

Technology for Distribution Area Situational Awareness (tDASA)

Status: definitief, 1 maart 2017

<u>Projectnummer:</u>	TKISG02009
<u>Regeling:</u>	TKI Smart Grids 2012
<u>Project partners :</u>	
1	Technische Universiteit Eindhoven
2	TNO
3	Enexis
4	Locamation
<u>Penvoerder:</u>	Locamation
<u>Looptijd:</u>	01.01.2013 – 31.12.2016
<u>Contact:</u>	frank@paulou.nl

Inhoudsopgave:

1	Inleiding.....	3
1.1	Probleem- en doelstelling	3
1.2	Samenvatting	4
2	Werkpakket Conditiebepaling.....	6
2.1	Werkwijze (conditiebepaling: TU/e).....	6
2.2	Resultaten conditiebepaling.....	6
2.2.1	Verkenning praktijk en materialen	6
2.2.2	Corrosie aluminium geleiders onder water.....	7
2.2.3	Falen polymeer geïsoleerde kabels door vochtindringing	8
2.2.4	Doorslaggedrag van beschadigde kabels	9
2.2.5	Hoogfrequent signaalpropagatie door LS-net	10
3	Werkpakket Waardenbepaling	12
3.1	Inleiding.....	12
3.1	Aanleiding.....	12
3.2	Doel en geplande resultaten	13
3.2	Behaalde resultaten	14
3.2.1	Value Network.....	14
3.2.2	Financieel-economisch model.....	17
4	Werkpakket Pilot testen	24
5	Discussie	25
5.1	Discussie conditiebepaling	25
5.2	Discussie waarde model	25
6	Conclusies en aanbevelingen.....	27
6.1	Conclusies.....	27
6.2	Aanbeveling 1.....	27
6.3	Aanbeveling 2.....	27
6.4	Aanbeveling 3.....	27
6.5	Aanbeveling 4.....	27
6.6	Aanbeveling 5.....	28
6.7	Aanbeveling 6.....	28
6.8	Aanbeveling 7.....	29
6.9	Aanbeveling 8.....	29
7	Uitvoering van het project.....	30
7.1	Problemen.....	30
7.2	Wijzigingen t.o.v. projectplan.....	30
7.3	Begroting	30
7.4	Kennisverspreiding	30
7.4.1	Tijdschriftpublicaties.....	31
7.4.2	Conferentiebijdragen.....	31
7.4.3	Anders.....	31
7.4.4	Proefschrift	31
7.4.5	Public Relations	32
8	Vervolg op tDASA.....	32

1 Inleiding

Het toekomstige elektriciteitsnet en de beheersing van distributie van elektriciteit is omgeven met vele onzekerheden. Door de energietransitie zal de toename van fluctuerende duurzame energiebronnen leiden tot een ander gebruik van het elektriciteitsnetwerk, waaronder het laagspanningsnet. De consumptie op het laagspanningsnet zal sterk veranderen en mogelijk ook toenemen. Ook zal daar meer opwekking gaan plaatsvinden. Het laagspanningsnet speelt daarom een cruciale rol bij de elektrificatie van de samenleving. De maatschappij wordt daarmee steeds afhankelijker van de conditie (lees: betrouwbaarheid) van het laagspanningsnet. Over de huidige conditie is echter weinig tot geen kennis. De netten liggen decennialang in de grond en er is op dit moment geen methode beschikbaar om de “technische toestand” of “restlevensduur” van laagspanningsnetten te bepalen. Het laagspanningsnet is daarnaast veel complexer dan bijvoorbeeld een hoogspanningsverbinding, door uitgebreide vertakkingen. Elke verandering in belasting veroorzaakt door verbruikers beïnvloeden de metingen en zullen uitgefilterd moeten worden.

Er is bij netbeheerders sterk behoefte aan een methode om boven de grond de toestand van het laagspanningsnet dat onder de grond ligt te kunnen bepalen. Want alleen door te meten kunnen netbeheerders weten wat de technische toestand oftewel restlevensduur van het laagspanningsnet is. Daarbij vormt onderhoud aan laagspanningsnetten een belangrijk deel van de kosten voor de netbeheerders. De reeds licht stijgende storingsfrequentie toont aan dat vervanging noodzakelijk is, de vraag is echter wanneer welk deel vervangen dient te worden.

Het tDASA-project richt zich op het ontwikkelen van een methodiek en technologie voor de conditiebepaling van het laagspanningsnet. De methodiek en technologie moeten bijdragen aan het op kosteneffectieve wijze vervangen van delen van het laagspanningsnet en zorgen voor een maximaal effect met betrekking tot de instandhouding en de verbetering van de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening. De innovativiteit is gelegen in het ontwikkelen van een methode om onderscheid te kunnen maken tussen fluctuaties als gevolg van veranderingen door 1) gebruik en 2) de conditie van het laagspanningsnet. Daarnaast is het bijbehorende waardenmodel innovatief. Met het model wordt inzicht verkregen in de verhouding tussen de kosten en de prestatie (qua dienstverlening) op basis van een accuraat beeld van de conditie. Met deze technologie en methodiek zal door verantwoord uitstel van investeringen op de kosten worden bespaard en zal een bijdrage worden geleverd aan het terugdringen van de uitvalsduur. De totale besparing zal al snel miljoenen euro's per jaar bedragen voor Nederland en voor Europa het veelvoudige daarvan.

1.1 Probleem- en doelstelling

Probleemstelling:

Wanneer dienen welke delen van het laagspanningsnet vervangen te worden, rekening houdend met kostenefficiëntie en de instandhouding en de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening?

Doelstelling:

Doel van dit project is het ontwikkelen van een methodiek en technologie voor de conditiebepaling van het laagspanningsnet. De methodiek en technologie moeten bijdragen aan het op kosteneffectieve wijze vervangen van delen van het laagspanningsnet. Hiermee wordt beoogd een maximaal effect te bereiken met betrekking tot de instandhouding en de verbetering van de betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening.

Het tDASA-project is opgezet om de technisch en economisch haalbare opties voor actief onderhoud van het laagspanningsnet te onderzoeken. Dit project is verdeeld in twee parallelle werkpakketten. Het derde werkpakket omvat het uitvoeren van veld testen en het mogelijk ontwikkelen van een proof-of-principle systeem.

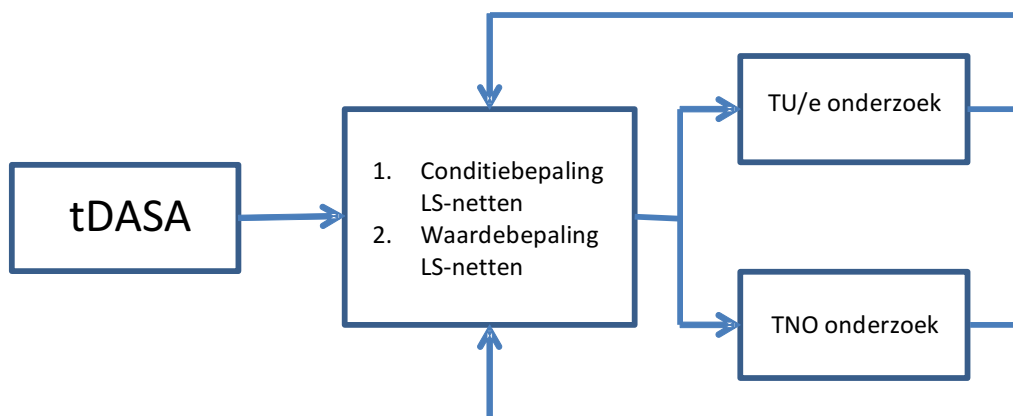
Het eerste werkpakket richt zich op methoden en technieken voor conditiebepaling van het laagspanning (LS) net. De aanpak heeft tot doel een beter inzicht te verkrijgen van faalmechanismen. Vanuit deze kennis is gepoogd opties te extraheren, die kunnen leiden tot effectieve conditiebepaling.

Het tweede werkpakket richt zich op het inzicht krijgen in de relatie tussen kosten en prestaties in termen van diensten op het gebied van beheer van het net.

Het derde werkpakket omvatte het werk om een bestaand meetsysteem van Locamation geschikt te maken voor veldtesten in het laagspanningsnet en het mogelijk ontwikkelen van een proof-of-principle systeem gebaseerd op de resultaten van het werkpakket conditiebepaling.

1.2 Samenvatting

Het tDASA project is gebouwd op twee pijlers, namelijk conditiebepaling van laagspanningsnetten uitgevoerd aan de Technische Universiteit Eindhoven en waardebepaling LS-netten uitgevoerd bij TNO, figuur 1.



Figuur 1: Verdeling werkpakketten

De eerste pijler richt zich op het begrijpen van processen die bijdragen aan veroudering van het LS net. Corrosie van geleider materiaal en ontladingsactiviteit (dry-band arcing) blijken daarin belangrijk. Beide processen treden met name op wanneer factoren als temperatuur, vochtgehalte en –geleidbaarheid, lekstroom, potentiaalverschil, etc. in een bepaalde bandbreedte bevinden. Voor beide processen is een initiële beschadiging en het effect van vochtindringing essentieel. De tweede pijler stelt zich tot doel om beschikbare informatie over het laagspanningsnet te vertalen naar een economisch model voor onderhoud aan het net. Informatie vanuit conditiebepaling kan als input dienen voor de waardebepaling.

Voor diagnosticeren van veroudering zijn twee wegen bewandeld. Meetbare signalen die optreden gedurende de veroudering zijn gekarakteriseerd met een laboratoriumopstelling. Daarnaast is gekeken naar signalen die ontstaan wanneer degradatie leidt tot een fout. Deze fouten blijken vaak kortstondig aanwezig te zijn, te kort voor het aanspreken van beveiligingen. Er is aangetoond dat zulke intermitterende fouten over lange tijd zich kunnen blijven herhalen.

Om de haalbaarheid te onderzoeken op bovengenoemde processen voor monitoring te gebruiken, is de voortplanting van signalen door het laagspanningsnet gemodelleerd. Vanuit gesimuleerde, en experimenteel bevestigde, componentmodellen zijn vereenvoudigd netwerkelementen gesimuleerd die eveneens experimenteel getest. Vanuit deze resultaten is een inschatting gedestilleerd van de detecteerbaarheid. Het blijkt, vooral vanwege de sterke vertakingsgraad van het laagspanningsnet, dat meten van signalen voortkomend uit de degradatieprocessen zelf niet haalbaar is. Een mogelijk

werkbare optie is om een diagnostiek te baseren op karakteristieken van intermitterende signalen optredend bij kortstondige fouten. Deze weg is verder geëxploreerd met laboratoriumexperimenten en via een pilot met beschikbare sensoren (SASensor, Locamation) in een aantal onderstations van Enexis.

De pilot bevestigt het optreden van kortstondige stroompieken, vaak met golfvormen vergelijkbaar met die verkregen uit de laboratoriumexperimenten. Echter, de hoeveelheid beschikbare data is vooralsnog onvoldoende om een correlatie te leggen tussen het type fout en aantal/frequentie van gedetecteerde signalen, om nu al als input te fungeren voor het waardebepalingsmodel.

2 Werkpakket Conditiebepaling

Uitvoerder: Technische Universiteit Eindhoven

- Promovendus: Ir. Bart Kruizinga (TU/e)
- Prof.Dr.Ir. Fred Steennis (TU/e)
- Dr. Peter Wouters (TU/e)

2.1 Werkwijze (conditiebepaling: TU/e)

Als uitgangspunt voor het onderzoek wordt de praktische situatie van het laagspanningsnet (LS net) en de huidige kennis over de faalmechanismen genomen. De huidige stand van kennis volstaat niet om rechtstreeks bestaande methodieken, bijvoorbeeld voor middenspanning en hoogspanning direct te vertalen. Daarom is een nieuwe aanpak vereist. In plaats van een 'black box'-aanpak, is gepoogd de benadering baseren op een begrip van de onderliggende verschijnselen.

1. Door middel van interviews met netbeheerders, bezoeken aan verschillende sites en statistieken van netbeheerders is de beschikbare kennis over het LS net en het onderhoud daarvan verzameld.
2. Uitgaande van bovenstaande kennis, zijn potentiële degradatie mechanismen verder bestudeerd. Deze studies helpen bij het beter begrijpen van wat er ondergronds gebeurt, maar staan tevens toe om opties te identificeren voor meetbare signalen die verband houden met degradatie van componenten in het LS net en die kunnen worden toegepast om deze op te sporen. Een laboratoriumopstelling is gerealiseerd om onder gecontroleerde condities degradatie te bestuderen.
3. Een indicator heeft alleen zin als het signaal vanaf het punt van ontstaan tot het punt van de observatie, bijvoorbeeld een onderstation, reikt. Begrip van transmissie van elektrische signalen door het LV net is vereist. Een laboratoriumopstelling is gerealiseerd om typische foutsignalen te karakteriseren. Daarnaast is met een pilot in het Enexis LS net een groot aantal verbindingen onderzocht op het voorkomen van deze signalen. Een theoretische studie, ondersteund met metingen aan specifieke netwerkcomponenten, is uitgevoerd om de haalbaarheid van detectie van signalen uit het net te verifiëren.

2.2 Resultaten conditiebepaling

De volledige beschrijving van de bevindingen zijn vervat in de vorm van een dissertatie (zie paragraaf 7.4), welke op 24 april 2017 aan de Technische universiteit Eindhoven zal worden verdedigd. De onderstaande paragraaf geeft een zeer summier overzicht van enkele resultaten en bevindingen, zoals zal zijn beschreven in de diverse proefschrift hoofdstukken.

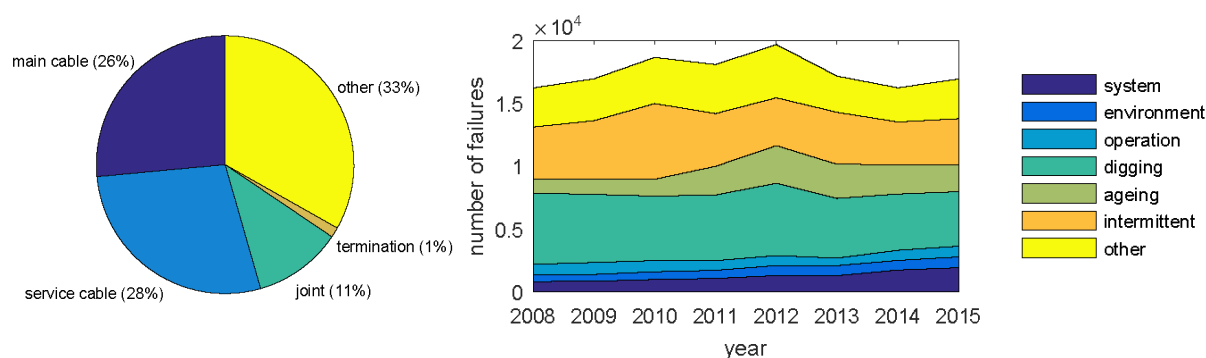
2.2.1 Verkenning praktijk en materialen

Er is een praktisch onderzoek gedaan naar de praktijk en gebruikte materialen. Dit laat een grote variatie in keuze van materialen en aansluitmethodes zien, wat begrijpelijk is vanuit de verdeeldheid en historische opbouw van dit netwerk. Figuur 2 geeft een beknopt overzicht van de belangrijkste kabeltypes en de gebruikte materialen (OIP, PVC, XLPE, bovenste rij). Verschillende technieken worden toegepast om kabels te verbinden of aftakkingen te maken (middelste rij). Uiteindelijk eindigen kabels in onderstations, die ook weer in diverse uitvoeringen kunnen voorkomen. Al deze componenten vertonen hun specifieke verouderingsverschijnselen. In termen van diagnostiek is het van belang om de signaalpropagatie karakteristieken van betrokken componenten door het LS net te kennen.



Figuur 2: Voorbeelden van toegepaste kabels, moffen en LV onderstations

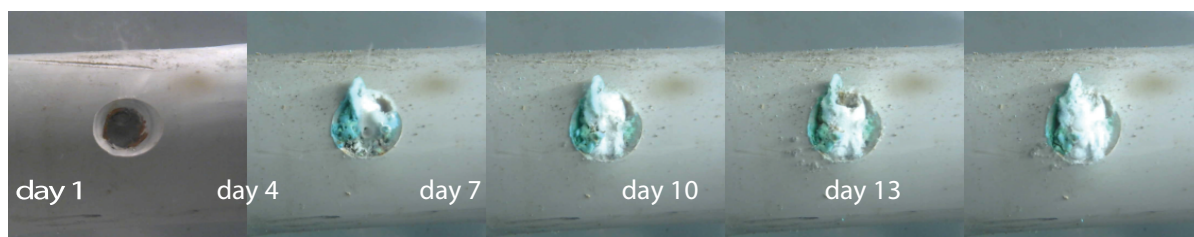
Statistiek en ervaring geven aan, dat kabels een intrinsiek lange levensduur hebben en dat veel storingen voortkomen uit eerdere beschadigingen. Enkele kengegevens betreffende de faalkans per component en de ontwikkeling met de tijd zijn in figuur 3 aangegeven. Volgens de statistieken is ongeveer de helft van het falen toe te schrijven aan de kabels zelf. Circa 11% wordt toegeschreven aan de moffen en 1% aan eindsluitingen. Een groot deel wordt gekarakteriseerd als "other". Over de periode 2008-2012 is er een gestage stijging van 21% in het aantal storingen. Echter daarna is er een lichte daling opgetreden (mogelijk wordt graafwerk steeds zorgvuldiger verricht zodat hierbij minder kabelschade ontstaat). Het aandeel dat aan veroudering wordt toegeschreven neemt gestaag toe over de gehele periode waarover data beschikbaar is. Gezien de lage elektrische veldsterkte waaraan LS kabels onderhevig zijn, is falen door veroudering alleen te verwachten daar waar eerder beschadiging is opgetreden (bijvoorbeeld bij graafwerkzaamheden). Daarom zijn met name degradatieverschijnselen onderzocht onder invloed van vochtindringing op beschadigde plaatsen.



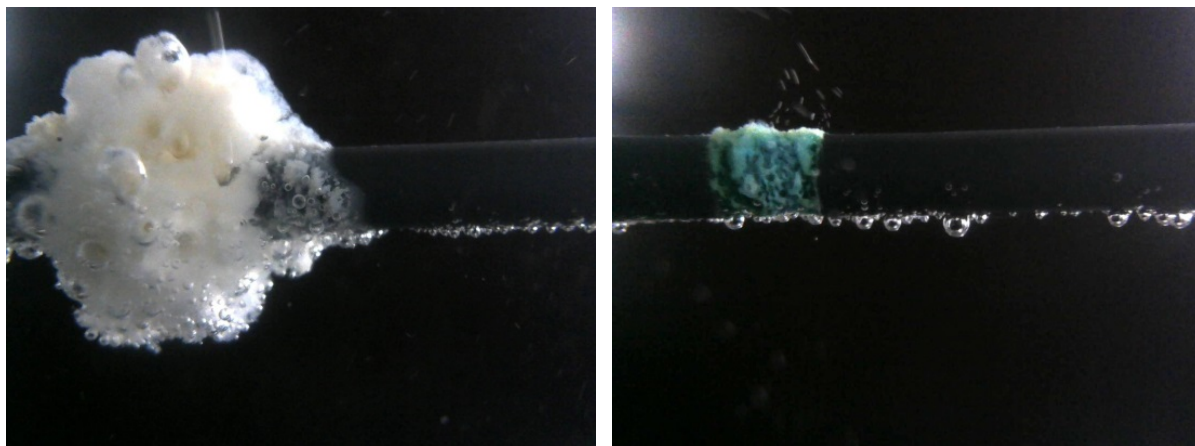
Figuur 3: Faalstatistiek per component en ontwikkeling als functie van tijd.

2.2.2 Corrosie aluminium geleiders onder water

Als een aluminiumkabel volledig onder water staat en de geleider bloot ligt, kan een lekstroom naar de omgeving of een andere geleider zorgen voor versnelde corrosie. Dit is een chemisch verschijnsel dat relatief weinig aandacht heeft gekregen in corrosiestudies. Er zijn experimenten uitgevoerd met beschadigde kabeldelen en dunne draden om zo een praktisch inzicht te krijgen in dit mechanisme. Enkele resultaten voor aluminiumcorrosie als over enkele dagen zijn in figuur 4 getoond.



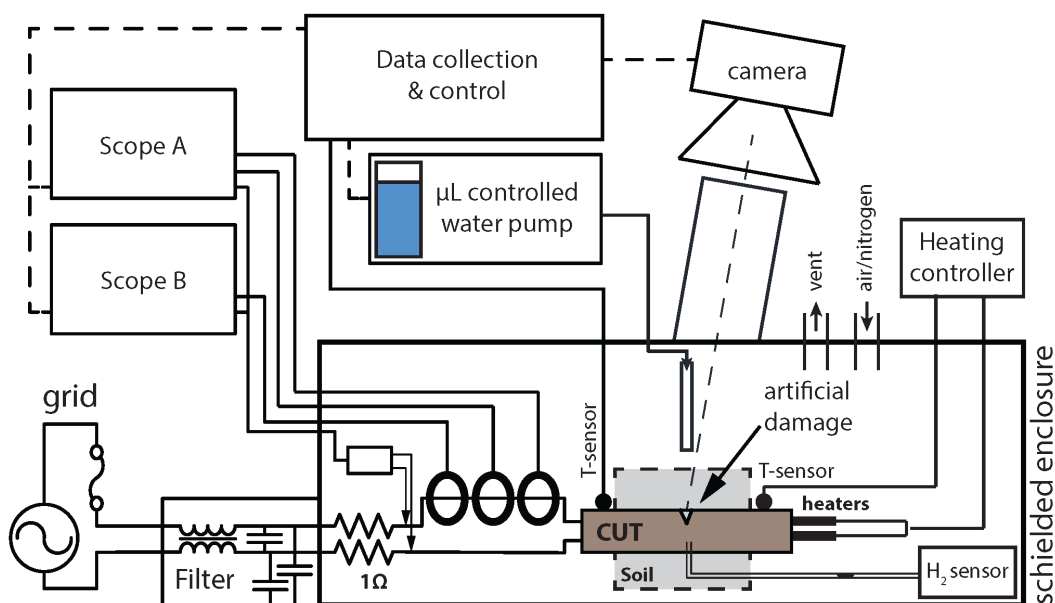
Figuur 4a: Faalstatistiek per component en ontwikkeling als functie van tijd.



Figuur 4b: Corrosie experiment aan aluminium- en aan kopergeleider.

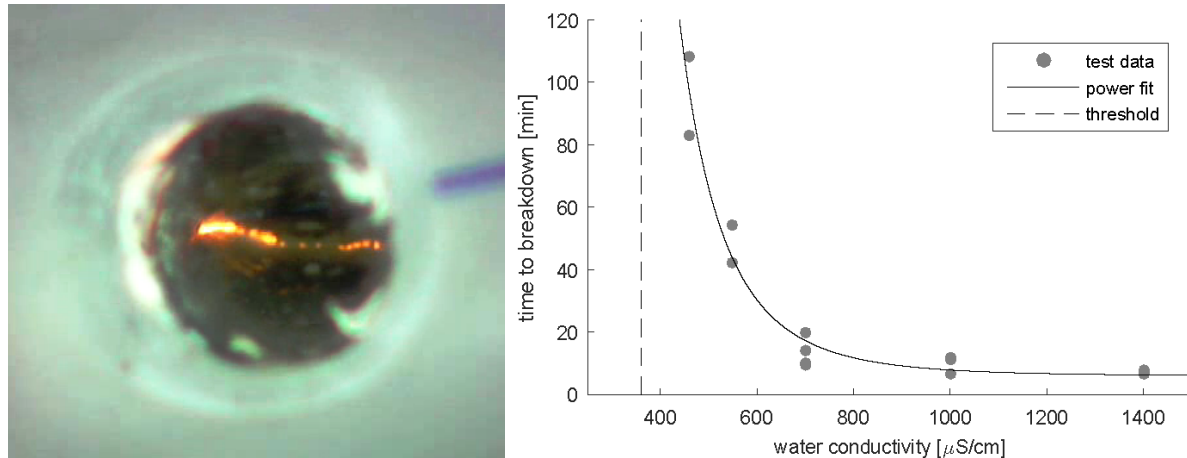
Dit laat zien, dat een dunne aluminium geleider in een tijd van een paar dagen doorbroken kan worden, terwijl een vergelijkbare kopergeleider onder dezelfde omstandigheden intact blijft. De snelheid van corrosie blijkt afhankelijk te zijn van de temperatuur, of er ontladingen in de corrosie laag voorkomen en de hoeveelheid lekstroom. Hoewel fundamentele kennis van dit mechanisme nog beperkt blijft, is er nu meer inzicht in het gevaar voor ondergrondse elektriciteitssystemen.

2.2.3 Falen polymeer geïsoleerde kabels door vochtindringing



Figuur 5: Opstelling om veroudering onder gecontroleerde vochttoediening te bestuderen.

Periodieke blootstelling van water laat kleine ontledingen zien op de oppervlakte van kunststof isolatielagen in beschadigde kabels. Dit mechanisme en enkele afhankelijkheden zijn verkend met behulp van experimenten (opstelling, zie figuur 5) op beschadigde kabeldelen, zie figuur 6. Het mechanisme kan herkend worden als 'dry-band' ontledingen, een proces wat bekend is van hoogspanningsisolatoren voor buitenopstellingen.

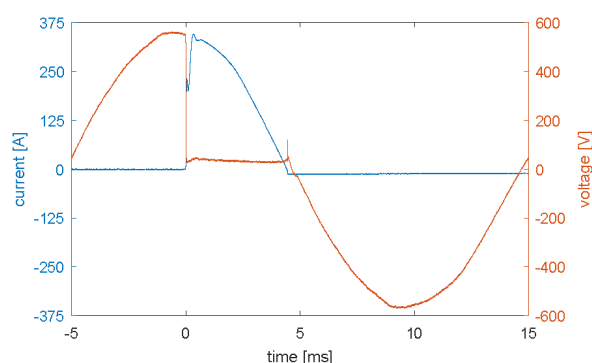


Figuur 6: Dry-band arcing (links) en duur tot falen als functie van geleidbaarheid water (rechts).

Doordat ontledingen het kunststof lokaal verhitten, vindt er ontleding van het materiaal plaats. Dit leidt tot langzame verslechtering van het isolatiemateriaal dat uiteindelijk tot een doorslag kan leiden. Onder andere het type isolatiemateriaal, de watergeleidbaarheid en de kabeltemperatuur hebben een invloed op de snelheid van degradatie. De praktische omstandigheden hebben een sterke invloed op de snelheid van degradatie, maar typische ondergrondse condities ondersteunen dit mechanisme wel. Er is een begrip gevormd van dit fenomeen, waarmee bepaalde afhankelijkheden met storingen, zoals regenval, verklaard kunnen worden.

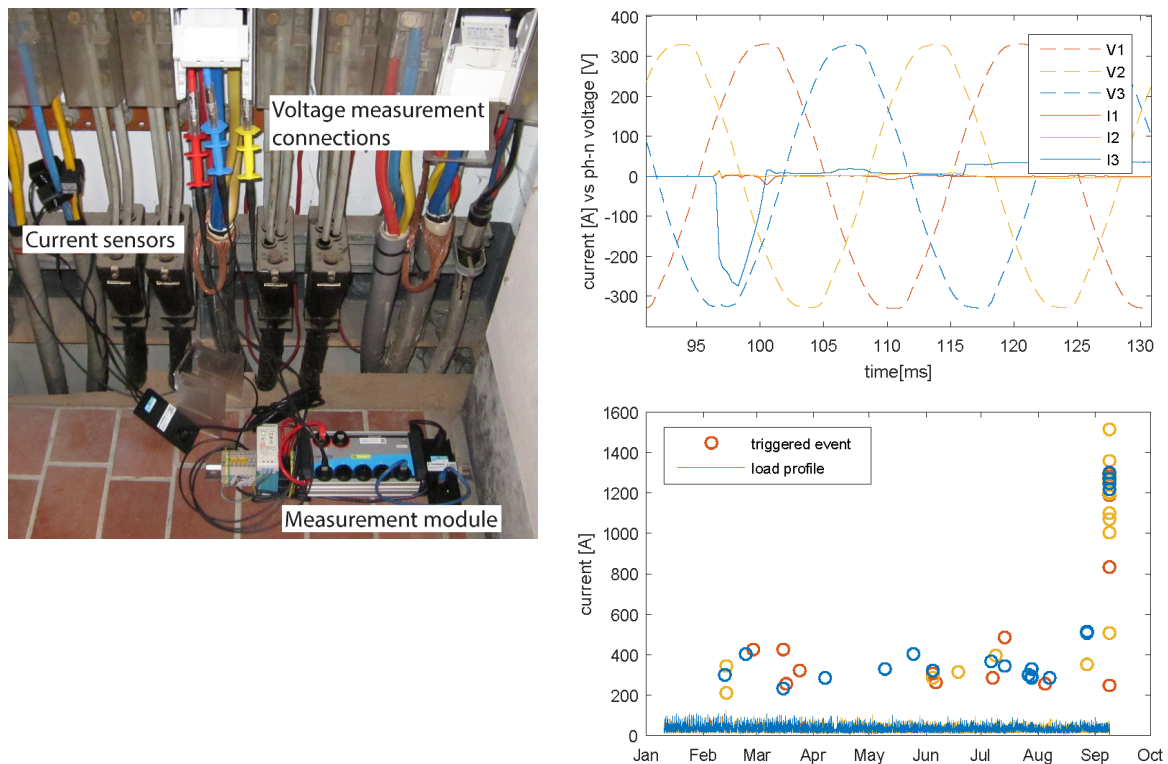
2.2.4 Doorslaggedrag van beschadigde kabels

Als er een doorslag voorkomt kan de vonk binnen enkele milliseconden uitdoven, terwijl beveiligingssystemen zo ingesteld zijn dat een kortsluiting tot vijf seconden kan bestaan. Daarom kunnen vele sluimerende kortsluitingen voorkomen totdat er een storing optreedt. In het laboratorium zijn dit gedrag en de signalen, die daarbij in het netwerk te verwachten zijn, bestudeerd.



Figuur 7: Kortstondige kortsluiting, dovend na nuldoorgang (links); admitantie karakteristiek van boog gedurende herhaalde doorslagen in laboratoriumtest (rechts).

Typische signalen laten een stroom zien die start rond de piekwaarde van de spanning en dicht bij de spanning nul-doorgang uitdooft, figuur 7. Om te onderzoeken of dit in de praktijk gebruikt kan worden om beschadigingen in kabels te detecteren, zijn sensoren in het LS net geplaatst. In totaal zijn 23 kabels bemeten voor een termijn tot 9 maanden. In 10 gevallen zijn de typische stroomsignalen waargenomen, waarvan in 5 gevallen uiteindelijk een stroomstoring is opgetreden. Bij alle storingen waarbij enkele maanden is gemeten, waren typische signalen voorafgaand aan de storing zichtbaar. Hoewel er grote variatie bestaat in het aantal typische signalen en de termijn tot storing, geeft dit wel aan dat dergelijke signalen gebruikt kunnen worden als indicatie voor een aankomend falen. Een voorbeeld is gegeven in figuur 8; een totaal overzicht staat in paragraaf 4.

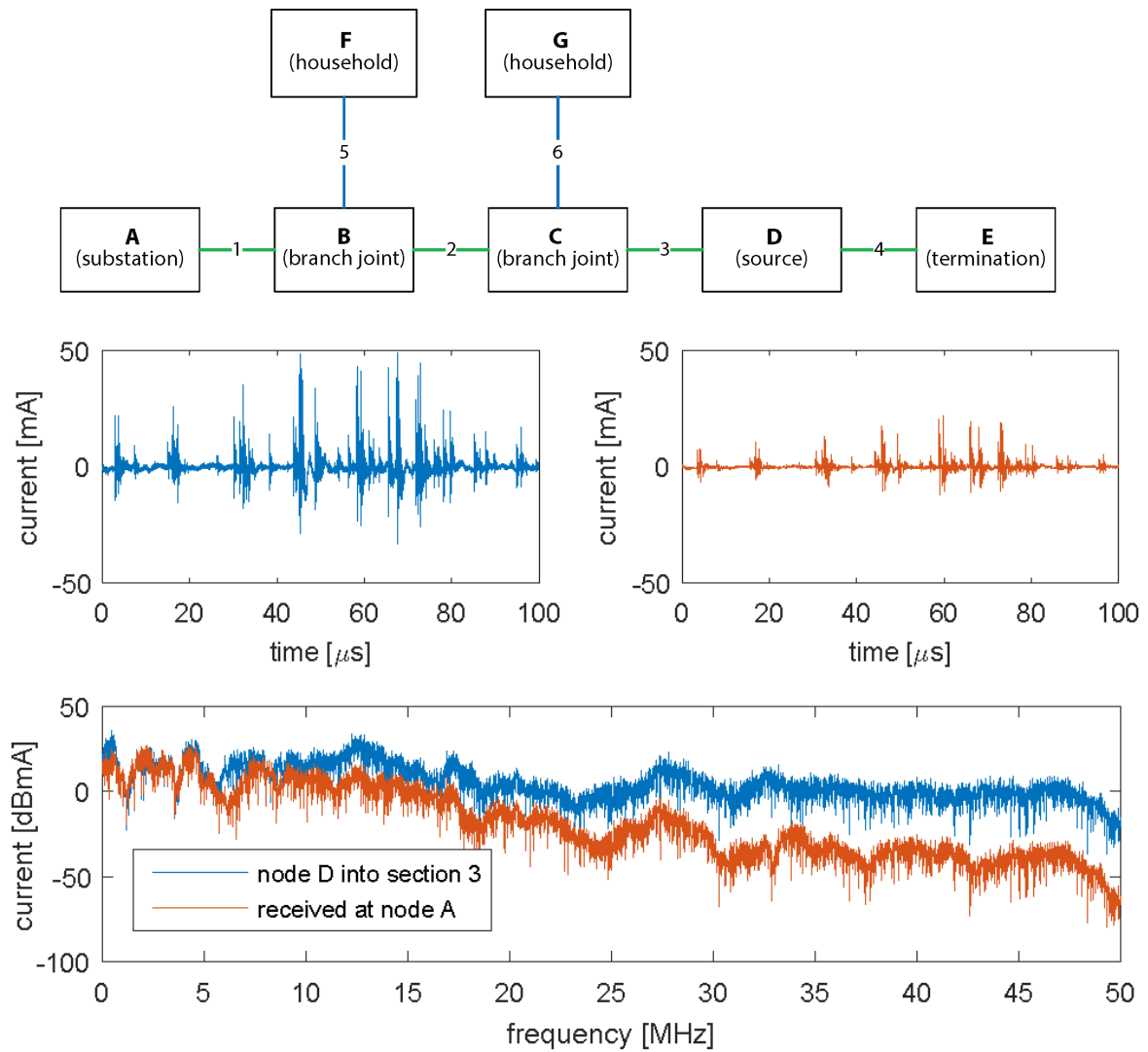


Figuur 8: Onderstation met geïnstalleerde SASensor (Locamation, links); geregistreeerde kortstondige kortsluitpiek (rechtsboven) en overzicht alle events tot aan falen (rechtsonder).

2.2.5 Hoogfrequent signaalpropagatie door LS-net

Uit kennis voor de praktijk bij hogere spanningsniveaus, wordt het meten van kleine ontladingen in de kabel sterk beïnvloed door de hoogfrequent transmissie-eigenschappen van het systeem. Typische LS componenten, zoals getoond in figuur 2, zijn gemodelleerd en gemeten in het frequentiebereik van 10 kHz tot 50 MHz. De hoogfrequent transmissie-eigenschappen, inclusief de effecten van het verbinden van verschillende componenten en transmissie door verschillende modi, zijn bestudeerd door het simuleren van netwerk secties, bijvoorbeeld als getoond in figuur 9.

Voornamelijk de aftakkingen naar huishoudens zorgen voor sterke verzwakking van hoogfrequent signalen. Een simulatie van een signaal zoals gemeten bij kleine ontladingen in het laboratorium, laat zien dat het waarschijnlijk onmogelijk is om zulke signalen in het onderstation te meten. De focus voor conditiebepaling moet zich in eerste instantie richten op het gedrag van intermitterende foutsignalen, zoals eerder genoemd.



Figuur 9: Figuur 8 Boven: gesimuleerd netwerk met signaal vanwege kabeldegradatie in segment D en respons gedetecteerd in onderstation (A); midden injectie signaal (links) en respons (rechts in tijddomein; Onder: frequentiespectra van beide signalen.

3 Werkpakket Waardenbepaling

Uitvoerder: TNO

- Drs. Kristian Helmholt (TNO)
- Dr. Mirjam Groote Schaarsberg (TNO)
- Dr. Khalil El Bakari (TNO)

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk levert TNO – als verantwoordelijke van werkpakket waardebeoordeling – een eindverslag op van het onderzoek gedaan in de deze werkstroom van het project tDASA. Dit richtte zich op het verkrijgen van modelmatig inzicht in de verhoudingen tussen kosten en prestatie qua dienstverlening op het gebied van netbeheer (waardenbepaling), gegeven de mogelijkheid tot een betere conditiebepaling van het netwerk. Het is de bedoeling om met dit inzicht resultaten uit de eerste werkstroom (conditiebepaling netwerk) te kunnen beoordelen in termen van toegevoegde waarde voor de netbeheerder.

Om dit document zoveel mogelijk in zichzelf leesbaar te houden zijn her en der stukken uit het oorspronkelijke projectplan overgenomen.

3.1 Aanleiding

De aanleiding tot het definiëren van dit werkpakket ligt in het kunnen reduceren van onzekerheid over de verhouding tussen kosten en baten van een innovatie in de context van laagspanningsnetten.

De kosten van gelijktijdige veranderingen en verbeteringen van het laagspannings zijn al gauw hoog. Dat komt omdat een laagspanningsnet grotendeels ondergronds ligt, het een nationale geografische schaal kent en fijnmazig is gedistribueerd : zo'n beetje elk pand in Nederland kent een elektriciteitsaansluiting. Het aanbrengen van fysieke verandering in het laagspanningsnet (e.g. reparatie of vervanging van onderdelen) gaat gepaard met hoge kosten vooral als het gaat om het vervangen van kabels waar graafwerkzaamheden nodig zijn. Dit zijn niet alleen kosten voor de netbeheerder, maar ook voor de partijen die hinder ondervinden van die graafwerkzaamheden.

De schaal van het laagspanningsnet maakt derhalve ook het inzetten van sensoren voor conditiebepaling (werkstroom 1) al gauw een kostbare aangelegenheid. Als bijvoorbeeld bij elk pand een sensor wordt aangebracht, dan zullen er miljoenen sensoren moeten worden aangebracht. Stel dat een sensor 100 euro kost, dan is er sprake van 100-en miljoenen euro's aan sensorkosten. Dan zijn kosten voor het plaatsen, beheren, uitlezen, opslaan, verwerken naar informatie en presenteren van de conditie nog niet eens meegenomen. De opgeleverde informatie moet dan al gauw 100 miljoenen euro's waard zijn.

Werkpakket waardebeoordeling moest zich gaan richten op de vraag hoe je de waarde van die informatie over de conditie zou kunnen bepalen. Met een beter beeld van die waarde zouden netbeheerders beter kunnen inschatten welke kosten zij zouden mogen gaan maken voor verbeteringen in de conditiebepaling van het netwerk. De waardebeoordeling zou moeten plaats vinden aan de hand van (mathematische) modellen. Met een model zou de financieel-economische impact van het toevoegen van meer en/of betere informatie moeten kunnen worden ingeschat.

3.2 Doel en geplande resultaten

Volgens het oorspronkelijke projectplan (blz. 8) uit oktober 2012 zou TNO het volgende concreet bijdragen in het project:

“TNO ontwikkelt in samenwerking met de tDASA projectpartners modellen waarmee de (toegevoegde) waarde kan worden bepaald van het gebruiken van geanalyseerde sensor data (naar informatie) voor netbeheertaken. De nadruk ligt daarbij op het creëren van een beeld van de conditie van het laagspanningsnet. Dit beeld kan vervolgens gebruikt worden om netbeheer zo efficiënt mogelijk uit te voeren, vanuit de optiek van kosten, betrouwbaarheid en veiligheid. “

De rationale hiervoor was dat TNO zich van nature richt op het bepalen van de toepasbaarheid van bepaalde technologie. Daarvoor heeft TNO methodes ontwikkeld en wil deze ook blijven ontwikkelen. De resultaten van het project - modellen voor waardenbepaling en daarmee uiteindelijk efficiënter netbeheer - zouden volgens het eerder genoemde projectplan in een bepaalde context moeten worden ingezet

“Voor TNO staat een goed project resultaat in de eerste plaats gelijk aan het maatschappelijk maximaal laten renderen van de door haar opgebouwde kennis door deze kennis toe te passen bij bedrijven en overheid. In het kader van ‘vraagsturing’ bespreekt TNO daarom regelmatig met haar maatschappelijke partners en klanten (overheden en bedrijfsleven) naar welke kennis behoefte is. Voor TNO geldt dat de in dit project opgedane kennis wordt toegevoegd aan haar kennisbasis. Deze kennis zal worden ingezet in innovaties in o.a. het domein van elektriciteitsnetwerken. Op deze wijze gaat TNO zo effectief mogelijk om met het door de Nederlandse overheid geïnvesteerde geld. In dit specifieke project zal TNO de ontwikkelde modellen gebruiken om voor haar partners en klanten:

- 1. desinvesteringen in netwerken (‘aanleg & onderhoud’) te vermijden;*
- 2. investeringen in (technologische) sensoriek en analyse componenten op waarde te schatten;*
- 3. gedane investeringen, zowel in netwerken als sensoriek en analyse componenten beter uit te nutten.*

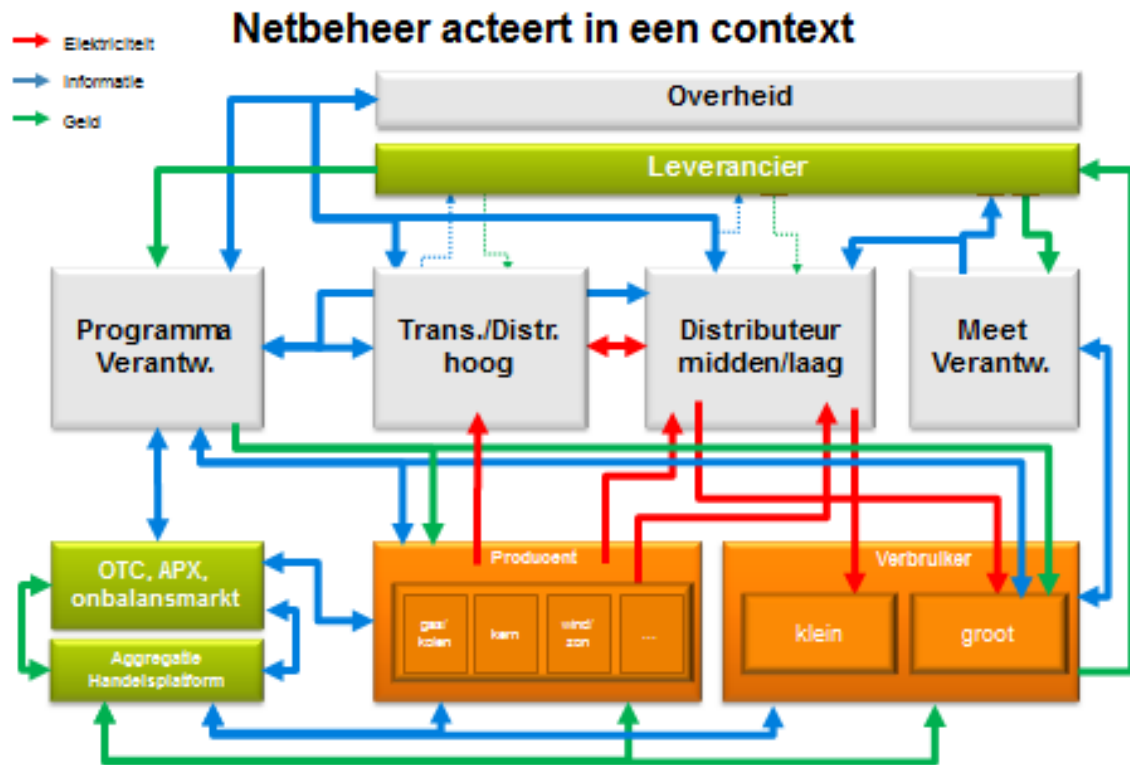
Hierbij ligt het accent voor TNO niet op financieel-economische aspecten van de levensduur van netwerkcomponenten, maar op het reduceren van onzekerheid in geval van het toepassen van nieuwe technologieën en/of de introductie van nieuwe marktmodellen die kunnen leiden tot nieuwe oplossingsrichtingen”.

In het projectplan zijn een aantal resultaten gedefinieerd om de voortgang van de opbouw van toepasbare kennis tastbaar te maken.

Nr.	Beoogde resultaten	Uitvoer	Datum
D3.1	Value network (versie 1) voor een overzicht van waarestromen tussen partijen die energy services afnemen en waarestromen binnen een netbeheerder.	TNO i.s.m Enexis	30 juni 2013
D3.2	Financieel-economisch model (versie 1) en Value network (versie 2)	TNO i.s.m Enexis	30 juni 2014
D3.3	Financieel-economisch model (versie 2) en Value network (versie 3)	TNO i.s.m Enexis en TU/e	30 juni 2015
D3.4	Financieel-economisch model en Value network (eindversies)	TNO i.s.m Enexis en TU/e	30 juni 2016

3.2 Behaalde resultaten

In dit onderdeel van het eindverslag worden omwille van compactheid de eindversies van het Value Network en het financieel-economisch model beschreven (Deliverable: D3.4). De beschrijving van D3.1, D3.2 en D3.3 zijn daarbij inbegrepen. Daarbij wordt op hoofdlijnen aangegeven hoe deze resultaten tot stand zijn gekomen, als basis voor de evaluatie in het volgende onderdeel.



Figuur 10 Extern waardeweb netbeheerder

3.2.1 Value Network

Een bruikbaar financieel-economisch model voor een netbeheerder kan alleen maar worden opgesteld als helder is in welke context een netbeheerder opereert en welke taken en/of processen er zijn binnen een netbeheerder. Alleen dan kan de impact van het toevoegen of het verbeteren van informatie over het laagspanningsnet ('conditiebepaling') worden ingeschat. Binnen WP3 is daarom eerst gestart met het opstellen van een extern Value Network, ook wel 'waardeweb' genoemd. Het laat de context van de netbeheerder zien in termen van waarde stromen tussen organisaties/partijen die betrokken zijn bij de werking van het elektriciteitsnetwerk. Het Nederlandse model kende rond 2013 verschillende partijen met verschillende rollen die betrokken zijn bij productie, transport, distributie en gebruik van elektriciteit. In Figuur 10 is dit netwerk versimpeld visueel weergegeven. Het accent ligt op rollen in het beheer. In de grijze blokken zijn opgenomen:

1. **Programma Verantwoordelijke.** Moet er voor zorgen dat de productie en consumptie op het hele net in balans zijn. Dit is een basisvereiste voor een elektriciteitsnet. Deze partij wisselt voor informatie uit met anderen, waaronder de leveranciers en elektriciteitsmarkten (de groene blokken linksonder in de figuur).
2. **Transporteur/Distributeur Hoogspanning.** Zorgt voor transport/distributie van elektriciteit via hoogspanningsnetten. In Nederland is dit de nationale netbeheerder Tennet.

3. **Distributeur Midden/Laagspanning.** Zorgt voor distributie van elektriciteit via midden- en laagspanningsnetten. Uitgevoerd door regionale netbeheerders, zoals Enexis.
4. **Meetverantwoordelijke.** Zorgt voor het vastleggen van gebruik van energie (in de vorm van elektriciteit) middels meters en stuurt gegevens naar de netbeheerder. Is ook wel bij een regionale netbeheerder belegd. TenneT controleert en erkent een meetverantwoordelijke partij.

De oranje blokken in de figuur zijn de producenten en ver- en/of gebruikers van elektriciteit. De daadwerkelijke 'uitwisseling' van waarde in de vorm van elektriciteit vindt dus plaats in een gedeelte van het waardeweb waarin de netbeheerder zich bevindt. De belangrijkste waarde uitwisseling tussen netbeheerder en zijn omgeving zijn *informatie* (metingen, balans, etc.) en *elektriciteit*.

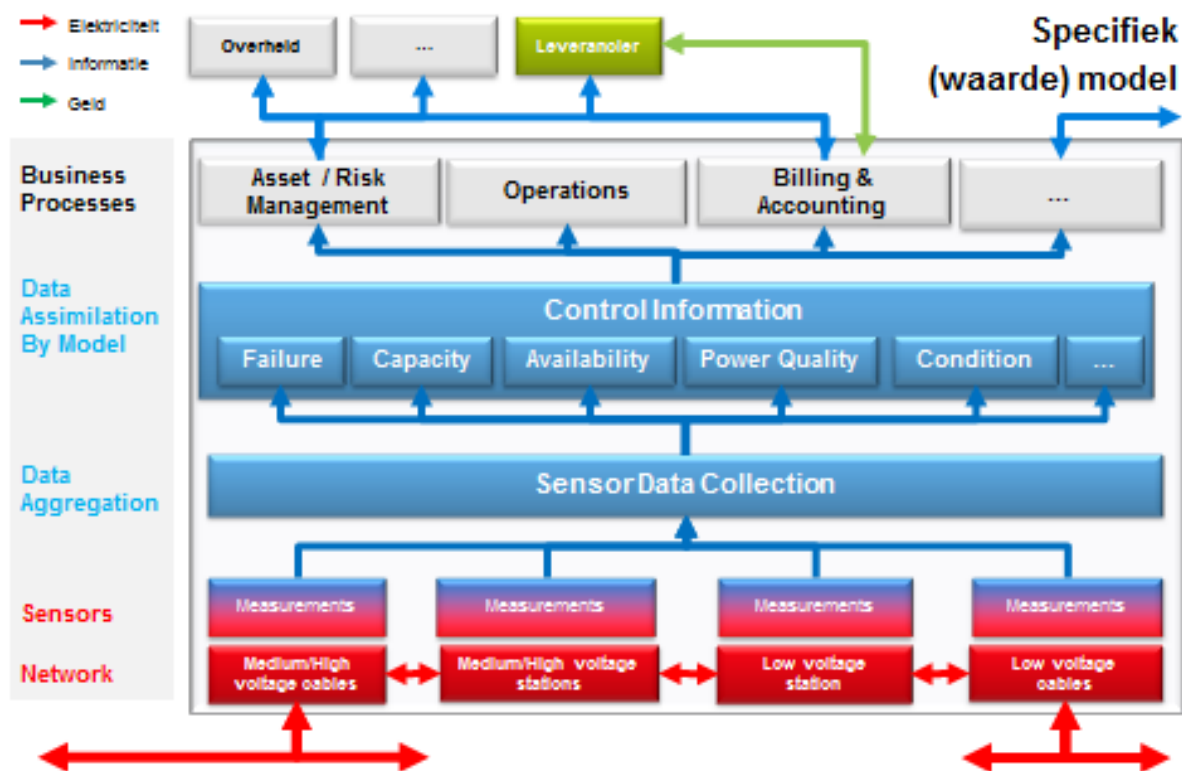
Voor Werkpakket waardebeoordeling bleek de focus te moeten liggen op de rol 'Distributeur midden/laag' om de '(toegevoegde) waarde ..van het gebruiken van geanalyseerde sensor data (naar informatie) voor netbeheertaken' (zie doel) te bepalen. In het domein van deze rol is er sprake van inzet van fysieke apparatuur voor het distribueren van elektriciteit. Het is ook deze rol die zowel de kosten moet maken als verantwoorden voor het bepalen van de conditie van het netwerk dat wordt gebruikt. Immers, de netbeheerder brengt kosten in rekening voor haar dienstverlening. Omdat er in een regio maar één netbeheerder actief is voor laagspanningsnetten is moet de netbeheerder transparant zijn over zowel haar kostenstructuur, als ook de rationale achter de beslissingen om te investeren. Zij vallen – anno 2017 – onder het toezicht van de Autoriteit Consument & Markt: Volgens de ACM zelf¹

Het toezicht van ACM zorgt ervoor dat bedrijven en consumenten een eerlijke prijs betalen voor de kosten van het transport van elektriciteit en voor de aansluiting op het elektriciteitsnet. Deze kosten zijn op de energierekening terug te vinden onder het kopje 'transport'.

In de figuur is de ACM impliciet opgenomen als toezicht houdende 'overheid'.

Een extern waardeweb was niet voldoende omdat hier de relatie tussen informatie en interne bedrijfsprocessen en middelen nog niet helder genoeg was. Daarom is er ook een intern waardeweb gemaakt van het blok 'Distributeur midden/laag'. Deze is gevisualiseerd in Figuur 11. De informatiestromen ten bate van bedrijfsprocessen binnen een netbeheerder zijn daar op generieke wijze in kaart gebracht. Daarbij gaat het vooral om bedrijfsprocessen met betrekking tot het fysieke laagspanningsnet.

¹ <https://www.acm.nl/nl/onderwerpen/energie/elektriciteit/regulering-regionale-netbeheerders/inleiding/>



Figuur 11 Intern waardeweb netbeheerder t.a.v. (sensor) informatie

De figuur is opgebouwd in lagen. Op de onderste laag zien we het fysieke ‘network’ in rood getekend, versimpeld tot ‘cables’ en ‘stations’. Op één abstractie laag daarboven zien we ‘sensors’ die fysieke metingen kunnen uitvoeren. De sensoren hebben een kleurverloop van rood (‘elektriciteit’) naar blauw (‘informatie’). Nog weer een abstractie laag hoger bevindt zich ‘data aggregation’. Hier wordt data verzameld en geaggregeerd, zodat het geschikt is voor assimilatie (of interpretatie) door mathematische modellen van de fysieke werkelijkheid op nog weer een hoger abstractieniveau. Interpretatie van meetgegevens kan vanuit verschillende invalshoeken gebeuren. Zo kan er – gegeven de conditie van componenten van het netwerk, gekeken worden naar:

1. **Failure**, e.g. de kans op falen van onderdelen van het netwerk
2. **Capacity**, e.g. hoeveel capaciteit er nog is op een kabel
3. **Power Quality**, e.g. hoe ‘schoon’ de elektriciteit wordt afgeleverd

Informatie geproduceerd vanuit deze verschillende invalshoeken kan toegevoegde waarde hebben voor het maken van beslissingen in bedrijfsprocessen, zoals Asset/Risk Management, Operations, Billing & Accounting, etc. In de figuur wordt gesproken van ‘control information’ die geleverd wordt aan verschillende bedrijfsprocessen. Niet alleen Asset/Risk Management hoeft dus mogelijk baat te hebben bij informatie over de conditie van het netwerk. Het kan bijvoorbeeld ook worden ingezet voor operationeel netbeheer wanneer die moet beslissen of elektriciteit ergens anders heen gerouteerd zou moeten kunnen in geval van nood. De meetdata kan dus indirect waarde genereren voor verschillende bedrijfsprocessen.

3.2.2 Financieel-economisch model

Na het opstellen van het waardeweb op hoofdlijnen kon een eerste orde financieel-economisch model worden opgesteld voor het waarderen van informatie voor een netbeheerder. Drie zaken maakten de initiële aanpak complex:

1. **Diversiteit in bedrijfsprocessen.** er leken meerdere bedrijfsprocessen te zijn waarvoor informatie op basis van meetdata van sensoren toegevoegde waarde kan hebben.
2. **Diversiteit in netbeheerders.** wens voor een generiek toepasbaar model, in een werkelijkheid met meerdere netbeheerders met elk hun eigen specifieke bedrijfsprocessen.
3. **Geen sensor voor conditiebepaling.** Er was begin 2013 nog zelfs geen prototype van een laagspanningssensor beschikbaar, zodat ook niet helder wat überhaupt voor interpreteerbare meetdata c.q. informatie opgeleverd zou kunnen worden.

Om met het te ontwikkelen financieel-economische model impact te kunnen realiseren moest er gefocuseerd worden. Zonder het maken van keuzes zou het model te abstract en algemeen worden, zodat het niet voldoende concrete informatie zou kunnen opleveren. In overleg met projectpartners zijn de volgende **focuskeuzes** gemaakt.

1. Qua bedrijfsproces zou de **focus** moeten gaan liggen op waardecreatie via de **middellange termijn keuzes van het Asset Management**. Daar leek de grootste uitdaging in het laagspanningsnet te liggen wat betreft groei van kosten. Waar en wanneer moet er vervangen worden. Andere bedrijfsprocessen werden daarom gedefinieerd als input voor het model. Zo is één van de belangrijke andere bedrijfsprocessen het personeelsmanagement (HR): de aankomende pensionering van veel ervaren medewerkers bij netbeheerders kan leiden tot het verdwijnen van veel kennis en ervaring en daarmee informatie over de conditie van het netwerk.
2. Voor de constructie van het model werd – in overleg met werkstroom 1 conditiebepaling - aangenomen dat er een **sensor ontwikkeld** zou worden die meetdata kan opleveren, die geïnterpreteerd zou kunnen worden in termen van een **verwachte levensduur van een kabel**. Dit was in lijn met de bovengenoemde uitdaging voor Asset Management.
3. Gegeven een aangenomen beschikbaarheid en kwaliteit van een sensor, gegeven aangenomen beschikbaarheid en sensitiviteit (lees: inzicht in conditie) van het personeel, moest het model netbeheerders inzicht geven in:
 - a. **Verwachte storingsminuten per gebruiker (VBM)** per jaar voor de lange termijn planningshorizon van 25 jaar.
 - b. **Geplande vervangingskosten** (totaal en per 5 jaar)
 - c. **Incidentkosten** (totaal en per 5 jaar)

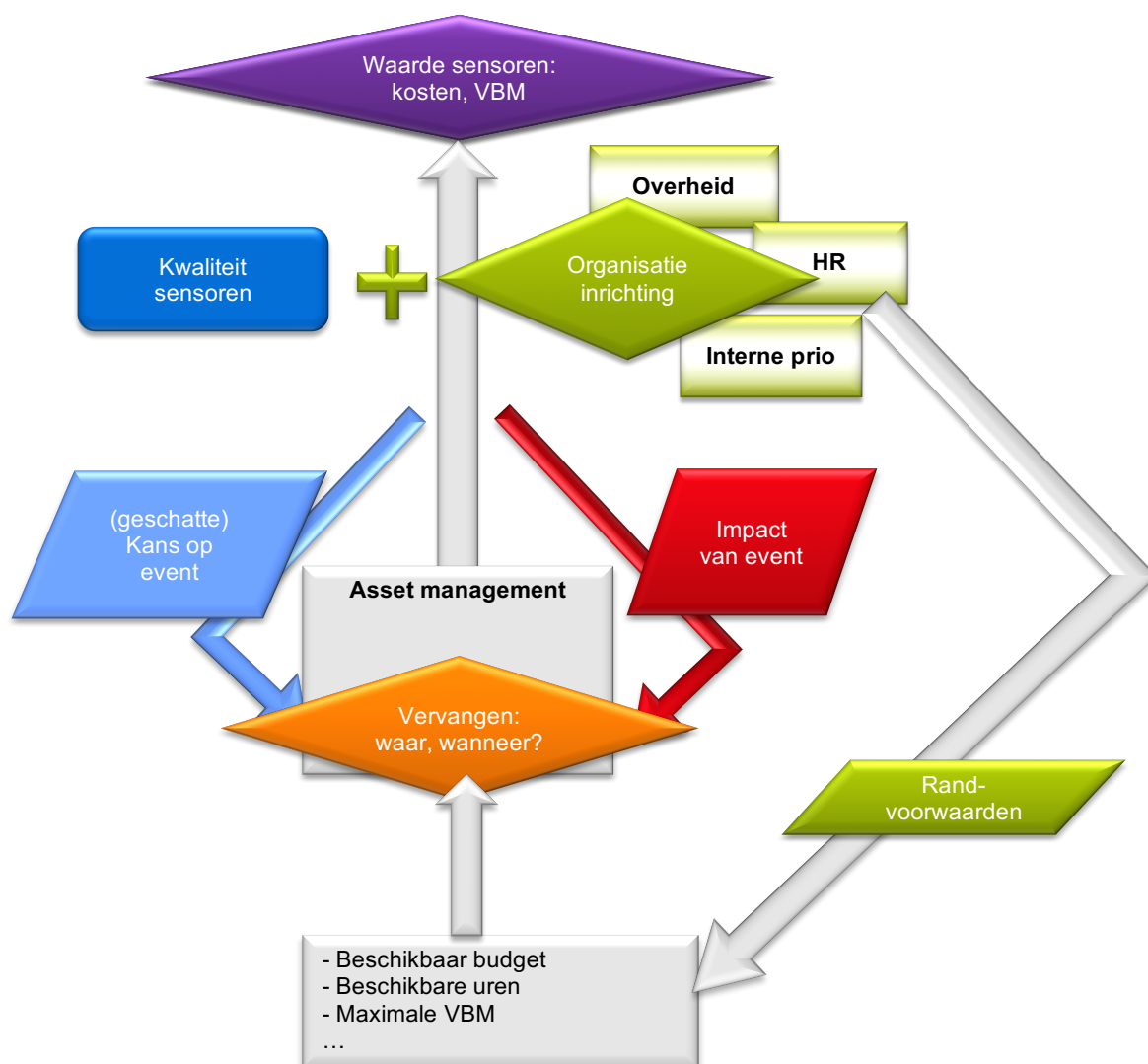
Als doelfunctie in het model is gekozen voor het minimaliseren² van het aantal storingsminuten waarbij de kosten niet boven een bepaald randvoorwaarde uit mogen komen. Eerder genoemde keuzes zijn getoetst tijdens workshops met meerdere personen die verantwoordelijk waren voor regionaal assetmanagement. Zo werd voorkomen dat er een model zou ontstaan dan was losgezongen van de dagelijkse praktijk.

In Figuur 12 is de conceptuele structuur van het financieel-economisch model schematisch weergegeven. In de ‘oranje ruit’ staat het keuzeproces van de asset-manager centraal: “*waar moet ik laagspanningskabels op welk moment vervangen?*”. In het model baseert de asset manager de keuze op risico. Dat is een combinatie van:

² Het ontwikkelde model kan in theorie ook werken met andere doelfuncties zoals het minimaliseren van het aantal storingen (in plaats van storingsduur), maar daar is in dit onderzoek geen gebruik van gemaakt.

1. de **kans** op bepaalde gebeurtenissen, bijvoorbeeld het kapot gaan van een kabel. Weergegeven als lichtblauwe invloed.
2. de **impact** van deze gebeurtenissen in termen van te maken kosten, benodigde personele inzet, onderbreken van elektriciteitsvoorziening, etc.. Weergegeven als rode invloed.

De impact van een gebeurtenis is afhankelijk van hoe een netbeheerder zijn organisatie inricht: hoe zijn personeelssamenstelling is, welke afspraken er met de overheid/ACM zijn gemaakt, en zo verder. De kans op bepaalde gebeurtenissen zal nooit precies bekend zijn. Deze kans kan worden ingeschat op basis van verzamelde statistiek van meetdata (uit sensoren), maar ook op basis van voorspellingen gegeven modellen van de werkelijkheid. Personeel kan – op basis van ervaring - ook een intern model ('buikgevoel') hebben ontwikkeld om zelf waarnemingen (e.g. dataplotjes uit een meetwagen) te interpreteren en zo iets te zeggen over de conditie van het netwerk. Hoe beter de statistiek en/of interpretatie van meetdata, des te beter (vermoedelijk) dat de ingeschatte kansen aansluiten bij de werkelijkheid.



Figuur 12 Financieel Economisch Model

Randvoorwaarden (groen) waarbinnen de keuze gemaakt moeten worden bepaald door kwaliteit van de sensoren (donkerblauw) en de organisatie inrichting (groen). Zie verder de eerdergenoemde focuskeuzes. Op basis hiervan kan de waarde van sensoren worden uitgedrukt in termen van (minder) te maken kosten en VBM (donkerpaarse ruit).

Een keuze die gebaseerd is op onjuiste gegevens over impact en/of kansen van een gebeurtenis kan leiden tot:

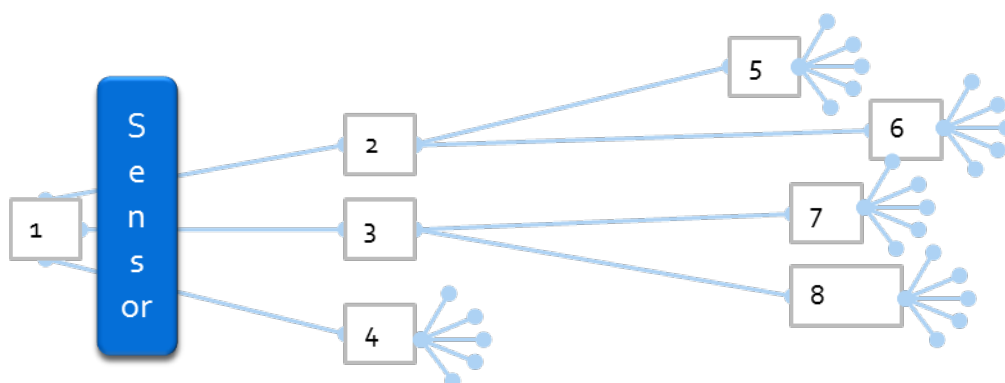
1. **te vroeg vervangen** leidt tot het maken van **onnodige kosten**. Tevens lijdt te vroeg vervangen tot onnodig inzetten van mogelijk schaars personeel terwijl dat niet nodig is. Dit heeft een negatieve impact op de betaalbaarheid van netwerken.
2. **te laat vervangen** leidt tot **storingen** en ad-hoc herstel- of vervangingswerkzaamheden die gepaard gaan met relatief hogere kosten. Ook legt haast meer druk op personeel, dan geplande vervangingen. Dit heeft zowel een negatieve impact op de betrouwbaarheid als soms ook de betaalbaarheid van netwerken.

Op basis van de conceptuele structuur is vervolgens een wiskundig en rekenkundig simulatiemodel ontwikkeld. Sommige aspecten zijn daarbij meegenomen als vaste 'input', andere aspecten als een scenario met specifieke control-parameters. Aan de hand van de termen input, simulatieproces en output wordt nu het model beschreven.

Input. Bij de input voor het model wordt onderscheid gemaakt tussen vaste input en scenario-input. De vaste input beschrijft de situatie die bestudeerd wordt. Bij de scenario-input wordt gevarieerd met de factoren die de waarde van informatie vanuit netbeheerders perspectief kunnen beïnvloeden. De **vaste** input is:

1. De structuur van het netwerk dat bestudeerd wordt (knooppunten en vertakkingen)
2. De leeftijd van de kabels in de structuur
3. Het aantal aansluitingen per kabel
4. Faalkansgedrag van de kabels, inclusief de kans dat een kabel overgaat van 'functionerend' naar 'niet functionerend', ook wel 'overgangskansen' genoemd.

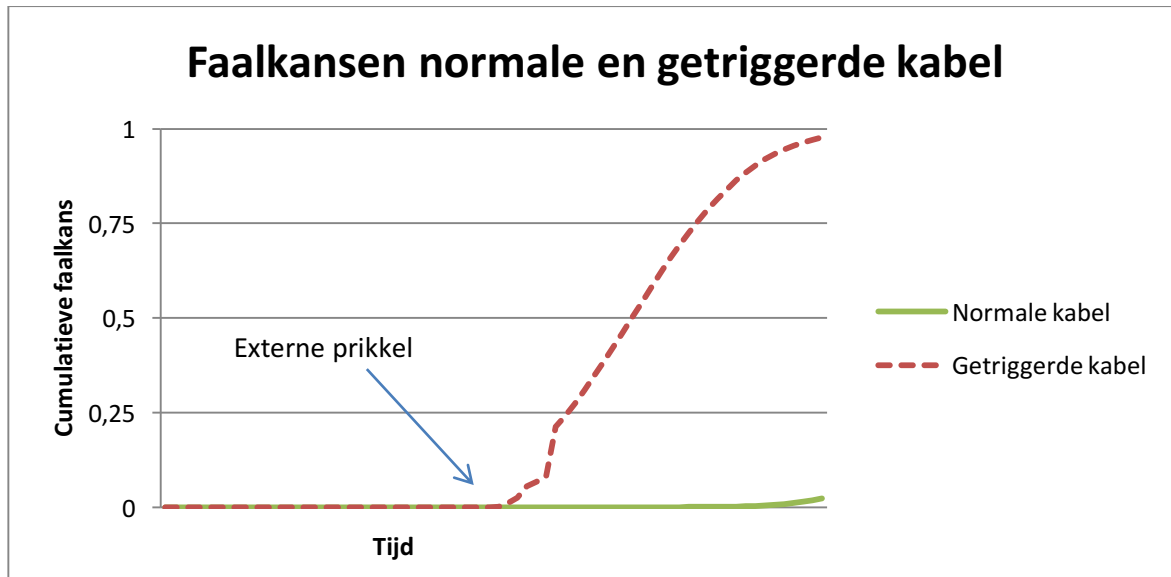
Voor de evaluatie van het model is relatief simpele netwerk structuur gebruikt, waar één sensor is ingezet voor het bewaken van 25 aansluitingen. Deze is geschetst in Figuur 13. Er zijn drie lagen van vertakkingen. Bij het hoofdknooppunt 1 zit een sensor waarvan wordt aangenomen dat deze degradatie signalen kan waarnemen en zo een inschatting over de conditie van de achterliggende verzameling kabels. Bij knooppunt 4 vindt een vertakking naar 5 aansluitingen plaats. Bij knooppunt 2 en 3 vindt een tweevoudige vertakking plaats naar respectievelijk de knooppunten 5,6 en 7,8, die elk weer vertakken naar 5 aansluitingen.



Figuur 13 Gebruikte input voor de structuur van het netwerk

Faalkans is in dit project gedefinieerd als de kans dat een kabel zodanig faalt dat hij vervangen moet worden. In het begin van het project is gewerkt met de aanname dat de kans op falen van een laagspanningskabel in de loop van de tijd toeneemt volgens een theoretische kansverdeling die past bij componenten faalgedrag (bijvoorbeeld Weibull of normaalverdeling). Gedurende de vorderingen

in het project op het gebied van inzicht van fysieke conditiebepaling (WP2 van het project) werd geconcludeerd dat de faalkans van kabels door de tijd heen gelijk en laag blijft, tenzij een externe prikkel de kabel 'triggert'. Bij een getriggerde kabel neemt de faalkans snel en flink toe. Dit wordt geschetst in onderstaande grafiek.



Figuur 14 Schets van faalkansen normale en getriggerde kabels

Deze externe prikkel kan van alles zijn: denk bijvoorbeeld aan zogenaamde 'schraapschade', waarbij er sprake is van een kras door de bescherm laag van de kabel heen. Het metaal is dan geraakt en staat bloot aan de ondergrondse elementen, waardoor een degeneratieproces wordt gestart. De kabel verandert ter plekke van de kras en gaat steeds slechter functioneren. Met behulp van een sensor zouden tekenen van dit proces kunnen worden waargenomen ('spanningspieken'). Dit kan een indicatie zijn of een kabel zich in 'normale' of 'getriggerde' toestand bevindt. Het model gebruikt allebei de twee faalkansverdelingen. De cumulatieve faalkansen zijn als groen continu ('normale kabel') en rood gestreept ('getriggerde kabel') geïllustreerd in Figuur 14. Voor exacte faalkansverdelingen moet het type kabel en het type degeneratieproces worden meegenomen. Er is sprake van variatie.

Bij de eerste versie van het model is de **scenario** input vastgesteld als:

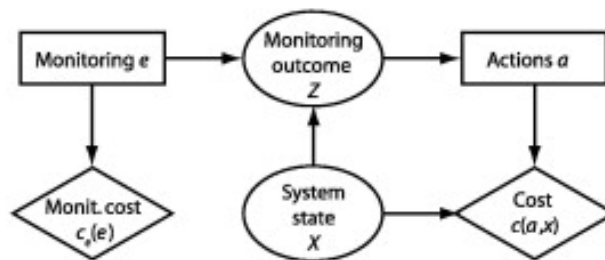
- | | |
|--|---------------------------|
| 1. Kwaliteit van sensor (geen – midden – hoog) | → controle parameter 'Q' |
| 2. % 'sensitief' personeel | → controle parameter 'HR' |
| 3. Beschikbaar budget | → randvoorwaarde |
| 4. Maximale storingsminuten (VBM) | → randvoorwaarde |
| 5. Prio(riteit): kosten of VBM | → doelfunctie |

Met kwaliteit van de sensor wordt aangegeven hoe effectief een sensor ingezet kan worden in het vaststellen van de faalkans. Met het percentage 'sensitief' personeel wordt bedoeld het aandeel personeel dat op basis van beperkte meetgegevens – middels een buikgevoel gegroeid door jaren ervaring – inzicht heeft in de resterende levensduur van een kabel. Door ze op te nemen als controle parameter kan er inzicht gekregen worden in de effecten van het verbeteren van de kwaliteit van de sensoren en het personeel. In het model heten ze 'Q' en 'HR'. Het beschikbare budget voor Asset Management en het maximale aantal storingsminuten (VBM) zijn gevoerd als randvoorwaarde. Als optimalisatiedoelstelling is het minimaliseren van kosten en/of VBM als doelstelling aangegeven.

Terwijl het project vorderde zijn er met de eerste geïmplementeerde versies van het model simulaties uitgevoerd. Zowel over de uitvoering als ook over de resultaten zijn er gesprekken met projectpartners gehouden. Daar kwam naar voren dat met name de eerste twee input scenario elementen van invloed zijn op de informatiekwaliteit ten aanzien van de conditie van het laagspanningsnetwerk.

Simulatieproces. Om de waarde van informatie vast te kunnen stellen was het noodzakelijk om verschillende situaties met verschillende niveaus van informatie of informatiekwaliteit met elkaar te vergelijken.

Voor een methodische vergelijking is gebruik gemaakt van het gedachtegoed van *Value of Information Concept* in infrastructurele context (Straub, 2014)³. Dit concept is weergegeven in onderstaand figuur. De manier van informatie verkrijgen (monitoring e) resulteert in een bepaalde kwaliteit van informatie (monitoring outcome Z). Op basis van deze informatie maakt de asset manager een keuze voor bepaalde actie(s) a . Afhankelijk van de manier van informatie verkrijgen (in geval van het tDASA project sensoren en/of ervaren personeel) zal de informatie meer of minder overeen komen met de daadwerkelijke status van het systeem (X), of in dit geval de laagspanningskabels. Deze daadwerkelijke systeem status in combinatie met gekozen actie(s) bepalen de uiteindelijke uitkomsten (costs c). Hoe beter de manier van informatie vergaren des te beter de informatie de systeem status beschrijft, en des te beter de keuzes die worden gemaakt aansluiten bij het doel van de asset manager. De waarde van informatie is dan te vinden in het verschil tussen de uitkomsten (costs) met of zonder monitoring systeem, door de andere gemaakte keuzes.



Figuur 15 Influence diagram (Straub, 2014)

Bij de implementatie van het financieel economisch model is de methodische vergelijking als volgt toegepast. Het asset management proces is gemodelleerd als een stochastisch proces, specifiek een Markov keten⁴. Er is een eindige horizon van 25 jaar gedefinieerd, waarbij er elke 5 jaar een beslismoment is. Op zo'n moment kiest de asset manager welke kabels hij in een van de komende 5 jaren preventief gaat vervangen. Deze keuze baseert de asset manager op zijn beschikbare informatie (die weer afhankelijk is van de inzet van sensoren en personeel). Hoe hoger de eerder beschreven kwaliteit van sensoren en/of sensitiviteit van personeel, des te beter de informatie aansluiten bij de werkelijkheid. Er zijn dan minder vals-negatieve of vals-positieve interpretaties van de meetdata.

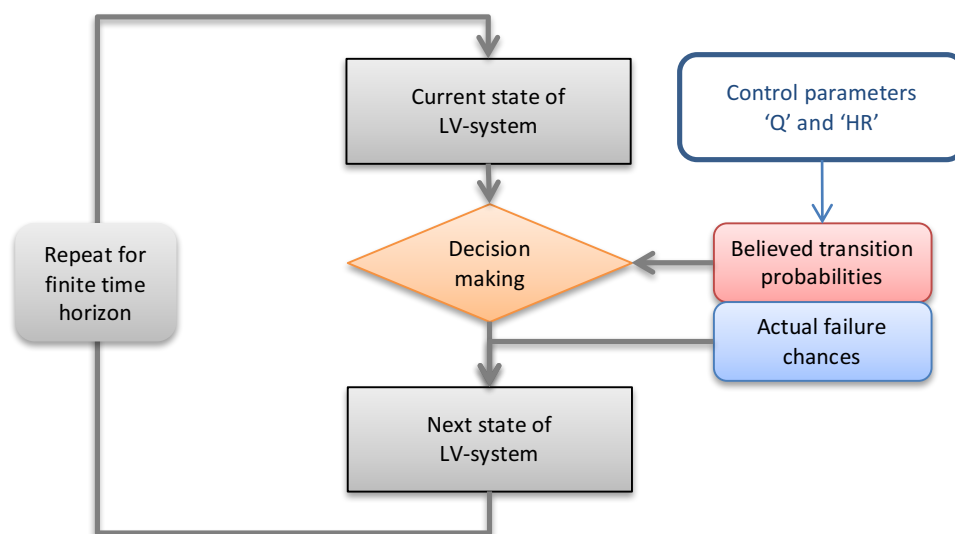
³ Straub, D. (2014). Value of Information Analysis with Structural Reliability Methods. Structural Safety. (49) 75-86.

⁴ Een Markovketen beschrijft een systeem dat zich door een aantal toestanden beweegt en stapsgewijs overgangen vertoont van de ene naar de andere toestand. Een specifiek kenmerk van een Markovketen is dat als het systeem zich in een bepaalde toestand bevindt, het toekomstige gedrag van het systeem, dus de komende overgangen, slechts afhangen van de huidige toestand en niet van de weg waarlangs deze toestand tot stand is gekomen.

		Werkelijke conditie kabel	
		Normaal	Getriggerd
Geïnterpreteerde conditie kabel	Normaal		<i>vals - positief</i>
	Getriggerd	<i>vals-negatief</i>	

Bij een vals-negatieve interpretatie krijgt de asset manager een te negatief beeld van de conditie van het netwerk. De faalkansen die de modellen opleveren zijn hoger dan in werkelijkheid. Bij een vals-positieve interpretatie krijgt de assetmanager een te positief beeld van die conditie. De faalkansen in de werkelijkheid zijn hoger.

Het simulatieproces start met een initiële keuze, waarbij de asset manager ook rekening houdt met toekomstige keuzemogelijkheden. Hij optimaliseert zijn keuzes voor de gehele eindige tijdshorizon van 25 jaar. Bijvoorbeeld nu niks vervangen kan voor de komende 5 jaar de beste keuze zijn, maar levert aan het eind van de horizon wellicht personele knelpunten op. Vervolgens wordt de realisatie van die (komende) 5 jaar gesimuleerd en daarbij de overgang van het gemodelleerde laagspanningsnet naar het volgende beslismoment. Deze simulatie van het asset management beslisproces wordt herhaald voor verschillende niveaus van informatiekwaliteit: verschillende combinaties van sensor kwaliteit (Q) en 'sensitief' personeel (HR). Dit simulatieproces is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 16 Simulatieproces

BELANGRIJK: Zowel de faalkansen van kabels op basis van de geïnterpreteerde meetdata uit sensoren, als de als 'daadwerkelijke' faalkansen zijn input voor de simulatie. Beide waren tijdens de simulaties gebaseerd op theoretische aannames (niet gevalideerd), omdat daadwerkelijke kansen niet voldoende voorradig waren en omdat een dergelijke sensor nog niet bestond.

In deze simulatie zijn nog twee externe te verwachten trends meegenomen, namelijk:

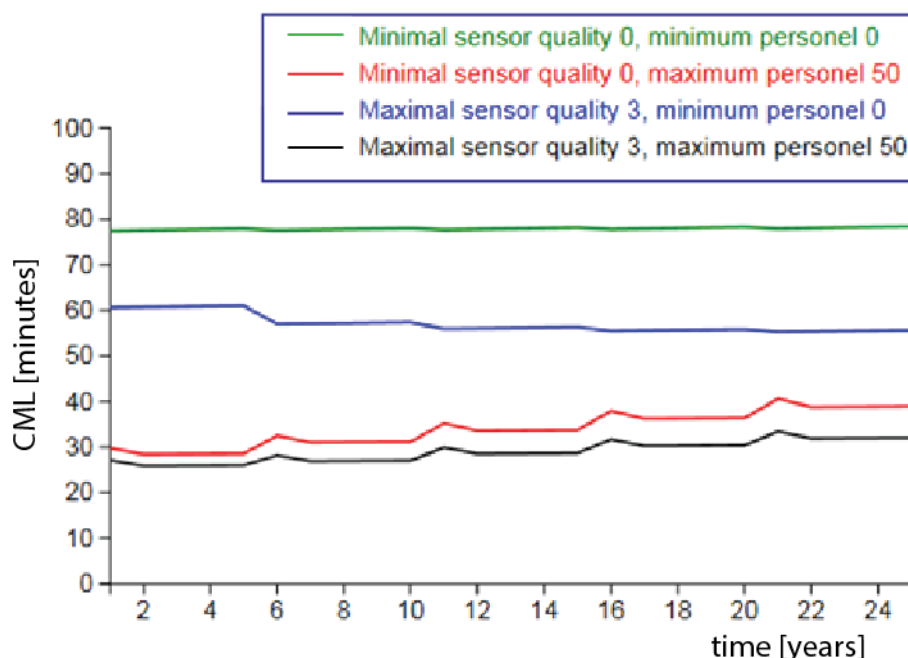
1. het effect van sensoren (Q) op de kwaliteit van de informatie neemt toe met de tijd. De technologie wordt beter. Ook wel aangeduid als 'technology learning'.
2. het effect van personeel (HR) op de kwaliteit van de informatie neemt af met de tijd. Het personeel gaat met pensioen en kan niet (snel genoeg) aangevuld worden met mensen die het elektriciteitsnetwerk hebben mee ontwikkeld en gerealiseerd.

Output. De output van het simulatiemodel wordt bepaald door voor verschillende configuraties van de controle parameters HR en Q het asset management het eerder genoemde beslisproces te doorlopen. Dit resulteert dan in het volgende:

1. Verwachte VBM per jaar voor de lange termijn planningshorizon (25 jaar)
2. Geplande vervangingskosten (totaal en per 5 jaar)
3. Incidentkosten (totaal en per 5 jaar)

Van al deze outputvariabelen kan ook de variantie en spreiding geduid worden. Het model zou ook andere output kunnen genereren, zoals bijvoorbeeld de inzet aan manuren (gepland en ad-hoc), aantal storingen, maar daar is in dit project vanwege beschikbare tijd en budget geen gebruik van gemaakt.

Door nu de storingsminuten en de kostenopbouw (en eventuele andere variabelen) met elkaar te vergelijken voor de verschillende configuraties van inzet sensoren (Q) en personeel (HR) wordt inzicht verkregen op welke manier informatie over de conditie van het laagspanningsnet waarde creëert voor het netbeheer. In Figuur 17 is voor een initiële configuratie van het model het aantal VBM (in het Engels Customer Minutes Lost (CML)) uitgezet tegen de tijd (in jaren). De groene lijn levert het meeste aantal VBM op in de loop van de tijd. Dat komt omdat hier de kwaliteit van de sensoren als minimaal is ingesteld, net als de sensitiviteit van het personeel. Beide 'stand 0'. De blauwe lijn kent een maximale kwaliteit sensor ('stand 3') met weer minimale kwaliteit personeel. Het aantal VBM zakt zoals verwacht. De rode lijn kent een maximale aandeel sensitief personeel ('stand 50'), maar weer met de laagste kwaliteit sensor. Volgens het model levert dat nog minder VBM op. Het minste aantal VBM treedt op wanneer zowel de sensor van de beste kwaliteit is en het aandeel sensitief personeel het grootst. **N.B.** deze output is op basis van een simulatie van een sterk versimpeld netwerk met eerste orde instellingen. Het is vooral illustratief bedoeld voor dit verslag. Er mogen geen generieke conclusies op worden gebaseerd.



Figuur 17 Simulatieproces

In onderstaand blok staan nog eens de belangrijkste aannames van het financieel economisch model samengevat.

Hoofdaannames waarde van informatie in LS-net

- a) Een kabel kan zich in twee toestanden bevinden - normale toestand met lage faalkans, getriggerde toestand met snel stijgende hogere faalkans.
- b) (sensor)informatie geeft een indicatie of kabel in normale of getriggerde state is. Deze indicatie kan goed of niet goed zijn, zogenaamd vals-positief of vals-negatief.
- c) Sensoren en een hoger percentage ervaren ('sensitief') personeel verkleinen de kans op vals-positieven en vals-negatieven.

4 Werkpakket Pilot testen

Uitvoerder: Technische Universiteit Eindhoven in samenwerking met Enexis en Locamation

- Promovendus: Ir. Bart Kruizinga (TU/e)
- Tjeerd Broersma (Enexis)
- Omar Mansour, Harold Kappert (Locamation)

Op basis van de uitkomsten van de laboratorium testen gedaan in werkpakket conditiebepaling is een pilot test in het laagspanningsnet van Enexis uitgevoerd. Enexis heeft een aantal locaties aangewezen waar ervaren medewerkers situaties hebben waargenomen die voor nader onderzoek in het kader van dit project interessant zouden kunnen zijn. Op een tiental locaties is een aangepast SASensor meetsysteem geïnstalleerd om transiënte verschijnselen te kunnen detecteren. Het SASensor meetsysteem is hiervoor aangepast zowel in de hardware als software.

Uit de meetresultaten is gebleken dat korte doorslagen in het laagspanningssysteem voorkomen. Deze verschijnselen zijn van korte duur en leiden in eerste instantie niet tot een permanente fout. Het lijkt op een zelf herstellend fenomeen, maar mogelijk niet permanent zelf herstellend. In sommige gevallen kan de fout binnen afzienbare tijd terug en enkele gevallen is geen nieuwe fout waargenomen, echter de meetperiodes zijn soms niet langer dan enige maanden geweest.

De waargenomen verschijnselen hebben nog geen richting kunnen geven aan een ontwerp van een sensor en analyse software die betere informatie kan verschaffen over de conditie van het laagspanningsnet. Een compleet overzicht van de pilot is in onderstaande tabel gegeven.

ID	Area	cable type [type mm ²]	start [dd-mm]	end [dd-mm]	Trigger [A]	summary of results
1	Tilburg	OIP 35	08-01	06-10	250	4 triggered events
2	Tilburg	OIP 50+6	08-01	09-09	250	Outage at end date
3	Tilburg	mixed	15-01	13-04	300	Too many events (motor startup current)
4	Tilburg	OIP	15-04	06-10	250	Outage recorded after 4 days of installation
5	Tilburg	PVC 150	16-01	06-10	300	34 triggered events (sports field)
6	Tilburg	PVC 95	15-01	08-12	200, 250	87 triggered events, illegal tap
7	Tilburg	PVC 95	15-01	13-04	250	no triggered events
8	Tilburg	PVC 150	14-04	18-07	250	11 triggered events
9	Tilburg	Pub.light	21-01	13-04	80	Triggered on inrush current only
10	Tilburg	Pub.light	14-04	09-09	80	Combination with ID 2
11	Tilburg	PVC 150	15-01	06-10	250	6 triggered events
12	Breda	mixed	01-03	02-11	350, 250	3 triggered events, trigger overload

13	Breda	PVC 150	17-02	11-10	350, 300	3 triggered events, trigger overload
14	Breda	PVC 95	19-01	14-04	250	Appears to be unused cable
15	Breda	unknown	25-03	31-03	250	Next to automatic fuse, loss of data
16	Breda	OIP 95+6	25-03	30-11	250	9 triggered events
17	Breda	OIP 50+6	25-03	20-11	250	No triggered events
18	Emmen	OIP 50	11-04	16-06	250	6 triggered events, outage
18b	Emmen	OIP 50	11-08	15-08	250	ID 18 continued, outage recorded
19	Emmen	PVC 150	30-04	26-05	300	2 triggered events
20	Emmen	OIP 50	15-04	23-06	250	No triggered events
21	Emmen	PVC 95	15-04	23-06	80	Accidental public lighting settings
22	Emmen	PVC 50	14-09	17-10	250	Outage recorded
23	Tilburg	OIP 35	08-11	30-11	250	overload, illegal tap, cable damage

5 Discussie

5.1 Discussie conditiebepaling

Het onderzoek uitgevoerd als deel van het werkpakket conditiebepaling is vooral een verkenning van de situatie en de uitdagingen die optreden bij het introduceren van diagnostiek in het LS net. De inzichten van ervaren technici in dit werkgebied zijn gedocumenteerd en bestudeerd. Er is een bewustwording over de conditie van het LS net gecreëerd en een basis om verder te werken aan diagnostiek.

Corrosieverschijnselen blijken een onderschat aspect te zijn en materiaalkeuze van geleiders en isolatie hebben grote impact op degradatie na beschadiging. Het proces van 'dry-band' ontladingen is een ingewikkeld samenspel van vele externe parameters. Temperatuur, vocht en geleidbaarheid spelen een rol. Deze aspecten dienen meegenomen te worden bij de prioritering van onderhoud en vervanging.

De pilot met sensors in het LV net die intermitterende signalen detecteren, die niet leiden tot uitval, toont dat er mogelijkheden zijn tot conditiebepaling gebaseerd op dit aspect. De resultaten tot nu toe maken het vooralsnog niet mogelijk nu al een link te leggen met het model voor waardebeoordeling (2^{de} werkstroom), gezien de kleine schaal en korte tijdsduur waarover het project loopt. Dit onderwerp wordt doorgezet in een vervolgproject.

5.2 Discussie waarde model

Met het beschreven waarde model in het achterhoofd wordt in deze paragraaf geëvalueerd of het model ook zo ingezet kan worden zoals bedoeld. Dit model moet netbeheerders kunnen helpen bij het:

1. vermijden desinvesteringen in netwerken ('aanleg & onderhoud');
2. op waarde schatten van investeringen in (technologische) sensoriek en analyse componenten;
3. beter uit nutten gedane investeringen, zowel in netwerken als sensoriek en analyse componenten.

Het ontwikkelde waarde model is in de jaren van onderzoek opgezet als generiek onderzoeksmodel om gedachten aangaande de waardenbepaling te kunnen structureren, aannames expliciet te maken en met elkaar te verbinden. Het geeft ook inzicht in wat nog niet bekend is en wat extra aandacht verdient, zoals bijvoorbeeld het verkrijgen van meer begrip in fysieke degeneratie processen door middel van experimenten, zoals die ook in werkpakket conditiebepaling van tDASA zijn uitgevoerd. Het model is dermate generiek opgezet dat het in een vervolg of verdiepend traject specifiek kan worden gemaakt. In de afgelopen jaren is het marktmodel niet radicaal veranderd en lijkt er nog steeds een uitdaging te liggen in de groei van de kosten van asset management, gegeven de groei van storingen.

Omdat er op dit moment nog geen sensoren in het laagspanningsnetwerk zijn aangebracht, kunnen ze ook niet beter worden uitgenut (3). Wel kunnen investeringen al beter op waarde geschat worden (2): zonder het ontwikkelde financieel-economische model is er een minder nauwkeurige schatting. Nu al kan het gebruikt worden om inschattingen te maken voor hoeveel kosten er in verhouding tot baten gemaakt mogen worden voor de ontwikkeling, realisatie en uitrol van sensoren (en bijbehorende data interpretatie systemen). Dit draagt ook bij aan het vermijden van desinvesteringen (1), maar zolang er nog geen sensoren voor conditiebepaling beschikbaar zijn voor inzet in elektriciteitsnetten, is de reikwijdte van de inzet van het model hier beperkt.

Het model is gesimuleerd op een beperkte schaal wat betreft de structuur van het bekeken netwerk. Voor het simuleren van meerdere sensoren in een groter laagspanningsnetwerk zou significant meer gerekend moeten worden. Dit is – gegeven de vorderingen in parallelisatie van rekenwerk – niet ondoenlijk, maar vereist meer automatisering van generatie van de input op basis van data van netbeheerders.

In tabelvorm een evaluatie van de realisatie van initieel beoogde resultaten:

Nr.	Beoogde resultaten	Realisatie
D3.1	Value network (versie 1) voor een overzicht van waardestromen tussen partijen die energy services afnemen en waardestromen binnen een netbeheerder.	Ja.
D3.2	Financieel-economisch model (versie 1) en Value network (versie 2)	Ja. Het Value Network 2 is hetzelfde als versie 1 omdat nu nog geen verbetering nodig was. Er is meer moeite in het financieel-economisch model gestoken.
D3.3	Financieel-economisch model (versie 2) en Value network (versie 3)	Ja. Belangrijkste aanpassingen in model zijn gemaakt op basis van validatiewerkshops met asset-engineers van Enexis. Het Value netwerk is hetzelfde als versie 1 omdat er geen verbetering nodig was.
D3.4	Financieel-economisch model en Value network (eindversies)	Ja. Belangrijkste aanpassingen in model zijn op basis van resultaten van het onderzoek van TU/e.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In toevoeging op de evaluatie kan gesteld worden dat het mogelijk lijkt om inschattingen (zij het relatief 'grof') te maken van de toegevoegde waarde van sensoren voor de conditiebepaling van laagspanningsnetten. Tegelijkertijd moet ook worden geconcludeerd dat (theoretische) aannames onder het financieel-economisch model hiervoor niet goed konden worden gevalideerd in de praktijk. Aan het begin van het tDASA project werd nog vermoed dat dit wel mogelijk was, uitgaande van de veronderstelling dat er binnen het project een sensor ontwikkeld zou worden ten behoeve van de fysieke experimenten voor de conditiebepaling van laagspanningsnetten.

De eerste veld experimenten met standaard sensoren en alleen aangepaste software zijn echter relatief laat in het project gestart omdat inzicht krijgen in het kunnen waarnemen van degradatieprocessen van laagspanningskabels moeilijk is gebleken.

6.2 Aanbeveling 1

Tot nu toe zijn statistieken gericht op de frequentie van stroomonderbrekingen, minder op identificatie van onderliggende oorzaken. Een groot percentage van LV uitvaloorzaken wordt aangegeven als onbekend. Met een meer uitgebreide registratie van uitval en onderzoek naar de oorzaak kunnen trends beter worden geïdentificeerd.

6.3 Aanbeveling 2

Het onderzoek naar aluminiumcorrosie is op een pragmatische wijze uitgevoerd. Het chemische mechanisme van corrosie onder de condities die bij ondergrondse kabels heersen (grondparameters, vocht, stroom en spanning) zijn niet goed begrepen. Voor een beter besef van risico's, is het aan te bevelen om dit preciezer, ook vanuit een chemisch perspectief, te bestuderen.

6.4 Aanbeveling 3

Het optreden van stroomtransiënten bij intermitterende fouten correleert met latere uitval. Om een stap te maken in de richting voorspelbaarheid van naderende fouten zijn meer gegevens vereist. Uitgezocht moet worden aan welke specificaties een meetsysteem moet voldoen om enerzijds de essentiële aspecten voor interpretatie te omvatten, maar anderzijds wat betreft prijsstelling aantrekkelijk is voor grootschalige inpassing.

6.5 Aanbeveling 4

Verbeter de gegevens van faalkansverdeling en overgangskansen ten behoeve van het simulatiemodel. Dit om betere invulling te krijgen van de verschillende werkelijke faalkansverdelingen en overgangskansen dat laagspanningskabels van een 'normal state' (amper veranderende faalkans) naar een 'triggered state' (groeierende faalkans door gestart degradatieproces) gaan.

De schets in Figuur 14 zou verbeterd kunnen worden door fysieke experimenten uit te voeren zoals oorspronkelijk gedacht. Op basis daarvan kan een betere inschatting gemaakt worden van de faalkansverdeling voor de twee verschillende toestanden van een kabel.

1. $P_{\text{state=normaal}}(t)$ de faalkans van de kabel op tijdstip t als kabel in normale toestand bevindt en
2. $P_{\text{state=gettriggerd}}(t)$ de faalkans van de kabel op tijdstip t als de kabel zich in getriggerde toestand bevindt.

De tweede functie kan eventueel conditioneel zijn met betrekking tot de tijd dat de kabel al goed gefunctioneerd heeft. Vermoedelijk zijn er verschillende faalkansverdelingen voor verschillende type laagspanningskabels. Dergelijke variatie geldt waarschijnlijk ook voor de overgangskansen van normaal naar getriggerd met betrekking tot verschillende type kabels en leeftijden. Doordat er relatief weinig kon worden gevalideerd met fysieke sensoren ligt er nog een tweede aanbeveling.

6.6 Aanbeveling 5

Bepaal met welke kans zowel personeel als sensoren de conditie van een kabel goed inschatten. Bepaal in het verlengde hiervan hoe goed personeel als sensoren kunnen inschatten dat een kabel getriggerd is.

In onderstaande tabel is het verschil tussen informatie op basis van interpretatie en werkelijkheid uitgedrukt in kansverdelingen, waarbij wordt aangenomen dat hoe beter de verkregen informatie des te kleiner $p_{\{t,n\}}$ en $p_{\{n,t\}}$ zijn.

		Werkelijke conditie kabel	
		Normaal	Getriggerd
Geïnterpreteerde conditie kabel	Normaal	$p_{\{n,n\}}$	$p_{\{n,t\}}$
	Getriggerd	$p_{\{t,n\}}$	$p_{\{t,t\}}$

Tijdens het project is er middels validatiewerkshops met asset managers aandacht besteed aan het vaststellen hoe personeel de conditie kan inschatten. Op basis daarvan en op basis van theorie en logisch redeneren is een schatting gemaakt van de invloed van ervaren personeel. Gegeven de vele factoren die meespelen en de relatief beperkte tijd die aan dit aspect is besteed, lijkt er ruimte voor een verbetering van die kansverdelingen in bovenstaande tabel. Hoe dat moet gebeuren is onderwerp van een nieuwe studie.

Naast de ruimte die er lijkt te zijn voor de verbetering van de faal- en overgangskansverdelingen, is er ook ruimte voor meer aanscherping van de kosten van falende kabels. Ook dit is momenteel nog relatief grof ingeschat. Dit resulteert in de volgende aanbeveling.

6.7 Aanbeveling 6

Zet een methodiek op voor het bepalen van de kosten van falende kabels, zodat de verhouding tussen kosten en baten (door waardecreatie) bepaald kan worden.

Omdat omwille van de scope bewust niet is uitgezocht wat het kost om middels sensoren meetdata te verzamelen en vervolgens te interpreteren, ligt er ook de volgende aanbeveling richting TNO en netbeheerders.

6.8 Aanbeveling 7

Zet een methodiek op voor het bepalen van de kosten van het inzetten van sensoren voor conditiebepaling, zodat de verhouding tussen kosten en baten (door waardecreatie) bepaald kan worden.

Zoals aangegeven bij de evaluatie is het waardemodel op een relatief simpele netwerkstructuur doorgerekend. Voor het kunnen aanbrengen van prioriteiten bij het aanbrengen van sensoren voor conditiebepaling is het van belang dat verschillende netwerkstructuren kunnen worden doorgerekend. Dan kan het model bijvoorbeeld gebruikt worden om aan te geven waar het meer zinvol is om een sensor te plaatsen. Dit resulteert in de volgende aanbeveling.

6.9 Aanbeveling 8

Implementeer het waardemodel op gedistribueerde rekensystemen voor toegevoegde waardenbepaling van sensor inzet in grotere en complexe netwerkstructuren.

7 Uitvoering van het project

7.1 Problemen

Er hebben zich geen technische of organisatorische problemen in het project voorgedaan die noemenswaardig zijn.

7.2 Wijzigingen t.o.v. projectplan

Het project is grotendeels volgens het oorspronkelijk projectplan uitgevoerd. De enige verschuiving die heeft plaatsgevonden betreft het oorspronkelijk idee om componenten op schaal in het PQ (Power Quality) laboratorium te onderzoeken. Al snel na aanvang zijn we in de gelegenheid gesteld om d.m.v. bezoeken aan netbeheerders (ook buiten Nederland) resultaten en ervaringen hieromtrent te verkrijgen. Op basis daarvan zijn testopstellingen ontwikkeld om de gevonden mechanismen in detail te onderzoeken. Veldervaring is weer ingebracht via geïnstalleerde sensoren van Locamation in het Enexis LS net. Het oorspronkelijke idee was om binnen het project ook nog nieuwe specifieke sensoren te ontwikkelen die meetgegevens zouden genereren die mogelijk een diepgaander inzicht in de toestand van het net zouden geven. Hierdoor is door Locamation minder werk verzet dan oorspronkelijk begroot en is het budget niet geheel gebruikt.

7.3 Begroting

De bovengenoemde accentverschuiving in aanpak is binnen de oorspronkelijke projectbegroting gerealiseerd voor TU/e. Locamation heeft minder budget gebruikt dan was begroot. Het doorontwikkelen van het proof of concept op basis van de testresultaten heeft niet plaatsgevonden. Deze ontwikkelwerkzaamheden waren in het laatste jaar van het project gepland. Hierdoor is Locamation niet eerder in de gelegenheid geweest om deze wijziging in de begroting kenbaar te kunnen maken.

7.4 Kennisverspreiding

Kennis verkregen uit het project is verspreid via wetenschappelijke publicaties en deelnames aan zowel wetenschappelijk als meer industrieel gerichte conferenties. Een overzicht is bijgevoegd. Verder zijn nog enkele publicaties in voorbereiding.

7.4.1 Tijdschriftpublicaties

1. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters and E.F. Steennis, "Fault development upon water ingress in damaged low voltage underground power cables with polymer insulation.", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, December 2016 (in-press).
2. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters and E.F. Steennis, "High frequency modeling of a shielded four-core low voltage underground power cable.", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 22 no. 2, pp. 649-656, April 2015.

7.4.2 Conferentiebijdragen

1. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters and E.F. Steennis (2016). "Comparison of polymeric insulation materials on failure development in low-voltage underground power cables." 2016 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), 19-22 June 2016, Montreal, Canada, (pp. 444-447).
2. K.A. Helmholt, M. Groote Schaarsberg, B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters, E.F. Steennis, T. Broersma, J. Morren, and F. Baldinger. "A structured approach to increase situational awareness in low voltage distribution grids.", 2015 IEEE Eindhoven PowerTech (PowerTech 2015), Eindhoven, Netherlands, 29 June - 2 July 2015.
3. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters and E.F. Steennis, "Accelerated aluminum corrosion upon water ingress in damaged low voltage underground power cables.", 9th International Conference on Insulated Power Cables (Jicable'15), 21-25 June 2015, Versailles, Paris, France, pp. 1-5.
4. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters, E.F. Steennis and T. Broersma, "Characterisation of intermittent faults in low-voltage underground cable systems.", 23rd International Conference on Electricity Distribution (CIRED), 15-18 June 2015, Lyon, France, pp. P0510-1/5.
5. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters and E.F. Steennis, "Fault development on water ingress in damaged underground low voltage cables with plastic insulation.", 2015 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), Seattle, Washington, USA, 7 -10 June 2015, pp. 309-312.
6. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters and E.F. Steennis, "PVC degradation and discharges due to water ingress in LV underground power cables.", International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, 21-25 September 2014, Jeju, Korea, pp. 70-7.
7. B. Kruizinga, P.A.A.F. Wouters and E.F. Steennis, "The effects of branches on condition related signals in low voltage underground power systems." Proceedings of the 2014 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2014), 19-22 October 2014, Des Moines, USA, pp. 578-581.

7.4.3 Anders

1. B. Kruizinga, "Getting a grip on the condition of the low voltage grid.", IEEE Smart Grid Newsletter Compendium, 2015

7.4.4 Proefschrift

2. B. Kruizinga, "Low voltage underground power cables: Degradation mechanisms and the path to diagnostics.", Eindhoven University of Technology, 2017

7.4.5 Public Relations

Het onderzoek en de onderzoeksresultaten gedeeld zijn een groot aantal voordrachten, discussiebijeenkomsten voor diverse gremia betrokken bij de elektriciteitsvoorziening. Een lijst is bijgevoegd. De samenwerking binnen de stichting KSANDR, als vervolg van het tDASA project, is met een evenement op 20 juni te Maarssen, in het bijzijn van afvaardigingen uit betrokken universiteit en industrie, officieel bekrachtigd.

1. In Oktober 2013, is het project gepresenteerd aan de Prysmian group Delft, voor een meeting met kabel experts van de Nederlandse netwerkbeheerders.
2. In December 2013, is een samenvatting van de projectstatus gepresenteerd aan de TKI Switch2Smartgrids “klankbordgroep” meeting.
3. In 2014 deelname aan een project voor onderzoek naar corrosie in ondergrondse energiekabels by DNV GL, op verzoek van de European Copper Institute. Dit betrof twee meetings aan de AGH University in Krakau met de Non-Ferrous Metals groep.
4. Op 3/4-6-2014 is het project gepresenteerd aan Smartlife II international workgroup meeting voor ondergrondse energiekabels met leden van diverse netwerkbeheerders in Europa en van twee laboratoria.
5. In Maart 2014 zijn bezoeken gebracht aan netwerkbeheerders Sibelga Brussel en EDP Lissabon.
6. Op 17-10-2014 zijn aspecten van LS systemen bediscussieerd bij Stedin.
7. On 23/24-10-2014 is het project gepresenteerd bij Smartlife II international workgroup meeting voor ondergrondse energiekabels in Wenen.
8. On 27-11-2014 projectvoortgang gepresenteerd op de Kabeldag bij DNV GL.
9. In December 2014 is netwerkbeheerder Eandis Antwerpen bezocht.
10. In 2015 is de projectvoortgang gepresenteerd aan diverse groepen zoals Enexis Innovatie team en Asset management teams, Smartlife European workgroup voor ondergrondse energiekabels, en bij Dutch grid operator technische meetings.
11. Op 23-03-2016, is een projectoverzicht gepresenteerd op de “Kabeldiagnosedag”, georganiseerd door Dutch Power.
12. Op 17-02-2016 is een projectoverzicht gepresenteerd en bediscussieerd bij netwerkbeheerder Liander.
13. Op 10-12-2016 is een projectoverzicht gepresenteerd bij Delta netwerkbeheerder.
14. Op 24-11-2016 is een projectoverzicht gepresenteerd op de Kabeldag bij DNV GL.

8 Vervolg op tDASA

De resultaten en aanbevelingen van de werkpakketten conditiebepaling en waardebepaling hebben recent een vervolg gekregen, gefinancierd door diverse netbeheerders, vanuit de stichting KSANDR. Het betreft twee parallelle promotie onderzoeken uitgevoerd aan de Technische Universiteit Eindhoven.

TNO werkt samen met de Technische Universiteit Eindhoven en streeft ernaar om de resultaten van zowel de promotie onderzoeken als dit rapport optimaal in te zetten bij toekomstige onderzoeken die betrekking hebben op de conditiebepaling, betrouwbaarheid en waardebepaling van laagspanningsnetten.