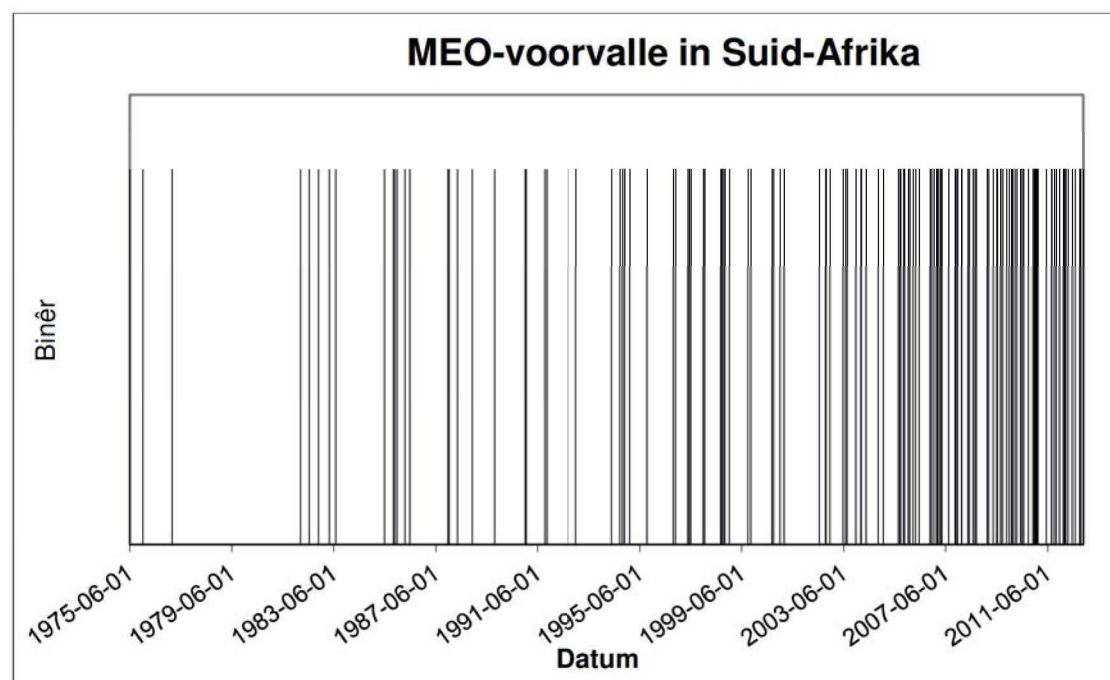


3 Ontleding

3.1 Inligtingsbron

Die eerste, en tot nog een van die grootste MEO-gebeurtenisse in Suid-Afrika, het op 4 Desember 1975 plaasgevind [65]. Vanaf 1982 is daar kripties rekord gehou van die mees omvangryke MEO-gebeurtenisse en vanaf 1992 is sulke gebeurtenisse formeel ondersoek en gedokumenteer. Tot op hede is 170 MEO-voorvalle aangeteken en dit dien as bronmateriaal in hierdie studie.

Die volgende voorstelling dui die voorkoms van MEO-gebeurtenisse in Suid-Afrika aan oor 'n periode van 37 jaar.



Illustrasie 4: Binêre voorstelling van MEO-voorvalle oor tyd

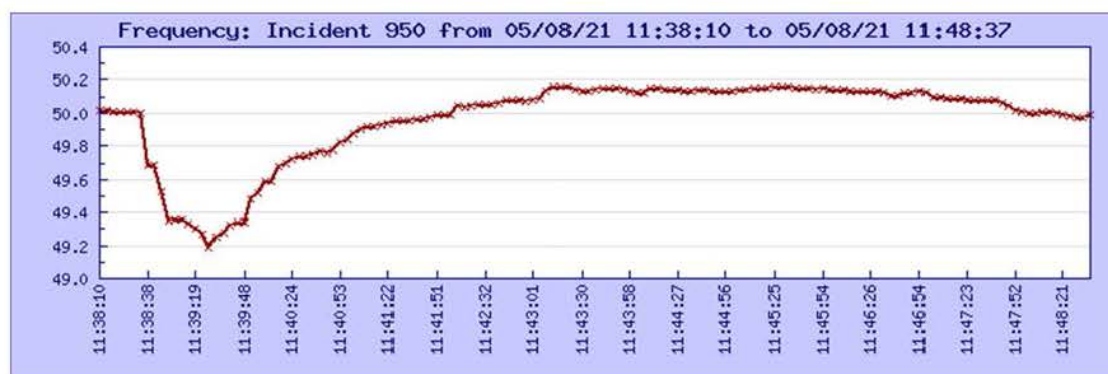
Dit is duidelik uit die voorstelling dat daar geen inligting beskikbaar is tussen 1976 en 1982 nie. Die gebrek aan inligting spruit uit die feit dat aaneengeskakelde voorvalle nie as 'n spesiale klas gesien is tot in 1982 nie en eerder hanteer is as normale dag-tot-dag-gebeurtenisse wat geen spesifieke ondersoek verg nie. Dit is ook duidelik uit die voorstelling dat die voorkoms van MEO-gebeurtenisse toegeneem het oor tyd.

Die wyse waarop die ondersoek van die verskillende voorvalle uitgevoer is, is nie eenvormig nie en sekere leemtes mag bestaan ten opsigte van enige gegewe voorval. As gevolg van die relatief groot versameling gevalle, kan daar egter sinvolle afleidings gemaak word ten spyte van onvolledige inligting.

3.2 MEO-ontleding – netwerkperspektief

3.2.1 Algemene samestelling en eienskappe van MEO's

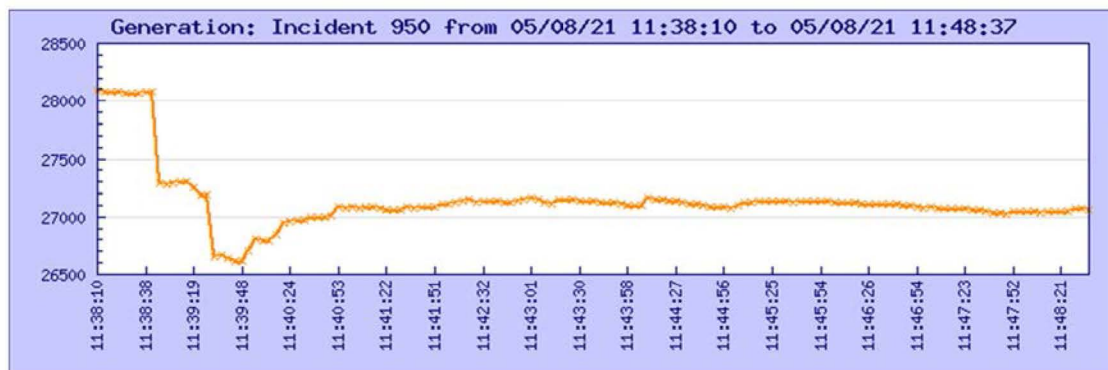
Hoewel die besonderhede van die verskillende MEO's grootliks van mekaar verskil, is daar tog sekere algemene eienskappe of kenmerke wat genoem kan word. In die meeste MEO-gevalle, is die vernaamste kenmerk 'n skielike afname in die frekwensie van die tussenverbinde kragstelsel. Dit is omdat daar gewoonlik 'n betekenisvolle kragontwikkelingsvermoë van die tussenverbinde kragnet verwyder word en derhalwe word die balans tussen die beskikbare ontwikkeling en die vraag daarna versteur. Die volgende illustrasie wys 'n tipiese voorbeeld van die gemete frekwensie van die tussenverbinde kragnet vir 'n werklike MEO.



Illustrasie 5: Frekwensie op die tussenverbinde kragnet vir 'n tipiese MEO

Die skielike aanvanklike afname in die frekwensie van die tussenverbinde kragnet is duidelik sigbaar, gevolg deur 'n vroeë herstel. Uit hierdie karakteristiek van 'n MEO kan die volgende twee aspekte maklik gemeet word en aangewend word om die effektiewe bestuur daarvan te beoordeel, naamlik die mate van frekwensieafname en die tyd wat verloop voordat die frekwensie weer volkome herstel het. Die eerste, dit wil sê die mate van afname in die

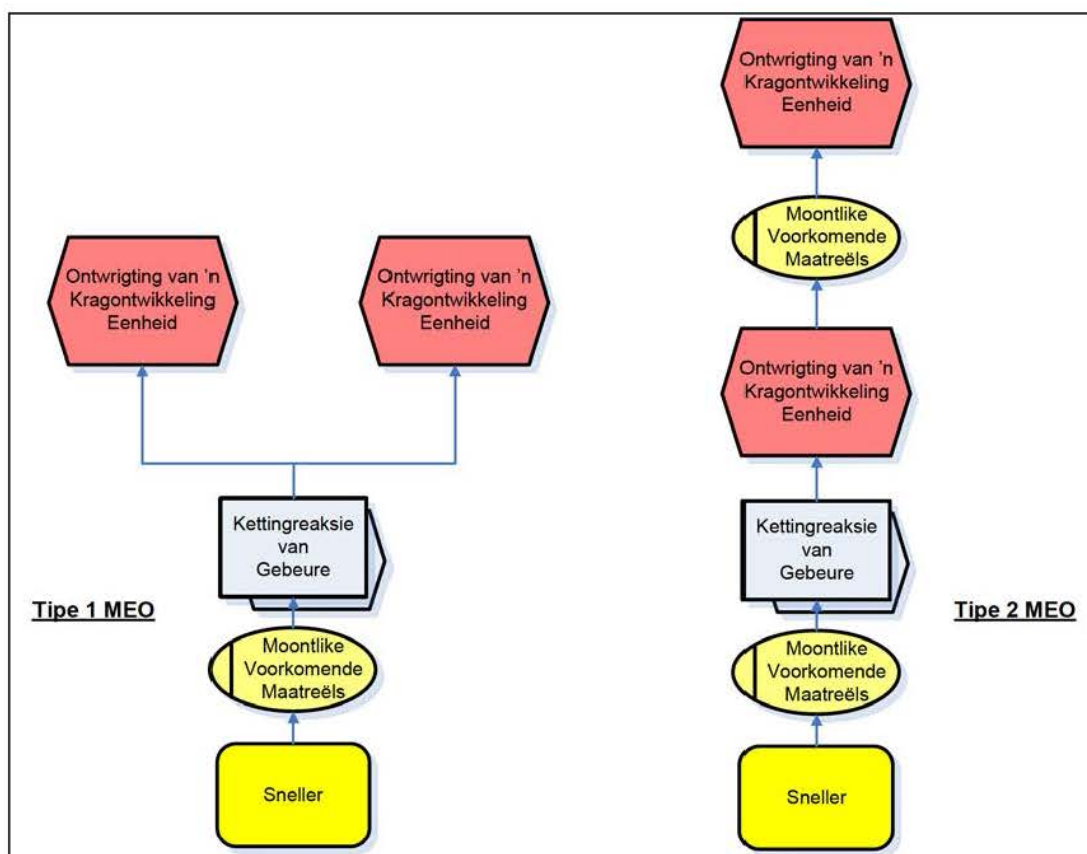
frekwensie van die tussenverbinde kragstelsel, dui op die effektiwiteit waarmee die eskalasie van die voorval bekamp is, terwyl die tyd wat dit neem vir die frekwensie om volkome te herstel dui op die effektiwiteit van die stelseloperator om die ontwigting te bestuur. Hierdie perspektief op die verloop van 'n MEO kan aangevul word deur na die totale drywing gelewer deur die totale versameling van kragontwikkeling, soos in die volgende illustrasie getoon, te kyk.



Illustrasie 6: Totale drywing gelewer aan tussenverbinde kragnet tydens MEO

Hieruit word die aanvanklike verlies aan kragontwikkeling op die tussenverbinde kragnet bevestig en daar kan ook gesien word hoe die kragontwikkeling toeneem na die MEO om die frekwensie te herstel. Hieruit kan sekere gevolgtrekkings gemaak word, soos of die hoeveelheid reserwes waarvoor daar voorsiening gemaak is toereikend was al dan nie.

Elke MEO-voorval word veroorsaak deur 'n sneller – 'n gebeurtenis - wat die kettingreaksie aan die gang sit. Hierdie reeks gebeure ontwig die werking van verskeie kragontwikkelingseenhede. In sekere gevalle is die verloop van die ontwigting 'n noodwendige gevolg van die ontwerp van die stelsel of proses, maar in ander gevalle volg dit weens die onvermoë van die voorkomings- of verdedigingsmeganismes om dit af te weer, of te beperk. Daar word onderskei tussen twee tipes MEO's, gebaseer op die wyse waarop die ontwigting tussen die ontwikkelingseenhede versprei, soos getoon in die volgende twee illustrasies.



Illustrasie 7: Twee tipes MEO's volgens patroon van ontwrigting

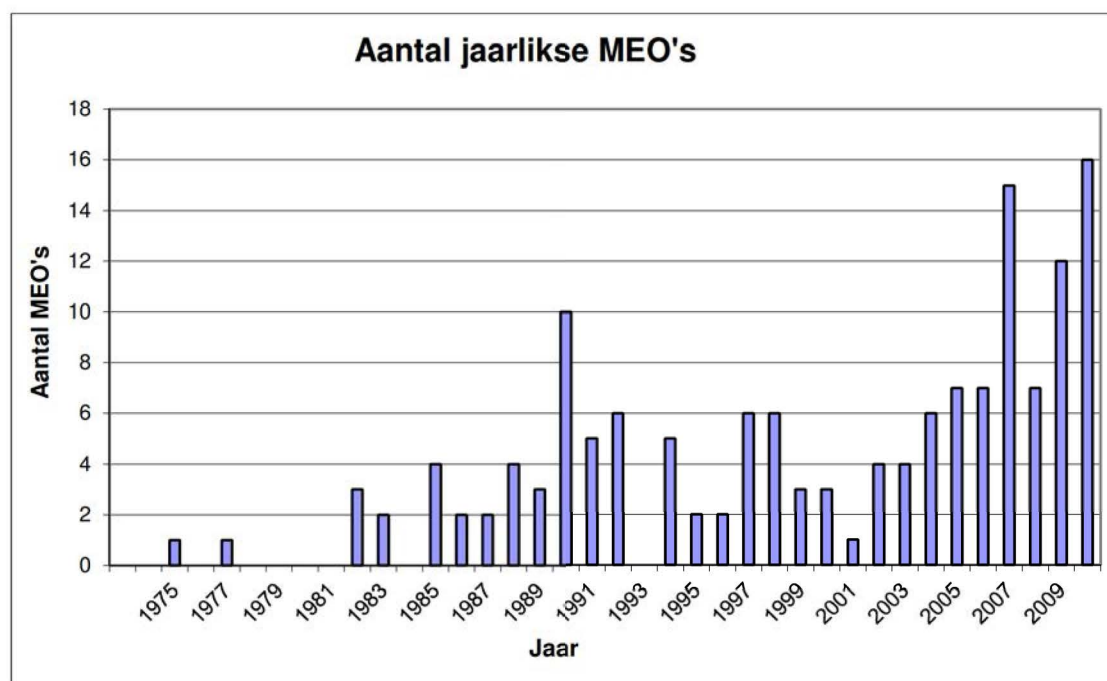
In die tipe-1-MEO, gee die sneller en die daaropvolgende gebeure direk aanleiding tot die ontwrigting van al die eenhede wat geaffekteer is deur die voorval. Daarteenoor word daar in die tipe-2-MEO eenhede ontwrig deur 'n sneller en gevolglike gebeure, maar sommige eenhede word nie daardeur ontwrig nie. Die ontwrigting van hierdie eerste eenhede gee egter aanleiding tot die ontwrigting van die daaropvolgende eenhede. Die ontwrigting van die eerste eenhede dien dus as sneller om die volgende eenhede te ontwrig.

'n Grondliggende verskil tussen MEO-gebeurtenisse, is die mate waartoe die ontwrigting van die eenhede verspreid is oor tyd. In sommige gevalle verloop verskeie minute tussen die oomblik waarop een eenheid ontwrig is, voor die volgende eenheid geaffekteer word. Dit is belangrik, aangesien 'n MEO wat oor 'n langer tydspanne versprei is, 'n kleiner impak het op die mate van ontwrigting van die tussenverbinde kragstelsel.

3.2.2 Algemeenheid van voorkoms

Een van die eerste vrae ten opsigte van 'n MEO is hoe algemeen die voorkoms daarvan is. In die 35-jaarperiode waarvoor inligting beskikbaar is, het 121 voorvalle plaasgevind. Dit stel 'n jaarlikse gemiddeld van ongeveer $3\frac{1}{2}$ voor. Hierdie gemiddeld is egter nie voldoende vir beplanningsdoeleindes nie, aangesien die voorkoms oor tyd toegeneem het, soos uit die onderstaande grafiek duidelik is.

Dit is duidelik dat die jaarlikse aantal MEO-voorvalle oor tyd toegeneem het met 'n mediaanwaarde van 7 voorvalle per jaar oor die afgelope 8 jaar. Daarteenoor is die mediaanwaarde oor die 8 jaar wat in 1985 begin, 2 MEO-voorvalle per jaar.



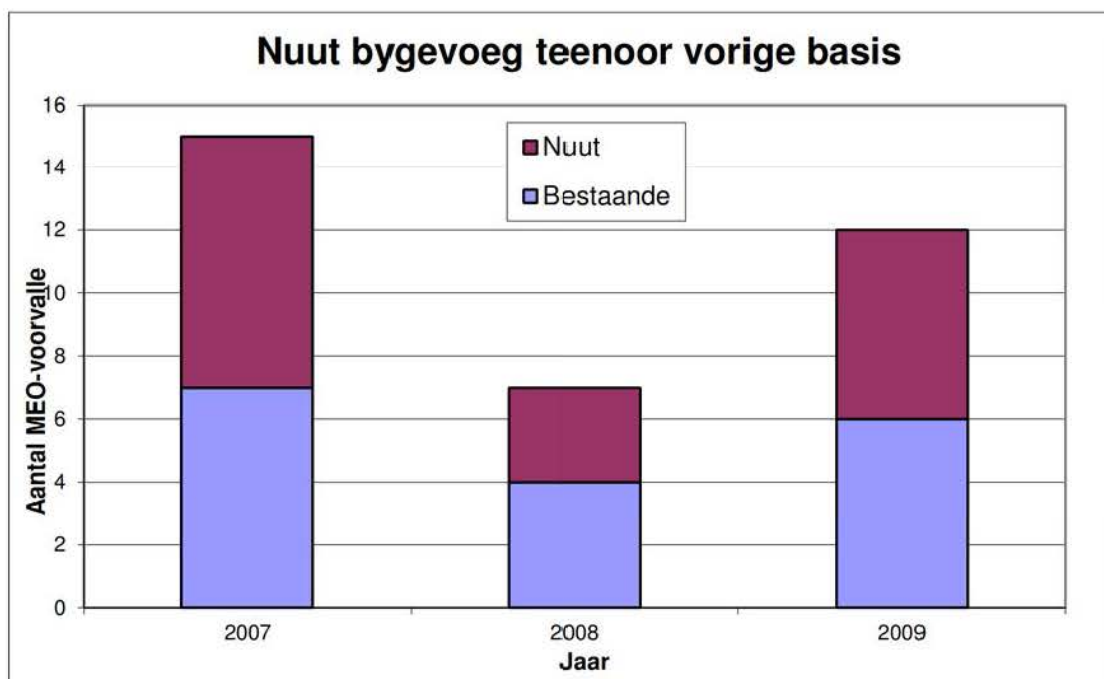
Illustrasie 8: Jaarlikse voorkoms van MEO's

Hierdie toename in die voorkoms van MEO's is veroorsaak deur 'n aantal faktore, onder andere:

- a Die uitgebreide beskouing van die konsep van MEO's wat in die afgelope aantal jaar toenemend beskou is soos gedefinieer in 2.4 hierbo, ten koste van die vroeëre beskouing van MEK's wat aanvanklik gebruik is.

- b Die geleidelike vermindering van die reserwekapasiteit wat vir die kragstelsel beskikbaar is. Hierdie reserwekapasiteit het afgeneem oor tyd tot 'n huidige waarde van feitlik nul. Met feitlik geen reserwe nie, word besluitneming jeens die dag-tot-dag bestuur van die stelsel anders benader as onder ideale omstandighede. Om hierdie rede word MEO-gefare dan nie met dieselfde doeltreffendheid bestuur as wat voorheen moontlik was nie.
- c Vanaf die vroeë 2000's het kragstasies vermeerder deurdat nuwes gebou is en deur die herinbedryfstelling van oues. Dit maak die waarskynlikheid vir MEO's groter, omdat dit op meer terreine kan voorkom. Nuwe en herinbedryfgestelde aanlegte het egter 'n hoër as normale waarskynlikheid vir ontwinging in die algemeen en dus ook vir MEO's. Dit is 'n natuurlike gevolg van nuwe projekte wat eers deur 'n proses gaan waartydens defekte gevind en reggestel word.
- d Die twee nuwe kragstasies, naamlik Ankerlig en Gourikwa stel nuwe tegnologie bekend wat nie voorheen in Suid-Afrika aangewend is nie. As sodanig, is die gevare wat met MEO's geassosieer word nie behoorlik verstaan en beperk vanuit 'n ingenieursperspektief nie. Dit het tot 'n aansienlike toename in MEO-voorvalle gelei.
- e Eskom het vir 'n lang tydperk nie aan nuutgeboude projekte aandag gegee nie en het as gevolg daarvan baie vaardighede, kennis en stelsels verloor wat vir hierdie projekte benodig word. Die heropbou van die nodige hulpbronne het hoofsaaklik plaasgevind tydens die bou en herinbedryfstelling van die kragstasies. Dit is nie wenslik nie, aangesien bestuurstelsels nodig is om baie van die gevare en inherente swakhede kenmerkend van die kragstasies te ondervang.

Die bydrae van die kragstasies wat bygevoeg is, in teenstelling met die kragstasies wat vroeër reeds deel was van die kragstelsel, word in die volgende grafiek getoon.

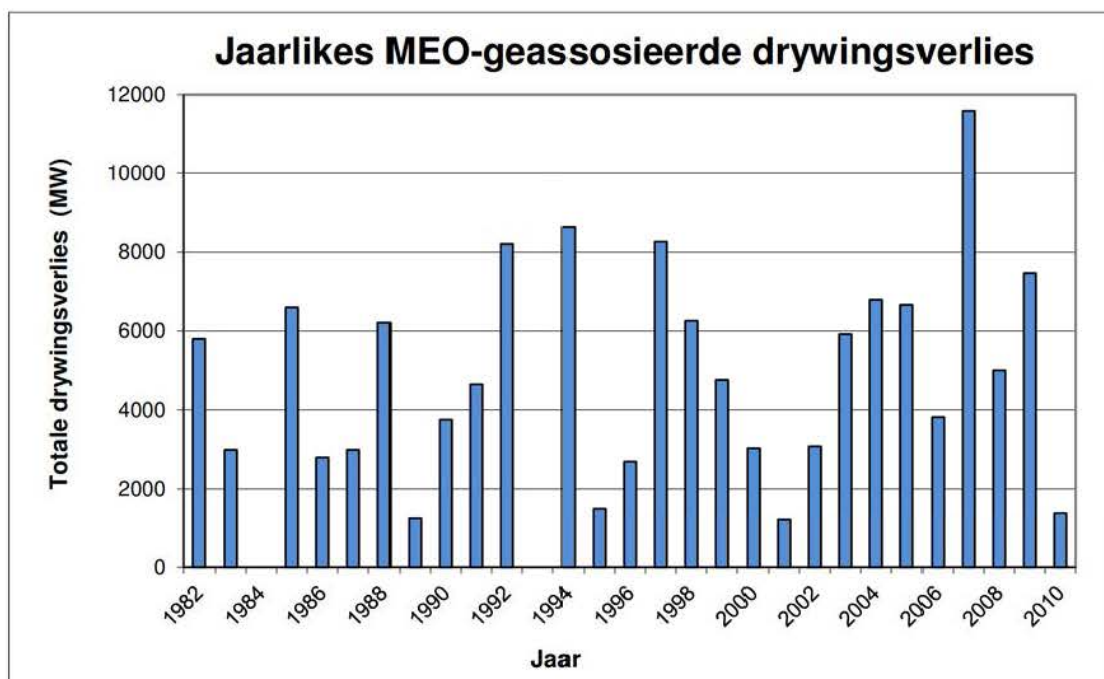


Illustrasie 9: MEO-bydrae van bygevoegde kragstasies teenoor die bestaandes

Die grafiek moet gesien word in die lig daarvan dat die bygevoegde kragstasies maar 'n baie klein aantal eenhede met 'n ewe klein ontwikkelingsvermoë verteenwoordig. Die bestaande vloot van kragstasies stel meer as 90% van die Eskomvermoë voor. Met die perspektief van die relatiewe groottes en die dienooreenkomstige bydraes tot MEO's, is dit duidelik dat nuwe toevoegings 'n aansienlike bedreiging is tot die voorkoms van MEO's op 'n tussenverbinde kragstelsel. In hierdie voorbeeld het slegs 4 kragstasies meer MEO-voorvalle veroorsaak as die bestaande vloot van 20 kragstasies oor dieselfde tyd.

3.2.3 Omvang van ontwrigting

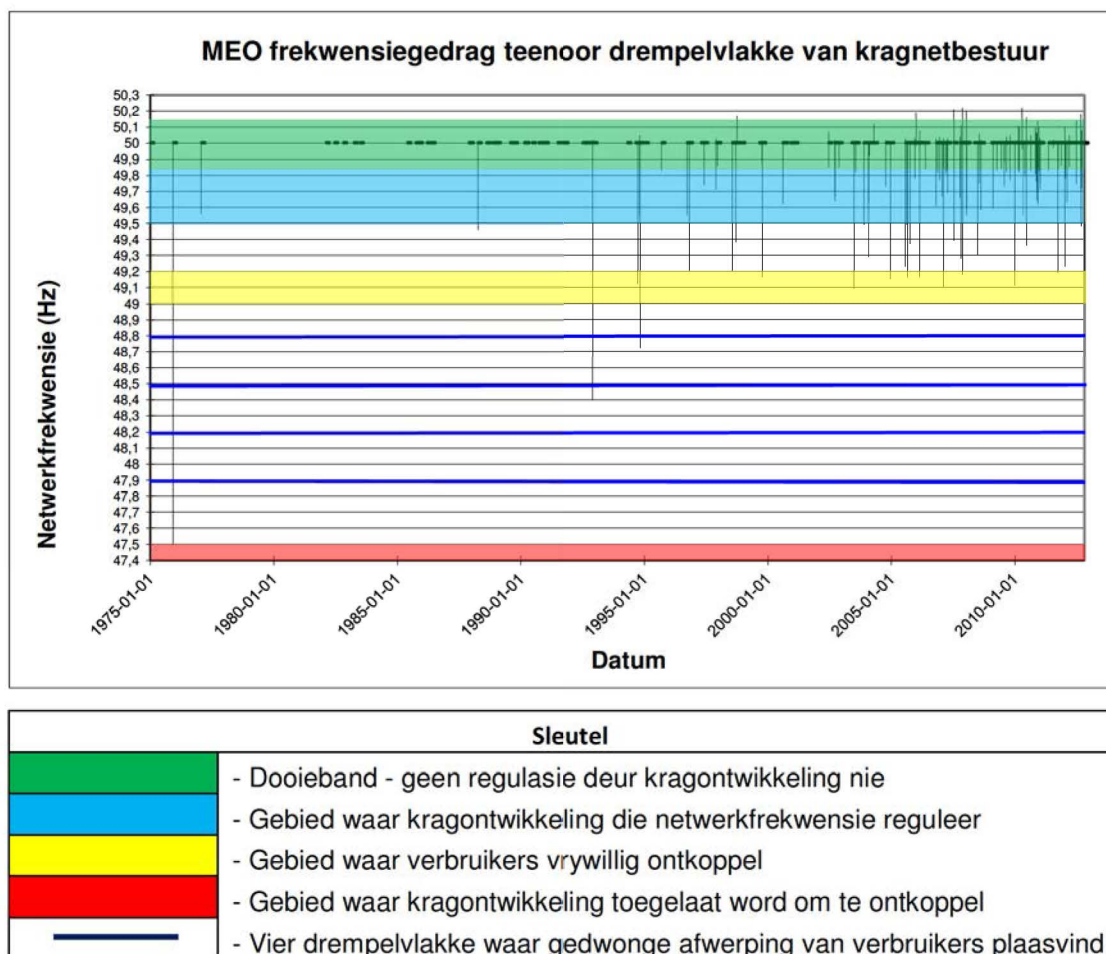
Noudat dit duidelik is dat die gevaar van 'n MEO beduidend is in terme van die voorkoms daarvan, is dit nodig om te ondersoek of dit 'n wesentlike bedreiging vir die bedryf van die tussenverbinde kragnet inhou. Om dit te ontleed, word eerstens bloot die grootte van die opwekkingsvermoë wat tydens MEO-voorvalle verwyder word vanaf die tussenverbinde kragstelsel, beskou. Die volgende grafiek wys die totale vermoë wat jaarliks by verskeie voorvalle verloor is.



Illustrasie 10: Jaarlikse aktiewe drywingsverlies as gevolg van MEO's

Hierdie uitbeelding van die probleem wys dat die totale hoeveelheid opwekking wat jaarliks deur MEO's teweeggebring word aansienlik is, sodat dit tot 'n ¼ van die totale geïnstalleerde Suid-Afrikaanse vermoë kan beslaan. Dit is egter van minder belang, aangesien dit saamgestel is uit verskeie voorvalle wat op sigself min of geen ontwrigting van die tussenverbinde kragnet tot gevolg gehad het. Derhalwe is dit nodig om 'n meer betekenisvolle perspektief op die omvang van die probleem van MEO's te verkry.

Die volgende grafiek maak die mate van ontwrigting op die tussenverbinde kragnet duideliker, deur die effek van afsonderlike voorvalle te beskou. Die mate waartoe die stelselfrekwensie afgeneem het ten tye van elke MEO word hier beskou. Om die grafiek behoorlik te interpreteer, is die huidige amptelike frekwensiebestuursraamwerk gesuperponeer, volgens die stelselbedryfskode [38].



Illustrasie 11: MEO-impak op stelselfrekwensie

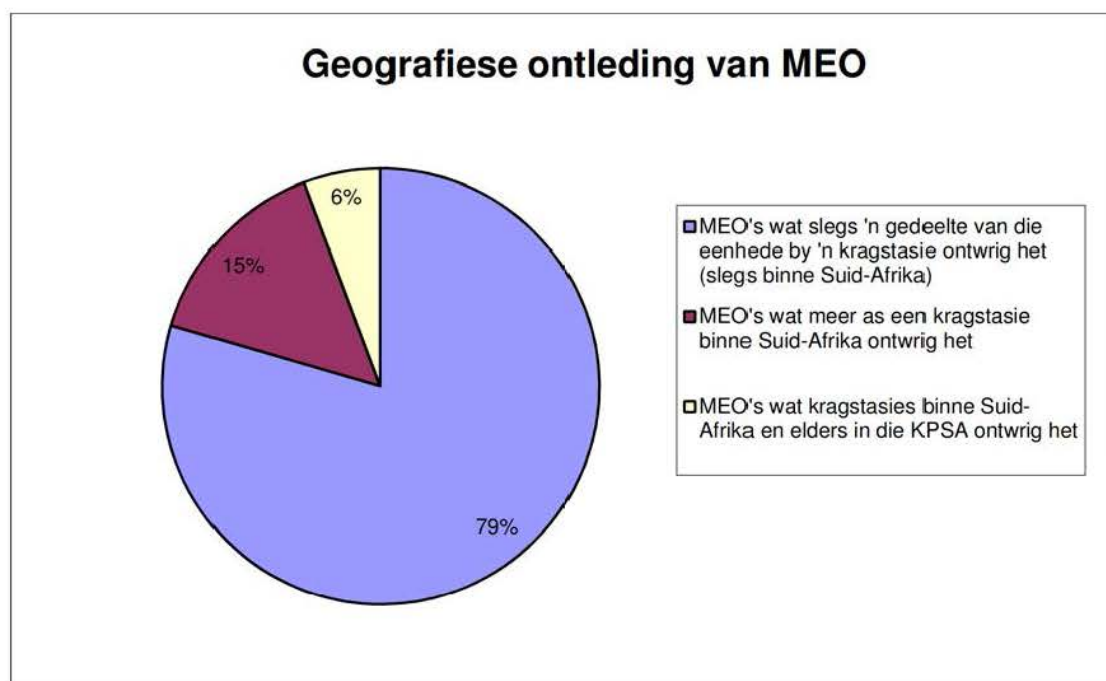
In hierdie grafiek word die mate waartoe die stelselfrekwensie afgeneem het in reaksie tot die MEO aangetoon. Let daarop dat 50 Hz die nominale frekwensie in Suid-Afrika is en frekwensie-afname getoon word ten opsigte van hierdie nominale waarde. In gevalle waar hoër waardes as 50 Hz getoon word, was die stelselfrekwensie hoër ten tye van die MEO-voorval. Dit help om die absolute minimum stelselfrekwensiewaarde tydens die voorval te beperk, maar is bloot toevallig.

Uit die grafiek kan gesien word dat feitlik alle MEO-voorvalle die dooieband van die stelsel oorskry en dus wel 'n las op die beskikbare hulpbronne, soos reserwes en infrastruktuur, van die tussenverbinde kragnet plaas. Die ontleding van die voorvalle toon aan dat slegs 20% van die MEO-voorvalle se effek op die stelselfrekwensie so laag was dat dit nie buite die dooieband gegaan het nie. Verder het 30% van die MEO-voorvalle vrywillige deelname

van verbruikers genoodsaak en 5% het gedwonge afwerping van die verbruikerslas tot gevolg gehad.

Hierdie waardes lewer bewys dat die mate van ontwrigting wat deur MEO-voorvalle teweeggebring word nie geïgnoreer kan word nie, aangesien dit dikwels so omvangryk is dat ander deelnemers as kragontwikkelaars nodig is om die effek daarvan te bekamp. Die ander deelnemers is soms die stelseloperateur deur middel van die transmissie-infrastruktuur en soms die eindverbruikers van die elektriese energie. Ander partye wat nie hier spesifiek ondersoek word nie, soos verspreiders, herverkopers van elektriese energie, internasionale kliënte, ensovoorts, kan ook geraak word. Slegs 20% van MEO-gebeurtenisse is so klein dat dit nie reaksie verg om die effek daarvan te bestendig nie.

Dit is egter tot dusvêr nie duidelik in watter mate MEO-gebeurtenisse beperk is tot enkelkragstasies nie. Die volgende ontleding werp lig op hierdie aangeleentheid.



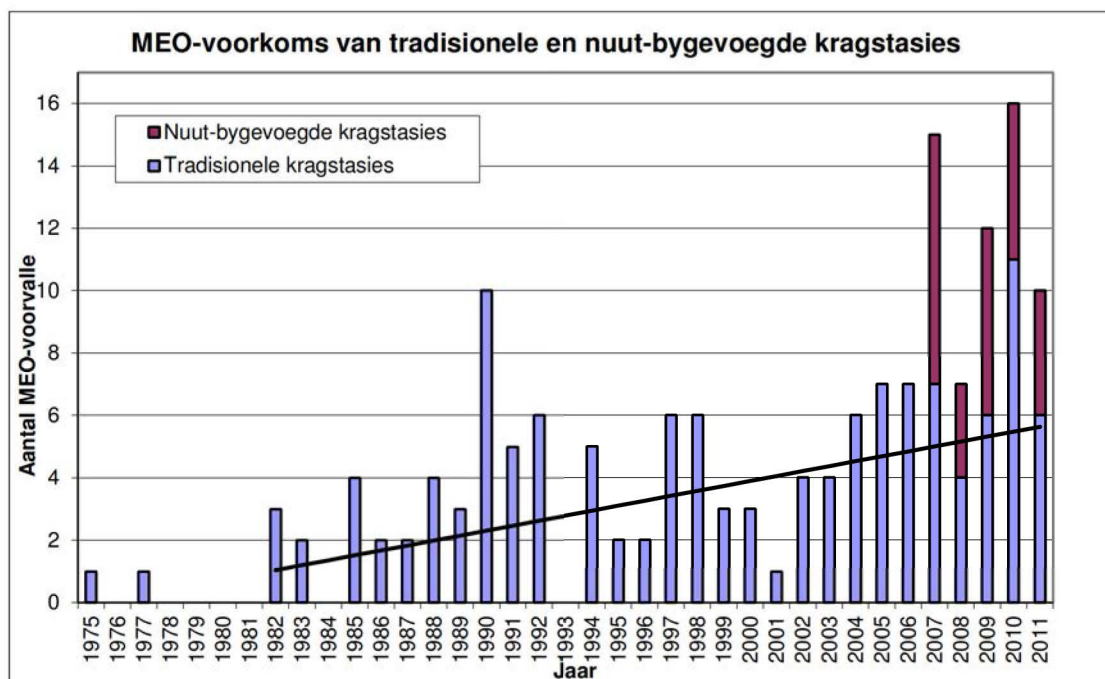
Illustrasie 12: Geografiese MEO-ontleding

Hoewel omtrent 80% van MEO-voorvalle beperk is tot slegs 'n enkele fasiliteit, kring die oorblywende ongeveer 20% van die voorvalle uit om meer as een kragstasie te ontwig. Dit is juis hierdie laaste kategorie van voorvalle wat die grootste bedreiging vir die stabiliteit van die tussenverbinde kragnet inhou.

3.2.4 Doeltreffendheid van MEO-beperking

Sedert die laat 1980's is daar daadwerklike stappe geneem om die voorkoms van MEO's te bekamp of uit te wis. In hierdie verband is aksies uitgevoer wat gespruit het uit die ondersoek van MEO-voorvalle. Verder is die gevare van MEO's hoofsaaklik benadruk aan belanghebbers direk verbonde aan kragontwikkeling.

Dit is egter nodig om krities te kyk na die sukses van die benadering wat tot dusver gevolg is in die bekamping van MEO's. Die vraag moet gevra word of die voorkoms van MEO-voorvalle toe- of af-geneem het. Illustrasie 8 toon aan dat die aantal MEO-voorvalle per jaar toegeneem het oor tyd, maar daar is aangevoer dat die bygevoegde kragstasies 'n beduidende rol gespeel het in hierdie toename. Om dus die doeltreffendheid behoorlik te beoordeel is dit nodig om die effek van die nuwe kragstasies apart te beskou van dié van die oorspronklike kragstasies. Die volgende grafiek toon die bydrae van die nuwe kragstasies duidelik aan.



Illustrasie 13: MEO-voorkoms met en sonder nuwe toevoegings

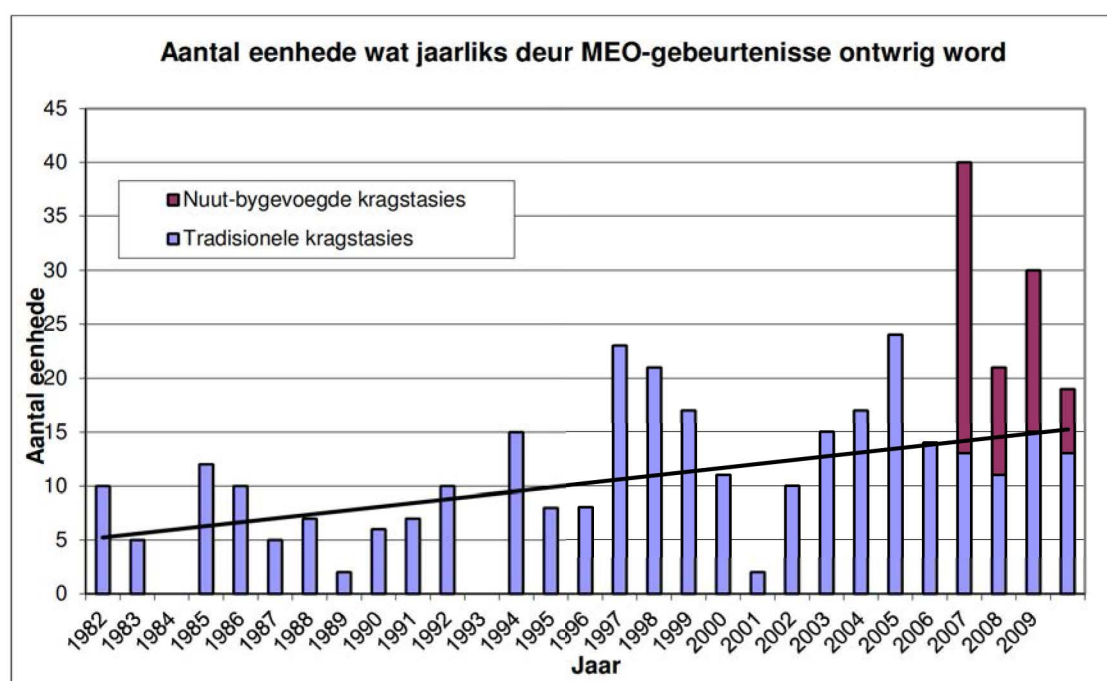
Dit is duidelik dat die bydrae van die nuwe kragstasies in die laaste vier jaar wat op die grafiek aangetoon word beduidend hoog is. Die blou waardes wys egter die MEO-voorkoms van die oorspronklike kragstasies sonder die nuwe toevoegings. Deur middel van 'n kleinste kwadratepassing is 'n liniêre regressie op die data van die tradisionele kragstasies uitgevoer oor die periode vanaf 1982 tot nou [7]. Die vergelyking van die passing is soos volg:

$$y = 0,1581 \cdot x + 1,0419$$

Die rede waarom 1982 as aanvangsjaar gekies is, is bloot omdat daar van daardie jaar af akkuraat van aaneengeskakelde gebeurtenisse boek gehou is. Die passing dui daarop dat selfs indien die bydrae van die bygevoegde kragstasies buite rekening gelaat word, daar steeds jaarliks 'n toename in die aantal MEO-voorvalleis. Trouens, volgens die regressie neem dit toe teen 'n koers van ongeveer 16% per jaar oor die periode waarvoor die ontleding gedoen is.

Uit hierdie bevindinge word die afleiding gemaak dat die stappe wat geneem is om die MEO-bedreiging te bestuur nie doeltreffend was in terme van die voorkoms daarvan nie.

Vervolgens gaan daar ondersoek ingestel word om te bepaal of die MEO-bestuur moontlik meer doeltreffend was in terme van die aantal kragontwikkelingseenhede wat jaarliks betrokke was by MEO-voorvalle. Hierdie ondersoek word ook gedoen oor die periode vanaf 1982 to op hede. Die volgende grafiek stel hierdie data voor.



Illustrasie 14: Totale aantal kragontwikkelingseenhede jaarliks betrokke by MEO's

Hoewel die bydrae van die bygevoegde kragstasies wel in die laaste vier jaar gesien kan word, is dit buite rekening gelaat vir die liniêre regressie wat op die data van die oorspronklike kragstasies uitgevoer is. Die vergelyking van die regressie vir hierdie data is:

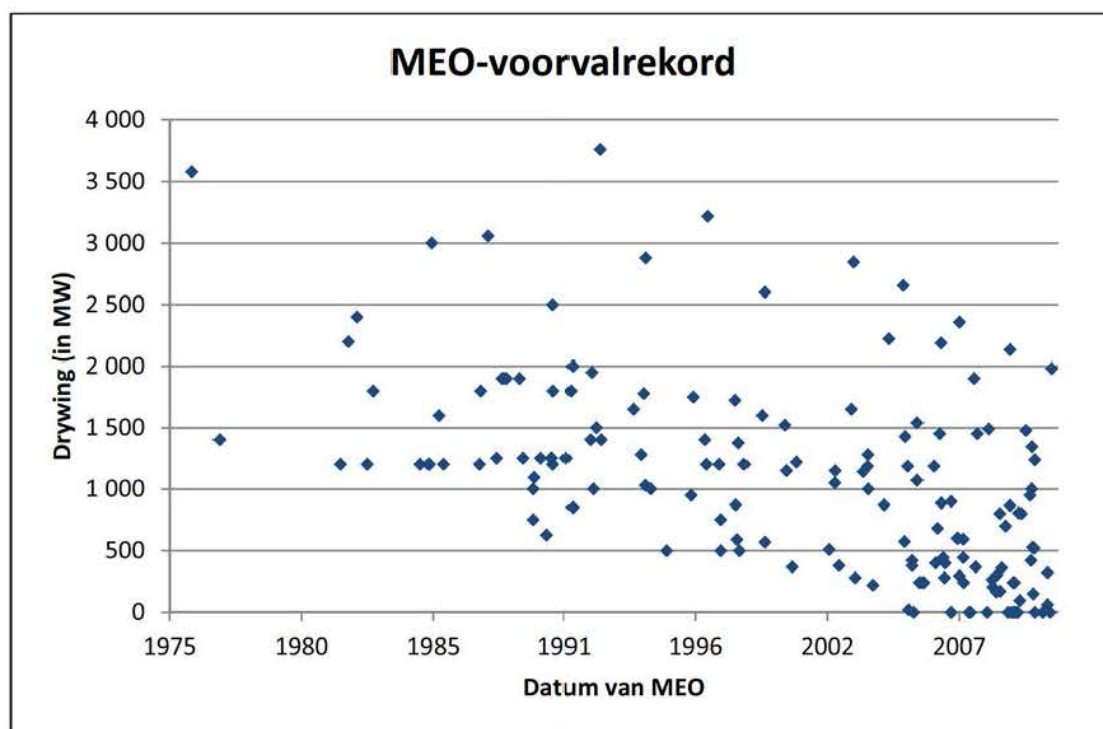
$$y = 0,3557 \cdot x + 5,2512$$

Dit is duidelik dat die aantal eenhede wat betrokke was by MEO-voorvalle sedert 1982 toegeneem het. In teenstelling met die ontleding van die aantal

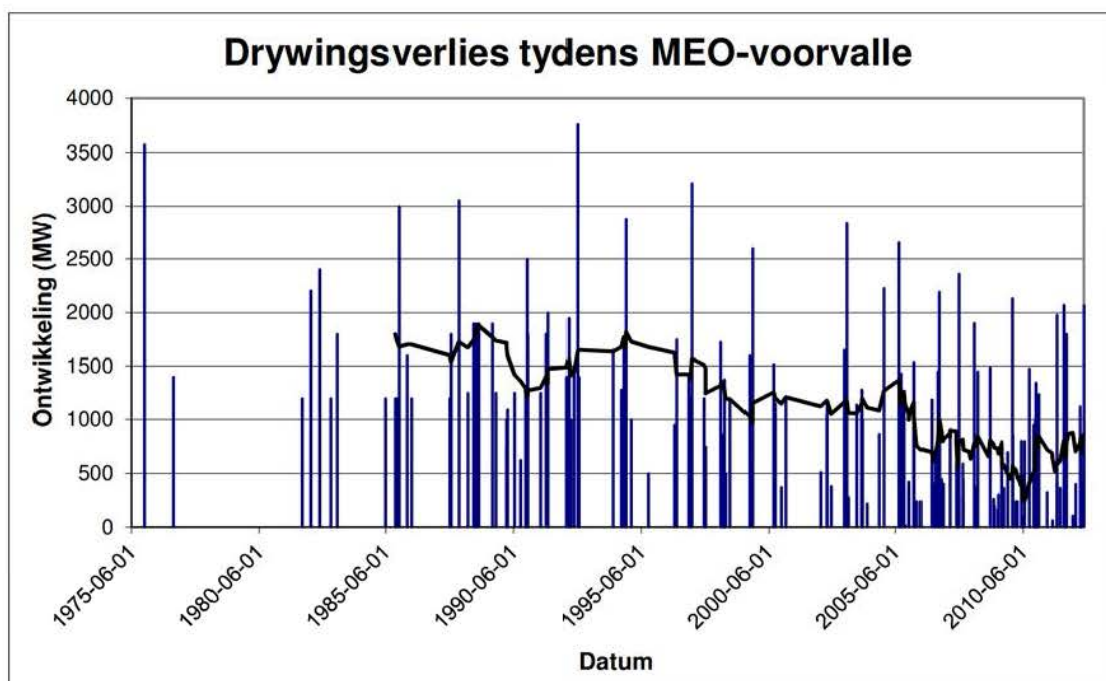
MEO-voorvalle wat toegeneem het teen 'n koers van 16% p.a., is die toename in die deelnemende kragontwikkelingseenhede egter ongeveer 36%. Hierdie verhoogde koers van toename bevestig dat die MEO-voorvalle oor tyd uit al groter hoeveelhede deelnemende kragontwikkelingseenhede bestaan.

In hierdie opsig was die bestuurstrategie jeens MEO's ook nie doeltreffend om die aantal eenhede wat daardeur ontwrig word te beperk nie. Dit het selfs nog meer toegeneem as die mate waarmee die MEO-voorvalle toegeneem het.

Daar kan ook vasgestel word of die omvang van die ontwikkelde drywing wat onderbreek of afgeneem het as gevolg van MEO's oor tyd toe- of afgeneem het. In hierdie verband word die totale rekord van voorvalle ondersoek en in die volgende twee grafieke getoon. In die eerste grafiek word die voorvalle bloot gestip volgens datum teen die totale drywingsverlies van die voorval. Die tweede grafiek illustreer die gemiddelde voorvalomvang oor tyd.

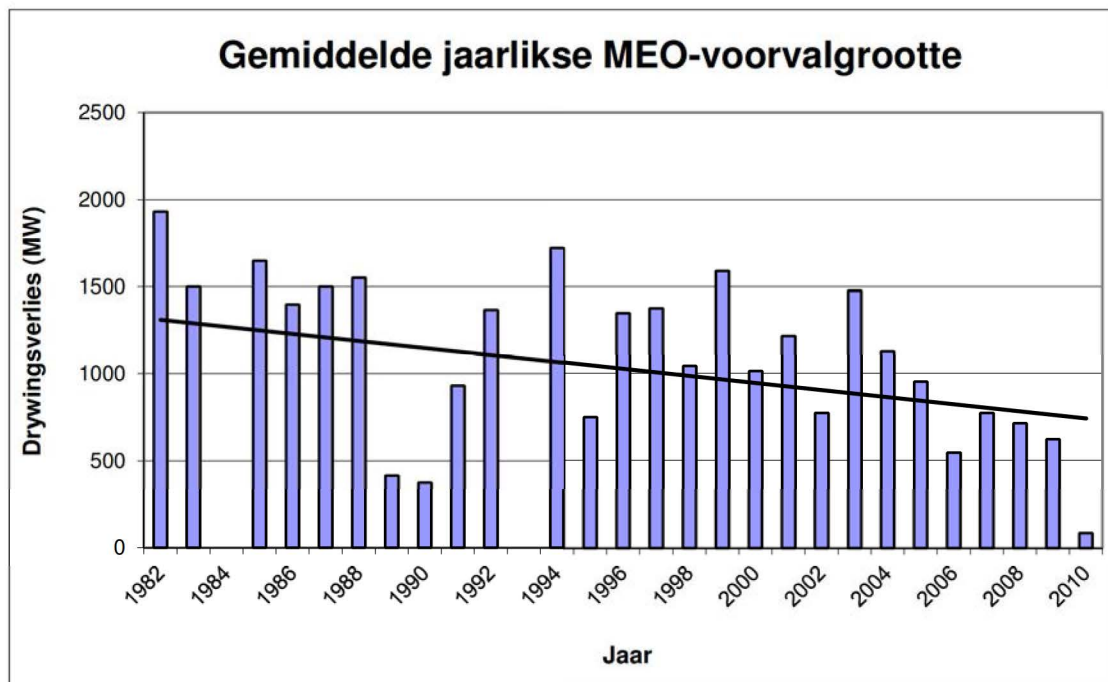


Illustrasie 15: Afsonderlike MEO-voorvalle: Drywingsverlies teen datum



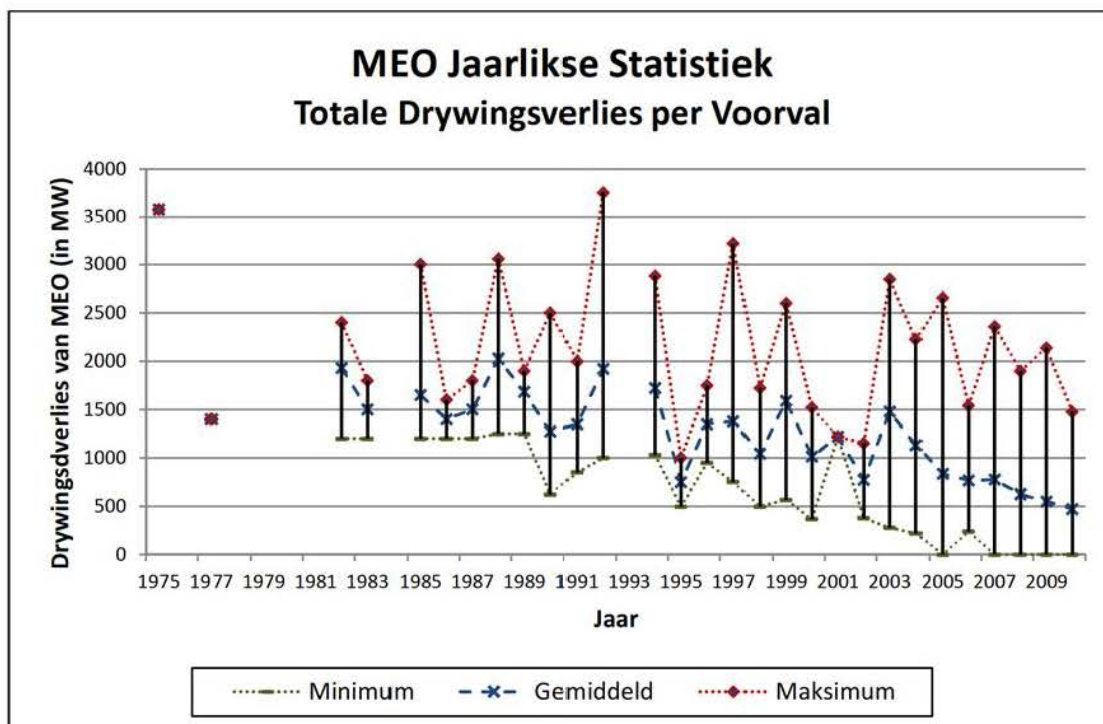
Illustrasie 16: Omvang van MEO-drywingsverlies

In hierdie geval is die totale waarde van elke MEO-voorval gestip op die datum van voorkoms. Die swart kurwe in illustrasie 16 dui 'n lopende gemiddelde waarde oor 'n 10-datapuntinterval aan. Hieruit kan gesien word dat die gemiddelde MEO-voorval in 1985 'n drywing van meer as 1500 MW prysgegee het, teenoor 'n huidige gemiddeld van ongeveer 500 MW. Hierdie afname word bevestig deur die volgende voorstelling van die gemiddelde drywingsverlies tydens MEO-voorvalle wat oor eenjaarperiodes bereken word.



Illustrasie 17: Jaarlikse gemiddeld vir MEO-drywingsverlies

Uit die waardes van die liniêre regressie blyk dit dat die jaarlikse gemiddeld vir drywingsverlies afneem met ongeveer 36 MW per jaar oor die periode sedert 1982. Beperkingsmaatreëls in terme van MEO-bedreigings het dus 'n mate van sukses gehad met betrekking tot die omvang van die drywingsverlies tydens MEO-voorvalle. 'n Verdere beskouing van die sukses wat 'n ingenieursfokus op die verminderende blootstelling van MEO-bedreiging het, word in die volgende illustrasie getoon.



Illustrasie 18: MEO-statistiek op 'n jaarlikse basis

Die grafiek toon op 'n jaarlikse basis die drywingsverliese wat deur die mees- en mins-omvangryke MEO-voorvalle veroorsaak is, asook die gemiddelde MEO-drywingsverlies in elke jaar. Hieruit is dit duidelik dat al drie hierdie waardes van MEO-voorvalle oor tyd afneem.

Uit die voorafgaande bespreking kan daar tot die slotsom gekom word dat die bekamping van MEO-voorvalle beperkte sukses gehad het oor die periode sedert 1982. Die voorkoms van MEO-voorvalle bly toeneem en die aantal deelnemende ontwikkelingseenhede neem selfs meer toe as die MEO-voorvalle self. Die enigste aspek wat positief is in die beperking van die MEO-bedreiging is dat die omvang daarvan afneem oor tyd en dat dit geld vir die maksimumomvang-voorval, die minimumomvang-voorval asook die gemiddelde waarde per jaar.

3.2.5 Verband tussen netwerf frekwensie en drywingsverlies

Daar bestaan 'n intuïtiewe vermoede dat die mate waartoe die netwerf-frekwensie sal afneem 'n direkte verband het met die grootte van die drywingsverlies wat tydens die MEO-voorval plaasvind. Hierdie vermoede is gebaseer op die kennis dat 'n verlies in ontwikkelde drywing nie oombliklik

deur ander kragontwikkelingsbronne aangevul kan word nie en dat dit 'n bepaalde eindige tyd sal neem vir ander bronne om die verlore drywing te vervang.

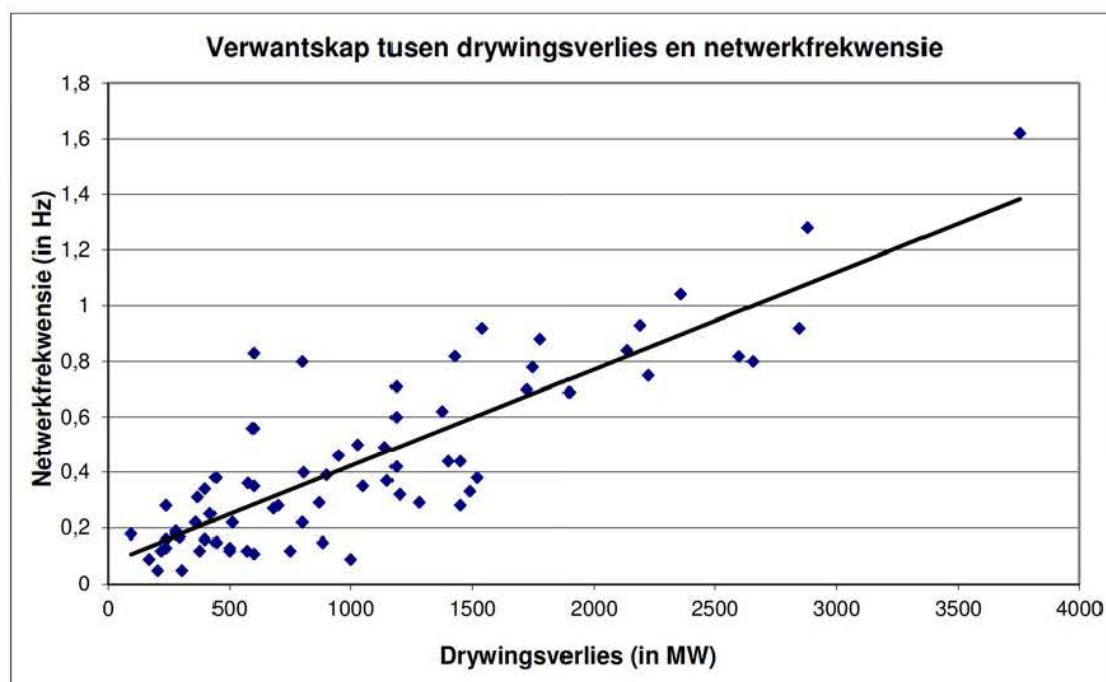
Die wyse waarop die frekwensie van die tussenverbinde kragnet beheer word, berus op die beginsel dat kragontwikkelingsbronne hul drywingsuitset sal aanpas na gelang van die frekwensie wat op die tussenverbinde kragnet gemeet word. So byvoorbeeld sal kragontwikkelingsbronne se drywingsuitset toeneem wanneer die frekwensie van die tussenverbinde kragnet daal tot minder as 49,85 Hz. Dit sal slegs gebeur indien die bron onbenutte vermoë beskikbaar het en die beheerstelsel van die bron sodanig gestel en aktief is tydens die voorval (sien illustrasie 6). Die teenoorgestelde argument is ook waar vir gevalle waar die frekwensie van die tussenverbinde kragnet toeneem tot meer as 50,15 Hz.

Gestel die frekwensie van die tussenverbinde kragnet tydens 'n MEO-voorval was gelyk aan die nominale waarde van 50 Hz, dan sal die oorblywende kragontwikkeligseenhede nie dadelik begin om hul onderskeie vlakke waarteen hul ontwikkel te verhoog nie. Eers wanneer die frekwensie van die tussenverbinde kragnet daal tot laer as 49,85 Hz sal die laer gemete frekwensie veroorsaak dat die beheerstelsels van die oorblywende kragontwikkeligseenhede reageer op die lae frekwensie deur die kragontwikkelingsproses aan te pas om teen 'n hoër koers elektriese energie te ontwikkel.

Aangesien dit tyd in beslag neem vir die kragontwikkelingsproses om die nodige aanpassings te ondergaan om teen 'n hoër koers elektriese energie te ontwikkel, word die tekort in energie onttrek uit die kinetiese energie van die roterende kragontwikkelingsmasjinerie wat aan die tussenverbinde kragnet gekoppel is. Die onttrekking van kinetiese energie uit die roterende kragontwikkelingsmasjinerie lei tot 'n afname in die frekwensie op die tussenverbinde kragstelsel. Hierdie afname in frekwensie van die tussenverbinde kragnet duur voort totdat 'n nuwe balans ontstaan tussen die

kragontwikkelingsbronne en die verbruikerslas wat gekoppel is aan die tussenverbinde kragstelsel.

Die volgende illustrasie toon die afname in frekwensie van die tussenverbinde kragnet vir die ooreenstemmende waardes van die omvang van die verlies aan drywing wat tydens elke MEO aangeteken is.



Illustrasie 19: Frekwensie-afnames tydens MEO's

Al hierdie waardes van frekwensie-afnames in illustrasie 11 is van toepassing op 'n kragnet met al die ontwerpte maatreëls wat frekwensie-afname teëwerk. Hierdie ingeslotenheid van frekwensiebestuursmaatreëls is nuttig wanneer die data aangewend word om voorspellings te maak of om bedryfsperke te bepaal. 'n Reguit lyn is op die data gepas, met die vergelyking:

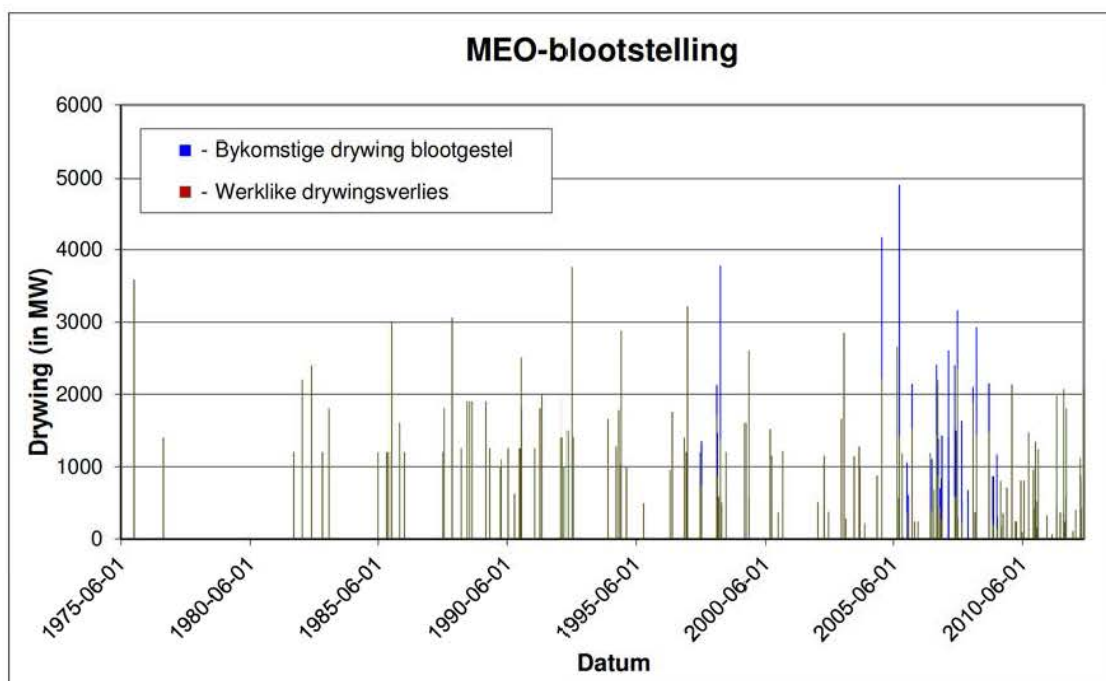
$$y = 0,000348 \cdot x + 0,074845$$

met $R^2=0,72$.

Daar word algemeen aanvaar dat wanneer kragontwikkeling begin ontkoppel tydens lae-frekwensietoestande op die tussenverbinde kragstelsel, dit tot 'n

algehele uitdowing van die kragnet in die land sal lei. Die waarde waarby dit toegelaat word is 'n netwerkfrequensie op die tussenverbinde kragnet van 47,5 Hz [38]. Wanneer bostaande vergelyking van die liniêre regressie opgelos word vir 'n 2,5 Hz-afname vanaf die nominale frekwensiewaarde van 50 Hz, word 'n drywingsverlies van 8 583 MW bereken. Hierdie waarde kom neer op ongeveer die geïnstalleerde vermoë van $2\frac{1}{2}$ groot steenkoolkragstasies. Met ander woorde, indien daar tydens 'n MEO 'n drywingsverlies van ongeveer drie groot steenkoolkragstasies plaasvind, blyk dit uit die data dat die frekwensie van die tussenverbinde kragnet sal daal tot 47,5 Hz waarby kragontwikkeling toegelaat word om te ontkoppel van die tussenverbinde kragstelsel. Hierdie afname tot 47,5 Hz sal plaasvind te midde van die werking van die huidige bekampingsmaatreëls wat die frekwensieafname sal teëwerk en sal waarskynlik die algehele tussenverbinde kragnet van Suid-Afrika uitdoof.

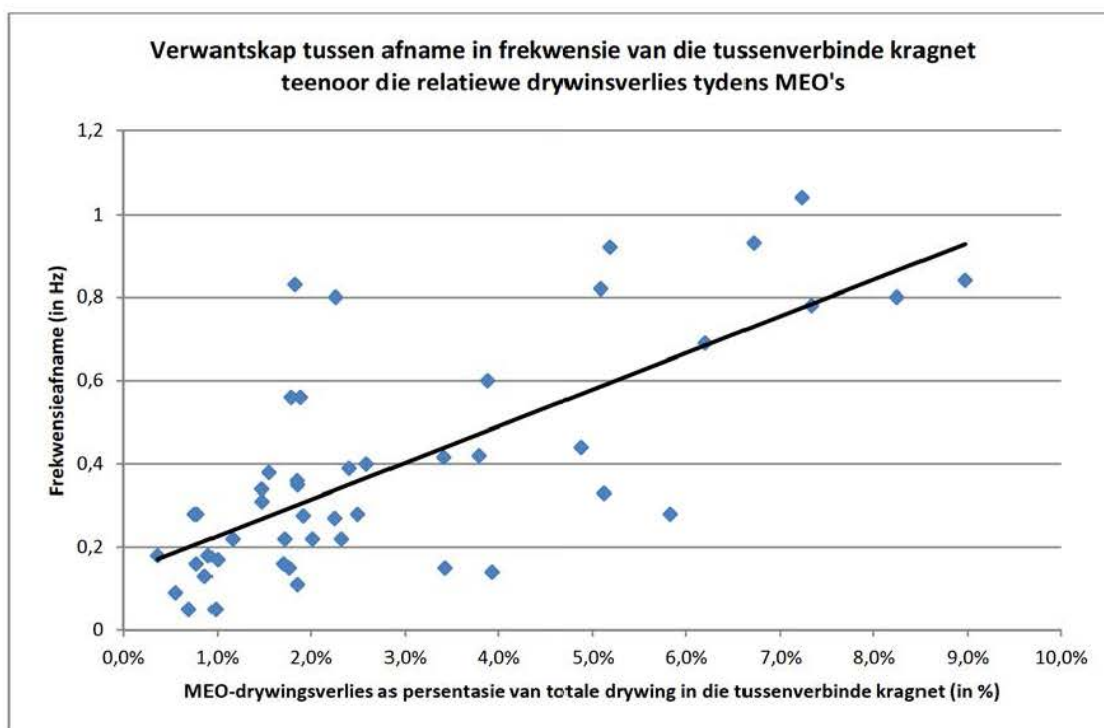
Illustrasie 16 toon die individuele drywingsverliese wat tydens MEO-voorvalle aangeteken is. Die grootste drywingsverlies was 3 755 MW, wat vêr benede die berekende waardes is waar die behoud van die tussenverbinde kragnet bedreig word. 'n Verdere ontleding van die MEO-voorvalle is uitgevoer, met die oogmerk om vas te stel of daar bykomstige drywing blootgestel kon wees tydens MEO-voorvalle wat verloor kan word. Dit maak dan die werklike MEO-omvang groter onder sekere omstandighede. Die volgende illustrasie toon die bevindinge van dié ontleding.



Illustrasie 20: Werklike MEO-bedreiging

Hier kan gesien word dat in die meeste MEO-voorvalle, daar aansienlik meer drywing in gevaar was om ook verloor te word. Dit is egter voorkom as gevolg van toevallige gunstige omstandighede. Die totale waarde van blootstelling, wat beide die werklike drywingsverlies en die bykomstige drywing wat blootgestel was aan ontwrigting in ag neem, was op 1992-11-24 ongeveer dubbel die werklike waarde van die drywing wat verloor is, naamlik 7 235 MW. Hierdie gesamentlike waarde raak vergelykbaar met die waarde van 8 583 MW (binne 15%) wat bereken is as die waarde waarby die behoud van die tussenverbinde kragnet prysgegee kan word. Daar was dus een moontlike MEO-voorval in die afgelope 20 jaar waartydens die tussenverbinde kragnet van Suid-Afrika in gevaar was om uitgedoof te word, maar wat voorkom is deur toevallige gunstige omstandighede ten tye van die gebeurtenis.

'n Ander perspektief op die effek van frekwensieafname tydens 'n MEO, is om die frekwensieafname te vergelyk met die drywingsverlies relatief tot die totale drywing op die tussenverbinde kragnet ten tye van die MEO-voorval. Die volgende illustrasie tref hierdie vergelyking.



Illustrasie 21: Frekwensieafname in relatiewe terme

Die vergelyking van die lyn verkry uit die lineêre regressie, is:

$$y = 8,7952 \cdot x + 0,1385$$

met $R^2=0,53$.

Hieruit word bereken dat 'n MEO-drywingsverlies van 18,4% sal lei tot 'n afname in die frekwensie van die tussenverbinde kragnet van 2,5 Hz. Hierdie waarde is gebaseer op die werklike netwerkreaksie in samewerking met die bekampingsmaatreëls wat frekwensieafname teëwerk.

Die konsep om die verhouding tussen twee waardes, spesifiek waardes van drywing, weer te gee, word dikwels in die wetenskap in desibel (dB) uitgedruk. Hierdie gebruik word dan nou ook in hierdie verband ingevoer, waar

$$L_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \cdot \frac{P_1}{P_0}$$

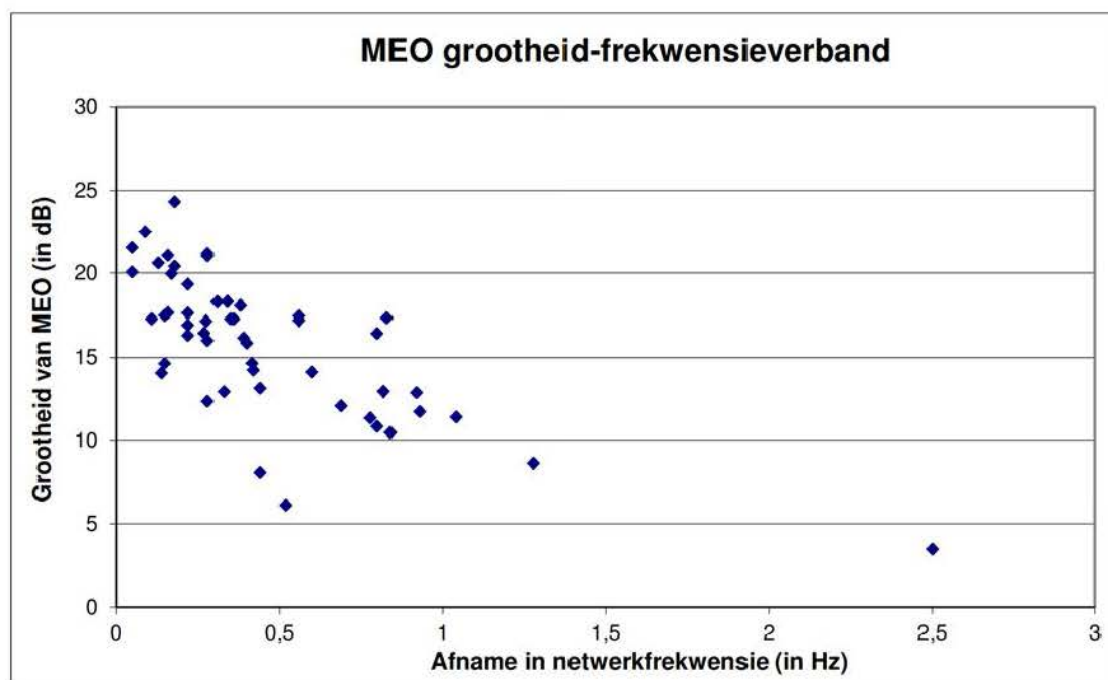
met

L die verhouding tussen die drywing in die tussenverbinde kragnet en die MEO in desibel.

P_1 die drywing in die tussenverbinde kragnet

P_0 die drywing van die MEO-gebeurtenis

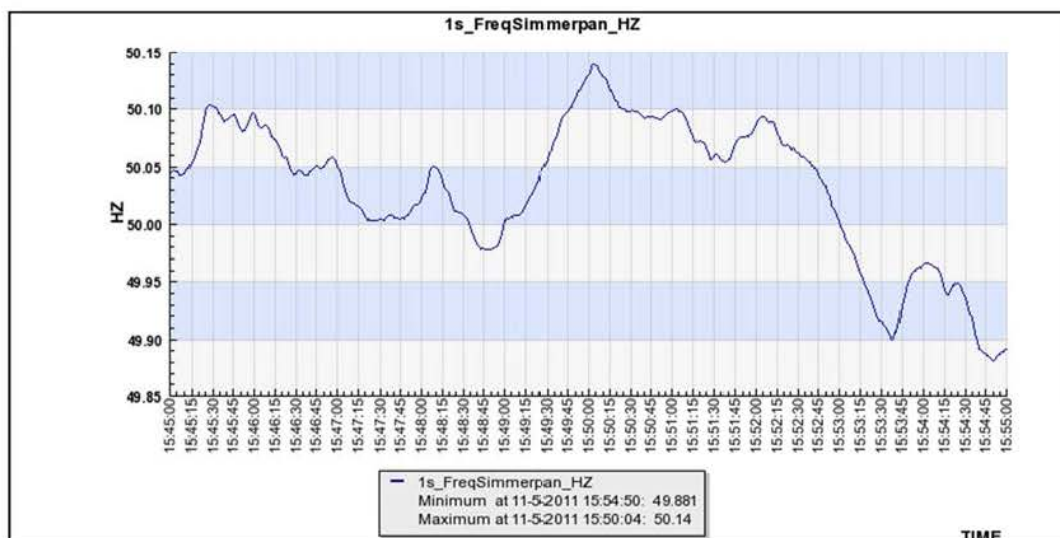
Hierdie verhouding in desibel uitgedruk sal voortaan verwys na die *grootheid* van die MEO. In die volgende illustrasie is die groothede van MEO-voorvalle gestip teen die mate van afname in die netwerfrewensie op die tussenverbinde kragnet as gevolg van die MEO.



Illustrasie 22: Frekwensieafname in relatiewe terme

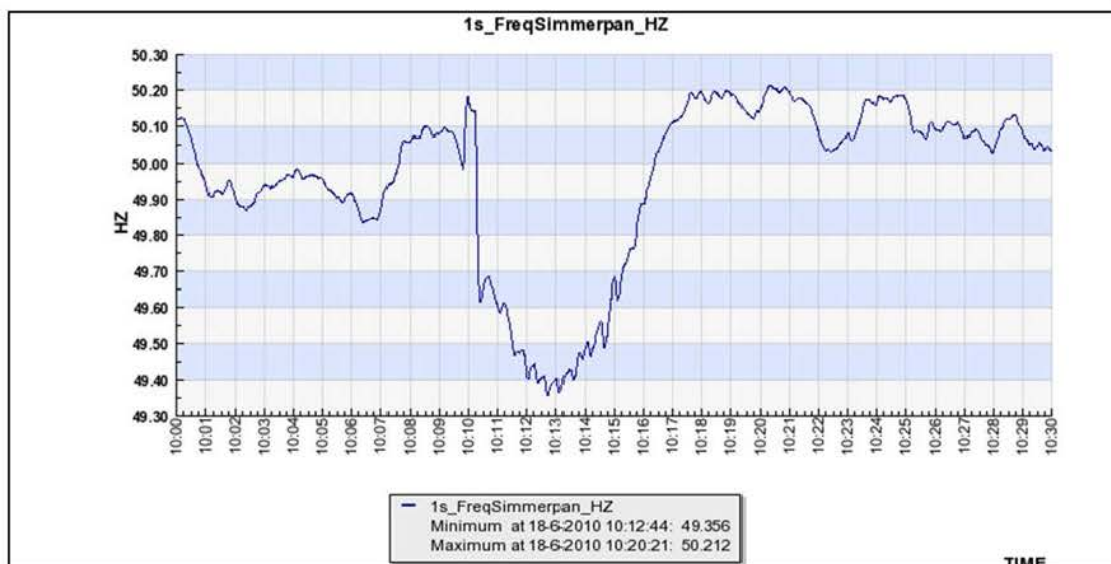
Daar kan gesien word dat MEO-voorvalle met 'n *grootheid* van 20 dB of hoër meestal 'n klein effek op netwerfrewensie het en dat hulle nie 'n merkbare patroon volg nie. Die rede hiervoor is dat sulke voorvalle so gering is, dat die effek daarvan kwalik op die netwerfrewensie gesien kan word. Om hierdie stelling te staaf, word die volgende illustrasie getoon, wat 'n werklike opname van netwerfrewensie teen 1-sekonderesolusie is van 'n 21 dB-MEO wat om presies 15:48 plaasgevind het (en geen ander MEO in die getoonde venster nie). Uit die illustrasie is dit duidelik dat die matige afname in netwerf-

frekwensie verreweg oorskadu word deur ander netwerkgedrag wat glad nie met die MEO-gebeurtenisse verband hou nie.



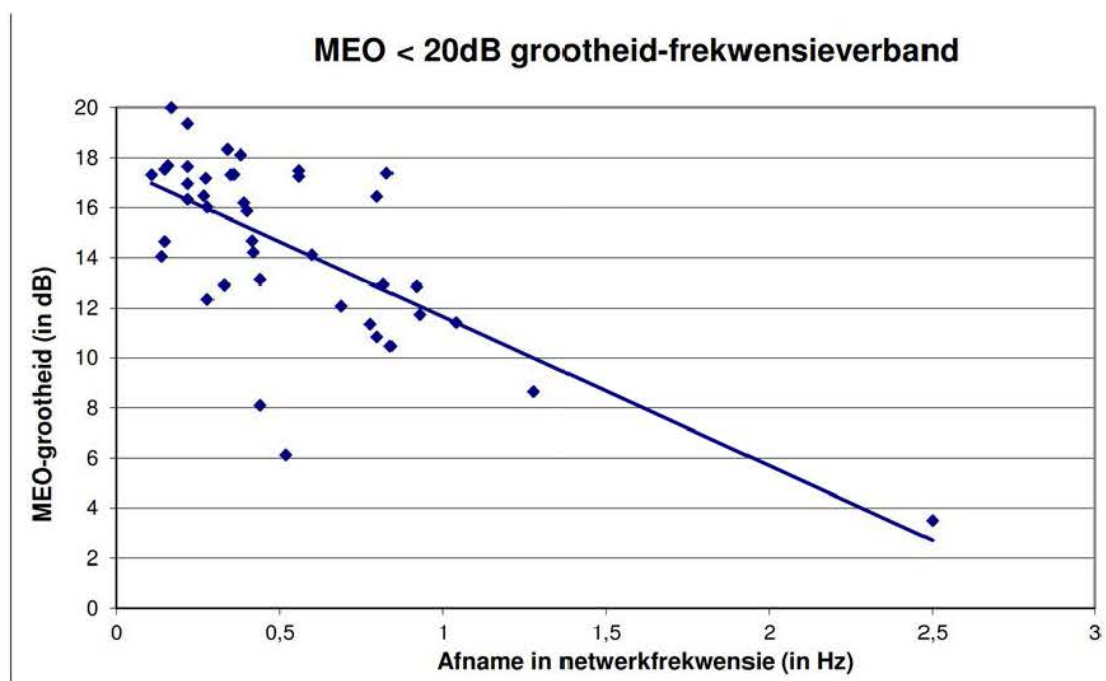
Illustrasie 23: Werklike opname van netwerkfrekwensie tydens 'n 21 dB-MEO

Hierteenoor toon illustrasie 24 die effek op netwerkfrekwensie van 'n MEO met 'n grootheid van 16 dB wat om 10:12 plaasgevind het, in 1-sekonderesolusie. Hier is die effek van die MEO duidelik en oorheers die effek van die MEO en die gevolglike herstel daarna die totale verloop van die netwerkfrekwensie in die venster. Verder is die mate van afname in die netwerkfrekwensie merkbaar groter as die wisselings wat tydens die 21 dB-MEO sigbaar is.



Illustrasie 24: Werklike opname van netwerkfrewensie tydens 'n 16 dB-MEO

As gevolg van die geringe uitwerking wat MEO-voorvalle met *grootheide* van 20 dB of meer op die netwerkfrewensie het, word hulle doelbewus uit illustrasie 25 verwyder. Alle MEO's met 'n grootheid van minder as 20 dB is gestip met 'n regressielyn in die volgende illustrasie.



Illustrasie 25: Netwerkfrewensieafname in relatiewe terme (< 20 dB)

Die vergelyking van die lyn in hierdie illustrasie is:

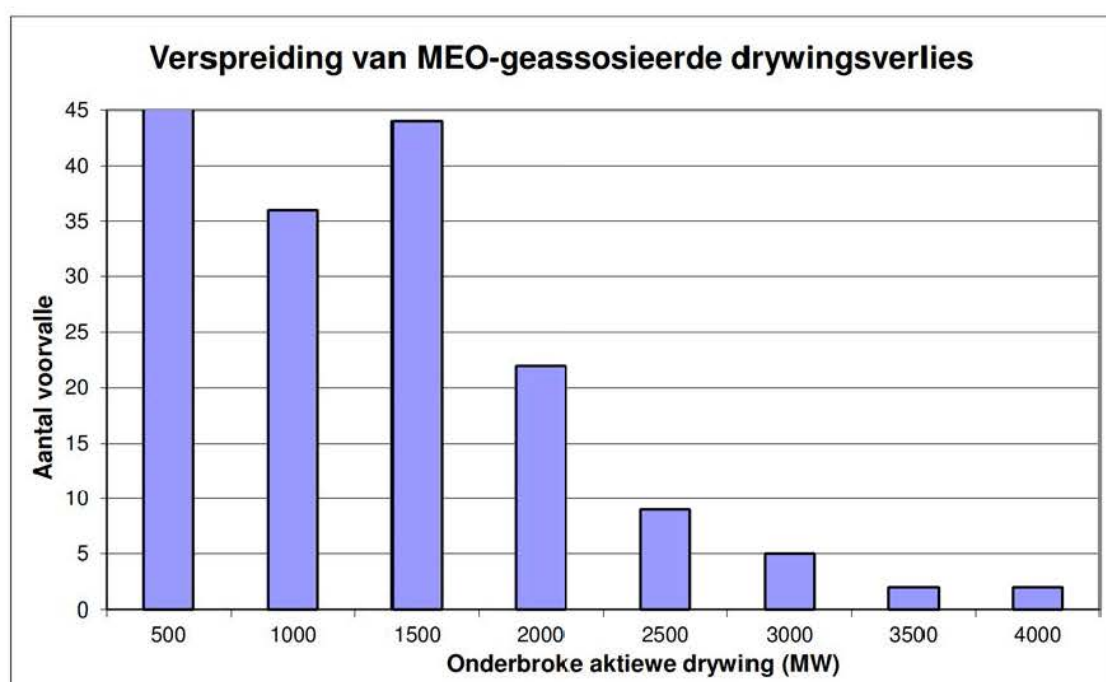
$$y = -6 \cdot x + 17,6$$

Die gradiënt van -6 is dus 'n maatstaf van die sensitiviteit van die Suid-Afrikaanse tussenverbinde kragnet se netwerkfrewensie vir MEO-steurings.

Hierdie sensitiviteit van die netwerkfrewensie van 'n netwerk ten opsigte van die grootte van 'n MEO, is waarskynlik nie 'n konstante tussen netwerke nie en hang af van die totale traagheid van al die sinchrone massas op die netwerk, asook die tipe maatreëls wat getref word tydens lae-frewensievoorvalle. Derhalwe sal hierdie sensitiviteit 'n karakteristieke waarde van 'n netwerk wees wat vir beplanningsdoeleindes aangewend kan word.

3.2.6 Identifikasie van die verspreidingskarakteristiek van MEO-geassosieerde drywingsverlies

Ten einde die vermoë te ontwikkel om die werklike bedreiging te bepaal wat 'n MEO in die kragstelsel kan veroorsaak, moet die gepaste waarskynlikheidsdigtheidsfunksie bepaal word. Die data van die drywing wat onderbreek is tydens MEO-voorvalle word op die volgende grafiek getoon.



Illustrasie 26: Totale aantal MEO-voorvalle per drywingsinkrement

Die grafiek bevestig dat die meeste MEO-voorvalle se geassosieerde drywing relatief laag is, naamlik - 1 500 MW of minder. Toenemend minder voorvalle vind plaas in die inkremente bo 2 000 MW. Dit is ooglopend dat die verspreiding van drywingsverlies wat met MEO-voorvalle geassosieer word, nie simmetries is nie en dat dit per definisie nie ter sprake is vir gebeure waar geen drywingsverlies plaasgevind het nie.

Aangesien negatiewe waardes nie ter sprake is nie, word slegs waarskynlikheidsdigtheidsfunksies oorweeg wat sodanige eienskappe het en word ander, soos normaalverdelings, nie in aanmerking geneem nie.

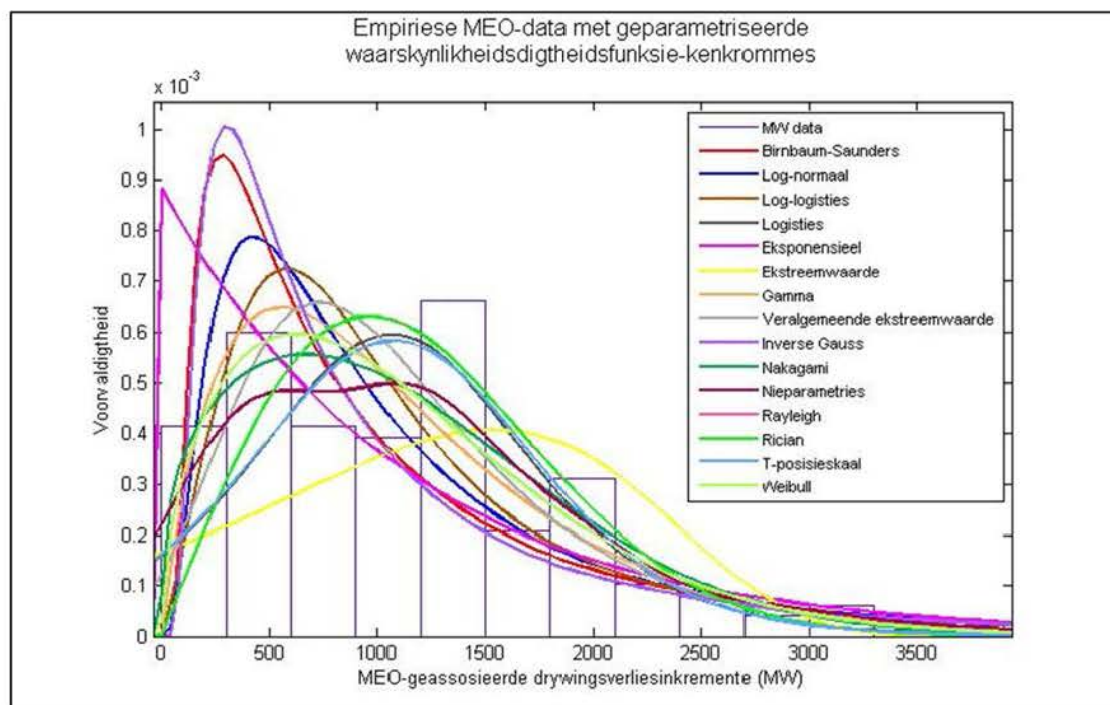
MATLAB ® is 'n kragtige wiskundige rekenaarprogram wat nuttige funksies bevat om die identifikasie van statistiese modelle moontlik te maak en is gebruik in die volgende stappe van identifikasie.

Eerstens is die data gepas teenoor al die waarskynlikheidsdigtheidsfunksies wat aan die bogenoemde vereistes voldoen, naamlik onsimmetries met betrekking tot die gemiddeld en wat slegs positiewe waardes verteenwoordig. Die volgende waarskynlikheidsdigtheidsfunksies is teenoor die empiriese verdelingswaardes getoon.

- a Birnbaum-Saunders
- b Eksponensieel
- c Ekstreemwaarde
- d Gamma
- e Veralgemeende ekstreemwaarde
- f Inverse Gauss
- g Logisties
- h Log-logisties
- i Log-normaal
- j Nakagami
- k Nieparametries
- l Rayleigh
- m Rician

- o T-posisieskaal
- p Weibull

Ter illustrasie word die volgende voorstelling getoon met al die waarskynlikheidsdigtheidsfunksies wat gelyktydig vir die data geparametriseer is, op dieselfde vlak.



Illustrasie 27: MEO-geassosieerde data teen waarskynlikheidsdigtheidsfunksies

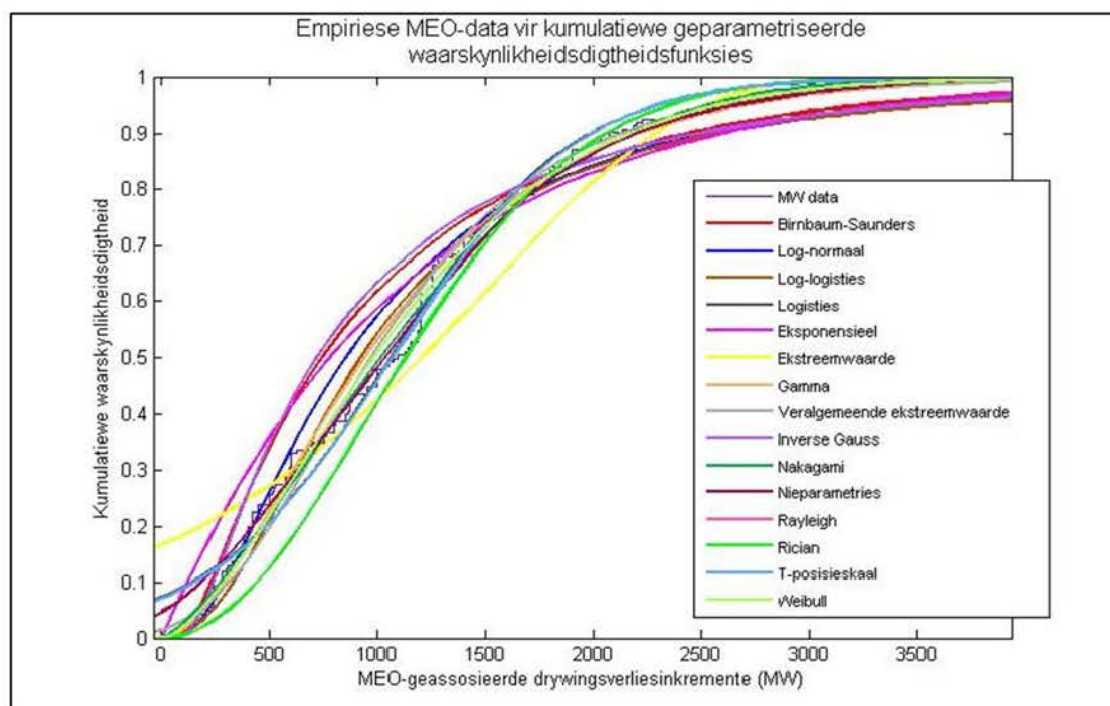
Dit is duidelik dat hierdie voorstelling haas onmoontlik is om sinvol te ontleed. Om hierdie rede is 'n stapsgewyse proses stelselmatig gevolg om toenemend van die waarskynlikheidsdigtheidsfunksies te elimineer tot die mees geskikte een gevind is. Die eksponensiële funksie kan byvoorbeeld reeds geïdentifiseer word as 'n swak voorstelling van die empiriese data.

Die MATLAB ®-funksies laat toe dat daar 'n reeks perspektiewe van die data teenoor die waarskynlikheidsdigtheidsfunksies oorweeg kan word om sodoende die finale passing te identifiseer. Hierdie perspektiewe is die volgende:

- a Die waarskynlikheidsdigtheid (soos bo getoon)
- b Die kumulatiewe digtheidsfunksie

- c Die inverse kumulatiewe digtheidsfunksie (kwantiel)
- d Die waarskynlikheidsmodel
- e Die langselewende funksie
- f Die kumulatiewe gevaar

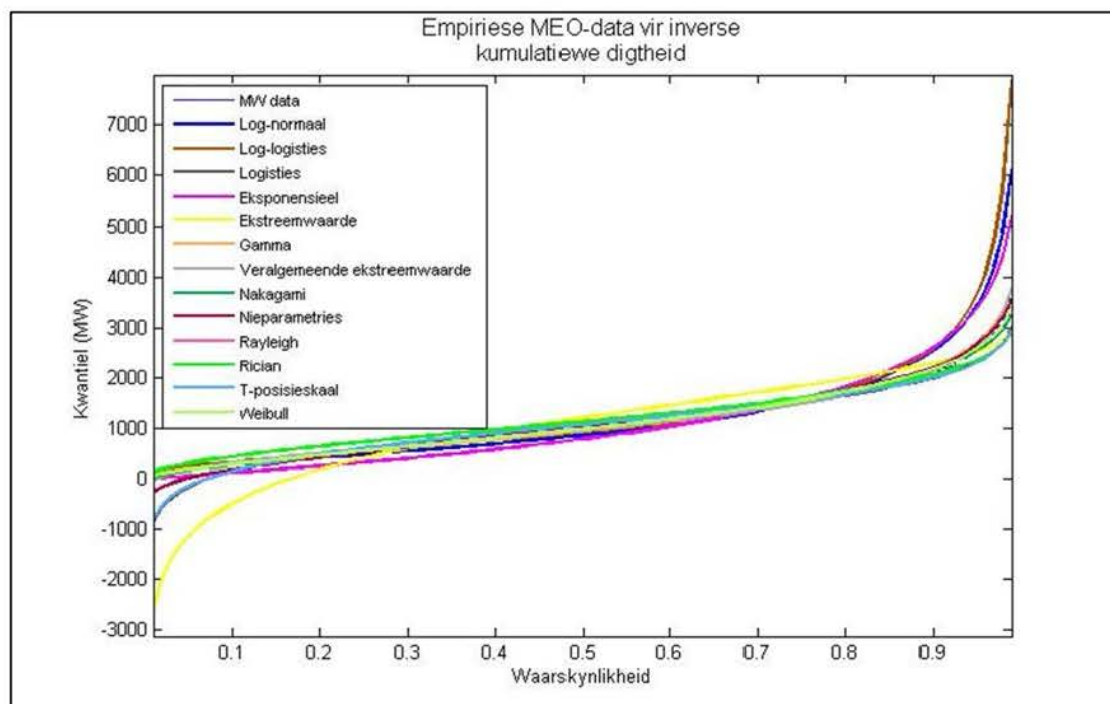
Deur iteratief oorweging te skenk aan hierdie perspektiewe, kan die minder geskikte passings van die beter passings geskei word tot die bestes gevind word. So, byvoorbeeld, kan uit die empiriese MEO-data se kumulatiewe digtheidsvoorstelling beide die Birnbaum-Saunders en die Inverse Gauss verspreidings geëlimineer word. Hierdie data word teenoor verskillende tipes verspreidingsfunksies geparametriseer.



Illustrasie 28: MEO-geassosieerde data vir kumulatiewe digtheid

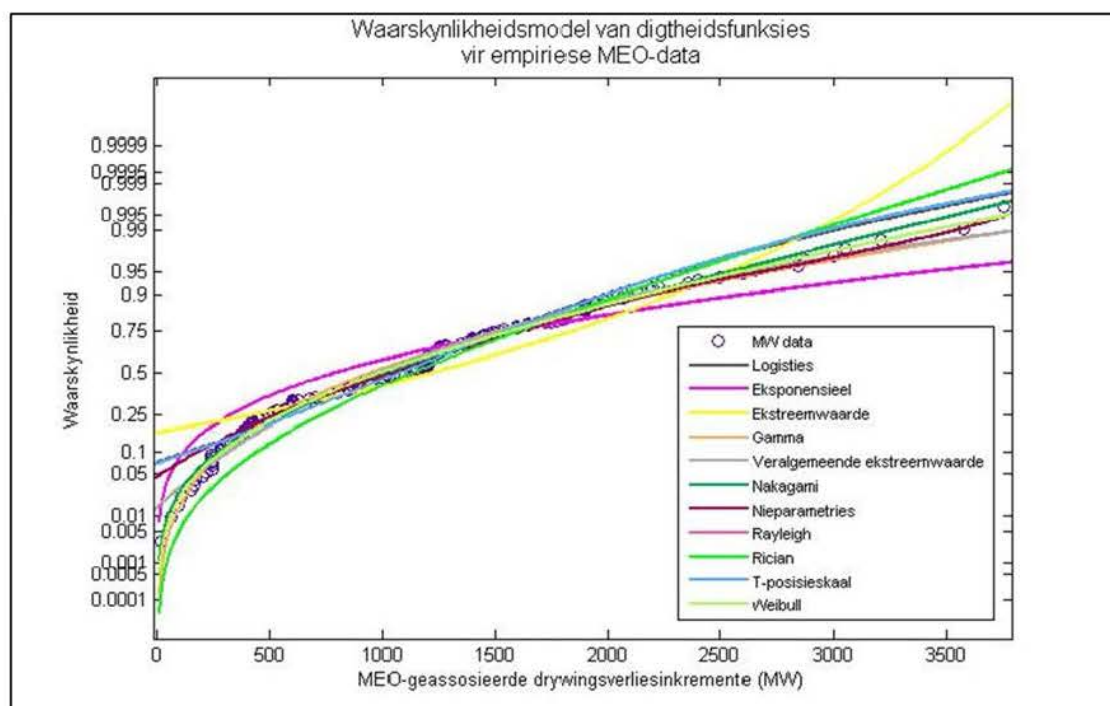
Beide die Birnbaum-Saunders- en die Inverse Gauss-voorstellings lewer onnodige groot waardes voor omtrent 1 700 MW en onnodige klein waardes daarna, in teenstelling met die ander modelle waarmee hulle vergelyk word. Op soortgelyke wyse word die oorblywende funksies geëvalueer. In die volgende voorstelling kan beide die logaritmes-gebaseerde verspreidingsfunksies geëlimineer word wanneer die voorstelling van die

empiriese MEO-data uit 'n inverse kumulatiewe digtheidsfunksieperspektief beskou word.



Illustrasie 29: MEO-geassosieerde data in terme van inverse kumulatiewe digtheid

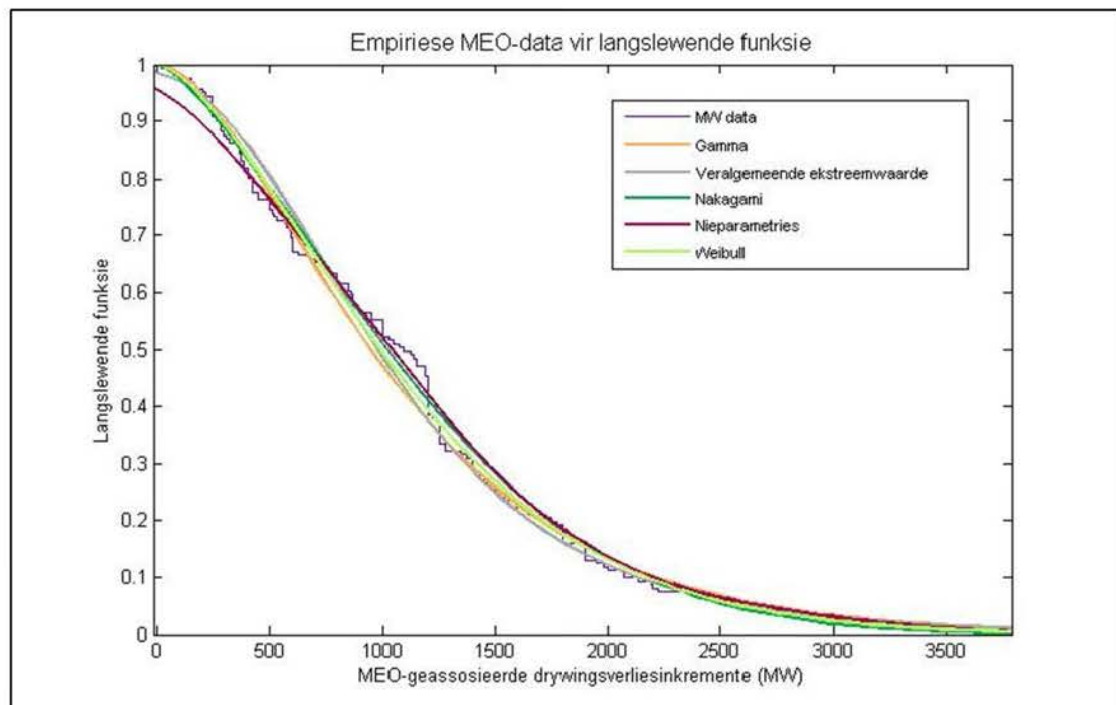
Beide logaritmië-gebaseerde verspreidingsfunksies toon groot afwykings vanaf die empiriese data vir kwantielwaardes bo 1 000 in vergelyking met die ander funksies. Deur verdere eliminasië kan in die volgende stap van die proses nog vier mededingende digtheidsfunksie geëlimineer word.



Illustrasie 30: MEO-geassosieerde data in terme van waarskynlikheidsmodel

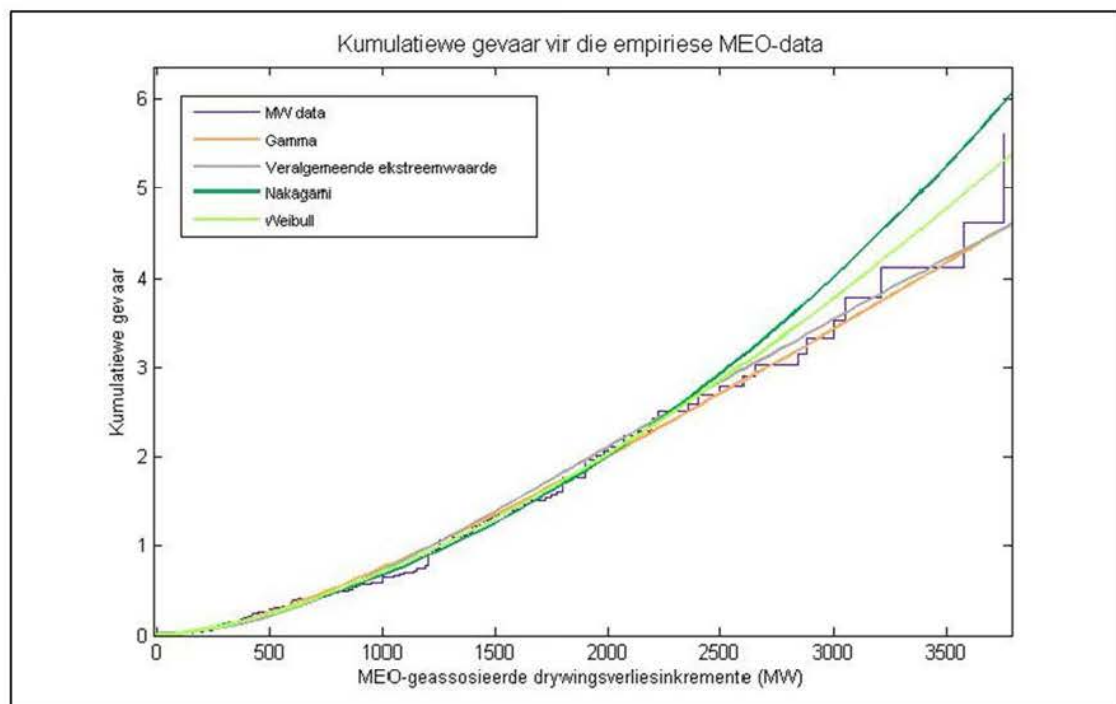
Die Rayleigh-, Rician-, t-posisieskaal- en die logistiese digtheidsfunksies presteer swakker as die ander funksies in die gebied bo omtrent 2 000 MW.

Die nie-parametriese model word in die volgende stap geëlimineer wanneer die langlewendheidstatistiek oorweeg word, as gevolg van afwykings in die gebied onder 500 MW.



Illustrasie 31: MEO-geassosieerde data in terme van langselewende funksie

In die finale stap van die proses word die kumulatiewe gevaar van die verdelingsfunksies vir die empiriese MEO-data voorgestel in die volgende grafiek.



Illustrasie 32: MEO-geassosieerde data in terme van kumulatiewe gevaar

Beide die Weibull- en die Nakagami-modelle wyk betekenisvol af bo omtrent 2 500 MW in vergelyking met die ander. Selfs die veralgemeende ekstreemwaarde-model lewer waardes wat verder afwyk vanaf die empiriese data as die oorblywende twee modelle tussen omtrent 2 000 MW en 3 500 MW.

Twee modelle bly dan oor, naamlik die negatiewe binomiaal- en die gammaverspreidingsfunksies. Beide funksies lewer feitlik identiese resultate ongeag die perspektief wat gebruik is om eliminisie te bewerkstellig. Daarom is dit van min belang watter funksie gebruik word. Die mate van ooreenstemming van hierdie twee voorstellings word in die volgende tabel getoon.

TABEL V: GAMMA- EN NEGATIEWE BINOMIAAL-KORRELASIE

	Gamma	Negatiewe Binomiaal
Logaanneemlikheid	-1118,63	-1118,59
Gemiddeld	1187,5	1187,5
Variansie	638112	636607

$$y = f(x|\alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \forall x \in [0, \infty)$$

Die waardes van α en β in die vergelyking wat die empiriese MEO-data pas is met MATLAB ® bereken as:

TABEL VI: PARAMETERS VAN GAMMA VERDELING

	Skatting	Standaard Fout
α	2,2099	0,245926
β	537,356	67,1013

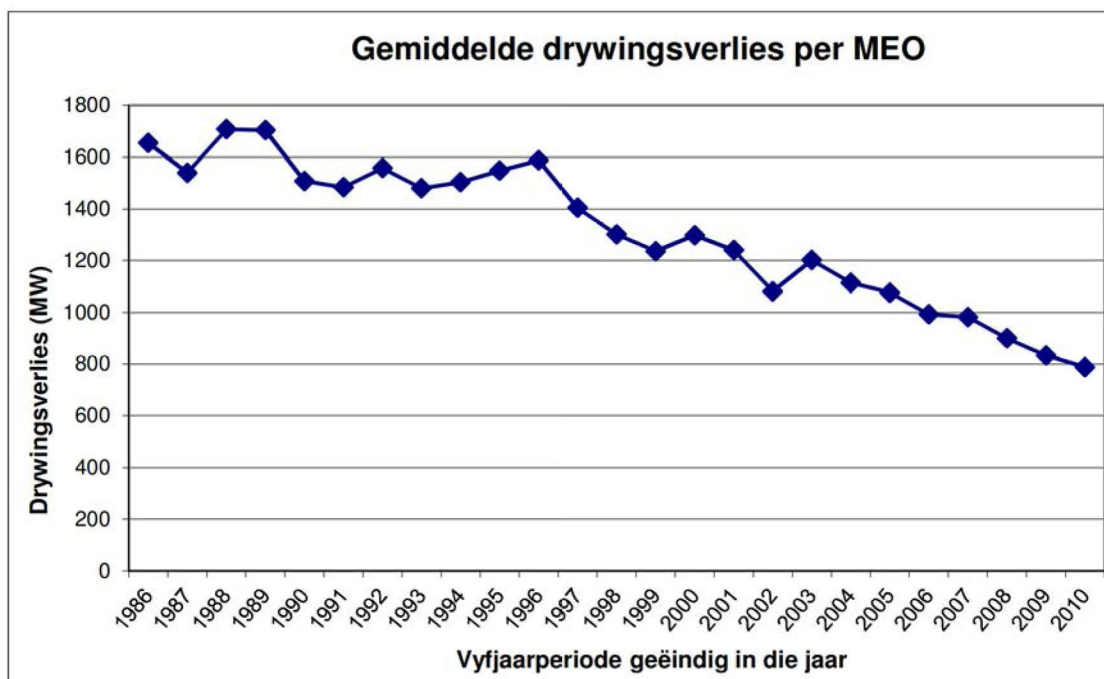
Aangesien die negatiewe binomiaal- en die gammaverspreidingsfunksies grootliks ooreenstem, sal slegs een van die twee naamlik die gammaverspreidingsfunksie voortaan gebruik word as die model wat die waargenome data die akkuraatste beskryf.

3.2.7 Effek van ingenieurshandeling op die voorkoms van MEO's

Hoewel noukeurige rekords bestaan van MEO-gebeurtenisse sedert 1982, was daar geen stelselmatige benadering kragtens die ondersoek en bekamping daarvan voor 1994 nie. Daarna het 'n amptelike stelsel in werking getree waarvolgens diesulke gebeurtenisse formeel ondersoek is en daadwerklike maatreëls getref is om herhaling van sulke gebeure te voorkom.

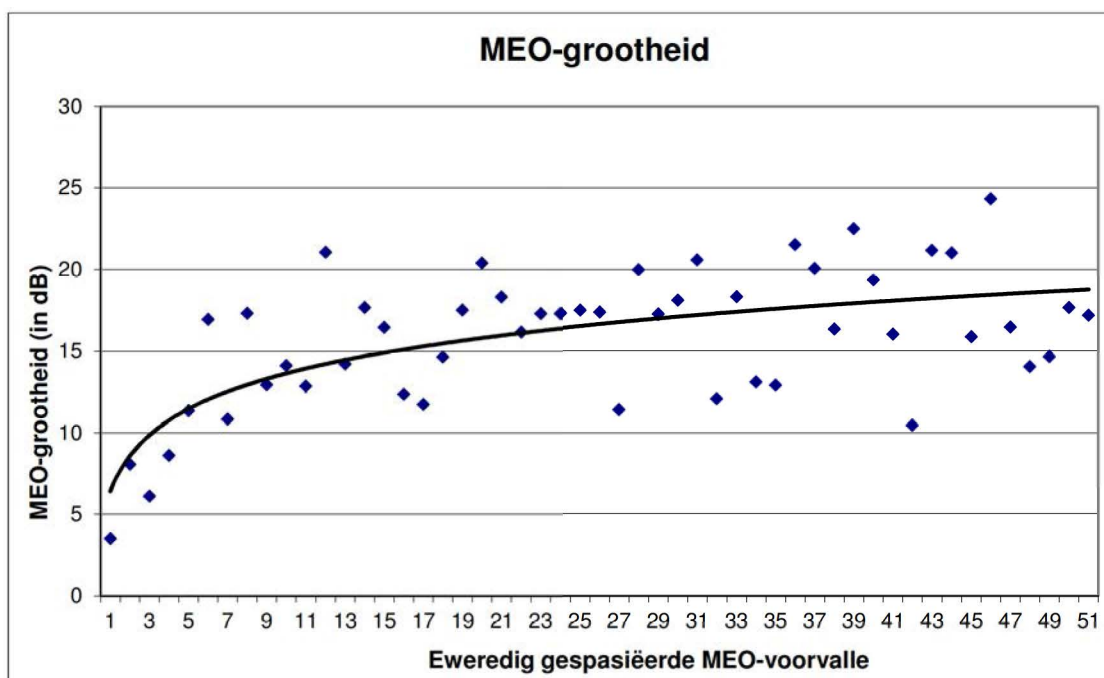
As gevolg van die instandhoudingsfilosofie van die kragstasies in Eskom, word die meeste aanlegwysigings slegs uitgevoer tydens afsluitings wanneer algehele produksie op ontwikkelingseenhede gestaak word om grootskaalse werk daarop uit te voer. Die frekwensie van hierdie grootskaalse instandhoudingsafsluitings wissel, maar dit vind ongeveer elke vyf jaar plaas. Die gevolg van hierdie filosofie is dat die effek van baie van die ingenieursaanbevelings wat die bekamping van MEO-gebeurtenisse ten doel het, eers ongeveer vyf jaar na afloop van die gebeurtenis waargeneem kan word, omdat die meeste van die ontwikkelingseenhede dan eers aangepas kon word.

Die veronderstelling kan gemaak word dat die doelbewuste ingenieurshandeling om MEO-gebeurtenisse in te perk positiewe resultate oor tyd moet lewer. Om hierdie veronderstelling te toets, word die gemiddelde MEO-geassosieerde drywingsverlies op 'n jaarlikse basis bereken, deur slegs die mees onlangse 5-jaarperiode se data vir elke berekening in ag te neem. Hierdie gemiddelde waardes is oor die totale venster tussen 1982 en 2010 geneem en is telkens uit die gammaverspreiding van die betrokke 5-jaarinterval bereken en word op die volgende grafiek getoon.



Illustrasie 33: Gemiddelde MEO-drywingsverlies in 5-jaarinkremente

Nog 'n perspektief op die effektiwiteit van ingenieurshandeling op MEO-voorkoms word in die volgende illustrasie getoon.



Illustrasie 34: MEO-grootheid van opeenvolgende voorvalle

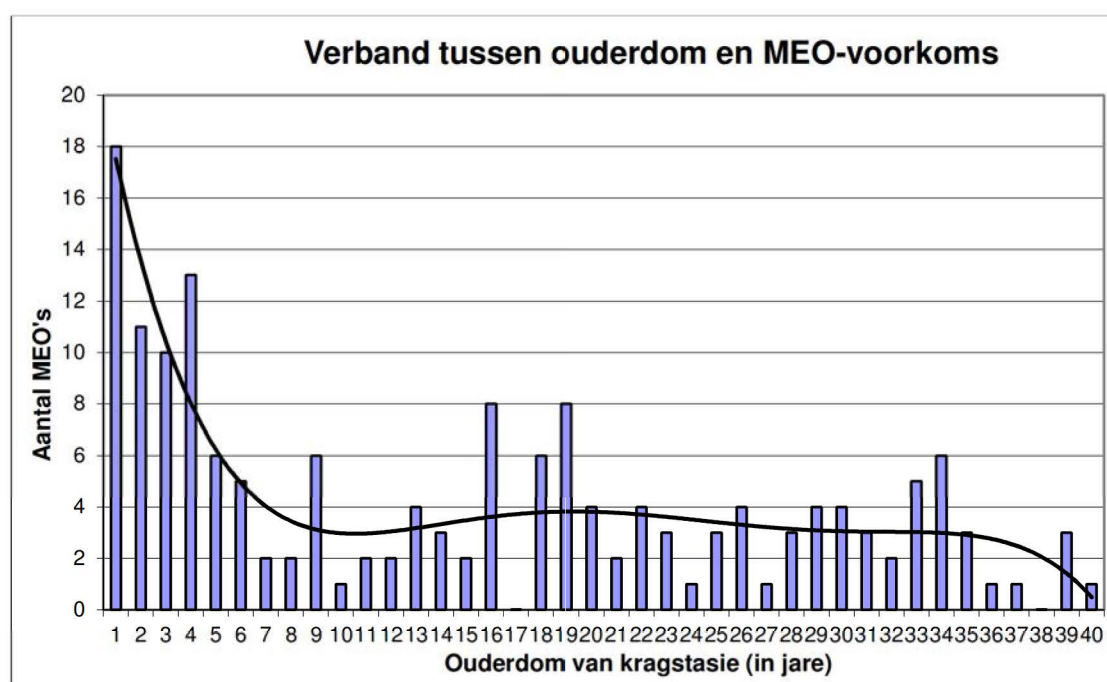
'n Logaritmiese paskurwe word op die data getoon om die verloop te beklemtoon. Met verloop van tyd het die grootheid van die MEO-voorvalle

gestyg en dit styg steeds. Die begin van die logaritmiese kurwe kan toegeskryf word daaraan dat daar aanvanklik geen fokus op die voorkoming van MEO's was nie. Toe daar wel daarop gefokus is, was daar groot probleme wat gou reggestel kon word en wat 'n groot vermindering in MEO-voorvalle tot gevolg gehad het. Daarna het die pogings langer begin neem om tot uitvoer te bring en die voordele het afgeneem.

3.2.8 MEO-voorkoms met ouderdom

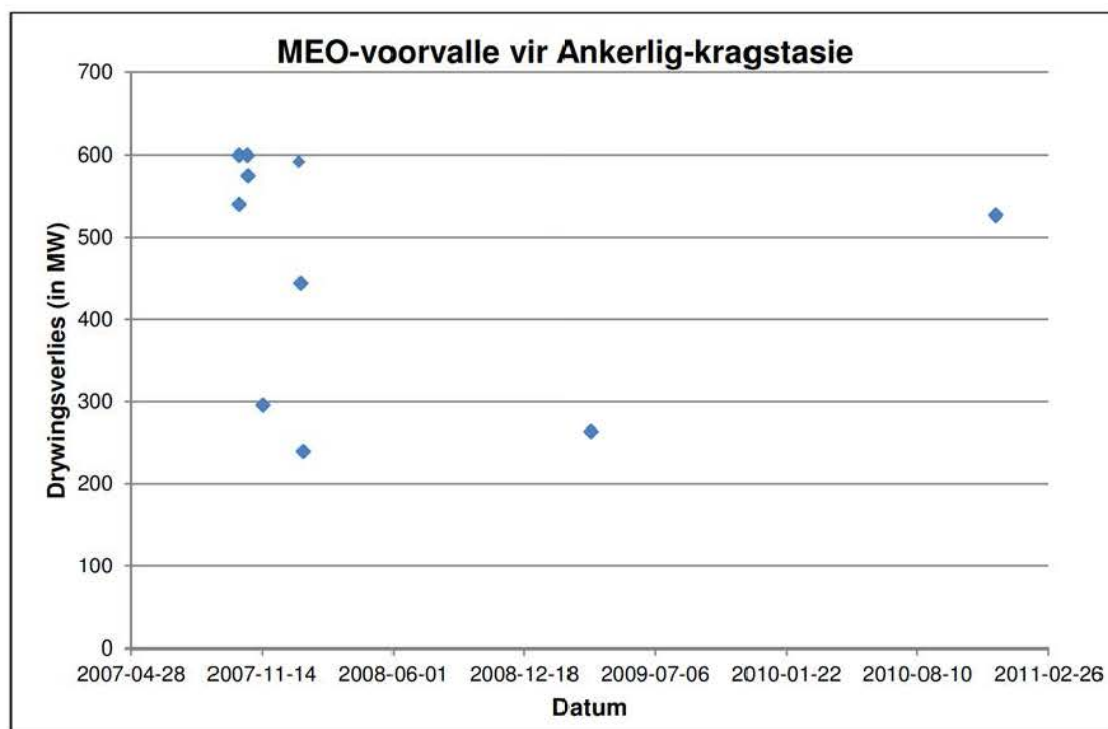
Reserwebronne van elektriese energie is nodig om tekorte wat veroorsaak word deur steurings soos MEO's, aan te vul. Ten einde effektiewe beplanning te doen vir die hoeveelhede reserves wat benodig word in reaksie op MEO-tekorte, is dit nodig om die verwantskap te ken tussen die ouderdomme van kragstasies en voorkoms van MEO-gebeurtenisse.

Om dit te ondersoek is die hele MEO-dataset gebruik en die MEO-gebeurtenisse is teen die ouderdomme van die kragstasies gestip. Die ouderdom wat telkens geneem is, is die aantal jare wat verloop het tussen die MEO-gebeurtenis en die jaar van inbedryfstelling van die eerste eenheid van elke kragstasie. Die volgende verwantskap is derhalwe verkry.



Illustrasie 35: Ouderdomsverwantskap vir MEO's by kragstasies

Om die effek van hoër koerse van MEO's aan die begin van die lewe van 'n kragssentrale verder te illustreer, word die voorvalle van een spesifieke kragssentrale, naamlik Ankerlig, getoon in die volgende uitbeelding.



Illustrasie 36: MEO-prestasie van Ankerlig-kragstasie

Dit is duidelik dat kragstasies aanvanklik 'n groter geneigdheid tot MEO's getoon het, wat later afgeneem het. 'n Vyfde-orde polinoom is volgens die kleinste kwadratemetode vir dieselfde data gepas. Die vergelyking van die polinoom is:

$$y = -5 \cdot 10^{-6} \cdot x^5 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot x^4 - 0,028 \cdot x^3 + 0,577 \cdot x^2 - 5,518 \cdot x + 22,483$$

met $R^2 = 0,71$.

Op soortgelyke wyse as wat in afdeling 3.2.6 gebruik is, is die data van bogenoemde grafiek na 'n statistiese waarskynlikheidsdigtheidsverdeling herlei. In hierdie geval is die verdeling wat die data die beste pas 'n

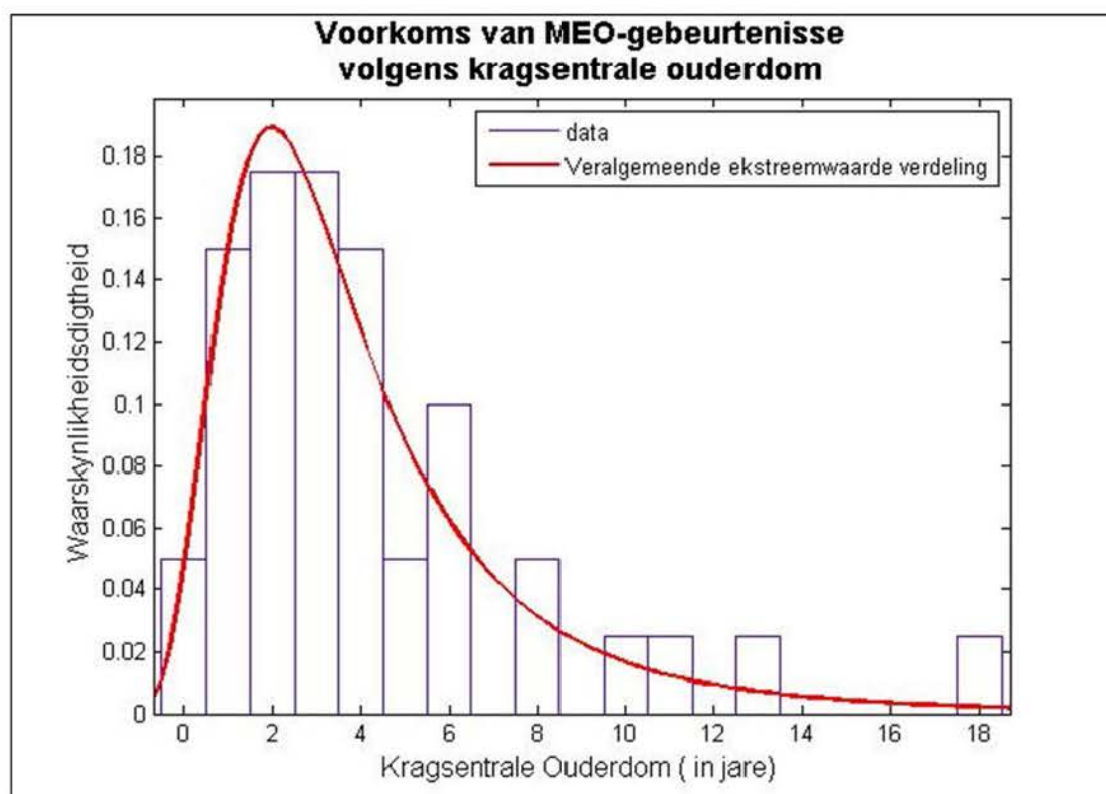
veralgemeende ekstreemwaardeverdeling, waarvan die relevante verdelingsparameters soos volg is.

Logaanneemlikheid: -96,74

TABEL VII: PARAMETERS VAN VERALGEMEENDE
EKSTREEMWAARDE VERDELING

Parameter	Skatting	Standaard Fout
k	0,252683	0,140556
σ	2,00334	0,297329
μ	2,40064	0,362698

Die passing vir die data word vervolgens getoon.



Illustrasie 37: Verdeling van ouderdom verwante MEO-data

Die verwantskap is nie 'n badkromme nie, maar toon eerder 'n afnemende neiging met 'n toename in kragstasieouderdom. Dit is nie die oogmerk van

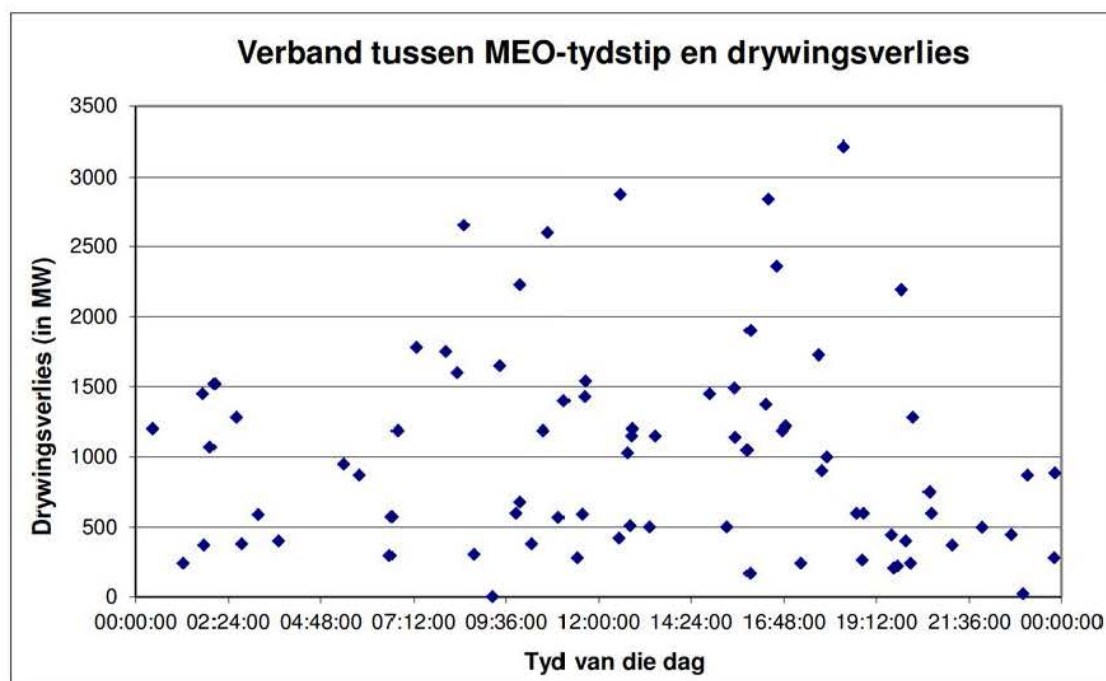
hierdie werk om die redes vir hierdie karakteristiek te bepaal nie, maar die volgende spekulatiewe redes kan moontlik lig op die vorm daarvan werp.

Ten eerste, die aanvanklike relatief hoë waarde van MEO-voorkomste is moontlik te wyte aan aspekte wat misgekyk is tydens die ontwerp, oprig en inbedryfstelling van die kragstasies, wat redelik vinnig daarna gekorrigeer word. Ten tweede, die uiteindelijke opswaai van 'n badkromme aan die einde van so 'n grafiek is gewoonlik as gevolg van slytasieverwante falings. In die geval van kragstasies kom slytasieverwante falings wel voor aan die einde van die effektiewe leeftyd van die fasiliteit. Sulke falings is egter gebonde aan die funksionele aanleg en belemmer waarskynlik slegs enkele of gedeeltes van enkele opwekkingseenhede en lei nie tot falings oor verskeie eenhede nie. Verdere studie sal nodig wees om hierdie hipoteses te toets.

3.2.9 Effek van menslike aktiwiteit op MEO's

Die wese van MEO's is dat meer as een kragontwikkelingseenheid ontwrig word as gevolg van 'n gegewe sneller. Dis ooglopend dat verskeie faktore 'n rol kan speel in die toenemende eskalasie van die ontwrigting om sodoende verskeie ontwikkelingseenhede in te sluit. Een van die faktore wat moontlik 'n rol kan speel is die teenwoordigheid van mense – gewoonlik personeel werkzaam in die kragstasies of in die verantwoordelike gebied wat die tussenverbinde kragnet dek. Die bydrae wat menslike teenwoordigheid of handeling speel, is moeilik meetbaar en hoewel die effek van menslike foute in die ondersoeke geïdentifiseer word, is dit seldsaam dat foute as die oorsaak of selfs bydraende faktor uitgewys word.

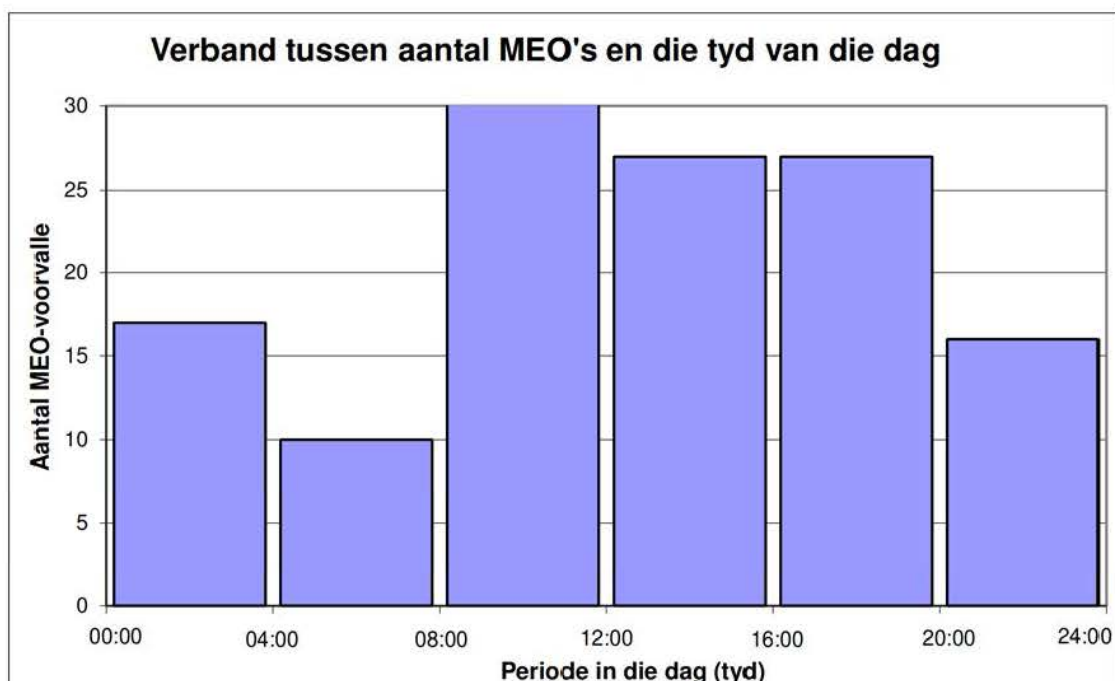
Om 'n meer onafhanklike aanwyser te vind om hierdie moontlikheid te ondersoek, is 'n studie gemaak van die tydstip van die dag wanneer MEO-voorvalle plaasgevind het en die data van die ondersoek word in die volgende illustrasie voorgestel.



Illustrasie 38: MEO-data volgens tyd in die dag wanneer dit plaasgevind het

Die eerste en mees opvallende aspek van die illustrasie is dat die grootste (en gevolglik mees gevaarlike) MEO-voorvalle slegs tussen 08:00 en 20:00 plaasgevind het. Uit die aard van die werksaamhede in die elektrisiteitsdiensverskaffingsindustrie vind die meeste aktiwiteite gedurende die dag plaas, of na-ure, maar nie in die middel van die nag of in die vroeë oggendure nie.

Die omvang van MEO-voorvalle is egter nie die enigste maatstaf nie en die digtheid van voorvalle moet ook in ag geneem word. Vir dié doel, is dieselfde data van die vorige illustrasie gebruik vir die volgende voorstelling waar die aantal MEO-voorvalle per periode van die dag gewys word.



Illustrasie 39: MEO-digtheid volgens periode in die dag wanneer dit plaasgevind het

Hierdie ontleding bevestig dat die meeste MEO's plaasvind in die periode tussen 08:00 en 20:00, wat die tyd is waartydens die meeste menslike handeling plaasvind. Let ook op die tydperk tussen 04:00 en 08:00 wanneer die laagste MEO-voorkomste aangeteken is. Hierdie tydperk is wanneer die minste aktiwiteite op kragontwikkelingsaanlegte plaasvind.

Die tydgleuf tussen 08:00 en 20:00 is die tyd wanneer beide die grootste aantal en die mees omvangryke MEO's plaasvind. Die afleiding word dus gemaak dat MEO's wel 'n verskynsel is wat beïnvloed word deur menslike handeling.

3.2.10 Genoegsaamheid van netwerkreserwe vir MEO's

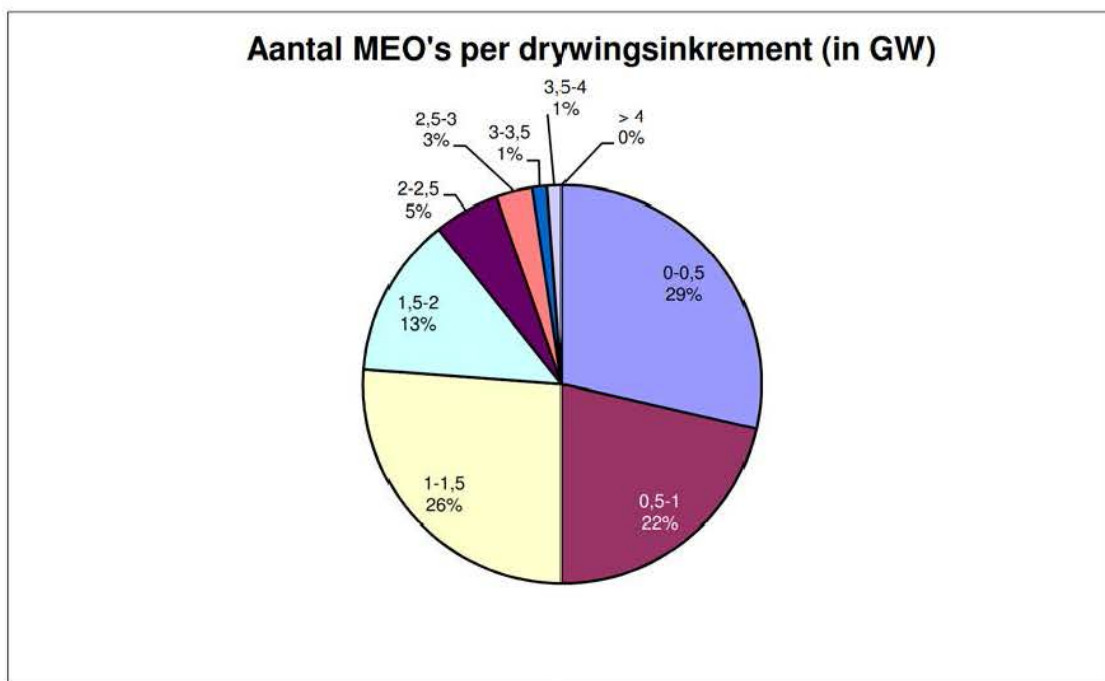
Dit is die plig van die stelseloperator om genoegsaam voorsiening te maak vir reserwes om as aanvulling te dien wanneer kragontwikkelingstekorte op die Hierdie tydperk is wanneer die heel minste aktiwiteite op kragontwikkelingsaanlegte plaasvind. voorkom (sien afdeling 2.1.1(4) in [38]). In afdeling 4.1.1 van [38] word die volgende twee stellings gemaak.

“(2) The requirement on the *System Operator* is to keep the *frequency* above 49,5 Hz following all credible single contingency losses. The largest loss is the loss of a

Koeberg *unit* at full load, i.e. 920 *MW* (the Cahora Bassa infeed is classified as a multiple incident).

(3) It is also a requirement on the *System Operator* to keep the *frequency* above 49,0 *Hz* after credible multiple contingencies, currently being the loss of 1 800 *MW* generation (typically three coal-fired *units* or the loss of the Cahora Bassa infeed)."

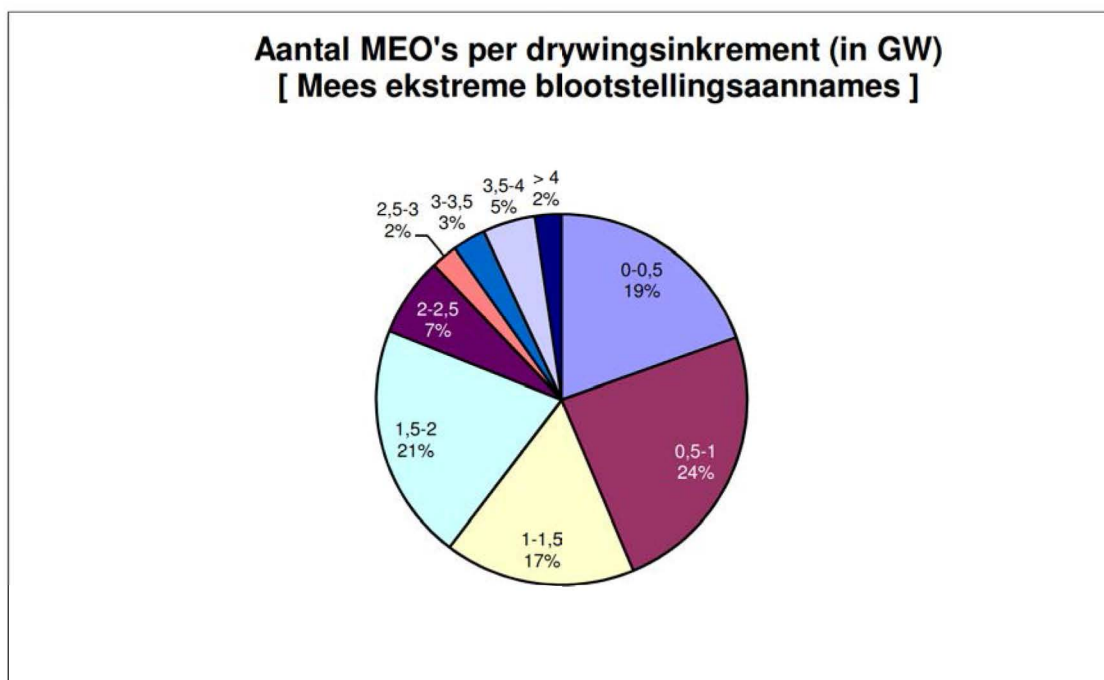
Kragtens hierdie twee punte is dit duidelik dat die stelseloperateur sal poog om voldoende voorsiening te maak vir 'n MEO van tot drie steenkooleenhede in terme van die beperking van 'n lae frekwensie op die tussenverbinde kragstelsel. Om te bepaal of hierdie voorsiening voldoende is al dan nie, is MEO's ontleed volgens die verspreiding van hul omvang. Die resultaat word in die volgende illustrasie getoon.



Illustrasie 40: Aantal MEO-voorvalle volgens drywingsinkremente

Die illustrasie toon dat ongeveer 90% van alle aangetekende MEO-voorvalle wel beperk is tot die beplanningsriglyn van 1 800 *MW*. Dit is waarskynlik nie realisties om vir die oorblywende 10% MEO-gebeurtenisse vanuit 'n permanente reserwe op die kragnet voorsiening te maak nie, maar om eerder 'n frekwensieafname tot laer as die gestelde 49,0 *Hz* te aanvaar in sulke gevalle.

As 'n finale kontrole op die genoegsaamheid van die reserwevoorsiening is die MEO's ontleed aan die hand van die totaal blootgestelde drywing tydens MEO-voorvalle. Die resultaat van hierdie ontleding word in die volgende illustrasie getoon en is 'n weerspieëling van die slegste mees ekstreme aannames tydens MEO-voorvalle.



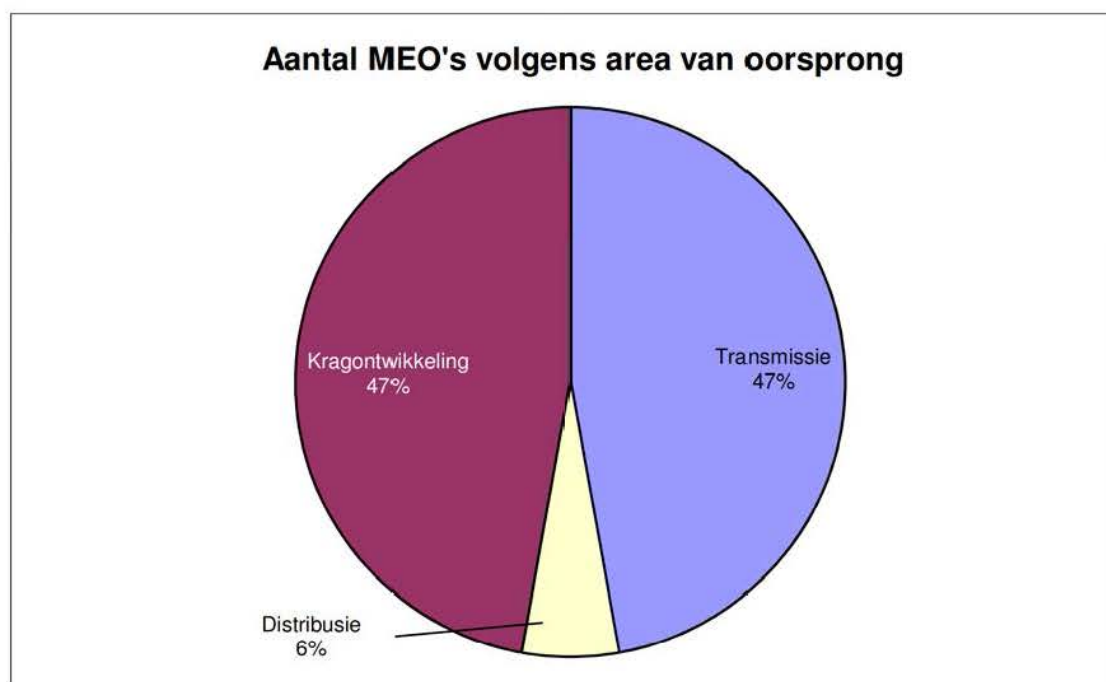
Illustrasie 41: Aantal MEO-voorvalle volgens drywingsinkremente vir maksimum blootstelling

Die resultaat is soortgelyk aan die eerste ontleding, maar in hierdie geval is die fraksie van die MEO-voorvalle wat nie deur die beplanningswaarde van 1 800 MW gedek sal word nie ongeveer 20%. Die gevolgtrekking is dat die Kragnetkode se vereistes realisties is, naamlik dat selfs in die mees ekstreme gevalle van MEO's dit vir ongeveer 80% van die gevalle voldoende sal wees om die frekwensie nie laer as 49,0 Hz te laat daal nie.

3.2.11 Blaam ten opsigte van die oorsprong van MEO-voorvalle

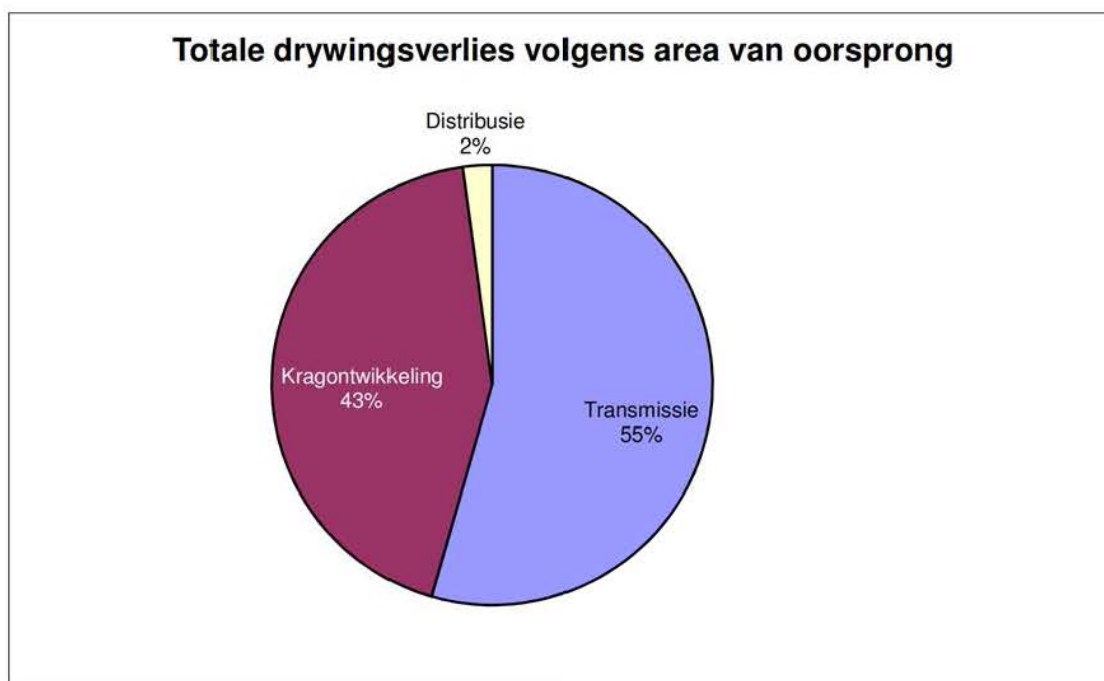
Volgens die benadering van die Netwerkkode van die Kragnetkode [36] blyk dit dat die benadering in die bekamping van MEO-voorvalle grootliks voor die deur van kragontwikkeling geplaas kan word. Daarteenoor, is die internasionale benadering feitlik presies die teenoorgestelde, wat die onus vir

MEO-bekamping op die skouers van die stelseloperator en transmissie-eienaars plaas [6] en [35]. Om te ondersoek welke van hierdie benaderings die meer geskikte oplossing sou bied, is 'n ontleding gemaak van die gebied van verantwoordelikheid vanwaar die MEO geaktiveer is. Die resultate van die ontleding word in die volgende illustrasie getoon.



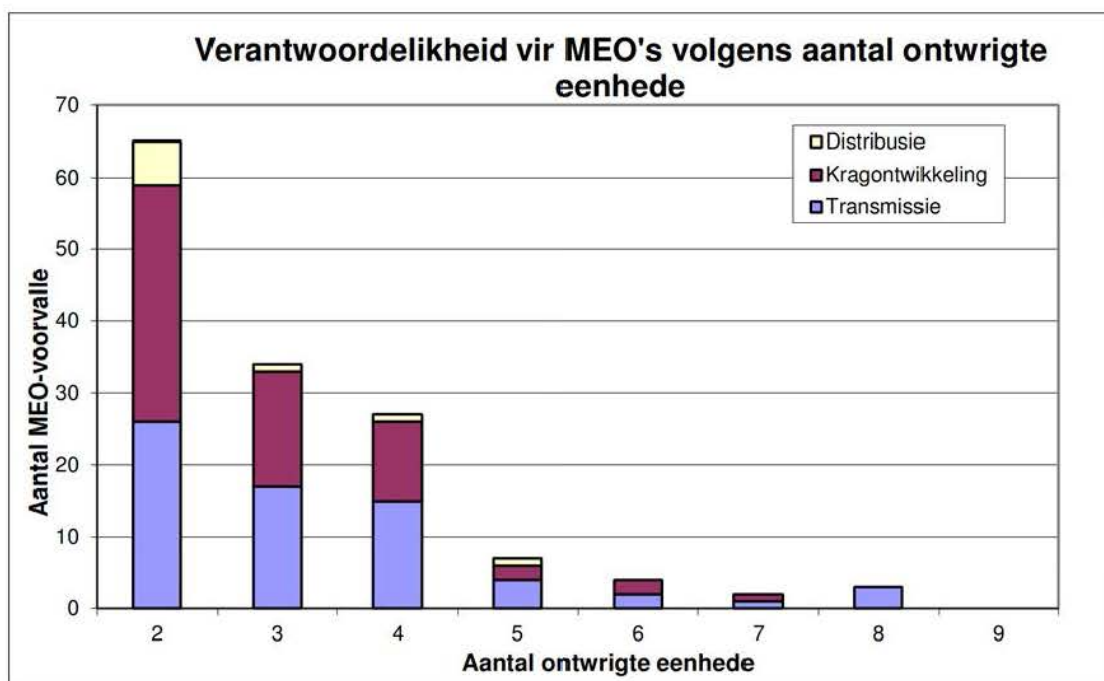
Illustrasie 42: Oorsprong van MEO-voorvalle (aantal voorvalle)

Om die begrip van die MEO-verskynsel beter te verstaan is dieselfde voorvalle ook ondersoek volgens die totale drywing wat tydens die voorvalle verloor is en dit word vervolgens getoon.



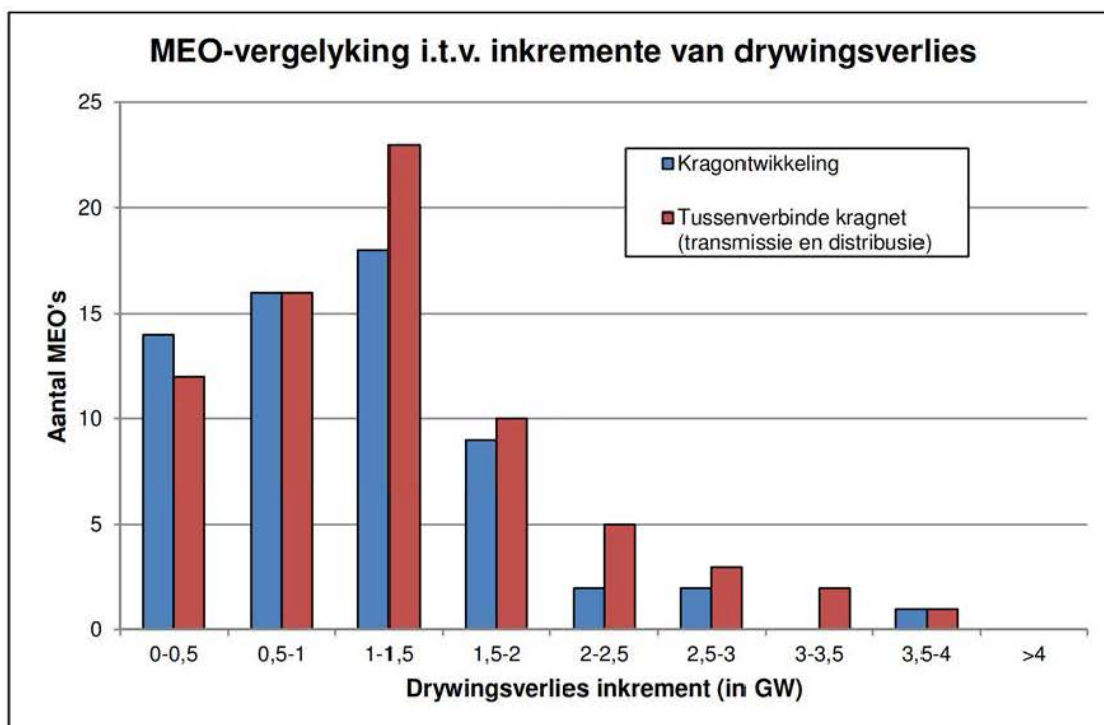
Illustrasie 43: Oorsprong van MEO-voorvalle (drywingsverlies)

Distribusie is 'n toevallige deelnemer wat as deel van die netwerkdiensverskaffer gesien kan word. Dit is duidelik uit die twee perspektiewe van die oorsprong van MEO-voorvalle dat beide partye, naamlik kragontwikkeling en die netwerkdiensverskaffer (of beheerder) feitlik ewe groot aandeel het in die voorkoms van MEO's. Die ondersoek kan egter uitgebrei word om vas te stel of hierdie feitlik gelykopverdeling ook geldig sou wees wanneer voorvalle van verskillende aantalle geaffekteerde eenhede oorweeg word. Die volgende illustrasie toon die resultaat van só 'n ontleding.



Illustrasie 44: Ontleding van verantwoordelikheid volgens aantal ontwrigte eenhede

Vervolgens kan drywingsinkremente gebruik word as die basis van die ontleding, eerder as bloot die aantal eenhede.



Illustrasie 45: Vergelyking van MEO's volgens drywingsinkremente vir partye

Daar bestaan dus 'n geneigdheid vir MEO's wat kleiner in omvang is volgens drywingsverlies, om deur kragontwikkeling gedomineer te word terwyl groter drywingsverliese weer deur die netwerkdienverskaffers gedomineer word. Die graad van dominansie is egter nie groot nie en dit is duidelik dat die MEO-verspreiding van verantwoordelikheid grootliks gebalanseer is oor die verskillende versamelinggroottes van ontwigte eenhede en drywings-inkremente.

Geen rede spruit dus uit enige van die ontledings om meer op die een verantwoordelike party as die ander te fokus nie, aangesien die voorkoms baie gebalanseerd is. Derhalwe is dit nodig dat vereistes vir beide partye bestaan om die voorkoms van hierdie verskynsel te bekamp en gevolglik behoort die regulatoriese raamwerk waarbinne die MEO bestuur word aangepas te word om sodanige verantwoordelikhede voor te skryf.

3.3 MEO-ontleding – funksionele perspektief

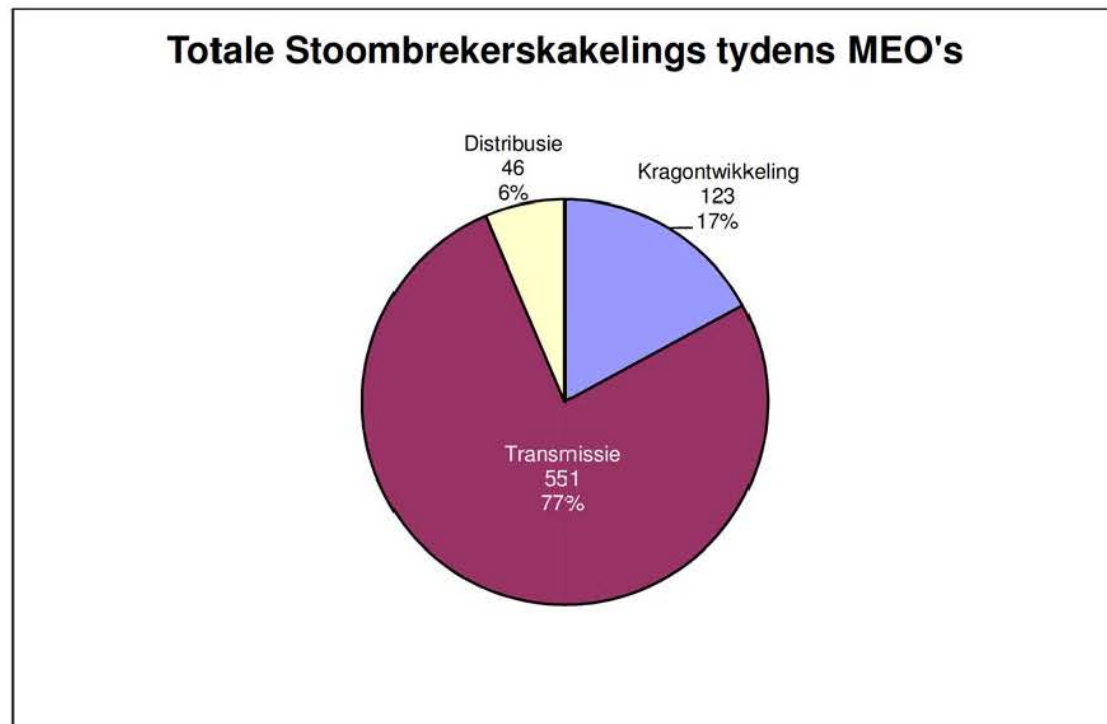
Dit is duidelik uit die voorafgaande dat die verskynsel van MEO's verstaan kan word op 'n makrovlak, deur die voorkoms daarvan statisties te definieer. Ten einde 'n MEO effektief te bestuur op die vlak van spesifieke verantwoordeliksheidsareas, is dit nodig om dit vervolgens op 'n laer vlak te bestudeer, naamlik op 'n vlak wat geskik is vir die toekenning van verantwoordelikheid en die funksionele bestuur van aangeleenthede.

3.3.1 Transmissie

Hoewel daar meer breedvoerig gekyk gaan word na MEO's by kragstasies, is dit egter tog nodig om op 'n makrovlak na MEO's vanuit die tussenverbinde kragstelsel. Steurings in die tussenverbinde kragnet kom gereeld voor, maar lei in die meeste gevalle nie tot grootskaalse ontwigting nie.

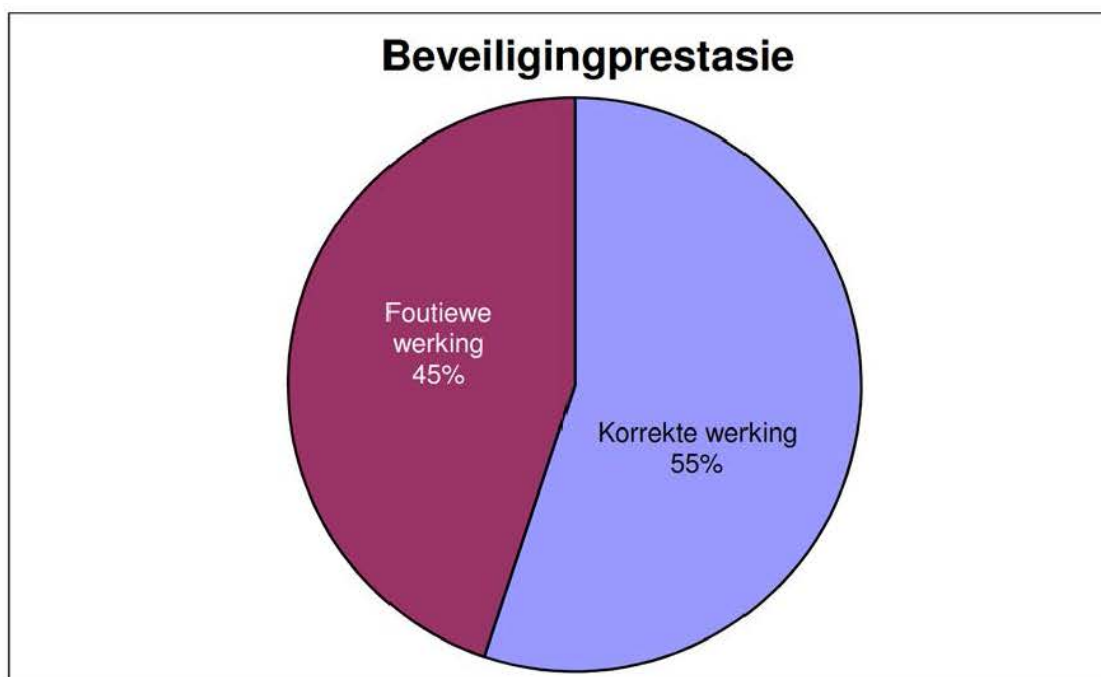
Uit die ontleding van 7.2.12 blyk dit duidelik dat ongeveer die helfte van alle MEO's ontstaan vanuit die tussenverbinde kragstelsel. Volgens intuïsie sal steurings vanuit die tussenverbinde kragnet meer stroombrekeraksies behels as in die geval van kragontwikkeling. Die rede daarvoor is dat foute ontkoppel

moet word ten einde die effek daarvan te verwyder en te voorkom dat die omvang daarvan eskaleer. Hierdie veronderstelling word deur die volgende voorstelling bevestig.



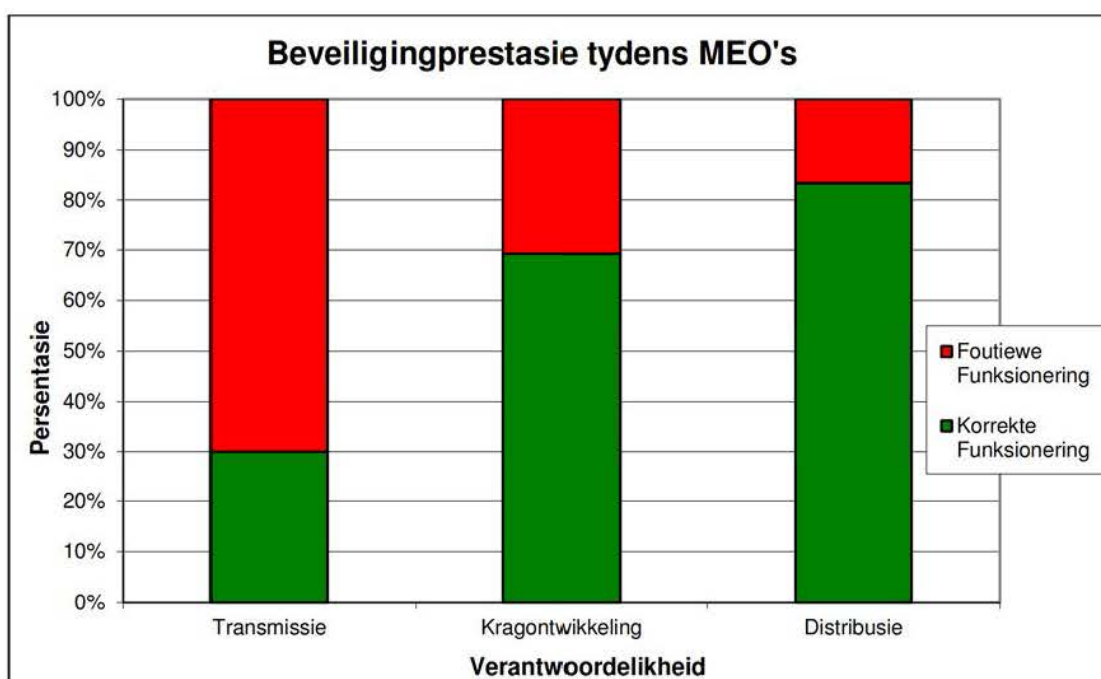
Illustrasie 46: Totale stroombrekerskakelings tydens MEO's vir verskillende rolspelers

Dit is opvallend dat die aantal stroombrekerskakelings in die transmissiestelsel disproporsioneel meer is as in die ander twee verantwoordelike areas. Hierdie opmerking lei tot die vraag na die prestasie van die beveiliging tydens die MEO en dit is ontleed in die volgende voorstelling.



Illustrasie 47: Beveiligingsprestasie tydens MEO's

Hierdie ontleding benadruk die belangrike rol wat beveiliging speel in die effektiewe bestuur van die tussenverbinde kragstelsel. Dit is egter nodig om 'n begrip te vorm van die verantwoordelikhedsareas se onderlinge prestasie met betrekking tot beveiliging en so 'n ontleding word in die volgende illustrasie onderneem.



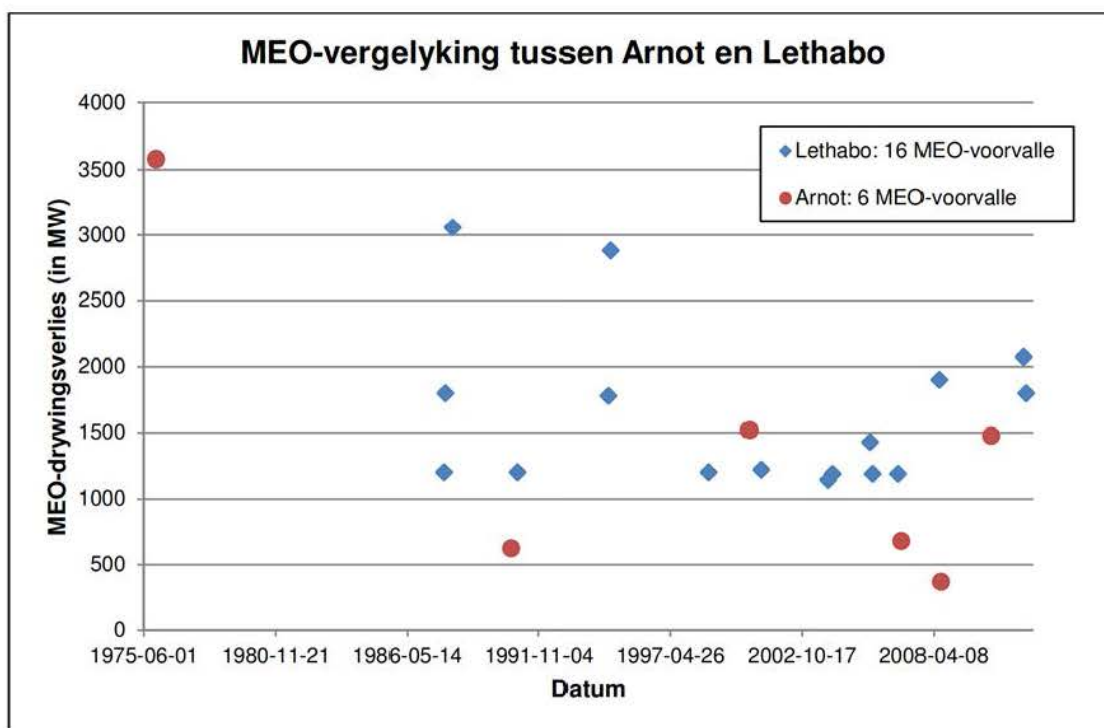
Illustrasie 48: Vergelyking van die prestasie van elektriese beveiliging

Daar kan dus gesien word dat, uit die groot aantal stroombrekerskakelings in die transmissie-area, die beveiliging daar ook disproporsioneel swak presteer. Hierdie swak prestasie is 'n duidelike leemtegebied waarin die bestuursfokus kan verbeter en behoort voortdurend gemonitor en bestuur te word deur almal.

3.3.2 Inherente vatbaarheid

Dit is nie ooglopend vanuit die staanspoor dat die onderskeie kragstasies verskillend sal presteer ten opsigte van die voorkoms van MEO's as ontwigtings nie. Om hierdie saak toe te lig, word twee kragstasies met mekaar vergelyk as 'n gevallestudie.

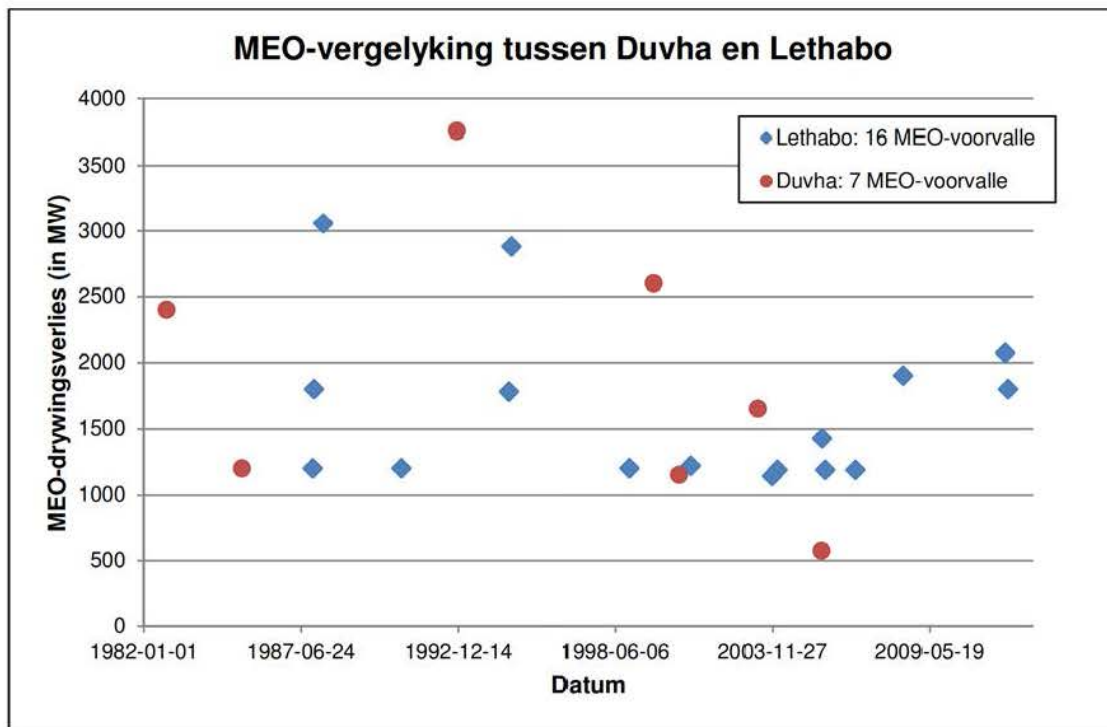
Arnot-kragstasie bestaan uit ses kragontwikkelingseenhede en die eerste eenheid is in bedryf gestel in 1971. Lethabo-kragstasie is ook 'n ses-eenheid-kragstasie, waarvan die eerste eenheid in bedryf gegaan het in 1986. Die ontwerpe van die twee kragstasies is uiteenlopend, aangesien die ontwerpe daarvan uit verskillende eras dateer en tegnologie dramaties verander het gedurende daardie tydperk.



Illustrasie 49: Vergelyking tussen MEO-prestasie van Arnot- en Lethabo-kragstasies

Dit is duidelik dat, ten spyte van die feit dat Arnot al vir meer as 15 jaar langer bestaan as Lethabo, Lethabo nietemin meer as dubbeld soveel MEO-voorvalle gehad het as Arnot.

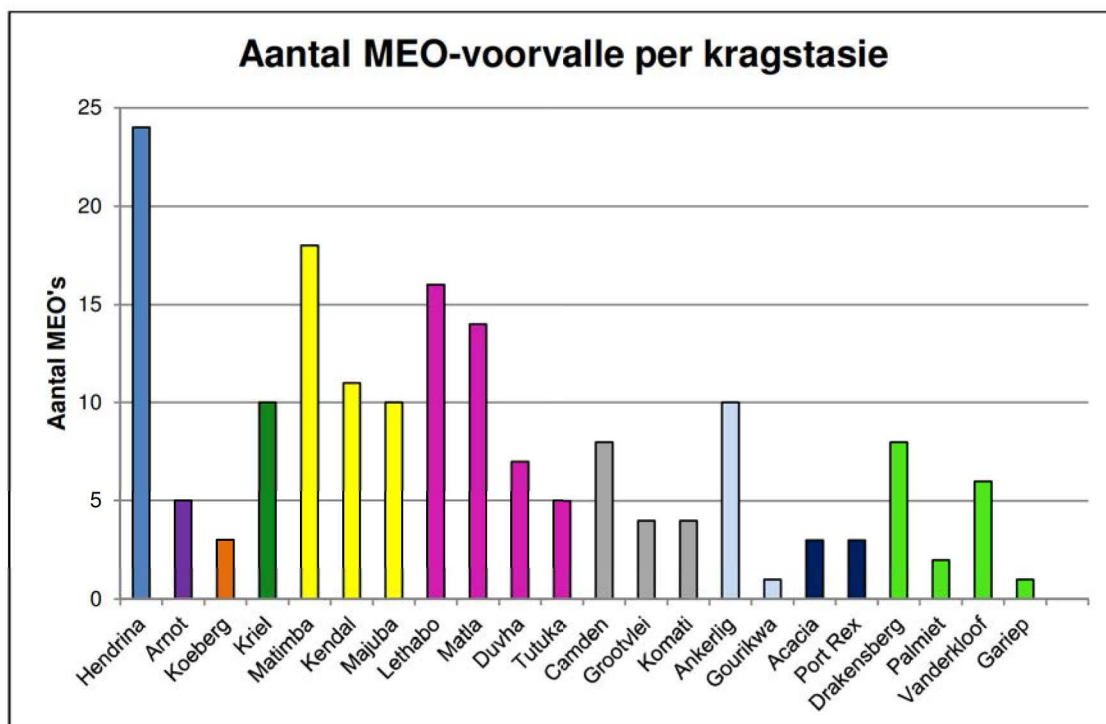
Die vraag kan egter gestel word of hierdie verskil in MEO-prestasie tussen die twee kragstasies nie bloot as gevolg van die verskil in tegnologie is nie. Om hierdie vraag te ondersoek word die Lethabo-data vervolgens getoon teen die data van Duvha-kragstasie wat ook uit ses kragontwikkelingseenhede bestaan en waarvan die eerste eenheid in 1980 in diens geneem is, daarom dateer dit uit 'n meer vergelykbare era as Arnot vir die Lethabo-geval.



Illustrasie 50: Vergelyking tussen MEO-prestasie van Duvha- en Lethabo-kragstasies

Ook in hierdie vergelyking is dit duidelik dat die twee stasies beduidend verskillend presteer ten opsigte van MEO-gedrag, met Duvha wat weereens minder as die helfte van die voorvalle oor dieselfde periode aangeteken het.

Om hierdie aspek van MEO's verder te ondersoek, word al die beduidende kragstasies van Eskom op die volgende grafiek getoon. Die kragstasies wat vergelykbare tegnologiese eienskappe het, is in dieselfde kleur geskakeer.



Illustrasie 51: Vergelyking tussen MEO-prestasie van verskillende kragstasies

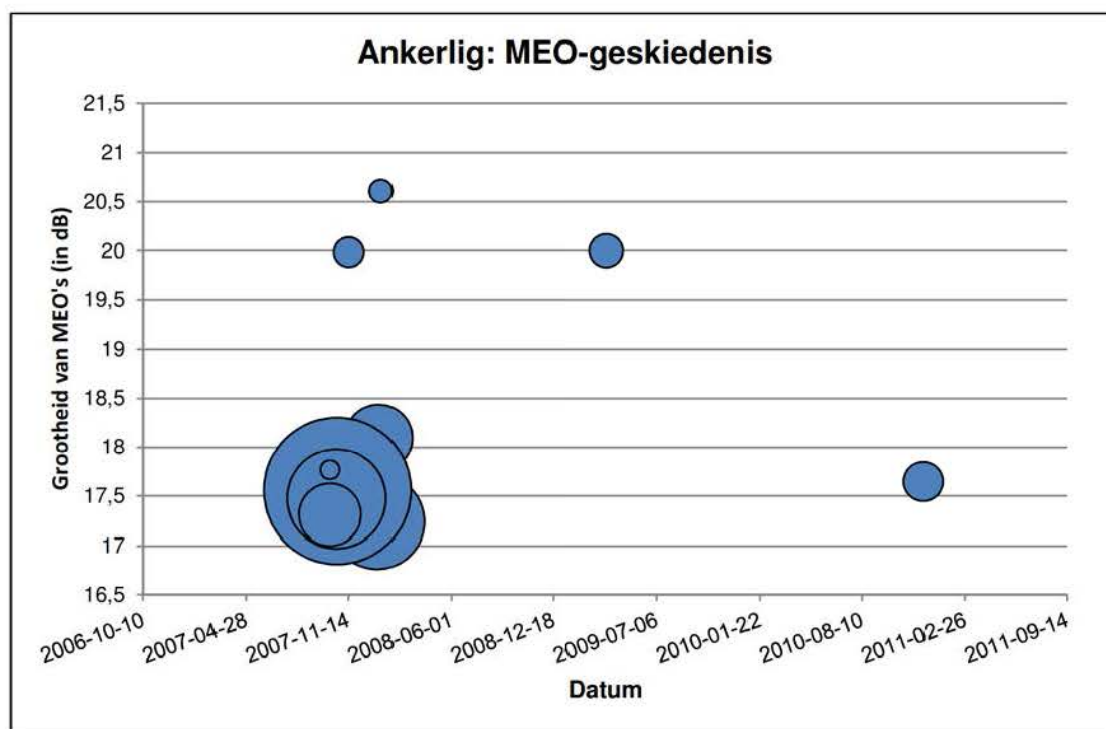
Dit is duidelik dat daar binne versamelings van ooreenstemmende kragstasies groot verskille bestaan ten opsigte van hul vatbaarheid vir MEO's. Binne byvoorbeeld die versameling van Lethabo (1986), Matla (1979), Duvha (1980) en Tutuka (1985), het Lethabo 16 MEO's ondervind en Tutuka slegs 5. Die afleiding word dus gemaak dat die vatbaarheid van kragstasies vir MEO's nie bloot 'n funksie is van die era en tegnologietipe wat vir die kragstasie aangewend is nie, maar dat ander faktore 'n beduidende rol speel, soos die spesifieke konfigurasie en gemeenskaplike stelsels.

Dit is egter nodig om die aard van die MEO's waarvoor kragstasies die sensitiefste of vatbaarste is verder te ondersoek.

3.3.3 MEO-kwesbaarhede van kragstasies

In 2007 is die eerste eenheid van 'n kragstasie wat 'n nuwe tipe kragontwikkelingstechnologie gebruik, naamlik industriële gas turbines, in Eskom in diens geneem by Ankerlig naby Kaapstad. Hierdie tipe tegnologie is relatief eenvoudig in vergelyking met kernkrag of steenkool en daar is 'n geringe noodsaaklikheid om gemeenskaplike stelsels aan te wend. Van die

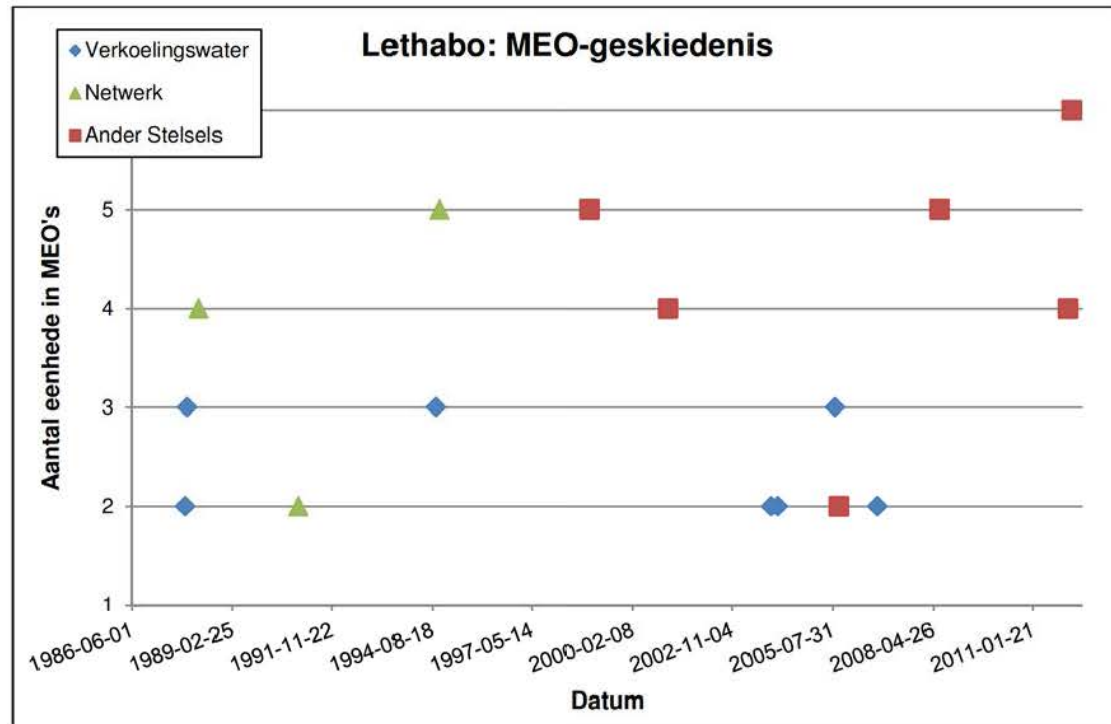
min stelsels wat gemeenskaplik is, is die vloeibare brandstofhanteringsaanleg, wat deur middel van 'n gemeenskaplike pompstasie, brandstof onder druk aan die gasturbines verskaf. Die volgende voorstelling toon die MEO-geskiedenis van Ankerlig. Die dimensie van die sirkels stel die omvang van die frekwensie van die MEO's op die tussenverbinde kragnet voor. Die datum van elke voorval is gestip teen die grootheid van die MEO.



Illustrasie 52: Geskiedkundige verband tussen die MEO-grootheid en die afname in die frekwensie van die tussenverbinde kragnet vir Ankerlig-kragstasie

In die geskiedenis van Ankerlig waar 'n totaal van tien MEO's oor tyd plaasgevind het, het geen ander gemeenskaplikheid behalwe vloeibare brandstofhantering 'n rol gespeel nie. Die MEO-grootheid toon ook dat die mate van die ontwingting tussen die voorvalle grootliks met mekaar ooreenstem, met sewe wat 'n grootheid van sowat 18 verteenwoordig en slegs drie so gering as 20. Dit is dus ooglopend dat Ankerlig besonder kwesbaar is vir MEO's in die vloeibare brandstofhantering van die kragstasie. Dit wil ook voorkom of die grootheid van die MEO in 'n mate voorspel kan word indien die primêre gemeenskaplike faktor wat vir die MEO verantwoordelik is, bekend is. Hierdie aanname kan egter nie sonder meer

bevestig word nie. Om die opmerking uit die Ankerlig-ontleding nou verder te ondersoek, word 'n meer diverse gevallestudie ondersoek. Lethabokragstasie se MEO-geskiedenis word vervolgens beskou.



Illustrasie 53: Aantal eenhede in MEO's vir Lethabo volgens gemeenskaplikheid

In hierdie voorstelling verteenwoordig “Ander Stelsels” alle MEO's waarvan daar slegs een voorkoms was. Daar het oor tyd drie MEO's plaasgevind wat suiwer as gevolg van die gemeenskaplikheid van die tussenverbinde kragnet was. Hulle mate van ontwinging is egter so verspreid en die aantal voorvalle in die populasie so klein dat geen klinkklare afleiding daaruit gemaak kan word nie. Wanneer daar egter op dié MEO's van verkoelingswater gefokus word, is dit duidelik dat sulke MEO's òf een òf twee eenhede betrek (oftewel nie meer as die helfte van die eenhede nie) en dat die omvang van sulke MEO's dus voorspelbaar is. Hierdie afleiding strook ook met die verkoelingswaterkonfigurasie by Lethabo in soverre die verkoelingswaterstelsels gemeenskaplik is tot drie (die helfte van die) eenhede aan elke punt van die kragstasie. Dit is ook die uitleg van verkoelwaterstelsels by feitlik alle Eskom-kragstasies en derhalwe is die MEO-inkrement vir 'n verkoelwater-MEO oral in Suid-Afrika beperk tot die helfte van die eenhede by die gegewe kragstasie.

Die ander stelsels in die Lethabo-ontleding dui op stelsels wat binne die kragstasie self is en wat gemeenskaplik is tot meer as bloot die helfte van die eenhede. Die voorstelling maak dit duidelik dat hierdie stelsels, wanneer hulle vir MEO's verantwoordelik is, gewoonlik meer as die helfte van die eenhede van die kragstasie betrek.

Aangesien 4.1.1 van die stelselbedryfskode [38], wat handel oor die genoegsaamheid van reserwes wat deur die stelseloperateur gekontrakteer moet word, die reserwes gelykstel aan die nie meer as drie eenhede nie (die helfte van moderne 6-stelkragstasies), is die verkoelwaterstelsel-MEO's nie 'n wesentlike gevaar vir netwerkstabiliteit nie. Die ander stelsels is egter wel, want dit is die MEO's van hierdie ander stelsels wat feitlik deurgaans die helfte van die eenhede op die kragstasie oorskry.

Vir die Lethabo-geval spesifiek dan die volgende: Lethabo het 'n geneigdheid om onderhewig te wees aan MEO's van die verkoelwaterstelsel, met feitlik die helfte van die 16 MEO's wat van hierdie tipe is. Dít, in sigself hou egter nie 'n wesentlike bedreiging vir die stabiliteit van die netwerk in nie, omdat die omvang van hierdie tipe MEO's beperk is tot slegs drie eenhede. Die MEO's wat uit ander stelsels voortspruit, soos die brandbestrydingstelsel, die ashanteringstelsel en die interne retikulasiestelsel is egter geneig om meer as drie eenhede te betrek en behoort dus die fokus van ingenieurshandelinge te wees.

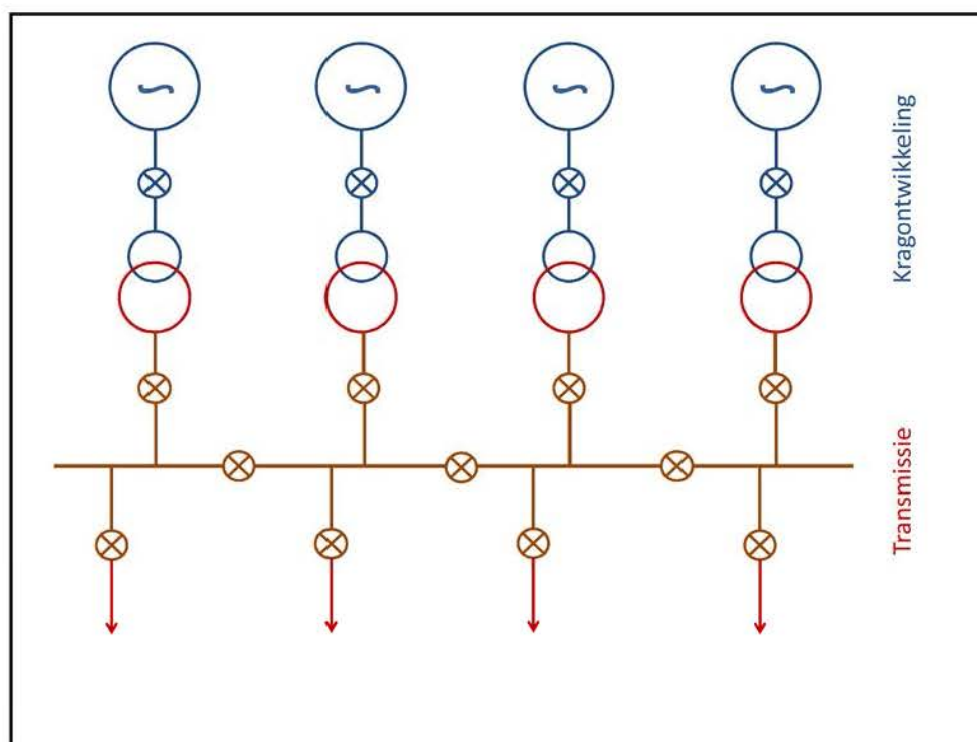
3.3.4 Konfigurasie

'n Aspek wat beduidend is binne die konteks van aaneengeskakelde ontwigting is die fisiese konfigurasie van die stelsels of aanlegte. Om hierdie aspek toe te lig, word slegs 'n enkele konfigurasie-element beskou, naamlik die koppelvlak tussen kragontwikkeling en transmissie.

Kragstasies word aan die res van die tussenverbinde kragnet gekoppel deur middel van die hoogspanningswerf. Hoëdrywingstroombrekers word gebruik om kragontwikkelings-eenhede te koppel of te ontkoppel. Hierdie

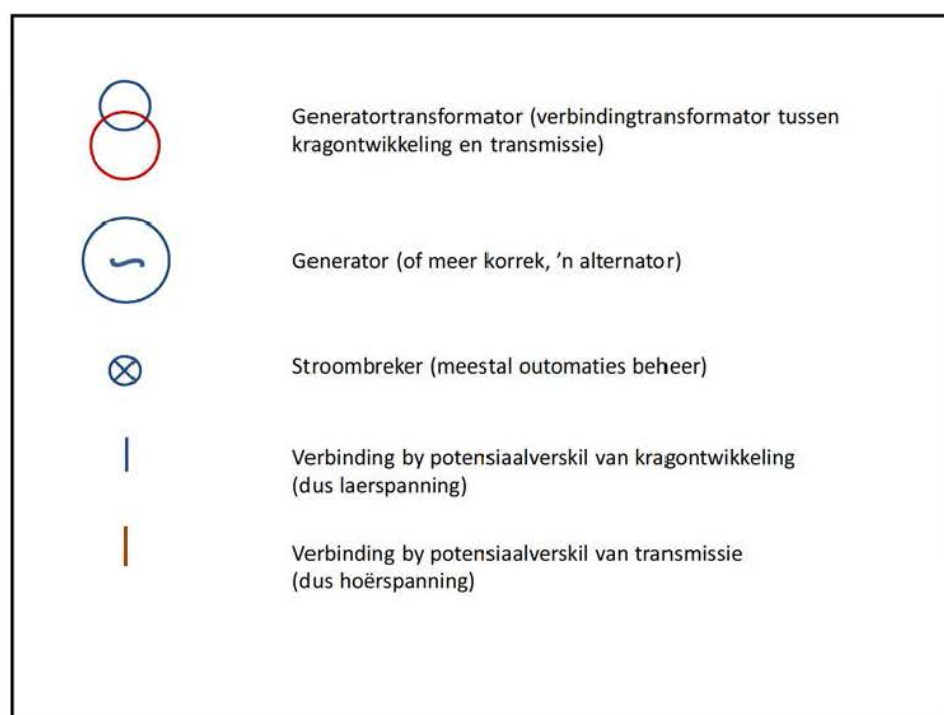
stroombrekers is dan ook die primêre toestelle waardeur die aanleg wat onderworpe is aan elektriese foute, geïsoleer word om skade te voorkom of te beperk. Aangesien dit nooit aanvaarbare praktyk is om elektriese foute toe te laat om voort te duur sonder om dit te ontkoppel en die energiebronne af te sny nie, moet voorsiening gemaak word vir die moontlikheid dat stroombrekers soms kan faal. Die daarstelling van 'n rugsteunfasiliteit om ont koppeling te bewerkstellig wanneer 'n faling van 'n stroombreker ondervind word, word op een van twee maniere by kragstasies in Suid-Afrika geïmplementeer.

Die eerste benadering tot hierdie probleem is om die kragontwikkelings-eenheid self toe te rus met 'n primêre stroombreker wat geïnstalleer word aan die laerspanningskant van die generatortransformator wat die eenheid se ontwikkelde elektriese drywing transformeer na die transmissiespanning. Hoewel sulke laerspanningstroombrekers verskeie nadele het in vergelyking met hoërspanningstroombrekers, soos die fisiese grootte, stadiger skakeling en baie hoë koste, is dit nietemin die verkieslike moderne benadering tot kragstasieontwerp en algemene praktyk vir al die nuwer kragstasies in Suid-Afrika. Hierdie konfigurasie word in die volgende illustrasie getoon.



Illustrasie 54: Moderne stroombrekerkonfigurasie vir kragstasies

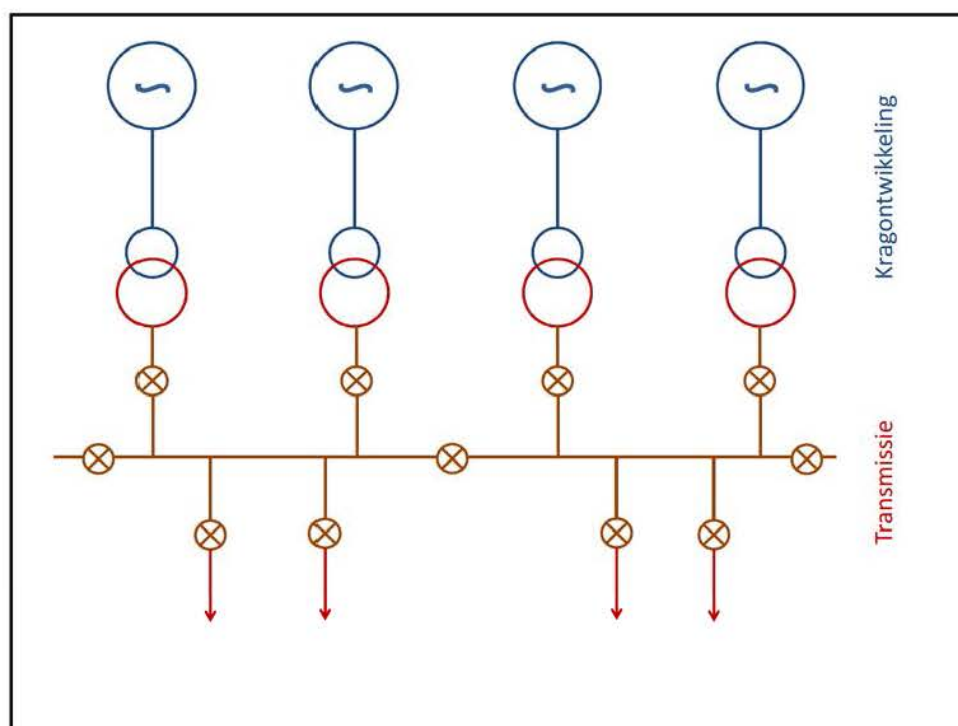
Die simbole wat in die skets gebruik word, word in die volgende illustrasie uiteengesit.



Illustrasie 55: Sleutel tot simbole van elektriese uitlegdiagramme

In hierdie eerste konfigurasie word ontkoppeling tydens elektriese foute bewerkstellig deur die elektriese beveiliging wat die laerspanningstroombreker laat oopmaak. Voorts word die elektriese beveiliging só opgestel dat dit in staat is om 'n faling van die stroombreker op te merk en indien dit gebeur word die hoërspanning stroombreker wat met die spesifieke eenheid geassosieer is oopgemaak. In beide gevalle word slegs die spesifieke eenheid wat aan die fout blootgestel is ontkoppel van die tussenverbinde kragstelsel.

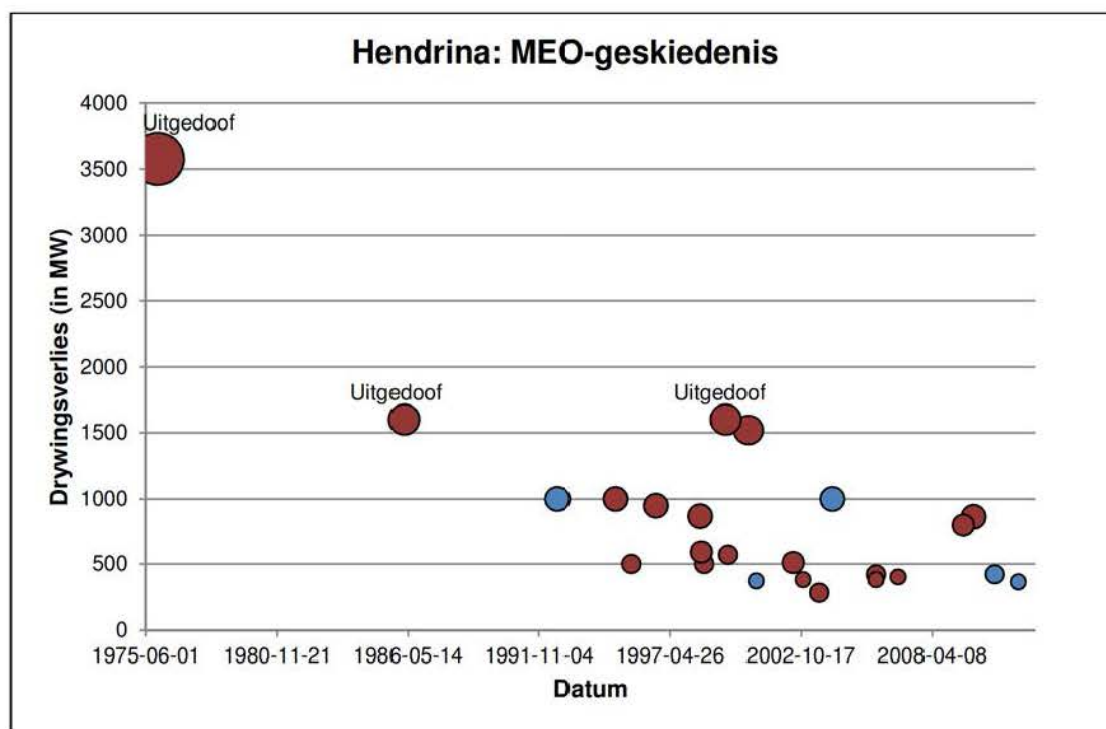
Die tweede moontlike konfigurasie wat vroeër gebruik is om soortgelyke oogmerke te bereik in terme van die ontkoppeling van kragontwikkelings-eenhede te midde van stroombrekerfalings, word in die volgende diagram geïllustreer. In hierdie toepassing word alle stroombrekers op die hoërspanning geïnstalleer om sodoende aansienlike kostes te spaar. Bykomend is meer as een eenheid en uitgaande voerder op dieselfde afdeling in die hoërspanningswerf gekoppel sonder stroombrekers tussenin om selfs nog meer te bespaar.



Illustrasie 56: Voormalige stroombrekerkonfigurasie vir kragstasies

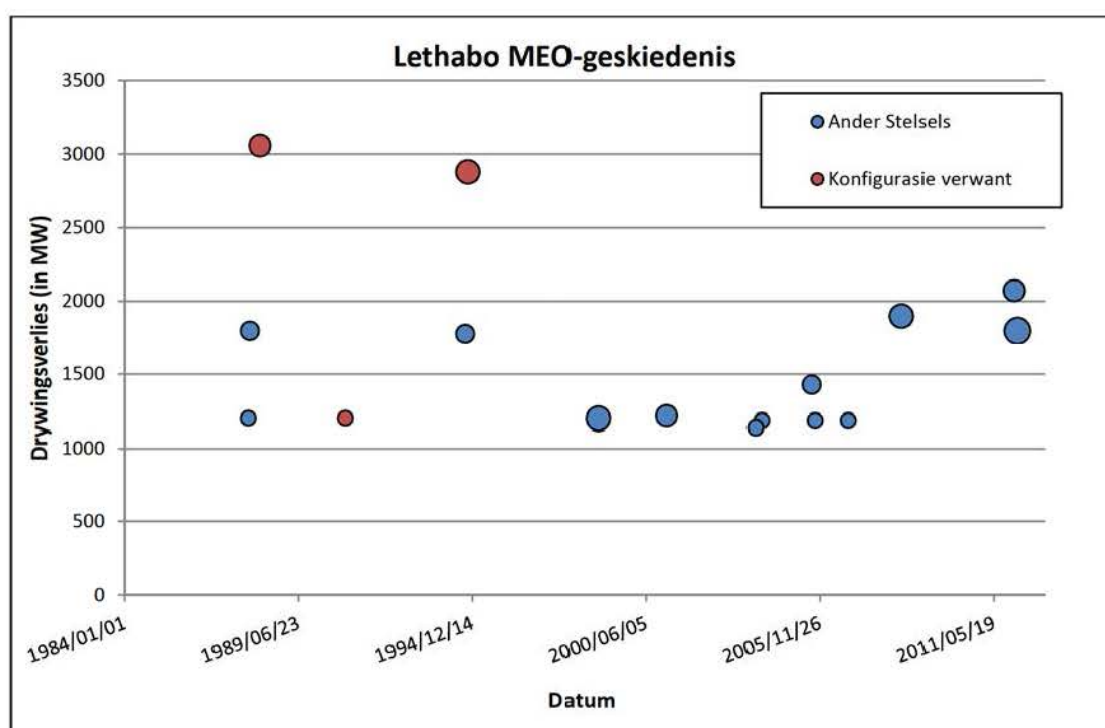
In hierdie tweede konfigurasie word ontkoppeling tydens elektriese foute bewerkstellig deur die elektriese beveiliging wat die eenheid se eie hoërspanningstroombreker laat oopmaak. Voorts word die elektriese beveiliging só opgestel dat dit 'n faling van die stroombreker kan opmerk. Indien dit gebeur word die hoërspanningstroombrekers wat die afdeling begrens waarbinne die fout voorkom, afgesonder deur hulle almal oop te maak. In só 'n geval word meer as een eenheid ontkoppel van die tussenverbinde kragnet en is die noodwendige gevolg van die voorval 'n MEO. Hierdie konfigurasie is op Hendrina aangewend, daarom kan Hendrina gebruik word as gevallestudie.

Die volgende voorstelling wys die volledige MEO-rekord vir Hendrina-kragstasie wat van die tweede konfigurasie gebruik maak. Die karmosyn merkers dui die voorvalle aan wat direk of indirek spruit uit die spesifieke konfigurasie, terwyl die blou merkers die voorvalle aandui waar die konfigurasie geen rol gespeel het nie. Die grootte van die merkers is 'n relatiewe aanduiding van die aantal kragontwikkelingseenhede wat aan die MEO deelgeneem het.



Illustrasie 57: Volledige MEO-rekord vir Hendrina-kragstasie

Dit is duidelik dat die gekose konfigurasie vir die uitleg van die hoogspanningswerf en die koppeling van die kragontwikkelingseenhede daaraan, 'n beduidende bydrae lewer tot die totale aantal MEO's wat Hendrina oor tyd ervaar het. Tewens, in nagenoeg 80% van alle MEO's by Hendrina, het die spesifieke konfigurasie 'n bydrae gelewer. In vergelyking hiermee, word die dienooreenkomstige ontleding vir Lethabo-kragstasie in die volgende illustrasie getoon.



Illustrasie 58: Volledige MEO-rekord vir Lethabo-kragstasie

In die geval van Lethabo kan die kontras van die spesifieke konfigurasie duidelik gesien word. In slegs 23% van die MEO's wat by Lethabo plaasgevind het, het die hoogspanningswerf se konfigurasie 'n rol gespeel en die meeste MEO's was totaal onafhanklik van die effek van die spesifieke konfigurasie.

Die afleiding kan dus gemaak word dat kragstasies sekere kwesbaarhede tot MEO's het wat suiwer uit die konfigurasie van die aanleg spruit. Dit is dus noodsaaklik, indien MEO's geminimaliseer wil word, dat die aanleg oor 'n

uitleg en konfigurasie beskik wat dit nie spesifiek kwesbaar maak vir MEO's nie. So 'n "immunitet" teen MEO's kan ontwikkel uit 'n ingenieursontwerp waarin daar 'n spesifieke fokus op MEO-kwesbaarhede is.

Die funksionele areas waarin Suid-Afrikaanse kragstasies spesifiek kwesbaar is vir konfigurasieverwante MEO's, sluit die volgende in:

TABEL VI: TIPIESE KONFIGURASIE VERWANTE MEO-KWESBAARHEDE

1	Hoogspanningswerfuitleg
2	Kragstasieintegrasië met die tussenverbinde kragstelsel
3	Uitleg van die normale kragtoevoerretikulasie
4	Uitleg van die noodkragtoevoerretikulasie soos gelykspanning
5	Funksionele toewysing van beheer- en beveiligingstelselstrukture
6	Uitleg van verkoelwaterstelsels
7	Uitleg van brandbestrydingstelsels
8	Uitleg en samestelling van be-aardingstelsels
9	Uitleg en filosofie van brandstof- en afvalhanteringstelsels
10	Uitleg van druklugstelsels

Natuurlik speel konfigurasie nie 'n rol in alle MEO's nie, maar 'n groot aantal voorvalle sou wel voorkom kon word indien die konfigurasie nie die kragstasie kwesbaar gemaak het vir sodanige ontwrigting nie.

3.3.5 Onderliggende aspekte

Ten einde 'n omvattende raamwerk vir die bestuur van MEO-bedreigings saam te stel, is dit nodig om 'n begrip te vorm van die onderskeie aspekte wat van belang is in die ontstaan, ontwikkeling en herstel daarvan. Met hierdie doel, word verskeie van hierdie aspekte vervolgens ondersoek en uitgelig.

Soos met enige gebeurtenis kan verskeie elemente daarvan ondersoek word en elk van die elemente of aspekte sal 'n ander insig meebring wat aangewend kan word om strategieë te ontwikkel vir die toekomstige bestuur van soortgelyke gebeurtenisse. Van hierdie perspektiewe wat verband hou met MEO's sluit die volgende in:

- a Predisposisie ten opsigte van MEO's

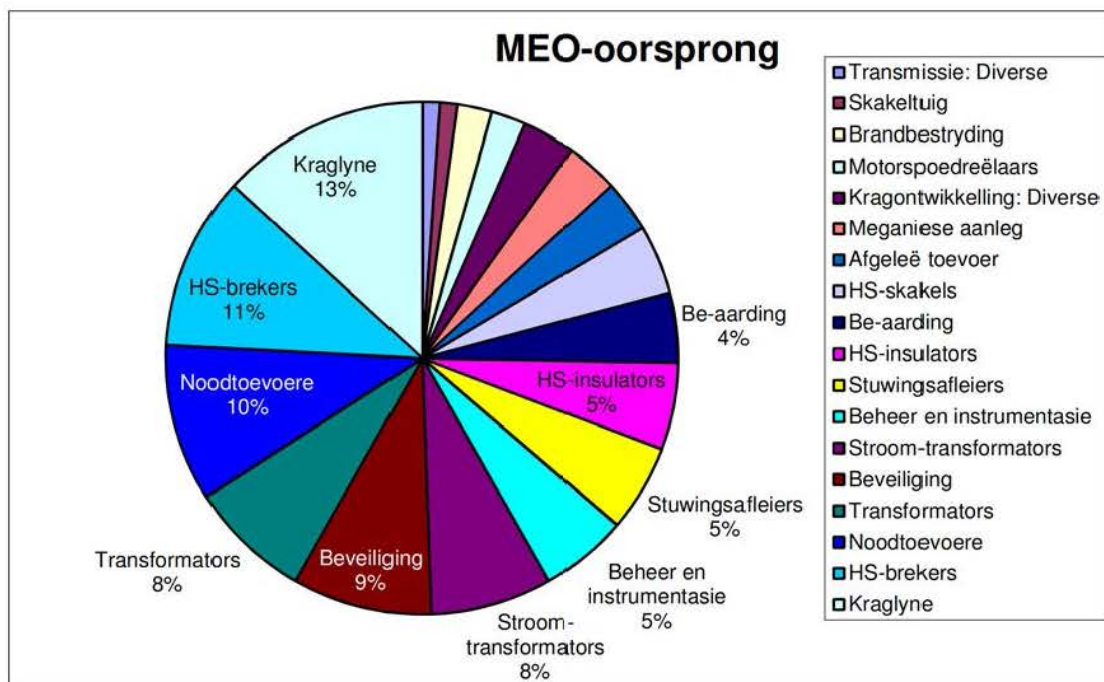
- b Aanleg of stelsel waarvandaan die MEO sy oorsprong het
- c Snellergebeurtenis wat MEO-gebeure van stapel gestuur het
- d Gemeenskaplikhede/faktore wat tot die aaneengeskakeldheid lei
- e Verdedigingslinies wat ontoereikend was om MEO's te voorkom
- f Oorsake wat aanleiding gegee het tot die MEO
- g Of die MEO 'n herhaling van 'n feitlik-identiese vorige een is
- h Gevolge wat voortspruit uit die MEO
- i Effektiwiteit van die restourasie na die afloop van die MEO

Daar is aspekte wat 'n MEO voorafgaan en wat 'n kragstasie meer vatbaar maak sodat 'n ontwigting kan eskaleer om meer as een eenheid te affekteer. Die volgende lys van sulke voorafopgestelde “verswakkende” omstandighede, is onttrek uit die ontleding van die beskikbare MEO-rekords.

TABEL VII: ALGEMENE FAKTORE WAT MEO'S PREDISPONEER

1	Aanlegkonfigurasie wyk af van normaal
2	Outomatiese beheerders is afgeskakel of op handbeheer
3	Vlak van oorfloedigheid waarvoor aanleg of stelsels ontwerp is, is verminder (byvoorbeeld 'n dubbele databus waarvan een bus nie beskikbaar is nie, 'n kragnet wat in 'n (n-1)-toestand bedryf word, ensovoorts)
4	Rugsteunaanleg of -toerusting is nie beskikbaar nie
5	Voorheen geïdentifiseerde swakhede wat nie geadresseer is nie
6	Ongetoetste of onbewysde stelsels of funksionaliteit
7	Bedreigende toestande wat ontstaan, maar nie besef word nie, of waarop nie effektief of korrek gereageer word nie
8	Swak gehalte werk tydens instandhouding of konstruksie
9	Bedryf van aanlegte of stelsels na aan of buite die grense van ontwerp of normale praktyk en ervaring
10	Simulasie of faling van seine of logika wat gebruik word om beheer-, moniteer-, beveiliging- of waarskuwingsfilosofie te implementeer

Dan is daar gebeure wat as oorsprong dien vir MEO's om te ontstaan. Uit die beskikbare rekords van MEO's is die volgende illustrasie saamgestel wat die spesifieke bron van oorsprong van 'n MEO toon.



Illustrasie 59: Oorsprong van MEO wat ontwigting ontken

Dit is duidelik dat 'n ontleding van hierdie bronareas van nut kan wees in die bestuur van MEO-bedreigings en die toewysing van kundigheid en hulpbronne vir die inperking van sodanige bedreiging.

'n Sneller vir 'n MEO is daardie aanvanklike gebeurtenis wat die aaneengeskakelde gebeure waaruit die MEO bestaan van stapel stuur. Dit is soos die eerste domino wat die hele kettingreaksie begin. Die beskikbare rekords is ontleed en die volgende lys van snellers is uitgesonder.

TABEL VIII: ALGEMENE MEO-SNELLERS

1	Menslike foute
2	Insulasie-afbraak of swigting (dikwels ge-assosieer met insulatorbesoedeling, veldbrande, digte mis, ensovoorts)
3	Elektriese stuwings of steurings
4	Foutiewe of onbehoorlike beveiligingsaksie
5	Elektriese foute (soos kontak met bome)
6	Komponent- of stelsel-faling of foutiewe funksionering
7	Korrekte aktivering van beveiligingsstelsels (gevalle waar die MEO van minder belang geag word of selfs wenslik is soos spesiale beveiligingskemas, brandbestrydingstelselaktivering,

	ensovoorts)
--	-------------

In hierdie lys van MEO-snellers is punt 7 van spesifieke belang. Spesiale beveiligingskemas word dikwels gebruik om spesifieke doelwitte te bereik. So is 'n spesifieke gedeelte van 'n netwerk dikwels ontoereikend om al die ontwikkelde elektriese energie te vervoer in gevalle waar sekere sleuteltoerusting nie beskikbaar sou wees nie. In sulke gevalle word spesiale skemas dan ontplooi om verskeie eenhede te ontkoppel of in te perk om sodanige oorbelasting van die netwerk te voorkom. Ongelukkig bestaan die gevaar dan dat die mate van ontwrigting so geweldig kan wees (afhangend van omstandighede), dat die gevolg van die handeling veel wyer kan uitkring as wat beoog was in die ontwerp daarvan en dat dit meer nadelig as voordelig mag wees in die groter konteks.

Alle MEO's is voortspruitend uit gemeenskaplike of gedeelde infrastrukture of hulpbronne. Uit die historiese rekords van MEO's in Suid-Afrika en uit die literatuurstudie, blyk dit dat die volgende lys van gemeenskaplikhede (wáár so 'n gemeenskaplikheid bestaan) tot MEO's kan lei. Dit is noodsaaklik om die geskiedenis van MEO's in hierdie kategorieë te versamel vir die doel van ontleding.

TABEL IX: MEO-VERWANTE GEMEENSAPLIKHEDE

Netwerkverbinding
Tussenverbinde kragnet
Hoogspanningswerf
Afgeleë toevoer (onafhanklik)
Afstandbeheer (substasie-skakeling)
Afstandbeheer (regulering van kragontwikkeling)
Kragstasie-elektries
Interbindings tussen eenhede
Buiteaanlegretikulasie
Batterygesteunde toevoer (eenhede)
Batterygesteunde toevoer (buite)

Be-aarding
Verspreide beveiliging en intelligensie
Spesiale beveiligingskemas
Kabelroetes en -strukture
Generatorstroombreker, water- en gasstelsels
Beheer en instrumentasie
Elektriese retikulasiestelsel-beheerstelsel
Buiteaanleg-beheerstelsel
Beheerstelselkommunikasie (analoog en digitaal)
Verspreide beheer en intelligente stelsels
Proses- en inligtingstelsel-datanetwerk
Gemeenskaplike prosesbeveiliging
Proses: Produksieaanleg
Hoofkondensator-verkoelingstelsel
Hulpverkoelingstelsel
Druklugstelsel
Vloeibare brandstofhanteringstelsel
Steenkoolhanteringstelsel
Watervoorsiening-, -suiwering- en hanteringstelsel
Ashanteringstelsel
Rookuitlaatsuiwering en -hantering
Vloeibare afvalstorting en -hantering
Chemiese dosering en hantering
Brandolie- of brandgas-hanteringstelsel
Waterstofgas-hanteringstelsel
Dryf- en aanloopleidings- en sluiskleppe
Nie-proses: Ander
Brandbestrydingstelsels
Dreineringsstelsels
Lugversorgingsstelsels
Gedeelde beheer- of toerustingkamers of -vertrekke

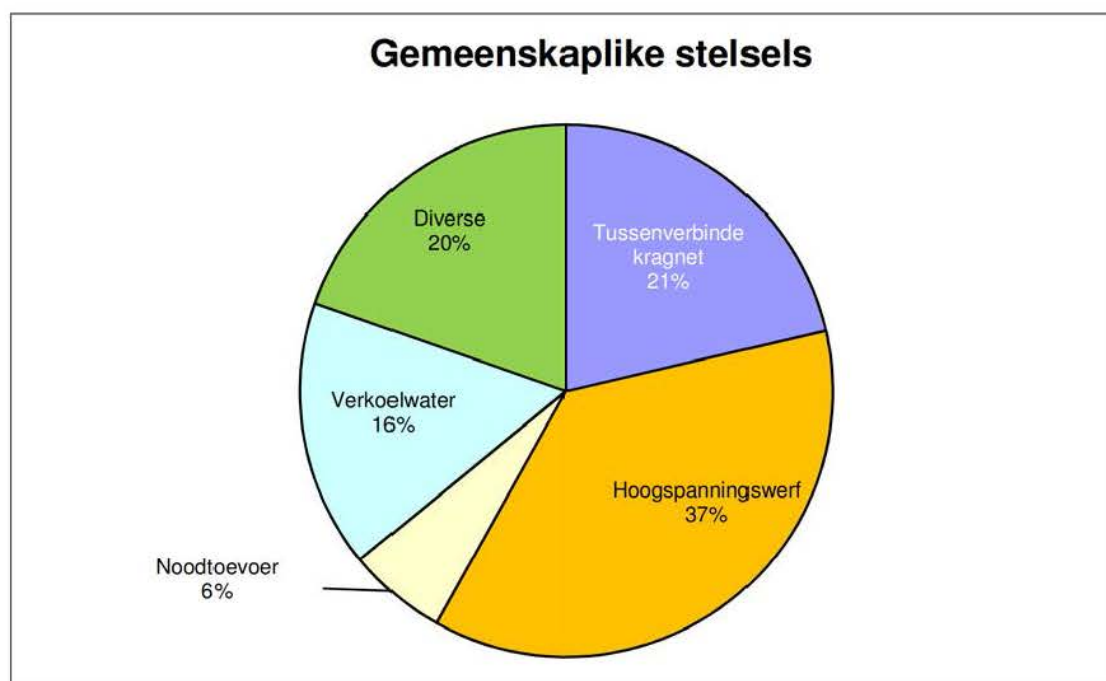
Materiale en grondstowwe
Proseswater
Steenkool- en vastestofbrandstof
Brandolie of brandgas
Vloeibare brandstof
Waterstof en ander gas
Chemikalieë
Verbruiksmiddele: Gas, smering, maal-media, ensovoorts
Geografies
Omgewingstemperatuur
Watertemperature
Oorvloeïing en verswelging
Aardbewings en grondbeweging
Weer: reën, hael, mis, wind, ys en sneeu
Seetoestande en tsunami's
Geomagnetiese verskynsels
Elektromagnetiese verskynsels
Burokraties en administratief
Lisensies, permitte en kwotas
Nasionale, provinsiale en streekafbakening
Eienaarskap en regs aanspreeklikheid
Kommersieel en kontrakte
Assosiasie en sentiment
Finansiële genoegsaamheid
Eksterne infrastruktuur
Regulasie en wetgewing
Internasionale voldoeningstandaarde
Menslike hulpbronne
Politiese stabiliteit
Strategiese mandate of noodsaaklikhede

Unieke omstandighede of vereistes

Risikoverskansing of -afwenteling

Al hierdie gemeenskaplikhede kan lei tot MEO's wanneer hulle ontwig raak of wanneer hul buite die norm beweeg. Dit is van toepassing in gevalle waar verskeie eenhede van 'n kragstasie daarvan gebruik maak of daaraan blootgestel is. In sekere gevalle kan dit selfs meer as een kragstasie affekteer of ontwig. Voorbeelde hiervan is die geomagnetiese verskynsels wat in 2003 'n grootskaalse ontwigting in Noord-Amerika veroorsaak het [17]. 'n Tipiese Suid-Afrikaanse voorbeeld is by die hoë konsentrasie van kragstasies in Mpumalanga, waar hoë reënvalvoorkomste die produksie in verskeie kragstasies gelyktydig ontwig, weens die afwyking van die steenkool se voginhoud vanaf die norm.

Hoewel hierdie lys omvattend saamgestel is, word gevind dat MEO's gedomineer word deur enkele van die gemeenskaplikhede. Die volgende illustrasie toon 'n ontleding van die Suid-Afrikaanse MEO-geskiedenis in hierdie verband.



Illustrasie 60: Gemeenskaplike faktore wat lei tot MEO's

Die ontwigting van meer as een gemeenskaplikheid speel dikwels ook 'n rol tydens MEO's, of die ontwigting van een gemeenskaplikheid lei dikwels tot die ontwigting in 'n ander. Om hierdie aspek te benadruk, word 'n spesifieke gevallestudie beskou.

Op 24 Junie 2008 het vyf van die ses eenhede by 'n kragstasie ontkoppel van die tussenverbinde kragnet en sodoende 'n totaal van 1,9 GW verwyder en 'n daling in netwerfkwensie van 0,67 Hz teweeg gebring. Die grootte van die MEO is bereken op 12,1 dB en dit was die mees omvangryke voorval in 'n vyfjaar-periode.

Tydens die voorval is die gelykspanningstoevoer in die buiteaanleg ontwig. Hierdie ontwigting in sigself het geen direkte belemmering van die eenhede tot gevolg gehad nie, maar is op sy beurt die verstekkragttoevoer vir die buiteaanleg se beheerstelsel. Die buiteaanleg se beheerstelsel het gevolglik 'n onderbreking in kragtoevoer ervaar. Toe die gelykspanningstoevoer terugkeer na normaal, het die beheerstelsel afgewyk van normale praktyk en die hoofkoelwaterpompe geklink in plaas daarvan om dit aangeskakel te hou. As gevolg van die gevolglike gebrek aan voldoende verkoelingswater, het die temperatuur in die kondensators buite spesifikasie gestyg, wat gelei het tot die klinking van die turbines van vyf eenhede van die kragstasie.

In hierdie voorbeeld was drie gemeenskaplike stelsel betrokke, nl.

- a Batterygesteunde toevoer (buiteaanleg)
- b Buiteaanleg-beheerstelsel
- c Hoofkondensatorverkoelingstelsel

Die MEO was die gevolg van die ontwigting van al drie die gemeenskaplikhede en gevolglik het die ondersoek gefokus op aksies van al drie die stelsels.

Dit mag voor die hand liggend lyk om, aan die hand van die bostaande ontleding, veranderinge aan te bring om die gemeenskaplikhede te elimineer. Die koste en implikasies van sodanige eliminering is egter dikwels haas

onmoontlik. So, byvoorbeeld, is daar besluit om die bedreiging wat spruit uit die noodtoevoere, wat 6% van alle MEO's verteenwoordig, te verminder teen aansienlike koste terwyl die bedreiging wat uit verkoelwater spruit en wat 16% van MEO's verteenwoordig verduur word weens die omvangryke implikasies wat die uitwissing daarvan sou impliseer.

'n Volgende faktor om te oorweeg by die ondersoek en bestuur van MEO's, is die verdedigingslinies wat ontoereikend was om MEO's te voorkom. Tydens die ontwerp, oprigting, bedryf en onderhoud van 'n kragstasie word daar voortdurend gefokus op aspekte wat skade of verliese kan voorkom, insluitende verliese van die MEO-aard. Derhalwe word hierdie voorkomingsmaatreëls ondersoek na 'n MEO om die effektiwiteit daarvan vas te stel.

'n Spesifieke voorbeeld word as gevallestudie gebruik. Op 27 Januarie 2001 het 'n MEO plaasgevind waartydens vier eenhede ontwrig is, waarvan twee van die tussenverbinde kragnet ontkoppel het. Dit het 'n verlies van 1,2 GW verteenwoordig met die potensiaal om 'n verdere 1,2 GW te verloor. Weens die groot totale blootstelling van hierdie MEO, is spesifieke ondersoek ingestel na die verdedigingslinies wat onvoldoende gereken was.

Daar is bevind dat 11 verdedigingslinies versuim het om die MEO te voorkom, wat die gevolg was van 'n seldsame sameloop van buitengewone omstandighede. Nietemin, is 'n totaal van 24 aanbevelings gemaak om 'n herhaling van so 'n voorval te voorkom, waarvan 13 te make gehad het met ontwerpverbeteringe aan die aanleg.

Die oorsake wat aanleiding gee tot MEO's is uit die aard van die saak van belang by die bestuur van die voorkoms en bedreiging van MEO's. 'n Ontleding van die beskikbare rekords is gemaak en die volgende lys van algemene oorsake is saamgestel.

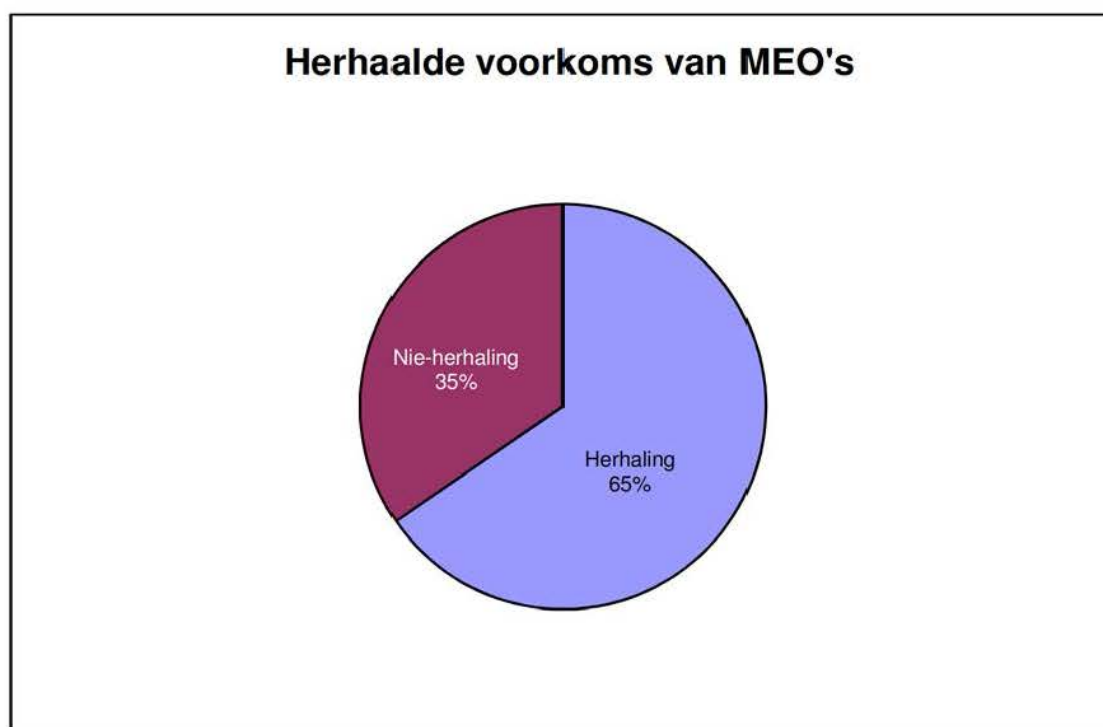
TABEL X: ALGEMENE OORSAKE VAN MEO'S

1	Faling of defek
2	Wanfunksionering

3	Fout (elektries of logies)
4	Fout, flater of vergissing (menslik)
5	Onderbreking
6	Tekort
7	Oorlading of oorbelasting
8	Oorskryding (vermoë of norm)
9	Komponent-tekortkoming
10	Ontwerp-tekortkoming
11	Onvoldoende optimisering (proses)
12	Onvoldoende waarskuwing of inligting
13	Onbehoorlike beveiliging (ontwerp of werking)
14	Spesiale beveiliging (doelbewuste implementering)
15	Abnormale bedryf
16	Abnormale konfigurasie
17	Gebrekkige oorsig, toesig of kontrole
18	Verwaarlosing, slytasie of uitputting
19	Reël oortreding
20	Voorskriftelike gebrek
21	Funksionele toedeling
22	On- of ondergeskatte risiko
23	Ongedefinieerde toestande
24	Gebrekkige filosofie
25	Inherente kwesbaarheid (tegnies)
26	Uitsonderlike natuurlike omstandighede
27	Afdwinging of voldoening
28	Eksterne dwingende omstandighede
29	Opset: kwaadwilligheid, sabotasie, misdaad

Die mate waartoe MEO's geneig is om herhalings van vorige MEO's te wees, is ook 'n maatstaf wat as aanduiding kan dien van die sukses van pogings om MEO as bedreiging te modereer. Hierdie aspek is moeilik om te beoordeel, aangesien geen twee gebeure identies is nie en daar derhalwe 'n mate van subjektiwiteit ter sprake kom. Die Suid-Afrikaanse rekords is egter ondersoek en 'n oordeel is gevel daaroor of 'n MEO "grootliks ooreenstem" met 'n vorige

een. Die resultate van hierdie ondersoek word in die volgende illustrasie getoon.

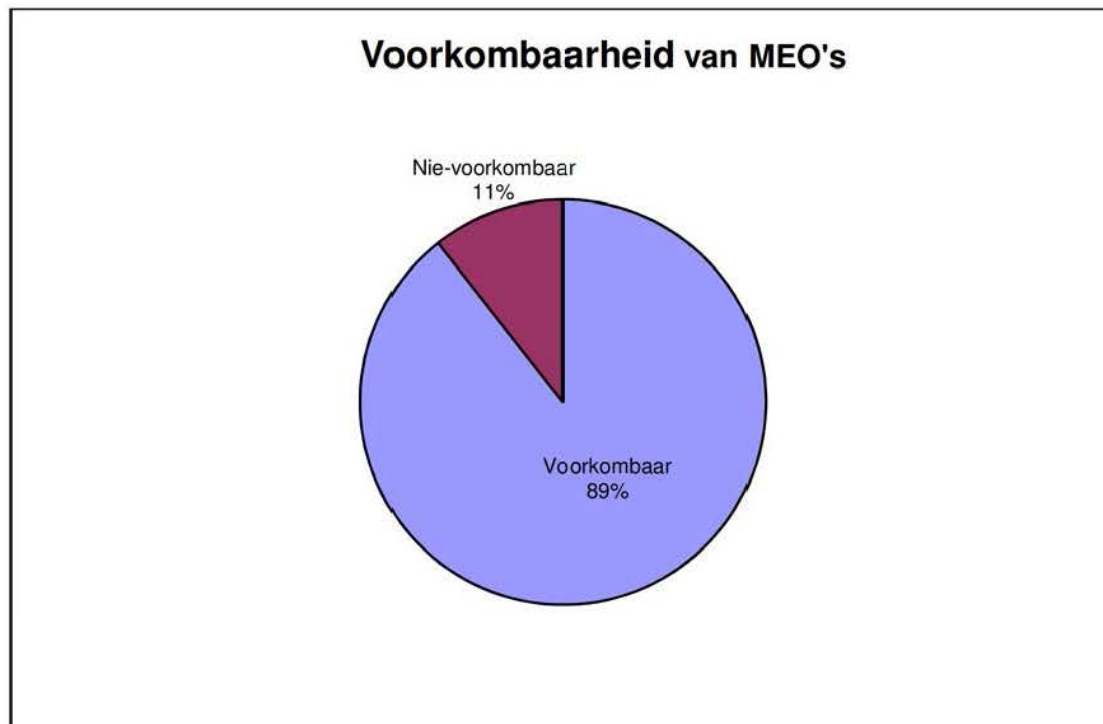


Illustrasie 61: Wederkerendheid van MEO's

Hoewel die waardes in die voorstelling op die oog af na 'n swak prestasie lyk, moet daar gemaak word teen oorvereenvoudiging. Eerstens bestaan daar nie 'n onbepaalde aantal oorsake vir MEO's nie en gevolglik is 'n mate van herhaling noodwendig. Tweedens, dui die MEO-voorvalle vanoor die res van die wêreld wat in die literatuurstudie gemeld is, op 'n groot mate van herhaling. Derdens, wanneer 'n kragtasie geskep is met 'n inherente swakheid vir 'n sekere tipe MEO, is dit haas onmoontlik om dit in baie gevalle te verander. Dikwels is die enigste moontlikheid om die spesifieke geval te gebruik om toekomstige kragstasies te verbeter en meer immuun te maak teen die bepaalde swakheid. Ten spyte van die punte wat hier aangevoer word, is dit nietemin nodig om hierdie ontleding telkens te doen en op gepaste wyse op moontlike veranderinge te reageer.

Nog 'n belangrike maatstaf om te ondersoek, is die voorkombaarheid van 'n MEO. Daar moet aan die hand van die beginsels van redelike en algemene

ingenieurs- en bestuurspraktyk bepaal word of 'n voorval voorkombaar was al dan nie. In hierdie verband word die resultate van die ontleding van die Suid-Afrikaanse rekords getoon.



Illustrasie 62: Voorkombaarheid van MEO's

Hierin lê daar ooglopend 'n groot potensiaal om die voorkoms en bedreiging van MEO's te beperk. Derhalwe word die volgende lys van tipiese praktyke wat tot die voorkoming van MEO's sou kon lei en wat verkry is uit die ontleding van die Suid-Afrikaanse rekords, aangedui.

**TABEL XI: INGENIEURS- EN BESTUURSPRAKTYKE
OM MEO'S TE VOORKOM**

1	Inbedryfstelling en herinbedryfstelling
2	Gehalteversekering en bestuur
3	Toets- en inspeksiepraktyke
4	Bedryfsoorsig en kontroles
5	Geïntegreerde risikobestuur
6	Alarmreaksieprosedures
7	Instandhouding volgens bewese filosofieë
8	Toestandmonitering en vooruitskatting

9	Konfigurasiebestuur
10	Monster, nagaan en oorsig (dokumentasie)
11	Ag slaan op waarskuwings
12	Leer uit eie en ander se foute of gebeure
13	Reël voldoening
14	Beste en beproefde praktyke
15	Toegekende verantwoordelikhede en aanspreeklikhede
16	Verseker vorige oorsake is gevind en opgelos
17	Voldoende opleiding op alle vlakke
18	Filosofie bestuur en eenvormigheid
19	Studies, modellering en simulاسies
20	Normale aanlegkonfigurasie
21	Voldoende spaaronderdele en bystandaanleg
22	Opgradering, vernuwing en modifikasie
23	Voldoende rugsteun en oorvloedigheid
24	Voldoende voorskrifte en leiding
25	Deskundige besluitnemingstelsels
26	Aanlegprestاسie vergelykende studies
27	Aanlegfalingontleding
28	Voldoende strategieë en beplanning

Om MEO's volledig te verstaan is dit ook nodig om die gevolge of impak daarvan te bepaal. Die gevolge van MEO's verskil dikwels van een voorval tot 'n volgende, maar die gevolge kan tog gegroepeer word in tipiese kategorieë. Die volgende lys toon die tipiese gevolge wat uit MEO's kan spruit.

TABEL XII: TIPIESE GEVOLGE VAN MEO'S

No	Gevolg of Impak	Aard	Oorsaak
1	Geen noemenswaardige effek op netwerkparameters nie	-	Geringe ontwrigting
2	Netwerk gestabiliseer met sentrale outomatiese kragontwikkelingsbeheer deur die stelseloperator	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie
3	Opheffing van die sentrale outomatiese kragontwikkelingsbeheer om outonome	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie

	outomatiese regulasie deur afsonderlike eenhede te laat plaasvind		
4	Onderbreking van eenhede wat besig is om water te pomp in pomp-opgaarskemas	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie
5	Outomatiese aanskakeling van spitslaskragontwikkelingseenhede	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie
6	Aktivering van noodkragontwikkeling wat eenhede bo normale maksimum kragontwikkeling benut (met sekere beperkings)	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie of tekorte in beskikbare bronne
7	Onttrekking van en verbod op die uitvoer van aktiwiteite wat risiko kan plaas op die beskikbaarheid van kragontwikkelingskapasiteit	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie of tekorte in beskikbare bronne
8	Verbod op die onttrekking van kragontwikkeling vir die doel van beplande of onbeplande instandhouding	Doelbewuste bestuursaksie	Tekorte in beskikbare bronne
9	Ontkoppeling van eenhede vanaf die netwerk om die bronne met die las te balanseer	Doelbewuste bestuursaksie	Hoë frekwensie
10	Afsny van interverbindingsslyne na ander lande of streke	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie
11	Klink van lyne deur beveiliging (reg of verkeerd)	Ongewens	Arbitrêr
12	Afsondering van eenhede om steurings te oorleef	Ongewens	Arbitrêr
13	Afsondering, klink of lasafwerping van eenhede om kragontwikkeling in te perk	Doelbewuste bestuursaksie	Hoë frekwensie
14	Skeuring van kragstelsel om eilande te vorm wat afsonderlik funksioneer of faal	Doelbewuste bestuursaksie	Ossillasies / arbitrêr
15	Klink of ontwrigting van eenhede of gemeenskaplike aanleg weens die MEO	Ongewens	Arbitrêr
16	Vrywillige of verpligte afwerping of inperking van gebruikers om las te verminder (met of sonder waarskuwing)	Doelbewuste bestuursaksie	Lae frekwensie
17	Uitdowing van kragstasies, streke, lande of die totale tussenverbinde kragstelsel	Ongewens	Arbitrêr

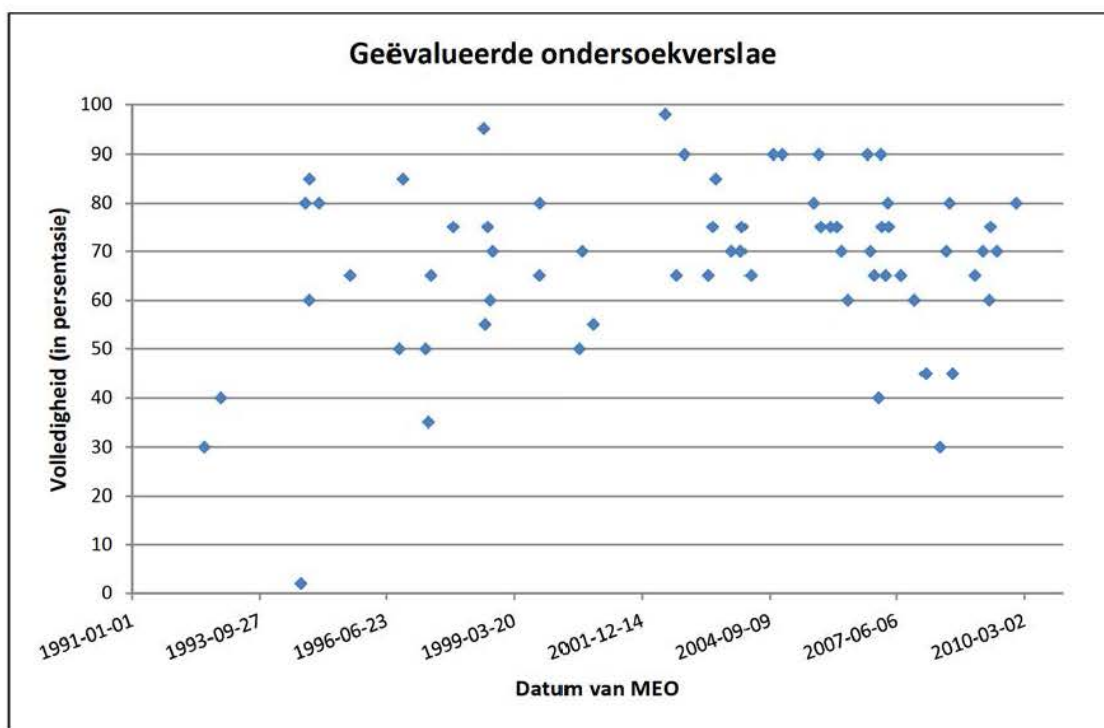
Die lyste wat in hierdie gedeelte gegee is, kan aangewend word as standaardkieslyste vir die gerekenariseerde invoer van MEO-verwante gegewens tydens ondersoeke (of daarna). Uit die aard van die saak is daar 'n behoefte om MEO's te boekstaaf en vir daardie doel sal 'n gestandaardiseerde ondersoekraamwerk in afdeling 8 van hierdie werk voorgestel word.

3.4 MEO-ontleding – voorvalondersoek

Die ondersoek van voorvalle wat lei tot ernstige netwerkontwrigting is algemeen en verslae daarvoor is vrylik beskikbaar – dikwels oor die internet. MEO's, as 'n spesiale klas van netwerkontwrigting is dikwels nie geskik vir die standaardbenadering van ondersoek wat in die ander gevalle gebruik word nie.

In die Suid-Afrikaanse konteks word baie hoë prioriteit gegee aan die ondersoek en verslagdoening van MEK's weens die vereistes van die Suid-Afrikaanse Kragwetkode [38]. Om dié rede word die meeste groot MEK-voorvalle in Eskom deur gespesialiseerde en hoogs ervare ondersoekbeamptes ondersoek en opgeteken.

Om te bepaal hoe effektief die ondersoek van MEO's tans gedoen word, is die kriteria wat van toepassing is op MEO's saamgestel en is die ondersoekverslae daarteen geëvalueer vir volledigheid. Die resultate van hierdie evaluasie word in die volgende illustrasie getoon.



Illustrasie 63: Volledigheid van MEO-ondersoekverslae

Dit blyk dat die ondersoekverslae na die MEO's oor 'n tydperk van twee dekades, te midde van die toewysing van toegewyde en gespesialiseerde hulpbronne, uiters wisselvallig is en dat die meeste van die verslae minder as 80% volledig opgeteken is in terme van die relevante inligting. Hierteenoor is 'n versameling van tien suiwer netwerksteurings, waar kragontwikkeling geen rol gespeel het nie, se ondersoekverslae op soortgelyke wyse geanaliseer vir volledigheid en die gemiddelde persentasiepunt vir die tien voorvalle is 97%. Dit illustreer die vermoede dat MEO's 'n spesiale klas van ontwigting is wat in verskeie opsigte afwyk van ander soortgelyke klasse van ontwigting. Derhalwe is dit noodsaaklik dat die ondersoek van hierdie tipe gebeurtenisse op 'n gestandaardiseerde wyse moet geskied. Om hierdie rede word 'n gestandaardiseerde ondersoekraamwerk voorgestel om te verseker dat alle relevante inligting betreffende MEO's ingewin en opgeteken kan word.

3.5 Samevatting

Hoewel 'n aansienlike hoeveelheid inligting oor tyd vergader is oor MEO-voorvalle, het daar weinig inligting bestaan oor hierdie verskynsel as 'n afsonderlike klas van netwerkontwigting. 'n Ontleding van die inligting is

ondernem om te ondersoek of die beskouing dat MEO's 'n wesenlike bedreiging inhou vir die handhawing van die tussenverbinde kragnet, geregverdig is.

Onder meer het die ontleding getoon dat MEO-voorvalle potensieel tot grootskaalse ontwigting kan lei, maar dat dit nietemin statisties volgens die gamma-verspreidingsmodel voorkom en derhalwe geredelik gemodelleer kan word vir beplanningsdoeleindes. Daar is verder getoon dat die oorsprong nie uitsluitlik vanuit die fasiliteite van kragontwikkeling ontstaan nie en dat daar gevolglik ook 'n onus op ander partye rus om voorkomend op tee. Daar is uitgewys dat allerlei faktore 'n rol speel in die voorkoms van MEO's, waaronder ontwerp en konfigurasie, toegewyde ingenieursfokus, menslike handeling en ouderdom van aanlegte enkele voorbeelde hiervan is.

Hoewel daar hoegenaamd nie na al die moontlike fasette van MEO's ondersoek ingestel is nie, is daar telkens getoon dat ontleding van die inligting waardevolle insig moontlik maak in 'n bedreigingsvorm wat tot op hede grootliks nagelaat is.