



OPENBAAR EINDRAPPORT

VERANTWOORD & DUURZAAM INVESTEREN IN LAAGSPANNINGSNETTEN

22 mei 2019, versie 1.1

Projectnummer TEUE116214

Projecttitel TKI VEDI-LS

Projectperiode 2016-2018

Penvoerder en medeaanvragers

*TNO, Enexis, Twentsche Kabelfabriek, Batenburg Energietechniek, Technische Universiteit,
Ureason International*



TKI URBAN ENERGY
Topsector Energy

Editor

Kristian.Helmholt@tno.nl

Illustratie voor- en achterkant: visualisatie ligging kabels laagspanningsnet in respectievelijk de stad Groningen en Zwolle uit open dataset Enexis met de applicatie QGIS. Kleuren gekozen op basis van aanlegdatum.

Meerdere exemplaren van dit rapport zijn op aanvraag gratis elektronisch te verkrijgen bij TNO via de hierboven vermelde contactpersoon.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Wat & waarom?	6
1.2 Voor wie en waarom?	7
1.3 Leeswijzer	7
2 Doelstelling & Werkwijze	9
2.1 Achtergrond	9
2.1.1 Bij storingen geen energie	9
2.1.2 Storingen voorkomen door slim investeren	10
2.1.3 Kennis van conditie en faalmechanismen	11
2.2 Van uitdagingen naar doel	12
2.3 Gewenst resultaat	13
2.4 Disseminatie	14
2.4.1 Spin off binnen en buiten de sector	14
2.4.2 Publicaties	14
3 Resultaten	15
3.1 Fysieke werkelijkheid	15
3.1.1 Inleiding	15
3.1.2 Materiaal en montage	17
3.1.3 Geometrie (en topologie)	18
3.1.4 Externe invloeden	18
3.1.5 Belasting	21
3.2 Datasets & eerste orde analyse	21
3.2.1 Inleiding	21
3.2.2 Semi-openbare datasets	22
3.2.3 Besloten datasets	27
3.2.4 Analyse	28
3.3 Knelpunten	34
3.4 Perspectief toepassing	34

4	Bijdrage aan doelstellingen regeling.....	35
4.1	Concepten en tools voor (her)ontwerp van hybride energie-infrastructuur (lijn 4a)	35
4.1.1	Beschrijving deellijn	35
4.1.2	Gerealiseerde concrete bijdrage	35
4.2	Monitoring en control van energienetten (lijn 4b).....	36
4.2.1	Beschrijving lijn	36
4.2.2	Gerealiseerde concrete bijdrage	36
4.3	Informatie- en data management (lijn 4e).....	37
4.3.1	Beschrijving lijn	37
4.3.2	Gerealiseerde concrete bijdrage	37
5	Conclusies en Aanbevelingen	38
5.1	Conclusies	38
5.2	Aanbevelingen	38

SAMENVATTING

Dit document bevat de resultaten van het project TKI Verantwoord & Duurzaam Investeren in Laagspanningsnetten, uitgevoerd in de jaren 2017 en 2018 door een consortium van TNO, Enexis, Twentsche Kabelfabriek, Batenburg Energietechniek, Technische Universiteit en Ureason International, binnen het kader van de TKI Urban Energy.

Het doel van dit project was om een bijdrage leveren aan de blijvende hoge betrouwbaarheid en betaalbaarheid van het laagspanningsnet. Dit moest de transitie naar een duurzame en economisch verantwoorde energievoorziening in Nederland gaan faciliteren. In het project zou kennis ontwikkeld moeten gaan worden over faalmechanismen, die zou moeten gaan bijdragen aan een efficiënte ondersteuning van investeringsbeslissingen in vervanging, onderhoud of uitbreiding. Het project moest tevens een bijdrage leveren aan optimalisatie van data-driven asset management.

De combinatie van het faillissement van één van de projectpartners en voortschrijdend inzicht tijdens het project heeft er voor gezorgd dat het project eerder is gestopt. Deze rapportage bevat een beschrijving van de resultaten van het project die alsnog zijn behaald, inclusief het voortschrijdend inzicht.

Dit document kan gebruikt worden door:

- netbeheerders om een overzicht te krijgen van belangrijke aspecten van de toepassing van data-driven asset management.
- IT-specialisten en data scientists voor het krijgen van inzicht in de technische uitdagingen die er zijn voor data-driven asset management.
- geïnteresseerde experts op het gebied van laagspanningsnetten die zich een beeld willen vormen van de status van data-driven asset management in de context van het project consortium in 2017/2018.

1 INLEIDING

Dit hoofdstuk geeft de lezer op hoofdlijnen een beeld van de achtergrond waar tegen het project TKI VEDI-LS door de projectpartners *gedeeltelijk* is uitgevoerd en geeft de lezer een overzicht van de opbouw van dit document.



Figuur 1 Het laagspanningsnet gaat op een andere manier worden gebruikt dan voorheen, o.a. voor de energievoorziening van mobiliteit.

1.1 Wat & waarom?

Dit document bevat de eindrapportage van het project TKI VEDI-LS, uitgevoerd in de jaren 2017 en 2018 door een consortium van TNO, Enexis, Twentsche Kabelfabriek, Batenburg Energietechniek, Technische Universiteit en Ureason International. Het doel van dit project was om een bijdrage leveren aan de blijvende hoge betrouwbaarheid en betaalbaarheid van het laagspanningsnet, door kennis te ontwikkelen over faalmechanismen, zowel oude als nieuwe (ten gevolge van een veranderend gebruik). Die kennis zou worden opgebouwd door toepassing van geavanceerde informatie en communicatie technologie (o.a. 'machine learning'). Op basis van die kennis zouden investeringsbeslissingen in vervanging,

onderhoud of uitbreiding meer efficiënte moeten gaan verlopen.

Tijdens de uitvoering van het project is voor een projectpartner het faillissement aangevraagd. Dit zorgde eerst voor een vertraging in de projectuitvoering. Na overleg met de RvO is getracht het project een doorstart te geven, maar na enkele maanden van overleg heeft dit toch geen doorgang kunnen vinden. Op basis van (ook elders) reeds uitgevoerd onderzoek kwamen sommige projectpartners tot de conclusie dat verdere uitvoering voor hen niet tot voldoende rendement zou leiden. Het consortium heeft na overleg uiteindelijk besloten het project voortijdig te stoppen.

Deze openbare rapportage bevat een beschrijving van de wel behaalde tussenresultaten van het project.

1.2 Voor wie en waarom?

Het rapport is geschreven vanuit de gedachte dat de resultaten die wel zijn behaald ook tot nut kunnen zijn voor anderen. Daarnaast dient dit document als een schriftelijke borging voor mogelijke vervolgprojecten die de lijn van onderzoek willen oppakken die hier (tijdelijk) is afgebroken.

In dit rapport zijn relatief weinig illustraties opgenomen met betrekking tot precieze opbouw en daadwerkelijk falen van het LS-net. Dit is geen publiek beschikbare informatie.

1.3 Leeswijzer

De onderwerpen zijn als volgt over verschillende hoofdstukken verdeeld.

- In hoofdstuk 2 wordt eerst de **doelstelling** van het project beschreven in termen van (bij het opstellen van het projectplan) actuele behoeftes en resultaten van voorgaande projecten. Daarna wordt in een beschrijving van de **werkwijze** aangegeven hoe de doelen bereiken hadden moeten worden via taken in verschillende werkpakketten.
- In hoofdstuk 3 worden op hoofdlijnen de **resultaten** beschreven. Dat is eerst kennis over de ‘fysieke werkelijkheid’, nodig om met de datasets te kunnen werken, een overzicht van (semi-)openbare en besloten datasets die in het project zijn geïnventariseerd en een eerste orde analyse die is uitgevoerd op een aantal van deze datasets.
- In hoofdstuk 4 wordt kort gekeken in hoeverre de alsnog behaalde resultaten hebben **bijgedragen** aan de **doelstelling van de regeling**.
- Tenslotte worden in hoofdstuk 4 **conclusies** getrokken en **aanbevelingen** gedaan.

Ten bate van lezers die snel de door RvO voorgeschreven onderdelen¹ willen kunnen vinden, is onderstaande tabel opgenomen.

Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project en de (eventueel) samenwerkende partijen	Hoofdstuk 2
Beschrijving van de behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing;	Hoofdstuk 3
Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling (duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie)	Hoofdstuk 4
Spin off binnen en buiten de sector	Hoofdstuk 2, sectie 2.4.1
Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn;	Hoofdstuk 2, sectie 2.4.2
Vermelding waar en tegen welke prijs meer exemplaren van dit rapport te bestellen zijn;	Colofon
Vermelding van contactpersoon (personen) voor meer informatie	Colofon
Vermelding van de verkregen subsidie	Colofon

¹ <https://mijn.rvo.nl/documents/20448/1503677/Format+eindrapport+TSE.pdf/30b041db-46ee-48aa-949f-cc599787f6d4>

2 DOELSTELLING & WERKWIJZE

In de inleiding is beschreven wat er in dit document is te vinden en waarom dit is opgeschreven in het kader van het TKI project Verantwoord & Duurzaam Investeren in Laagspanningsnetten² (VEDI-LS) voor welk publiek. In dit hoofdstuk wordt de doelstelling van het project beschreven en de werkwijze die is gevolgd. Deze beschrijving vormt de rationale voor de resultaten in de volgende hoofdstukken.

Voortijdig einde: TKI VEDI-LS is eerder gestopt dan gepland (zie het vorige hoofdstuk). Dat heeft grote gevolgen gehad voor de resultaten. Voor het kunnen begrijpen van de wel opgeleverde resultaten is het belangrijk om de achtergrond en doelstellingen te begrijpen. Daarom worden beschreven vanuit de gedachte dat het project volledig en naar planning afgerond zou zijn.

2.1 Achtergrond

Het project VEDI-LS was opgezet tegen een achtergrond van ontwikkelingen op het gebied van de Nederlandse energie-infrastructuur. In deze sectie worden deze ontwikkelingen beschreven, zodat in de volgende sectie de doelstellingen hiervan kan worden afgeleid.

2.1.1 Bij storingen geen energie

Door recente wetgeving verandert de relatief diverse energie-infrastructuur van Nederland steeds meer in een elektriciteitsnet. De overheid zet in op het drastisch verminderen van het verbranden (en daarmee transporteren van) koolwaterstoffen als bron van energie. Aan het elektriciteitsnet worden in steeds sneller tempo steeds meer eisen gesteld. Het net moet taken gaan vervullen waarvoor het nooit was ontworpen: o.a. het ophalen van energie uit zonnepanelen op woningen (ooit 'eindpunten'), het om kunnen gaan met sterke fluctuaties in energie vraag en aanbod, het helpen verwarmen van huizen met warmtepompen en het voorzien van 'brandstof' voor elektrische auto's. Een stroomstoring op een koude bewolkte dag betekent straks ook vaker verlies van warmte en mobiliteit.

Al voor de projectperiode 2017-2018 was duidelijk impact van storingen in het elektriciteitsnet te zien. Op basis van gegevens van Netbeheer Nederland kon voor de periode 2010-2015 een inschatting gemaakt worden van het aantal klanten dat getroffen is door onderbreking van levering, als gevolg van het falen van het LS-net. Gemiddeld waren er toen 17.000 onderbrekingen per jaar, waarbij per onderbreking 19 klanten werden getroffen. Dat komt (gemiddeld gezien) uit op een aantal getroffen klanten per jaar van $17.000 \times 19 = 323.000$.

² <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/verantwoord-en-duurzaam-investeren-in-laagspanningsnetten-00027620>

Er zijn geen reden om aan te nemen dat het aantal storingen snel kleiner zal worden. De in de afgelopen decennia flink gegroeide LS-infrastructuur is op een aantal plaatsen al behoorlijk oud (gegeven oorspronkelijk verwachte levensduur). Tegelijkertijd verandert het gebruik van het LS-net. In plaats van distributie vanuit een paar centrale locaties naar de miljoenen haarkvaten, wordt er vanuit de haarkvaten in het LS-net nu ook 'terug geleverd'. De dynamiek van het gebruik van het LS-net verandert: zonnepanelen, elektrische auto's en warmtepompen kunnen leiden tot vaker en kortstondiger zwaar belasten. Ervaringen opgedaan in het MiddenSpannings-net (MS-net) leren dat hierdoor veel storingen ontstaan. In het LS-net is daar nog weinig kennis en begrip van, maar het vermoeden van experts is dat het ook hier zal leiden tot versnelde degeneratie van het LS-net.

2.1.2 Storingen voorkomen door slim investeren

Om de storingen te voorkomen moet het LS-net in elk geval worden onderhouden en vermoedelijk ook worden aangepast. Onderdelen moeten worden gerepareerd en/of (compleet) vervangen. Daarbij gaat het automatisch om relatief grote bedragen, omdat het LS-net grootschalige gedistribueerde infrastructuur is. Het LS-net is fysiek verspreid over bijna alle straten en reikt tot in bijna alle woningen. Het aanpassen en vervangen heeft al gauw (letterlijk) de nodige voeten in de aarde, omdat het vervangen van enkele meters kabel niet efficiënt is. Als bijvoorbeeld de grond open gaat, dan kan beter een heel stuk meegenomen worden. Daarna moet de grond ook weer voor lange tijd dicht kunnen blijven. De publieke ruimte (in de gebouwde omgeving) kan niet zo maar geclaimed worden voor het uitvoeren van werkzaamheden. De openbare ruimte is ook nodig voor andere economische activiteiten die niet zo maar geblokkeerd kunnen worden. Dat richt ook economische schade aan. In Nederland kent het LS-net van alle gezamenlijke netbeheerders een geschatte vervangingswaarde van ruim 11 miljard euro (bron: Netbeheer Nederland).

Het vervangen en/of aanpassen van onderdelen van het LS-net zijn – door boven beschreven oorzaken – bijna altijd een investering. Een relatief groot bedrag wordt uitgegeven om er voor de langere termijn profijt van te hebben. Er wordt voor een bepaald gebied niet jaarlijks een klein bedrag uitgegeven, maar een relatief groot bedrag ineens, zodat er in de jaren daarna weinig tot niets uitgegeven zou moeten worden. Dat lukt in de eerste plaats alleen als het LS-net in dat gebied in de eerste plaats is berekend op het vervoer van de hoeveelheden energie en de dynamiek. In de tweede plaats mogen er daarna weinig tot geen storingen voorkomen die weer alsnog door de netbeheerder verholpen moeten worden. Netbeheerders moeten daarom nogal wat beslissingen nemen bij het (her)ontwerpen en aanleggen/vervangen van een onderdeel van het LS-net. Die beslissingen kan na uitvoer van fysieke werkzaamheden niet meer herroepen worden. Als dat geld eenmaal is uitgegeven, dan is het 'weg'. Het is geen kwestie van 'een paar schakelaars omzetten', maar betekent opnieuw een ontwerp maken, opnieuw de fysieke ruimte claimen, opnieuw materiaal aanschaffen en opnieuw de capaciteit inplannen/inhuren voor het uitvoeren van het werk. Daarbij is de hoeveelheid mensen die de vaardigheden en expertise hebben voor uitvoer van dergelijke werkzaamheden ook nog eens beperkt. Dit komt niet in de laatste plaats door pensionering van veel ervaren medewerkers bij

netbeheerders, wat weer leidt tot het verdwijnen van veel kennis en ervaring. Hoe dan ook moeten er door netbeheerders keuzes worden gemaakt worden over welke locatie eerder wordt aangepakt en welke later. De juiste prioritering in de tijd is belangrijk: te vroeg vervangen (te proactief) betekent onnodig geld uitgeven en te laat vervangen (te reactief) betekent aantasting van de betrouwbaarheid van de LS-netten. Daarbij is planmatige vervanging altijd significant goedkoper is dan een ad-hoc vervanging bij storingen en/of onderbrekingen. Een foute beslissing bij investeren in het LS-Net kan daardoor al relatief gauw leiden tot kapitaalvernietiging; en dus ook nog eens tot uitstel van andere nodige werkzaamheden, vanwege de economische schaalgrootte van de werkzaamheden.

De bovengenoemde beslissingen worden bij netbeheerders genomen door asset managers. Zij moeten beslissen over wat verantwoorde en duurzame investeringen zijn. Hun keuze wordt daarbij vooral bepaald in termen van leveringszekerheid, veiligheid en betaalbaarheid. Dat vereist inzicht in de te verwachten dynamiek verwachte gebruik en de oorzaak van storingen. De asset managers moeten een beeld hebben van de invloed van de energietransitie op hun assets (in het LS-net), zodat ze maatregelen kunnen nemen in het geval van vroegtijdige degradatie en mogelijke andere negatieve effecten. Deze kennis is overigens ook van belang voor operationeel netbeheer van belang, zodat ze van te voren analyses kunnen uitvoeren op het mogelijk optreden van storingen. Betere voorbereiding kan helpen om storingen sneller op te lossen en daarmee de duur van de storing te reduceren. Zo kan een netbeheerder een gefundeerd besluit nemen tot netverzwaring wanneer blijkt dat het aansturen van belasting niet voldoende helpt om falen van het LS-net te voorkomen.

Goed onderbouwde beslissingen vereisen derhalve begrip van zowel het ontstaan van storingen ('faalmechanismen') als ook de huidige en met name de verwachte conditie van het LS-net in de komende jaren.

2.1.3 Kennis van conditie en faalmechanismen

Tot aan 2017 was er relatief weinig onderzoek gedaan naar de effecten van veroudering en de relatie met falen in het LS-net. Het onderzoek had zich tot dan toe vooral gericht op het MS-net. Mede daardoor was de kennis voor het LS-net maar beperkt aanwezig. Er was daardoor een behoefte ontstaan om meer diepgaande kennis over falen op te bouwen. Door interactie van de gevolgen van (bijna) gelijktijdige veranderingen op het gebied van materiaal, fysieke omgeving en een nieuwe dynamiek in belasting, kunnen er, naast ook nieuwe faal mechanismen ontstaan. De meettechnieken (e.g. 'meetwagen') waarover de netbeheerders tot 2017 beschikten zijn niet voldoende om deze faalmechanismen te begrijpen. Het betreft namelijk 'achteraf' meten en soms introduceert de meting zelf achteraf ook nog eens nieuwe falen, vanwege de interactie van de meetapparatuur met het LS-net. De beschikbare meettechnieken geven een gedeeltelijke kijk op het falen van onderdelen (e.g. kabels), maar niet op het LS-net (systeem) als geheel. Ook zijn deze technieken niet ontwikkeld om structureel faalmechanismen te blijven ontdekken in een veranderend LS-net. Er moet andere en meer uitgebreide analyse op verschillende plaatsen in ruimte en tijd plaatsvinden. Het aantrekken van meer personeel voor het meten en analyseren is een

uitdaging, want dergelijk personeel is schaars en beperkt (door demografische ontwikkelingen buiten de directe invloed van de netbeheerders om).

2.2 Van uitdagingen naar doel

In de voorgaande sectie over de achtergrond zijn een aantal uitdagingen beschreven die Nederland staan te wachten in de transitie naar een meer duurzame energie-infrastructuur. In programmalijn 4 van de TKI Urban Energy kan dit worden teruggevonden:

TKI Urban Energy Programmalijn 4: Flexibele energie-infrastructuur. De huidige energie-infrastructuur is onvoldoende toegesneden op (toekomstige ontwikkelingen in) duurzame energie. Hiervoor moet de huidige energie-infrastructuur flexibeler, betrouwbaarder en kwalitatief beter worden, geoptimaliseerd naar kosten en prestaties³.

De betrouwbaarheid van het LS-net moet omhoog, laat staan dat die kleiner mag worden. Voor Nederland is dat een flinke uitdaging, want elektriciteitsnet is Nederlands grootste gedistribueerde machine, gebruikt door miljoenen mensen, aangelegd en beheerd door vele organisaties en bedrijven met duizenden medewerkers. Tijdens de renovatie moet de spreekwoordelijke ‘winkel ook nog eens openblijven’. Doelstelling van het project VEDI-LS was daarom om bij de netbeheerder een **economisch duurzame manier** te introduceren waarmee **continu** meer **begrip** en **inzicht** ontwikkeld kon worden van **faalmechanismen** in **LS-netten** die in **transitie** zijn. Daarvoor zou dan ook (bijna automatisch) meer inzicht in de huidige en toekomstige condities van de netwerken ontwikkeld moeten worden.

De uitvoering van die manier zou sterk moeten gaan leunen op automatisering. Niet alleen vanwege de schaarste en kosten van benodigd personeel, maar ook vanwege de relatief grote hoeveelheid factoren die een rol zouden kunnen spelen bij faalmechanismen. Daarvoor zou zoveel data/informatie over het LS-net moeten worden meegenomen dat het voor een menselijk brein al gauw ondoenlijk zou worden. Het project wilde structureel (blijvend) begrip opbouwen door middel van structurele grootschalige geautomatiseerde analyse en interpretatie van vele (historische) waarnemingen van verschillende aspecten van de fysieke infrastructuur en zijn omgeving.

Het project moest ook gaan onderzoeken hoe data verzameling, interpretatie en informatie economisch duurzaam ondergebracht zouden kunnen worden in een waarde keten van toeleveranciers en klant. Een belangrijke eis aan de economische duurzaamheid was het vinden van een balans tussen de kosten van het verzamelen en interpreteren van data en de baten van de resulterende informatie/begrip, over de keten van partijen heen.

³ <https://www.topsectorenergie.nl/urban-energy/innovatieprogramma/programmalijn-4>

Programmalijn	Programma / Innovatiethema	
4. Flexibele energie-infrastructuur	4a. Concepten en tools voor (her)ontwerp van (hybride) energie infrastructuur	X
	4b. Monitoring en control van elektriciteitsnetten	X
	4c. Lage temperatuur warmte- en koudenetwerken	
	4d. Betere benutting van de ondergrond voor opwekking en opslag van thermische energie	
	4e. Informatie- en data management	X

2.3 Gewenst resultaat

Dit project moest een demonstratie systeem gaan opleveren waarmee blijvend een beter begrip kon worden ontwikkeld van faalmechanismen in LS-netten in transitie. Dat systeem moest onder andere een inschatting van de zogenaamde 'Remaining Usefull Lifetime' (RUL) gaan opleveren voor onderdelen van de LS-netten. Die inschatting zou afgeleid worden op basis van waargenomen trends in de conditie. Het systeem zou correlaties tussen variaties in materiaal, omgeving, tijd, belasting, etc. gaan proberen te vinden. Op basis daarvan moest er vervolgens meer inzicht komen in mogelijke oorzaak-gevolg relaties. Het systeem zou dat moeten gaan uitvoeren op basis van het interpreteren van grootschalige hoeveelheden diverse (meet)data over de LS-netten en hun fysieke context. Het interpreteren zou worden uitgevoerd met modellen die (gedeeltelijk) tijdens het project zullen worden ontwikkeld, weer op basis van de analyse van data. De opgeleverde informatie zal ook geografisch worden gevisualiseerd. Waar mogelijk en zinvol zouden zelflerende systemen worden ingezet.

Op basis van het demonstratie systeem hadden netbeheerders, toeleveranciers en (onderzoeks-) partner producten & diensten moeten kunnen ontwikkelen en verbeteren waardoor:

1. betere monitoringsystemen en diensten waren aan te bieden en zo sneller de oorzaak van onderbrekingen/falen achterhaald kon worden.
2. betere verwachtingen afgegeven konden worden van falen van (componenten van) LS-netten
3. betere ontwerp- en implementatie richtlijnen konden worden ontwikkeld voor materiaal en onderhoudstechnieken.
4. betere verwachtingen afgeven konden worden aangaande meerwaarde van een ingreep in een bepaalde omgeving. Hierbij zou een vergelijking worden gemaakt tussen het wel en niet inzetten van bepaalde materialen/componenten en technieken. Dit zou dan gebeuren in termen van geprognostiseerde vervangingskosten en kwaliteitsbeoordeling.
5. betere inzet van beschikbare monteurs kon worden bereikt
6. betere behoud en overdracht van begrip van LS-net werd gerealiseerd door geautomatiseerde borging van waarneming en analyse en de visualisatie hiervan.

Het opgeleverde demonstratiesysteem zou dan in een vervolgtraject definitief geoperationaliseerd kunnen worden in een economisch rendabele waardeketen, die moest gaan passen in een open en vrije markt (“open level playing field”).

2.4 Disseminatie

2.4.1 Spin off binnen en buiten de sector

Doordat de ICT experts van TNO ook in andere sectoren hun kennis en vaardigheden toepassen zijn de opgedane kennis en ervaringen via hen ook weer toegepast in andere sectoren dan energie. Het monitoren van infrastructuren op basis van data vind bijvoorbeeld ook plaats in de wereld van water management, distributie en transport van drinkwater, mobiliteit & transport en agricultuur.

2.4.2 Publicaties

Het vroegtijdig einde heeft er voor gezorgd dat er niet vanuit het project gepubliceerd kon worden of dat er een presentatie op conferentie over de resultaten gehouden kon worden.

3 RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven die nog konden worden opgeleverd voordat het project voortijdig werd afgebroken.

Eerst volgt een sectie met een beschrijving van de kennis die is opgedaan over de fysieke werkelijkheid van een LS-net door het team van experts op het gebied van informatie- en communicatie technologie, big data interpretatie en operations research. Deze kennis hadden zij nodig als basis voor hun gezamenlijke werkzaamheden in het project, met name voor het begrijpen van en communiceren met asset management en toeleveranciers.

Daarna volgt een sectie over welke (publieke) datasets er zoal zijn gevonden en welke zijn gebruikt voor een eerste orde analyse met een eenvoudig demonstratiesysteem.

3.1 Fysieke werkelijkheid

3.1.1 Inleiding

In het project VEDI-LS werd niet alleen uitgegaan van het huidige gebruik van het LS-net, maar werd met name geprobeerd ook inzicht te krijgen in (verwacht) toekomstig gebruik: van een situatie van distributie vanuit enkele centrale plaatsen (hoogspanning/middenspanning) naar de haarvaten (laagspanning), naar een situatie waar partijen die zijn aangesloten op de haarvaten in het LS-net steeds vaker terug leveren. Dit resulteert in een andere dynamiek, waarbij een toenemend aantal duurzame opwekkers is betrokken, zoals zonnepanelen, elektrische auto's en warmtepompen. Het gevolg van deze veranderde dynamiek is dat het LS-net vaker en kortstondiger zwaar belast zal worden. De consequentie van een andere dynamiek is ook dat er nieuwe faalmechanismen kunnen gaan ontstaan. Los daarvan zijn de oude faalmechanismen (van voor de nieuwe dynamiek) ook nog niet altijd goed bekend. Omdat storingen relatief weinig voorkwamen en/of weinig impact hadden qua aantallen getroffen gebruikers is er weinig studie naar verricht. Binnen VEDI-LS was daarom het uitgangspunt om initieel zoveel mogelijk databronnen in beeld brengen die wellicht informatie zouden kunnen bevatten (al dan niet door onderling combineren).

Bij aanvang van het project is er wel een beperking in scope aangebracht: niet alle onderdelen van het LS-net zouden bekeken worden. De focus zou komen te liggen op **kabels** en **moffen**. Eén van de redenen hiervoor was dat deze onderdelen veelal ondergronds liggen. Juist deze onderdelen zijn moeilijk te inspecteren en liggen ook buiten de directe invloedssfeer van de netbeheerder, in tegenstelling tot onderdelen in eigen ruimtes zoals transformatorhuisjes en schakelkasten. Vervanging van de ondergrondse onderdelen heeft impact op andere maatschappelijke sectoren ('straat open') en fysiek ingrijpen vereist naast toestemming ook overleg. Het zorgt altijd voor overlast.

De kennis in dit hoofdstuk is gebaseerd op gesprekken met experts (e.g. Enexis, TKF, Batenburg Energietechniek) en literatuur zoals het proefschrift van Kruizinga⁴ uit 2017 (mede geschreven in het kader van het TKI project tDasa).

Categorieën bronnen

Voor het analyseren van het faalgedrag van kabels en moffen moeten er databronnen worden verzameld op basis waarvan vermoedelijk toekomstig faalgedrag kan worden afgeleid. Dat betekent ook historische data. In dit hoofdstuk maken we onderscheid in vier categorieën van databronnen die informatie bevatten zouden kunnen bevatten aangaande (faal) gedrag.

- 1 **Materiaal en constructie:** *van welke materialen is een onderdeel gemaakt en wat is hun onderlinge verband c.q. de opbouw?* Wat zijn de eigenschappen van deze materialen gegeven bepaalde invloeden (temperatuur, trekkrachten, etc.)
- 2 **Geometrie:** *hoe liggen de onderdelen onder de grond?* Ligt een kabel bijvoorbeeld 'losjes' in een bocht of staat er door groundbewegingen al spanning op? Hoeveel kracht heeft een mof al moeten verwerken?
- 3 **Externe invloeden:** *in welke fysieke context ligt een onderdeel?* Hoe diep bijvoorbeeld in wat voor soort grond? Is er sprake van een hoog grondwaterpeil? Ligt er bijvoorbeeld ergens een grote belasting ('hoop zand') op de bovengrond? Wordt er gegraven?
- 4 **Belasting:** *wat gebeurt er binnen een onderdeel?* Is er bijvoorbeeld sprake van zogenaamde transiënten waarbij er tijdelijk sprake is van een hoge spanning?

Omdat kabels en moffen letterlijk met elkaar verbonden zijn wordt ze tegelijk behandeld bij het doorlopen van de categorieën. Beiden ondergaan ze namelijk dezelfde externe invloeden en kennen grotendeels ook de interne belasting.

BELANGRIJK: *voor elk van deze categorieën geldt dat een uitspraak over het gedrag van een specifiek onderdeel gebaseerd moet zijn op de specifieke eigenschappen van dat onderdeel, de specifieke geometrie en de specifieke invloeden die het onderdeel heeft ondergaan.* Hoe meer zekerheid gewenst is met betrekking tot verwacht gedrag van een specifiek onderdeel van het LS-net, hoe meer aspecten bekend moeten zijn. Tenzij een eigenschap of externe invloed zo dominerend is dat de andere irrelevant zijn geworden voor een verwachting. Voorbeeld: de materiaal eigenschappen van een kabel zijn niet interessant voor een langere termijn verwachting als een graafmachine de kabel doormidden heeft gehakt. Het graven is hier de dominante externe invloed geworden voor het faalgedrag.

Specifieke data is ook van belang voor het vinden van oorzaak-gevolg relaties. Wanneer bepaalde aspecten niet meegenomen worden in de analyse, dan kan dat aspect ook niet

⁴ Low voltage underground power cable systems : degradation mechanisms and the path to diagnostics, B. Kruizinga, <http://repository.tue.nl/861382>

gevonden worden als een (mogelijke) oorzaak voor faalgedrag. Voorbeeld: als voor de eigenschap ‘materiaal’ alleen maar de algemene benaming kunststof wordt meegenomen en niet een specifiek soort polyetheen, dan zou uit een data analyse niet duidelijk kunnen worden wat nu precies het fenomeen ‘waterboom’⁵ veroorzaakt. Dan blijkt dat sommige kabels van kunststof last van ‘waterboom’ hebben en anderen niet.

Beschikbaarheid, Integriteit en Vertrouwelijkheid

Voor alle datasets geldt dat er voor operationele toepassing uiteindelijk op ‘BIV gecontroleerd moet worden. Gebeurt dit niet, dan is er de kans dat de resultaten van analyse niet reproduceerbaar zijn door derden, dat er foute conclusies worden getrokken, dat de opgeleverde informatie niet beschikbaar blijft en/of dat er privacy wordt geschonden. De afkorting BIV staat – grofweg gezegd - voor de volgende categorieën van vragen:

- 1 **Beschikbaarheid:** zijn de databronnen beschikbaar? Kan de toegang ontnomen worden?
- 2 **Integriteit:** zijn de databronnen betrouwbaar? In hoeverre geven ze een accuraat beeld van de werkelijkheid? Zijn ze consistent, kan er op vertrouwd worden?
- 3 **Vertrouwelijkheid:** hoe open zijn de databronnen? Door wie mogen ze onder welke voorwaarden ingezien worden? Dit is nauw verbonden aan de eisen die de EU stelt op het gebied van privacy.

3.1.2 Materiaal en montage

Er is nogal wat variatie in gebruikte materialen en constructie. Dit document dient niet als een gedetailleerd overzicht, maar als een gids in beschikbare databronnen. Voor meer informatie over de fysieke karakteristieken zie het eerder genoemde proefschrift van Kruizinga. Daar wordt in hoofdstuk 2 sectie 2 uitgelegd welke soorten kabels er in LS-netten aangetroffen kunnen worden. In sectie 3 is informatie te vinden over de moffen (‘joints’). In het Kwaliteits- en capaciteitsdocument Elektriciteit 2016 – 2025⁶ is op blz. 21 informatie te vinden over verandering van kwaliteit van kabels.

Papier/lood kabels

Dit lijkt zo’n 36% van het Nederlandse kabelbestand te zijn. Bevat veelal een koperen kern omwikkeld met papier (geïmpregneerd met olie), daaromheen een loden mantel met daarom heen weer andere isolatiematerialen. Aangelegd tot de zeventiger jaren vorige eeuw. Een belangrijke eigenschap van papiergewikkelde kabels is dat als er een pad van buiten naar binnen is waarlangs water kan binnendringen, het papier opzwelt en zo het lek weer dicht.

⁵ “Water treeing, the behaviour of water trees in extruded cable”, proefschrift E.F.Steennis, 1989. insulation<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:6891382c-9dfb-4460-9968-355c33192d62/datastream/OBJ/download>

⁶ Kwaliteits- en capaciteitsdocument Elektriciteit 2016 – 2025, <https://www.enexis.nl/Documents/kwaliteit-en-capaciteit/enexis-kwaliteit-en-capaciteit-elektriciteit-2016-2025.pdf>

Dit kent een maximale grootte. Als de kabels niet beroerd worden, dan kunnen ze decennia mee gaan. 30 tot 50 jaar is geen uitzondering. Uitzonderlijk is 80 jaar.

Kunststof kabels

Bevatten geen lood meer, zodat dit metaal niet meer ondergronds gebracht werd. Grootschalig aangelegd vanaf de zeventiger jaren en kent vele varianten. Een van de redenen om van papier/lood af te stappen was dat deze kabels arbeidsintensief waren om te produceren. Vele stroken papier moesten in laagjes om een mantel gewikkeld worden. Bij kunststofkabels kun je mantels als plastic laag laten extruderen. Procesmatig gezien werkt dit beter. Een probleem van deze materialen is dat kunststof niet per definitie stabiel is. In de eerste generatie kunststof verdwenen de 'weekmakers' uit het materiaal en werd het bros. Daardoor kon water makkelijker binnendringen. Dit probleem is in latere generaties aangepakt, maar nog steeds lijken er uitdagingen te zijn. Het probleem van de 'waterboom' is een voorbeeld waarbij pas na leggen helder werd dat er zich andere processen af gingen spelen dan verwacht. Volgens de experts zijn PVC en RAVO-G van belang om mee te nemen in de eerste analyses.

Moffen

Om een groter netwerk te vormen moeten kabels onderling verbonden worden. Dat gebeurt met zogenaamde 'moffen'. Daarvan zijn er verschillende types. Volgens de experts zijn de volgende types van belang om mee te nemen in de eerste analyses: Guroflex, Gurosin, Nekaldiet en de Wikkels-harsmof.

Montage

Niet alleen het materiaal zelf, maar ook de manier waarop het is gemonteerd kan een grote invloed hebben. Het niet goed toepassen van de werkinstructie/montage instructie kan leiden tot beschadigingen/defecten. Zo kunnen grote en/of sterke buigingen in aders/kabels resulteren in mechanische belasting, met alle negatieve gevolgen van dien.

3.1.3 Geometrie (en topologie)

De manier waarop kabels zijn gepositioneerd heeft ook invloed op falen. Een kabel die bijvoorbeeld 'losjes in een bocht' ligt heeft de nodige speelruimte voordat er grote trekkrachten op de aansluitpunten gaan inwerken bij bewegingen van de ondergrond. Een kabel die 'strak staat' door jarenlange grondbeweging kan geen beweging meer verwerken, zonder het optrekken van die trekkrachten bij de aansluitpunten.

3.1.4 Externe invloeden

Kabels en moffen worden beïnvloed door de grond waarin ze worden gelegd en daarna liggen. Er kunnen verschillende fysieke directe invloeden worden onderscheiden:

- 1 **Mechanisch:** uitoefenen van krachten via mechanisch contact. Denken aan 'duwen', 'trekken', 'snijden', etc.

- 2 **Chemisch:** interactie op moleculair niveau tussen kabel/mof en omgeving. Denk aan oxidatie.
- 3 **Thermisch:** overdracht van warmte tussen kabel/mof en omgeving. Denk aan verhitting.
- 4 **Elektromagnetisch:** invloed van elektromagnetische velden uit de omgeving. Denk ook aan zwerfstromen.

Deze invloeden worden in de praktijk echter niet zo geregistreerd, al was het alleen maar omdat er geen sensoren zijn aangebracht die dit waarnemen. Ook kan hetzelfde type directe fysieke interactie met een kabel een andere indirecte oorzaak hebben. Zo kan er direct aan een ontgraven kabel getrokken worden door een persoon, maar kan er ook 'getrokken' worden doordat even verderop grond is weggehaald en de omringende grond het ontstane gat 'wil opvullen'. In de onderstaande secties zijn daarom ook (vooral) indirecte invloeden omschreven die (soms) geregistreerd staan. Daarbij wordt in de titel nog een verschil gemaakt tussen:

- 1 **Bewuste actie.** Een partij onderneemt bewust iets dat mogelijkwerwijs impact op kabels en moffen kan hebben. Dit kan gepland zijn.
- 2 **Gebeurtenis.** Er gebeurt iets zonder dat een partij bewust actie heeft ondernomen, maar waarbij er wel sprake is van impact op kabels en moffen.

Bewuste actie: graven

Graven in de buurt van een kabel kan meerdere gevolgen hebben voor een kabel. Meestal is het een mechanische invloed.

- 1 **Direct fysiek contact.** Daarbij kunnen twee soorten schade worden onderscheiden:
 - 1.1 **Terminale schade:** Een kabel kan zodanig geraakt worden tijdens graven dat hij niet meer functioneert.
 - 1.2 **Schraapschade:** Een kabel wordt zodanig geraakt dat er nog steeds energie gevoerd kan worden, maar er is wel een versneld degradatie proces in gang gezet (zie de resultaten van het TKI project tDasa). Dit proces kan soms enkele jaren duren.
- 2 **Indirect trekken/duwen.** Als er grond verdwijnt kan de grond zich opnieuw gaan zetten. Als het gat dichtbij is dan zal de grondmassa om het gat heen zich richting het gat willen bewegen, afhankelijk van het type grond. Er ontstaan verschillende krachten op de kabel met een lokaal verschil, dat tot spanning kan leiden.
- 3 **Direct trekken.** Soms wordt een kabel ook opzij geduwd en/of getrokken omdat iemand graag bij een andere kabel en/of buis wil die dieper ligt. Soms wordt indirect getrokken doordat een kabel achter een andere kabel/pijpleiding haakt waaraan wordt getrokken.

- 4 **Verandering in waterhuishouding.** Afhankelijk van de lokale grondopbouw kan graven soms resulteren in een tijdelijk ander waterpeil. Dit kan weer voor andere chemische interactie zorgen.

BELANGRIJK: *grond mechanische processen kunnen decennia lang voortduren.* Het niet waarnemen van falen door mechanische interactie op de korte termijn betekent niet dat er op de langere termijn niets zal gebeuren. Wel is het zo dat het leeuwendeel van de grondzetting vaak plaats vindt in de eerste paar jaren.

Bewuste actie: mechanisch (boven)belasten

Een kabel en/of mof kan belast worden door er (indirect) (tijdelijk) een kracht op in te laten werken. Dat kan in verschillende vormen:

- 1 Door een semipermanente massa bovenop de grond waar de kabel ligt. Denk aan een bult zand.
- 2 Zwaar verkeer dat langzaam een 'deuk' in de weg rijdt, waarbij er indirect op een nabijgelegen kabel wordt geduwd.

De belasting hoeft niet rechtstreeks boven de kabel te worden aangebracht om toch invloed te hebben. De krachten verspreiden zich in de bodem, afhankelijk van de lokale grondopbouw. Ook hier geldt weer dat de grond mechanische processen decennialang kunnen duren.

Gebeurtenis: impact van andere infrastructuur

Omdat kabels en moffen zich in de nabijheid bevinden van andere infrastructuren kunnen deze invloed hebben. Dit hoeft niet het gevolg van bewuste acties te zijn die al dan niet ergens staan gepland.

- 1 **Duwen of trekken door andere leidingen.** Mechanische invloed (zie het eerdere graven en mechanisch belasten).
- 2 **Schokgolf door explosie.** Mechanische invloed. Denk aan 'vuurwerk in het riool'.
- 3 **Zandstralen.** Mechanische invloed. Denk aan gebarsten waterleiding die zand blijft spuiten op de mantel van een kabel.
- 4 **Verhitting.** Thermische invloed. Denk aan een felle brand boven de weg. Overdracht van thermische energie hoeft overigens niet direct tot falen te leiden. Het kan ook een chemische reactie in gang zetten, waardoor er in de directe zin sprake is van chemische invloed. Die zelfs weer intern kan zijn, omdat die reactie niet plaats vindt ten gevolge van interactie met stoffen ('moleculen') buiten de kabel.

Gebeurtenis: chemische inwerking van de grond

Naast mechanische en thermische invloeden zijn er ook nog externe chemische invloeden. Deze zijn meestal niet direct het gevolg van bewuste acties zoals graven en het (tijdelijk)

aanbrengen van een bovenbelasting dat wel zijn. Er kunnen de volgende categorieën onderscheiden worden:

- 1 **Grondwaterpeil.** De stand van het grondwater is er bepalend voor of er wel of geen vocht de kabel probeert binnen te dringen. Kan beïnvloed worden door bewuste veranderingen ingezet door het waterschap, maar ook door het niet op peil kunnen houden door het waterschap.
- 2 **Bestaand aanwezig.** Grond kan eigenschappen hebben die niet zo snel veranderen. Denk aan een hoge zuurtegraad ('veen').
- 3 **Geïntroduceerd (tijdelijk) groeiend.** Bepaalde stoffen die interacteren met het materiaal van de kabel en/of mof kunnen ook verschijnen. Dit kan weer onderverdeeld worden in:
 - 3.1 Afkomstig van micro-organismen in de grond. Die kunnen stoffen uitscheiden die impact hebben op het materiaal.
 - 3.2 Afkomstig van vervuiling (boven, onder, etc.) die de grond is binnengedrongen.

3.1.5 Belasting

De energietransitie heeft tot gevolg dat in het laagspanningsnet zich andere energiestromen gaan voordoen. Het is niet meer zo dat energie vanuit enkele grootschalige centrales richting de eindpunten stroomt. In plaats daarvan worden energie vanuit de eindpunten ingebracht. Denk aan het opwekken van elektriciteit in zonnepanelen. Ook lijkt er meer energie over het laagspanningsnet vervoerd te moeten worden voor verwarming ('gasloos') en vervoer ('elektrische auto'). Het vermoeden is dat het veranderende gedrag van apparatuur aan de eindpunten tot meer zogenaamde 'transiënten' kan leiden: overgangen in belasting (meer/minder) die op hun beurt tot meer thermische belasting (warmteontwikkeling) kunnen gaan leiden. Door een verhoging van de temperatuur (bij overbelasting) kan een kabel gaan uitzetten, met mogelijke kans op schade. Ook kan de papier isolatie bij GPLK gaan 'verkazen'.

3.2 Datasets & eerste orde analyse

In deze sectie wordt beschreven welke (publieke) datasets er zoal zijn gevonden en welke zijn gebruikt voor een eerste orde analyse met een eenvoudig demonstratiesysteem.

3.2.1 Inleiding

In de vorige sectie is de fysieke werkelijkheid ingedeeld op basis van het soort fysieke interactie van componenten van het LS-net met elkaar of hun omgeving. Relevante datasets worden in de praktijk niet allemaal op die manier ingedeeld. In dit hoofdstuk komen datasets aan bod die meer dan eens één of meerdere categorieën uit het vorige hoofdstuk bevatten. Soms bevatten ze ook maar een gedeeltelijke beschrijving van een bepaald aspect. Om af te leiden uit de datasets van wat er is gebeurd, is het noodzakelijk om de datasets te

combineren.

WOORD VOORAF: *er lijkt in het verleden relatief weinig data over de toestand van het netwerk verzameld te zijn.* Dit lijkt goed verklaarbaar: bij de aanleg is er in het verleden veel overgedimensioneerd. Materiaal werd daardoor niet gauw overbelast. Verder werd er bij de aanleg vanuit gegaan dat het na verloop van tijd vervangen zou worden. Het concept ‘condition-based maintenance’ was destijds nog relatief onbekend. Het idee om te vervangen op basis van conditie van het netwerk in relatie tot verwacht gebruik lijkt niet of nauwelijks een rol te hebben gespeeld bij het aanleggen van netwerken. Het willen hebben van inzicht in de conditie van materiaal lijkt daarom van relatief recente aard.

3.2.2 Semi-openbare datasets

In deze sectie worden (publieke) datasets en/of overzicht beschreven die relevant lijken te zijn als bron van data voor analyse van faalmechanismen:

Nationaal Georegister

Er lijken al de nodige datasets te zijn over historisch, actueel en toekomstig/gepland gebruik van de fysieke ruimte. Het Nationaal Georegister (<http://www.nationaalgeoregister.nl>) geeft een hiervan een (vermoedelijk gedeeltelijk) overzicht. Dit is inmiddels zo groot geworden dat het in kaart brengen van de datasets een studie op zich aan het worden is. Bij een scan van deze sets op hoofdlijnen blijkt dat een heel aantal sets voor een beperkt gebied beschikbaar is (bijvoorbeeld gemeente of provincie). Dat maakt de inzet van deze sets voor een uniforme inschatting van falen erg lastig. Door de analyse zouden er faalmechanismen ontdekt kunnen worden die alleen maar voor een beperkt gedeelte van Nederland gelden. Daarnaast lijken de datasets vaak ‘eenmalig’ te zijn gemaakt. Er is in dat geval geen sprake van een structureel geborgd proces om op regelmatige tijdstippen een update op te leveren. Dat maakt ze ongeschikt voor het leren in termen van processen die door de tijd heen lopen.

Publieke Data op de Kaart (PDOK)

Net als het Nationaal Georegister bevat de datadienst Publieke Data op de Kaart (<https://www.pdok.nl/>) data/informatie over benutting van de publieke ruimte vanuit een geografische insteek. Net als bij het nationaal georegister lijken de datasets niet allemaal gegarandeerd regelmatig worden te worden verversd. Dit belemmert vaak een chronologische analyse. Dat hoeft overigens niet altijd een probleem te zijn: grondsoorten veranderen bijvoorbeeld niet gauw door de tijd.

BELANGRIJK: *De bronnen die we nu verder in dit hoofdstuk bespreken zijn gekoppeld aan een proces en dienst die deze bronnen blijft aanvullen.*

WION/KLIC

Omdat graven zonder inzicht in de bodem al gauw tot netwerk schade kan leiden moeten gravende partijen informatie aanleveren aan en opvragen van een centraal register (<https://www.kadaster.nl/klic-wion>). Dit register bevat meerdere soorten informatie:

- 1 waar leidingen zouden kunnen liggen,
- 2 waar een partij zou kunnen gaan graven en
- 3 waar een partij gegraven zou kunnen hebben.

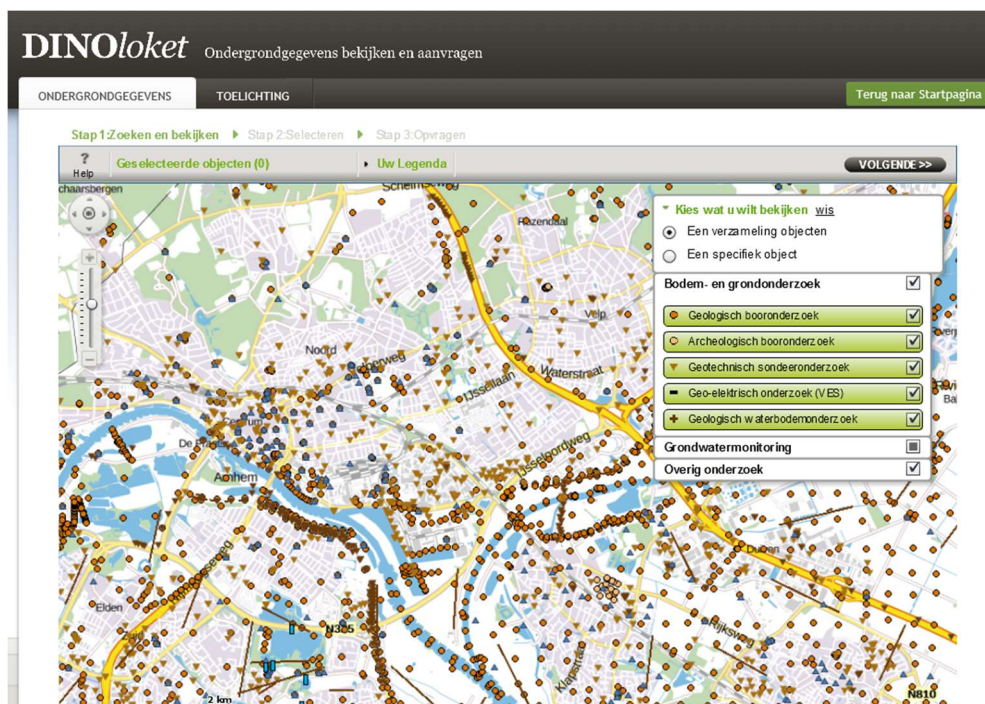
Het hulpwerkwoord 'zullen' is hier essentieel omdat deze bron is opgezet vanuit de gedachte om botsingen tussen 'graven' en 'leidingen' te voorkomen. Het lijkt niet opgezet als vastlegging van graafwerkzaamheden. Het lijkt daarom de vraag de vraag of een graafmelding ook tot een daadwerkelijke graafactie heeft geleid.

Deze dataset lijkt niet zo open als de voorgaande: afhankelijk van de rol van de aanvrager en aanbieder (aannemer, netbeheerder, etc.) van data is er wel of geen toegang mogelijk.

DINOLoket

In het DINOLoket (<https://www.dinoloket.nl/>) zijn gegevens over de Nederlandse ondergrond te vinden. Deze gegevens zijn gebaseerd op modelmatige interpretaties van vele boringen. Zo kan met het GeoTOP⁷ model een gedetailleerd driedimensionaal beeld van de ondergrond van Nederland tot een diepte van maximaal 50 meter onder NAP worden geleverd. In GeoTOP wordt de ondergrond onderverdeeld in miljoenen voxels (cellen) van 100 bij 100 meter in de horizontale richtingen en 50 centimeter verticaal. Aan elke voxel worden eigenschappen gekoppeld, zoals lithostratigrafische eenheid en grondsoort (lithoklasse), die kenmerkend zijn voor diverse fysische en chemische parameters. In het project Sensortechnologie Toegepast Op Ondergrondse Pijplijnen (STOOP, <http://www.stoopnetbeheer.nl/>) is dit model ontsloten voor gebruik in berekeningen voor het bepalen van grondzettingen.

⁷ <https://www.dinoloket.nl/detaillering-van-de-bovenste-lagen-met-geotop>



Figuur 2 Screenshot van onderzoekspunten in het DINOLoket in het geografische gebied rond Arnhem.

InSAR

Niet een publiek toegankelijke dataset, maar wel commercieel verkrijgbaar. Met behulp van satellieten kunnen hoogtemetingen worden uitgevoerd. Daarmee kan o.a. de snelheid van het zakken van de ondergrond worden afgeleid. Dit zegt iets over de actuele toestand van de ondergrond. In het STOOOP (zie vorige sectie) is deze data, samen met het bedrijf SkyGeo (leverancier) ontsloten voor gebruik in berekeningen voor het bepalen van grondzettingen.

Open data LS-Net

De netbeheerder Enexis biedt open data⁸ aan⁹ met daarin informatie over de assets. Voor het LS-Net leken de volgende onderdelen interessant:

- Laagspanning Openbare Verlichting Kast (punt en vlak)
- Laagspanning Kabel
- Laagspanning Aansluitkabel
- Laagspanning Hoogbouwkoppelpunt
- Laagspanning Aansluiting
- Laagspanning Straatmeubilair
- Laagspanning Laadpaal

⁸ <https://opendatasitecore.blob.core.windows.net/opendata/toelichting/toelichting-open-asset-data.pdf>

⁹ <https://www.enexis.nl/over-ons/wat-bieden-we/andere-diensten/open-data>

Tijdens het onderzoek bleek echter dat deze sets niet voldoende informatie bevatten. Zo was het materiaal van de kabels bijvoorbeeld niet vermeld. Daarom zijn later andere sets gebruikt van Enexis (zie verderop in dit hoofdstuk).

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	NETBEHEER	STRAATNAAM	POSTCODE_VAN	POSTCODE_TOT	WOONPLAATS	IPROD	VERB	AANSLUITINGEN	LEVERINGSRICHTING_PERC	S	SVJ_GEMIDD	SLIMME_METE					
224815	Enexis B.V.	Topaasstraat	9743 LD	9743 LD	GRONINGEN	IELK	KVB	16	100	2443,81	87,5						
224816	Enexis B.V.	Topaasstraat	9743 LD	9743 LD	GRONINGEN	IGAS	KVB	16	100	1519,19							
224817	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LE	9743 LE	GRONINGEN	IELK	KVB	16	100	3815,69	81,25						
224818	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LE	9743 LE	GRONINGEN	IGAS	KVB	16	100	1915,88							
224819	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LG	9743 LH	GRONINGEN	IELK	KVB	26	100	2102,73	92,31						
224820	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LG	9743 LH	GRONINGEN	IGAS	KVB	26	100	1331,38							
224821	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LJ	9743 LJ	GRONINGEN	IELK	KVB	18	100	2137,56	100						
224822	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LJ	9743 LJ	GRONINGEN	IGAS	KVB	18	100	885,22							
224823	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LK	9743 LK	GRONINGEN	IELK	KVB	18	100	2018,89	88,89						
224824	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LK	9743 LK	GRONINGEN	IGAS	KVB	18	100	839,89							
224825	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LL	9743 LL	GRONINGEN	IELK	KVB	18	100	2114,33	100						
224826	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LL	9743 LL	GRONINGEN	IGAS	KVB	18	100	932,67							
224827	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LM	9743 LM	GRONINGEN	IELK	KVB	18	100	1971,33	94,44						
224828	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LM	9743 LM	GRONINGEN	IGAS	KVB	18	100	797,44							
224829	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LN	9743 LN	GRONINGEN	IELK	KVB	18	100	1797	88,89						
224830	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LN	9743 LN	GRONINGEN	IGAS	KVB	18	100	746,17							
224831	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LP	9743 LP	GRONINGEN	IELK	KVB	38	100	2548,84	86,84						
224832	Enexis B.V.	Saffierstraat	9743 LP	9743 LP	GRONINGEN	IGAS	KVB	38	100	1015,68							
224833	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 NA	9743 NA	GRONINGEN	IELK	KVB	16	100	3374,56	81,25						
224834	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 NA	9743 NA	GRONINGEN	IGAS	KVB	16	100	1962,19							
224835	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 NB	9743 NB	GRONINGEN	IELK	KVB	16	100	2878	100						
224836	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 NB	9743 NB	GRONINGEN	IGAS	KVB	16	100	1552,06							
224837	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 NC	9743 NC	GRONINGEN	IELK	KVB	16	93,75	2662,5	100						
224838	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 NC	9743 NC	GRONINGEN	IGAS	KVB	16	100	1639							
224839	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 ND	9743 ND	GRONINGEN	IELK	KVB	17	100	2664,29	88,24						
224840	Enexis B.V.	Brijlantstraat	9743 ND	9743 ND	GRONINGEN	IGAS	KVB	17	100	1842,71							

Figuur 3 Gedeelte van dataset energieverbruik kleinverbruikaansluitingen van Enexis.

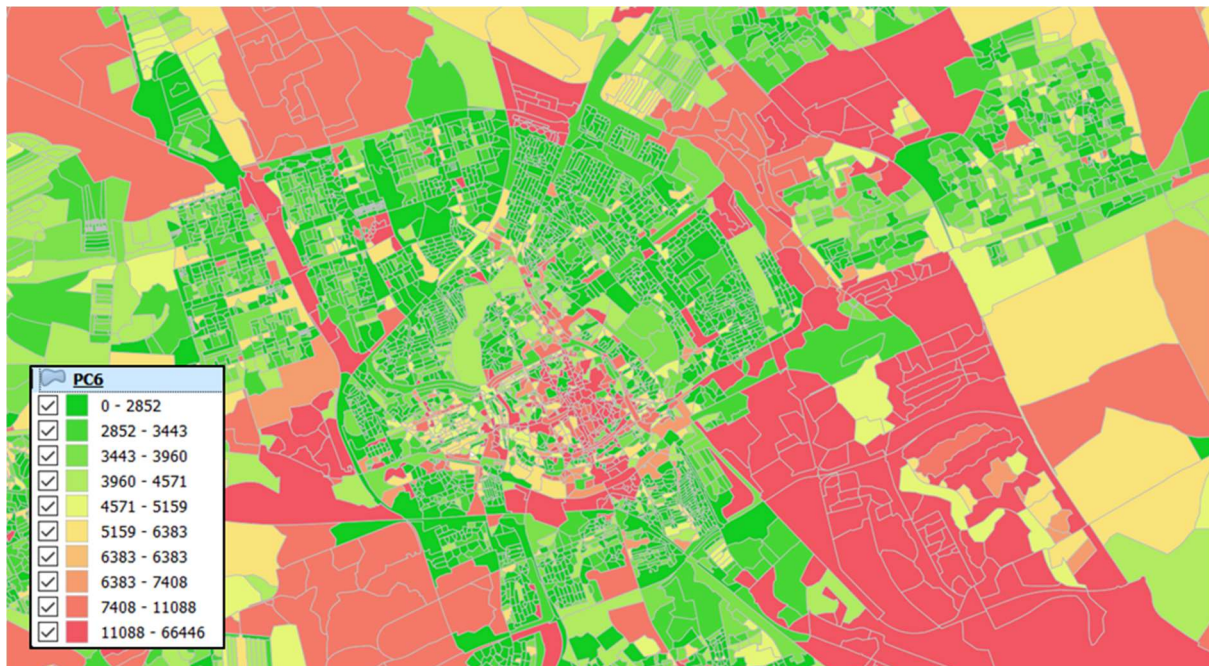
Materiaal

Datasets over eigenschappen en veroudering van materiaal konden tijdens de eerste inventarisatie niet worden gevonden. Op basis van gesprekken met de experts lijken er ook weinig tot geen ‘post-mortem’ onderzoeken gedaan te worden op materialen. Op het moment van uitvoeren van het project waren er bij betrokkenen geen recente studies bekend waarbij de mate van (opgegraven) materiaal degradatie in relatie tot belasting over meerdere jaren is geanalyseerd (in geografische/geologische context).

Belasting

Enexis stelt ook jaarlijks (anoniem gemaakt) energieverbruik van kleinverbruikaansluitingen (tot en met 3x80 Ampère) ter beschikking in een CSV bestand (zie Figuur 3). In het project zijn de jaren 2010-2018 bekeken. Op het detailniveau van ‘postcode 6’ (een volledige postcode, 1234 AB) zijn zoveel aansluitingen samengevoegd dat gebruik per huis niet meer kan worden afgeleid. In Figuur 4 is een visualisatie te zien van het jaar 2010 voor de stad Groningen. Het valt op dat woonwijken een relatief laag standaardjaarverbruik (SVJ) hebben. In de oude middeleeuwse stad is er relatief veel bedrijfsmatigheid te zien en daar is sprake van meer verbruik. Ook de industrieterrein vertonen meer verbruik.

Voor het maken van visualisatie moest het bestand van Enexis overigens gecombineerd worden met een PC6 bestand met geografische gebieden. Daarvoor moest een koppeling gemaakt worden op basis van de postcodes in het bestand van Enexis en het postcode 6 bestand.



Figuur 4 Visualisatie dataset standaardjaarverbruik voor de stad Groningen over het jaar 2010 met de applicatie QGIS. Kleuren gekozen op basis van hoeveelheden. Hoe roder, hoe hoger het verbruik. Hoe groener, hoe lager het verbruik.

Deze dataset zegt iets over de hoeveelheid energie die is afgeleverd, niet over belangrijke invloeden als piekbelasting of transiënten. Door de SJVs in postcode gebieden van verschillende jaren te vergelijken kan wel een eerste orde uitspraak gedaan worden of het verbruik toe of afneemt in een bepaald postcodegebied. Daarbij zal wel goed gekeken moeten worden naar de 'richting' van het SJV. Als het totale verbruik de resultante is van geleverd en terug geleverd, dan lijkt het verbruik wellicht laag, terwijl er toch meer energie is vervoerd.

Meer gedetailleerde informatie over belasting zou theoretisch uit slimme meters gehaald kunnen worden. Daar kan de hoeveelheid binnenkomende en uitgaande energie met een grotere resolutie in de tijd worden geregistreerd. Echter, dit stuit meteen op de barrière van databescherming: inzicht in het verbruik gedurende dag op een bepaald adres levert inzicht in de private levenssfeer van de bewoners. Anonimiseren zou op eenzelfde manier moeten gaan plaatsvinden als bij het SJV. Binnen VEDI-LS is dit niet meer geprobeerd. Een andere optie is het gebruik van sensoren in het LS-Net die iets vertellen over storingen in combinatie met de hoeveelheid energie die wordt gedistribueerd. Zo is Enexis bezig met het uitrollen van de Distributie-Automatisering Light (DALI) infrastructuur¹⁰. Binnen VEDI-LS is deze optie wel benoemd, maar uiteindelijk niet verder uitgezocht.

¹⁰ <https://werkenbijenexis.nl/het-netwerk-van-dali>

Mede omdat de (semi-)openbare datasets niet voldoende bleken te zijn (o.a. geen informatie over het materiaal van de kabels), is uiteindelijk gewerkt met besloten datasets van Enexis. Daarvan zijn uittreksels gemaakt (in zogenaamde Shapefile¹¹ vorm) om het aantal datapunten overzichtelijk te houden. Daarbij is gekozen voor de stad Groningen omdat dit een brede sortering aan materialen, fysieke omstandigheden, belastingen en storingen leek te bevatten. In onderstaande secties worden ter illustratie de datasets van kabels en moffen getoond. De aansluitkabels en aansluitmoffen zijn niet getoond, maar wel geanalyseerd voor het onderzoek.



De besloten dataset over kabels bevatte o.a. informatie over leeftijd, type materiaal, jaar van aanleg, etc. Om toch een indruk te geven van wat deze set bevat is in Figuur 5 een openbare dataset gevisualiseerd. Voor kenners van de bouwgeschiedenis van de stad Groningen (en haar wijken) een visuele correlatie te zien tussen de ouderdom van kabels en de aanleg van wijken. Nieuwer aangelegde gebieden zijn meer groen en blauw. Oudere gebieden zijn meer rood en oranje. De jaren 80 en 90 zijn met geel getekend. De spreiding over decennia is overduidelijk.

27

Moffen

De besloten dataset over moffen (die onderling kabels verbinden) bevat informatie over het soort, de producent, aanlegdatum, etc. Deze zijn in dit rapport niet gevisualiseerd.

Storingen / NESTOR

Voor data over het falen van is door Enexis informatie uit NESTOR¹² gehaald. Dit is een landelijke methode (en plaats van registratie) voor het registreren van storingen en geplande onderbrekingen van elektriciteit- en gasnetten door de netbeheerders. Op basis van deze dataset worden al betrouwbaarheidsanalyses uitgevoerd NESTOR (zie het voorbeeld van 2016¹³). Deze analyses bevatten echter geen ruwe data.

Er is voor dit project door Enexis een uittreksel voor de stad Groningen gemaakt voor een beperkte periode (<10 jaar). Dit uittreksel is weer als een Shapefile ter beschikking gesteld. In **Error! Reference source not found.** is een visuele illustratie van de dataset te zien. Omwille van vertrouwelijkheid is zijn in dit openbare rapport niet gevisualiseerd.

3.2.4 Analyse

In deze sectie wordt de eerste orde analyse met een eenvoudig demonstratiesysteem beschreven. Daarbij wordt eerst beschreven waarom het koppelen van datasets een uitdaging bleek te zijn. Daarna wordt de web-based analyse omgeving beschreven. Geëindigd wordt met een beschrijving van stappen die genomen konden worden bij de verdere inpassing in het nemen van beslissingen voor het uitvoeren van asset management. Voor de eerste orde analyse is geen Artificial Intelligence (AI) en/of machine learning ingezet. Het was de bedoeling dat na het opzetten van een eerste versie van de web-based analyse omgeving, deze verder richting die kant uitgebreid zou worden en zodat analyse op een hoger niveau geautomatiseerd zou worden. Door het voortijdig stoppen van het project is dit niet gedaan.

Uitdaging in koppelen

De datasets met informatie over (aansluit)kabels en (aansluit)moffen zijn in vier afzonderlijke Shapefiles ter beschikking gesteld. Wanneer deze allemaal tegelijk in een Geografisch Informatie Systeem (GIS) applicatie (e.g. QGIS, <https://www.qgis.org/nl/site/>) worden geladen, dan kan een visueel overzicht worden gemaakt waarin er een visuele relatie *lijkt* te bestaan tussen een storing en het LS-net. Omwille van de vertrouwelijkheid is deze in het openbare rapport niet gevisualiseerd. De nadruk ligt hierbij op *lijkt*. De storingdata komt uit NESTOR en de locatie van een storing is gevisualiseerd als een driehoekje dat in NESTOR zogenaamde X,Y Rijksdriehoekcoördinaten¹⁴ heeft meegekregen. Ook staat er vaak nog een straatadres bij. Dat is echter iets anders dan een specifieke locatie in de topologie van

¹² <https://den.enexis.nl/Documenten%20DEN/Nestor%20E%20-%20handleiding.pdf>

¹³

http://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Betrouwbaarheid_van_elektriciteitsnetten_2016_76.pdf

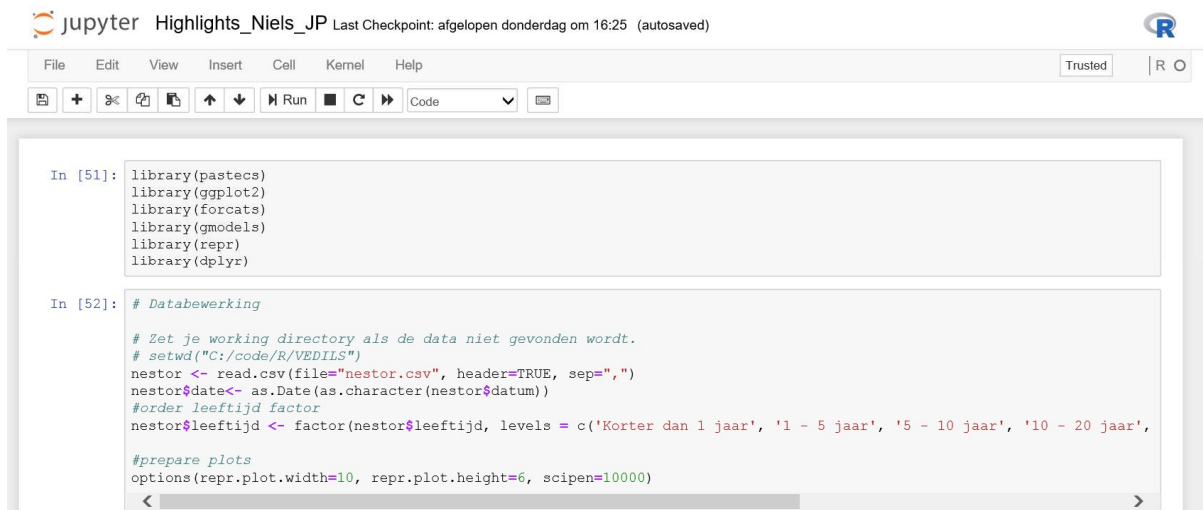
¹⁴ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Rijksdriehoeksko%C3%B6rdinaten>

het LS-net. Er zijn bijvoorbeeld geen coördinaten waarmee ‘deze plek op de kabel’ of ‘daar op deze mof’ kan worden weergegeven. In de dataset uit NESTOR zijn wel velden als ‘oorzaak’, ‘component’ en ‘opmerking’ te vinden. Maar de inhoud van deze velden zijn geen sleutels (labels voor unieke identificatie) waarmee in de dataset van de kabels en moffen de precieze kabel en mof teruggevonden kan worden. Om die data met elkaar in verband te brengen leek een mens de inhoud van de velden te moeten gaan lezen en deze ‘handmatig’ in verband brengen met nabij gelegen kabels. Wellicht kan dit middels een slim algoritme worden geautomatiseerd, maar dit is in VEDI-LS niet verder uitgewerkt. Zelfs als het geautomatiseerd wordt, dan is de vraag in hoeverre er op geleund kan worden, omdat het algoritme en/of de toegepaste kunstmatige intelligente wellicht de verkeerde conclusies trekt op basis van de gelezen tekst.

Web-based analyse omgeving

Vanwege de uitdagingen bij het koppelen heeft het project besloten eerst te kijken naar wat er uit de dataset met storingen aan inzichten gehaald zou kunnen worden. Daarvoor is een web-based analyse omgeving opgezet met behulp van Jupyter Notebook (<https://jupyter.org/>). Dit is een interactieve (open-source) web applicatie waarmee onderzoekers / analisten in een webbrowser aan documenten kunnen werken met daarin broncode/scripttaal voor (mathematische) bewerking van datasets, visualisaties van data en beschrijvende tekst. Het notebook stuurt de instructies naar een zogenaamde ‘kernel¹⁵’, die de instructies in de broncode/scripttaal of ook wel de berekeningen kan uitvoeren. De data en de berekeningen vinden daardoor ook achter een firewall plaats en hoeven niet per sé gedownload te worden op een lokale computer. De uitkomst van de berekeningen worden weer teruggezonden naar de webbrowser. Verschillende gebruikers kunnen vanaf hun eigen werkplek in een eigen omgeving werken. Door de combinatie met Docker (<https://www.docker.com/>) technologie is het mogelijk om te ‘pauzeren’ en later weer door te gaan. De omgeving wordt tijdelijk bewaard en kan zo weer opgestart worden. Dankzij dezelfde technologie kan ook geconfigureerd worden hoeveel rekenkracht en opslagruimte ter beschikking worden gesteld aan de analyse. Als er meer nodig blijkt te zijn, dan hoeft er niet zo maar meer nieuwe hardware worden besteld.

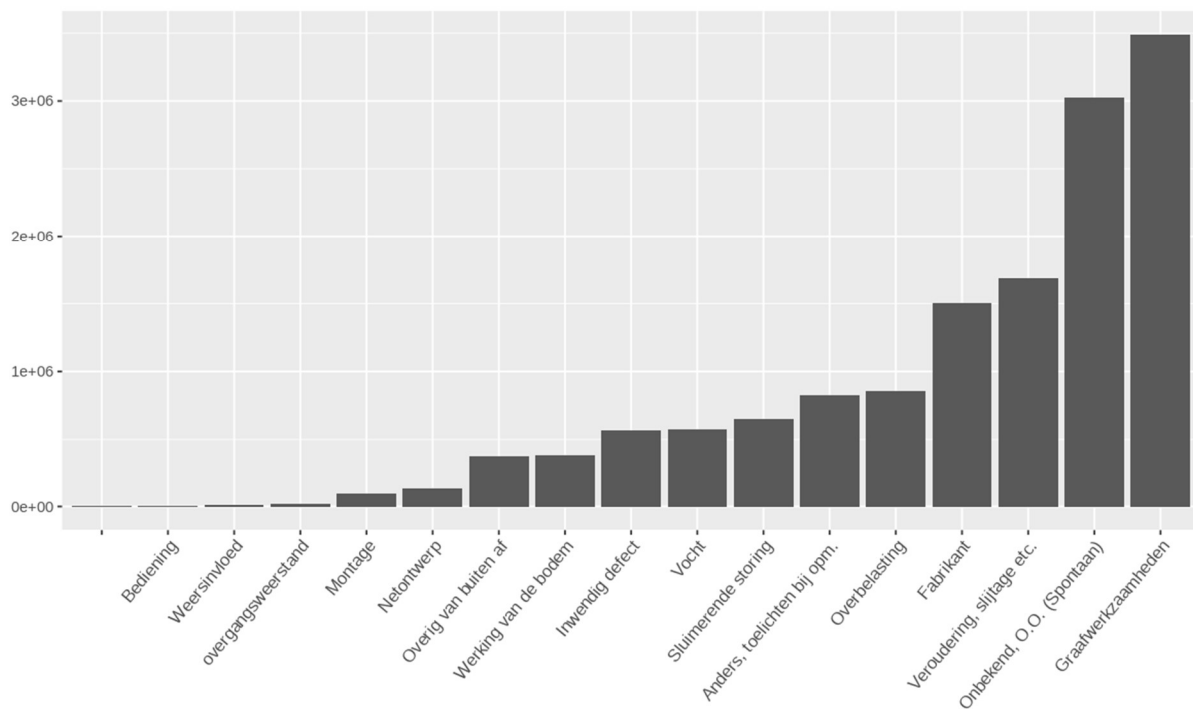
¹⁵ https://jupyter-notebook-beginner-guide.readthedocs.io/en/latest/what_is_jupyter.html#kernel



Figuur 6 Screenshot van de Jupyter Notebook omgeving met een R kernel. In dit geval wordt gewerkt in een notebook met de naam 'Highlights_Niels_JP'.

Als scripttaal is voor R gekozen. Deze open source taal¹⁶ is (in navolging van de taal S) ontwikkeld voor statistiek en data-analysedoeleinden. De scripts die de statistische analyse uitvoerden werden opgeslagen met behulp van een software version control systeem ('Github'). In Figuur 6 is een screenshot te zien van de web-based analyse omgeving. Rechtsboven is het logo van de taal R te vinden. Er zijn twee zogenaamde 'cellen' te zien. In cel '51' krijgt de kernel de instructies om een aantal bibliotheken ('**library**') te gebruiken, o.a. voor '**ggplot2**' voor het kunnen produceren van grafieken. In cel '52' is broncode in de de scripttaal R te vinden. De variabele 'nestor' wordt gevuld met de inhoud van het bestand '**nestor.csv**'. Vervolgens wordt er een analyse uitgevoerd. Merk op dat voordat de data geanalyseerd kon worden, eerst de Shapefile met informatie uit NESTOR moest worden omgezet naar een CSV bestand. De output van de analyse omgeving bestond onder andere uit grafieken. In Figuur 7 is zo'n grafiek te zien. Hier is het aantal gebruikersminuten ('duur van de storing') opgeteld per type oorzaak. Graafwerkzaamheden leveren veel gebruikersminuten op. Weersinvloeden heel weinig.

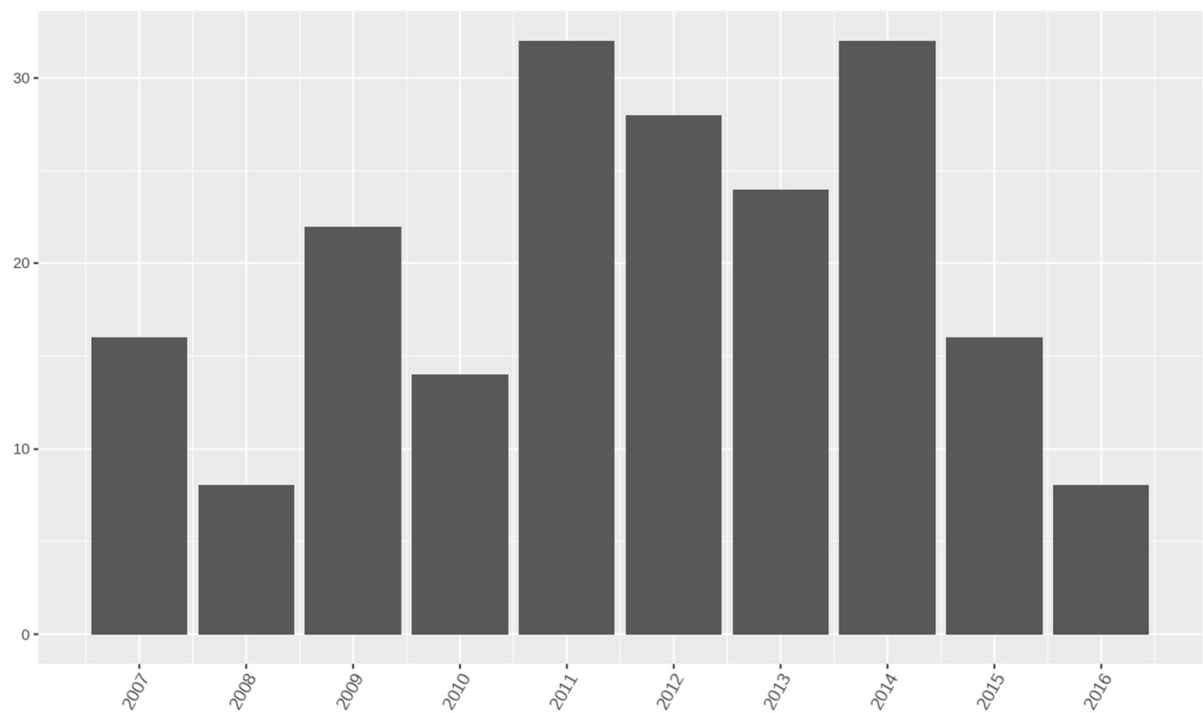
¹⁶ [https://en.wikipedia.org/wiki/R_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/R_(programming_language))



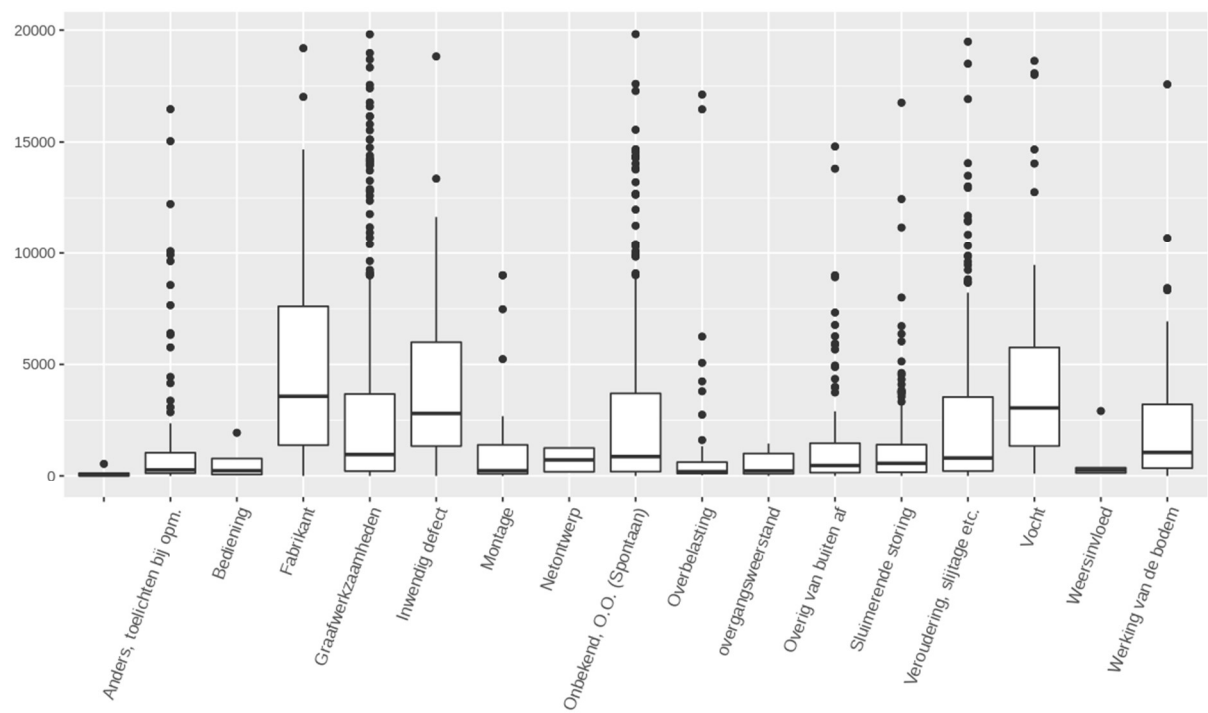
Figuur 7 Grafiek met daar in de som van verbruikersminuten per oorzaak

In Figuur 8 is een grafiek te vinden van het aantal storingen met een bepaalde type mof. Naar 2012 toe is daar (groveweg) een opgaande lijn te zien en vanaf dan een neergaande lijn. De interpretatie hiervan ligt erg genuanceerd. Er is bijvoorbeeld niet te zien hoeveel moffen er elk jaar in de totale populatie van dat type waren. Ook is bijvoorbeeld niet te zien hoe oud de desbetreffende moffen waren. Data analisten moeten derhalve erg voorzichtig zijn met het trekken van conclusies. In Figuur 9 is weer een grafiek over verbruikersminuten te vinden. Maar dit keer niet de totale som per oorzaak, maar een visualisatie in de vorm van een verdeling ('boxplot'¹⁷). Hieruit komt al weer een meer genuanceerd beeld naar voren dan bij de totale som.

¹⁷ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Boxplot>



Figuur 8 Aantal storingen met een bepaald type mof per jaar.

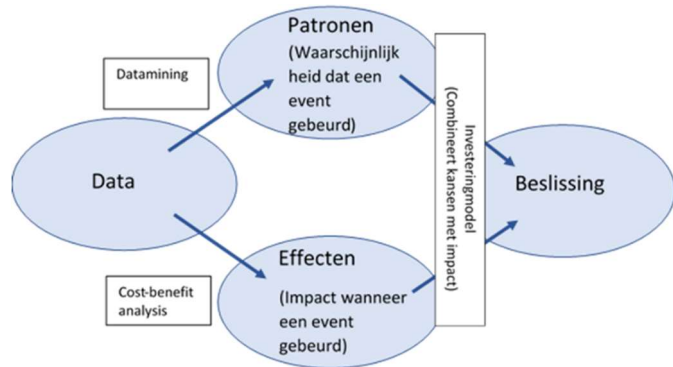


Figuur 9 Verdeling aantal gebruikers minuten per oorzaak.

Inpassing data analyse in bedrijfsproces

Wanneer het demonstratiesysteem – middels toepassen van AI en/of machine learning – faalmechanismen had kunnen opsporen door patroon herkenning en/of het vinden van correlaties (in de tijd), dan was er nog een stap nodig geweest voor het geautomatiseerd opleveren van bruikbaar inzicht voor beslissingen. Het effect van het falen – de impact - van een onderdeel bepaalt namelijk ook hoeveel het voorkomen van dat falen oplevert. In het project zou daarom uiteindelijk tweeledig gekeken worden naar de datasets.

De patroonherkenning zou helpen om de waarschijnlijkheid te bepalen van het optreden van (lokaal) falen ('event'). Daarnaast zou ook gekeken worden naar de effecten. De combinatie van de kans op falen en het effect daarvan samen bepaalt het risico.



Figuur 10 Schematische voorstelling van het nemen van beslissingen op basis van de kans op een gebeurtenis en het effect.

Het is mogelijk om inschattingen te maken over de mate waarin het risico van falen gereduceerd kan worden door tijdig ingrijpen op basis van interpretatie van data over het LS-net. In een eerder project genaamd “*technology for Distribution Area Situational Awareness*” (tDASA) is een daarvoor een manier van modelleren¹⁸ ontwikkeld. Uitleg van dit model valt buiten de scope van dit rapport. Desalniettemin wordt het hier toch vermeld omdat deze modelleertechnieken toegepast zouden worden bij het uitwerken van het demonstratiesysteem. Daarbij zou ook gekeken worden naar optimalisatie van beslissingen (aangaande investeringen). De beste beslissing zou dan worden bepaald op basis van de inschatting van de effecten van die beslissing’. Het project had verschillende kandidaat methodes c.q. benaderingen voor de optimalisatie op het oog. Ter illustratie worden deze op hoog niveau beschreven.

- 1 **Net Present Value:** “*wat zijn verwachte kosten bij uitstel reparatie/vervanging, kosten bij directe reparatie/vervanging; verdisconteer daarbij alle mogelijke kosten in de toekomst naar vandaag*”
- 2 **Real Options Investment:** “*wanneer het voltage (druk) op een kabel/mof een grenswaarde bereikt, dan moet er worden geïnvesteerd*”.

¹⁸ <https://ieeexplore.ieee.org/document/7232779>

- 3 **Hypothese/stoplicht:** “een kabel in grondtype Y en ouder dan X jaar moet vervangen worden”.

3.3 Knelpunten

Zoals besproken bij doelstelling en werkwijze is het project aanzienlijk eerder gestopt dan de bedoeling was. Dat had toch gevolg dat tussentijdse projectresultaten niet verder doorontwikkeld konden worden. Desondanks is duidelijk geworden dat ook bij een doorstart het verzamelen van relevante data een punt van aandacht gebleven zou zijn. Voor het (geautomatiseerd) krijgen van inzicht in oorzaak-gevolg relaties van falen is een *nauwkeurige* en *uniforme* registratie van falen van netwerk componenten van belang. De verzamelde informatie moet niet alleen door mensen gelezen en begrepen kunnen worden, maar ook door computer algoritmes kunnen worden ingelezen. Hier ligt zeker nog een uitdaging.

Ook moet er meer inzicht komen in daadwerkelijke *belasting* van netwerk componenten op verschillende momenten in de tijd, om een relatie te kunnen vinden tussen wat er op het netwerk gebeurt en hoe netwerk componenten daar wel/of niet op reageren in de loop van de tijd.

3.4 Perspectief toepassing

Wanneer er meer data over belasting en falen van het netwerk op uniforme en nauwkeurige manier verzameld kan worden, dan ontstaat de situatie dat asset management in het laagspanningsnetwerk structureel ondersteund kan worden door ICT gebaseerde systemen die overzicht scheppen en inzicht opleveren in de complexiteit van degradatie van componenten in een laagspanningsnetwerk. Daarvoor zal dan wel eerst meer ervaring moeten worden opgebouwd in het verwerking van de data, zoals dat in dit project was beoogd.

4 BIJDRAGE AAN DOELSTELLINGEN REGELING

In het vorige hoofdstuk is een beschrijving gegeven van de alsnog behaalde resultaten, de knelpunten en het perspectief voor toepassing van diezelfde resultaten. In dit hoofdstuk wordt op hoofdlijnen gekeken in hoeverre deze resultaten bijdragen aan de doelstellingen van de regeling (o.a. duurzame energiehuishouding, versterking van de kennispositie) met betrekking tot programmalijn 4¹⁹.

4.1 Concepten en tools voor (her)ontwerp van hybride energie-infrastructuur (lijn 4a)

De beschrijving van de deellijn is door het project geparafraseerd.

4.1.1 Beschrijving deellijn

Door het stimuleren van (decentrale opwek door) windmolens en PV en het minder aantrekkelijk maken van gas, zal het gebruik van elektriciteit als energiedrager waarschijnlijk sterk gaan toenemen. Dat betekent naast transitie in energieproductie en gebruik ook een transitie in de energie-infrastructuur. Het elektriciteitsnet is niet ontworpen met de gedachte om zowel verwarming van huizen, mobiliteit en vermogen voor huishoudelijke apparatuur te leveren. **Voor die transitie van de infrastructuur zijn er nieuwe concepten nodig** (e.g. 'hoe blijft er balans op het net bij decentrale aanbod') **en ook gereedschap/tools** voor de planning van ontwikkelingen in de (lokale) energie-infrastructuur. De tooling moet helpen bij een reeks uitdagingen, zoals het aanpassen van netten, de (lokale) keuze voor gelijkstroom (DC) en/of het traditionele wisselstroom (AC), vergroten van de energiebesparing, meer duurzame opwekking en/of opslag (warmteopslag, elektrisch vervoer) en systeem integratie met hybride netten.

Gebruikers zouden met behulp van de tools een beter inzicht moeten krijgen in zowel de optimalisatie *van* en een transitie *naar* energie-infrastructuren, waar lokaal en duurzaam aanbod grotere rol speelt dan nu. Dat betekent ook inzicht in oorzaak-gevolg relaties bij veranderingen in planning en systeemkeuzes.

4.1.2 Gerealiseerde concrete bijdrage

De web-based analyse omgeving is een tool die data analyse experts, ondersteund door ICT experts, kunnen gebruiken in samenwerking met asset management experts. Het neemt de experts veel werk uit handen wat betreft programmeren. De omgeving moet echter worden voorzien van een extra abstractie laag zodat asset management experts niet meer de

¹⁹ <https://www.topsectorenergie.nl/urban-energy/innovatieprogramma/programmalijn-4>

assistentie van data analyse experts nodig hebben en de ICT experts niet meer nodig zijn voor het toevoegen van nieuwe analyses.

4.2 Monitoring en control van energienetten (lijn 4b)

De beschrijving van de deellijn is door het project geparafraseerd.

4.2.1 Beschrijving lijn

Door de groei van afhankelijkheid van elektriciteit wordt het steeds belangrijker om te beschikken over sensoren in de elektriciteitsnetten. Voor het kunnen uitvoeren van optimale investeringen en het verlagen van operationele kosten is het namelijk van belang dat netbeheerders zich meer gaan richten op een meer toestandsafhankelijke bedrijfsvoering. Voor een inschatting van de toekomst moeten netbeheerders gebruik gaan maken van modellen die een verwachting kunnen opleveren op basis van de (in het verleden) waargenomen toestand. Voor het beperken van de effecten van storingen is een beter en sneller overzicht van de huidige en verwachte toestand nodig. Patroonherkenning op basis conditiemetingen kunnen een rol gaan spelen in de analyse. Op de langere termijn kunnen (potentiële) problemen in de energie-infrastructuur voortijdig worden gecorrigeerd.

4.2.2 Gerealiseerde concrete bijdrage

Met het opleveren van de web-based analyse omgeving heeft het project laten zien dat asset (management) en ICT-experts samen met behulp van moderne open source informatie en communicatie technologie bestaande datasets kunnen verkennen en ook kunnen combineren. Daarmee ligt er een basis voor het maken van nieuwe modellen voor asset management. Uitwerking van de resultaten is nodig om de analyse volledig geautomatiseerd te laten plaatsvinden, zonder dat er experts op ICT-gebied nodig zijn.

Uit het onderzoek is tevens gebleken dat data/informatie over de belasting van het laagspanningsnetwerk in de praktijk nog schaars is. Data uit de slimme meter zou de onzekerheid over belasting kunnen reduceren, maar dit blijft een beperking omdat een maandelijks uitlezing nog steeds een aggregaat is. Daarnaast telt ook privacy zwaar: data over elektriciteitsgebruik in een woning is nauw gerelateerd aan het gedrag van de bewoners.

Ook is er behoefte aan data/informatie over belasting in het netwerk zelf, niet alleen aan de eindpunten. Het project heeft zich in de korte looptijd daarom beperkt tot het bekijken van jaargemiddelden van postcode 6 gebieden (in de open data set van kleinverbruiksgegevens van Enexis). Deze data/informatie was ten tijde van het project amper verkrijgbaar.

De hoeveelheid beschikbare data/informatie over belasting belemmert het beter inzicht krijgen in netwerk belasting als een factor in de degradatie van laagspanningsnetten. Met de verdere elektrificatie op de nabije horizon (verwarming, mobiliteit, etc.) is meer data/informatie nodig om dit te bepalen. In het project zijn daar ideeën over ontwikkeld, maar deze vereisen meer uitwerking.

4.3 Informatie- en data management (lijn 4e)

De beschrijving van de deellijn is door het project geparafraseerd.

4.3.1 Beschrijving lijn

Voor het kunnen uitvoeren van de transitie in gebruik van andere energiedragers op een aangepaste en verbeterde energie infrastructuur zijn ICT platformen en informatiesystemen nodig. Dat zijn o.a slimme meter datamanagement systemen en software voor analyse van de energie-infrastructuur. Met de data en informatie die deze systemen opleveren zou het beheer en de bedrijfsvoering van een flexibele energie-infrastructuur en van de energieregelsystemen en –diensten volgens programmalijn 5 gefaciliteerd moeten worden.

4.3.2 Gerealiseerde concrete bijdrage

Het project heeft zich beperkt tot het ontwikkelen van tools en scripts om datasets te kunnen inlezen. Deze zullen in de toekomst nodig zijn om de systemen voor geautomatiseerd asset management en operationeel beheer te voeden. Daarbij is (near)real-time beschikbaarheid nog onderbelicht gebleven, omdat de frequentie van verversing van de datasets niet in de buurt komt.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden enkele conclusies getrokken met betrekking tot het project voor zover uitgevoerd. Op basis daarvan worden enkele aanbevelingen gedaan.

5.1 Conclusies

- 1 Het verkrijgen van datasets die noodzakelijke/nuttige data leken te bevatten was gedurende de verkorte looptijd van dit project nog een kwestie van 'handwerk'. Een onderzoeker moest beschrijven wat voor type data er nodig was en dit werd in de vorm van bestanden (Shapefiles) opgeleverd. Implementatie van de uitkomsten van het TKI project Linked Energy Data²⁰ had hier uitkomst geboden. Helaas liepen deze projecten relatief gelijktijdig en werd TKI VEDI-LS te vroeg afgesloten.
- 2 Visuele analyse van een dataset (over een LS-net) in een Geografisch Informatie Systeem (GIS) door een mens kan wel degelijk inzichten opleveren, maar dit is nog lang geen geautomatiseerde analyse. Productieve visuele analyse leunt op de visuele verwerkingskracht van een mens, in combinatie met jaren ervaring in het domein. Dit schaalt slecht, met name met het oog op het verlies van expertise door vergrijzing.
- 3 Ook al zijn er datasets beschikbaar, dan nog liggen er grote uitdagingen in het zodanig koppelen dat computer programma's elementen uit de verschillende datasets aan elkaar kunnen relateren. Zonder die mogelijkheid kan er geen artificial intelligence of machine learning worden ingezet.
- 4 Inzet van een web-based analyse omgeving als Jupyter Notebook, met de scripttaal R (in combinatie met Docker technologie) maakt het eenvoudiger om op relatief hoog niveau datasets gerelateerd aan een LS-net te kunnen analyseren. Onderzoekers zijn minder tijd kwijt met het installeren en configureren van informatie- en communicatie technologie. Ze hebben meer tijd om zich te concentreren op de analyse zelf en worden ook gestimuleerd om hun analyses zodanig te documenteren dat andere onderzoekers snel lering kunnen trekken uit hun resultaten.

5.2 Aanbevelingen

- 1 Laat registratie van storingen en conditie van (onderdelen van) LS-netten meer gedetailleerd in ruimte (e.g. coördinaten op een netwerk topologie) en tijd (e.g. vaker) plaats vinden om faalmechanismen sneller door automatische analyse op te kunnen

²⁰ <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/linked-energy-data>

laten sporen. Het zorgvuldig registreren van storingen is daarbij een aandachtspunt vanwege de administratieve last op technisch personeel ('in het veld').

- 2 Uniformeer begrippen bij het beschrijven van aspecten als materiaal, componenten, etc.
- 3 Er is tijdens het project dermate veel kennis en ervaring opgebouwd dat er toch meer rendement behaald kan worden op de resultaten die zijn opgeleverd. Door bijvoorbeeld de resultaten te combineren met de uitkomsten van het project TKI Linked Energy Data, kan gewerkt worden aan een systeem waarin voor faalmechanismen relevante databronnen al semantisch gekoppeld zijn. Dit reduceert het werk voor onderzoekers (ook wel: 'data scientists'). Zij kunnen zich dan in een vervolgproject focussen op de automatische analyse van de databronnen voor het opbouwen van inzicht in faalmechanismen.

