waarnemingen gemaakt. De `Observation`, een waarneming, hanteert een `ObservationProcess`: "De beschrijving van het proces door o.a. het soort apparaat of zintuig, of combinatie van soorten apparaten en/of zintuigen vast te leggen, waarmee de waarneming, meting of analyse in het veld is uitgevoerd" (AQOU, 2013). Deze `ObservationProcess` heeft een aantal attributen, waaronder:



- sensingDevice: "De beschrijving van het soort apparaat of zintuig, of combinatie van soorten apparaten en/of zintuigen, waarmee de waarneming, meting of analyse in het veld wordt uitgevoerd",
- en sensingLocationType: "Aanduiding van de plaats waar het resultaat bepaald is." De waarde voor sensingLocationType is standaard in-situ. Dit verwijst naar een codelijst.

Het resultaat van een waarneming heeft een LocationResult: "Het geometriepunt waarop het resultaat betrekking heeft" (AQOU, 2013), dus een geografische locatie.

6.5. CityGML

CityGML van het OGC (2012) is een data model en uitwisselformaat om 3D-modellen van steden en landschappen op te slaan. Via een Application Domein Extension (ADE) is een extensie gemaakt voor de Nederlandse SDI, waarbij eigenschappen voor 2D geometrie zijn toegevoegd. Het resultaat hiervan is IMGeo.

Het inrichtingselement waaronder de sensor valt in IMGeo, is de Nederlandse interpretatie van CityFurniture uit CityGML. Daarin wordt CityFurniture gedefinieerd als: "City Furniture are immovable objects like lanterns, traffic lights, ..., advertising columns, benches, ..., or bus stops."

Interessant genoeg is een weerstation een inrichtingselement in IMGeo, maar in CityGML is een weather station een gebouw (OGC, 2012, p. 227). Daarbij wordt vermoedelijk meer bedoeld op weerstations zoals het RIVM gebruikt.

De sensor komt als object niet expliciet voor als thematische klasse in CityGML, dan zijn er twee manieren om deze alsnog toe te voegen, via (1) een ADE of via (2) generic objects and attributes. Daarnaast is er nog een concept dat mogelijk wordt geïntegreerd in CityGML 3.0, de Dynamizers. Dynamizers is een concept om dynamische data te vangen in CityGML. Hierbij wordt ook verwezen naar de sensor en de waarneming via URI's en andere modellen, zoals SensorML en O&M via SensorThings API of SOS. Dit gaat meer over de data dan het object, maar maakt het mogelijk om in een statisch model als CityGML, dynamische data op te nemen.



7. Horizontale harmonisatie informatiemodellen

In het komende jaar staan de revisie van IMGeo (en IMBOR), de uitwerking van waarnemingen in de BRO en het opstellen van de informatiehuizen in DSO op de agenda, waardoor dit een goed moment lijkt om de semantische afstemming te onderzoeken en mogelijk te verbeteren. Het aantal IM's in de Nederlandse SDI is groot en sensoren zullen in veel IM's voorkomen, daarom is het voorstel om klein te beginnen met IMGeo, IMBOR en de DSO om in een later stadium te kunnen uitbreiden.

In brede zin zijn de IM-beheerders de doelgroep die mogelijk sensoren hebben opgenomen in hun IM, bijv.:

- IMKL – kabels en leidingen, en IMBRT – topografie (Kadaster);
- IMSW – stedelijk water (RIONED);
- IMGeo – geografie (I&M) ⁷;
- IMWV – wegen en vervoer en IMBOR – beheer openbare ruimte (CROW) ⁷;
- IMWA – water (IHW) ⁷;
- IMOOV – openbare orde en veiligheid en DBK – digitale bereikbaarheidskaart (Raad MIV);
- IM-Metingen (IHW, SIKB);
- IMNAB – natuurbeheer (IPO);
- IMAER – natuur (RIVM);
- INSPIRE thema's (EC);
- DSO – informatiehuizen (I&M) ⁷;
- SIKB0102 – archeologie en SIKB01010 – bodem (SIKB);
- en IMBOR (TNO, Alterra) ⁷.

7.1. IMGeo/BGT

Het IMGeo bestaat uit de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT), de digitale basiskaart opgebouwd met een topografisch objectenbestand met objecten als gebouwen, wegen, spoorwegen, parken en bossen. De BGT is het wettelijk verplichte deel van deze IMGeo standaard. De IMGeo bevat verder afspraken over uitwisseling van plus- en beheertopografie. De sensor is opgenomen als een IMGeo-object, maar is niet verplicht in de BGT. IMGeo ziet de sensor als een inrichtingselement.

De sensor is in de IMGeo gegevenscatalogus opgenomen als een IMGeo-object en is daardoor niet verplicht in de BGT. De sensor wordt als volgt gedefinieerd: "Apparaat voor de meting van een fysieke grootheid (bijvoorbeeld temperatuur, licht, druk, elektriciteit); Inrichtingselement/City Furniture".

De IMGeo definitie van sensor vergeleken met de SOSA/SSN definitie:

- doet het definiëren van een sensor als apparaat te kort: een sensor kan ook in een medium, software of algoritme zitten;
- een sensor doet een waarneming van een verandering in de omgeving, bijvoorbeeld een temperatuurverschil in graden Celsius; een meting beschrijft de gehele procedure naar een resultaat;
- sensoren meten niet alleen fysieke grootheden, in principe zou alles gemeten kunnen worden wat technisch mogelijk is;
- en de definitie zegt niks over het platform waaraan de sensor gekoppeld is, enkel dat de sensor een inrichtingselement is.

Daarnaast komt de actuator als concept niet voor in de IMGeo gegevenscatalogus. Bij de actuator is het wel de vraag of de actuator in IMGeo dient te komen. Zo ja, of elke actuator in IMGeo moet komen, of enkel actuatoren die handelen aan de hand van waarnemingen verricht door sensoren.

Type sensoren in IMGeo

Onder "sensor" zijn in de IMGeo elf verschillende sensoren onderscheiden met de definitie, of het verplicht is in de BGT en een foto hoe het object te herkennen is.

⁷ Deze IM's worden in het komende jaar gewijzigd of gemaakt.



IMGeo-Object	Definitie	In relatie tot SSN/SOSA
Camera	Installatie voor de registratie van beelden van situaties, waarvan directe waarneming moeilijk of niet permanent mogelijk is	De definitie suggereert dat een camera een platform is voor de registratie van beelden.
Debietmeter	Een instrument dat de (afvoer)capaciteit van de volumestroom meet	Het apparaat, stimulus en het te genereren resultaat van de sensor staan in deze definitie uitgewerkt.
Hoogtedetectieapparaat	Een mechanisch of elektronisch waarschuwingssysteem, dat in werking treedt bij overschrijding van de aangegeven maximale doorrijhoogte	Deze definitie omschrijft een systeem waarbij zowel een sensor als actuator betrokken zijn: de sensor neemt de hoogte van een voertuig op terwijl de actuator waarschuwt.
Detectielus	In de verharding opgenomen lusvormig onderdeel van een verkeersdetector	De definitie van de sensor detectielus en de relatie tot het platform (verharding) is duidelijk. Wel ontbreekt in deze definitie welke waarneming waar wordt genomen en op welke stimulans de sensor reageert.
Weerstation	Een weerstation is een verzameling instrumenten die het weer kunnen meten	In deze definitie is een weerstation een platform waar een "verzameling instrumenten" aan hangen (de sensoren die daadwerkelijk het weersveranderingen waarnemen)
Flitser	Een flitser bevat een mechanisme om een snelheidsmeting uit te voeren om snelheidsovertredingen in het verkeer te kunnen vaststellen	Een flitser bestaat uit een sensor en een actuator: de sensor neemt de snelheid waar en de actuator neemt de flitst.
Waterstandmeter	Een meter die de waterstand, over het algemeen ten opzichte van NAP, meet	De definitie laat niks los over het platform waarop de meter geïnstalleerd kan worden
Windmeter	Apparatuur waarmee de snelheid en de richting van de wind kan worden gemeten	De definitie zegt iets over de waarneming die gedaan wordt (windsnelheid en windrichting) maar niks over het platform.
Lichtcel	Lichtcel waarmee het verlichtingsniveau naar een lager verlichtingsniveau omgeschakeld wordt (dimmen) wanneer de situatie dit toelaat	Het proces van omschakelen (dimmen) wordt niet door een sensor gedaan (die observeren) maar door een actuator
GMS sensor	Gladheidsmeldsysteem (GMS) waarmee de kans op gladheid wordt voorspeld aan de hand van meting en interpretatie van de parameters die een rol spelen bij het ontstaan van gladheid	De definitie betreft het hele systeem GMS en minder over de sensor en het platform en de daadwerkelijke waarneming van de betreffende sensor
Radar detector	Met een radardetector wordt het verkeer gedetecteerd, bijvoorbeeld voor het beïnvloeden van verkeerslichten	De detector lijkt in deze definitie naast een sensor die verkeer detecteert, ook een actuator te hebben die verkeerslichten beïnvloedt

Tabel 1: Uitwerking type sensoren in IMGeo met SOSA/SSN .



Bij vrijwel alle sensor objecten staat een foto waarop het platform te zien is, maar waar in de definitie niks over wordt losgelaten. Bij de detectielus is de koppeling tot de verharding wel gemaakt, hoewel in IMGeo de verharding verder gespecificeerd wordt onder "wegdeel". De koppeling tussen het platform en de sensor wordt in IMGeo alleen in de toelichting besproken bij paal – een van de meest voorkomende plaatsen waar een sensor aan gehangen kan worden: "er kunnen meerdere borden/sensoren aan een paal bevestigd zijn. Dit is niet expliciet gemodelleerd".

Sensoren verder in IMGeo

Sensoren en actuatoren kunnen op andere plaatsen in de IMGeo terugkomen, voornamelijk in relatie tot een platform. Bijvoorbeeld bij:

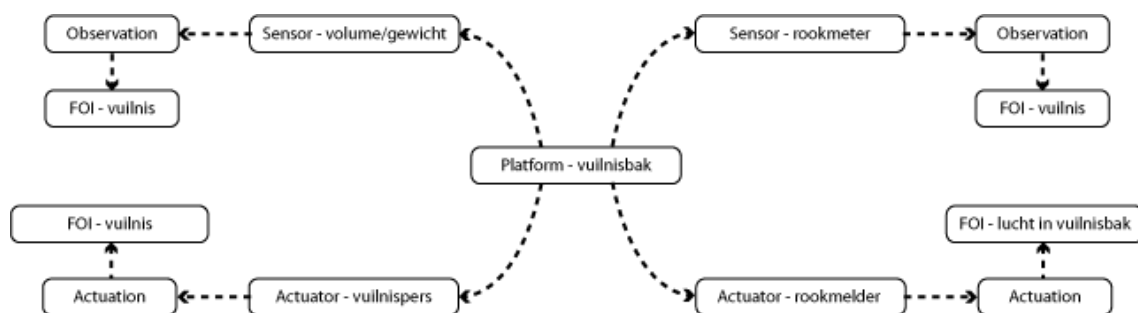
- **Kast:** *Object met een permanent karakter dat dient om iets in te bergen en te beschermen*
De kast kan als platform dienen voor sensoren en actuatoren:
 - Telkast: *ten behoeve van het meten van permanente verkeertellingen*
 - GMS kast: *ten behoeve van het meten van weers- en wegdekstandigheden (behorend bij het GMS systeem)*
 - Verkeersregelininstallatiekast: *ten behoeve van de regeling van het verkeer*
- **Mast:** *Hoge draagconstructie*
Kan sensoren en actuatoren dragen dus een mast kan een platform zijn:
 - Zendmast: *Mast bestemd voor het uitzenden van radio, televisie of telecommunicatie signalen (actuator)*
 - Straalzender: *Zender voor radio, televisie en telecommunicatie signalen die in smalle stralenbundels uitzendt (actuator)*
- **Paal:** *Langwerpig stuk hout, ijzer, steen enz., dat in de grond staat. Er kunnen meerdere borden/sensoren aan een paal bevestigd zijn. Dit is niet expliciet gemodelleerd.*
Een paal kan een platform zijn.
 - Verkeersregelininstallatie: *Paal met daaraan bevestigd de verkeersregelininstallatie.*
 - Telpaal: *Paal waaraan de verkeersteller is bevestigd (platform met een sensor)*
 - Poller: *Een poller of inzinkbare paal is een paal die door een elektrische of hydraulische aandrijving uit een wegdek omhoog wordt gestuurd en die dient om het autoverkeer te reguleren (actuator)*
 - Drukknoppaal: *Paal met een lengte van ongeveer 1 m, met drukknop waarmee de verkeersdeelnemer zich meldt bij een verkeersregelininstallatie (actuator, vaak ook onderdeel van een systeem met sensoren in het fietspad – de knopjes zijn dan voor de schijn)*
 - Sirene: *Een apparaat dat geluiden van variabele toonhoogte kan voortbrengen met als functie waarschuwingsdoeleinden. Mogelijk een actuator.*
 - Haltepaal: *Paal met daarop de dienstregeling ten behoeve van het openbaar vervoer. Kan een actuator zijn, bijv. als het reageert op bussen die langsrijden.*
- **Bord:** *Een paneel waarop informatie wordt afgebeeld.*
 - Dynamische snelheidsindicator: *Een snelheidsinformatiebord dat in 'real time' de snelheid van de weggebruikers aanduidt (op basis van een sensor en actuator, daarmee is het een platform).*
 - Informatiebord: *Een bord met daarop specifieke actuele informatie, zoals plattegronden of vertrektijden. Kan een actuator zijn.*
- **Straatmeubilair:** *Een ruimtelijke object ter inrichting van de openbare ruimte.*
 - Slagboom: *Boom of balk om de weg of een gedeelte hiervan af te sluiten. Mogelijk een actuator.*

De plaatsen waar sensoren in gaan komen groeit. Hier kan bijvoorbeeld aan sensoren in afvalbakken (categorie bak) gedacht worden. In de regel zouden veel objecten die geregistreerd staan in IMGeo een sensor en/of actuator kunnen bevatten. Dit omdat in toenemende mate objecten "slim" gemaakt worden door er een sensor en/of actuator aan te schroeven. De mate van slimheid en de mate van inbedding zal mogelijk kunnen bepalen of het werkelijk om een slim object met een sensor gaat.



Voorbeeld 1: de slimme afvalbak

Een afvalbak kan "slim" worden gemaakt door aan de bak een sensor en actuator te monteren. Hierdoor wordt de afvalbak het platform waar de sensoren en actuatoren aan bevestigd zijn. Een sensor meet het volume van de afval in de container en wanneer een bepaalde hoeveel vuilnis aanwezig is, activeert de vuilnispers. Een mogelijke tweede sensor meet de concentratie rook in de afvalbak. Indien een bepaalde waarde wordt overschreven geeft de rookmelder een signaal dat er mogelijk brand is in de afvalbak. Daarnaast, zouden er ook andere sensoren en actuatoren in een afvalbak kunnen zitten. Bijvoorbeeld een actuator dat een seintje aan het afvalbeheerbedrijf dat de bak geleegd moet worden.

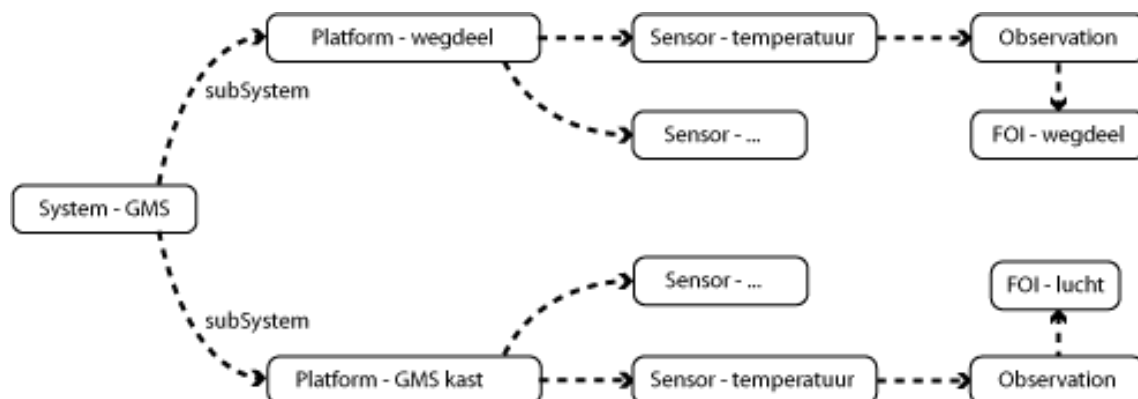


Figuur 6: Uitwerking van een slimme afvalbak volgens SOSA/SSN.

Voorbeeld 2: het GladheidMeldSysteem (GMS)

GMS is een landelijk systeem wat bestaat uit verschillende lokale meetpunten die de lokale gladheid meten en dit doorgeven aan het nationale verzamelpunt. In het Objectenhandboek van IMGeo wordt een GMS op twee plaatsen benoemd, namelijk de GMS sensor en de GMS kast. Deze twee objecten zijn samen onderdeel van een lokaal meetpunt dat de gladheid meet van het wegdek. Elk lokaal meetpunt is een systeem bestaande uit twee platformen: de GMS kast en het wegdeel. In beiden platformen zitten verschillende sensoren die een aantal waarnemingen doen om te kunnen bepalen of er sprake is van gladheid. Zo meten sensoren in de GMS kast de neerslag, luchtvochtigheid of temperatuur, en de GMS sensor in het wegdek de temperatuur van het wegdek. Op basis van deze waarnemingen wordt de gladheid van het wegdek bepaald.

IMGeo geeft een onderdeel van dit systeem weer als sensor, namelijk de GMS sensor in het wegdek, maar beschouwt de GMS kast niet als een platform waar sensoren in zitten. Echter beiden zijn nodig om waarnemingen te maken om context van de resultaten te kunnen begrijpen. In de praktijk functioneren deze samen als één lokaal meetpunt.



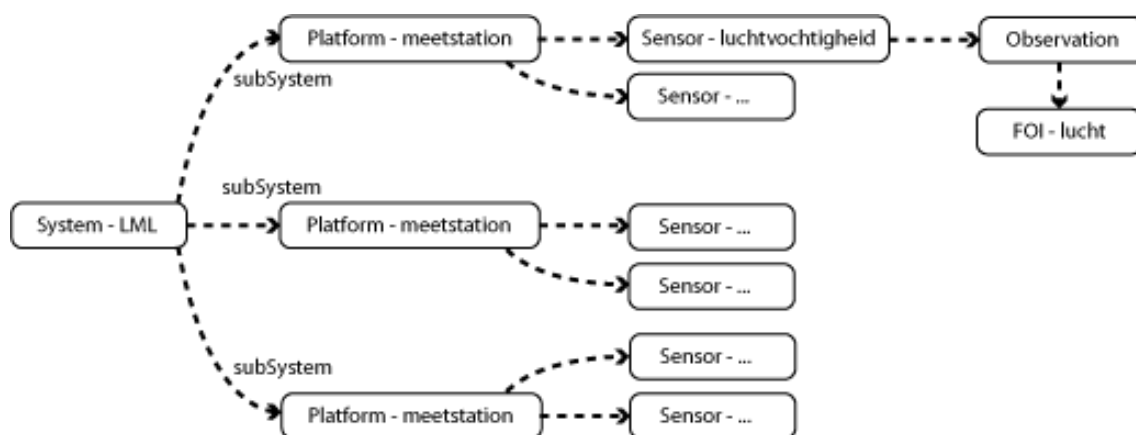
Figuur 7: Uitwerking GladheidMeldSysteem (GMS) volgens SOSA/SSN.



Voorbeeld 3: het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML)

Een weerstation staat in IMGeo als een sensor, maar is een platform, bijvoorbeeld een mast of gebouw, met verschillende sensoren en actuatoren die de atmosfeer meten bijvoorbeeld voor luchttemperatuur, luchtvochtigheid of koolstofdioxide.

In dit voorbeeld wordt het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM uitgelegd aan de hand van SSN. Het LML is een systeem dat bestaat uit verschillende meetstations in zowel stedelijk als landelijk gebied. Elk meetstation kan worden herleid tot een meetpunt met verschillende type sensoren die verschillende waardes meten om zo de kwaliteit van de lucht te kunnen bepalen. Bijvoorbeeld om de hoeveelheid ozon in de lucht te meten. De meetgegevens worden elk uur naar een centrale computer verzonden en gelijk beschikbaar gesteld (RIVM, 2017).



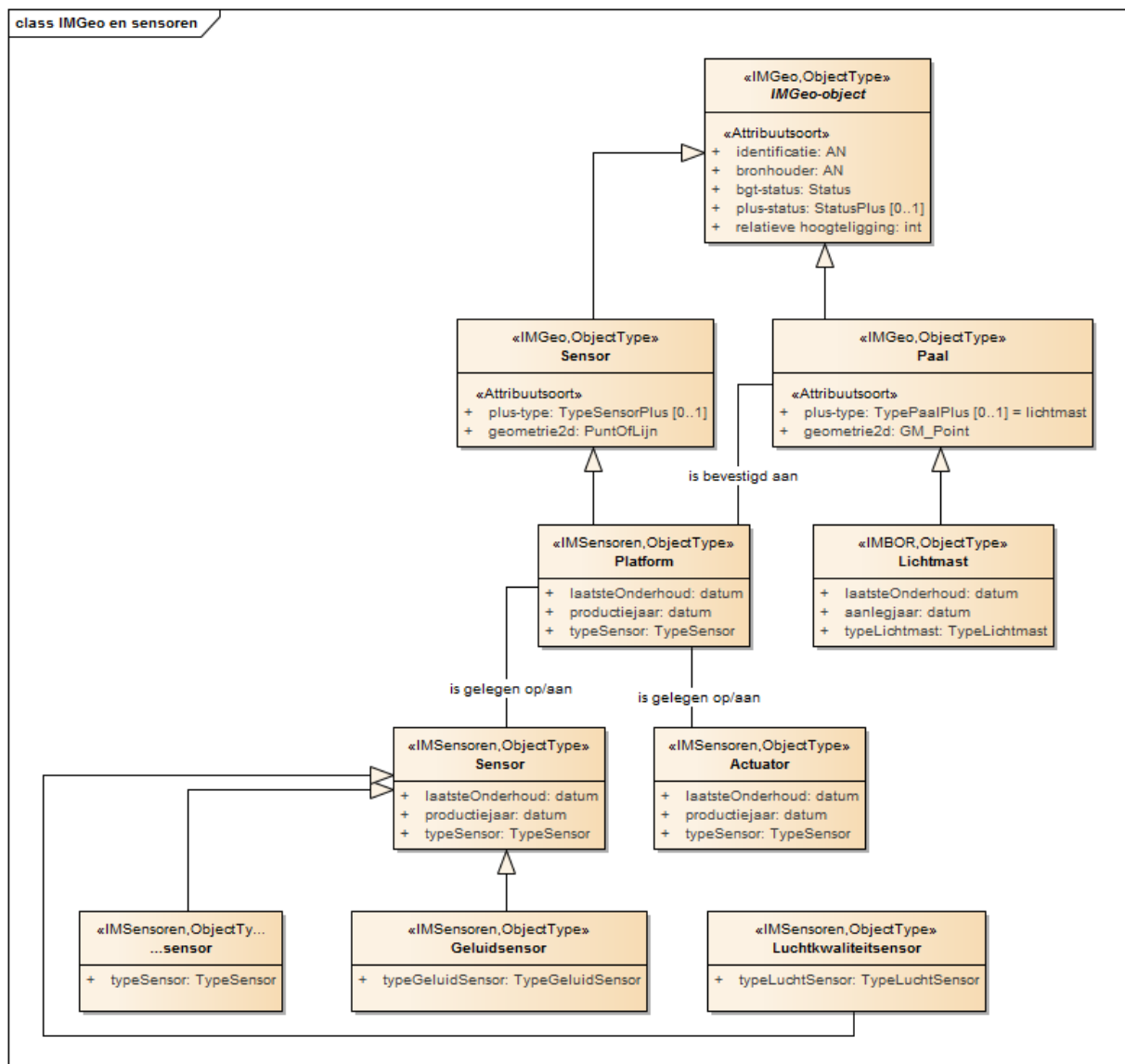
Figuur 8: Uitwerking Weerstation volgens SOSA/SSN.



7.2. IMSens als nieuw Informatiemodel

Tijdens de verkenning is er frequent gediscussieerd of er een apart informatiemodel moet komen voor sensoren. De voordelen hiervan zijn dat er een algemene beschrijving van sensoren in dit model uitgewerkt kan worden en de verbijzondering in domein-specifieke modellen uitgewerkt kan worden met verwijzing naar IMSens. Het verdient de aandacht om IMSens verder te onderzoeken.

De relatie tussen IMGeo en sensoren kan ook in een apart IMSens model uitgewerkt worden:



7.3. IMBRO

De BRO wordt de centrale database met alle publieke gegevens over de ondergrond van Nederland. De BRO bouwt voort op de bestaande databases DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) van TNO-GDN en BIS Nederland (Bodem Informatie Systeem) van Alterra. Het zal bestaan uit 27 registratieobjecten waarvoor in de komende jaren informatiemodellen zullen worden gemaakt. De gegevens in de BRO zijn gegroepeerd tot registratieobjecten. Informatie-uitwisseling tussen de Basisregistratie Ondergrond en gebruikers gebeurt altijd op het niveau van deze registratieobjecten. Deze 27 registratieobjecten gaan over



thema's zoals: bodem- en grondonderzoek, bodemkwaliteit (in het landelijk gebied), grondwatermonitoring, mijnbouwwet, grondwatergebruik en modellen (I&M, 2017a). Momenteel zijn er twee informatiemodellen van registratieobjecten definitief en de rest zal gefaseerd in ontwikkeling gaan.

Momenteel is het grootste gedeelte van de BRO nog in ontwikkeling. De nadruk ligt op de waarneming, op de data. De vraag is, als sensoren of actuatoren voorkomen, moet dit dan explicieter worden gemodelleerd in de BRO?

Sensoren in de BRO

De BRO en het informatiemodel IMBRO zijn momenteel in ontwikkeling. In deze verkenning wordt gekeken naar de Basisregistratie Ondergrond Catalogus van Geotechnisch sondeeronderzoek (I&M, 2016a) de twee registraties Grondwatermonitoringput (I&M, 2016b) en Booronderzoek boormonsterbeschrijving (I&M, 2017b) die in conceptversie staan. In planning vanaf april 2017 tot eind 2017 wordt gewerkt aan de basisregistraties: Booronderzoek, Profielonderzoek, Grondwatermonitoringnet, Grondwaterstandonderzoek, Grondwatersamenstellingsonderzoek, Grondwaterkwaliteit, Grondwaterkwantiteit, Bodemkaart en grondwatertrappen, en Geomorfologische kaart. De nadruk van de BRO ligt vooral op de waarneming.

De sensor en actuator zijn als object niet opgenomen in het IMBRO, maar binnen verschillende registratiedomeinen kan een sensor terugkomen als een van de mogelijke meetinstrumenten. Met name in grondwaterstandonderzoek, seismisch onderzoek en misschien geo-elektrisch onderzoek. Veel van deze informatie wordt gevangen in een meetnet, bijv. grondwatermonitoringnet of bodemmeetnet, die kunnen worden gezien als systemen.

Grondwatermonitoringput

De grondwatermonitoringput is één van de registratieobjecten in het domein grondwatermonitoring. In dit domein staan de monitoringnetten centraal die zijn ingesteld om het grondwater in Nederland te kunnen beheren. Ieder grondwatermonitoringnet omvat een aantal meetpunten, die worden gemonitord. Monitoring houdt in dat de toestand van het grondwater in een bepaald gebied, of eigenlijk in een bepaald deel van de ondergrond, over langere tijd gevolgd wordt. Bijna alle meetpunten zijn gekoppeld aan ondergrondse buizen en putten, de grondwatermonitoringputten, waarin de grondwaterstanden worden gemeten. Bij kwaliteitsmeting van het grondwater, grondwatersamenstelling is het meetpunt een bemonsteringspunt, die vervolgens in een laboratorium worden geanalyseerd (I&M, 2016b, pp. 19-31).

Grondwatermonitoring gaat over de kwalitatieve (grondwatersamenstelling) en kwantitatieve (grondwaterstanden) meetgegevens, de nadruk ligt wederom op de waarneming. Wanneer met SOSA/SSN gekeken wordt naar dit domein, bestaat dit uit een systeem "grondwatermonitoringnet" met de grondwatermonitoringputten. Overige objecten zijn aan deze twee objecten gekoppeld, zoals: monitoringbuis (met mogelijk sensoren), filter en verschillende onderzoeken. Alleen het grondwatermonitoringnet en de grondwatermonitoringput hebben eigen locaties (I&M, 2016b, p. 32). De grondwatermonitoringput kan gezien worden als een sensorplatform, indien er een sensor in wordt gebruikt, wat niet altijd het geval zal zijn. Vaak worden putten handmatig bemonsterd en onderzocht in laboratoria.

Geotechnisch sondeeronderzoek

Geotechnisch sondeeronderzoek is gericht op de opbouw en eigenschappen van de bodem en ondergrond. Vaak wordt dergelijk onderzoek gedaan omdat men de ondergrond moet kennen voor het realiseren van projecten in de grond-, weg- of waterbouw (I&M, 2016a, pp. 19-21). In dit geval met een conus (met sensoren), die de grond in wordt geduwd en allerlei metingen verricht voor een deel van de ondergrond - dus met locatie (I&M, 2016a, p. 25). Dit type onderzoek wordt voornamelijk sporadisch verricht en niet gevolgd, zoals een grondwatermonitoringput. De nadruk ligt vooral op de waarnemingen die worden genomen. Een conus zou als een platform van sensoren kunnen worden gezien.

Booronderzoek

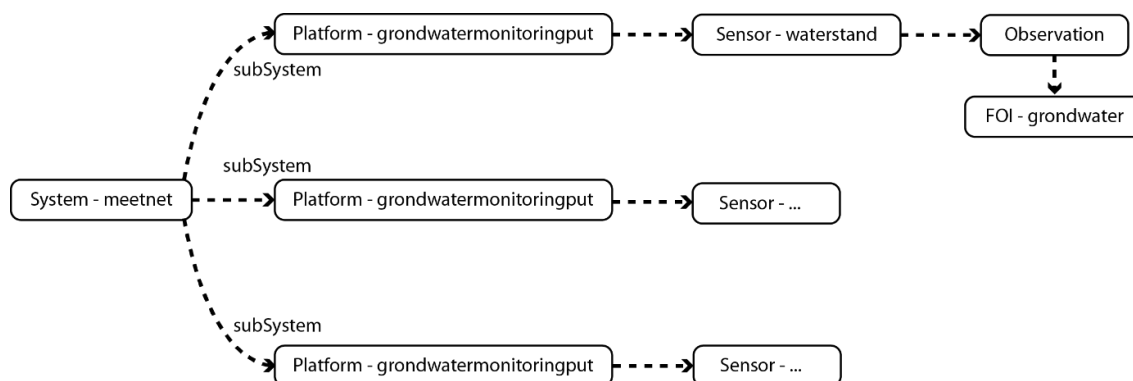
Net als geotechnisch sondeeronderzoek, is booronderzoek ook gericht op die de opbouw en eigenschappen van de bodem en ondergrond beschrijven. Booronderzoek omvat de vormen van onderzoek die ermee beginnen dat de ondergrond door boren wordt ontsloten. In verreweg de meeste gevallen wordt geboord om monsters uit de



ondergrond naar boven te halen en die monsters worden dan onderzocht. In bepaalde gevallen komt het voor dat er onderzoek gedaan wordt aan het gat dat door boren is ontstaan en dat gebeurt door een meetapparaat in het gat neer te laten. Het uitvoeren van dergelijke boorgatmetingen is betrekkelijk kostbaar en wordt weinig gedaan (I&M, 2017b, pp. 19-20). Het doel van boren hoeft niet altijd onderzoek te zijn, het kan ook zijn om een watermonitoringput aan te leggen. De nadruk ligt vooral op de waarnemingen die worden genomen.

In "geotechnisch sondeeronderzoek" en "booronderzoek" ligt de nadruk op de waarneming en het bijbehorende resultaat. Deze onderzoeken worden uitgevoerd om inzicht te krijgen over bijvoorbeeld het dragend vermogen van de ondergrond (I&M, Basisregistratie Ondergrond (BRO) Catalogus: Geotechnisch sondeeronderzoek, 2016a). Aldus is in de registratie aandacht voor de relatie tussen meetinstrument en meting en dus voor "Observation" en voor de "Feature of Interest".

Voorbeeld 4: Grondwaterkwantiteit meetnet



Figuur 9: Uitwerking een meetnet grondwaterkwantiteit volgens SOSA/SSN.

7.4. DSO

Stelselcatalogus (gegevenscatalogus)

De Stelselcatalogus⁸ is een infrastructurele gegevensvoorziening, waarin een gebruiker relevante begrippen en informatie kan vinden over functionaliteiten, gegevens en de metadata van een begrip. Deze catalogus moet gaan aansluiten op bestaande catalogi en datasets uit de informatiehuisen, basisregistraties en wetsartikelen, om informatie één keer vast te leggen. Hiervoor moeten afspraken gemaakt worden betreft de semantische afstemming: wat zijn de synoniemen en wat zijn de onderlinge relaties? Het is een semantische laag over de informatiehuisen heen die dezelfde concepten uit de informatiehuisen aan elkaar moet. In dat opzicht heeft het veel overeenkomsten met SSN.

Informatiehuis Water, Bodem & Ondergrond, en Afval & Grondstoffen

De data voor het informatiehuis Afval & Grondstoffen (Olman et al., 2015, pp. 97-98) gaat vooral over regelgeving. Water (p. 53), Bodem & Ondergrond (Olman et al., 2015, p. 73) zijn thematisch ingedeeld, zoals: grondwater, afvalwater, bodemopbouw of delfstoffen. In de documentatie over deze informatiehuisen wordt niet specifiek ingegaan op bronnen of datastromen. Vermoedelijk worden met name in de sectoren Water en Ondergrond sensoren gebruikt.

Informatiehuis Lucht

Een overzicht (RIVM, 2015b, pp. 56-62) van alle data is beschikbaar. Een gedeelte van deze data, hoewel niet expliciet vermeld, zal waarschijnlijk worden verzameld via sensoren en dient als input voor allerlei modellen. Door dieper in te gaan op specifieke data, kan duidelijk worden of sensoren daadwerkelijk worden gebruikt.

⁸ <http://www.stelselcatalogus.nl/>



Het RIVM krijgt voor 14 januari van het jaar vanuit de meetnetten alle meetresultaten van bijv. NO₂, NO, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO en SO₂. Deze ruwe data wordt verwerkt door het RIVM volgens EU voorgeschreven referentiemethoden. Het gebruik van andere, aanvullende meetnetten, zoals lokale netwerken, wordt gezien als een eerste vorm van sensor data. Deze data zou geschikt zijn ter ondersteuning van de kalibratie en validatie van om de landelijk data van het RIVM. Zo worden Amst_B en AiREAS als mogelijk geschikte netwerken gezien. Het wordt erkend dat deze netwerken nog sterk in ontwikkeling zijn, maar zou van belang zijn als real-time sensormetingen worden toegevoegd aan het informatiehuis (RIVM, 2015b, p. 26).

Informatiehuis Geluid

Dit informatiehuis omvat data zoals: verkeerscijfers (intensiteit weg en spoor), bronemissie, algemene geografie (ligging van wegen, spoor, bebouwing), geluid afschermdende voorzieningen, maaiveldhoogte, data specifiek voor natuur en stiltegebieden of geluidswerende maatregelen (RIVM, 2015a, pp. 48-50). In dit document worden alle informatiebronnen benoemd, maar wordt niet specifiek gesteld volgens welke methode de data wordt verzameld. Een belangrijke bron voor dit informatiehuis, het Geluidsregister, meet op basis van sensoren en modellen.

Informatiehuis Bouw

Dit informatiehuis bevat voornamelijk "statische" data, zoals: Kabels & Leidingen, BAG, BRK en WKPB (Kadaster, 2015a, pp. 13-18). Het is onduidelijk welke mogelijk verbanden er zijn met sensoren.

Informatiehuis Cultureel Erfgoed

Het overzicht van alle bronhouders en brondata (RCE, 2015, pp. 24-25) heeft weinig aansluiting met sensoren. Het betreft data zoals: rijksmonumenten, archeologische complexen, beschermde stads- of dorpsgezichten, meldingen van archeologische onderzoek, Nederlandse werelderfgoederen, wederopbouwgebieden, mobiel erfgoed, geregistreerde erfgoedincidenten, musea en erfgoedevenementen. Het legt niet uit volgens welke methode de data wordt verzameld. Mogelijk connectie zijn de meldingen die gemaakt worden van erfgoedincidenten en archeologisch onderzoek, kan gezien worden als een "waarneming".

Informatiehuis Externe Veiligheid

Het overzicht van alle bronhouders en brondata (Derksen, van Grunsven, & van Pijen, 2015, p. 28), zoals: risicobronnen (inrichtingen, luchthavens, buisleidingen en transportroutes), gegevens over kwetsbare objecten (vergunningen, BAG, WOZ), en gegevens over risico's (topografische kaarten, risico- en effectencontouren). Het laat weinig verband met sensoren zien.

Informatiehuis Natuur

Het informatiehuis Natuur omvat verschillende datasets die noodzakelijk zijn voor INSPIRE, waaronder data die door INSPIRE wordt aangeduid als relevant voor O&M. Dit betreft hoofdzakelijk waarnemingen die gedaan worden over de "Spreiding van soorten" en "Habitats en biotopen", zowel voor flora als fauna (Bekker & Nikkels, 2015, p. 66). De methode waarop deze data wordt verzameld is onduidelijk. Een uitzondering hierop is bijv. "de groenmonitor", een overzicht van de actuele vegetatiekaart van Nederland, dit wordt onderzocht met behulp van remote sensing (Bekker & Nikkels, 2015, pp. 74-79).

Informatiehuis Ruimte

Dit informatiehuis bevat bronnen zoals: Register Omgevingsdocumenten, PDOK en BRK. Specifiek, betreft het data zoals: ruimtelijke beperkingen, verleende vergunningen, verordeningen, jurisprudentie, vergunningsaanvragen, meldingen, en registratie van pachtrechten (Kadaster, 2015b, p. 16). Dit zijn vooral "statische" gegevens, weinig verband met sensoren.

DSO en sensoren

De DSO is momenteel nog in ontwikkeling. Het stelselknooppunt levert zelf geen gegevens aan, maar ontleent deze uit onderliggende basisregistraties en informatiemodellen. Zo wordt IMGeo de topografische onderlegger van het DSO, en de IMBRO gaat een van de eerste informatiehuizen vullen.

De informatie moet wel aan kwaliteitseisen voldoen – het moet beschikbaar, bruikbaar en bestendig zijn. Om bruikbare informatie te kunnen gebruiken is semantische afstemming nodig tussen gegevens in verschillende



registraties en informatiemodellen, om te kunnen zorgen dat elke gebruiker dezelfde taal spreekt. Knelpunten die genoemd worden in de Omgevingswet is begripsafbakening, waar de sensor een goed voorbeeld kan zijn. Wat neem je wel en niet mee in de afbakening? Is de sensor enkel een geografisch object of is de metadata van de sensor ook van belang? Standaardisatie en afstemming zijn randvoorwaarden voor het werken van de DSO – daarom in het geval van de sensor ook van belang om de semantische afstemming te onderzoeken.



8. Vervolg

Een vervolgstap is het uitproberen of SOSA/SSN haalbaar is. Is het mogelijk om alle data, concepten en relaties aan elkaar te koppelen? Dit kan gebeuren aan de hand van één type sensor, bijvoorbeeld in een Living Lab. Daarnaast kan ook SOSA/SSN worden geïmplementeerd als globale semantiek via mapping-alignment van SOSA/SSN tot andere sectormodellen. Mogelijke synergie en use-cases waar dit kan worden getest:

- DSO en conceptenbibliotheek;
- INSPIRE;
- BRO;
- IMGeo en afstemming met IMBOR;
- Kadaster verkenning sensorregistratie;
- PLD (Platform Linked Data);
- Spatial Data on the Web;
- en Living Labs in MS4S / Nationaal Smart City Living Lab.

Op termijn kan worden uitgereikt naar meer sectoren en deze worden toegevoegd aan SSN, bijvoorbeeld: water, mobiliteit (ITS), energie (met netbeheerders) of IoT.

DSO

Het uitgangspunt is een informatiemodel met de kern concepten, waar andere sectorale IM's op kunnen aansluiten (zie "Aanpak voor semantische interoperabiliteit" in paragraaf 1.3). Zo wordt niets opgelegd aan de sectoren, opdat zij het begrip sensor moeten toevoegen. Maar als de sensor of zijn relaties voorkomen in een sectorale informatiemodel kunnen deze worden gerelateerd aan de kern concepten. Het idee achter SSN lijkt overeen te komen met de gegevenscatalogus van de DSO en daarom is de aansluiting met de DSO belangrijk.

Een andere mogelijkheid is om het concept sensor toe te voegen aan de NEN 3610 conceptenbibliotheek. In beide gevallen kunnen toekomstige ontwikkelingen in sectorale IM's, die betrekking hebben op sensoren worden afgestemd op bestaande concepten, definities en relaties zoals gedefinieerd in één van die twee catalogi. Een belangrijk verschil is dat de DSO een juridische verankering heeft, waardoor de DSO een betere locatie is om concepten in te verwerken.

INSPIRE

Voor sectoren moet het eenvoudig zijn om hun sensorinformatie toe te voegen. De DSO bestaat uit verschillende informatiehuizen die worden gevuld door sectoren. Informatiehuizen die het meest waarschijnlijk sensoren bevatten zijn: geluid, water, lucht, bodem en ondergrond. Dit zijn thema's die terugkomen in INSPIRE thema's: bodem, geologie, milieubewakingsvoorzieningen, atmosferische condities, mogelijk ook water en geluid in menselijk gezondheid en veiligheid. INSPIRE is grotendeels gebaseerd op O&M, waardoor een groot deel van de relaties van de sensor hier al in voorkomen. SSN heeft een mapping module met O&M, waardoor deze afstemming van DSO, INSPIRE en SSN mogelijk is. Een thema zoals milieubewakingsvoorzieningen kan vermoedelijk relatief eenvoudig worden afgestemd op SSN. Zo kan in het begin een aantal INSPIRE thema's worden gerelateerd aan SSN concepten.

SSN is linked data, om informatie uit bestaande informatiemodellen (zoals INSPIRE) te gebruiken moet er een vertaling zijn van een sectormodel naar SSN. Op dit moment zijn twee ontwikkeling relevant, namelijk de experimenten bij INSPIRE naar linked data ⁹ en de NEN 3610 in linked data sessies bij Geonovum ¹⁰.

⁹ <http://inspire-eu-rdf.github.io/inspire-rdf-guidelines/>

¹⁰ <https://www.geonovum.nl/sites/default/files/NEN%203610%20-%20Linked%20Data%20-%20OpenGeodagV6.pdf>



BRO

De BRO gaat één van de eerste informatiehuizen vullen, wordt aangeleverd aan INSPIRE en op dit moment nog ontwikkeld. Dit zijn redenen waardoor het gemakkelijker kan zijn om vanuit de BRO en INSPIRE een relatie te leggen naar de SSN.

IMGeo en IMBOR

IMGeo wordt de onderlegger van de DSO. Deze topografie kan belangrijk zijn om de locatie van een sensor/actuator, het platform en het waargenomen interesseobject in te vangen. Dit zijn elementen die terugkomen in de SSN concepten. In de IMBOR komt de uitwerking van sensor uit IMGeo. Bovendien wordt de IMBOR nog ontwikkeld en kunnen er voorstellen worden gedaan om de sensor/actuator hier beter in op te nemen.

Kadaster sensorregistratie

In een vervolgverkenning, door het Kadaster, wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van een informatieportaal voor sensor metadata. Echter om zinnige invulling te geven aan deze registratie, moet je eerst weten waarmee het gevuld wordt, ofwel de semantiek moet duidelijk zijn omtrent sensoren en actuatoren. Het Kadaster werkt aan sensor informatieportaal en wil beginnen met de sensoren die worden gebruikt voor luchtkwaliteit. Dit wordt gedaan met KNMI, CBS en een aantal gemeenten.

De voorgaande projecten leveren informatie aan over sensoren/actuatoren. Het uiteindelijk doel is sensor discovery, het vindbaar maken met sensoren/actuatoren en informatie daarover. Zo kan sector voor sector de SSN worden gevuld met bestaande data die wordt hergebruikt uit INSPIRE en de BRO. Deze informatie is vervolgens input voor de sensorregistratie waar het Kadaster aan werkt.

Pogammable Logic Device (PLD)

SSN is linked data en waarschijnlijk kan de expertise en lesson learned bij het PLD helpen bij de experimenten en implementatie van SSN.

Spatial data on the web

Spatial Data on the Web is een best-practice van het W3C en OGC ¹¹ waarin is verkend hoe geografische informatie het beste kan worden geïntegreerd met het web. Een onderdeel van deze werkgroep is de standaard SSN. Deze verkenning gaat over hoe sensor data vindbaar kan worden net als de best-practice. In de best-practice worden aanbevelingen gedaan over linke data op het web, coördinatensystemen en de integratie in SDI's.

Living Labs

Naast het vullen van SSN met behulp van INSPIRE thema's kan ook worden gekeken naar andere thema's of sensoren die niet worden gebruikt voor INSPIRE. Een locatie om die experimenten uit te voeren zijn Living Labs, bijvoorbeeld in het Nationaal Smart City Living Lab of Stratumseind in Eindhoven.

¹¹ Spatial Data on the Web Best Practices: <https://www.w3.org/TR/sdw-bp/>



Sensoren als feedback mechanisme

Traditioneel maakt Geonovum een virtuele (geografische) versie van de werkelijkheid. Als sensoren komen dan kunnen die deze werkwijze verstoren. Geonovum kan geografische objecten, ook de sensor of actuator opnemen in de Nederlandse SDI, puur beschrijvend. Of het kan de sensoren op een andere manier integreren. Sensoren hebben namelijk de potentie om een soort feedback mechanisme te vormen op de Nederlandse SDI. Als sensoren alles kunnen meten in de openbare ruimte, kan alles in de SDI dynamischer, sneller worden gewijzigd. Dit kan zich vertalen in een mutatiedetectie, dat sensoren een verandering meten die aanleiding geeft voor een verandering in een sectormodel of de Nederlandse SDI.

De vraag is waar en hoe kan een data-driven feedback mechanisme in de Nederlandse SDI terugkomen? Welke IM's kunnen dit nu? Welke aanpassingen zijn er nodig om dit mogelijk te maken? De lagenbenadering in het vakgebied stedenbouw beschrijft de lagen van het stedelijk gebied. Deze zijn onderverdeeld van hoog- naar laagdynamische lagen. Sommige lagen, zoals de ondergrond, veranderen minder snel. Andere, zoals de functies van bebouwing, kunnen om de paar maanden veranderen. Dit tijdscomponenten, de dynamiek, is ook (misschien) zichtbaar in de Nederlandse SDI. Sommige IM's bevatten data die laagdynamisch is, terwijl andere baat hebben bij hoogdynamiek.

Dit lijkt misschien koffiedikkijken, maar dat is niet zo. Nu is dit al zichtbaar. RIVM die fluïde burger sensornetwerken wil integreren in hun LML netwerk. Of HERE Technologies die met real-time traffic data en probe data de infrastructuur probeert te definiëren. Alliander die ondergrondse netwerken in kaart brengt door middel van sensoren en elektrische pulsen die door leidingen worden gestuurd. Allemaal voorbeelden van dit feedback-mechanisme.

Automatische sensor-detectie

Als het semantische fundament is gelegd met SSN, schept dit mogelijkheden voor automatische sensor-detectie en registratie.

Aan de slag met sensordata

Parallel aan de verkenning naar de impact van sensoren in de openbare ruimte op onze leefomgeving is er door Geonovum een handreiking ontwikkeld 'Spelregels Data Ingewonnen in de Openbare Ruimte' ontwikkeld. De handreiking is omgezet naar een website: <https://meteninhetoopenbaar.locatielab.nl/>. Een vervolg is de implementatie van deze tool.



9. Bibliografie

- AQOU. (2013, april 9). *IMMetingen*. Opgeroepen op juni 10, 2017, van aquo:
<http://www.aquo.nl/Aquo/uitwisselmodellen/index.htm>
- Bekker, R., & Nikkels, C. (2015). *Nadere Analyse Informatiehuis Natuur*. Opgeroepen op april 18, 2017, van Omgevingswetportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuis-natuur/rapport-informatiehuis-natuur.pdf>
- Derksen, S., van Grunsven, J., & van Pijen, N. (2015). *Analyse van het informatiehuis Externe Veiligheid*. Opgeroepen op april 12, 2017, van Omgevingswetportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuis-externe-veiligheid/rapport-informatiehuis-externe-veiligheid.pdf>
- Euzenat, J., & Shvaiko, P. (2013). *Ontology Matching* (2 ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
doi:10.1007/978-3-642-38721-0
- Geonovum. (2017). *NEN 3610 Conceptenbibliotheek*. Opgeroepen op mei 3, 2017, van Geostandaarden definities: <http://definities.geostandaarden.nl/>
- I&M. (2016a). *Basisregistratie Ondergrond (BRO) Catalogus: Geotechnisch sondeonderzoek*. Opgeroepen op april 18, 2017, van broinfo: https://www.broinfo.nl/sites/www.broinfo.nl/files/BROinfo_Catalogus-Geotechnisch-sondeonderzoek_20160323.pdf
- I&M. (2016b). *Basisregistratie Ondergrond (BRO) Catalogus: Grondwatermonitoringput*. Opgeroepen op april 18, 2017, van broinfo:
https://www.broinfo.nl/sites/www.broinfo.nl/files/BROinfo_20161018%20Catalogus%20Grondwatermonitringput%20v07.pdf
- I&M. (2017a). *Globale Architectuurschets Basisregistratie Ondergrond*. Opgeroepen op april 19, 2017, van bropleio: <https://bro.pleio.nl/file/download/50524522>
- I&M. (2017b). *Basisregistratie Ondergrond (BRO) Catalogus: Booronderzoek Bodemkundige boormonsterbeschrijving*. Opgeroepen op april 18, 2017, van broinfo:
https://www.broinfo.nl/sites/www.broinfo.nl/files/BROinfo_Catalogus-Booronderzoek-bodemkundige-boormonsterbeschrijving_versie0.8_20170125.pdf
- I&M, VNG, IP, & UVW. (2016). *Visie: Digitaal Stelsel Omgevingswet 2024*. Opgeroepen op mei 26, 2017, van omgevingswetportaal: <https://www.omgevingswetportaal.nl/documenten/rapporten/2016/12/16/visie-dso>
- INSPIRE. (2017). *INSPIRE: Infrastructure for Spatial Information in Europe*. Opgeroepen op maart 24, 2017, van <http://inspire.ec.europa.eu/>
- INSPIRE-MIG. (2016, december 16). *D2.9 Guidelines for the use of Observations & Measurements and Sensor Web Enablement-related standards in INSPIRE*. Opgeroepen op maart 24, 2017, van inspire.ec.europa.eu/file/1638/download?token=EtGpIotQ
- INSPIRE-MIG. (2016a, december 16). *D2.9 Guidelines for the use of Observations & Measurements and Sensor Web Enablement-related standards in INSPIRE*. Opgeroepen op maart 24, 2017, van inspire.ec.europa.eu/file/1638/download?token=EtGpIotQ
- Jacoby, M. (2017). Position Paper: Approaches to Semantic Interoperability & Semantic Mapping.
- Kadaster. (2015a). *Informatiehuis Bouw: Samen bouwen aan het Digitale Stelsel Omgevingswet*. Opgeroepen op april 12, 2017, van Omgevingswetportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuis-bouw/rapport-informatiehuis-bouw.pdf>
- Kadaster. (2015b). *Informatiehuis Ruimte: Samen bouwen aan het Digitale Stelsel Omgevingswet*. Opgeroepen op april 12, 2017, van Omgevingswetportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuis-ruimte/rapport-informatiehuis-ruimte.pdf>
- Liang, S., Huang, C., & Khalafbeigi, T. (2016, juli 26). *OGC SensorThings API Part I: Sensing*. Opgeroepen op 27 juni, 2017, van Open Geospatial Consortium: <http://docs.openegeospatial.org/is/15-078r6/15-078r6.html>
- McKinsey & Company. (2015). *The internet of things: Mapping the value beyond the hype*. McKinsey Global Institute. Opgeroepen op augustus 11, 2017, van www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/



- The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world
/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.ashx
- NEN. (2005, december 1). *Nederlandse norm: NEN 3610*. Opgeroepen op juni 10, 2017, van NEN:
<https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NEN-36102005-nl.htm>
- NEN. (2011, maart 1). *Nederlandse norm: NEN 3610*. Opgeroepen op juni 10, 2017, van NEN:
<https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NEN-36102011-nl.htm>
- OGC. (2012, april 4). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard*. Opgeroepen op 19 juni, 2017, van Open Geospatial Consortium:
https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842
- OGC, & ISO. (2011, december 12). *ISO 19156:2011 Geographic information -- Observations and measurements*. Opgeroepen op juni 12, 2017, van International Organization for Standardization:
<https://www.iso.org/standard/32574.html>
- Olman, M., Voorn, R.-J., Eichhorn, R., & Baltus, R. (2015). *Nadere analyse informatiehuizen Water, Bodem & ondergrond, en Afval & grondstoffen: Stap voor stap werken aan ambitieuze doelen*. Opgeroepen op april 18, 2017, van Omgevingswetportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuizen-water-bodem--ondergrond-en-afval--grondstoffen/rapport-informatiehuizen-waterbodemondergrond-en-afvalgrondstoffen.pdf>
- oneM2M. (2016, augustus 30). *Technical Report: Use Cases Collection*. Opgeroepen op augustus 11, 2017, van oneM2M: http://www.onem2m.org/images/files/deliverables/Release2/TR-0001-Use_Cases_Collection-V2.4.1.pdf
- Platform Making Sense for Society (MS4S). (2017, februari 17). *Sensoren in de openbare ruimte: Een verkenning*. Opgeroepen op mei 3, 2017, van Geonovum:
<http://www.geonovum.nl/sites/default/files/6.%20Verkenning%20effect%20komst%20sensoren%20in%20openbare%20ruimte%201.0.pdf>
- RCE. (2015). *Dienstverlening versterken met het Informatiehuis Cultureel Erfgoed*. Opgeroepen op april 12, 2017, van Omgevingsportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuis-cultureel-erfgoed/rapport-informatiehuis-cultureel-erfgoed.pdf>
- RIVM. (2015a). *Nadere analyse en contouren Informatiehuis Geluid*. Opgeroepen op april 12, 2017, van Omgevingsportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuis-geluid/rapport-informatiehuis-geluid.pdf>
- RIVM. (2015b). *Werkdocument: Nadere analyse informatiehuis lucht*. Opgeroepen op april 18, 2017, van Omgevingswetportaal:
<https://www.omgevingswetportaal.nl/binaries/omgevingswetportaal/documenten/rapporten/2016/02/04/rapport-informatiehuis-lucht/rapport-informatiehuis-lucht.pdf>
- RIVM. (2017). *Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit*. Opgehaald van RIVM:
<http://www.lml.rivm.nl/meetnet/metingen.html>
- Taylor, K., Janowicz, K., Le Phuoc, D., Haller, A., Cox, S., & Lefrançois, M. (2017, mei 3). *Semantic Sensor Network Ontology: W3C Editor's Draft 24 April 2017*. Opgeroepen op april 24, 2017, van W3C-github:
<http://w3c.github.io/sdw/ssn/>
- Van den Brink, L., Janssen, P., Quak, W., & Stoter, J. (2017, maart). Towards a high level of semantic harmonisation in the geospatial domain. *Computers, Environment and Urban Systems*, 62, 233-242. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2016.12.002



10. Bijlagen

In het onderstaande figuur zijn een aantal praktijkvoorbeelden weergegeven, waarbij semantische interoperabiliteit met betrekking tot sensoren tot een verbetering kan leiden.

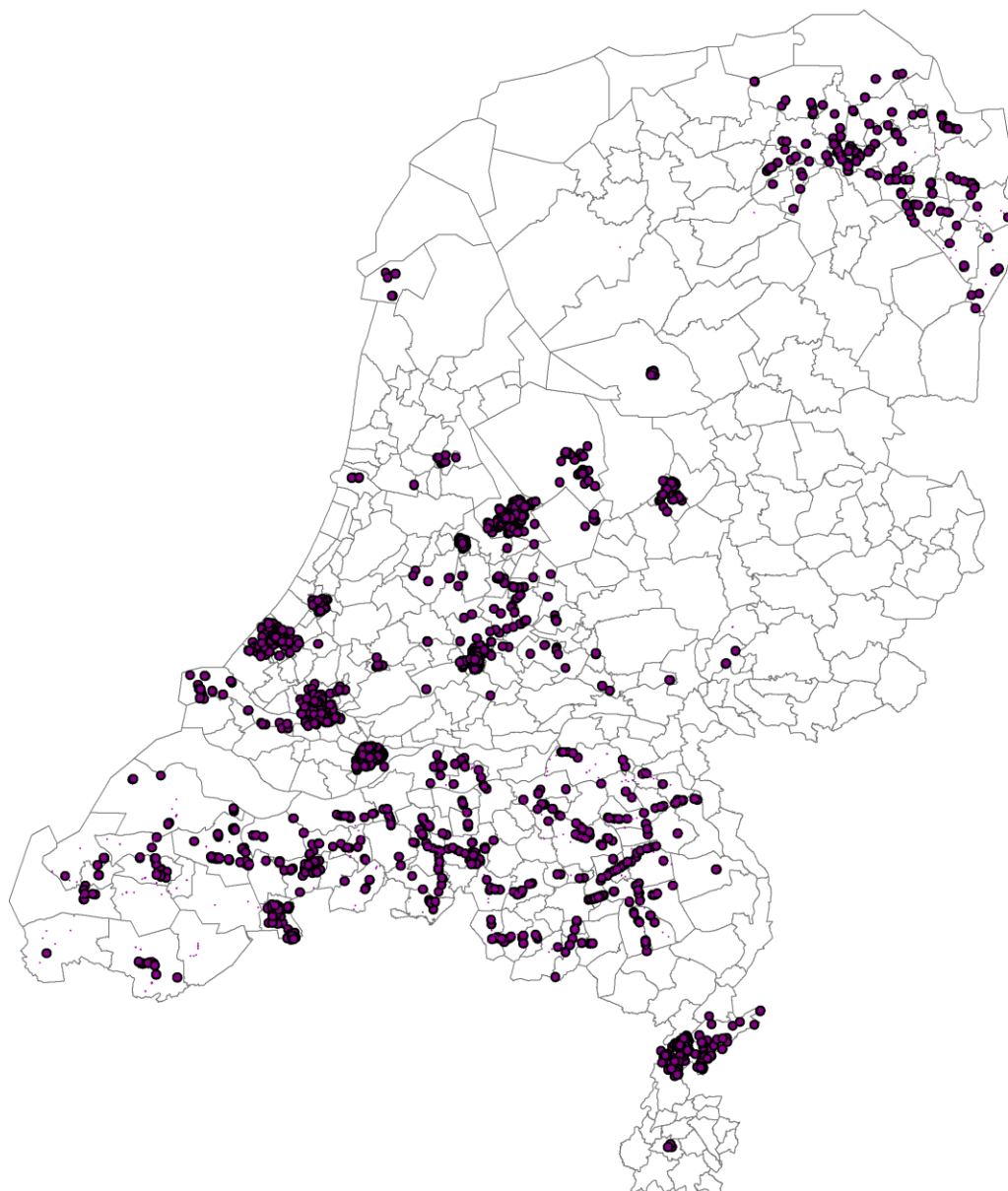
Grondwatermonitoringnetwerk In een grondwatermonitoringnetwerk wil men weten waar de sensoren zijn, zodat men deze data in een eigen netwerk kan opnemen of weet dat men een eigen put moet aanleggen. Daarnaast, wil men weten hoeveel ruimte er is in de put, of er een sensor bij kan of een nieuwe put moet worden aangelegd.	Burgers Een burger wil weten welke sensoren waar hangen en wat deze sensoren meten. Deze vraag stelt de burger aan een lokale overheid en daarvan wordt geacht dat zij deze informatie beschikbaar heeft om de vraag vanuit de burger te kunnen beantwoorden. In de praktijk hebben lokale overheden zelfden in antwoord op dergelijke vragen.
Wetenschapper luchtkwaliteit Een wetenschapper luchtkwaliteit wil weten waar de gebruikte sensoren hangen, in welk sensornetwerk en van welke type deze zijn. Deze informatie hebben zij nodig om de data te kunnen kalibreren en valideren ten behoeve van de datakwaliteit.	Beheerder lichtmast Een beheerder van een lichtmast wil weten welke sensoren van wie er in een lichtmast hangen, zodat duidelijk is of ze daar mogen hangen. Zo kan de beheerder hier rekening mee kan houden tijdens onderhoud. Daarnaast wil de beheerder (en derden) weten welke sensoren er in lichtmasten hangen, voor eventueel hergebruik van de data.
Waterschappen Een waterschap wil weten aan welk gemaal een sensor zit, zodat zij de waarnemingen kunnen relateren aan dat gemaal. Metadata over de sensor en de waarnemingen zouden hierbij kunnen helpen.	Netbeheerder Een netbeheerder wil de capaciteit van het energienet weten, hiervoor worden metingen gemaakt met sensoren. Deze capaciteit wil de netbeheerder communiceren met toekomstige grootverbruikers en partijen die energie leveren aan het net (bijv. met zonnepanelen). Zo kan de netbeheerder de capaciteit en de mogelijkheden communiceren naar deze partijen.

Figuur 10: Toepassingen waarbij geografische informatie nodig is over de sensor als object.



Sensoren in IMGeo

25 augustus 2017



Legenda

- IMGeo_sensor
- IMGeo_sensor
- gemeentengrenzen



0 15 30 60 KM



**Making Sense
for Society**

Living Lab for
the Internet
of Everything