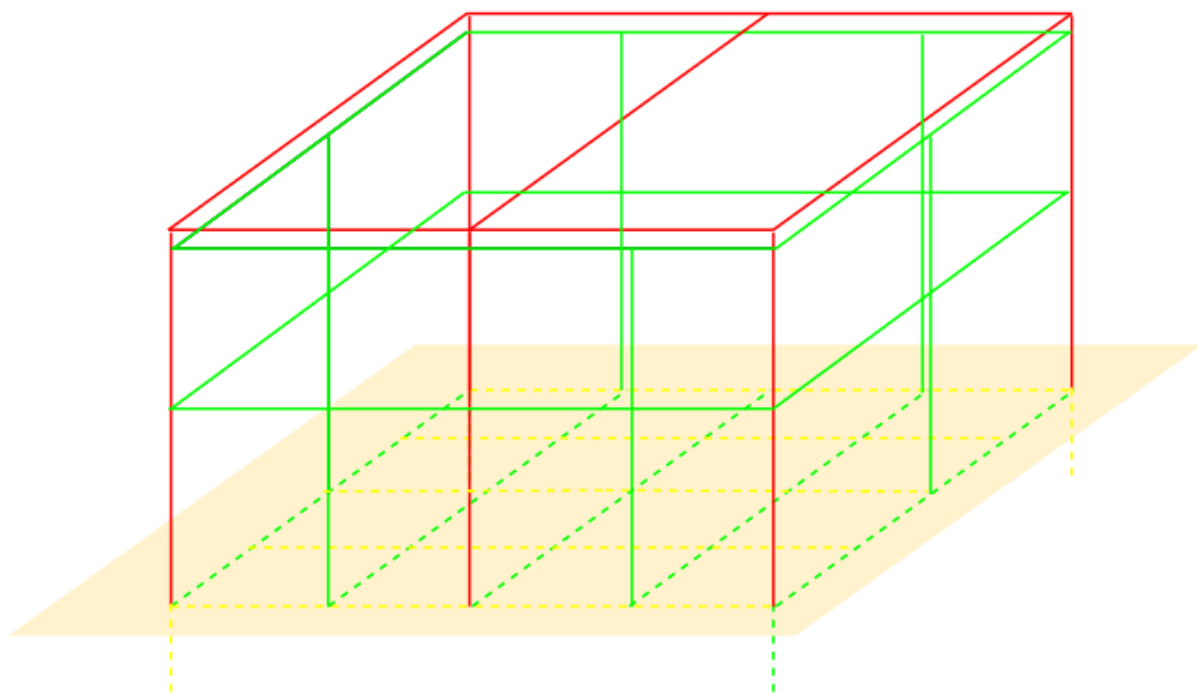


Beveiligingsconcept voor aarding, potentiaalvereffening, bliksem- en overspanningsbeveiliging

Onderzoek naar optimalisatie en standaardisering van verschillende aardingsvraagstukken binnen de projecten van EQUANS



Auteur: Jerard Terian
Studentnummer: 17066352
Instituut: De Haagse Hogeschool
Opleiding: Elektrotechniek
Afstudeerbegeleider: P.J van Duijsen

Bedrijf: EQUANS B.V
Bedrijfsbegeleider: N.M.C Ligtenberg
R. Sondag

Datum: 25-3-2022

Versie: V3

VOORWOORD

In deze scriptie wordt een beveiligingsmodel ontworpen. Dit model omvat de volgende onderwerpen: aarding, bliksembeveiliging en overspanningsbeveiliging. In mijn afstudeerperiode heb ik een uitvoerige literatuurstudie gedaan. In het kader van mijn afstudeerstage HBO Elektrotechniek heb ik gekozen voor dit onderwerp. Mijn interesse voor dit onderwerp komt voort uit mijn stage bij het DC-Lab. Tijdens deze stage heb ik een kortsluitmethode ontworpen om zowel AC als DC kortsluiting te demonstreren. Omdat er vanuit de studie Elektrotechniek, het onderwerp aarding nauwelijks wordt behandeld in de theoretische leergang ontstond bij mij een drang om hier onderzoek te doen. Ik ben erachter gekomen dat het onderwerp aarding bij veel studenten en engineers onduidelijk is. De resultaten van deze scriptie kunnen goed gebruikt worden door studenten en engineers om aardingsvraagstukken te kunnen oplossen. Allereerst wil ik Norman Ligtenberg en Ron Sondag bedanken voor hun begeleiding bij mijn stage bij EQUANS. Daarnaast wil ik ook mijn ouders en mijn vrouw bedanken voor het vertrouwen in mij om de studie af te ronden.

Jerard Terian

Dordrecht, 25 maart 2022

SAMENVATTING

Deze scriptie is bedoeld als referentie voor engineers die zich bezighouden met het aardingsvraagstukken. Het geeft antwoord de vraag hoe een veilige en efficiënte aardingsvoorziening ontworpen kan worden. De onderwerpen die behandeld worden in dit document zijn aarding, bliksembeveiliging en overspanningsbeveiliging. Voor deze scriptie is literatuuronderzoek gedaan naar de normen zoals de NEN 1010, IEC 62305 en NEN 50522, Alles over aarding en Netten voor distributie. De bevindingen zijn samengevat in een model dat toegepast kan worden door engineers en studenten om aardingsvraagstukken efficiënt op te lossen.

SUMMARY

This paper is intended to be a reference for engineers facing grounding issues. It provides answers to questions of how to safely and efficiently design a grounding facility. The topics covered in this document are grounding, lightning protection and surge protection. Literature research was conducted into standards such as NEN 1010, IEC 62305 and NEN 50522, 'Alles over aarding' and 'Netten voor distributie'. The conclusions and findings are summarized in a model that can be applied by engineers and students to efficiently solve grounding issues.

1. INHOUDSOPGAVE

1.	INHOUDSOPGAVE	5
2.	INLEIDING	8
3.	AARDING	9
3.1	VOEDING	9
3.2	STROOMSTELSELS	10
3.3	AARDELEKTRODE EN LEIDINGEN	12
4.	POTENTIALVEREFFENING	16
4.1	OVERSPANNINGEN VAN BUITEN	16
4.2	OVERSPANNINGEN VANUIT EIGEN INSTALLATIE	17
5.	BLIKSEMBEVEILIGING	19
5.1	SCHADE EN BESCHERMINGSMAATREGELEN	19
5.2	LPL EN LPZ	20
5.3	EXTERNE EN INTERNE INSTALLATIE	23
6.	OVERSPANNINGSBEVEILIGING	25
6.1	INLEIDING EN RISICOANALYSE	25
6.2	FLOWCHART OVERSPANNINGSBEVEILIGING	28
7.	TYPICAL ONTWERP	31
7.1	DIMENSIONEREN VAN AARDINGSSYSTEMEN	31
7.1.1	AANRAAKVEILIGHEID	32
7.1.2	BETROUWBAARHEID AARDINGSVOORZIENING	34
7.2	DESIGN TYPICAL	35
7.3	VERIFICATIE MODEL AARDINGSSYSTEEM	37
7.3.1	VERIFICATIE THERMISCHE KORTSLUITVASTHEID	38
7.3.2	VERIFICATIE VEILIGE AANRAAKSPANNING	40
8.	CONCLUSIE	43
9.	DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN	44
10.	VERWIJZINGEN	45
11.	APPENDIX	46
12.	COMPETENTIES	59

LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN

Tabel 1 Aansluitmogelijkheden voor een installatie op het net [1]	10
Tabel 2 Minimale kerndoorsnede van beschermleidingen	12
Tabel 3 Specifieke bodemweerstand [2]	13
Tabel 4 Berekening van aardverspreidingsweerstand	14
Tabel 5 Minimale kerndoorsneden materialen [3]	16
Tabel 6 Beschermingsmaatregelen [5]	20
Tabel 7 Beveiligingsgraad LPL [5]	21
Tabel 8 Beveiligingsklasse indeling [8]	26
Tabel 9 LPZ met zonnebeveiliging 2	28
Tabel 10 Overspanningscategorieën [10]	29
Tabel 11 Uitgangspunten voor de bepaling van toelaatbare aanraakspanningen [1]	34
Tabel 12 Waarden voor constante K en β	35
Tabel 13 Transformatorberekeningen	38
Tabel 14 Berekeningen kerndoorsnedes	39
Tabel 15 Berekeningen kabelimpedanties en foutsparing	41
Figuur 1 Zwevend sterpunt	9
Figuur 2 Impedantie en ster geaard netwerk	10
Figuur 3 TT stelsel	11
Figuur 4 TN-C stelsel	11
Figuur 5 TN-S en TN-CS stelsels	12
Figuur 6 Grondprofielen	15
Figuur 7 Potentiaalvereffening	17
Figuur 8 Aanvullende beschermende potentiaalvereffening	18
Figuur 9 Schade, verlies en risico [5]	19
Figuur 10 Maximale bliksemstroomparameters bij de eerste positieve impuls	20
Figuur 11 Minimumwaarden bliksembolstraal [5]	21
Figuur 12 Bliksembeveiligingszones	22
Figuur 13 Minimumafmetingen van externe bliksembeveiliging [5]	23
Figuur 14 Minimumdoorsnede aardelektroden [5]	23
Figuur 15 Minimumafmetingen geleiders	24
Figuur 16 Minimumafmetingen interne geleiders	24
Figuur 17 Differential mode	25
Figuur 18 Common mode	25
Figuur 19 Overspanningsbeveiligingen	27
Figuur 20 LPZ met zonnebeveiliging 1 [5]	28
Figuur 21 Overspanningsflowchart	30
Figuur 22 Drie fasen kortsluiting	31
Figuur 23 Twee fasen kortsluiting	31
Figuur 24 Twee fasen naar aarde kortsluiting	31
Figuur 25 Enkele fase naar aarde kortsluiting	31
Figuur 26 Stroom gevarencurve IEC 60479	32
Figuur 27 Schematische weergave lichaam	33
Figuur 28 Lichaamsimpedantie IEC 60479	33
Figuur 29 Type en minimale afmetingen van koperen aardelektroden	34
Figuur 30 Typical aardingsysteem	36
Figuur 31 Schematische weergave transformatoren	37
Figuur 32 Vervangingsschema aanraakspanning	40
Figuur 33 Maximale Afschakeltijden	41

AFKORTINGEN

EMC: Electromagnetic Compatibility
PE: Protective Earth
HAR: Hoofdaardrail
LVD: Laagspanningsverdeler
MVD: Middenspanningsverdeler
LPL: Lighting Protection Level
LPZ: Lighting Protection Zone
LPS: Lighting Protection System
SPD: Surge Protection Device

VERSIEBEHEER

Versie	Datum	Review	Verwerkt door
1.0	16-02-2022		Jerard Terian
2.0	11-03-2022	Norman Ligtenberg/Ron Sondag	Jerard Terian
3.0	16-3-2022	Peter van Duijsen	Jerard

2. INLEIDING

Aarding is altijd al belangrijk geweest voor de maatschappij. Het biedt immers veiligheid. Door de elektrificatie van de maatschappij en de energietransitie, is aarding steeds complexer en belangrijker geworden. Bij aarding wordt er een geleidend pad gecreëerd tussen onderdelen van de elektrische installatie, andere metalen geleiders en de aarde. De toepassingen van deze voorzieningen zijn heel divers met als belangrijkste functie de veiligheid van mens/dier. Zonder een goede aardingsvoorziening kunnen veel beschermingsmaatregelen niet goed uitgevoerd worden. Daarnaast kan de onderlinge werking van de verschillende toestellen nadelig beïnvloed worden als de kabels en de verbonden leidingen niet goed van elkaar zijn afgescheiden.

De bliksembeveiliging is niet mogelijk zonder een goede aardingsvoorziening. Zowel de uitwendige voorzieningen aan de buitenkant van het gebouw als de inwendige potentiaalvereffeningssysteem bedoeld om gevaarlijke spanningsverschillen te reduceren binnen het gebouw.

Kortom, het belang van een goed functionerende aardvoorziening, in combinatie met bliksembeveiliging, overspanningsbeveiliging en EMC, is essentieel voor het veilig en goed gebruik van een installatie. Hoe wordt een veilige en efficiënte aardingsvoorziening ontworpen? Dat is in veel gevallen wat minder duidelijk, de wet en regelgeving die gepaard gaan met het ontwerp, de verschillende definities van een aardingssysteem zijn ook niet altijd even helder.

Het doel van dit afstudeerdocument is om engineers van EQUANS te helpen met de dimensionering van een aardingssysteem.

De verschillende functies van een aardingsvoorziening zijn; het garanderen dat de nulleider van de voeding een aardpotentiaal heeft, potentiaalvereffening voor alle geleidende metalen delen, persoonsbeveiliging om gevaarlijke aanraakspanningen te voorkomen, bliksembeveiliging om schade, letsel en risico's te verminderen, overspanningsbeveiliging en EMC. In dit document zal de focus vooral liggen op de eerste 5 functies van een systeem [1]. De wet en regelgeving (normen en praktijkrichtlijnen) die van toepassing zijn bij de verschillende functionaliteiten worden ook uitvoerig besproken. De verworven kennis zal toegepast worden om een gestandaardiseerd aardingsysteem model te ontwerpen. Dit model is toepasbaar op de meeste projecten van EQUANS omdat het een model is van de technische ruimte van een project.

Tenslotte zal met het model een afgerond project van het bedrijf getoetst worden op de functionaliteit en de toegepaste regelgeving. Aan de hand van deze toetsing wordt er advies gegeven met betrekking tot de toegepaste techniek. In dit model zal alle opgedane kennis overzichtelijk worden gemaakt voor EQUANS. Het doel van dit model is om bij toekomstige projecten de betrokken ingenieurs te helpen om het aardingsysteem van een project te ontwerpen, daarnaast kan dit document ook als adviesdocument worden gezien om de klanten van het bedrijf beter te kunnen helpen.

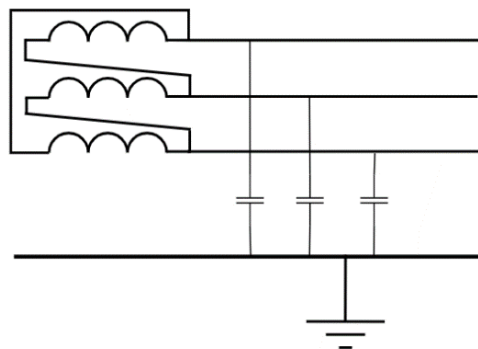
3. AARDING

In dit hoofdstuk komen de verschillende aspecten van aarding aan bod, de verschillende stroomstelsels die worden toegepast voor het uitvoeren van een installatie, de vergaarde informatie uit de normen en de richtlijnen worden samengevat, persoonsveiligheid en de verschillende onderdelen waar aarding uit bestaat, besproken.

3.1 VOEDING

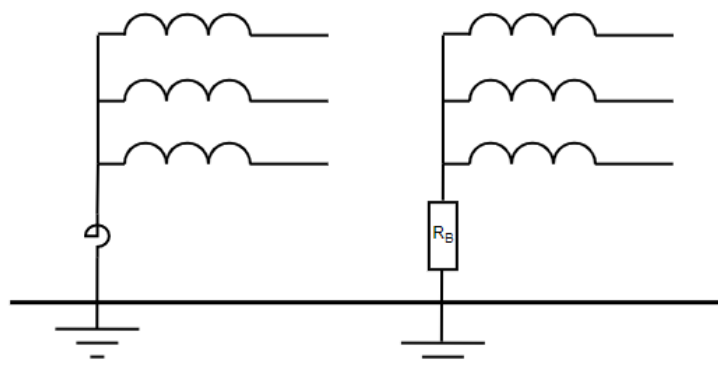
Het transport, de distributie en het verbruik van elektriciteit gebeurt op verschillende spanningsniveaus. Om de veiligheid van personen en installaties te kunnen blijven waarborgen moet er per spanningsniveau een eigen aardingsmethode toegepast worden. In de meeste gevallen wordt het voedingspunt van het net of een installatie geaard, het sterpunt, als er geen sterpunt beschikbaar is dan wordt er gebruik gemaakt van een aardingstransformator. In Figuur 1 is een voorbeeld te zien van een netwerk waar het sterpunt niet geaard is, de foutstromen in de installatie hebben dus geen pad naar aarde toe. De stromen zullen naar de aarde vloeien door de capaciteiten tussen de fases. De grootte van deze capacitieve stromen zijn afhankelijk van de lengte van de kabels. Zwevende netten worden veelal toegepast in de midden-spanning distributie. Een groot voordeel van een zwevend net is dat bij een kortsluiting van een enkele fase met aarde er een faseverschuiving optreedt tussen de twee andere fases. Hierdoor blijft het net in bedrijf tijdens een storing. De kortsluiting moet dan wel nog gelokaliseerd en verholpen worden.

Het nadeel is dat hiervoor een deel van het net moet worden uitgeschakeld. Een ander nadeel is dat zich ook een tweede kortsluiting kan voordoen. Doordat de spanning tussen twee gezonde fases verhoogd wordt door de eerste kortsluiting [1] [2].



Figuur 1 Zwevend sterpunt

Als het sterpunt van een transformator is geaard zijn de volgende configuraties mogelijk. In Figuur 2 zijn twee netwerken te zien waarvan het sterpunt geaard is. In een impedantie geaard net wordt meestal een aardingstransformator of een "choke coil" gebruikt om de gevaarlijk hoge foutstromen zoveel mogelijk te beperken. Dit kan met name goed toepasbaar zijn als er een vaste doorsnede wordt gebruikt voor kabel. De kortsluitstroom moet dan wel hoog genoeg zijn om de beveiliging van de installatie aan te laten spreken. Afhankelijk van wat de wensen en toepassingen zijn voor het net, kan het sterpunt geaard worden met een hoge of een lage impedantie. In netwerken die met een hoog impedantie geaard zijn, blijven de kortsluitstromen klein maar stijgt de spanning tussen aarde en de gezonde fases. Bij een laagimpedantie geaard netwerk is de foutstroom groot maar dit kan beperkt worden door een spoel. Dit zorgt ervoor dat de grootte van de foutstroom gecontroleerd kan worden, de spanningsverschillen blijven wel beperkt [1] [2].



Figuur 2 Impedantie en ster geaard netwerk

In LS-netten wordt meestal het sterpunt van de transformator direct verbonden met de aarde. De impedantie van het net is in realiteit nooit gelijk aan nul. De aardverspreidingsweerstand van de elektrode en de beschermleiding samen, vormen de aardingsimpedantie van het netwerk, R_B . De hoogte van de foutstroom is afhankelijk van het opgestelde transformatorvermogen, de procentuele kortsluitspanning en de bovenliggende netimpedantie. Door de impedantie zo laag mogelijk te houden zal de ontstane foutstroom snel oplopen. Het voordeel is dat de netbeveiliging deze stromen goed kan detecteren en selectief kan afschakelen. Door de relatief hoge stromen moeten de retourgeleiders en isolatiematerialen in staat zijn hoge kortsluitstromen te voeren [2].

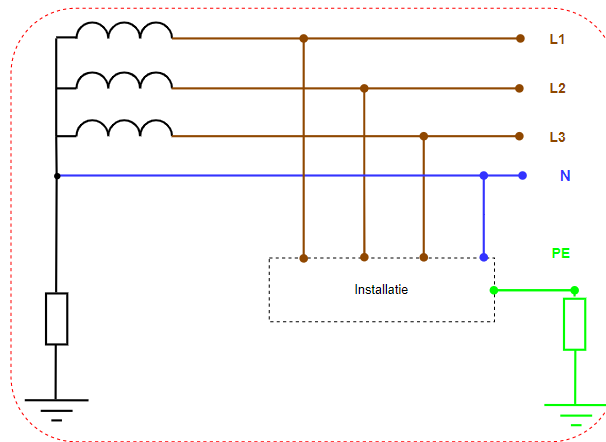
3.2 STROOMSTELSELS

Om de klant een veilige en betrouwbare elektrische voorziening aan te bieden hanteert de netbeheerder een aantal aansluitmogelijkheden. Deze mogelijkheden zijn sterk afhankelijk van het benodigde vermogen van de klant maar ook de eisen die gesteld worden door de netbeheerder. In Tabel 1 zijn de type aansluitingen met de bijbehorende vermogens te zien. Deze vermogensgrenzen zijn een indicatie en kunnen verschillend zijn per netbeheerder.

Type Aansluiting	Vermogen
Meerdere 1fase aansluitingen op dezelfde netkabel	0 – 9.2kVA
Meerdere 3fase aansluitingen op dezelfde netkabel	9.2 – 55kVA
Eigen netkabel vanuit de LS Verdelers netbeheerder	55kVA – 250kVA
Eigen transformator	250 – 1600kVA
Eigen MS ruimte met meerdere transformatoren	> 1600kVA

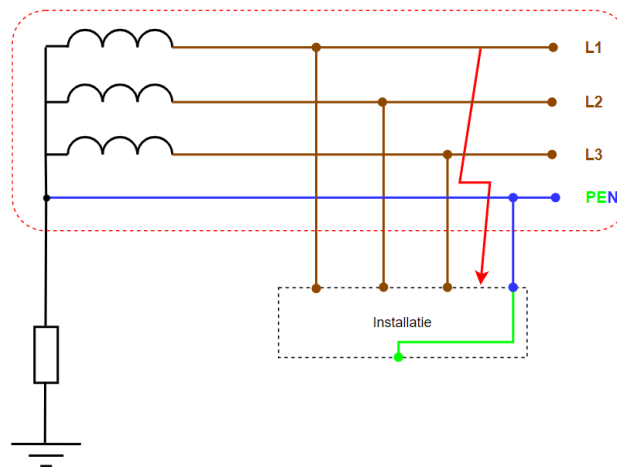
Tabel 1 Aansluitmogelijkheden voor een installatie op het net [1]

Het benodigde vermogen bepaalt ook wat voor stroomstelsel er toegepast gaat worden. In Nederland worden hoofdzakelijk twee type stelsels toegepast, namelijk de TT en de TN stelsel. In een TT stelsel staat de tweede T voor 'Terre' hiermee wordt aangegeven dat het sterpunt aan de transformator geaard is. Vanuit de netbeheerder wordt er geen aardingsvoorziening aangeboden, in dit geval moet de klant zelf voor een eigen deugdelijk aardingsvoorziening zorgen. De twee aardvoorzieningen zijn hiermee onafhankelijk. Bij een TT stelsel zijn de vermogens laag, hierdoor zijn de foutstromen relatief laag waardoor een eigen aardingsstelsel voldoende bescherming biedt. Dit is voornamelijk van toepassing op huishoudens en kleinere installaties. In Figuur 3 is een schema van een TT stelsel te zien. Als er zich een fase-aarde sluiting plaatsvindt dan loopt het retourpad van de foutstroom (rode lijn) via de eigen aardingsvoorziening en verre aarde weer terug naar het voedingspunt in dit geval de transformator van de netbeheerder. De weerstand tussen deze twee punten moet zo klein mogelijk zijn om tijdig de beveiliging te kunnen aanspreken.



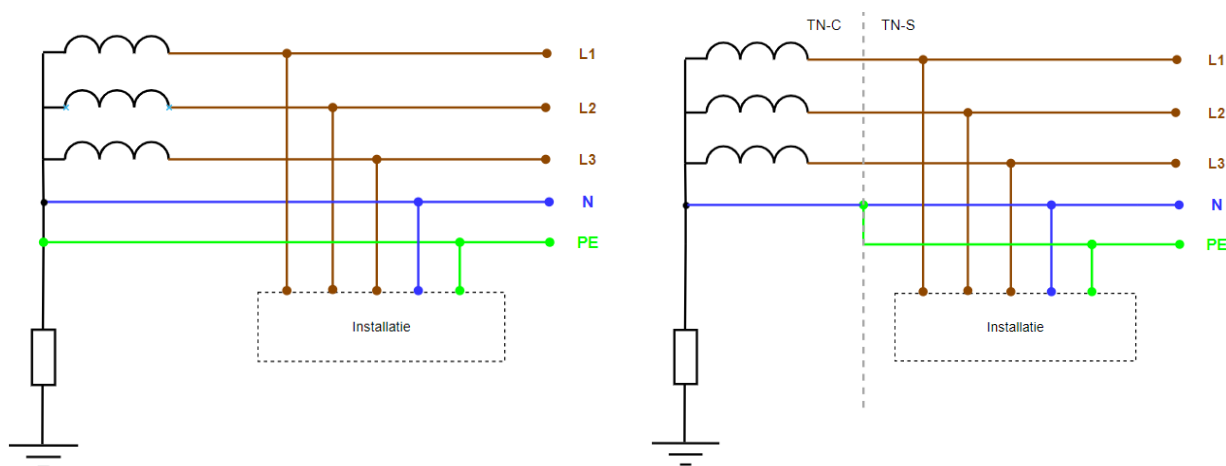
Figuur 3 TT stelsel

Een TN-Stelsel wordt veelal toegepast in grote industrieën en zware installaties die veel stroom vragen. De foutstroom die gepaard gaat met de grotere vermogens zijn vele malen groter dan bij TT stelsels hierdoor is het niet meer veilig om alleen een eigen aardingsvoorziening te hebben. De grote foutstromen moeten veilig via leidingen afgevoerd worden en niet meer via de aarde. Dit vergroot de betrouwbaarheid van de aardingsvoorziening behoorlijk. Om dit te bereiken is het belangrijk om een verbinding te hebben vanaf het voedingspunt dat direct geaard is. Door de lage weerstand op het retourpad in de orde van $<0.3\Omega$ kunnen alle gangbare beveiligingen aangesproken worden [2] [3]. Een TN systeem kan op verschillende manieren uitgevoerd worden. Vanaf het sterpunt van de voeding wordt er bij de aangeslotene een aardvoorziening aangeboden. Dit kan op 3 verschillende manieren. Een TN-C stelsel zijn de PE leiding en de N leiding samen gecombineerd tot 1 leiding (PEN). Door de twee functies in een leiding te combineren is dit een goedkopere oplossing, verder levert het niet veel voordelen op. De nadelen van een TN-C stelsel is dat veel EMC aspecten worden verwaarloosd. Daarnaast zijn er eisen aan verbonden aan de minimale kerndoorsnede van verschillende leidingen vanuit de NEN 1010. Kleinere doorsnede dan een minimumdoorsnede van bijv. 10mm^2 koper is niet toegestaan [1] [3]. In Figuur 4 is een schema te zien van een TN-C stelsel.



Figuur 4 TN-C stelsel

In de praktijk kan in een TN-C stelsel de PEN leiding nooit volledig gecombineerd worden uitgevoerd. Dat wil zeggen dat de PEN leiding op een gegeven moment gesplitst gaat worden in een PE en een N leiding.. Vandaar dat er nog twee uitvoermogelijkheden zijn namelijk TN-CS en TN-S. Bij een TN-S stelsel zijn de N leiding en de PE leiding volledig gescheiden van elkaar uitgevoerd dit is vanuit een technisch oogpunt de beste manier om een TN stelsel uit te voeren. Dan is er nog een combinatie stelsel de TN-CS, in dit stelsel wordt de installatie uitgevoerd in een TN-C stelsel maar op bepaald punt worden de PE en de N leiding van elkaar gescheiden zodat er bij de klant alsnog een gescheiden en geïsoleerd van elkaar wordt aangeboden.



Figuur 5 TN-S en TN-CS stelsels

3.3 AARDELEKTRODE EN LEIDINGEN

Kortsluitstromen moeten zo snel mogelijk door de beveiliging ontdekt en afgeschakeld worden. Maar voordat de kortsluitstroom afgeschakeld kan worden mogen zich geen gevaarlijke situaties voordoen. De gevaarlijke kortsluitstroom moet uiteindelijk veilig via beschermleidingen, beschermende vereffentingsleidingen, aardleidingen en een aardelektrode afgevoerd worden naar de aarde. Het is belangrijk hierbij om duidelijkheid te scheppen tussen de verschillende benamingen voor het leidingsysteem van het aardvoorzieningssysteem. Volgens de NEN 1010-4 is een beschermingsleiding (PE) een geleider die is uitsluitend aangebracht om de elektrische veiligheid te waarborgen. Deze leidingen moeten bij een aardfout de stroom vervoeren naar de aardelektrode. De minimale doorsnede van beschermingsleidingen wordt bepaald aan de hand van de NEN 1010-4, voor de volledige tabel zie Appendix A1. In Tabel 2 is de minimum kerndoorsnede te zien. Deze kerndoorsnede kan ook uitgerekend worden zie (1) in dat geval moeten de waardes aangegeven in Tabel 2 worden aangehouden [3]. Deze vergelijking is alleen geldig voor uitschakeltijden van ten hoogste 5s [3]. Er moet rekening gehouden worden met de PE en N leiding wel gescheiden van elkaar moeten zijn. Van de gecombineerde leiding PEN mag de kerndoorsnede alleen maar verminderd worden afhankelijk van de kerndoorsnede van de nulleider.

Kerndoorsnede van faseleiding $S \text{ mm}^2$ (Koper)	Beschermleiding zelfde materiaal als faseleiding mm^2
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$\frac{S}{2}$

Tabel 2 Minimale kerndoorsnede van beschermleidingen

$$S = \frac{\sqrt{tI^2}}{k} \quad (1)$$

S = de kerndoorsnede, in mm^2

I = I_{eff} van de te verwachten foutstroom bij verwaarloosbare impedantie, in A

t = de aanspreektijd van het beveiligingstoestel voor automatische uitschakeling, in s

k = factor afhankelijk van het materiaal, de isolatie en begin

/eindtemperatuur zie Appendix A2

Beschermende vereffeningssleidingen worden gebruikt om gevaarlijk hoge potentiaalverschillen tussen tegelijk aanraakbare delen te vereffenen. De functie van de beschermende vereffeningssleiding wordt uitgebreid besproken in H4.

De beschermingsleiding PE en de beschermende vereffeningssleidingen worden aangesloten op een hoofdaardrail ook wel HAR genoemd. Het geleidende pad tussen de hoofdaardrail en de aardelektrode die contact maakt met aarde wordt met behulp van aardleidingen tot stand gebracht. Uiteindelijk zal de aardelektrode ervoor moeten zorgen dat de foutstroom veilig afgevoerd wordt naar de aarde. Ook hier geldt de weg van de minste weerstand, het is belangrijk om iets te weten over de aardverspreidingsweerstand van een elektrode. Afhankelijk van onder andere de waarde van deze weerstand zal er een voldoende grote stroom vloeien naar de aarde om de beveiliging aan te laten spreken.

Om iets te weten te komen over de aardverspreidingsweerstand van een elektrode zijn een aantal factoren van belang. Ten eerste de bodemweerstand van de grond waar deze elektrode geslagen wordt. Verschillende soorten grond hebben verschillende bodemweerstand ρ in principe is deze constant maar kan veranderen door lange droge periodes, vorst en regen. In de normen staat dat deze weersinvloeden zoveel mogelijk beperkt worden als de elektrode op een diepte van ten minste 0.6m onder het maaiveld wordt aangebracht [1] [3]. Van de meest voorkomende bodemsoorten in Nederland is een Tabel 3 gemaakt hier zijn de maximale en de minimale soortelijke bodemweerstand weergegeven. Beide waardes kunnen gebruikt worden voor berekeningen. Op deze manier kan een maximale en een minimale aardverspreidingsweerstand worden berekend. Voor een uitgebreider tabel van deze waardes wordt verwezen naar de bijlage van [4].

Bodemsoort	$\rho_{\min} [\Omega\text{m}]$	$\rho_{\max} [\Omega\text{m}]$
Veen	5	40
Klei	20	200
Zand	200	2500
Kiezel	2000	3000

Tabel 3 Specifieke bodemweerstand [2]

Ten tweede is de vorm van de aardelektrode belangrijk, verschillende vormen hebben een andere berekening van de aardverspreidingsweerstand. De meest gangbare vormen zijn horizontale, verticale en ringaarde [1]. De volgende parameters worden gebruikt hiervoor.

R_a = de aardverspreidingsweerstand

ρ = de bodemweerstand

l = lengte van de aardelektrode

l_{tot} = de totale lengte van de aardleiding in de grond

d = diameter aardelektrode

D = diameter aardingssysteem

t = ingraafdiepte van de aardelektrode

Vorm	Formule
Horizontale elektrode 0.5 tot 1m onder maaiveld	$R_a = \frac{\rho}{\pi l} \ln \left(\frac{2l}{d} \right)$
Verticale elektrode 0.6m onder maaiveld	$R_a = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{4l}{d} \right)$
Ringvormig aarding ingegraven op 0.5 tot 1m diepte	$R_a = \frac{\rho}{2\pi^2 l} \ln \left(\frac{8D}{d} \right) \left(1 + \frac{\ln \frac{2D}{t}}{\ln \frac{8D}{d}} \right)$

Tabel 4 Berekening van aardverspreidingsweerstand

Om een indicatie te geven van de aardverspreidingsweerstand van een verticale aardelektrode met een lengte van 3m op een diepte van 6m worden de volgende parameters gekozen. Voor de diameter wordt er de minimale kerndoorsnede gebruikt gegeven in de NEN1010 zie Figuur 29, dat komt overeen met een Ø8mm, de soortelijke weerstand veengrond zie Tabel 3. De formule voor de verticale aardelektrode uit Tabel 4 wordt gebruikt.

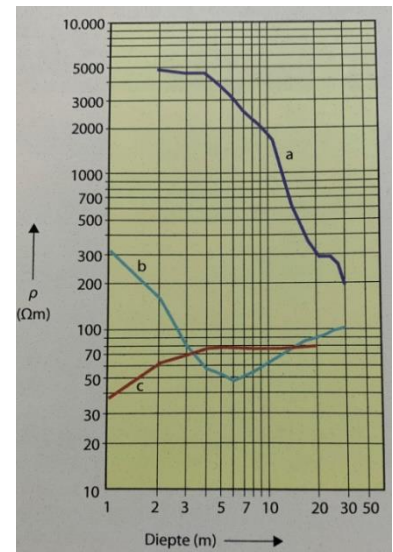
$$R_{a \min} = \frac{5}{2 * \pi * 3} \ln \left(\frac{12}{0.008} \right) = 1.94\Omega, \quad R_{a \max} = \frac{40}{2 * \pi * 3} \ln \left(\frac{12}{0.008} \right) = 15.5\Omega$$

Een andere manier om de gemiddelde soortelijke bodemweerstand te bepalen is om een grondprofiel te gebruiken. In Nederland wordt er gebruik gemaakt van 3 verschillende soorten grondprofielen zie Figuur 6. Deze profielen worden ontwikkeld met de Wennermethode [1].

Profiel A: Om een lagere aardverspreidingsweerstand te bereiken moet een lange verticale aardelektrode tot grote diepte worden geslagen hoe dieper de elektrode hoe lager de weerstand.

- Bij 1.3m 2400Ω
- Bij 3m 150Ω
- Bij 6m 34Ω
- Bij 30m 5.5Ω
- Bij 35 2.4Ω

Profiel B: Bij dit profiel heeft het geen zin om langere elektrodes te gebruiken, op grotere diepte neemt de weerstand van de bodem weer toe. Om een voldoende lage aardverspreidingsweerstand te krijgen moeten meerdere aardelektroden worden geslagen en parallel verbonden.



Figuur 6 Grondprofielen

- Bij 1.3m 130Ω
- Bij 3m 22Ω
- Bij 6m 7.4Ω
- Bij 30m 4.2Ω

Profiel C: De weerstand verandert niet met de diepte bij dit profiel dus verticale aardelektroden hebben weinig zin. Een horizontale aardelektrode is dan van toepassing.

In werkelijkheid kunnen de waardes die bepaald zijn in Figuur 6 verschillen van de gemeten waardes van de weerstand. In de praktijk komt dit vaker voor bij profiel A dan bij profiel B. Bij het aanleggen van het systeem kan de bodemsamenstelling veranderen waardoor er bij de meting toch andere waardes meestal hogere waardes uitkomen. Daarom moet er rekening gehouden worden dat er meerdere aardelektrodes parallel geslagen moeten worden om de verspreidingsweerstand voldoende te verlagen. Hiervoor wordt een vuistregel gebruikt. Symmetrie in aarding is belangrijk omdat de kortsluitstroom zich verdeelt over de aardelektroden. In een aardingsvoorziening waar er twee aardelektroden worden geslagen geldt dat de afstand tussen deze twee elektroden minimaal een halve tot een hele elektrode lengte moet zijn [1]. De vervangende aardverspreidingsweerstand is dan te berekenen met (2):

$$R_V = 1.5 \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Een systeem bestaande uit meer dan 10 aardelektrodes, geslagen op een afstand van een halve tot een hele lengte van elkaar worden berekend met (3). Is de onderlinge aardverspreidingsweerstand per aardelektrode ongeveer hetzelfde en de afstand tussen de pulsen 1 tot 2 maal de lengte, dan kan er gerekend worden met de gemiddelde weerstand (4).

$$\frac{1}{R_V} = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \quad (3)$$

$$R_V = 1.5 \frac{R_{gem}}{n} \quad (4)$$

4. POTENTIAALVEREFFENING

Om de elektrische veiligheid te waarborgen is het belangrijk dat er geen verschillen in potentiaal (spanningsverschillen) tussen verschillende geleidende delen van de installatie ontstaan. Potentiaalvereffening wordt toegepast om de gevaarlijke spanningsverschillen te neutraliseren die vanuit buiten het gebouw komen zoals een blikseminslag. Maar ook binnen het gebouw kunnen door fouten in de installatie gevaarlijke situaties zich voordoen.

4.1 OVERSPANNINGEN VAN BUITEN

Door een defect in een andere installatie die het gebouw binnenkomen of door een blikseminslag direct of indirect om en rond het gebouw kunnen gevaarlijk hoge spanningsverschillen ontstaan tussen de metalen delen van de installatie en de aarde. Voordat de fout hersteld is kunnen zich gevaarlijke situaties voordoen, potentiaalvereffening zorgt ervoor dat in de tussentijd geen gevaarlijk hoge spanningen kunnen worden overbrugd. In de NEN 1010-5 staan de minimale kerndoorsnede van deze beschermende vereffeningsleidingen.

In Tabel 5 Minimale kerndoorsneden materialen Tabel 5 zijn de minimale kerndoorsnedes te zien van beschermende vereffeningsleidingen. Volgens de NEN1010-5 hoeven deze vereffeningsleidingen geen dikkere kerndoorsnede te hebben dan 25mm² als deze vervaardigd zijn van koper [3].

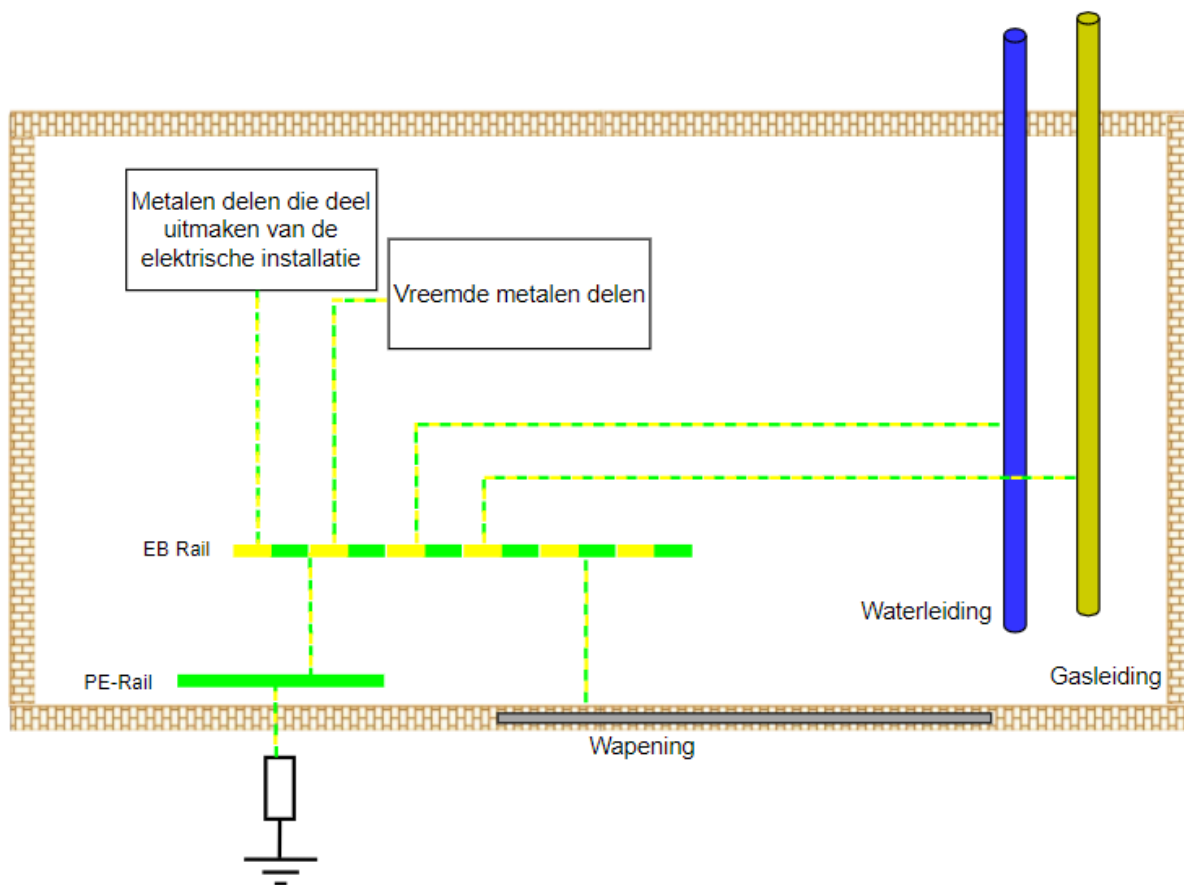
Materiaal	Minimale kerndoorsnede mm ²
Koper	6mm ²
Aluminium	16mm ²
Staal	50mm ²

Tabel 5 Minimale kerndoorsneden materialen [3]

De metalen delen die een gevaarlijk potentiaalverschil kunnen veroorzaken en die geen deel uitmaken van de elektrische installatie moeten worden verbonden met de hoofdaardrail. Voorbeelden die gegeven zijn:

- Metalen leidingen van voor de in pandige voorzieningen, gas en water.
- Vreemd geleidende delen van de gebouwconstructie
- De metalen delen van verwarming en luchtbehandelingssystemen
- Metalen bewapening van het gebouw die bereikbaar zijn en aangeraakt kunnen worden.

Metalen leidingen die het gebouw binnenkomen moeten zo dicht mogelijk bij binnenkomst vereffend worden. Als het gebouw voorzien is met een bliksembeveiligingsinstallatie dan hoort deze ook gekoppeld te worden aan de aardrail. Bliksembeveiliging met alle aspecten wordt behandeld H5 en verder. In Figuur 7 Potentiaalvereffening een schematische weergave van een potentiaalvereffeningsnetwerk te zien. In dit geval is een EB (equipotential bonding) rail gebruikt om alle vereffeningen overzichtelijk te maken, dit is geen vereiste vanuit de NEN 1010. Doorgaans worden de beschermleidingen en de beschermende vereffeningsleidingen direct op een hoofdaardrail aangesloten.



Figuur 7 Potentiaalvereffening

4.2 OVERSPANNINGEN VANUIT EIGEN INSTALLATIE

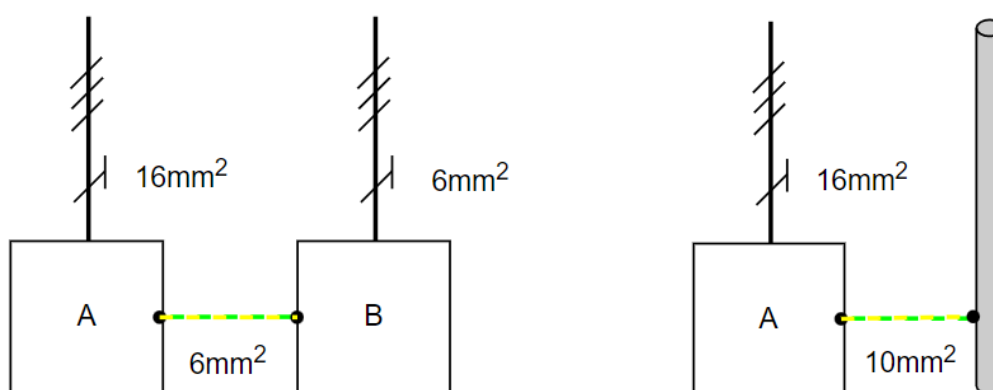
Het kan voorkomen dat er fout in de elektrische installatie niet tijdig afgeschakeld kan worden en dat de spanning op de metalen gestellen van de installatie hierdoor stijgt. Als de metalen gestellen vereffend zijn dan voorkomt dit gevaarlijke situaties. Binnen het gebouw moeten de volgende delen van de installatie verbonden worden met het potentiaalvereffeningssysteem [1] [3].

- Metalen gestellen van vast elektrisch materieel
- Beschermleidingen van metalen gestellen en wandcontactdozen
- Metalen mantels van leidingen, kabelbanen
- Vreemd geleidende delen zoals metalen leidingstelsels
- Betonwapening

Potentiaalvereffening kan op verschillende manieren toegepast worden. Het kan in de hele installatie aangebracht worden maar ook in een deel van een installatie. Potentiaalvereffening kan voorkomen als de kabels tussen twee metalen gestellen en vreemd geleidende delen te lang worden. Dit komt het tijdig uitschakelen van de stroom niet ten goede. In dit geval moet er op de kortst mogelijke manier de metalen gestellen en de vreemd geleidende metalen delen vereffend worden.

In de NEN 1010-4 wordt ook over aanvullende beschermende potentiaalvereffening gesproken. Deze extra vereffening wordt toegepast wanneer er twee metalen gestellen op een kleine afstand zo zijn geplaatst dat ze tegelijk aangeraakt kunnen worden. Dit kan ook het geval zijn tussen een metalen gestel horend bij een elektrische installatie en een vreemd geleidend deel die geen deel uitmaakt van de installatie bijv. metalen trap. Omdat zich situaties kunnen voordoen dat deze geleidende delen door een persoon tegelijk aangeraakt kunnen worden moet er aanvullende potentiaalvereffening toegepast worden.

De kerndoorsnedes van deze beschermende vereffeningssleidingen hebben te maken met de beschermingsleidingen waarmee de metalen gestellen zijn verbonden. Bij het vereffenen tussen twee tegelijk aanraakbare metalen gestellen moet de vereffeningssleiding minimaal even dik zijn als de dunste beschermleiding die op de gestellen staat aangesloten. Bij het vereffenen tussen een toestel en een vreemd geleidend deel van de installatie moet de kabeldikte minimaal de helft zijn van de beschermingsleiding verbonden met het toestel [1] [3]. In Figuur 8 zijn de minimale kerndoorsnedes te zien die toegepast worden bij aanvullende beschermende potentiaalvereffening [3].



Figuur 8 Aanvullende beschermende potentiaalvereffening

5. BLIKSEMBEVEILIGING

In dit hoofdstuk wordt naast de uitwendige en de interne bliksembeveiliging, ook gesproken over de verschillende beveiligingsklassen en de risico's die hiermee gepaard gaan. De koppeling van de externe bliksembeveiliging met de interne aardingssystemen en de potentiaalvereffening bij een blikseminslag worden besproken.

5.1 SCHADE EN BESCHERMINGSMAATREGELEN

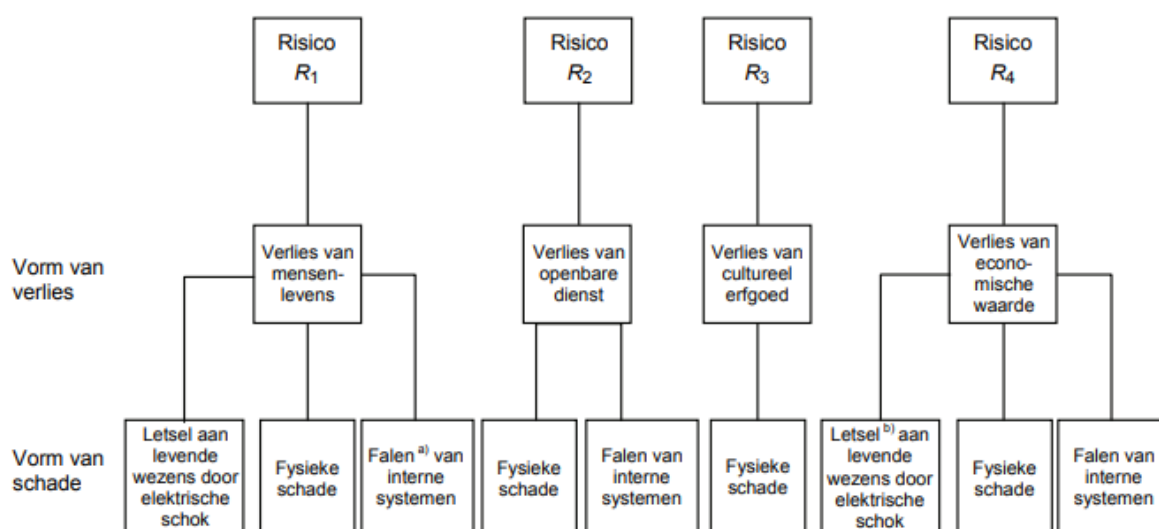
Een bliksemontlading is een hoogfrequente elektrische ontleding in de atmosfeer. De invloeden van deze ontleding kan leiden tot schade aan objecten en hiermee ook letsel aan gebruikers van de objecten. De blikseminslag kan direct op het object zijn of in de nabijheid. De schades die gepaard gaan met de inslag zijn afhankelijk van de eigenschappen van het object en de eigenschappen van de blikseminslag. De te beveiligen objecten worden ingedeeld op verschillende functies die ze hebben. Een voorbeeld is bijv. een blikseminslag op een woonhuis of een energiecentrale. De effecten zijn verschillend, waar een inslag op een huis meestal brand en materiele schade met zich meebrengt zal er bij een energiecentrale de openbare diensten uitvallen, dit leidt tot een veel grotere risico voor samenleving [5] [6].

De NEN 62305-2 onderscheid 4 verschillende vormen van inslagen: directe en indirecte blikseminslagen op het object en directe en indirecte blikseminslagen op de leidingen waar het object mee verbonden is. Directe inslagen kunnen leiden tot mechanische schade, brand, letsel van mens/dier en verstoring van de interne systemen door een elektromagnetische impuls. Indirecte blikseminslagen kunnen leiden tot verstoringen van de interne systemen.

Elke vorm van schade gaat gepaard met een bepaalde vorm van verlies, dit is afhankelijk van de kenmerken van het object zelf [5] [6].

- L1: Verlies van mensenlevens
- L2: Verlies van openbare dienst
- L3: Verlies van cultureel erfgoed
- L4: Verlies van economische waarde

Deze verschillende vormen van schade en verlies afhankelijk van de functie van het te beveiligen object zie Appendix A3. Aan de hand van deze tabel kan er een risico analyse gemaakt worden zie Figuur 9, om zo te bepalen of een object bliksembeveiliging nodig heeft of niet.



Figuur 9 Schade, verlies en risico [5]

Alle risico's moeten worden geëvalueerd met het oog op het verlies en de impact die deze risico's met zich meebrengen voor de maatschappij. Indien het risico groter is dan het aanvaardbare niveau dan moeten er beschermingsmaatregelen getroffen worden om de totale risico terug te brengen naar acceptabel niveau. De volgende beschermingsmaatregelen kunnen getroffen worden om verschillende types schades te beperken. In Tabel 6 zijn deze maatregelen ter vermindering van de schades weergegeven.

Letsel aan levende wezens	Fysieke schade	Elektronische systemen
– Isolatie van aanraakbare delen – Potentialvereffening door het vermazen aardsysteem. – Waarschuwingen en fysieke beperkingen. – Bliksempotentialverffening	– Opvangrichting – Afgaande leidingen – Aardingsinstallatie – Potentialvereffening – Elektrische isolatie scheiding	– Maatregel voor aarding en potentialvereffening – Magnetische afscherming – Leidingloop – Isolerende interfaces – Gecoördineerd SPD systeem

Tabel 6 Beschermingsmaatregelen [5]

Het geheel aan geschikte maatregelen wordt in overeenstemming met de eigenaar van het object en de installateur van de bliksembeveiliging genomen. Alle keuzen opgesomd vormt de algehele bliksembeveiliging. De belangrijkste aspecten van een bliksembeveiliging zijn een lage impedantie en een gelijkmatige verdeling van de bliksemstroom over de afgaande leidingen in de aardingsinstallatie. Omdat het om een hoogfrequente stroom gaat moet ook rekening gehouden worden met de verschillende onderdelen in de installatie. Deze onderdelen kunnen verstoord raken door inductieve of capacatieve koppelingen. Naar mate de frequentie stijgt wordt de impedantie groter en dus bepalender dan de aardverspreidingsweertand die voornamelijk geldt bij gelijkstroom tot 10kHz. De vorm en de afmetingen van een bliksembeveiligingsinstallatie zijn bepalend bij het maken van een ontwerp, de aardverspreidingsweerstand is minder belangrijk, voor de hele aardingsinstallatie geldt een maximale aardverspreidingsweerstand van 10Ω [1] [5].

5.2 LPL EN LPZ

Het zou ideaal zijn om alle objecten volledig te beschermen met een compleet aardingsysteem dat ononderbroken is met de bijbehorende kerndoorsnedes van de afgaande leidingen aangesloten op een potentialvereffening. Deze maatregelen zouden de objecten binnen het gebouw beschermen tegen bliksemstroom en het elektromagnetische veld dat gepaard gaat met een hoogfrequente blikseminslag. Helaas is dit in de praktijk wat moeilijker uitvoerbaar, bovendien is het helemaal niet rendabel om alle objecten maximaal te beschermen tegen bliksem. Er is een selectie nodig om te bepalen hoe volledig de bescherming moet zijn van een object. De norm geeft hiervoor 4 verschillende beveiligingsniveaus(LPL) aan. Deze normen rusten op de maximale bliksemstroom parameters. Zie Appendix A4 voor de volledige parameters.

Eerste positieve impuls			LPL			
Stroomparameters	Symbool	Eenheid	I	II	III	IV
Piekstroom	I	kA	200	150	100	
Impulslading	Q_{KORT}	C	100	75	50	
Specifieke energie	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Tijdsparemters	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	10 / 350			

Figuur 10 Maximale bliksemstroomparameters bij de eerste positieve impuls

De maximumwaardes uit Appendix A4/Figuur 10 worden gebruikt om de bliksembeveiliging te ontwerpen en het kiezen van verschillende onderdelen van de beveiliging zelf. Denk aan de doorsnede van de afgaande leidingen, de overspanningsbeveiligingen en de scheidingsafstand tussen de onderdelen.

Voor de indeling van de bliksembeveiligingsklassen zijn de minimumwaarden ook belangrijk. Deze waardes worden gebruikt om de bliksembeveiligingszones rond het object in te richten. Omdat het hier om een bliksempolstraal gaat wordt er van uitgegaan dat de inslag niet direct op het object is.

Opvangcriteria			LPL			
	Symbool	Eenheid	I	II	III	IV
Minimale piekstroom	I	kA	3	5	10	16
Bliksempolstraal	r	m	20	30	45	60

Figuur 11 Minimumwaarden bliksempolstraal [5]

Naar waarschijnlijkheid van 99% mogen de maximumwaardes uit Appendix A4 niet overschreden worden bij LPL I dus de beste beveiligingsklasse. Voor LPL II daalt de waarschijnlijkheid al naar 75% en voor de laatste twee niveaus zelfs 50%. In Tabel 7 is de waarschijnlijkheid dat de bliksemstroomparameters binnen de gestelde waardes blijven per beveiligingsklasse weergegeven [1] [5].

Waarschijnlijkheid dat de parameters	LPL			
	I	II	III	IV
Kleiner zijn dan de maximumwaardes Appendix A4	0.99	0.98	0.95	0.95
Groter zijn dan de minimumwaardes Figuur 11	0.99	0.97	0.91	0.84

Tabel 7 Beveiligingsgraad LPL [5]

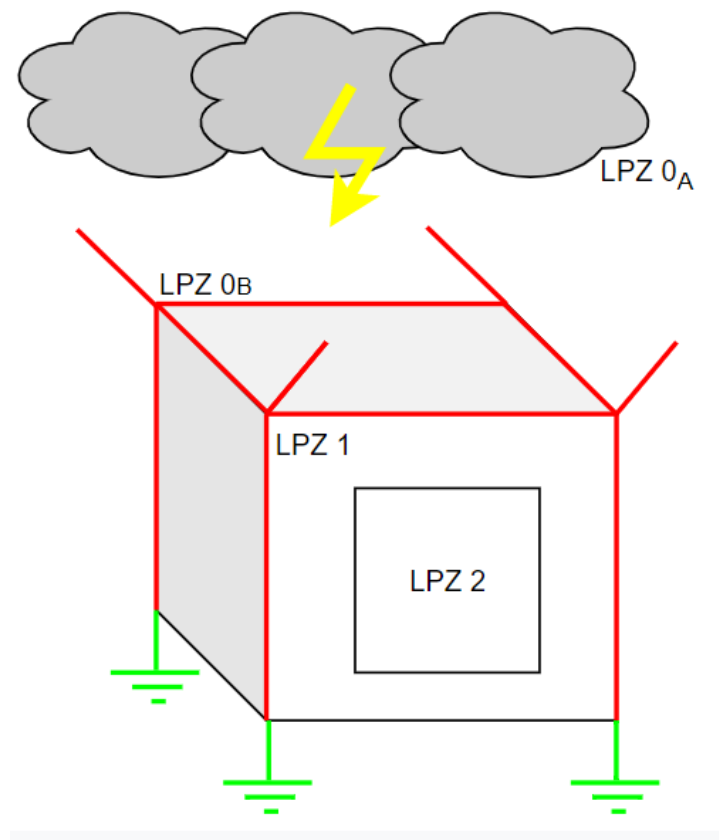
De keuze voor de LPL is nog niet voldoende om het gehele object volledig te beschermen. Er worden zones aangemerkt om de buitenkant van het gebouw en de binnenkant waar gevoelige elektronica te vinden is zoveel mogelijk te beschermen tegen bliksem. De volgende 4 LPZ zones zijn van toepassing [5]:

LPZ 0_A: Onbeschermd gebied buiten het object, het gevaar voor een elektromagnetisch veld veroorzaakt door blikseminslag en interne systemen kunnen onderworpen worden aan een volledige of een gedeeltelijke bliksemstroom.

LPZ 0_B: Beveiligde zone direct aan de buitenkant van het object, het gevaar voor een elektromagnetisch veld veroorzaakt door blikseminslag en interne systemen kunnen onderworpen worden aan een volledige of een gedeeltelijke bliksemstroom.

LPZ 1: Is een zone direct aan de binnenkant van het object, de bliksemstroom en de effecten van hiervan worden zoveel mogelijk beperkt door stroomverdeling, isolatie en/of SPD die op de grens worden geplaatst tussen de twee zones. Verder wordt het elektromagnetisch veld afgezwakt door ruimtelijke afscherming.

LPZ 2,...,n: de bliksemstroom en de effecten van hiervan worden verder beperkt door stroomverdeling, isolatie en/of SPD die op de grens worden geplaatst tussen de twee zones. Verder wordt het elektromagnetisch veld afgezwakt door aanvullende ruimtelijke afscherming.



Figuur 12 Bliksembeveiligingszones

In Figuur 12 is een schematisch overzicht te vinden van de bliksembeveiligingszones. In het rood de externe bliksembeveiliging bestaande uit een opvangrichting koperen of aluminium geleiders aan de randen van het dak en afleiders die langs het object naar de aardelektrode lopen. In het groen de aardelektroden waar de afgaande leidingen op aangesloten worden. Afhankelijk van de gevoeligheid van de elektronica kunnen 1 of meer extra zones aan de binnenkant worden ingericht. Op de grenzen tussen de zones worden doorgaans overspanningsbeveiligingen toegepast om zo meer bescherming te creëren aan voor de gevoelige interne systemen. In H6 worden de overspanningsbeveiligingen uitvoerig besproken.

5.3 EXTERNE EN INTERNE INSTALLATIE

De externe bliksembeveiliging installatie is bedoeld om directe inslagen op het object te onderscheppen en veilig te leiden naar verre aarde zonder dat dit leidt tot gevaarlijke temperatuurverhogingen en fysieke schades aan het object. De bliksemstroom moet zoveel mogelijk aan de buitenkant van het gebouw worden gehouden. Daarvoor is noodzakelijk om de stroom op te vangen met opvanginrichting, draden, vermaasde geleiders en een combinatie hiervan. De norm gaat diep in op de opvanginrichtingen die per beveiligingsklasse zijn ingedeeld. De hoogte van het object is ook van toepassing bij het ontwerp van de externe beveiliging. Op objecten hoger dan 60m kunnen ook zijdelingse inslagen optreden. De opgevangen bliksemstroom wordt aan de buitenkant door afgaande leidingen afgevoerd naar de aardelektrode. In Appendix A5 en A6 zijn twee volledige tabellen te zien voor de minimumdoorsnede van de externe bliksembeveiliging. In Figuur 13 en Figuur 14 zijn de afmetingen te zien voor een koperen externe bliksembeveiliging.

Materiaal	Configuratie	Doorsnede mm ²
Koper, vertind koper	Massief band	50
	Massief rond ^b	50
	Samengeslagen ^b	50
	Massief rond ^c	176

Figuur 13 Minimumafmetingen van externe bliksembeveiliging [5]

Materiaal	Configuratie	Afmetingen		
		Aardpendiameter mm	Aardgeleider mm ²	Plaataard- elektrode mm
Koper, vertind koper	Samengeslagen		50	
	Massief rond	15	50	
	Massief band		50	
	Pijp	20		
	Massief plaat			500 × 500
	Rasterplaat ^c			600 × 600

Figuur 14 Minimumdoorsnede aardelektroden [5]

De interne bliksembeveiliging moet voorkomen dat er binnen het object brand of explosie kan optreden als de bliksem aan de buitenkant inslaat. Tussen de bliksembeveiliging en metalen installaties, interne systemen en uitwendige geleiders die verbonden zijn met het gebouw. Gevaarlijke situaties kunnen voorkomen worden door het toepassen van bliksempotentiaalvereffening en elektrische isolatie tussen verschillende geleidende delen.

De LPS wordt verbonden op de interne metalen installaties en geleidende delen middels vereffeningsleidingen, overspanningsbeveiligingen waar vereffening niet direct uit te voeren is of door een gevoeligheid van de installatie niet wenselijk is en isolerende vonkbruggen waar er geen directe verbinding met een vereffeningsleiding toegestaan is.

Bliksembeveiligingsklasse	Materiaal	Doorsnede mm ²
I t.m. IV	Koper	16
	Aluminium	25
	Staal	50

Figuur 15 Minimumafmetingen geleiders

Bliksembeveiligingsklasse	Materiaal	Doorsnede mm ²
I t.m. IV	Koper	6
	Aluminium	10
	Staal	16

Figuur 16 Minimumafmetingen interne geleiders

In Figuur 15 zijn de minimumafmetingen gegeven voor de doorsnede van de vereffeningsleidingen die de verbinding met verschillende potentiaalvereffeningsrails tot stand brengen en van de geleiders die de rails met de aardingsinstallatie verbinden.

In Figuur 16 zijn de minimumafmetingen gegeven voor de doorsnede van de vereffeningsleidingen die verbinding maken tussen interne metalen installaties en de potentiaalvereffeningsrails.

Voor praktische tips en richtlijnen voor het installeren en onderhouden van een LPS verwijs ik naar [5] [6].

6. OVERSPANNINGSBEVEILIGING

In dit hoofdstuk worden overspanningsbeveiligingen uitgelegd, de toepassingen in combinatie met bliksembeveiliging worden besproken. Tenslotte wordt er een flowchart gemaakt om stapsgewijs de juiste keuze van de SPD te maken.

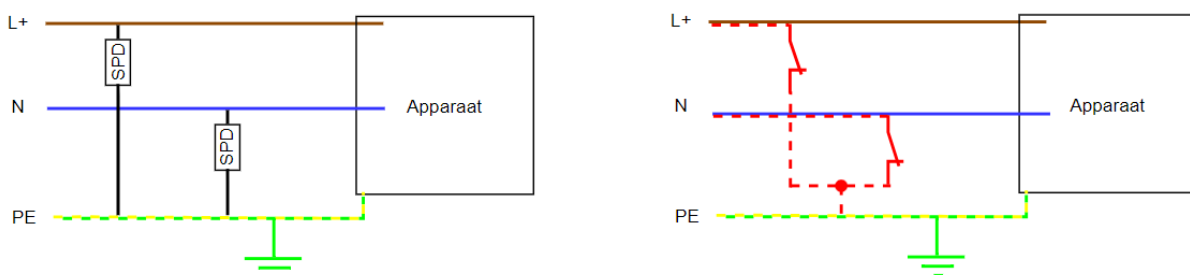
6.1 INLEIDING EN RISICOANALYSE

De meeste elektrische apparaten kunnen alleen goed functioneren binnen een bepaalde spanningsniveaus. Als deze waarde stijgt dan kan het apparaat niet meer goed functioneren. Dit kan leiden tot uitval van een installatie of tijdelijke storingen in het systeem met alle gevolgen van dien. De belangrijkste oorzaak voor het fenomeen overspanning is een blikseminslag andere oorzaken zijn te grote netvariaties en statische ontladingen. In het algemeen veroorzaken blikseminslagen de grootste transiënte overspanningen door hoge stroomamplitudes. Ondanks dat deze ontladingen niet langer duren dan een aantal milliseconden zal dit in realiteit bijna altijd leiden tot uitval of schade.

De belangrijkste functies van een SPD zijn de hoogte van de overspanning te begrenzen om zo de aangesloten apparaten te beschermen. Maar ook om de stromen die gepaard gaan met het stijgen van het potentiaal veilig afleiden naar de aarde. Overspanning kan op twee manieren tot uiting komen in een apparaat namelijk, differential mode dat is als er tussen de actieve geleiders overspanning ontstaat en common mode wanneer er overspanning ontstaat tussen een actieve geleider en aarde. In de onderstaande Figuur 17 en Figuur 18 zijn de deze twee configuraties van overspanningsbeveiligingen te zien.



Figuur 17 Differential mode



Figuur 18 Common mode

Overspanningsbeveiligingen kunnen gezien worden als een schakelaar die zich voor de duur van de overspanning sluit. Omdat de overspanningen meestal van korte duur zijn maakt de SPD voor een aantal microseconden een kortsluiting. Hierdoor kunnen stromen wegvloeien van het apparaat, richting het net of naar de aarde toe [7].

De mogelijkheden om gevaarlijke overspanningen te neutraliseren of tot een minimumniveau te beperken wordt in de praktijk vooral gedaan door potentiaalvereffening. Bij overspanning zorgt de potentiaalvereffening dat er een gelijkmatige spanningsverhoging is in de aangesloten delen van de installatie. Zo kan er voorkomen worden dat er gevaarlijke potentiaalverschillen voorkomen tussen de verschillende delen van de installatie. Het is belangrijk om consequent de vereffening te gebruiken. De NEN 1010-4 maakt een onderscheid tussen geleiders gebaseerd op de elektrische activiteit [8].

- "Niet-spanningsvoerende vreemde geleidende delen aansluiten op de potentiaalvereffening. Deze potentiaalvereffening zorgt ervoor dat alle hiervoor in aanmerking komende vreemde geleidende delen en metalen gestellen direct met elkaar worden verbonden" [8].
- "Spanningsvoerende geleiders via een overspanningsbeveiliging aansluiten op de potentiaalvereffening. Het aansluiten van kabels en overige spanningsvoerende geleidende delen op de potentiaalvereffening is het tweede onderdeel van de maatregelen. Naast vreemde geleidende delen die niet spanningsvoerend zijn en rechtstreeks op de potentiaalvereffening behoren te worden aangesloten, behoren spanningsvoerende en signaalvoerende geleiders (actieve geleiders) door middel van een overspanningsbeveiliging, op de potentiaalvereffening te worden aangesloten " [8].

Afhankelijk van de overspanningen die kunnen voorkomen kan er een keuze gemaakt worden over welke overspanningsbeveiliging waar geplaatst moet worden. Zo is het type van een SPD belangrijk omdat het aangesloten apparaat een bepaalde gevoeligheid heeft voor overspanning. Om deze reden wordt er een risicoklassering gemaakt aan de hand van een aantal factoren zoals ligging/soort gebouw, belang en waarde van het apparaat in het gebouw en nog een aantal factoren zie Appendix A6 voor volledige tabel. Aan de hand van het aantal risicopunten verzameld in A6 wordt er een beveiligingsklasse gekozen zie

Tabel 8 deze klassen komen overeen met een bepaald type overspanningsbeveiliging.

Aantal risicopunten	Klasse
0 tot en met 7 punten	Klasse 1
8 tot en met 14 punten	Klasse 2
15 tot en met 19 punten	Klasse 3
20 tot en met 29 punten	Klasse 4
30 punten en meer	Klasse 5

Tabel 8 Beveiligingsklasse indeling [8]

Klasse 1: Omdat het de laagste klasse is zijn de gevolgen van de overspanning niet groot, dit soort beveiligingen worden toegepast bij particulieren, ze bestaan voornamelijk uit een stopcontactbeveiliging. De SPD hoort van het type 3 (T3, klasse III getest, type D) te zijn, die minimaal een impuls van 3 kA per ader kan afleiden [5] [8].

Klasse 2: Deze klasse wordt gebruikt als de basisbeveiliging voor de meeste systemen in het gebouw. Het beveiligt tegen inductie en spanningsversleping van buiten het gebouw maar niet binnen. De SPD hoort van het type 2 (T2, klasse II getest, type C) te zijn, die minimaal een impuls van 5 kA per ader kan afleiden. De overspanningsbeveiliging voor data-/ signaalleidingen behoort tenminste van het type C2 te zijn. Indien type 2 niet voldoende bescherming biedt mag er ook een combinatie van type 2 en type 3 SPD gebruikt worden [5] [8].

Klasse 3: Is bedoeld voor apparatuur in het gebouw met een lange aansluitkabel. Het beveiligt tegen inductie en spanningsversleping van buiten het gebouw maar niet binnen. De SPD hoort van het type 2 (T2, klasse II getest, type C) te zijn, die minimaal een impuls van 5 kA per ader kan afleiden. De maximale afstand tussen potentiaalvereffening en de te beveiligen apparatuur behoort maximaal 15m te zijn. De overspanningsbeveiliging voor data-/ signaalleidingen behoort tenminste van het type C2 te zijn. Indien type 2 niet voldoende bescherming biedt mag er ook een combinatie van type 2 en type 3 SPD gebruikt worden [5] [8].

Klasse 4: Het beveiligt tegen inductie en spanningsversleping van zowel buiten het gebouw als binnen. Maar kan geen directe blikseminslag verwerken. In deze klasse wordt er altijd een combinatie van type 2 en type 3 gebruikt op de zonegrenzen. De eerste SPD hoort van het type 2 te zijn, die minimaal een impuls van 10kA per ader kan afleiden. De tweede SPD hoort van het type 3 te zijn, die minimaal een impuls van 5 kA per ader kan afleiden. De afstand tussen apparatuur en de tweede verefferingsmaatregel mag niet meer dan 2m tenzij er een lage impedantie vereffenningsnetwerk is aangelegd dan mag de afstand 15m zijn. De overspanningsbeveiliging voor data-/ signaalleidingen hoort tenminste van het type D1 of C2 te zijn die 5kA per ader kan afleiden. Indien de het gebouw beschikt over een bliksembeveiligingsinstallatie van tenminste klasse LPL IV behoort er op de gebouwgrens een bliksemstroomafleider van het type 1 (T1, klasse I getest, type B) te worden toegevoegd of een beveiliging van combinatietype 1/2 te zijn toegepast [5] [8].

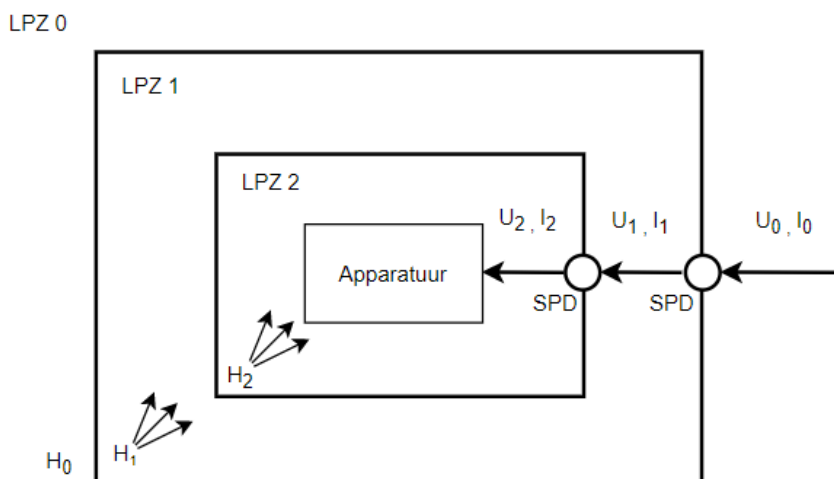
Klasse 5: In deze klassen moeten alle mogelijke soorten impulsen van directe of indirecte blikseminslagen en inductie/spanningsversleping zowel binnen als buiten het gebouw beveiligd worden. De eerste SPD hoort van het type 1 te zijn, die minimaal een impuls van 100kA per ader kan afleiden. De tweede SPD hoort van het type 2 te zijn, die minimaal een impuls van 10kA per ader kan afleiden. De derde SPD hoort van het type 3 te zijn, die minimaal een impuls van 5kA per ader kan afleiden. De afstand tussen apparatuur en de derde vereffenningsmaatregel moet tussen 2 en 5m tenzij er een lage impedantie vereffenningsnetwerk is aangelegd dan mag de afstand 15m zijn. De overspanningsbeveiliging voor data-/ signaalleidingen behoort tenminste van het type D1 of C2 te zijn die 5 kA per ader kan afleiden. Daarnaast moet er een bliksembeveiligingsinstallatie aanwezig zijn van LPL III [5] [8].

Netspanningsbeveiligingen		
Actueel	Oud	Omschrijving
Type 1	Klasse I getest type B	Grofbeveiliging
Type 2	Klasse II getest Type C	Middenbeveiliging
Type 3	Klasse III getest Type D	Fijnbeveiliging
Signaallijnbeveiliging		
D1, D2, B2		Grofbeveiliging
C2, B2		Middenbeveiliging
C1		Fijnbeveiliging

Figuur 19 Overspanningsbeveiligingen

6.2 FLOWCHART OVERSPANNINGSBEVEILIGING

Het is belangrijk om het zoneconcept, uitgelegd bij de risicoklasse, aan te houden, om zo een stapsgewijs beveiliging in te richten van grof naar fijn. In Figuur 12 zijn deze zones weergegeven. In Figuur 20 is een schematische schets weergegeven. Elke keer als er een grens wordt gepasseerd, worden de spanningen, stromen en het elektromagnetisch veld verder beperkt. Dus $U_2 < U_0$, $I_2 < I_0$ en $H_2 < H_0$.



Figuur 20 LPZ met zonnebeveiliging 1 [5]

Op alle kabels die de LPZ zonegrenzen passeren of kruisen moeten aangesloten worden op een stapsgewijze en op elkaar afgestemde overspanningsbeveiligingsmodules. Omdat met het passeren van deze zonegrenzen een bepaalde bescherming gegarandeerd moet kunnen worden is ook de type van de SPD belangrijk zie Tabel 9. De eisen van de gesteld worden aan de verschillende types SPD worden behandeld in [9]

Zone-overgangen	Type Overspanningsbeveiliging	Beschrijving
$LPZ_{0A} \rightarrow LPZ_1$	Type 1	Bliksemstroomafleider
$LPZ_{0B} \rightarrow LPZ_1$	Type 2	Overspanningsbeveiliging
$LPZ_1 \rightarrow LPZ_2$	Type 2	Overspanningsbeveiliging
$LPZ_2 \rightarrow LPZ_1$	Type 3	Apparaatbeveiliging

Tabel 9 LPZ met zonnebeveiliging 2

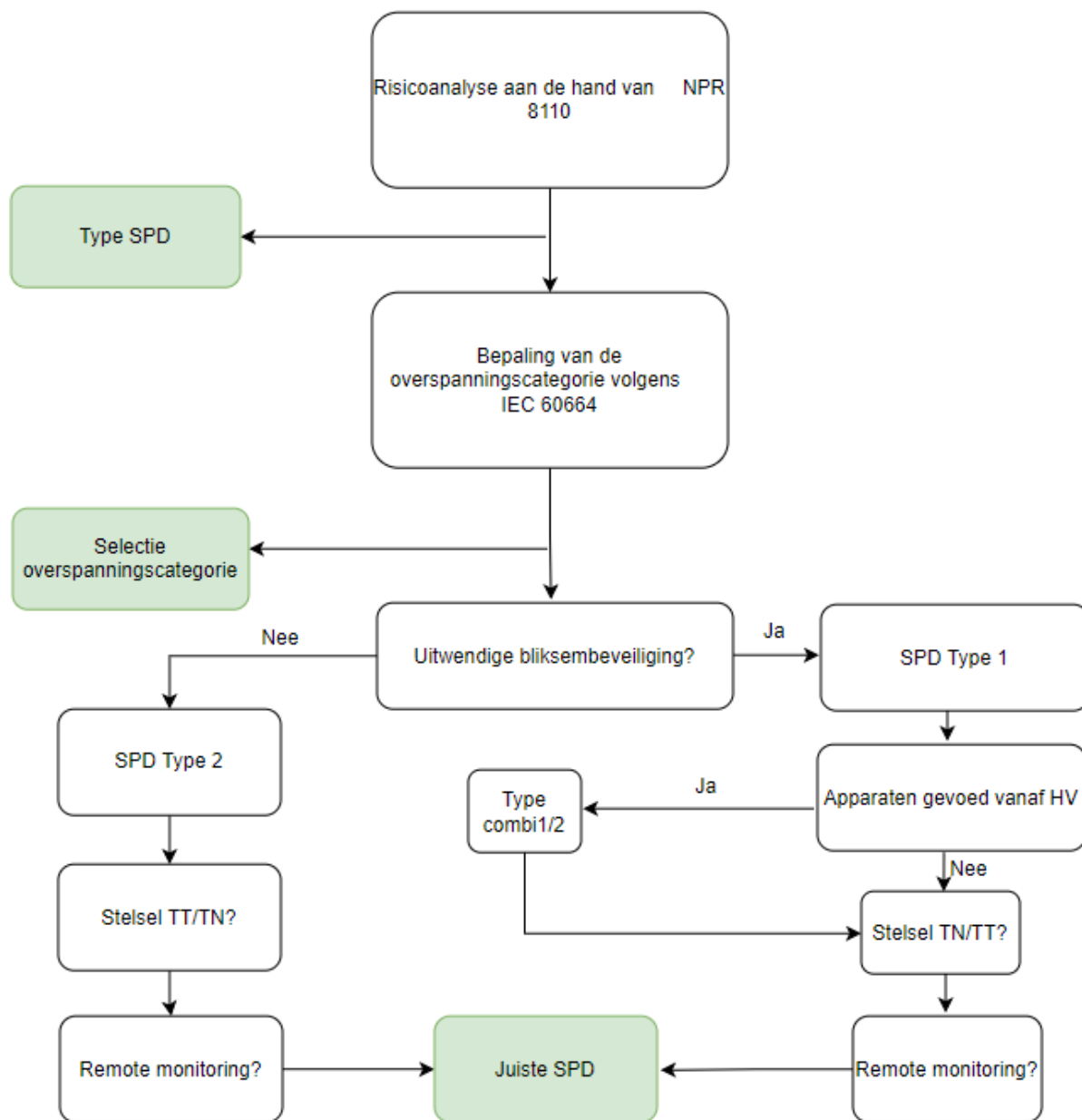
Naast de types van de SPD's, de verschillende zones en de maat van beveiliging is het ook belangrijk om te weten wat de amplituden en de energieën zijn van de te verwachten overspanning. Omdat de stromen steeds afnemen naarmate je meer in het gebouw komt daalt ook het spanningsniveau van de overspanningsbegrenzing.

De bovengrenzen van de toe te passen SPD's zijn gebaseerd op de isolatievastheid van de te beveiligen objecten. Volgens [10] worden er overspanningsbeveiligingen onderverdeeld in 4 overspanningscategorieën zie Tabel 10.

Nominale netspanning volgens IEC 60038		De spanning van de ader naar nulader, afgeleid van de nominale AC/DC	Teststootspanning			
			Overspanningscategorieën			
			I	II	III	IV
3-fase	1-fase	V	V	V	V	V
		50	330	500	800	1500
		100	500	800	1500	2500
	120 – 240	150	800	1500	2500	4000
230/400 277/480		300	1500	2500	4000	6000
400/690		600	2500	4000	6000	8000
1000		1000	4000	6000	8000	12000

Tabel 10 Overspanningscategorieën [10]

Met de gebundelde kennis over de overspanningsbeveiligingen kan er nu een flowchart gemaakt worden om stapsgewijs tot de juiste SPD te komen. Dit model kan gebruikt worden om een overzicht te hebben op de verschillende aspecten die bij de keuze van SPD van toepassing zijn. Om tot een project specifieke SPD te komen kan er gebruik worden gemaakt van een aantal selectietools aangeboden door fabrikanten die deze beveiligen realiseren. In Figuur 21 is de overspanningsflowchart te zien die gebruikt kan worden als een selectietool [11].



Figuur 21 Overspanningsflowchart

Ten eerste wordt er een risicoanalyse uitgevoerd. Hiervoor kan NPR 8110 geraadpleegd worden. Uit de risicoanalyse komt een klasse beveiliging uit, waar een type overspanningsbeveiliging bij hoort. Daarna moet de overspanningscategorie bepaald worden. Aan de hand van IEC 60664-11. Afhankelijk of er een externe bliksembeveiliging aanwezig is, wordt er bepaald of er een type 1, 2 of een combinatie hiervan geïnstalleerd gaat worden. Afhankelijk van de gevoerde stroomstelsel en opties van SPD kan de juiste overspanningsbeveiliging geselecteerd worden.

7. TYPICAL ONTWERP

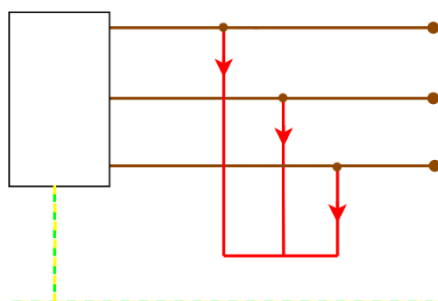
In dit hoofdstuk wordt de kennis verkregen uit de voorgaande hoofdstukken toegepast om een typical te ontwerpen ter ondersteuning voor engineers. Het model wordt met een aantal criteria gedimensioneerd. Ten slotte wordt het model geverifieerd aan de hand van een bestaand aardingsysteem.

7.1 DIMENSIONEREN VAN AARDINGSYSTEMEN

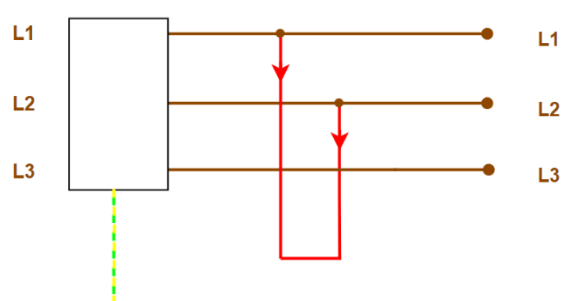
Om te beginnen worden er een aantal voorwaarden en eisen vanuit de normen gesteld, deze eisen dienen de veiligheid van de mensen en installaties goed te waarborgen. In het ontwerp moet rekening houden met de volgende criteria: het doel van de installatie, de gebruikerseisen, veiligheid voor de mens, invloeden vanuit de omgeving en de mogelijkheid om het systeem uit te bereiden of onderhouden. Naast deze algemene eisen gelden er ook een aantal elektrische eisen die betrekking hebben tot het aarden van het voedingspunt zie 3.1 maar ook met de grootte van de foutstroom die er kan lopen.

Bij een kortsluiting wordt er contact gemaakt tussen geleiders en/of aarde, dit resulteert in een spanningsverhoging in de aardingsvoorziening. Dit is vooral belangrijk als de aarding van verschillende spanningsniveaus met elkaar verbonden worden. Zo is het mogelijk dat een kortsluiting in het middenspanningsnet tot verhoging van potentiaal gaat leiden op het laagspanningsnet. Hoe lang deze kortsluiting duurt is afhankelijk van de hoogte van de stroom en de gebruikte beveiliging. In de NEN 1010 staat dat kortsluiting op het laagspanningsnet niet langer mag duren dan 1s [3]. De hoogte van de spanning is afhankelijk van impedanties van de aardelektrodes, het aardscherm van de kabel en de grootte van de retourstroom.

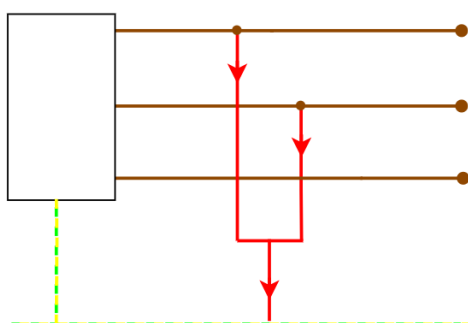
Omdat laagspanningsnetten in de praktijk altijd ster worden geaard, worden de impedanties bepaald door de hoogte van de aardverspreidingsweerstand een fase aarde kortsluiting zal daarom leiden tot een verhoogde aanraakspanning bij de klant. De NEN 1010 onderscheid 4 type kortsluitingen [2] [3] [4].



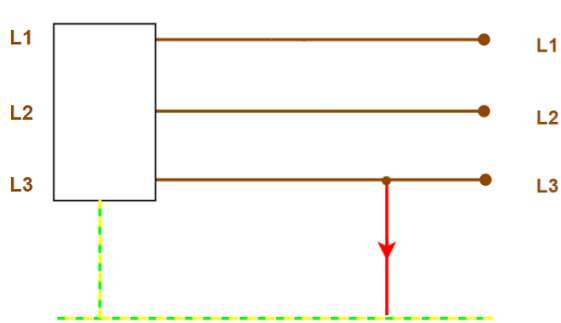
Figuur 22 Drie fasen kortsluiting



Figuur 23 Twee fasen kortsluiting



Figuur 24 Twee fasen naar aarde kortsluiting

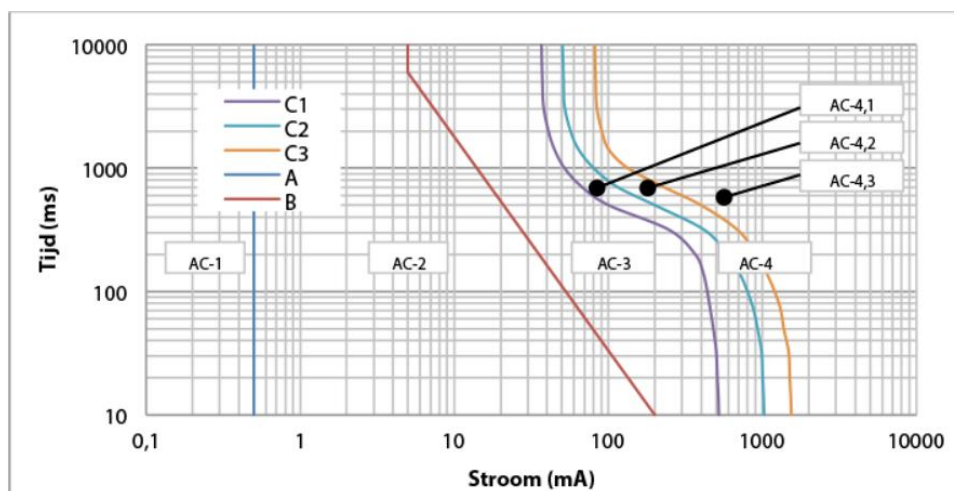


Figuur 25 Enkele fase naar aarde kortsluiting

Er kan verondersteld worden dat de impedanties van de fasegeleiders gelijk zijn aan elkaar, dan kan er geconcludeerd worden dat drie fasen kortsluiting de hoogste kortsluitstroom oplevert, doordat de impedanties lager zijn. Hoe hoger de kortsluitstroom hoe sneller de beveiliging dit kan detecteren en afschakelen. Dit model focust zich op de fase aarde kortsluiting omdat de impedanties hierbij het hoogste zijn [2] [3]. Hierdoor zal de kortsluitstroom relatief laag zijn vergelijken met een drie fasen sluiting. Zo zal een beveiligingstoestel ontworpen om een fase aarde kortsluiting af te schakelen ook een drie fasen kortsluiting afschakelen vanwege de selectiviteit voor de stroom. Sommige beveiligingstoestellen hebben een aparte detectie en instellingen voor het detecteren van aardfouten.

7.1.1 AANRAAKVEILIGHEID

Storingen in de installatie kunnen leiden tot gevaarlijke situaties bij de aangesloten klanten, door de foutstroom ontstaat een spanningsverhoging in de aardingsvoorziening. Deze verhogingen, kunnen in de hoog- en midden spanning kunnen leiden tot de dood of ernstig letsel. Ook in de laagspanning kan letsel voorkomen. De combinatie van de stroom door het menselijk lichaam en de lengte van deze stroom zijn dan bepalend voor de hoeveelheid schade. In Figuur 26 is de stroom gevarencurve te zien. Afhankelijk of in welke spanningscategorie de installatie zit moet er naar een bepaalde lijn gekeken worden.

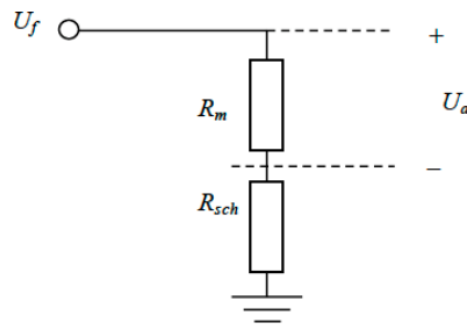


Figuur 26 Stroom gevarencurve IEC 60479

In dit grafiek zijn 4 zones aangegeven met de effecten die het menselijk lichaam ervaart naarmate de stroom door het lichaam gaat stijgen [2].

- AC-1: het gebied tot lijn A (0,5 mA); Er kan door sommige personen hier een wat stroom gevoeld worden maar dit leidt niet tot schrikreacties.
- AC-2: het gebied tussen lijnen A en B; in dit gebied voelen de meeste mensen een stroom, de loslatdrempel is op 10mA, gewoonlijk heeft dit geen schadelijke lichamelijke effecten
- AC-3: het gebied rechts van de lijn B; in dit gebied komen schadelijke lichamelijke effecten voor zoals ademhalingsproblemen, spiersamentrekkingen en verstoringen van de hartfuncties.
- AC-4: het gebied rechts van lijn C1: in dit gebied treden sterke fysiologische effecten op, zoals hartstilstand, stilstand van de ademhaling, schade aan organen en brandwonden
- AC-4,1: tussen gebieden C1 en C2: tot 5% kans op hartfibrillatie
- AC-4,2: tussen gebieden C2 en C3: tot 50% kans op hartfibrillatie
- AC-4,3: rechts van het gebied C3: meer dan 50% kans op hartfibrillatie.

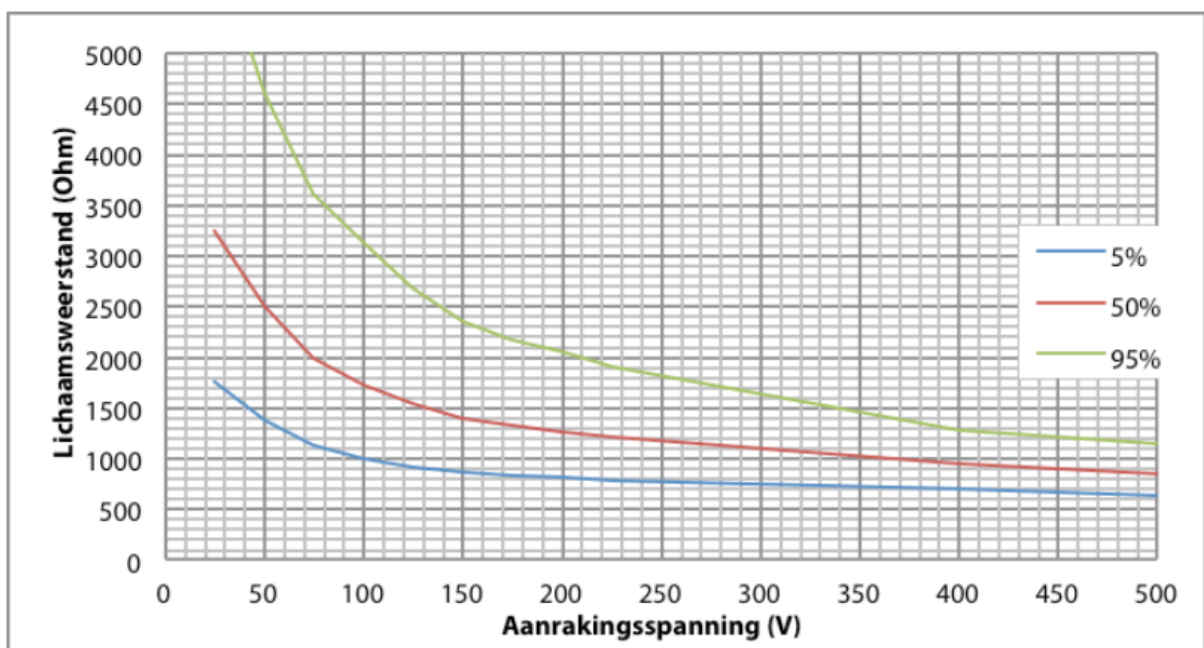
Om de effecten op het menselijk lichaam zoveel mogelijk te beperken moet men ook kennis hebben over de volgende aspecten: de aanraakspanning U_a , de manier van aanraken (dus met twee handen of hand en voeten) en de schroeiweerstand. In Figuur 27 is een schematische voorstelling van een menselijk lichaam onder een foutspanning U_f , lichaamsweerstand R_m en de schroeiweerstand (kleding en schoenen) doorgaans wordt een waarde van 1000Ω aangehouden R_{sch} . De berekening voor de maximale tijd waarin de fout moet afgeschakeld worden bestaat dus uit een spanningsdeling, waarbij de lichaamsweerstand weer afhangt van de aanraakspanning. Hierdoor is de berekening van een iteratief proces [1] [2].



Figuur 27 Schematische weergave lichaam

Om extra zekerheid te bieden wat betreft de lichaamsweerstand en de verschillen tussen de bevolkingsgroepen heeft de IEC 60479 de volgende grafiek zie Figuur 28 samengesteld. De percentages zijn berekend op basis van statistiek. De 3 lijnen in de grafiek zijn indicaties van de percentage bevolkingsgroepen die onder deze waarden blijven. De blauwe 5% lijn is de veiligste van de 3 en daarom wordt er in de praktijk vaak hiervan gebruikgemaakt.

De manier van aanraken blijft ook belangrijk, in IEC 60479 wordt er van uitgegaan dat er met twee handen en twee voeten aan de grond contact wordt gemaakt. Vandaar dat IEC 60479 specificeert om de lichaamsimpedantie door 2 te delen.



Figuur 28 Lichaamsimpedantie IEC 60479

Om de toelaatbare aanraakspanningen te bepalen moeten er een aantal uitgangspunten gekozen worden zie Tabel 11. Hoewel de gevaarlijke invloeden voor mensen veroorzaakt worden door de stroom, wordt er in de praktijk bijna altijd gesproken over een veilige spanning. De reden hiervan is dat spanning makkelijker te meten is [2].

Laagspanning	Hoogspanning
<i>Stroombaan van handen naar voeten</i>	<i>Stroombaan van hand naar voeten</i>
5% waarschijnlijkheidscurve voor lichaamsimpedantie	50% waarschijnlijkheidscurve voor lichaamsimpedantie
0% waarschijnlijkheidscurve voor ventriculaire fibrillatie C1	5% waarschijnlijkheidscurve voor ventriculaire fibrillatie C2
Geen extra weerstanden	Geen extra weerstanden

Tabel 11 Uitgangspunten voor de bepaling van toelaatbare aanraakspanningen [1]

7.1.2 BETROUWBAARHEID AARDINGSVOORZIENING

Een aardvoorziening moet deugdelijk zijn opgebouwd, alle onderdelen in de voorziening moeten bestand zijn tegen corrosie en mechanische krachten. Om corrosie en oxidatie te voorkomen moet de aardelektrode vervaardigd zijn van materialen die hiertegen bestand zijn. In Figuur 29 zijn de minimale afmetingen van koperen aardelektroden weergegeven. Voor de volledige lijst zien Appendix A7.

Materiaal		Type elektrode	Minimummaat				
			Kern			Deklaag/mantel	
			Middel- lijn mm	Kern- door- snede mm ²	Dikte mm	Enkele waarde µm	Gemiddelde waarde µm
Koper	Ongeïsoleerd	Bandleiding		50	2		
		Ronde draad voor horizontale aardelektrode		25 ^c			
		Geslagen geleider	1,8 ^d	25			
		Buis	20		2		
	Vertind	Geslagen geleider	1,8 ^d	25		1	5
	Gegalvaniseerd	Bandleiding		50	2	20	40
	Met loodmantel ^a	Geslagen geleider	1,8 ^d	25		1 000	
		Ronde draad		25		1 000	

Figuur 29 Type en minimale afmetingen van koperen aardelektroden

Aan de aardleiding en de beschermende vereffening sleidingen moeten volgens de NEN 50522 ook voldoen aan een minimale kernddoorsnede ter waarborging van de mechanische sterkte voor koper is de minimale kernddoorsnede 16mm².

De aardelektroden en de aardleidingen in het systeem moeten een bepaalde foutstroom kunnen verwerken. Om te garanderen dat leidingen en elektroden niet verdampen onder grote kortsluitstromen moeten ze een bepaalde kerndoorsnede hebben. De formule voor de thermische kortsluitvastheid (5) [3].

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}} \quad (5)$$

A = de kerndoorsnede in mm^2

I = de stroom in de geleiders (de effective waarde) in A

K = constante afhankelijk van het materiaal van de geleider

β = is de reciproke waarde van de temperatuurcoëfficiënt

θ_i = begintemperatuur in $^{\circ}\text{C}$

θ_f = eindtemperatuur in $^{\circ}\text{C}$

Materiaal	β in $^{\circ}\text{C}$	K in $A \times \sqrt{s} / \text{mm}^2$
Koper	234,5	226
Aluminium	228	148
Staal	202	78

Tabel 12 Waarden voor constante K en β

In Tabel 12 zijn de constante weergegeven van de meest gangbare geleider materialen. Voor de begin en eind temperatuur worden de waardes 20°C en 300°C gebruikt. Voor de volledigheid van de parameters in de formule wordt verwezen naar bijlage D van NEN 50522 [4].

7.2 DESIGN TYPICAL

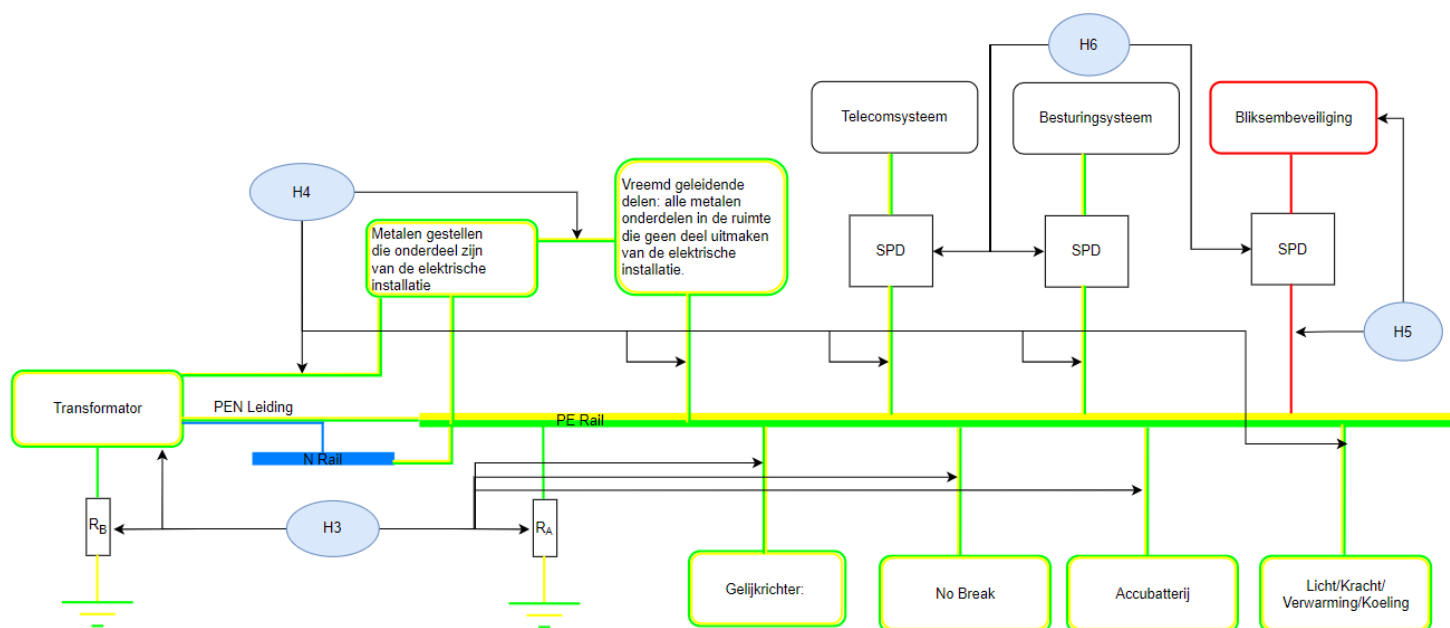
De verzamelde informatie uit de vorige hoofdstukken wordt toegepast om een typical te ontwerpen. Daarvoor moeten de meest gebruikelijke systemen binnen EQUANS in kaart gebracht worden. Aardingsystemen zijn project specifiek, een tunnel wordt op een andere manier geaard dan een hoogbouw. De meeste projecten van EQUANS hebben naast de aarding van het project zelf ook een technische ruimte. In overleg met de begeleiders van het bedrijf hebben we de volgende systemen en onderdelen in een technische ruimte in de typical verwerkt.

- Transformatoren: Eigen bedrijf transformator voor het voeden van de interne systemen maar ook vermogenstransformatoren die project specifiek zijn.
- Metalen gestellen: Metalen gestellen die deel uitmaken van de elektrische installatie. Dit zijn in de praktijk behuizingen van transformatoren of van andere elektrische installaties.
- Vreemde geleidende delen: Voorbeelden van vreemd geleidende delen zijn water en gasleidingen, metalen trappen en kozijnen.
- Gelijkrichters: Verschillende systemen binnen de ruimte moeten met gelijkspanning gevoed worden.
- Telecommunicatie systemen: Storingsgevoelige systemen die gebruikt worden om data te verzenden of te ontvangen.

- Besturingssystemen: Storingsgevoelige systemen die gebruikt worden om onderdelen in het project aan te sturen.
- No break systemen: Noodstroomvoorziening, bij het wegvallen van de netspanning nemen deze systemen in combinatie met een accu, de stroomvoorziening op zich.
- Accubatterij: Wordt in combinatie met een No-break gebruikt in geval de netspanning wegvalt.
- Licht/Kracht/Verwarming/Koeling: De technische ruimte moet verlicht en verwarmd worden en verlicht worden. De metalen geleidende delen en systemen zoals een airco moeten ook beveiligd worden.

Figuur 30 is een schematische overzicht van de systemen die beveiligd moeten worden binnen een technische ruimte van EQUANS. Alle systemen zijn aangesloten op een hoofds aardrail die weer in contact staat met de aarde via een aardelektrode. Het voedingspunt van de installatie is ster geaard, informatie hierover is te vinden in H3. Tussen de metalen delen die deel uitmaken van de elektrische installatie en de vreemde geleidende delen van de installatie wordt er potentiaalvereffening toegepast, H4. Bliksembeveiligingsinstallatie H5. De overspanningsbeveiligingen kunnen geselecteerd worden aan de hand van H6.

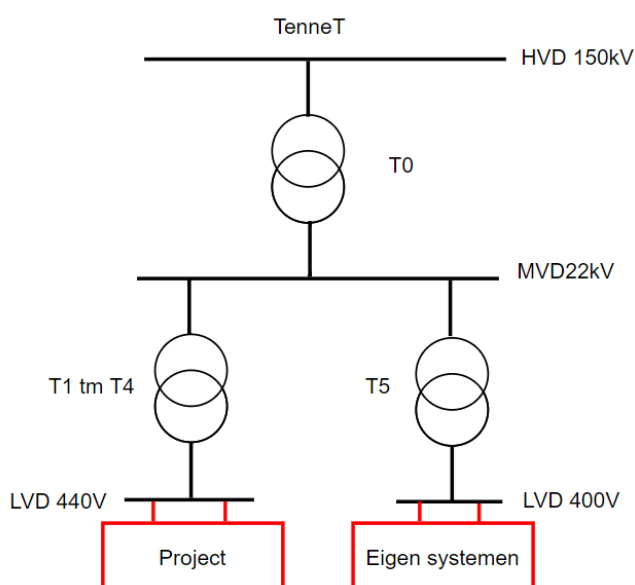
Omdat aardingsystemen afgesteld moeten zijn op de elektrische installatie is ervoor gekozen om dit model zo algemeen mogelijk te houden. Het is aan de engineer om de juiste data uit dit document te halen. Aanvullende data kan uit de verschillende toegepaste normen worden gehaald.



Figuur 30 Typical aardingsysteem

7.3 VERIFICATIE MODEL AARDINGSYSTEEM

Het ontworpen model wordt geverifieerd aan de hand van afgerond project van EQUANS zie Appendix A9. Het project Giga Rhino GGR3. Volgens NEN 50522 moet allereerst de maximale foutstroom berekend worden. Aan de hand van de volgende formules (6), (7) en (8) kan respectievelijk de nominale stroom, de maximale kortsluitstroom en de transformator impedantie berekend worden [12]. In het project worden twee verschillende transformatoren gebruikt, een eigenbedrijfstransformator (T5) en distributietransformatoren (T1 tm T4) zie Figuur 31. Beide transformatoren worden gevoed vanaf een midden-spanningsverdeler aangesloten op vermogenstransformator T0. De gegevens die bij T0 horen zoals kortsluitstroom worden in het project gegeven. Deze gegevens worden uit het project overgenomen.



Figuur 31 Schematische weergave transformatoren

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (6)$$

$$I_k = \frac{I_n}{u_k} \quad (7)$$

$$Z = \frac{U_n^2}{S} \frac{u_k}{100} \quad (8)$$

S = schijnbare vermogen in VA

U_n = de nominale spanning in V

I_n = de nominale stroom in A

I_k = de maximale kortsluitstroom in A

u_k = % kortsluitspanning

Z_T = de impedantie van de transformator in Ω

Als voorbeeld wordt er met de gegevens van T5 uit Appendix A9 en de formules (6),(7) en (8) een aantal berekeningen gemaakt te zien hieronder. Voor de transformatoren 1 tm 4 kan dit ook berekend worden. De uitkomsten van deze berekeningen zijn te zien in Tabel 13.

$$I_n = \frac{315000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 0.455kA \quad (6) \quad I_k = \frac{0.455 \cdot 10^3}{0.04} = 11.37kA \quad (7)$$

$$Z_T = \frac{400}{315000} \cdot 0.04 = 20.3m\Omega \quad (8)$$

	T1 tm T4	T5
$S (kVA)$	3200	315
$u_k(\%)$	6%	4%
$U_n (V)$	440	400
$I_n(kA)$	4.199	0.455
$I_k(kA)$	69.98	11.37
$Z_T(m\Omega)$	3.63	20.3
$I_{k_effectief}(kA)$	49.48	8.04

Tabel 13 Transformatorberekeningen

7.3.1 VERIFICATIE THERMISCHE KORTSLUITVASTHEID

Om te verifiëren dat de aardelektrode de effectieve waarde van de kortsluitstroom kan verdragen. Moet (5) worden toegepast. De gebruikte tijd in de formule is uit de selectiviteitsstudie van het project voortgekomen zie Appendix A10. De kerndoorsnedes van de systeemleidingen en de beschermleidingen van de installatie kunnen berekend worden met (1) en gecontroleerd worden met Tabel 5 op de minimale doorsnedes. Voor de berekende kortsluitstromen zie Tabel 13. Voor de gebruikte constanten zien NEN 1010 bijlage. De kortsluitstroom van de vermogenstransformator T0 bedraagt 20kA.

Voor de berekeningen van de thermische kortsluitvastheid van T5 wordt (5) gebruikt zie Appendix A7. De afschakeltijd is gegeven vanuit het project 0.8s. De effectieve kortsluitstroom zie Tabel 13. Voor de rest van de parameters Tabel 12.

$$A = \frac{20 \cdot 10^3}{226} \sqrt{\frac{0.8}{\ln\left(\frac{300 + 234.5}{20 + 234.5}\right)}} = 92mm^2$$

De berekende waarde komt overeen met de waarde berekend in het project zie A9. Omdat de minimale kernddoorsnede van een koperen aardelektrode 50mm² is, NEN 1010-5. Moet er totaal aan 100mm² aardelektrodes worden geslagen. De kortsluitstroom zal zich gelijkmatig verdelen over deze twee pulsen. Voor de berekeningen van transformatoren T1 tm T4 zie Tabel 14.

Om de kernddoorsnedes van de systeemleidingen en de beschermleidingen te berekenen van T5 aan de secundaire LVD zijde, wordt er gebruik gemaakt van (1). De afschakeltijd voor de laagspanningszijde van T5 is gegeven vanuit het project, 0.1s. De transformatorberekeningen staan in Tabel 13. Voor de bepaling van k, moet Appendix A2 geraadpleegd worden.

$$S = \frac{\sqrt{0.1 * 8044^2}}{159(KOPER)} = 16mm^2$$

$$S = \frac{\sqrt{0.1 * 8044^2}}{176(XLPE)} = 14.5mm^2$$

De bovenstaande berekeningen geven doorsnedes van de HAR die is volledig van koper gemaakt zonder isolatie en de systeemleidingen. Deze waardes komen niet overeen met de berekeningen in het project. Dit komt omdat de gebruikte kortsluitstroom aan de secundaire zijde van T5 gelijk is aan de kortsluitstroom van de primaire zijde van T5. Hierdoor zijn de systeemleidingen en de HAR van T5 aan de secundaire zijde over gedimensioneerd in het project.

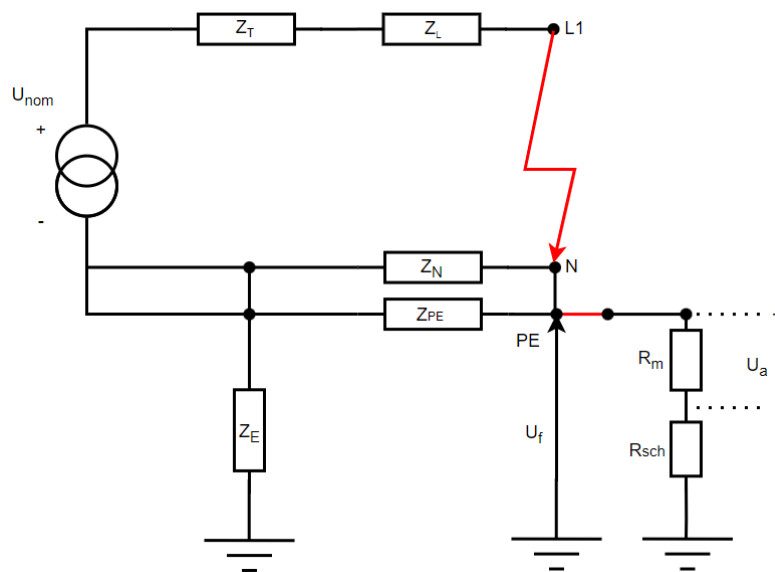
Koper	T1 tm T4	T5	T0
$A (mm^2)$	160	92	
$S(mm^2)$ systeemleiding (LVD)		16	
$S/2 (mm^2)$ beschermleiding (LVD)		8	
Sterpuntsaarding (mm ²) (LVD)		40	
$S(mm^2)$ systeemleiding (MVD)			113
$S/2 (mm^2)$ beschermleiding (MVD)			57
XLPE			
$S(mm^2)$ systeemleiding (LVD)	154	15	
$S/2 (mm^2)$ beschermleiding (LVD)	77	8	
$S(mm^2)$ systeemleiding (MVD)			102
$S/2 (mm^2)$ beschermleiding (MVD)			51

Tabel 14 Berekeningen kernddoorsnedes

De waardes in Tabel 14 zijn de berekende waardes, met Tabel 5 moet gecontroleerd worden of aan de voorwaardes wordt voldaan. De leverancier van de kabels heeft niet alle berekende maten beschikbaar, er kan gekozen worden uit een aantal standaard maten. Hierdoor zal de kernddoorsnede van de leidingen alleen maar toenemen. Omdat de gekozen waarde altijd hoger moet zijn dan de berekende waarde.

7.3.2 VERIFICATIE VEILIGE AANRAAKSPANNING

De afschakeltijden in het project Giga Rhino worden bepaald aan de hand van selectiviteitstudies zie Appendix A9. Als de kabels tussen de voeding en de installatie langer worden kan dit nadelige gevolgen hebben voor de veilige aanraakspanning. De kortsluiting moet dan afschakelen voordat de stroomwaardes uit Figuur 26 worden overschreden. Om een fase-aarde fout te berekenen in de TN stelsel wordt er een vervangingsschema gemaakt te zien in Figuur 32 [2]. Vanuit de NEN 1010 worden maximale afschakeltijden gesteld voor verschillende spanning niveaus zie Figuur 33 .



Figuur 32 Vervangingsschema aanraakspanning

Z_T = transformatorimpedantie in Ω
 $Z_L = Z_N$ = geleiderimpedantie in Ω
 Z_{PE} = beschermleidingimpedantie in Ω
 Z_E = aardelektrode impedantie in Ω
 R_m = lichaamsweerstand in Ω
 R_{sch} = schroeiweerstand in Ω
 U_f = foutspanning in V
 U_a = aanraakspanning in V

Stelsel	50 V < U ₀ ≤ 120 V s		120 V < U ₀ ≤ 230 V s		230 V < U ₀ ≤ 400 V s		U ₀ > 400 V s	
	Wissel- spanning	Gelijk- spanning	Wissel- spanning	Gelijk- spanning	Wissel- spanning	Gelijk- spanning	Wissel- spanning	Gelijk- spanning
TN	0,8	^a	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	^a	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1
Indien de uitschakeling in TT-stelsels door een beveiligingstoestel tegen overstroom plaatsvindt en de beschermende vereffening is verbonden met alle vreemde geleidende delen binnen de installatie, mogen de maximale uitschakeltijden worden toegepast die gelden voor TN-stelsels. U ₀ is de nominale spanning ten opzichte van aarde.								
^a Uitschakeling kan ook om andere redenen zijn vereist dan vanwege bescherming tegen elektrische schok.								
OPMERKING Indien uitschakeling door een toestel voor aardlekbeveiliging plaatsvindt, wordt verwezen naar de opmerking bij 411.4.4, OPMERKING 4 bij 411.5.3 en de opmerking bij 411.6.4 b).								

Figuur 33 Maximale Afschakeltijden

In Tabel 13 zijn de transformator impedanties al berekend. Om de weerstand van de koperen leidingen te berekenen worden de berekende kerndoorsnedes gebruikt uit Tabel 14 en een standaard lengte van 1m zie (9) [13]. De formules (10),(11),(12) en (13) worden gebruikt om de foutspanning te berekenen aan de hand van de impedanties in Figuur 32 [2].

$$R = \frac{\rho * L}{A} \quad (9)$$

$$Z_{retour} = \frac{Z_N * Z_{PE}}{Z_N + Z_{PE}} \quad (10) \quad Z_f = Z_T + Z_L + Z_{retour} \quad (11)$$

$$I_f = \frac{U_{nom}}{Z_f} \quad (12) \quad U_f = I_f * Z_{retour} \quad (13)$$

	T1 tm T4	T5
Z_T in mΩ	3.63	20.3
$Z_L = Z_N$ in mΩ	0.11	1.05
Z_{PE} in mΩ	0.22	1.05
Z_E in mΩ	500	500
Z_{retour} in mΩ	0.073	0.525
Z_f in mΩ	3.81	21.88
I_f in kA	60.3	10.5
U_{nom} in V	230	230
U_f in V	4.4	5.52

Tabel 15 Berekeningen kabelimpedanties en foutspanning

De berekende foutspanning is te zien in Tabel 15. Deze spanning komt voor beide transformatoren niet boven de veilige spanning van 50V gesteld door de NEN 1010 uit. Hiermee wordt aangetoond dat bij een kortsluiting in de transformator geen gevaarlijke situaties ontstaan voor de gebruikers van de transformatorruimte. De berekeningen voor de afschakeltijd hoeven dus niet gemaakt te worden. De afschakeltijden vanuit het project zijn, wat de veilige aanraakspanning betreft, voldoende.

In dit project moeten ook vreemd geleidende delen worden vereffend hiervoor is de kerndoorsnede van 25mm² gebruikt. Metalen gestellen die een deel uitmaken van de elektrische installatie moeten met een beschermleiding geaard worden. Metalen gestellen worden op twee punten aan de aarde verbonden om praktische redenen. De bliksembeveiligingsinstallatie voldoet aan de minimale eisen gesteld vanuit de NEN 62305. Voor de verschillende gevoelige systemen zoals sensoren en besturing units worden de minimale doorsnede gehandhaafd. Deze systemen worden doorgaans via een overspanningsbeveiliging aangesloten op de HAR, deze overspanningsbeveiligingen zijn niet te zien in het aardingssysteem.

8. CONCLUSIE

In dit afstudeerdocument is er onderzoek gedaan naar een model dat gebruikt kan worden om een veilige en efficiënte aardingssysteem te ontwerpen. Hiervoor is voornamelijk literatuur onderzoek gedaan in de verschillende normen die van toepassing zijn op aarding, bliksembeveiliging en overspanningsbeveiliging.

Laagspanningsinstallaties worden meestal bij het voedingspunt geaard in het geval de netbeheerder geen aardingsvoorziening levert. Hierdoor wordt er een veilig en kort retourpad gecreëerd naar de aarde. De aardingsvoorziening is ook afhankelijk van het type voedingstelsel. De veiligheid van een installatie wordt gewaarborgd aan de hand van de minimale kerndoorsnedes van systeemleidingen, beschermleidingen, beschermende vereffeningleidingen, aanvullende beschermende vereffeningleidingen en aardelektroden. Deze waardes kunnen via formules en tabellen bepaald of berekend worden. De bepaling om een object te voorzien van een bliksembeveiligingsinstallatie hangt af van de risico's voor het te beveiligen object. Afhankelijk van een aantal factoren wordt er een keuze gemaakt over het beveiligingsniveau van de bliksembeveiliging. Informatie over bliksemstromen en minimale afmetingen van de externe bliksembeveiliging worden door ook besproken. De keuze van overspanningsbeveiliging heeft ook te maken met de risico's, gevoeligheid van apparatuur en de waarde van het object. In de ontworpen flowchart wordt stapsgewijs een keuze gemaakt voor de juiste overspanningsbeveiliging.

Het resultaat is een model dat het literatuuronderzoek bundelt in een overzichtelijk schema. In dit schema zijn de verschillende onderdelen te zien die geaard moeten worden. Met het model kunnen engineers bij EQUANS een aardvoorziening effectief dimensioneren

Het ontwikkelde model voldoet aan de eisen die worden gesteld door de toegepaste normen. De aanraakveiligheid van de installatie komt bij een kortsluiting in de transformatorruimte niet boven de grenswaarde uit. De thermische kortsluitvastheid van de aardelektrode komt overeen met de berekende kerndoorsnede uit het project.

De kerndoorsnedes van de systeem- en beschermleidingen komt niet overeen met de berekeningen uit het project. Dit komt doordat de waarde van de kortsluitstroom uit het project niet overeen komt met de berekende kortsluitstroom.

9. DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Bij de toetsing van het project van EQUANS ter validatie van het ontworpen aardingsmodel zijn de volgende resultaten verkregen; De berekende kortsluitspanningen komen niet helemaal overeen met de berekeningen van het project en aan de secundaire zijde van de T5 transformator is de kortsluitstroom gelijk aan die van de primaire zijde. Omdat er verschillen zitten in de kortsluitberekeningen, zijn de berekeningen voor de systeem- en beschermleidingen ook anders dan berekend bij het project. De berekeningen voor de veilige aanraakspanning laten zien dat in de technische ruimte waar de kabellengtes onder de 1m zijn de veiligheid van mens en dier niet in gevaar komt. Het project voldoet wat betreft bliksembeveiliging en potentiaalvereffening aan de eisen die gesteld worden uit de NEN1010, IEC62305 en NEN50522.

Het gevoel bestaat vanuit EQUANS dat aardingsvoorzieningen over gedimensioneerd worden. Dit blijkt volgens dit onderzoek ook waar te zijn. In dit afstudeerdocument zijn de berekeningen gedaan volgens de beschikbare gegevens in het project. De resultaten verkregen voor de kerndoorsnedes zijn lager dan berekende kerndoorsnedes in het project. Daarnaast kunnen de berekende kerndoorsnedes niet direct gebruikt worden in het project doordat er een aantal standaard maten te verkrijgen zijn vanuit de leverancier. Dit zal EQUANS helpen een veilige en efficiënte aardingsvoorziening te ontwerpen, zonder deze te over dimensioneren.

Aanbevolen wordt om de berekende waarden van de verschillende leidingen en de gekozen waarden vanuit de leverancier dicht bij elkaar te brengen. Een leverancier die meer aanbod heeft qua verschillende kerndoorsnedes zal EQUANS geld besparen. Verder wordt EMC een steeds belangrijker fenomeen. Steeds fijnere elektronica in de technische ruimte vergt nader onderzoek naar EMC beperkende maatregelen. Omdat er bij EQUANS steeds meer systemen komen met een DC-component (zoals laders voor EV en accubuffersystemen) is het aan te bevelen om een vervolg onderzoek te doen naar de verschillen en overeenkomsten voor de aarding van DC-systemen. Belangrijke vraag hierbij is ook: kunnen resp. moeten AC- en DC-deel gekoppeld worden of juist niet?

10. VERWIJZINGEN

- [1] E. J. Cobben, Alles over aarding, Alphen aan den Rijn: Johan Schot, 2011.
- [2] P. Oirsouw van, Netten voor distributie van elektriciteit, Nederland: Phase to Phase BV, 2020.
- [3] NEN, „NEN 1010:2020,” Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut en de Stichting Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2020.
- [4] NEN, „NEN-EN 50522,” Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut en de Stichting Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2010.
- [5] NEN, „NEN EN IEC 62305,” Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut en de Stichting Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2011.
- [6] NEN, „NPR 1014,” Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut en de Stichting Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2009.
- [7] PHOENIX CONTACT, „Basisprincipes van overspanningsbeveiliging,” PHOENIX CONTACT, Duitsland, 2016.
- [8] NEN, „NPR 8110 Risicoklassenindeling voor overspanningsbeveiliging,” Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut en de Stichting Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2014.
- [9] NEN IEC, „IEC 61643-11,” Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut en de Stichting Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2011.
- [10] IEC, „60664 Coördinatie van isolatie voor inrichtingen binnen laagspanningssystemen,” Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut en de Stichting Koninklijk Nederlands Elektrotechnisch Comité, Delft, 2020.
- [11] DEHN, „SPD Selectietool,” DEHN Nederland BV, Amersfoort, 2017.
- [12] EEP, [Online]. Available: <https://electrical-engineering-portal.com/>. [Geopend 16 03 2022].
- [13] S. P. Dinkgreve, „Natuurkunde voor de Middelbare School,” 2022. [Online]. Available: <https://www.wetenschapsschool.nl/>. [Geopend 16 03 2022].

11. APPENDIX

A1: Minimale kerndoorsnede van beschermingsleidingen

Kerndoorsnede van faseleiding S mm ² koper	Minimale kerndoorsnede van de beschermingsleiding mm ² koper	
	Indien de beschermingsleiding van hetzelfde materiaal is als de faseleiding	Indien de beschermingsleiding <u>niet</u> van hetzelfde materiaal is als de faseleiding
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	16^a	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S}{2}^a$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$
waarin: k_1 is de waarde van k voor de faseleiding, bepaald aan de hand van de formule in bijlage 54.A of geselecteerd uit de tabellen in hoofdstuk 43, overeenkomstig het materiaal van geleider en isolatie; k_2 is de waarde van k voor de beschermingsleiding, gekozen aan de hand van de tabellen 54.A.2 t/m 54.A.6, zoals van toepassing.		
^a Voor een PEN-leiding mag de kerndoorsnede alleen worden verminderd overeenkomstig de voorschriften inzake de kerndoorsnede van de nul (zie hoofdstuk 52).		

A2: Bepalen van factor k

NEN 1010:2020

Bijlage 54.A (normatief)

Methode voor het bepalen van de factor k in 543.1.2 (zie ook NPR-IEC 60724 en NEN 10949)

De factor k wordt berekend met behulp van de volgende formule:

$$k = \sqrt{\frac{Q_k(\beta + 20)}{\rho_{20}} \ln \left(\frac{\beta + \theta_i}{\beta + \theta_e} \right)} \quad (54.A.1)$$

waarin:

- Q_k is de soortelijke warmtecapaciteit van het kernmateriaal bij 20 °C, in J/°C mm³;
- β is de reciproke waarde van de temperatuurcoëfficiënt van de soortelijke weerstand van de kern bij 0 °C, in °C;
- ρ_{20} is de soortelijke weerstand van het kernmateriaal bij 20 °C, in Ωmm;
- θ_i is de begintemperatuur van de geleider, in °C;
- θ_e is de eindtemperatuur van de geleider, in °C.

Tabel 54.A.1 — Waarden van parameters voor verschillende materialen

Materiaal	β^a °C	Q_k^a J/°C mm ³	ρ_{20}^a Ωmm	$\sqrt{\frac{Q_k(\beta + 20)}{\rho_{20}}}$ $A\sqrt{5}/\text{mm}^2$
Koper	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$	226
Aluminium	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,264 \times 10^{-6}$	148
Staal	202	$3,8 \times 10^{-3}$	138×10^{-6}	78

^a De waarden zijn ontleend aan NEN 10949.

Tabel 54.A.2 — Waarden van k voor geïsoleerde beschermingsleidingen die niet in kabels zijn opgenomen en niet met andere kabels zijn gebundeld

Geleiderisolatie	Temperatuur °C ^b		Materiaal van de geleider		
			Koper	Aluminium	Staal
	Begin	Eind	Waarden van k ^c		
70 °C thermoplast (PVC)	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C thermoplast (PVC)	30	160/140 ^a	143/133 ^a	95/88 ^a	52/49 ^a
90 °C thermoharder (EPR of XLPE)	30	250	176	116	64
60 °C thermoharder (rubber)	30	200	159	105	58
85 °C thermoharder (rubber)	30	220	166	110	60
185 °C thermoharder (siliconenrubber)	30	350	201	133	73
^a De laagste waarde betreft met thermoplast (bijvoorbeeld PVC) geïsoleerde geleiders met een kerndoorsnede van meer dan 300 mm². ^b De uiterste temperatuurwaarden voor verschillende typen isolatie zijn gegeven in NPR-IEC 60724. ^c Voor de rekenmethode voor de bepaling van k , zie de formule aan het begin van deze bijlage.					

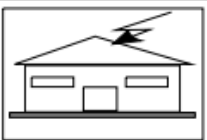
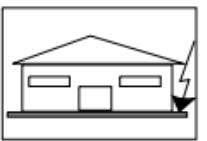
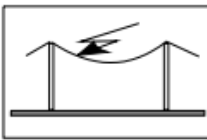
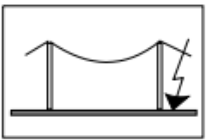
Tabel 54.A.3 — Waarden van k voor ongeïsoleerde beschermingsleidingen in aanraking met kabelmantel maar niet gebundeld met andere kabels

Geleiderisolatie	Temperatuur °C ^a		Materiaal van de geleider		
			Koper	Aluminium	Staal
	Begin	Eind	Waarden van k ^b		
Thermoplast (PVC)	30	200	159	105	58
Polyetheen	30	150	138	91	50
CSP ^c	30	220	166	110	60
^a De uiterste temperatuurwaarden voor verschillende typen isolatie zijn gegeven in NPR-IEC 60724. ^b Voor de rekenmethode voor de bepaling van k , zie de formule aan het begin van deze bijlage. ^c CSP = gechloreerd gesulfoneerd polyetheen.					

Tabel 54.A.4 — Waarden van k voor beschermingsleidingen die als ader in een kabel zijn opgenomen of die met andere geïsoleerde leidingen zijn gebundeld

Geleiderisolatie	Temperatuur °C ^b		Materiaal van de geleider		
			Koper	Aluminium	Staal
	Begin	Eind	Waarden van k ^c		
70 °C thermoplast (PVC)	70	160/140 ^a	115/103 ^a	76/68 ^a	42/37 ^a
90 °C thermoplast (PVC)	90	160/140 ^a	100/86 ^a	66/57 ^a	36/31 ^a
90 °C thermoharder (EPR of XLPE)	90	250	143	94	52
60 °C thermoharder (rubber)	60	200	141	93	51
85 °C thermoharder (rubber)	85	220	134	89	48
185 °C thermoharder (siliconenrubber)	180	350	132	87	47
^a De laagste waarde betreft met thermoplast (bijvoorbeeld PVC) geïsoleerde geleiders met een kerndoorsnede van meer dan 300 mm ² . ^b De uiterste temperatuurwaarden voor verschillende typen isolatie zijn gegeven in NPR-IEC 60724. ^c Voor de rekenmethode voor de bepaling van k , zie de formule aan het begin van deze bijlage.					

A3: Schade, verlies en vorm van schade bij blikseminslag

Inslagpunt		Bron van schade	Vorm van schade	Vorm van verlies
Object		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Nabij een object		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Leiding met aansluiting op een object		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Nabij een leiding		S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Alleen voor opstallen waar dieren verloren kunnen gaan. ^b Alleen voor objecten met het risico op explosie en voor ziekenhuizen of andere objecten waar door falen van interne systemen onmiddellijk mensenlevens in gevaar worden gebracht.				

A4 Maximumwaarden van bliksemstroomparameter per LPL

Tabel 3 — Maximumwaarden van bliksemstroomparameters voor elk LPL

Eerste positieve impuls			LPL			
Stroomparameters	Symbool	Eenheid	I	II	III	IV
Piekstroom	I	kA	200	150	100	
Impulslading	Q_{KORT}	C	100	75	50	
Specifieke energie	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Tijdsparements	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	10 / 350			
Eerste negatieve impuls ^a			LPL			
Stroomparameters	Symbool	Eenheid	I	II	III	
Piekstroom	I	kA	100	75	50	
Gemiddelde steilheid	di/dt	kA/ μs	100	75	50	
Tijdsparements	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	1 / 200			
Opvolgende impuls			LPL			
Stroomparameters	Symbool	Eenheid	I	II	III	IV
Piekstroom	I	kA	50	37,5	25	
Gemiddelde steilheid	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Tijdsparements	T_1 / T_2	$\mu s / \mu s$	0,25 / 100			
Lange ontleding			LPL			
Stroomparameters	Symbool	Eenheid	I	II	III	IV
Lading van de lange ontleding	Q_{LANG}	C	200	150	100	
Tijdsparement	T_{LANG}	s	0,5			
Inslag			LPL			
Stroomparameters	Symbool	Eenheid	I	II	III	IV
Lading van de inslag	Q_{INSLAG}	C	300	225	150	

^a Het gebruik van deze vorm van de stroom betreft alleen berekeningen en niet het beproeven.

^a Het gebruik van deze vorm van de stroom betreft alleen berekeningen en niet het beproeven.

Tabel 6 — Materiaal, configuratie en minimumdoorsnede van opvangleidingen, opvangstaven, aardpennen en afgaande leidingen van opvanginrichtingen ^a

Materiaal	Configuratie	Doorsnede mm ²
Koper, vertind koper	Massief band	50
	Massief rond ^b	50
	Samengeslagen ^b	50
	Massief rond ^c	176
Aluminium	Massief band	70
	Massief rond	50
	Samengeslagen	50
Aluminiumlegering	Massief band	50
	Massief rond	50
	Samengeslagen	50
	Massief rond ^c	176
Met koper beklede aluminiumlegering	Massief rond	50
Thermisch verzinkt staal	Massief band	50
	Massief rond	50
	Samengeslagen	50
	Massief rond ^c	176
Met koper bekleed staal	Massief rond	50
	Massief band	50
Roestvast staal	Massief band ^d	50
	Massief rond ^d	50
	Samengeslagen	70
	Massief rond ^c	176
^a Mechanische en elektrische eigenschappen evenals corrosievastheidseigenschappen moeten voldoen aan de eisen uit de toekomstige IEC 62561-reeks. ^b In bepaalde toepassingen waar mechanische sterkte geen essentiële eis is, mag de afmeting van 50 mm ² (8 mm diameter) worden teruggebracht tot 25 mm ² . In dat geval behoort aandacht te worden gegeven aan het verkleinen van de afstand tussen de bevestigingsmiddelen. ^c Van toepassing op opvangstaven en aardpennen. Voor opvangstaven waar mechanische belasting zoals belasting door wind niet kritisch is, kan een staaf van 9,5 mm diameter en 1 m lengte worden gebruikt. ^d Indien thermische en mechanische overwegingen belangrijk zijn, behoren deze waarden te worden vergroot tot 75 mm ² .		

A6 Minimumdoorsnede van aardelektroden

Tabel 7 — Materiaal, configuratie en minimumafmetingen van aardelektroden ^{a, c}

Materiaal	Configuratie	Afmetingen		
		Aardpendiameter mm	Aardgeleider mm ²	Plaataard- elektrode mm
Koper, vertind koper	Samengeslagen		50	
	Massief rond	15	50	
	Massief band		50	
	Pijp	20		
	Massief plaat			500 × 500
	Rasterplaat ^c			600 × 600
Thermisch verzinkt staal	Massief rond	14	78	
	Pijp	25		
	Massief band		90	
	Massief plaat			500 × 500
	Rasterplaat ^c			600 × 600
	Profiel	^d		
Blank staal ^b	Samengeslagen		70	
	Massief rond		78	
	Massief band		75	
Met koper bekleed staal	Massief rond	14 ^f	50	
	Massief band		90	
Roestvast staal	Massief rond	15 ^f	78	
	Massief band		100	
^a Mechanische en elektrische eigenschappen evenals corrosievastheidseigenschappen moeten voldoen aan de eisen uit de toekomstige IEC 62561-reeks. ^b Moet zijn ingegoten in beton op een minimale diepte van 50 mm. ^c Rooster opgebouwd met een geleider van minimaal 4,8 m totale lengte. ^d Verschillende profielen zijn toegelaten met een doorsnede van 290 mm ² en een minimale dikte van 3 mm, bijvoorbeeld een kruisprofiel. ^e Bij toepassing van een opstelling volgens type B voor het fundatieaardsysteem moet de aardelektrode op correcte wijze minimaal iedere 5 m met het wapeningsstaal verbonden zijn. ^f In sommige landen kan de diameter worden teruggebracht tot 12,7 mm.				

A7 Risicoanalyse Overspanningsbeveiliging

Tabel 1 — Bepaling van het aantal risicopunten

Criterium	Keuzemogelijkheden	Punten
Ligging van het gebouw	Dicht bebouwde omgeving met gebouwen van ongeveer gelijke hoogte	1
	Bebouwing in de omgeving is verspreid, zoals een wijk met voornamelijk vrijstaande woningen	2
	Landelijk gebied	4
	Industriegebied	6
	Prominent liggend t.o.v. de omgeving (bijv. hoog gebouw) of nabij een prominent liggend object (afstand < 500 m)	8
Aansluitingen m.b.t. alle aanwezige voor overspanning gevoelige apparatuur naast de netvoeding en geleidende metalen delen (deze moeten altijd worden aangesloten dan wel beveiligd)	Geen interne en externe communicatieleidingen	1
	Enige interne communicatieleidingen	3
	Uitgestrekte interne communicatieleidingen	5
	Enige externe communicatieleidingen (zoals KPN, CAI e.d.)	7
	Veel en uitgestrekte externe communicatieleidingen	9
	Uitgestrekte interne en externe communicatieleidingen	11

Criterium	Keuzemogelijkheden		Punten
Waarde van de aanwezige voor overspanning gevoelige apparatuur	Particulier	Bedrijfsleven	2
	€ 1 000		
	€ 2 000	Kantoor aan huis / zzp-er	4
	€ 4 000		5
	€ 6 000	Agrarische bedrijven	6
	€ 12 000	Scholen, theaters, kleine kantoren	7
	€ 25 000	Musea, hotels, openbare gebouwen	8
	€ 50 000	Ziekenhuizen, industrie, grote kantoren enz.	10
Belang van de apparatuur ten aanzien van gevolgschade	Beoordeling niet van toepassing		–
	Geen belang		0
	Van belang		7
	Van vitaal belang		9

Type en minimale afmetingen van materiaal voor aardelektroden ter waarborging van de mechanische sterkte en corrosievastheid

Materiaal		Type elektrode	Minimummaat				
			Kern			Deklaag/mantel	
			Middel- lijn mm	Kern- door- snede mm ²	Dikte mm	Enkele waarde µm	Gemiddelde waarde µm
Staal	Thermisch verzinkt	Bandleiding ^b		90	3	63	70
		Profiel (incl. platen)		90	3	63	70
		Buis	25		2	47	55
		Ronde staaf voor staafaardelektrode	16			63	70
		Ronde draad voor horizontale aardelektrode	10				50
	Met loodmantel ^a	Ronde draad voor horizontale aardelektrode	8			1 000	
	Met geëxtrudeerde kopermantel	Ronde staaf voor staafaardelektrode	15			2 000	
	Met mantel van elektrolytisch koper	Ronde staaf voor staafaardelektrode	14,2			90	100
Koper	Ongeïsoleerd	Bandleiding		50	2		
		Ronde draad voor horizontale aardelektrode		25 ^c			
		Geslagen geleider	1,8 ^d	25			
		Buis	20		2		
	Vertind	Geslagen geleider	1,8 ^d	25		1	5
	Gegalvaniseerd	Bandleiding		50	2	20	40
	Met loodmantel ^a	Geslagen geleider	1,8 ^d	25		1 000	
		Ronde draad		25		1 000	

^a Niet geschikt om rechtstreeks in beton in te gieten. Het gebruik van lood wordt niet aanbevolen om milieu-redenen.

^b Bandleiding, gewalst of gesneden met afgeronde randen.

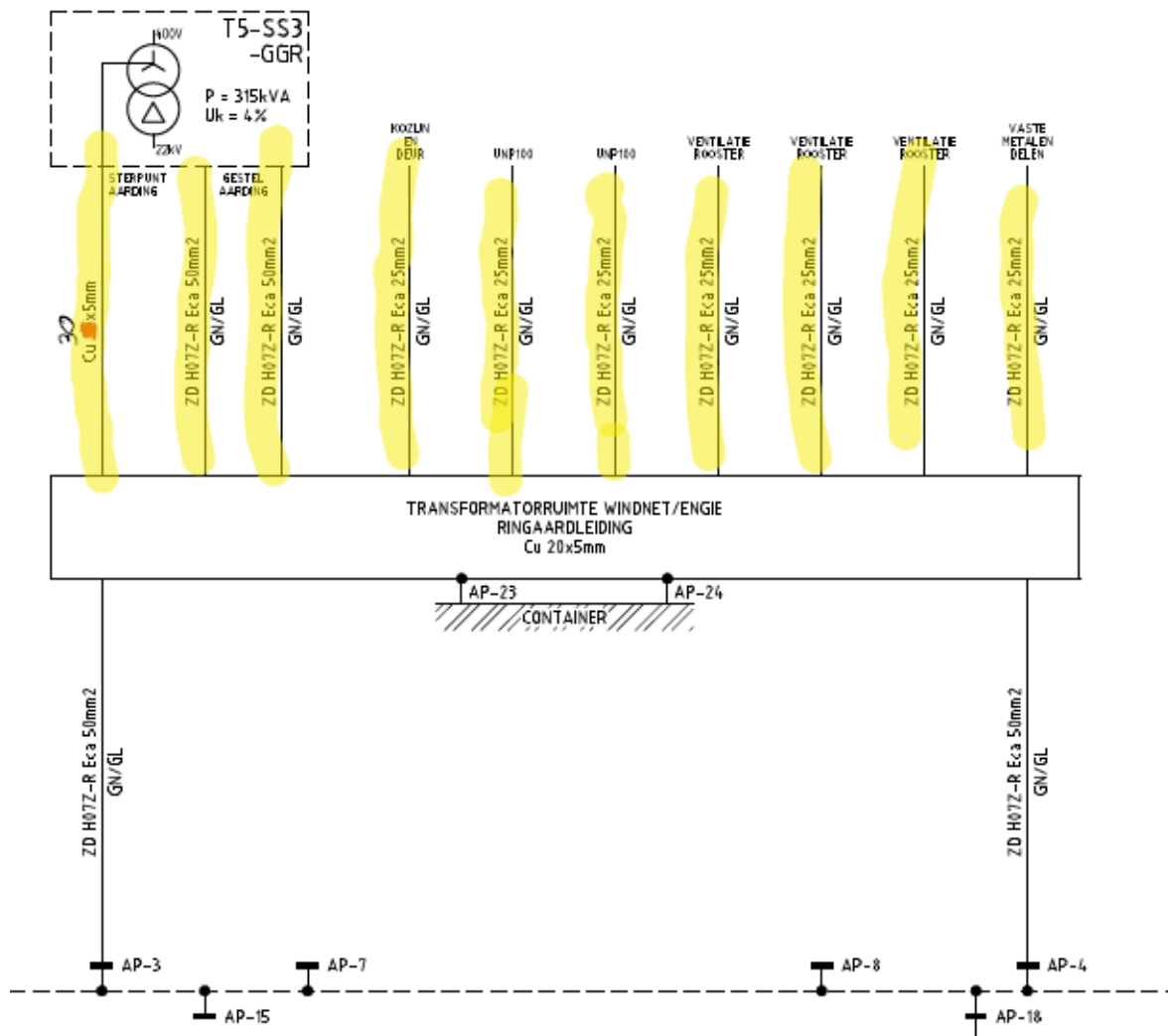
^c Onder extreme omstandigheden waar uit ervaring is gebleken dat het risico van corrosie en mechanische schade extreem laag is, kan 16 mm² worden toegepast.

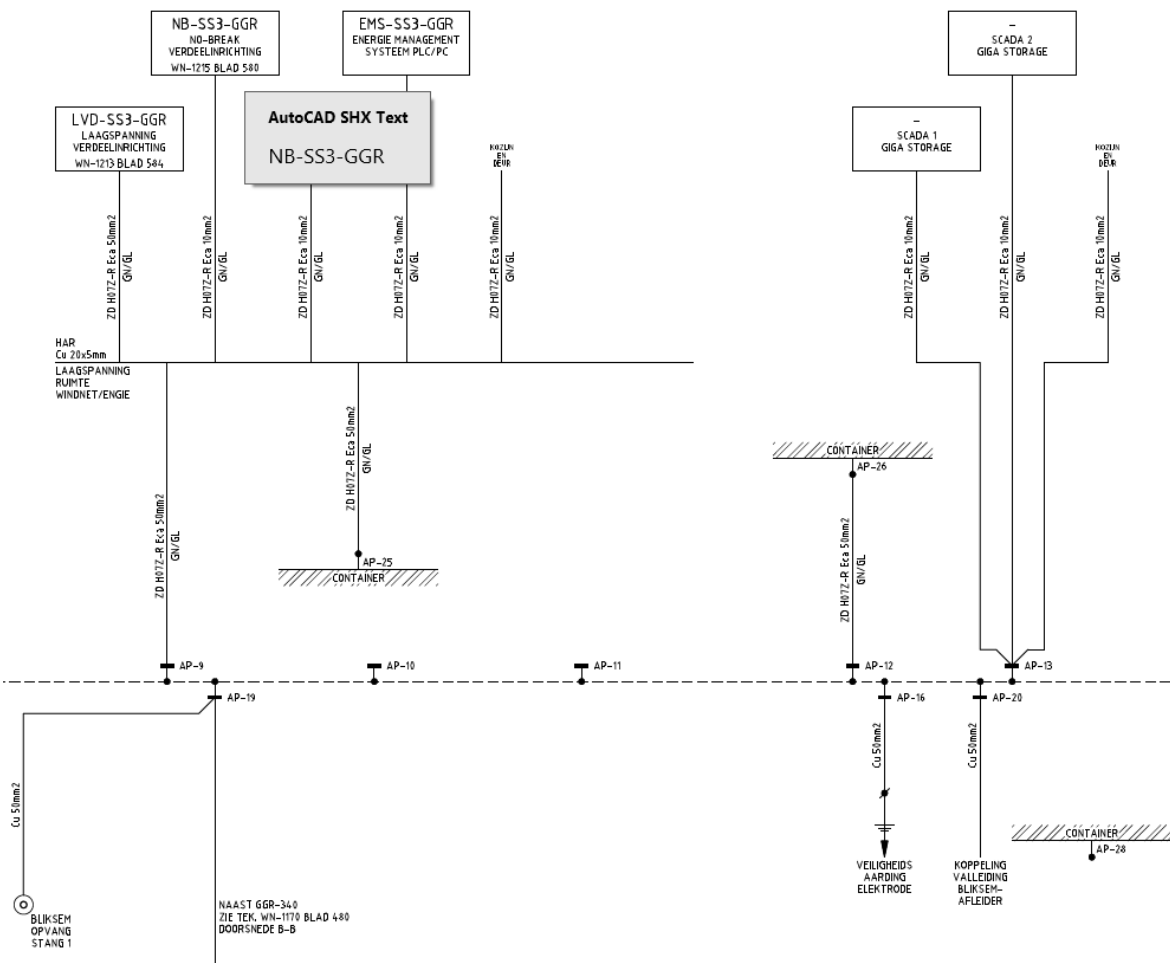
^d Voor enkele draad.

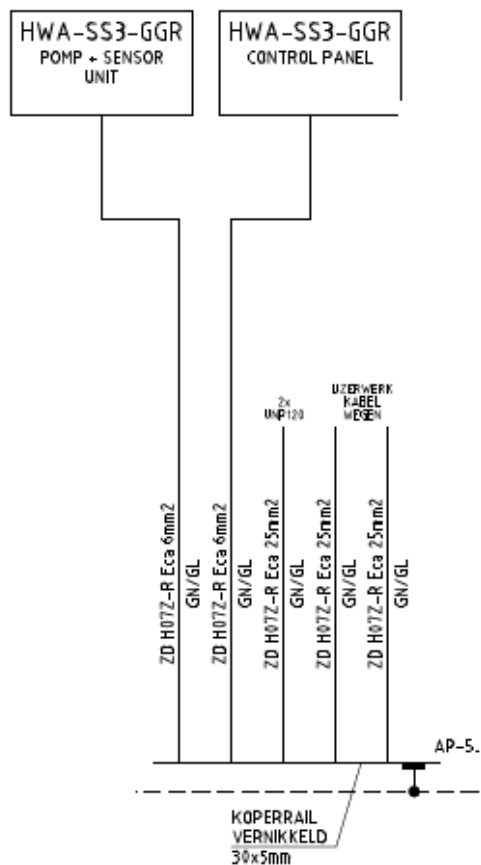
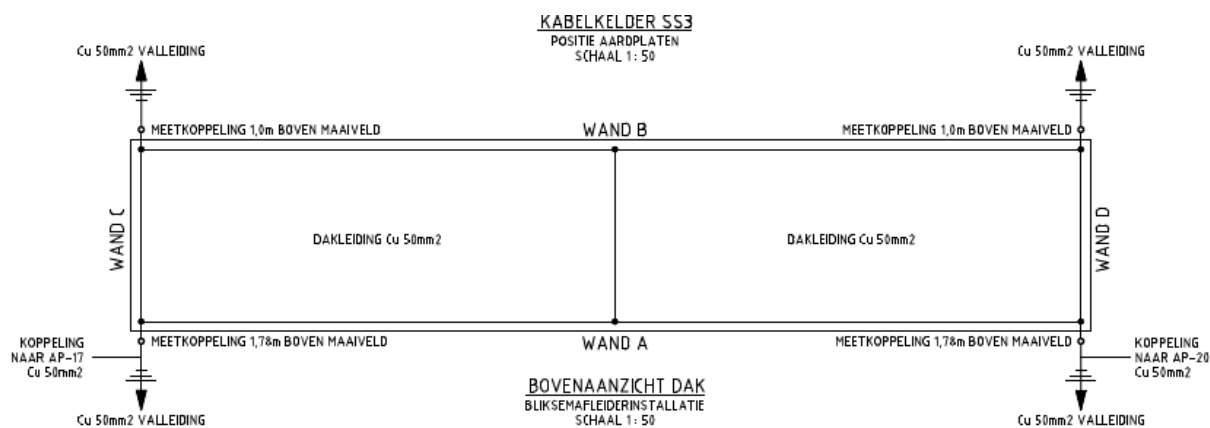
A9: Project Giga Rhino

TOTALE AARDVERSPREIDINGSWEERSTAND $\leq 0.5 \text{ Ohm}$

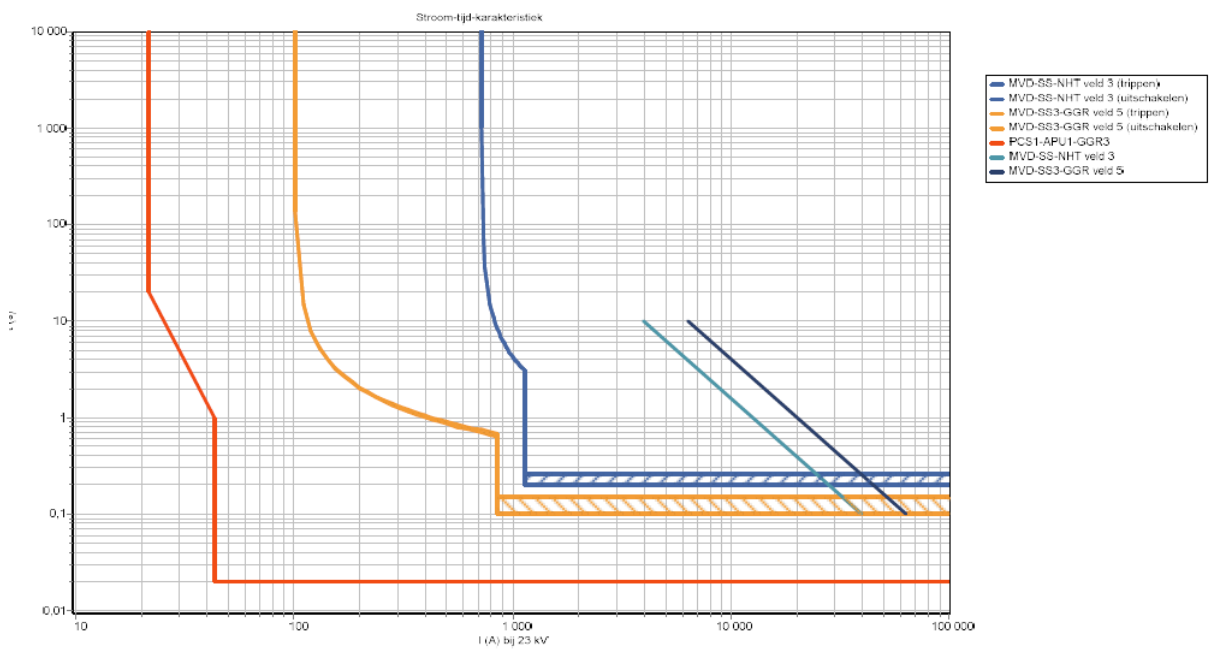
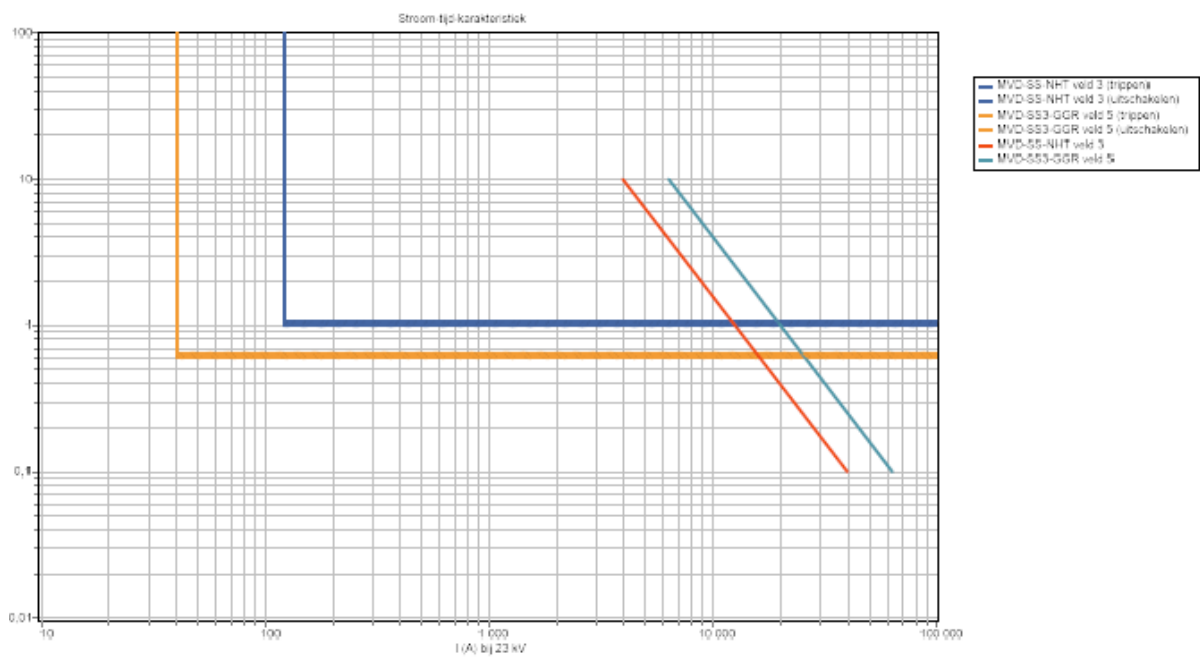
TRANSFORMATORKELDER		SUBSTATION SS3	
<u>TOTALE KERNDORSNEDE AARDELEKTRODE (KOPPER) VEILIGHEIDSAARDING</u>		<u>TOTALE KERNDORSNEDE AARDELEKTRODE (KOPPER) VEILIGHEIDSAARDING</u>	
$A = \frac{1}{K} \sqrt{\ln \frac{\Theta + \beta}{\Theta - \beta}}$	$S = \frac{\sqrt{I_x t}}{k}$ $S = \frac{\sqrt{55000^2 \times 0.3}}{176 \text{ (XLPE)}}$ $S = 171\text{mm}^2$	$A = \frac{1}{K} \sqrt{\ln \frac{\Theta + \beta}{\Theta - \beta}}$ $A = \frac{20000}{226} \sqrt{\ln \frac{300 + 234.5}{20 + 234.5}}$ $A = 92\text{mm}^2$	$S = \frac{\sqrt{I_x t}}{k}$ $S = \frac{\sqrt{20000^2 \times 0.8}}{176 \text{ (XLPE)}}$ $S = 102\text{mm}^2$
$A = \frac{55000}{226} \sqrt{\ln \frac{300 + 234.5}{20 + 234.5}}$ $A = 179\text{mm}^2$	$k \ 22\text{kV} = 20\text{kA}$ $k \ 44.0\text{V} = 55\text{kA}$ <u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>	<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 120mm²</u>	<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 120mm²</u>
<u>TOTALE KERNDORSNEDE AARDELEKTRODE 200mm²</u>		<u>TOTALE KERNDORSNEDE AARDELEKTRODE 100mm²</u>	
<u>TRANSFORMATOR T11 / n.T4-SS3-GGR</u>		<u>TRANSFORMATOR T5-SS3-GGR</u>	
$S = \frac{\sqrt{I_x t}}{k}$ $S = \frac{\sqrt{55000^2 \times 0.3}}{176 \text{ (XLPE)}}$ $S = 171\text{mm}^2$ <u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		$S = \frac{\sqrt{I_x t}}{k}$ $S = \frac{\sqrt{20000^2 \times 0.1}}{159 \text{ (KOPER)}}$ $S = 40 \times 100\text{mm}^2$ <u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 50mm²</u>	
<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERMINGSLEIDING 190mm²</u>		<u>DOORSNEDE SYSTEEM EN</u> <u>BESCHERM</u>	







A10: Selectiviteit studie



12. COMPETENTIES

Analyseren: Deze competentie is aangetoond omdat de informatie gegeven vanuit EQUANS in stappen geanalyseerd. Ten eerste wat was de behoefte van het bedrijf. Aarden van projecten efficiënter willen uitvoeren. Hiervoor moet er werk uit de handen van de engineer genomen worden. Een Plan van Aanpak om de planning en de scope van de opdracht te bewaken. Aarding is een breed begrip, het is afhankelijk van verschillende factoren. Wat voor object moet er geaard worden, wat zijn de belangen en risico's voor de maatschappij bij de afwezigheid van een bliksembeveiliging? De informatie over de opdracht moest voornamelijk uit de NEN komen. Daarnaast heb ik andere boeken en het internet gebruikt. Er moet literatuuronderzoek gedaan worden naar aarding, bliksembeveiliging, potentiaalvereffening en overspanningsbeveiliging. De eisen worden bepaald door de NEN en IEC. Ook de systemen binnen EQUANS worden geanalyseerd, wat zijn de meest gangbare systemen binnen een project van het bedrijf. Onderzoek per onderwerp en deze hoofdstukken samen zijn de basis voor een aardingsmodel van een technische ruimte van een EQUANS project. Het project dat getoetst moest worden Giga Rhino moest ook geanalyseerd worden op de aanwezige systemen, de verschillende leidingen, aardelektrodes en bliksembeveiliging.

Ontwerpen: Samen met mijn begeleiders en de andere leden van team Energie heb ik regelmatig contact gehad over mijn onderwerp. Het is belangrijk om terugkoppeling te krijgen over hoe zij het ontwerpproces zien. Het ontwerp is gemaakt in overeenstemming met bestaande systemen en onderdelen in een technische ruimte van EQUANS. De veiligheid is het allerbelangrijkste bij het ontwerp. Eerst een blokschema gemaakt waarin alles een op de juiste globale plaats in de aardingsvoorziening aan bod kwam. De normen en literatuur opgezocht per blok om de informatie te groeperen. De overspanningsflowchart is conform de eisen van de begeleiders. Er zijn verschillende schema's gemaakt van het ontwerp te verduidelijken.

Daarom is het model getoetst aan de hand van, aanraakveiligheid en thermische kortsluitvastheid. Het model is zo algemeen mogelijk gehouden om ook in de toekomst genoeg ondersteuning te kunnen bieden bij verschillende projecten van het bedrijf. Alle aspecten van de systemen uit een technische ruimte van EQUANS komen aan bod. De normen die gebruikt zijn bij het ontwerp, worden in de hoofdstukken goed gerefereerd. Op deze manier kan een engineer extra onderzoek doen zonder op zoek te hoeven gaan naar de juiste norm.

Realiseren: Deze competentie is aangetoond tijdens de afstudeerstage Het model is opgebouwd uit verschillende verzameling De eisen, de richtlijnen, normen en literatuuronderzoek. Waarvan elk een onderdeel van het model verslaan. Hiervoor heb ik eerst alle informatie, tabellen en formules die in dit scriptie voorkomen verzameld per onderdeel. De normen, documenten en richtlijnen heb ik vastgelegd. Het model is geverifieerd voor de thermische kortsluitvastheid. Er is een model gemaakt om de aanraakveiligheid mee te berekenen in de technische ruimte. Met het geverifieerde model is een bestaand project van het bedrijf getoetst op de aarding, bliksembeveiliging en potentiaalvereffening. Dit proces is gedocumenteerd in dit verslag.

Managen: Een plan van aanpak om de planning, projectgrenzen en activiteiten vast te leggen. Aan de hand van het plan van aanpak heb ik gefocust op de onderwerpen. Toen ik geen contact kreeg met de studiebegeleider, heb ik stagecoördinator en studiecoördinator ingeschakeld. Dit heb ik teruggekoppeld met de bedrijfsbegeleiding. De verschillende versies van dit document beheerd. Aanpassing van de planning gedaan toen bleek dat de eigen deadline van 2 weken voor einddatum in gevaar kwam. Afgesproken om het document in 2 delen op te sturen zo werd de resterende tijd optimaal benut.

Onderzoeken: Het onderzoek is uitgevoerd conform de informatie die gevonden is in NEN1010, NEN50522, IEC 62305, praktijkrichtlijnen 8110 en 1014. Boeken en internetbronnen geraadpleegd zoals "Alles over aarding" en "Netten voor distributie". Uit deze informatiebronnen zijn de meest relevante gegevens voor het bedrijf verzameld. De informatie is samengevat en hieruit is een model en een flowchart ontwikkeld. Op gebieden buiten de scope van deze opdracht zoals EMC en DC aarding wordt aanbevolen extra onderzoek uit te voeren.