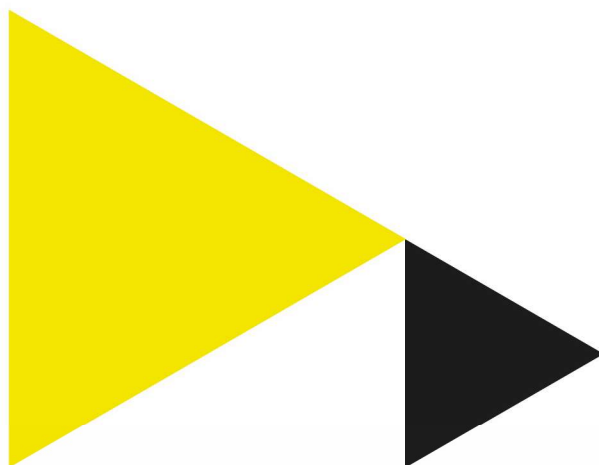


Quickscan lek- en zwerfstromen bij het laden van elektrische voertuigen

Quickscan naar risico's van lek- en zwerfstromen bij het laden van elektrische auto's op locaties met gewapend beton zoals parkeerdekken en parkeergarages.

Onderzoeksgroep Energie en Innovatie
April 2024



Quickscan lek- en zwerfstromen bij het laden van elektrische voertuigen

Quickscan naar risico's van lek- en zwerfstromen bij het laden van elektrische auto's op locaties met gewapend beton zoals parkeerdekken en parkeergarages.

Auteurs

Jos Warmerdam
Rob Schaacke
Edward Heath

Afdeling

Onderzoeksgroep Energie en Innovatie

Datum

23 april 2024

Versie

1.2

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	4
2.	Lek- en zwerfstromen	5
2.1	Ontstaan van lek- en zwerfstromen	5
2.2	Problemen van zwerfstromen	6
3.	Mogelijke oplossingen.....	9
3.1	Voorkomen	9
3.2	Passieve bescherming	11
3.3	Actieve bescherming	11
4.	Conclusies en aanbevelingen	12
4.1	Conclusies.....	12
4.2	Aanbevelingen.....	13
	Literatuurlijst	14
	Bijlage A: Mogelijke Q&A	15
	Bijlage B: Kaders voor laadinfrastructuur	17
	Bijlage C: Corrosie van gewapend beton	19
	Bijlage D: Onderzoeken naar minder lekstroom bij het laden van elektrische voertuigen	20

1. Inleiding

De NAL werkgroep veiligheid wil graag inzicht hebben in de specifieke risico's bij het opladen van elektrische voertuigen en maatregelen die genomen kunnen worden om schade aan gebouwen door lek- en zwerfstromen te voorkomen. In opdracht heeft de HvA een quickscan uitgevoerd naar de recente onderzoeksresultaten en praktijkervaringen met betrekking tot lek- en zwerfstromen bij het opladen van elektrische voertuigen. Hierbij gaat het om laagspanningsinstallaties, en om locaties met gewapend beton (veelal parkeerdekken en parkeergarages).

In deze quickscan is eerst aangegeven hoe lek- en zwerfstromen ontstaan en wat mogelijke problemen zijn, zie hoofdstuk 2. Daarna komen mogelijke oplossingen aan bod in hoofdstuk 3. Vervolgens staan in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen.

Er is ook gevraagd om een mogelijke Q&A op te stellen, deze staat in bijlage A.

2. Lek- en zwerfstromen

Het is belangrijk om eerst een goed onderscheid te maken tussen de termen lek- en zwerfstromen. Deze termen worden in de praktijk nog wel eens door elkaar gebruikt wat verwarring kan geven.

Definities

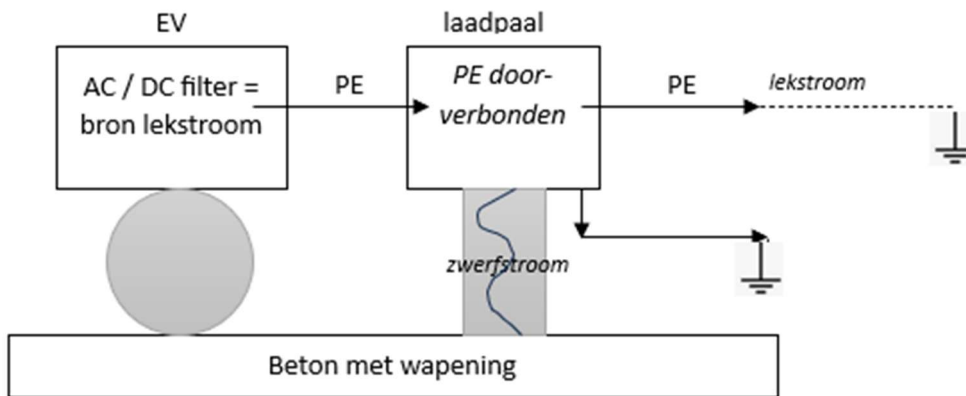
Lekstroom: als er meer stroom de installatie ingaat dan er uitkomt door de stroomvoerende geleiders (fase- en nuldraad), is er sprake van lekstroom. Deze is vrij goed voorspelbaar en wordt via de PE-draad (Protective Earth, beschermingsleiding) afgevoerd. Deze PE-draad is normaal geen stroomvoerende draad. Als deze lekstroom niet via de PE gaat maar een andere weg kiest, met minder weerstand, dan wordt het een zwerfstroom.

Zwerfstromen: dit zijn elektrische stromen die een andere weg nemen dan de gewenste stroomkring.

2.1 Ontstaan van lek- en zwerfstromen

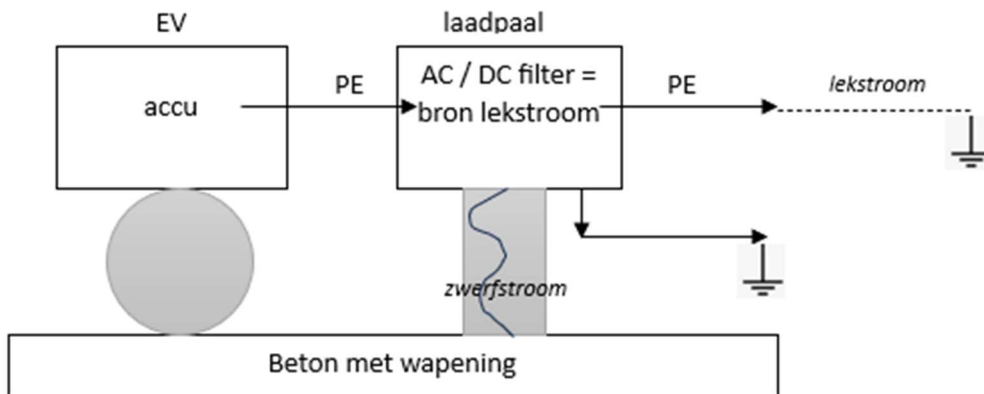
Bij het laden van elektrische voertuigen ontstaan de lekstromen bij het filteren van de verstoringen die ontstaan bij het omzetten van AC (wisselspanning uit het openbare elektriciteitsnet) naar DC (de gelijkspanning van de accu in de auto), of bij het omzetten van het DC spanningsniveau in een DC netwerk. Bij een AC laadpaal kunnen er zowel AC als DC lekstromen ontstaan.

Bij een AC laadpaal vindt de omzetting van AC naar DC plaats in de auto, zoals schematisch is weergegeven in onderstaande figuur 1.



Figuur 1: Schematische weergave van bron van de lekstroom bij AC laadpalen en mogelijke stroompaden.

Bij een DC-laadpaal zit de converter die AC omzet naar DC in de laadpaal, zoals weergegeven in onderstaande figuur 2.



Figuur 2: Schematische weergave van bron van de lekstroom bij DC laadpalen en mogelijke stroompaden.

Als de lekstroom alleen via de PE-kabel kan stromen en zo netjes wordt afgevoerd naar aarde is er geen probleem met zwerfstromen. Als de lekstroom via andere wegen kan stromen, bijvoorbeeld doordat de PE is verbonden met de omkasting of het montageframe van het laadpunt, dan kunnen er zwerfstromen ontstaan in het gebouw.

De lekstroom die door de PE gaat wordt naar de aarde afgevoerd. Dit kan op verschillende manieren wat wordt aangegeven door het aardingsstelsel. Deze aardingsstelsels worden in drie hoofdcategorieën ingedeeld: TN, TT en IT. Bij TN wordt de PE aangeleverd door het netwerkbedrijf, en zal de aarde in beheer zijn bij die netwerkbeheerder. Veelgebruikt in de woningbouw is TN-S waarbij de PE-aarde en de N aan het begin van de installatie worden gesplitst. Bij TT is er zowel een aarding bij de bron als in de eigen installatie. IT aarding wordt gebruikt bij speciale toepassingen zoals gevoelige productieprocessen of operatiezalen.

2.2 Problemen van zwerfstromen

Als lekstromen goed worden afgevoerd is er geen verhoogd risico dat de betonwapening wordt aangetast. Als het echter zwerfstromen worden dan is er wel meer risico op aantasting van de stalen betonwapening. Dit is een extra risico naast de bestaande risico's van aantasting van de betonwapening. Dan ontstaat corrosie (roest) van het metaal waarbij roest meer volume inneemt en het beton gaat scheuren. Ook lost het metaal op waardoor sterkte afneemt (betonrot). Meestal is niet bekend hoe groot de zwerfstromen zijn en waar ze het metaal verlaten, dit wordt pas zichtbaar als het beton gaat scheuren of verkleuren. Ook ondergrondse infrastructuur, zoals kabels en leidingen, kan worden aangetast.

Bestaande risico's

Ook zonder zwerfstromen bestaat er een risico dat de wapening kan gaan corroderen. In de basis is de wapening door het beton beschermd vanwege het aanwezige alkalische milieu. Er kan corrosie ontstaan door:

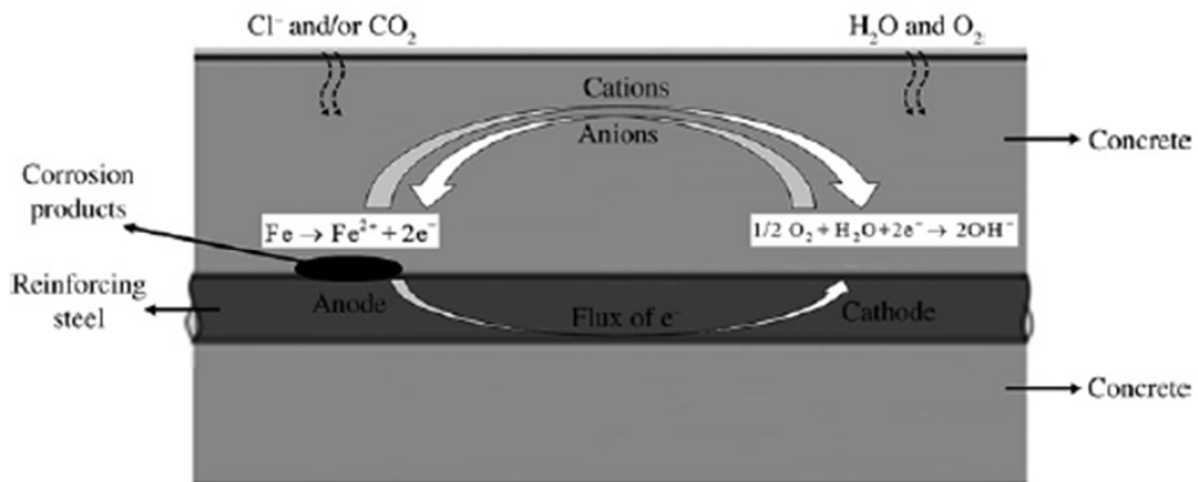
- Carbonatatie (CO₂ dringt naar binnen waardoor de alkalische bescherming vermindert of zelf verdwijnt).
- Chloriden (deze tasten de alkalische bescherming aan).
- Vocht (dit maakt oxidatie makkelijker).

Het corrosieproces verloopt sneller bij hogere temperatuur en bij hogere vochtigheid. Bij totale waterverzadiging verloopt het corrosieproces weer langzamer, door gebrek aan zuurstof. Bij matige vochtigheid verloopt corrosie door chloride sneller dan corrosie door carbonatatie (zie ook bijlage C). Bij parkeergarages spelen - naast gebreken die in de ontwerp- en bouwfase zijn ontstaan - ook diverse gebruiksomstandigheden een grote rol bij het ontstaan van met name corrosie van wapening in beton. De

snelheid waarmee corrosieprocessen verlopen hangt namelijk in belangrijke mate af van de mate waarin vocht aanwezig is. En vocht is bij parkeergarages eigenlijk altijd wel in ruime mate aanwezig. Zelfs bij inpandige garages rijden auto's ruimschoots voldoende vocht naar binnen om eenmaal aanwezige corrosieprocessen gaande te houden. Bij inpandige garages of parkeerkelders speelt daarnaast ook de waterdichtheid een grote rol. Wanneer scheuren in de betonconstructie aanwezig zijn, is deze waterdichtheid meestal niet meer aan de orde en ontstaat – naast de negatieve invloed op wapeningscorrosie – ook veel overlast voor de gebruikers (VBR, 2021).

In figuur 3 staat een schematische weergave van de corrosie van wapening in beton. Aan de anode-kant gaat ijzer uit het staal in oplossing en vormt zich roest. Aan de kathode-kant gaan de elektronen uit het metaal. Een continue stroom van 1 A kan zo per jaar 9 kg ijzer oplossen. Als de zwerfstromen vanuit het beton naar het metaal gaat is er sprake van een kathode reactie (oxidatie), als de zwerfstromen het metaal verlaat is er sprake van een anodische reactie (metaal lost op).

De externe indringing van CO₂, Chloor en water staat ook aangegeven.



Figuur 3: Schematische weergave van corrosie van wapening in beton (Zhipei Chen, 2017).

Als er geen stroom van buiten komt, is de anodische stroom vanuit het metaal gelijk aan de kathodische stroom naar het metaal. Loopt er stroom vanuit een externe bron door de elektrolyt naar het metaal, dan neemt de kathodische reactie op het metaal toe in sterkte en de anodische af; dit is het principe van kathodische bescherming. Loopt er andersom stroom vanuit het metaal naar de elektrolyt, dan wordt de anodische reactie sneller. Dit kan het geval zijn bij zwerfstroom-beïnvloeding (Betonvereniging, 2019)

Onderzoeken naar corrosie van staal door AC zwerfstromen geven aan dat een veilige grens 30 A/m² is. En dat bij AC het risico lager is dan bij DC, in de literatuur wordt aangegeven dat de schade door AC minder dan 1% is van een gelijke DC stroom (Zhipei Chen, 2017). Bij AC wisselt de richting van de stroom steeds waardoor deze zichzelf grotendeels compenseert, bij DC blijft de stroom steeds dezelfde kant op stromen.

Bij bidirectioneel gebruik van de accu verandert de richting van de stroom door de filters, en of dat meer of minder lekstroom geeft hangt af van de impedantie van het netwerk erachter. Als de accu als bron fungeert is er een hogere spanning dan bij laden en ontstaat er ook meer lekstroom.

Andere mogelijke bronnen van zwerfstromen

Naast elektrische laadpalen komen in gebouwen steeds meer apparaten waar ook mogelijk lekstromen ontstaan, zoals omvormers bij PV panelen en bij vaste grootschalige batterijen (BESS: battery energy storage system).

In industriële omgevingen gelden andere regels voor emissie en immuniteit waardoor hogere zwerfstromen kunnen voorkomen, en worden vaak andere aardingsstelsels (TT) gebruikt dan in de kantoor- en woningbouw.

Metingen aan lek- en zwerfstromen

Vanuit de literatuur zijn vrijwel geen metingen gevonden aan lek- en zwerfstromen bij laadpalen.

Bij asr in Utrecht is er gemeten met Ag/AgCl referentie-elektroden in het betonnen parkeerdek, waar circa 250 AC-laders en 3 DC-laders staan. Ook is een PV-systeem boven op het parkeerdek geplaatst van circa 1 MWp. Uit de metingen met de referentie-elektrode bleek dat de kans op corrosie kleiner dan 5% is. Dit is mede te danken aan de goede onderlinge geleiding van alle metalen constructiedelen en de 16 bliksemafleiders naar de bodem (asr, Kropman, VECS, & HvA, 2024).

3. Mogelijke oplossingen

Er zijn grofweg drie oplossingsrichtingen:

- Voorkomen
- Passieve bescherming
- Actieve bescherming

3.1 Voorkomen

Voorkomen van het ontstaan van de lekstromen: voorkomen betekent dat de producten lekstroomloos moeten worden ontworpen. Dit hoeft nu niet, er zijn geen normen die dit voorschrijven. Er is wel literatuur gevonden waarin verschillende oplossingen worden gegeven (zie bijlage D).

Voorkomen dat lekstromen zwerfstromen worden: dit kan door goed ontwerp van de (elektrische) installatie, met toepassing van het juiste aardingsstelsel.

In de huidige wet- en regelgeving staan al maatregelen die hier op aansluiten. Belangrijk is de NEN 1010:2020, en specifiek voor DC-installaties de NPR 9090:2024. Dit zijn de meeste recente versies van deze normen. De NEN 1010 bestaat al tientallen jaren en is in die jaren meermaals aangepast. Bij gebouwen wordt de installatie aangelegd volgens de dan geldende versie van de norm. Bij oudere gebouwen kan de installatie dus afwijken van wat er in de huidige norm staat, dit hoeft niet te betekenen dat deze installaties onveilig zijn (NEN 1010 6.5).

Hieronder worden de relevante aspecten van de huidige normen kort toegelicht. In bijlage B staan nog wat breder de kaders voor laadinfrastructuur weergegeven.

NEN 1010:2020 Elektrische installaties voor laagspanning (NEN, NEN 1010:2020 Elektrische installaties voor laagspanning, 2020)

Laadvoorzieningen voor elektrisch aangedreven voertuigen maken onderdeel uit van de elektrische voorziening van een gebouw. Voor bouwwerkinstallaties voor gas en elektra gelden per 1-1-2024 eisen uit het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). Als een bouwwerk een elektriciteitsvoorziening heeft, dan moet deze voldoen aan de veiligheidsregels van NEN 1010 bij lage spanning (Installaties voor gas en elektra, 2024).

In deze NEN-norm zijn eisen opgenomen voor de veilige installatie van laadpalen. Kort samengevat komen deze op het volgende neer:

- Elke socket is voorzien van een eigen (individuele) beveiliging tegen aardfouten (AC- en DC-lekstromen). Met ten hoogste 30 mA voor AC, en 6 mA voor DC. Deze RCD mag niet worden toegepast om andere elektrische toestellen te beschermen.
- De eisen betreffende het terugleveren van elektrische energie vanuit elektrische voertuigen aan het elektriciteitsnet, zijn in overweging. Inductief laden wordt niet behandeld.
- In een TN-stelsel moet de eindgroep die een aansluitpunt voedt, worden uitgevoerd als een TN-S-stelsel.

NPR 9090:2024 Praktijkrichtlijn DC-installatie voor laagspanning (NEN, 2024)

Als aanvulling op de NEN 1010 is voor gelijkspanning een en ander specifiekier uitgewerkt in de NPR 9090. Paragraaf 5.6 gaat over Bescherming tegen corrosie. Kort samengevat staan hieronder de belangrijkste punten:

Periodiek behoort inspectie van de aardelektrode plaats te vinden (zie NEN 1010:2020 6.5). Na de inspectie bij oplevering moet er ook periodiek een inspectie plaatsvinden. De frequentie van de periodieke inspectie voor de aardelektrode behoort te zijn gebaseerd op een RIE (risico-inventarisatie en -evaluatie).

Bij risicodragende installaties behoort de installatie ook te worden voorzien van een automatisch aardlekbewakingssysteem en aardfoutbewakingssysteem. Risicodragende installaties zijn te herkennen aan bijvoorbeeld

- Aanwezigheid van DC-toepassingen (zowel vast geïnstalleerd als koppelbaar)
- Verplaatsbare opwekeenheden
- Gekoppelde aardingsstelsels
- TT-installaties

DC-lekstromen in aardvoorzieningen kunnen worden voorkomen door het aanbrengen van anti-parallel geschakelde diodes in de verbindingsleidingen naar aarde. De diodes zijn alleen nodig bij meervoudige bronnen. In het geval van meerdere bronnen zijn er twee structuren mogelijk:

- TN-SCD;
- TN-SCDD.

Vergelijkbaar hiermee is een PCR (Polarization Cell Replacement) die toegepast wordt in stallen en chemische industrie voor kathodische bescherming, maar dit is een dure oplossing.

DC Industrie2 System Concept

In Duitsland is er voor DC een open standaard ontwikkeld, de DC Industrie2 System Concept, gepubliceerd door de Open DC Alliance. Daarin gaat paragraaf 11.5 over Corrosie en zwerfstromen, maar deze is meer gericht op industriële omgevingen.

Nog openstaande punten

Volgens de NEN 1010 wordt de aardlek dus wel begrensd, maar er zijn alleen eisen aan individuele laadpalen. Bij grote aantallen laadpalen op een locatie kan de totale aardlek optellen tot hogere stromen dan afzonderlijk per laadpaal. Bijvoorbeeld als 100 laadpalen gelijktijdig laden zou er 5 mA(dc)/laadpaal = 500 mA(dc) totaal kunnen lopen aan lek- of zwerfstromen, met een hoger risico op corrosie. Hier is geen regelgeving voor.

In de norm NEN 1010 staat dat de aardleiding niet mag worden onderbroken. Een oplossing bij DC is echter om de binnenkomende aarde van de lokale aarde te scheiden met diodes. Als er geen scheiding is dan blijft er namelijk een risico op lekstromen. DC laders moeten dan ook bij voorkeur galvanisch gescheiden zijn, zowel bij aansluiting op een DC-net als op een AC-net.

In de norm NEN 1010 staat ook dat bij het uitschakelen (scheiden) van apparaten de aarde verbinding niet mag worden verbroken, dan blijft er dus een verbinding over die lekstromen kan geleiden.

Als er geen eigen aardpen is, en de aarding is volgens TN-S, dan worden de lekstromen naar buiten het eigen terrein afgevoerd. Het is wel van belang om te controleren hoe aardes zijn doorverbonden, en of er toch niet per ongeluk een TT stelsel is gemaakt (bijvoorbeeld als er een aardpen is bijgeslagen).

Als er wel een eigen transformator is, en/of er is een TT stelsel, dan is er een eigen aardpen. Dan moet er nog steeds volgens TN-S worden aangesloten, maar als er dan een lekstroom is kan die aardpen oplossen. Regelmatige inspectie van de aardpen is dan nodig om dat in de gaten te houden, bijvoorbeeld 2-jaarlijks. Als de lekstromen naar buiten het terrein worden afgevoerd, dan kan daar de aardpen oplossen, maar dat is dan veelal de verantwoordelijkheid van de netwerkbeheerder.

In de praktijk komt het voor dat de omkastingen van de laadpunten zodanig worden aangesloten dat de PE met het frame verbonden is, lekstromen kunnen zo zwerfstromen worden. De aansluiting moet zo zijn dat pas bij de aardpen PE en de aarding van de omkasting bij elkaar komen en dat er niet ergens onderweg een verbinding wordt gemaakt.

3.2 Passieve bescherming

Als een lekstroom niet te voorkomen is, zijn er passieve maatregelen mogelijk om te zorgen dat niet het ijzer gaat oplossen (met een opofferingselektrode) of om de lekstroom te verminderen (met diodes):

- Opofferingselektrode. Deze vorm van kathodische bescherming betreft het gebruik van offeranoden en kan men de potentiaal verlagen op kwetsbare plaatsen waardoor men zwerfstroomcorrosie kan bestrijden (kcbi.nl). Deze opofferingsanode zal dan in plaats van het ijzer in de wapening langzaam oplossen.
- Spanningsdrop met diodes bij DC installaties (zoals beschreven in NPR 9090:2024).

3.3 Actieve bescherming

Een andere beschermingsmethode is actieve bescherming, waarbij een aardlekschakelaar de lekstroom per laadpunt beperkt maar niet geheel voorkomt, en door een tegenstroom te sturen kun je lekstroom nog sterker beperken.

- Begrenzen, zoals al in paragraaf 3.1 beschreven: De standaardoplossing is een aardlekschakelaar. Een type B aardlekschakelaar meet de lekkage van de stroom en schakelt de installatie uit als de lekkage boven een ingestelde waarde (30 mA(AC) en 6 mA(DC)) komt. De rol is de installatie uitschakelen en dan het probleem detecteren en oplossen. Een kleinere lekstroom dan 6 mA is echter nog steeds mogelijk, en bij gebruik van meerdere laadpunten wordt de cumulatieve stroom niet actief begrensd.
- Tegenstroom: bij deze vorm van kathodische bescherming wordt er een tegenstroom door het beton gestuurd zodat de kathodische reactie sterk gereduceerd wordt.

4. Conclusies en aanbevelingen

Er is een quickscan uitgevoerd om meer inzicht te hebben in de specifieke risico's bij het opladen van elektrische voertuigen en maatregelen die genomen kunnen worden om schade aan gebouwen door lek- en zwerfstromen te voorkomen. Hierbij gaat het om laagspanningsinstallaties, en om locaties met gewapend beton (veelal parkeerdekken en parkeergarages).

Lekstroom: als er meer stroom de installatie ingaat dan er uitkomt door de stroomvoerende geleiders (fase- en nuldraad), is er sprake van lekstroom. Deze is vrij goed voorspelbaar en wordt via de PE-draad (Protective Earth, beschermingsleiding) afgevoerd. Deze PE-draad is normaal geen stroomvoerende draad. Als deze lekstroom niet via de PE-gaat maar een andere weg kiest, met minder weerstand, dan wordt het een zwerfstromen.

Zwerfstromen: dit zijn elektrische stromen die een andere weg nemen dan de gewenste stroomkring.

4.1 Conclusies

De lekstromen bij het laden van elektrische voertuigen worden veroorzaakt door de filters van de laders. Door het juiste aardingsstelsel toe te passen (TN-S) worden deze lekstromen afgevoerd naar de aardpen. Hierdoor kan de aardpen oplossen en moet daarom voor de juiste werking periodiek gecontroleerd worden.

Als deze lekstromen niet goed worden afgevoerd en er verbindingen met de wapening zijn, kunnen zwerfstromen ontstaan. Deze zwerfstromen kunnen het risico op betonrot verhogen, waarbij de wapening van het beton wordt aangetast en de sterkte vermindert. Ook andere infrastructuur zoals kabels en leidingen kunnen worden aangetast. De grootte van het risico is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke factoren zijn correcte aansluiting van de installatie, het toegepaste aardingsstelsel, mogelijke verbindingen tussen de geleidende delen, en de staat van onderhoud.

AC-laadpalen kunnen zowel AC als DC lekstromen veroorzaken, bij DC-laadpalen gaat het om DC lekstromen. Bij AC-stromen is het risico lager dan bij DC-stromen, in de literatuur wordt aangegeven dat de schade door AC minder dan 1% is van een gelijke DC stroom.

Om de risico's en grootte van de lekstromen te begrenzen zijn in de NEN 1010 eisen opgenomen, zoals:

- Elke socket is voorzien van een eigen (individuele) beveiliging tegen aardfouten (AC- en DC-lekstromen). Met ten hoogste 30 mA voor AC, en 6 mA voor DC.
- In een TN-stelsel moet de eindgroep die een aansluitpunt voedt, worden uitgevoerd als een TN-S-stelsel.

Bij grote aantallen laadpunten op een locatie is er een hoger risico op betonrot omdat de lekstroom per laadpunt dus wel begrensd wordt (AC op 30 mA en DC op 6 mA) maar het totaal aan lekstromen niet. Door een goed ontwerp en uitvoering van de installatie zijn de risico's te minimaliseren: de lekstroom wordt naar de aardpen afgevoerd en er ontstaan geen zwerfstromen door de wapening.

Door een beter ontwerp van de laders, in het voertuig of in de laadpaal, is de lekstroom te beperken, maar dit wordt nog niet afgedwongen door huidige regelgeving.

Met passieve en/of actieve methoden zijn de zwerfstromen, of de mogelijke effecten van zwerfstromen, te bestrijden. Wat de beste oplossing is voor een specifieke locatie is hangt van meerdere factoren af en is niet op voorhand te geven en moet door een deskundige worden bepaald.

4.2 Aanbevelingen

Bij het ontwerp van en bij wijzigingen aan de elektrische installatie door de elektrische installateur is het belangrijk dat er aandacht is voor lek- en zwerfstromen, zodanig dat het risico op zwerfstromen minimaal is.

Stel een handreiking voor de elektrische installateur op, met een checklist waarin minimaal opgenomen:

- De gebruikte aarding van het gebouw.
- Het type laadtechnologie dat wordt toegevoegd.
- De actualiteit van de normen.
- Overzicht van de geleidende delen in het gebouw waar de zwerfstromen langs kunnen (met eventueel aanwezige bliksemafleiders).
- Mogelijke andere bronnen van lekstromen zoals PV systemen en vaste batterijen (BESS).
- Zijn er nog aanpassingen nodig, en wat zijn nog eventuele risico's.
- Is er passieve en/of actieve bescherming nodig?
- Benodigde periodieke inspecties.
- Duidelijkheid over de verantwoordelijkheid van de installateur, van de opdrachtgever en/of gebouweigenaar en van de leverancier/fabrikant.
- Borging van de kennis.

Instructies van leveranciers moeten zodanig zijn dat risico op zwerfstromen minimaal is. Bijvoorbeeld dat de aarding van de omkasting gescheiden is van de PE-aarde.

Meer onderzoek is nodig naar hoe groot de lekstromen en zwerfstromen in de praktijk zijn. Maak daarbij onderscheidt naar type gebouwen en leeftijd.

Stel ontwerpeisen aan laders zodanig dat kans op lekstromen minimaal of zelfs afwezig is. Of zorg voor strengere normen dan de huidige 30 mA(AC) en 6 mA(DC).

Literatuurlijst

- (sd). Opgehaald van kcbi.nl: <https://kcbi.nl/IntroductieCorrosieUitgebreid.pdf>
- asr, Kropman, VECS, & HvA. (2024). *Eindverslag VAP-DC project*.
- Betonvereniging. (2019, 9). Opgehaald van www.betonvereniging.nl:
<https://www.betonvereniging.nl/media/16656/dictaat-kathodische-bescherming-09-2019.pdf>
- Chen, Z., Koleva, D., & Breugel, K. v. (2017, 11). Opgehaald van researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/320969257_A_review_on_stray_current-induced_steel_corrosion_in_infrastructure
- CPsupplies. (sd). *CPS-RZxx-Productsheet-V1904*. Cathodic protection supplies.
- Installaties voor gas en elektra*. (2024). Opgehaald van Informatiepunt Leefomgeving:
<https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/nieuwbouw/rijksregels/installaties-gas-elektra/>
- NEN. (2020). *NEN 1010:2020 Elektrische installaties voor laagspanning*. Delft: NEN.
- NEN. (2024). *NPR 9090:2024 Praktijkrichtlijn DC-installatie voor laagspanning*. Delft: NEN.
- VBR. (2021). Opgehaald van www.vbr.nl: <https://www.vbr.nl/3-duurzaam-onderhoud-van-parkeergarages-betonreparaties>
- Zhipei Chen, D. K. (2017). A review on stray current-induced steel corrosion in infrastructure. *Corrosion Reviews*, 397-423.

Bijlage A: Mogelijke Q&A

Ontwikkeling zwerfstromen

1. Wat is vanuit de praktijk al bekend over de grootte van de AC- en DC-zwerfstromen bij het opladen van voertuigen?

A: Door de voorgeschreven aardlekschakelaars zijn de stromen wel al enigszins beperkt, namelijk tot 30 mA(AC) en 6 mA(DC) per laadpunt. Maar er is geen voorschrift over een cumulatieve lekstroom.

2. Is het risico van de zwerfstromen afhankelijk van het laadvermogen?

A: Vooral afhankelijk van hogere spanning, en minder afhankelijk van stroomsterkte.

3. Verschillen de risico's bij AC of DC laden of bij V2G?

A: Ja. Bij AC laden is kans op schade minder dan 1% dan bij DC (bron:

[CorrosionReviewsAreviewonstraycurrent-inducedsteelcorrosionininfrastructure.pdf](#))

Bij V2G zal het aantal uren dat er stroom loopt toenemen en neemt het risico evenredig toe. Bij terugleveren zal de spanning hoger zijn en daardoor zal er ook meer lekstroom zijn.

4. Hoe cumuleert het risico voor de constructie wanneer er meerdere laders op één locatie zijn (bijvoorbeeld in een parkeergarage)

A: Als de installatie goed ontworpen is en de lekstromen goed worden afgevoerd, dan neemt het risico op corrosie niet toe. Als er echter wel zwerfstromen mogelijk zijn, dan neemt het risico toe met meerdere laders.

5. Wat is het bereik van de zwerfstromen (is er een maximum-afstand tussen laadpunt en betonwapening waarop ze nog impact hebben?)

A: Uit de literatuur is bekend dat dit van (te) veel factoren afhangt om hier een eenduidig antwoord op te geven.

Effect op constructie van een gebouw

6. Onder welke omstandigheden en op welke termijn treedt corrosie van betonwapening op?

A: Voor corrosie moeten er drie componenten zijn: anode, kathode en electrolyt. Ook zonder zwerfstromen is er al een risico op aantasting van de wapening door carbonatatie en/of chloriden. De snelheid van corrosie hangt sterk af van de hoeveelheid vocht.

7. Wat is de invloed van de betonconstructie op de impact van de zwerfstromen?

A: Hangt af van de samenstelling van het beton (chloride gehalte), mogelijke beschadigingen en waterdichtheid.

8. Wat is de invloed van het materiaal op de impact van de zwerfstromen (is er bijvoorbeeld verschil tussen prefab-beton en ter plaatste gestort beton)?

A: Hangt af van de samenstelling (onder andere chloride gehalte), mogelijke beschadigingen en waterdichtheid.

9. Op welke termijn wordt de bouwkundige constructie door de zwerfstromen onveilig?

A: Dit is vooraf niet precies aan te geven. Dit moet blijken uit periodieke inspecties, en analyse door deskundige partij wat de oorzaak van de corrosie is. Als er al zwerfstromen zijn is het veelal een termijn van vele jaren voor er zichtbare problemen optreden.

Bijlage B: Kaders voor laadinfrastructuur

In Nederland zijn er verschillende regelgevingen en normen van toepassing op distributiebedrijven, met name op het gebied van elektriciteitsdistributie. Enkele belangrijke regelgevende kaders omvatten:

1. **Elektriciteitswet 1998 (E-wet):** De Elektriciteitswet reguleert de productie, het transport en de levering van elektriciteit in Nederland. Het heeft betrekking op de rollen van producenten, netbeheerders en leveranciers, evenals de verplichtingen en bevoegdheden van elk van deze partijen.
2. **Nederlandse Mededingingsautoriteit (Autoriteit Consument en Markt - ACM):** De ACM houdt toezicht op de energiesector en zorgt ervoor dat de regels met betrekking tot mededinging, consumentenbelangen en marktwerking worden nageleefd. Ze spelen een belangrijke rol bij het handhaven van eerlijke concurrentie op de energiemarkt.
3. **Netcode Elektriciteit:** De Netcode Elektriciteit is een technische code die de werking van het elektriciteitsnet regelt. Deze bevat gedetailleerde technische specificaties en operationele procedures waaraan netbeheerders en andere partijen in de sector moeten voldoen.
4. **Aansluit- en transportovereenkomsten:** Distributiebedrijven hebben overeenkomsten met netbeheerders voor het transport van elektriciteit of gas. Deze overeenkomsten bevatten vaak specifieke voorwaarden met betrekking tot aansluitingen, capaciteiten, tarieven en andere operationele aspecten.

Het is belangrijk op te merken dat deze wet- en regelgeving regelmatig kan worden bijgewerkt of aangepast. Voor de meest actuele informatie en specifieke details met betrekking tot de distributie van elektriciteit in Nederland, is het raadzaam contact op te nemen met relevante overheidsinstanties zoals de Autoriteit Consument en Markt (ACM) of het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Vehicle-to-Grid (V2G) is een technologie waarbij elektrische voertuigen kunnen fungeren als mobiele energieopslag en -leveringsbronnen. Wanneer V2G wordt toegepast, kunnen elektrische voertuigen stroom terugleveren aan het elektriciteitsnet wanneer dat nodig is. In Nederland is de regelgeving met betrekking tot V2G nog in ontwikkeling, maar er zijn enkele algemene regelgevende kaders die van toepassing kunnen zijn:

1. **Elektriciteitswet 1998 (E-wet):** De Elektriciteitswet vormt de basis voor de regulering van de elektriciteitsmarkt in Nederland. Als V2G wordt geïntegreerd in de elektriciteitsmarkt, zou de Elektriciteitswet waarschijnlijk relevante bepalingen bevatten met betrekking tot de rollen en verantwoordelijkheden van verschillende partijen, waaronder netbeheerders en energiebedrijven.
2. **Netcode Elektriciteit:** De Netcode Elektriciteit zou ook relevante bepalingen kunnen bevatten met betrekking tot V2G, met name met betrekking tot technische specificaties en operationele procedures voor het aansluiten van V2G-systemen op het elektriciteitsnet.
3. **Autoriteit Consument en Markt (ACM):** De ACM houdt toezicht op de energiemarkt in Nederland en kan betrokken zijn bij de regelgeving met betrekking tot V2G, vooral als het gaat om de tarifiering, markttoegang en mededingingsaspecten.
4. **Europees kader:** Aangezien V2G een innovatieve technologie is, kunnen ook Europese richtlijnen en kaders van invloed zijn op de implementatie ervan. Europese regelgeving, zoals de Europese Elektriciteitsrichtlijn, kan bepalingen bevatten die relevant zijn voor V2G in een bredere context. Requirements for Generators 2.0. Deze ligt nu bij ACER en moet eind 2024 in werking treden.
5. **ISO 15118-20.**

Het is belangrijk om te benadrukken dat de regelgeving met betrekking tot V2G zich snel ontwikkelt en kan variëren afhankelijk van de specifieke implementatie en de betrokken partijen. Voor de meest actuele informatie en specifieke details met betrekking tot V2G-regelgeving in Nederland is het aan te raden

contact op te nemen met relevante instanties zoals het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, de ACM, of andere betrokken stakeholders.

Regelgeving veiligheid

In Nederland passen we de Nederlandse Praktijk Richtlijn NPR 3299 'Veilig werken bij het laden van tractiebatterijen' toe. Ook houden we ons aan de ATEX, de Europese richtlijnen op het gebied van explosiegevaar onder atmosferische omstandigheden. Deze richtlijnen bevatten regels voor het inrichten van laadruimten en laadplekken. Ook worden in de NPR 3299 mogelijke risico's omschreven, onder andere op het gebied van milieu, brand, explosie en gezondheid. Om bijvoorbeeld een heftruck veilig op een acculaadstation op te laden, zijn dit de belangrijkste richtlijnen uit de NPR 3299:

- Zorg tijdens het oplaadproces voor een goede en naar de buitenlucht toe geventileerde ruimte. Breng hiervoor een goede ventilatie aan door de luchtaanvoeropeningen zo laag mogelijk en luchtafvoeropeningen zo hoog mogelijk in een ruimte te monteren.
- Roken en open vuur is verboden in de nabijheid van het laden van accu's. Geef dit duidelijk aan door de juiste pictogrammen op goed zichtbare plaatsen aan te brengen.
- Voorkom direct invallend zonlicht.
- Gebruik de ruimte en de directe omgeving ervan uitsluitend voor het opladen van accu's.
- Zorg voor een goede visuele inspectie door elektrische voertuigen, accu's en kabels periodiek te laten keuren.
- Laat uitsluitend vakbekwame en ervaren medewerkers de oplaadwerkzaamheden uitvoeren (o.a. af-/aansluiten van de kabels).
- Zorg voor voldoende brandbestrijdingsmiddelen van het juiste type (zoals een brandblusser).
- Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen.

Hierin staan dus geen richtlijnen gerelateerd aan lek- danwel zwerfstromen.

Bijlage C: Corrosie van gewapend beton

Reinforced concrete (RC) structures serve as the basic composite material for modern civilisation. This composite material is used to construct industrial buildings, energy and transportation infrastructure, and social facilities. The unique properties of RC make it possible to implement any technical and architectural solution and construct buildings of virtually any size, form, and function.

RC is a durable material with an expected repair-free service life of up to 100 years, according to EN 1991 (2002–2006 Eurocode 1: Actions on structures). However, there have been numerous cases, when such structures required maintenance long before the end of the design service life. Without timely and proper maintenance, RC structures are prone to collapse. The most common cause of premature destruction of RC structures is the corrosion of reinforcements [1]. Corrosion is most often induced by chlorides being the components of salt water and antifreeze reagents, as well as products of the chemical industry [2].

Carbonation of concrete is also a common cause of corrosion of steel reinforcement in concrete [3]. The destruction of RC structures proceeds in several stages, the most common being the following [4]: loss of passivity, the cracking and flaking of the protective layer accompanied by impaired adhesion between the reinforcements and the concrete, and finally, collapse. At the moment, countries with developed market economies spend up to 3–5% GPD to mitigate the consequences of the corrosion of steel reinforcement bars [5]. One of the main tasks facing studies of metal corrosion in the 21st century is to reduce these costs.

The corrosion of steel reinforcement bars can be minimized by adjusting the composition of concrete (selecting the type of cement, additives, and corrosion inhibitors) and proper construction works. These measures provide for the primary protection of RC during the manufacturing stage. The secondary protection (polymer and cement coatings, hydrophobisators, migrating corrosion inhibitors) is applied after manufacturing and during operation in corrosive environments.

Bron: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/9/3421>.

Bijlage D: Onderzoeken naar minder lekstroom bij het laden van elektrische voertuigen

Control Design of a 99% Efficiency Transformerless EV Charger Providing Standardized Grid Services, Liwei Zhou, (<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9601271>)

Abstract: A nonisolated DC charger is proposed for electric vehicle (EV) battery system. The leakage current can be reduced by the novel charging system without bulky transformer. A zero sequence voltage control method is developed to stabilize the common-mode voltage, thus, reduce the leakage current. The proposed fast charger includes two energy conversion stages: DC–DC converter for battery side control; DC–AC converter for grid interface and common-mode voltage control. The parameters of the system with the LCL filter are analyzed and optimized for a better performance of grid interface. Grid service functions are designed for the EV charger to provide grid-voltage/frequency compensations. High power (22 kW) and high efficiency ($> 99\%$) are achieved with low-leakage current (< 20 mA). The experiments are implemented to verify the proposed EV charger system.

Dual Inverter Integrated DC Charging with Minimal Leakage Current Generation (<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9806984>)

Abstract: Electric vehicles are gaining traction as an alternative to internal combustion engine vehicles, but the high cost and low availability of charging electronics and infrastructure are persisting problems. The ability to connect directly to DC micro grids to charge can potentially alleviate this problem, while also bolstering the performance of the micro grid. The dual inverter drive, which can perform integrated charging with a DC grid without additional hardware, is analyzed in terms of common-mode voltage generation and charging efficiency. The dual inverter integrated charger is experimentally shown to charge at up to 97.9% efficiency from a DC grid with under 5MIU (measurement indication units) leakage current generation, allowing for standard compliant non-isolated DC charging.

Analytic calculation of touch and leakage currents of non-isolated EV chargers using a fast common mode calculation method and non-ideal passive component models | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9907103>.

Abstract: Non-isolated charging systems suffer from tremendous touch currents due to the significant extension of the common mode coupling path by the electric vehicle. Since safety limits are very tough, the selection of converter topology, modulation scheme and filters with respect to touch current behavior is a very ambitious process. With the aim to ease integral system design, research is done for common mode analysis methods, eliminating the demand for long duration time domain simulations. A time saving method to analyze the touch current behavior in common mode domain is applied on a single stage charging system setup by a 3-level converter, filter system and a major coupling path. Furthermore, this paper improves that time-saving failure current prediction method by including the influence of non-ideal passive component models on the calculation result. All calculation results are compared to laboratory measurements. Border conditions from corresponding standards are used to define the required frequency range. Besides the touch current, which typically occurs during the failure condition of a broken protective earth conductor, the leakage current flowing in the protective earth conductor during normal operation is analyzed. Finally, this paper points out the influence of an internal common mode bypass via the filter system on the touch and leakage current.

Leakage current discrimination and masking from upstream ground fault protection devices during electric vehicle charging (researchgate.net)

March 2012

An integrated ground fault protection method inside a plug-in electric vehicle charger is proposed to address the potential interaction of leakage current produced by electric vehicles or plug-in hybrid electric vehicles and upstream ground fault protection devices. This method incorporates the ability to determine the amount of capacitive leakage current generated from a vehicle and the actual ground fault current present utilizing the measured residual current and line voltage. With the determined capacitive leakage current and other known elements, appropriate leakage current masking can be applied to prevent nuisance tripping of upstream ground fault protection devices and provide lower trip thresholds in the electric vehicle charging industry.

Leak Measurement for EV chargers (environmentalengineering.org.uk)

Since 2016, IEC standards and more specifically IEC 62955 / IEC 62752, require the detection of a direct leakage current at 6 mA DC to avoid the home Residual Current Device (RCD) Type A being ineffective. This effect, called “the blinding effect”, appears when an EV develops an insulation fault.

EV architecture integrates a battery pack, powered by Direct Current (DC), which can generate a leakage current that can deactivate a home RCD. To protect the RCD and avoid the need to install an RCD type B in the electrical panel of home EV owners, EV chargers include a device to detect the DC leakage current.

Leakage Current Detection

This detection is the role of a new leakage current sensor based on open-loop fluxgate technology. Called the CDSR, the sensor is innovative, extremely compact and safe, allowing manufacturers to optimise the electronic design of their charger products.