

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

ONDERZOEK ZWAARDER BELASTEN

Potentie van technische oplossingen voor het congestievraagstuk

INHOUDSOPGAVE

Management samenvatting	03
Woordenlijst	11
1. Introductie	15
1.1 Aanleiding	15
1.2 Onderzoeksvragen	16
1.3 Onderzoeksaanpak	17
2. Het Nederlandse elektriciteitsnet	19
2.1 Opbouw van het net	19
2.2 Betrouwbaarheidseisen en impact op het netontwerp	22
2.3 De impact van de energietransitie op het Nederlandse elektriciteitsnet	26
3. Analyse hoogspanningsnet	28
3.1 Klantinspanningsproces: bepaling van capaciteit	29
3.2 Huidige en geprognoseerde benutting van het net	32
3.3 Analyse technische oplossingen	37
3.4 Algemene bevindingen	64
4. Analyse tussen- en middenspanningsnet	66
4.1 Huidige benutting van het net	67
4.2 Analyse van technische oplossingen	70
5. Analyse laagspanningsnet	82
5.1 Congestieproblematiek en wachtrijen	82
5.2 Huidige benutting van het net	85
5.3 Analyse technische oplossingen	87
6. Conclusies en aanbevelingen	93
6.1 Hoogspanningsnet	93
6.2 Tussen- en middenspanningsnet	101
6.3 Laagspanningsnet	104
Appendix A - Overige technische oplossingen	105
Appendix B - Beoordelingsmethodiek technische oplossingen	113

MANAGEMENT SAMENVATTING

Inleiding

Nederland kampt op grote schaal met netcongestie, dit belemmert de economische en maatschappelijke ontwikkelingen en kost naar schatting 40 miljard euro per jaar¹. Er is daarom veel aandacht voor drie oplossingsrichtingen om de gevolgen van netcongestie te beperken, te weten (i) sneller bouwen, (ii) beter benutten en (iii) slimmer inzicht². Onder de tweede categorie valt, naast markt-gebaseerde oplossingen, ook het *realiseren van een efficiëntere benutting door het net gecontroleerd zwaarder te belasten dan tot nu toe gebruikelijk is*. Dit betreft technische oplossingen zoals het zwaarder belasten van netcomponenten, maar ook de inzet van de enkelvoudige storingsreserve (de storingsreserve is het gedeelte van de netcapaciteit dat niet wordt toegekend als transportvermogen aan klanten, maar wordt gereserveerd voor onderhoud en netuitbreidingen, en tijdens storingen).

Doel van dit onderzoek en onderzoeksvragen

Het doel van dit rapport is om inzicht te verschaffen in hoe netbeheerders de maximale belasting van het elektriciteitsnet bepalen en benutten, welke mogelijkheden er zijn om het net zwaarder te belasten, en wat daarbij de technische, economische en beleidsmatige afwegingen zijn. Dit inzicht moet bijdragen aan een bestuurlijke of politieke afweging of – en hoe – zwaarder belasten wenselijk en verantwoord is.

1. Hoe worden de grenzen van het elektriciteitsnet bepaald?
2. In welke mate wordt het net momenteel al zwaarder belast?
3. Welke mogelijkheden hebben het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en de Autoriteit Consument en Markt (de ACM) om (nog) zwaarder belasten van het net te stimuleren of te faciliteren?



¹ Bron: Schakelen naar de toekomst - IBO bekostiging elektriciteitsinfrastructuur

² Bron: Aanpak netcongestie, kamerbrief 6 oktober 2025

Dit rapport beschouwt technische oplossingen zowel voor hoogspanning (het landelijke transmissienet van TenneT, alsmede de onderstations van de Regionale Netbeheerders (RNB's) die hieraan gekoppeld zijn), als voor midden- en laagspanning. Hierbij wordt bepaald welke oplossingen het versneld aansluiten van klanten bij afnamecongestie kunnen faciliteren.

De focus ligt hierbij op de twee technische oplossingen met het hoogste potentieel om de aanwezige transportcapaciteit te verhogen:

1

Door hogere belasting van componenten, waarbij er drie manieren zijn waarop aanvullende capaciteit gecreëerd wordt in de hele keten:

- a. Netcomponenten binnen een netverbinding of onderstation kunnen groter gedimensioneerd zijn dan de netcapaciteit die gedefinieerd is voor het geheel (per verbinding of station) en waar de netbeheerder mee rekent. Als dit voor de zwakste schakel in de keten geldt, dan bestaat er al ruimte voor zwaarder belasten;
- b. Netcomponenten zoals transformatoren, lijnen en kabels kunnen vaak zwaarder belast worden dan de nominale capaciteit, rekening houdend met specifieke omgevingscondities en representatieve belastingprofielen;
- c. Netcomponenten die de zwakste schakel vormen, en daarmee de totale capaciteit van de keten beperken, kunnen vaak vervangen of verzwaard worden.

2

Het inzetten van de enkelvoudige storingsreserve (de "vluchtstrook"), hierdoor ontstaat tijdens normaalbedrijf meer capaciteit, waarmee meer klanten aangesloten kunnen worden. We onderscheiden twee varianten die met name verschillend zijn ten aanzien van storings- en onderhoudsituaties.

- a. Het afsluiten van (markt-gebaseerde) "curatieve N-1" contracten met aangeslotenen. Hierbij kunnen deze klanten afgeschakeld of afgeregeld worden in geval van storing (evt. tijdens onderhoud). Dit geldt zowel voor bestaande als nieuw aan te sluiten klanten.
- b. Het accepteren van een lagere betrouwbaarheid, lokaal, tijdens de congestieperiode.

Naast deze twee oplossingen, zijn ook andere technische oplossingen onderzocht, zoals "spanningsregeling" en "gesloten ring bedrijf".

Omdat uit dit onderzoek geen aanvullend potentieel voor deze oplossingen naar voren kwam, zijn de beschrijvingen hiervan alleen in de bijlage opgenomen.

Om tot het gewenste onderzoeksresultaat te komen, is zowel een literatuurstudie uitgevoerd, als een uitgebreide uitvraag bij TenneT en de drie grootste RNB's.

Huidige benutting van het elektriciteitsnet

Uit de analyse van de wijze waarop de netbeheerders de grenzen van het elektriciteitsnet bepalen, en op grond van een data-analyse van congestiegebieden, kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat voor de geanalyseerde congestiegebieden er geen ruimte is om meer klanten in te passen en dat er zelfs veelal aanvullende maatregelen nodig zijn om de betrouwbaarheid van het net te kunnen garanderen tegen het einde van de congestieperiode. Voor het LNB (Landelijk Netbeheerder)-net is sprake van een gemiddelde overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit aan het einde van de congestieperiode met 20%, voor het RNB (Regionale Netbeheerder)-net met 8% (HS), 11% (MS-transformatoren) en 17% (MS-kabels). Hierbij bedraagt de gemiddelde huidige benuttingsgraad in congestiegebieden 45-55% in deze netten.

Wel zijn er grote inherente onzekerheden die de juiste mate van klantinpassing compliceren, zowel in de natuurlijke belastinggroei (groei binnen bestaande transportovereenkomsten) als de ingebruiknamedatum van netinvesteringen. In dit rapport wordt verklaard hoe de hoge mate van congestie en de momenteel ogenschijnlijke lage benuttingsgraad met elkaar overeenkomen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een beoordeling van de kwaliteit van de prognosemethodieken van de netbeheerders buiten scope van deze studie is, hiervoor heeft EZK het aansluitoffensief traject gestart. Onze bevindingen zijn gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch en betrouwbaar zijn. Ook is niet in detail gekeken op welke wijze de LNB rekening houdt met regelbaar vermogen bij het bepalen van de toekomstige, benodigde transportcapaciteit. Ten slotte kunnen recente wijzigingen in het prioriteringskader van invloed zijn op onze conclusies.

Het inzicht in de actuele belasting is met name in het MS-net en LS-net beperkt doordat van een aanzienlijk deel van de netcomponenten geen metingen beschikbaar zijn of de frequentie van de meetwaarden zeer laag is. De belasting in deze delen van het MS-net en LS-net wordt bepaald door gebruik te maken van modellen, die de belasting berekenen. Een beter inzicht verbetert de bepaling van de belastbaarheid. Alle RNB's werken op dit moment aan verbeterde monitoring van het MS-net richting 2030, inclusief het gebruik van slimme meter data ten behoeve van LS-monitoring.

De constatering dat aan het einde van de congestieperiode aanvullende maatregelen nodig zijn, betekent ook dat het potentieel van technische oplossingen deels aangewend zal moeten worden om de natuurlijke groei te absorberen, en dus niet volledig gebruikt kan worden om versneld meer klanten aan te sluiten. Dit maakt de toepassing van deze oplossingen niet minder relevant, maar betekent wel dat het geïdentificeerde potentieel voor beide doeleinden benodigd is, de verhouding zal verschillen per congestiegebied.

1 Zwaarder belasten

Het zwaarder belasten van het hoog- en middenspannings-net biedt een significant potentieel voor klantinpassing, terwijl er in het laagspanningsnet geen additioneel potentieel is. Een deel van dit potentieel wordt al door de LNB en de RNB's benut om de verwacht belastinggroei tot aan de netuitbreiding te faciliteren. Het resterende potentieel is nog onbenut door diverse technische, organisatorische en wettelijke belemmeringen.

Per netvlak en verantwoordelijke netbeheerder(s) is het potentieel als volgt:

Landelijke netbeheerder - (Extra) Hoogspanningsnet

Naar verwachting heeft deze oplossing in het landelijke EHS- en HS-net een potentieel om totaal ongeveer 30% capaciteit vrij te maken voor klantinpassing. Dit kan worden gerealiseerd door componenten (voornamelijk lijnen en transformatoren) lokaal zwaarder te belasten met 10 tot 50% boven de huidige aanwezige capaciteit. Een deel van dit potentieel (10-15%) is reeds gerealiseerd.

Regionale netbeheerders

In de RNB netten bedraagt het potentieel in totaal ongeveer 30% (voor het HS-net en voor het MS-net). Een deel van dit potentieel is reeds gerealiseerd. De resterende potentie van het zwaarder belasten voor klantinpassing is sterk afhankelijk van de congestie op het bovenliggende net. Doordat er congestie is op 80% van het (E)HS-net, is het resterende potentieel van deze oplossing 3%. Zodra bovenliggende congestie wordt opgelost, wordt deze oplossing ook op RNB-niveau zeer relevant. Per netvlak betekent dit:

- **Hoogspanning**

In het HS-net bedraagt het resterende potentieel 15% op RNB-niveau (dit betreft HS/MS-transformatoren). Hierbij is er rekening mee gehouden dat deze oplossing in 80% van de gevallen toegepast kan worden, vergelijkbaar met het LNB HS-net. Dit wordt bereikt doordat, afhankelijk van lokale omstandigheden en technische eigenschappen van transformatoren, deze 10 tot 50% hoger te belasten zijn dan nominaal.

- **Tussen en middenspanning**

In het TS en MS-net bedraagt het resterende potentieel 15% tot 20%. Hierbij is rekening gehouden dat zwaarder belasten in 20% en 70% (voor transformatoren en kabels, respectievelijk) van de gevallen toegepast kan worden. Voor TS/MS- en MS/MS-transformatoren zijn de mogelijkheden voor zwaarder belasten vergelijkbaar met die van de HS/MS-transformatoren en kunnen deze onder dezelfde voorwaarden 10% tot 50% boven hun normale vermogen worden belast. Dit is echter maar in 10% van de congestiegebieden toepasbaar, wat voornamelijk door de beperkte grootte van de populatie komt. Voor kabels is het potentieel groter (32%). Deze kunnen namelijk tot ca. 45% boven hun normale waarde belast worden, in maximaal 70% van de gevallen. Het potentieel van het kabelnet is het meest bepalend voor de te benutten capaciteit van het TS- en MS-net.

- **Laagspanning**

Het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren en LS-kabels wordt momenteel al toegestaan door de RNB's. Dit is enerzijds onderdeel van het beleid, anderzijds onvermijdelijk. Als de totale belasting de nominale capaciteit overschrijdt, heeft de RNB geen mogelijkheden dit te voorkomen door op afstand (een deel van) de belasting af te schakelen, of anderszins. Het zwaarder belasten in LS vindt momenteel zeer beperkt plaats, omdat de aanwezige transportcapaciteit in de meeste gevallen nog voldoende is. In de komende jaren kan door de toepassing van deze oplossing de (grotendeels) natuurlijke groei tot zekere hoogte geabsorbeerd worden. Daarbij zullen nieuwe aanvragen voor transportcapaciteit grotendeels stuiten op bovenliggende congestie. Deze oplossing biedt hiermee geen *aanvullend* potentiaal om congestie te verlichten.

Het potentieel van zwaarder belasten wordt al deels door de netbeheerders benut. Hiervoor passen ze een aantal strategieën toe en zijn ze andere aan het (door)ontwikkelen.

De netbeheerders hebben de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar het zwaarder belasten van netcomponenten, hebben hier deels al beleid voor ontwikkeld, en hebben al eerste resultaten hiermee geboekt (extra klanten aan kunnen sluiten). De netbeheerders zorgen met het actualiseren van de Nederlandse Praktijkrichtlijn voor *de belastbaarheid van kabelsystemen en transformatoren* voor meer transparantie in de uitgangspunten ten aanzien van de belastbaarheden van hun net.

Internationale benchmarks tonen aan dat toonaangevende netbeheerders in Europa vergelijkbare methoden toepassen om componenten in hun hoogspannings- en midden-spanningscomponenten boven de nominale limieten te belasten om ruimte te creëren die (tijdelijk) benut kan worden tijdens N-1-situaties. Deze strategieën leveren deze netbeheerders percentages van zwaarder belasten die vergelijkbaar zijn met die van de Nederlandse netbeheerders. De programma's en initiatieven van TenneT (LNB) en de RNB's tot nu toe, en het al benutte potentieel, zijn als volgt:

Landelijke netbeheerder - (Extra) Hoogspanningsnet

- MaxLimit-programma, om de werkelijke belastbaarheid van alle netschakels (het geheel aan componenten dat een aaneengesloten keten vormt tussen twee stations) te bepalen. Tot nu toe is er voor 10% van de netschakels een 10 tot 20% capaciteitswinst gerealiseerd.
- In dit programma wordt onder meer gerekend met een verhoogde minimale windsnelheid, die gebaseerd is op waargenomen windsnelheden in Nederland, als uitgangspunt om de capaciteit van componenten te bepalen. Dit potentieel is op 50% van de lijnen vastgesteld, wat lokaal voor tot 15% capaciteitsverhoging van de hele netschakel kan zorgen, door het verkoelende effect van de wind.

Hiermee zijn de componenten nog niet boven hun nominale capaciteit belast. Daar is nog ruimte voor. TenneT heeft de volgende initiatieven gestart.

- Year Rating Curve-model (YRC), waarmee componenten lokaal tot nog eens 30% boven de MaxLimit-waarden belast kunnen worden.
- Ontwikkelen van het Dynamic Transformer Rating-model (DTR) om transformatoren cyclisch tot 20% zwaarder te kunnen belasten.

Bovendien is ongeveer 50% van de transformatoren van TenneT voorzien van geforceerde koeling. Deze hebben standaard een hogere belastbaarheid dan transformatoren met natuurlijke koeling, hun nominale (100%) waarde is hierop gebaseerd. Door transformatoren met natuurlijke koeling van ventilatoren te voorzien, kunnen deze ook zwaarder belast worden.

Regionale netbeheerders

- Transformatoren in de HS-, TS- en MS-netten van de RNB's worden al jaren boven hun nominale capaciteit belast. Op dit moment wordt zowel statische als cyclische belasting toegepast, wat lokaal 10 tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit oplevert, verschillend per RNB. De impact van het hoger belasten van TS/MS- en MS/MS-transformatoren is beperkt, aangezien deze in minder aantallen aanwezig zijn.

- Één netbeheerder staat belasting tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit toe, indien mogelijk.
- Op dit moment passen alle RNB's (een combinatie van) statisch en cyclisch zwaarder belasten van MS-kabels toe.
- Dynamische modellen worden (door)ontwikkeld om de impact van het (lokaal) toepassen van hogere belastingwaarden en de haalbaarheid daarvan te kunnen inschatten.

Net als bij TenneT, maakt ongeveer 50% van de RNB-transformatoren (40 tot 70%, afhankelijk van de RNB) gebruik van geforceerde koeling en kan de capaciteit van de rest van de transformatoren potentieel verhoogd worden door het toepassen van ventilatoren.

Zowel de LNB als de RNB's onderzoeken ook de mogelijkheden om dynamisch te kunnen belasten (met gebruik van dezelfde YRC- en DTR-modellen als voor cyclisch belasten). Dit levert echter geen aanvullende potentieel om capaciteit vrij te maken om extra klanten aan te sluiten op het net, en wordt daarom hier verder niet behandeld.

Er ligt nog 15% tot 20% onbenut potentieel dat niet gebruikt wordt doordat er diverse belemmeringen zijn. De belemmering ten aanzien van de huidige EMC-richtlijnen is daarin cruciaal.

Hoewel netbeheerders al langere tijd zwaarder belasten toepassen, is nog altijd 15% tot 20% van het beschikbare potentieel onbenut. Dit extra vermogen kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het verkorten van wachtrijen voor transportcapaciteit en het versnellen van klantinpassing. In de praktijk blijkt echter dat een reeks belemmeringen, zowel technisch, organisatorisch als regelgevend, ervoor zorgt dat dit potentieel nog niet wordt ontsloten. Daarbij speelt ook mee dat netbeheerders tot op heden beperkt transparant waren over de mate waarin zwaarder belasten al is toegepast en welke knelpunten zij daarbij ervaren. De inzichten in dit rapport geven hier een eerste antwoord op, maar dit is een momentopname; structurele monitoring en rapportage worden geadviseerd.

De belangrijkste rem op brede toepassing van zwaarder belasten is de huidige EMC regelgeving. Bij 60%-80% van de TenneT cases is eerst een EMC onderzoek nodig, met doorlooptijden van twee tot zes jaar. Hierdoor is het uitvoeren van maatregelen op schaal vrijwel onmogelijk. Ook bij RNB's is de impact groot: in circa 80% van de gevallen stuiten zwaardere belastingmogelijkheden op bovenliggende congestie, waardoor extra capaciteit in HS/MS netten nog nauwelijks kan worden ingezet voor klantinpassing en de potentie dus maar beperkt wordt benut.

Naast deze structurele belemmeringen zijn er aanvullende beperkingen:

- Ketenbeperkingen door kritieke zwakkere componenten (transformatoren, verbindingen) die de hogere belasting van het geheel verhinderen.
- Gebrek aan uniforme uitgangspunten tussen RNB's, vooral in MS netten, waar verschillende belastbaarheidswaarden worden gehanteerd.
- Organisatorische complexiteit, schaarse expertise en trage IT/OT aanpassingen die implementatie vertragen.
- Beperkingen in vergunningen rond geluidsnormen, al spelen deze slechts in circa 5% van de gevallen en is de impact op het totale potentieel beperkt (~1%).
- Beperkte praktijkervaring met cyclisch (of dynamisch) belasten (YRC, DTR), waarvoor modellen nog verder ontwikkeld en gevalideerd moeten worden.

Zolang deze belemmeringen bestaan, blijft het daadwerkelijke schaalbare potentieel zeer beperkt. Door de congestie op het bovenliggende net kan effectief slechts ~3% van het potentiële extra vermogen voor klantinspanning worden gebruikt.

Het tijdig aanpassen van EMC-kaders én het versnellen van de aanpak van de netbeheerders is bepalend om het beschikbare potentieel sneller te ontsluiten.

Om het resterende potentieel daadwerkelijk te benutten, moeten zowel de LNB als de RNB's hun huidige programma's versnellen en verbreden, terwijl zij tegelijkertijd afhankelijk blijven van aanpassingen in randvoorwaarden die zij niet volledig zelf kunnen beïnvloeden. Wat dit betekent voor elke partij:

Landelijke netbeheerder - (Extra) Hoogspanningsnet

Voor de LNB betekent dit dat lopende programma's zoals MaxLimit, hogere windsnelheden, Yearly Rating Curves en Dynamic Transformer Rating niet alleen moeten worden voortgezet, maar ook in tempo en schaal vergroot, en dat geforceerde koeling breder toegepast moet worden. Waar ketenbeperkingen worden veroorzaakt door zwakke componenten in verbindingen of transformatoren, zullen deze gericht vervangen moeten worden om hogere belasting van het gehele systeem mogelijk te maken, een potentieel dat nu nog niet volledig is meegenomen in MaxLimit. Verder kan de risico gebaseerde EMC aanpak op specifieke locaties worden benut om sneller ruimte te creëren, al blijft brede toepassing afhankelijk van aanpassingen die buiten de directe sturing van de LNB liggen.

Regionale netbeheerders

Ook voor de RNB's geldt dat zij hun aanpak moeten verbreden. Zij moeten ervoor zorgen dat zij operationeel klaar staan om zwaarder belasten op grote schaal toe te passen zodra de bovenliggende congestie wordt opgeheven. Een belangrijk onderdeel daarvan is dat zij de huidige verschillen in belastbaarheidswaarden verkleinen, door harmonisatie naar hogere waarden. Dit vraagt om een minder terughoudende en selectieve benadering, maar dat er breed wordt ingezet op het verruimen van belastinggrenzen waar dit technisch verantwoord is. Daarbij horen ook het verbeteren van thermische modellen, uitbreiding van monitoring en het aanvullen van componentinformatie, zodat hogere belastingen verantwoord en reproduceerbaar kunnen worden toegepast. Net als bij de LNB moeten ook bij de RNB's geforceerde koeling verder uitgerold worden en de ketenbeperkingen worden weggenomen door kritieke componenten te vervangen, omdat deze anders de totale potentie beperken. Geluidseisen en geluidsdempende maatregelen kunnen worden herzien op locaties waar zij daadwerkelijk een blokkade vormen voor klantinspanning, al is de totale impact daarvan zeer beperkt.

Wet- en regelgeving

Zowel LNB als RNB's blijven voor het breed kunnen inzetten van zwaarder belasten afhankelijk van noodzakelijke aanpassingen in de regels en procedures die de toepassing nu vertragen. De huidige EMC kaders zorgen voor langdurige, casuïstische trajecten en beperken het schaalbaar toepassen van maatregelen. Snellere en meer risico-gebaseerde besluitvorming is noodzakelijk om de beoogde versnelling mogelijk te maken. Ook vergunningprocedures voor technische maatregelen en de evaluatiekaders die verschillende betrokken stakeholders hanteren moeten worden aangepast, zodat netbeheerders niet gehinderd worden door doorlooptijden die niet in verhouding staan tot de urgentie van de congestieproblematiek. Pas wanneer deze randvoorwaarden zijn aangepast, kunnen LNB en RNB's de opgeschaalde technische oplossingen breed toepassen en het volledige potentieel van zwaarder belasten benutten.

Zonder aanpassing van de EMC kaders blijven onderzoeken en vergunningstrajecten twee tot zes jaar duren, waardoor de brede uitvoering traag blijft, waardoor het beschikbare potentieel voorlopig nauwelijks benut kan worden. Wanneer de EMC belemmeringen wel worden weggenomen en bovenliggende congestie tijdig wordt opgelost, kan een eerste deel van de maatregelen al binnen één jaar worden toegepast. In dat versnelde tempo kunnen de belangrijkste programma's vervolgens binnen één tot drie jaar breder worden uitgerold. Hierdoor worden zichtbare effecten eind begin 2027 haalbaar en komt benutting van het volledige resterende potentieel binnen handbereik.

2 Gebruik storingsreserve

Technisch gezien heeft deze oplossing een enorm potentieel, deze is vergelijkbaar met het potentieel van de vluchstrook bij invoeding, welke ca. 30% additionele transportcapaciteit oplevert. Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van enerzijds klantparticipatie, en anderzijds risicobereidheid. Een initiële inschatting van het realistisch potentieel bedraagt 10%.

Het **inzetten van de enkelvoudige storingsreserve** (ten behoeve van afnameklanten) wordt nog niet toegepast in HS, vanwege de huidige wettelijke verplichting voor het hanteren van deze enkelvoudige storingsreserve in HS, met uitzondering van enkele situaties waarvoor een ontheffing is verleend en een pilot door TenneT. Twee belangrijke belemmeringen zijn:

1. De schaalbaarheid van de curatieve N-1 variant (afschakelen of afregelen van klanten bij storingen op basis van afspraken) is zeer afhankelijk van het aantal klanten (grootverbruikers) dat hiervan gebruik wil maken. Dit betreft met name bestaande klanten zoals energie intensieve industrie en datacenters. Ook gelden hier nog operationele beperkingen en technische uitdagingen die verder onderzocht moeten worden, met de kanttekening dat in België dit product al aangeboden wordt door de LNB. Vanwege een mogelijke lange herstelduur, kan de impact van een storing groot zijn voor een dergelijke klant. Deze oplossing is daarmee meer geschikt op LNB-niveau omdat daar een ruimere storingsreserve aanwezig is (N-1 tijdens onderhoud).
2. De netbeheerders lijken terughoudend in het accepteren van een iets lagere betrouwbaarheid, mede gezien de impact hiervan op de eigen organisatie, en vanwege de sterke interne focus op betrouwbaarheid. Gezien de grote maatschappelijke impact van netcongestie is een heroverweging op zijn plaats, ook omdat de acceptatie van een beperkte vermindering van de betrouwbaarheid, de ruimte biedt om veel klanten aan te sluiten. De afweging tussen het versneld aansluiten van meer klanten en het accepteren van een lagere betrouwbaarheid is echter een maatschappelijk vraagstuk. Daarom adviseren we deze in een open dialoog te beslechten, bij voorkeur als onderdeel van het aansluitoffensief³.

Op MS wordt ook een enkelvoudige storingsreserve gehanteerd (niet tijdens onderhoud). Hier is geen wettelijke grondslag voor, maar deze is nodig om de huidige, hoge betrouwbaarheid te kunnen realiseren. In bepaalde gebieden wordt de enkelvoudige storingsreserve al ingezet om de natuurlijk groei op te vangen. Behalve enkele specifieke gevallen waar nieuwe klanten op de vluchstrook worden aangesloten, is er nog geen algemeen beleid ontwikkeld om

deze oplossing toe te passen voor het versneld aansluiten van meer klanten. Dit komt voornamelijk door bovenliggende congestie (Inzet van de storingsreserve door de RNB stuit in 80% van de gevallen op deze beperking), maar ook door de grote organisatorische impact.

Op LS is deze oplossing niet van toepassing, aangezien daar geen enkelvoudige storingsreserve aanwezig is.

Binnen de huidige beleidskaders kunnen de netbeheerders (met name LNB) meer initiatief tonen

Doordat de storingsreserve bij wet nog niet gebruikt mag worden, zijn de huidige mogelijkheden voor de netbeheerders beperkt om deze oplossing op HS toe te passen. Desondanks kan met name de LNB meer initiatief tonen rond het curatieve N-1 concept. Enerzijds omdat deze variant vooral op LNB-niveau relevant is, anderzijds gezien de beperking van de bovenliggende congestie op toepasbaarheid van deze oplossing voor RNBs. Daarnaast kan dit concept mogelijk via een CSC-constructie toegepast worden, en zijn er veel activiteiten ter voorbereiding benodigd die al door de LNB geïnitieerd kunnen worden. Aangezien dit concept in andere landen zoals België al wordt toegepast, lijkt een snelle introductie binnen 2-3 jaar haalbaar.

Het beleid moet gericht zijn op benodigde wetswijzigingen, alsmede de risicobereidheid

Beide varianten voor het gebruik van de enkelvoudige storingsreserve zijn relevant, waarbij het grootste potentieel voor de curatieve N-1 variant zich op LNB-niveau bevindt, en het grootste potentieel voor acceptatie van een lagere betrouwbaarheid zich op RNB-niveau bevindt.

Om de enkelvoudige storingsreserve deels te kunnen gebruiken om meer klanten aan te sluiten in de tweede variant, zijn wetswijzigingen nodig. Daarnaast zal hiervoor de risicobereidheid aangepast dienen te worden, hetgeen een maatschappelijk vraagstuk is.

³ Zie: [Aansluitoffensief: Acht doorbraken voor beter benutten van het net](#)

3 LNB-RNB samenwerking

Ook de **samenwerking tussen LNB en RNB** is nader onderzocht. Het gezamenlijk congestieonderzoek in specifieke regio's heeft al geleid tot verlichting van de congestie. Een nauwere samenwerking in alle congestiegebieden lijkt daarmee raadzaam. Ook het aansluiten van grotere klanten in het distributienet op de eenvoudige storingsreserve van TenneT is een relevante oplossing, zeker in de vele distributienetten die kampen met bovenliggende congestie.

Laagspanning

In deze studie is vastgesteld dat er geen technische oplossingen zijn in laagspanning waarmee de congestie problematiek verder verzacht kan worden.

Aangezien de belastinggroei in LS voornamelijk achter de meter (binnen bestaande transportovereenkomsten) plaatsvindt, kan deze groei moeilijk beperkt worden. De enige oplossing die momenteel aanwezig is om aan de groeiende transportvraag te voldoen, is het verzwaren van het LS-net. Dit stuit echter op een beperkte uitvoercapaciteit (de beschikbare uitvoercapaciteit in verhouding tot de benodigde uitvoercapaciteit om alle knelpunten op te kunnen lossen bedraagt 68% per 2030 volgens opgave netbeheerders).

Het is dus noodzakelijk om deze groei te gaan beteugelen. Niet alleen vanwege de, door de netbeheerders, verwachte congestie in LS, maar ook omdat de natuurlijke, toekomstige groei in LS een grote impact heeft op de huidige congestieproblematiek (en wachtrijen) in MS en HS.

Dit leidt tot de conclusie dat oplossingen in het markt- en klant domein noodzakelijk zijn om de congestieproblematiek in LS, maar ook in het algemeen, het hoofd te bieden. Denk hierbij aan een bredere acceptatie (of stimulering) van dynamische leveringscontracten, een nieuwe methodiek voor kleinverbruik-nettarieven en congestie management in laagspanning. Hierbij kan een besluit tot een toekomstige (beleids-) wijziging, vandaag al de mogelijkheid creëren om meer klanten aan te sluiten, ook op hogere netvlakken.

Aanbevelingen

Op basis van de geconstateerde belemmeringen zijn de volgende beleidsaanbevelingen geformuleerd die zwaarder belasten kunnen faciliteren of stimuleren:

1. De overheid (EZK/ VRO/IenW met de regie bij EZK) dient het EMC-vergunningstraject, benodigd bij zwaarder belasten hoogspanningsverbindingen, te versnellen en te vereenvoudigen.
2. EZK dient in een open dialoog met netbeheerders een herijking te bepalen tussen het versneld aansluiten van klanten en de betrouwbaarheid van het net. Hierbij dienen ook de geassocieerde kosten en de druk op de

(netbeheer) organisaties beschouwd te worden.

Bij voorkeur is dit onderdeel van het aansluitoffensief, waarbij het risico deels overgeheveld kan worden naar EZK (bijv. via een storingsfonds).

3. EZK dient de verplichting van de eenvoudige storingsreserve in de planningsfase tijdsafhankelijk te maken (bijv. 99% van de tijd, waarbij de waarde afhankelijk is van het netvlak). Hiertoe dient het onlangs gepubliceerde Energiebesluit aangepast te worden. Netbeheer Nederland dient hierbij een voorstel voor het percentage per netvlak/spanningsniveau of anderszins voor te stellen, alsmede aangepaste herstelltijden.
4. Het Landelijk Actieprogramma Netcongestie dient de curatieve N-1 propositie met prioriteit te ontwikkelen. Hierbij dienen de netbeheerders benodigde pilots uit te voeren en technische vraagstukken te adresseren, en EZK en de ACM dienen het regulatorisch kader te bepalen. Het is vooral belangrijk een product te ontwikkelen dat voldoende interessant is voor relevante klantgroepen, met name de industrie en datacenters. Dit kan gekoppeld worden aan de individuele top-50 flexafspraken die binnen het *Aansluitoffensief* opgesteld gaan worden.
5. De ACM dient de mogelijkheid te onderzoeken om bepaalde afname-klantgroepen (met name grote klanten zoals datacenters) alleen een vluchtstrook aansluiting aan te bieden in congestiegebieden, tijdens congestie periodes.
6. De netbeheerders dienen een gezamenlijk onderzoek uit te voeren, zoals nu voor de Flevoland-Gelderland Utrecht (FGU) regio plaats vindt, voor alle regio's waar congestie op LNB-niveau leidt tot wachtrijen op het distributienet. Dit betreft zowel samenwerking bij het opstellen van prognoses, als bij mogelijke klantinpassing.
7. De netbeheerders dienen de mogelijkheid te onderzoeken om RNB's en aangeslotenen op het distributienet (deels/tijdelijk) aan te sluiten op de eenvoudige storingsreserve van TenneT.
8. De netbeheerders dienen hun programma's ten aanzien van zwaarder belasten te versnellen, eventueel ten koste van andere initiatieven met een lager potentieel. Omdat hiervoor de inzet van schaarse expertise benodigd is, dient dit onderdeel te zijn van de "open dialoog", alsmede het aansluitoffensief.
9. De netbeheerders dienen transparantie te bieden over mogelijkheden en onmogelijkheden t.a.v. het zwaarder belasten van netschakel(s)/onderstations/MS-ringen via het congestieonderzoek of vooraankondiging.
10. De netbeheerders dienen meer transparantie over de veronderstelde in-gebruik-name-datum van een netinvestering op te nemen in het congestieonderzoek, met name over de impact op de mate van klantinpassing.
11. De regionale netbeheerders dienen hun beleid ten aanzien van het zwaarder belasten van MS netcomponenten zodanig te harmoniseren dat hogere limieten breder in het net toegepast kunnen worden.

- 12.** Overheden (EZK/VRO/lenW/VNG met de regie bij EZK) dienen de vergunningstrajecten ten aanzien van geluidsnormen te versnellen of te vereenvoudigen.

Indien de vastgestelde belemmeringen niet versneld weggenomen worden, zal het (op grote schaal) toepassen van deze technische oplossingen meerdere jaren (2-6) vergen en niet snel, op grote schaal, tot het versneld aansluiten van klanten leiden. Echter, aangezien het aansluiten van extra klanten in de meeste gevallen niet direct leidt tot betrouwbaarheidsissues (congestie treedt met name op tegen het einde van de congestieperiode), kan er ook voor gekozen worden om op korte termijn, op specifieke locaties, al extra klanten aan te sluiten, anticiperend op het in de toekomst toe kunnen passen van deze oplossingen. Deze optie zou onderdeel moeten zijn van de open dialoog die in aanbeveling 2 vermeld is.

Onderstaande aanbevelingen hebben weliswaar geen directe relatie tot de technische oplossingen die in deze studie onderzocht zijn, maar volgen uit onze analyse en zijn daarmee zeker zo belangrijk:

- 13.** EZK en de netbeheerders moeten meer haast maken met het doorvoeren van markt-/klantoplossingen in laagspanning, om de mogelijke impact van de natuurlijke groei op de congestieproblematiek te verkleinen.
- 14.** De netbeheerders dienen hun prognosemethodiek aan te scherpen, en kunnen hierbij een voorschot nemen op de impact van recente en toekomstige beleidswijzigingen (bijv. afschaffen saldering, invoering nieuwe KV-tariefmethodiek, etc.). Daarnaast kan de methodiek verder geharmoniseerd worden tussen regionale netbeheerders.



WOORDENLIJST

TERM	DEFINITIE
Aanwezige transportcapaciteit	De maximale capaciteit die beschikbaar is voor klantinpassing.
ACM	Autoriteit Consument en Markt
AMvB	Algemene Maatregel van Bestuur
Autonome groei	Groei binnen reeds gecontracteerd vermogen (GV&KV) en prognoses voor woningbouw.
Beter benutten	Het gemiddeld gebruik van het net wordt verhoogd door vraag te verschuiven van de piek naar het dal (bijvoorbeeld middels tijdsafhankelijke nettarieven), de piek te verlagen (bijvoorbeeld middels CBCs) of het dal te vullen (bijvoorbeeld middels TDTR).
CBC	Capaciteit Beperkend Contract
CSC	CapaciteitsSturingsContract
Curatief N-1	Contracten worden afgesloten met klanten die (op bepaalde piekmomenten) op de vluchtstrook worden geplaatst. Hiermee kan gesteld worden dat de enkelvoudige storingsreserve gehandhaafd blijft, met dien verstande dat dit deels middels afschakelbare contracten wordt ingevuld. Afschakeling kan plaats vinden als een onverwachte storing optreedt, eventueel t.b.v. onderhoud (dit laatste alleen op RNB-niveau).
Cyclisch zwaarder belasten	De maximale belasting ten opzichte van het nominaal vermogen van een component, die bepaald wordt op basis van de beschikbare thermische ruimte en een periodiekbelastingprofiel, waarbij specifieke omgevingscondities gebruikt kunnen worden.
Dynamisch zwaarder belasten	De maximale belasting ten opzichte van het nominaal vermogen van een component, die bepaald wordt op basis van een belastingsprognose, gebruikmakend van real-time metingen en actuele omgevingscondities.
EMC	ElektroMagnetische Compatibiliteit
Enkelvoudige storingsreserve	De reservecapaciteit, die in het net aanwezig is zodat de uitval van één object niet leidt tot een onderbreking van de stroomvoorziening.
Fysieke transportcapaciteit	De capaciteit die lokaal getransporteerd kan worden op basis van nominale waarden van netcomponenten, zonder rekening te houden met beperkingen elders in het net of benodigde storingsreserves.
Gelijktijdigheid(sfactor)	Ratio tussen de piek van de som van alle belastingprofielen en de som van alle individuele piekvermogens.
GV	GrootVerbruik
HS	HoogSpanning
IBN	Datum in gebruik name netinvestering. De beoogde/verwachte in-gebruik-name datum van een netinvestering, daarmee (vaak) de einddatum van een congestieperiode op die locatie.
IP	InvesteringsPlan
IT/OT	Information Technology en Operational Technology
Klantinpassing	Het verwerken van een klantaanvraag voor transportcapaciteit door de netbeheerder.
KV	Kleinverbruik

TERM	DEFINITIE
LNB	Landelijk NetBeheerder
Limiterende component	De component die ervoor zorgt dat de volledige capaciteit van het opgestelde vermogen van de transformatoren, kabels of lijnen niet benut kan worden.
LS	LaagSpanning
Maakbaarheidsgat	Verhouding tussen de niet-tijdig realiseerbare investeringen en de benodigde investeringen door de netbeheerders.
MS	MiddenSpanning
MSR	MiddenSpanningsRuimte
MS-T	MiddenSpannings-Transportnet
MS-D	Middenspannings-Distributienet
Natuurlijke groei	Groei binnen reeds gecontracteerd vermogen (GV MS, GV LS & KV LS)
Netcomponent	Een component of systeem dat een eenduidig functie verricht in een net.
Netinzicht	Mate waarin de netbeheerder zicht heeft op de daadwerkelijk belasting van het net op basis van metingen in het net en/of op aansluitingen.
Netschakel	Het geheel aan componenten dat een aaneengesloten keten vormt tussen twee stations.
Nominale capaciteit	Nominale capaciteit zoals gedefinieerd op het type plaatje door de fabrikant.
Opgesteld vermogen	Het maximale vermogen per netcomponent dat onder nominale condities benut kan worden voor het leveren van elektrische energie.
Overbelasten	Een netcomponent is overbelast wanneer meer elektriciteit doorheen gaat dan is voorgeschreven, waarbij ook de maximum ontwerptemperatuur is overschreden.
Prognose piekbelasting laatste congestie jaar	De piekbelasting volgens de prognose van het laatste jaar voor het oplossen van de congestie (middels netverzwaring).
Regelbaar vermogen	Het opgesteld vermogen van aangeslotenen dat door middel van een stuursignaal geregeld kan worden door de netbeheerder.
RNB	Regionale NetBeheerder
Spanningsniveau	Spanningsniveau waarop het netwerkelement aangesloten is (bij transformator de hoogste waarde).
Statisch zwaarder belasten	De maximale belasting ten opzichte van het nominaal vermogen van een component tot een waarde die continu van toepassing is op basis van een constante belasting en specifieke langdurige omgevingscondities.
TDTR	TijdsDuurgebonden TransportRecht

TERM	DEFINITIE
TRL	Technology Readiness Level of maturiteit van de oplossing. Lage TRL's (1-3) richten zich op fundamenteel en theoretisch onderzoek. Midden-TRL's (4-6) vragen om prototypes, testen en multidisciplinaire samenwerking. Hoge TRL's (7-9) draaien om praktijktoepassingen, pilots en marktintroductie – en vereisen sterke samenwerking met eindgebruikers of implementatiepartners.
TS	TussenSpanning
Verlengde vluchtstrook	Het aansluiten van een klant in het distributienet op de storingsreserve van LNB TenneT (al dan niet ook op de storingsreserve van de RNB).
Zwaarder belasten	Een netcomponent is zwaarder belast wanneer er meer elektriciteit door stroomt dan is voorgeschreven op basis van de nominale capaciteit maar zonder de maximum ontwerptemperatuur te overschrijden.



1 INTRODUCTIE

1.1	Aanleiding	15
1.2	Onderzoeksvragen	16
1.3	Onderzoeksaanpak	17

1. INTRODUCTIE

1.1 Aanleiding

Nederland kampt op grote schaal met netcongestie. Dit belemmert de economische en maatschappelijke ontwikkelingen en kost naar schatting 40 miljard euro⁴ per jaar. Tegelijkertijd heeft het Nederlandse elektriciteitsnet, internationaal gezien, een uitzonderlijk hoge betrouwbaarheid. Dit roept de vraag op of het (tijdelijk) zwaarder belasten van het net – door operationele grenzen op te rekken – een oplossing kan bieden om sneller capaciteit vrij te maken.

Hoewel zwaarder belasten technisch mogelijk is, is er bij het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (in het vervolg: EZK) en de Autoriteit Consument en Markt (in het vervolg: ACM) onvoldoende inzicht hoe netbeheerders de grenzen van het net bepalen, welke mogelijkheden er zijn om het net slimmer en zwaarder te belasten, wat de risico's en randvoorwaarden zijn, en hoe beleidsmakers dit kunnen faciliteren of stimuleren. Deze kennislacune belemmert een effectieve inzet van zwaarder belasten als instrument tegen netcongestie.

Aangezien de maatschappelijke impact van afnamecongestie significant hoger is dan de maatschappelijke impact van invoedingscongestie, richt deze studie zich op technische oplossingen die een bijdrage kunnen leveren aan het verminderen van afnamecongestie en hoe de ACM en EZK belemmeringen weg kunnen nemen.



1.2 Onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te verkrijgen in hoe netbeheerders de maximale belasting van het elektriciteitsnet bepalen en benutten, welke mogelijkheden er zijn om het net zwaarder te belasten, en wat daarbij de technische, economische en beleidsmatige afwegingen zijn. Dit inzicht moet bijdragen aan een bestuurlijke of politieke afweging of – en hoe – zwaarder belasten wenselijk en verantwoord is.

De onderzoeksvragen zijn:

1. Hoe worden de grenzen van het elektriciteitsnet bepaald? Specifieke aandachtspunten hierbij zijn:

- a. De mate van inzicht per spanningsniveau in de feitelijke belasting van het elektriciteitsnet;
- b. De huidige wijze waarop netbeheerders de limieten van netelementen bepalen en waarop die limieten zijn gebaseerd;
- c. Welke reservecapaciteit de netbeheerders aanhouden i.v.m. de netontwerpcriteria en operationele veiligheidsgrenzen en hoe deze reservecapaciteit in de praktijk wordt gebruikt;
- d. In hoeverre de netbeheerders gebruik maken van mogelijkheden om het net slimmer te bedienen, zoals bijvoorbeeld dynamic line rating, advanced power flow control, topology optimisation en actieve koeling van assets;
- e. In hoeverre dit zich verhoudt tot de veiligheid en de betrouwbaarheid van het net.

2. In welke mate wordt het net momenteel al zwaarder belast? Hieronder valt:

- a. Het verbeteren van het inzicht per spanningsniveau in de feitelijke belasting van het elektriciteitsnet;
- b. Het verhogen van de limieten van netelementen;
- c. Het benutten van de reservecapaciteit (storingsreserve);
- d. Mogelijkheden om het net slimmer te bedienen.

3. Wat zijn de voor- en nadelen van verschillende mogelijkheden, waaronder per maatregel een inschatting van de impact, implementatiekosten, implementatietijd, het effect op de betrouwbaarheid, de impact op de omgeving/veiligheid alsmede de samenhang en wisselwerking van de mogelijkheden.

4. Mitigerende maatregelen om gesignaleerde risico's en nadelen te beperken.

5. Belemmeringen en voorwaarden om gebruik te maken van mogelijkheden om zwaarder te belasten.

6. Welke mogelijkheden hebben het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de Autoriteit Consument en Markt om (nog) zwaarder belasten van het net te stimuleren of te faciliteren?

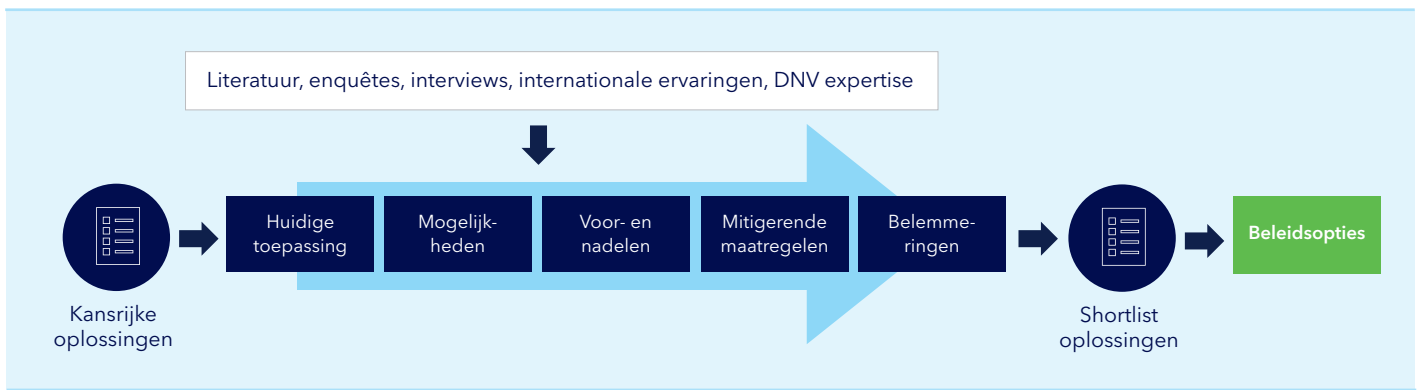
Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden, is het onderzoek op de volgende doelstellingen gericht:

1. Inzicht verschaffen t.a.v. de huidige werkwijze van netbeheerders bij het bepalen en benutten van de netcapaciteit, inclusief inzet van reservecapaciteit en slimme technologieën.
2. Het identificeren van extra mogelijkheden om het net zwaarder te belasten. Tot op heden is vanuit beleid de nadruk gelegd op markt-gebaseerde oplossingen, de realiteit toont dat deze mechanismes, in ieder geval tot nu toe, lang niet toereikend zijn om netcongestieproblemen (lange aansluittermijnen als gevolg van het maakbaarheidsgat) op te lossen. De extra mogelijkheden waar deze studie zich op richt zijn (in eerste instantie) technisch van aard. Niet inbegrepen zijn technische oplossingen die substantiële investeringen behoeven en het verbeteren van de methodieken voor de prognose van autonome groei.
3. Analyse van de voor- en nadelen van deze mogelijkheden, inclusief impact, kosten, doorlooptijd en effect op betrouwbaarheid en veiligheid.
4. Het tonen van de belemmeringen en randvoorwaarden voor toepassing. Hieronder vallen onder meer technische, regulatorische en organisatorische belemmeringen en uitdagingen.
5. Het opleveren van de belangrijkste bevindingen en het formuleren van beleidsaanbevelingen voor netbeheerders, EZK en de ACM.

Afbakening

Gezien de maatschappelijke impact, richt dit onderzoek zich op afnamecongestie. Overigens zijn de meeste technische oplossingen ook relevant voor invoedingscongestie, maar dit zal alleen vermeld worden als dit een nuttige analogie is voor de afnamecongestie problematiek.

Voor de eerste vraag (hoe worden de grenzen van het elektriciteitsnet bepaald?) wordt uitgelegd welke rol de belastingprognoses hierin spelen. Deze studie kijkt niet in detail hoe de belastingprognoses opgesteld worden, noch in welke mate deze plausibel realistisch zijn.



FIGUUR 1-1

Schematische overzicht van de onderzoeksaanpak

1.3 Onderzoeksaanpak

Figuur 1-1 toont de toegepaste methode op een schematische manier. Het startpunt is een lange lijst van mogelijke technische oplossingen, door DNV opgesteld op basis van eerdere onderzoeken. Vanuit dit startpunt heeft DNV verdere informatie verzameld om de huidige situatie te analyseren en bepaalde haalbare oplossingen, met significante potentie, te selecteren.

De analysemethode omvat verschillende stappen, zoals literatuuronderzoek, internationale ervaringen en DNV-expertise, maar berust grotendeels op enquêtes en interviews met de netbeheerders. De drie grotere regionale netbeheerders (RNB's) hebben aan drie enquêtes deelgenomen, gericht op het verzamelen van feitelijke informatie over de huidige stand van zaken met betrekking tot zwaarder belasten op resp. hoogspannings- (HS), middenspannings- (MS) en laagspannings- (LS) niveau. Hierbij is onder "hoogspanning" ook *extra-hoogspanning* geschaard. Dit betreft het huidige beleid t.a.v. zwaarder belasten, data over de huidige benutting van het net, en de verwachte toekomstige benutting binnen ongeveer 60 netcomponenten en onderstations die door congestie in het hoogspanningsnet getroffen worden. Daarnaast ging de enquête in op de visie van de netbeheerder t.a.v. het toekomstig (aanvullend) potentieel, en mogelijke belemmeringen om dit potentieel te verwezenlijken. De landelijke netbeheerder (LNB) TenneT heeft alleen aan een enquête deelgenomen gericht op het HS-niveau.

Hierbij zijn door DNV vijf stappen voor elke oplossing doorgelopen: het beschrijven van de huidige toepassing, het identificeren van de mogelijkheden voor verdere implementatie, de analyse van de voor- en nadelen, en de beschrijving van de belemmeringen.

Hiertoe zijn tien kritieke prestatie-indicatoren (KPI) gedefinieerd om de potentie van de verschillende oplossingen te kunnen beoordelen en onderling te kunnen vergelijken:

- **Capaciteit:** In welke mate biedt de technologie voldoende capaciteit om de aansluiting van klanten in de wachtrij te versnellen?
- **Schaalbaarheid:** In welke mate kan de oplossing generiek worden toegepast in verschillende situaties?
- **Kosteneffectiviteit:** Staan de operationele/implementatie kosten in verhouding tot de baten (maatschappelijk perspectief)?
- **Compliant met regelgeving:** Zijn er substantiële wijzigingen van het regelgevingskader nodig?
- **Technology Readiness level (TRL):** Is de technologie voldoende volwassen/kan de markt deze technologie of dienst leveren? Zijn er technische belemmeringen?
- **Implementatietijd:** Hoe snel kan de oplossing worden geïntroduceerd?
- **Organisatorische impact:** Hoeveel inspanning zal netbeheerder moeten leveren voor het ontwerpen, implementeren en gebruiken van de oplossing (personeel en IT/OT-aanpassingen)?
- **Operationele complexiteit:** In welke mate worden real-time operaties beïnvloed door de oplossing?
- **Betrouwbaarheid:** Heeft de oplossing invloed op de betrouwbaarheid van het net (storingsminuten)?
- **Veiligheid:** Heeft de oplossing een invloed op de (aanraak)veiligheid en/of (cyber)beveiliging van het net?

Aan iedere KPI is voor iedere oplossing een waarde toegekend op een schaal van één tot en met vijf, waarbij een waarde van één het meest ongunstig is, en een waarde van vijf het meest gunstig. De definitie van iedere waarde voor ieder van deze KPI's is weergegeven in Appendix B.

Op de basis van de beoordeling van elke oplossing, zijn de bevindingen geformuleerd en vertaald naar aanbevelingen, die als input voor de Netbeheerders, EZK en de ACM dienen voor besluitvorming en verdere beleidsontwikkeling.

2

HET NEDERLANDSE ELEKTRICITEITSNET

2.1	Opbouw van het net	19
2.2	Betrouwbaarheidseisen en impact op het netontwerp	22
2.3	De impact van de energietransitie op het Nederlandse elektriciteitsnet	26

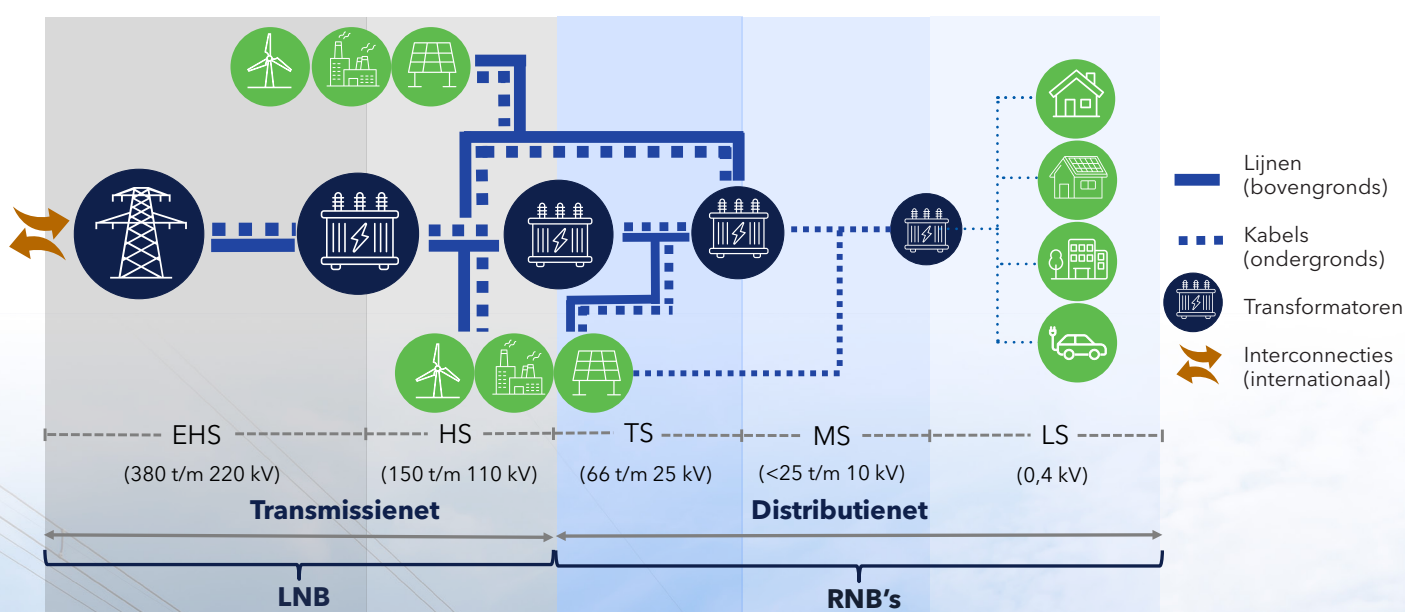
2. HET NEDERLANDSE ELEKTRICITEITSNET

2.1 Opbouw van het net

Het Nederlandse elektriciteitsnet is opgebouwd als een gelaagd systeem dat functioneert als een elektrisch wegennet, waarin ieder spanningsniveau een eigen rol, capaciteit en beheerder heeft. Hoe hoger de spanning, hoe groter de hoeveelheid energie die veilig en efficiënt kan worden vervoerd - vergelijkbaar met hoe brede snelwegen

grotere verkeersstromen aan kunnen dan lokale straten. De structuur is ingedeeld in twee hoofdnetten: het **transmissienet**, beheerd door de landelijke netbeheerder **TenneT (LNB)** en het **distributienet**, beheerd door de **regionale netbeheerders (RNB's)**.

Deze structuur, de verschillende lagen en hoe ze aan elkaar gekoppeld zijn wordt schematisch weergegeven in Figuur 2-1.



FIGUUR 2-1

Schematisch overzicht van het Nederlands elektriciteitsnet



TRANSMISSIENET

- Het **Extra Hoogspanningsnet** (EHS-net), ook bekend als het koppel- of transmissienet, functioneert als de snelwegen van het elektriciteitssysteem. Over de verbindingen in het EHS-net – met spanningsniveaus van 220 kV en 380 kV – worden grote hoeveelheden elektriciteit efficiënt over lange afstanden getransporteerd, zowel binnen Nederland als internationaal.
- Het **Hoogspanningsnet** (HS-net), met spanningen van 110 en 150 kV en bekend als het transportnet, fungeert als het netwerk van provinciale wegen. Deze kunnen worden beschouwd als ruggengraat van het verkeersnetwerk, waarover grote verkeersstromen tussen regio's plaatsvinden. Het is minder zwaar uitgevoerd dan het EHS-net, maar nog steeds robuust genoeg voor grote vermogens.

DISTRIBUTIENET

- Het **Tussenspanningsnet** (TS-net), heeft ook een transportfunctie, maar op kortere afstanden en op spanningsniveaus van 25 t/m 66 kV. Deze netten zijn niet overal aanwezig, alleen waar nodig.
- Het **Middenspanningsnet** (MS-net), kent spanningen hoger of gelijk aan 10 kV en lager dan 25 kV en functioneren als regionale en stedelijke wegen, waarop de transportvolumes kleiner zijn, de afstanden korter en het distributienetwerk zich verder vertakt richting wijken, bedrijven en lokale stations. Het wordt opgesplitst in het MS-transportnet (MS-T) dat verbonden is aan het TS- of HS-net, en het MS-distributienet (MS-D) dat verbonden is aan het laagspanningsnet (LS-net).

LAAGSPANNINGSNET

Het **Laagspanningsnet** (LS-net), heeft een spanning van 0,40 kV en vormt het netwerk van lokale wegen, waarmee de kortere afstanden naar woningen en MKB worden overbrugd.

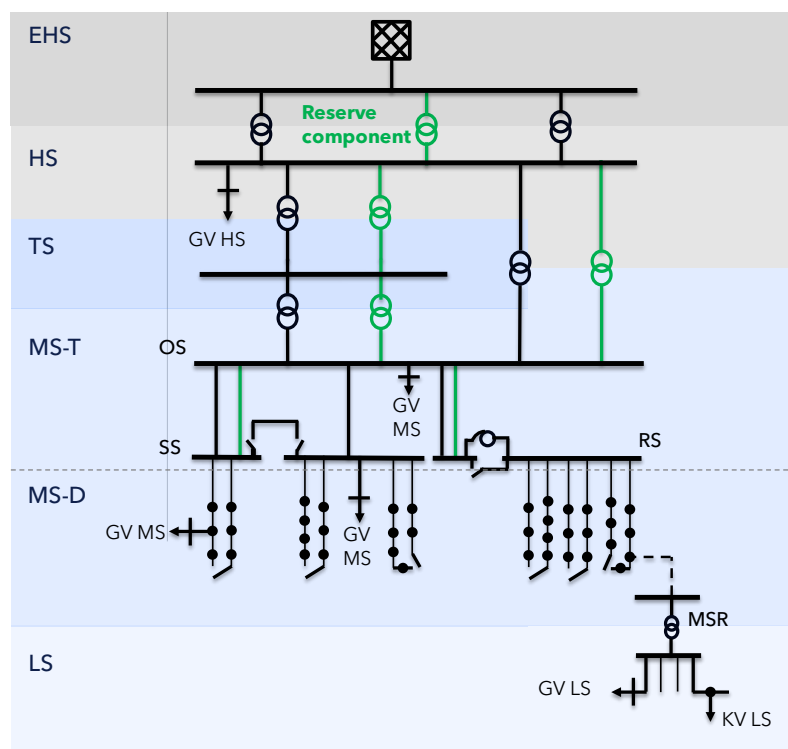
Het overdrachtspunt voor het beheer van deze netten zit op de grens tussen het HS en het TS-/MS-net, waarbij de RNB's verantwoordelijk zijn voor het distributienet vanaf de HS/TS of HS/MS transformatoren.

Hoewel elk spanningsniveau een duidelijke functie heeft, kennen de netten ook nadelen en uitdagingen. Hogere spanningsniveaus zijn efficiënter voor transport, maar de benodigde infrastructuur is groter, specialistischer en duurder. De impact op de omgeving is het grootst, omdat de verbindingen (lijnen) veelal bovengronds zijn. Ze hebben de meeste elektromagnetische interferentie en hebben, net als de snelwegen, de grootste impact op doorkruising van landschappen, geluid en fijnstof. Daarentegen, zijn lagere spanningsniveaus beter geschikt voor lokale distributie, maar veel gevoeliger voor piekbelasting, spanningsproblemen en teruglevering.

De combinatie van deze ontwerpkenmerken bepaalt hoe robuust, flexibel en uitbreidbaar het elektriciteitsnet is. Ook van belang zijn de onderdelen van het net, waarvan de netstations een essentiële rol spelen in het functioneren. Onder andere als schakel tussen de verschillende netten en voor het aansluiten van klanten. Deze netstations en de klanten die op de verschillende netten aangesloten zijn, worden in de volgende alinea's toegelicht en zijn in Figuur 2-2 weergegeven.

Netstations

- **Onderstations (OS):** Faciliteren de verbinding tussen verschillende spanningsniveaus van het EHS- tot het MS-net. Met transformatoren wordt op deze onderstations de spanning omzetten naar het juiste spanningsniveau.
- **Schakelstations (SS):** bevinden zich in het MS-T-net en hun functie is vergelijkbaar met die van een stekkerdoos. De spanningsniveaus blijven gelijk, maar de elektriciteit wordt in meerdere richtingen verdeeld.
- **Regelstations (RS):** Zijn vergelijkbaar met de schakelstations maar hebben als hoofdfunctie het reguleren van de spanning in de MS-T-netten, door middel van regeltransformatoren. Transport van elektriciteit over lange afstanden gaat namelijk gepaard met spanningsverliezen, wat tot spanningsproblemen kan leiden.
- **Middenspanningsruimte (MSR):** vergelijkbaar met de onderstations op het MS-T en hoger, faciliteren de MSR's de verbinding tussen het MS- en LS-net door het omzetten van de spanning naar het juiste niveau door middel van transformatoren.



FIGUUR 2-2

Netstations en klanten van het elektriciteitsnet

Klanten

De afnemers van het elektriciteitsnet worden aangesloten op de verschillende netvlakken afhankelijk van de grootte van hun aansluiting, zoals weergegeven in Tabel 2-1.

CATEGORIE	KLANT TYPE EN VERMOGEN	LOCATIE VAN AANSLUITING
Grootverbruik HS (GV HS)	• Industriële afnemers en datacenters > 100 MVA • Energiecentrales < 500 MVA	HS-net - direct op onderstation
Grootverbruik MS (GV MS)	300 kVA - 100 MVA: • ≥ 2 MVA • ≥ 300 kVA (0,3 MVA)	TS-net of MS-net: • Direct op onderstation, regelstation of schakelstation met eigen kabel • MS-net - MS-zijde van MSR
Grootverbruik LS (GV LS)	60 kVA - 300 kVA	LS-net - LS-zijde van MSR met eigen kabel
Grootverbruik LS (KV LS)	Huishoudens en MKB	LS-net - aftak op LS-hoofdkabel

TABEL 2-1

Klanten van het elektriciteitsnet

2.2 Betrouwbaarheidseisen en impact op het netontwerp

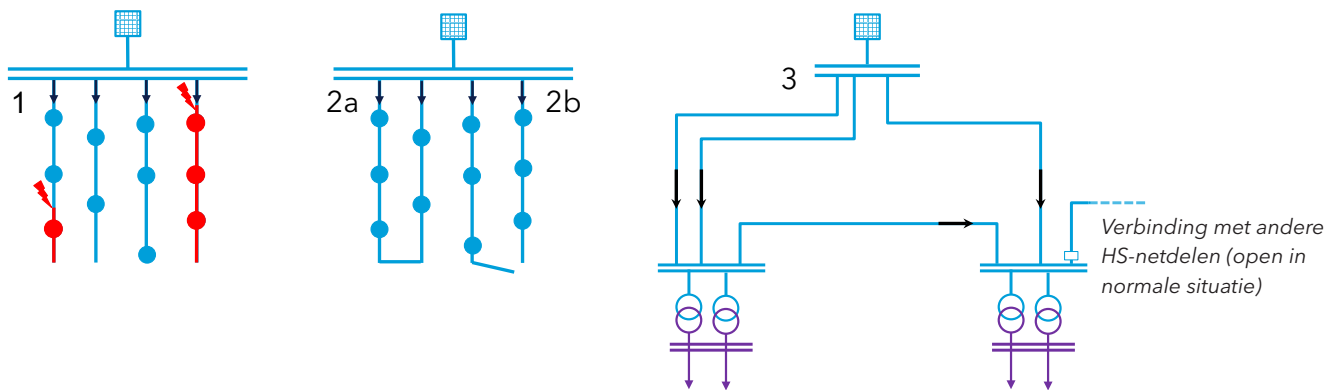
Het (E)HS-net van 110 kV en hoger, inclusief de daaraan gekoppelde transformatoren van de regionale netbeheerders, is ontworpen om te voldoen aan **wettelijke betrouwbaarheidseisen** zoals vastgelegd in artikel 3.26 van de Energiewet en de daarop van toepassing zijnde vrijstellingen (Energiebesluit) en verleende ontheffingen. Deze eisen waarborgen dat de elektriciteitsvoorziening kan worden gecontinueerd wanneer een willekeurig netcomponent uitvalt, wat bekend staat als het N 1 criterium. Dit betekent dat voldoende storingsreserve aanwezig moet zijn voor:

- **N 1 situatie:** een component valt uit tijdens normaal bedrijf.
- **N 1 situatie tijdens onderhoud:** een storing treedt op terwijl een component buiten bedrijf is vanwege onderhoud.

Hoewel TS- en MS-netten geen wettelijke verplichting kennen voor het aanhouden van storingsreserve, voorzien regionale netbeheerders hier in de praktijk wel in. Prestatie-indicatoren die de tarieven beïnvloeden zoals Jaarlijkse Uitvalduur en Jaarlijkse Uitvalfrequentie, evenals de inspanningsverplichting om storingen binnen gestelde richttijden op te lossen, maken redundantie ook in deze spanningslagen noodzakelijk. Daarnaast dienen de netbeheerders de spanning die aangeboden wordt aan de klanten stabiel en binnen de wettelijke grenzen te houden, wat eveneens vraagt om voldoende reservecapaciteit. Deze indicatoren sturen de infrastructuurplanning en operationele beslissingen, en zorgen ervoor dat de elektriciteitsvoorziening zo betrouwbaar mogelijk blijft onder wisselende belastingcondities van het net.

De benodigde storingsreserve kan gefaciliteerd worden d.m.v. fysiek aanwezige additionele of reservecomponenten in het net. Dit betekent dat een deel van de aanwezige netcapaciteit gereserveerd blijft en dus niet benut wordt tijdens de normale toestand of bedrijfssituatie van het net, zonder onderhoud en/of een storing. Deze normale bedrijfssituatie staat bekend als 'N situatie' (ook wel 'N-0' genoemd). De storingsreserve kan ook gerealiseerd worden door de aanwezigheid van omschakelmogelijkheden in het netontwerp.





FIGUUR 2-3

Voorbeeld van een radiaal (1), een ringvorming (2) en een vermaasd net (3)

De mate van storingsreserve verschilt per netconfiguratie. Drie hoofdtypen, weergegeven in Figuur 2-3 worden onderscheiden.

- **Radiale netten (1)** bevatten doorgaans geen storingsreserve. Doordat er alternatieve voedingen en schakelmogelijkheden ontbreken worden klanten achter de storingslocatie direct spanningsloos bij zowel storingen als onderhoud. Normaliter zijn allen LS-netten radiaal aangelegd, waardoor de impact relatief beperkt is en dit netontwerp geaccepteerd wordt. Dit wordt in Figuur 2-3 geïllustreerd met twee storingen bij het radiaal ontwerp: als er een storing is aan het einde van de linker kabel, dan is het aantal getroffen klanten beperkter ten opzichte wanneer er een storing is aan het begin van de meest rechtse kabel (beide in rood weergegeven).
- **Ringvormige netten (2)** zien we voornamelijk in MS-D-netten, waar de impact van storing of aanzienlijk toeneemt ten opzichte van storing of onderhoud in een LS-net. In dit ontwerp zijn netdelen op twee punten verbonden met het station; er ontstaat een ring, waardoor het net een N-1 mogelijkheid kent via een alternatieve route (situatie 2a), zonder dat een reservecomponent is aangelegd. Wel wordt er met de aanleg rekening mee gehouden dat de kabels voldoende capaciteit beschikbaar hebben voor het voeden van alle belasting bij een storing. Echter, in de praktijk worden deze netten vaak radiaal bedreven, met een geopende ring of netopening (situatie 2b) voor eenvoudiger bedrijfsvoering, beveiligingscoördinatie en lokalisatie van storingen. Bij storing kan deze opening worden gesloten, waardoor na tijdelijke onderbreking de stroomvoorziening binnen korte tijd kan worden hersteld. De werkelijke storingsreserve zit in de omschakelbaarheid en het feit dat kabels ontworpen zijn om de belasting van de alternatieve route tijdelijk over te nemen.

- **Vermaasde netten (3)** kenmerken zich doordat ieder punt via meer dan twee verbindingen op het net is aangesloten. Hierdoor kan aan het N-1 criterium worden voldaan zonder dat voor elk component een afzonderlijk reservecomponent nodig is. Vanwege de grote impact van storingen in deze hogere spanningslagen zijn het EHS- en HS-net in Nederland vrijwel volledig vermaasd uitgevoerd. Daarnaast gelden wettelijke verplichtingen die voorschrijven dat alle (E)HS-netten over voldoende storingsreserve beschikken; voor netdelen met een transportvermogen van ≥ 200 MW geldt bovendien het N-1 tijdens onderhoud criterium.

Een belangrijk voordeel van vermaasde netten is dat op afstand bedienbare schakelmogelijkheden, aangestuurd vanuit centrale control rooms, het mogelijk maken om het net tijdelijk te herconfigureren wanneer zich een storing voordoet. Hierdoor hoeft de stroomvoorziening niet te worden onderbroken en blijft het net, ondanks het uitvallen van één component, volledig operationeel. Afhankelijk van de mate van automatisering van het net, kan het voorkomen dat ook handmatige handelingen nodig zijn in een vermaasd net.

Op basis van de verwachte piekbelastingen wordt bepaald of het net onder alle relevante storingsscenario's binnen zijn technische limieten blijft. Voor elk type N-1 situatie wordt geanalyseerd of de resterende verbindingen en transformatoren de belasting kunnen verwerken zonder overschrijding van thermische of elektrische grenzen.

Figuur 2-4 (1) laat enkele mogelijke N-1 situaties zien (X: gestoord component) die in een vermaasd net kunnen optreden én hoe de belasting voorzien blijft in deze situaties. Figuur 2-4 (2) geeft de werking weer van het N-1 tijdens onderhoud principe.

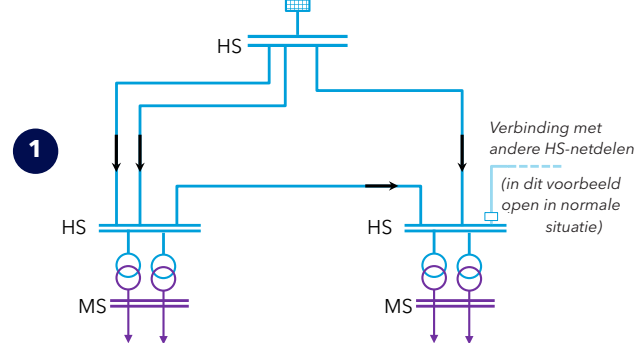
In Figuur 2-4 (1a) is te zien dat als er een storing aan een verbinding, in dit geval tussen HS-station B en HS-station C optreedt, er geen onderbreking in de belasting optreedt. Maar dat het enkel leidt tot een verschuiving van het vermogen over de overige verbindingen tussen HS-station A en B, alsmede HS-station A en C.

In Figuur 2-4 (1b) is op een soortgelijke manier te zien dat als er een storing aan een transformator bij HS-station B optreedt, er dan ook geen onderbreking in de belasting optreedt. In dit geval leidt het enkel tot een verschuiving van al het vermogen naar de overgebleven transformator bij HS-station B. In beide voorbeelden gaat het om een enkele storing. Mocht er een tweede storing tegelijkertijd optreden dan is levering aan alle belasting niet meer verzekerd.

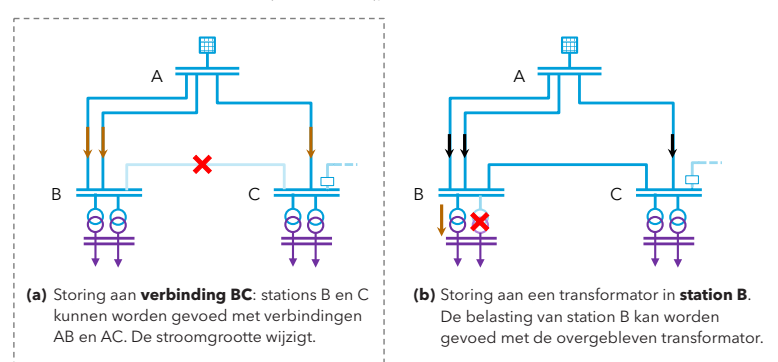
In Figuur 2-4 (2a) is te zien dat er een verbinding uit gebruik is genomen voor onderhoud, in dit geval de verbinding tussen HS-station B en C, én er vindt een storing plaats op een van de twee verbindingen tussen HS-station A en B. In dat geval is er nog steeds geen onderbreking in de belasting omdat er voldoende verbindingsopties over zijn voor levering. Dit leidt nog wel tot een verschuiving van het vermogen over de overige verbindingen tussen HS-station A en B. Deze wordt hoger. In Figuur 2-4 (2b) is op een soortgelijke manier te zien dat als er tijdens onderhoud aan de verbinding tussen HS-station B en C, een storing plaats vindt op de enkelvoudige verbindingen tussen HS-station A en C, de levering nog vanuit een ander deel van het vermaasd net kan gebeuren waardoor er ook dan geen onderbreking in de belasting is.

Om tijdens onderhoud ook te kunnen voldoen aan het N-1-criterium moet er ook gekeken worden of er voldoende capaciteit in de overgebleven ketens aanwezig zijn om het vermogen dat tijdens onderhoud omgeleid moet worden op te kunnen vangen. Figuur 2-5 laat zien dat de er dus rekening gehouden moet worden met de actuele belasting bij het plannen van de onderhoudswerkzaamheden, en dat er op bepaalde momenten in het jaar, wanneer de belasting hoog is, dus geen onderhoudsmogelijkheid is waarbij het N-1 criterium in stand kan worden gehouden.

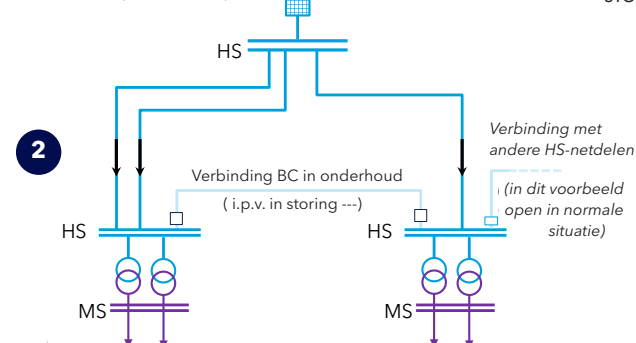
NORMAAL BEDRIJF (N SITUATIE)



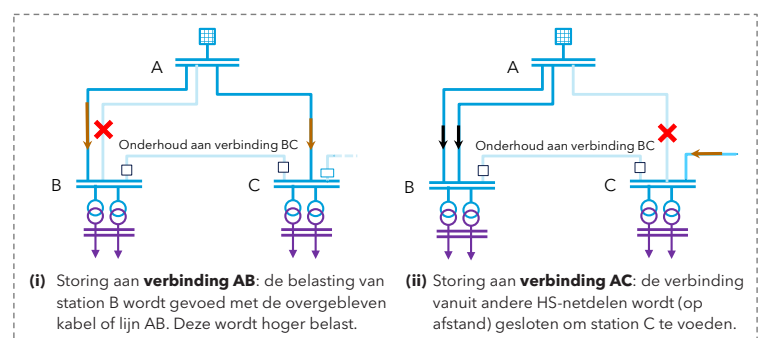
STORING AAN EEN COMPONENT (N-1 SITUATIE), twee voorbeelden



ONDERHOUD (N-1 SITUATIE)

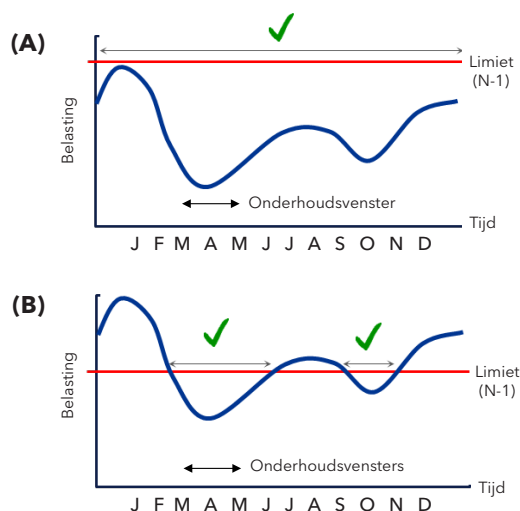


STORING AAN EEN COMPONENT TIJDENS ONDERHOUD (N-1 TIJDENS ONDERHOUD), twee voorbeelden



FIGUUR 2-4

- (1) Voorbeeld van het N-1 criterium in een vermaasd net, twee storingssituaties
 (2) Voorbeeld van het N-1 tijdens onderhoud in een vermaasd net, twee storingssituaties



Voor onderhoud aan verbinding BC (en andere verbindingen en componenten) worden de onderhoudsvensters bepaald na netanalyse. Het kan zijn dat:

(A) De belasting van de verbinding onder de limiet blijft en daarmee het onderhoud het hele jaar door gepland kan worden.

(B) De belasting hoger is dan 100 MW waardoor een overschrijding van N-1 limiet tijdens onderhoud is. In deze situaties wordt het onderhoud gepland op de momenten waarop de belasting van de overige verbindingen en componenten onder hun N-1 limiet blijft.

FIGUUR 2-5

Bepalen van onderhoudsvensters

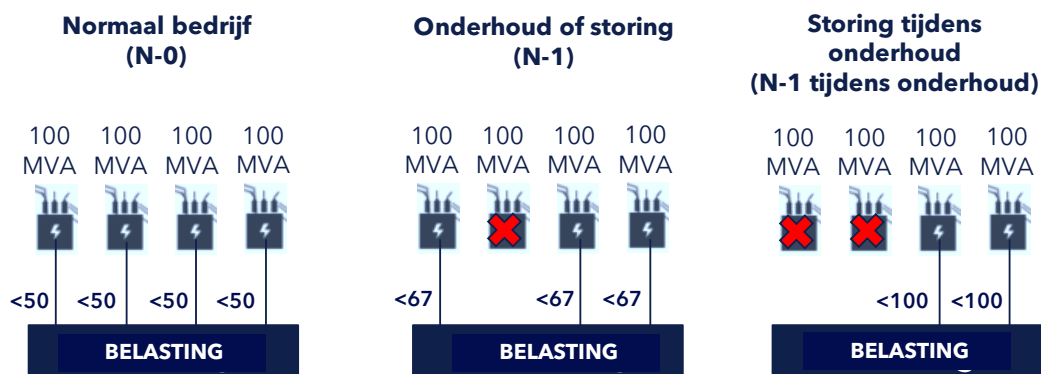
Het voorbeeld van een EHS/HS onderstation met vier transformatoren van elke 100 MVA, in Figuur 2-6 weergegeven, illustreert in meer detail hoe de benodigde reservecapaciteit wordt bepaald in een vermaasd net.

Het *totaal opgesteld vermogen* is 400 MVA. Rekening houdend met een enkelvoudige onderhouds- of storingsituatie betekent in dit voorbeeld dat één van de transformatoren moet kunnen uitvallen (N-1). In het geval van een storing tijdens onderhoud (N-1 tijdens onderhoud) betekent het in dit voorbeeld dat er twee transformatoren tegelijk niet in bedrijf zijn. De *aanwezige transportcapaciteit* is in dit voorbeeld daarom gelijk aan 200 MVA. Dit is dus de maximale belasting, die tijdens onderhoud aanwezig mag zijn. Op deze manier kunnen twee transformatoren die nog in bedrijf zijn veilig opereren wanneer een storing tijdens onderhoud optreedt. Hierdoor is tijdens normaal bedrijf de belasting van iedere transformator altijd $\leq 50\%$ en de storingsreserve is in dit geval 200 MVA. Omdat het een

willekeurige storing betreft valt in de praktijk het reservecomponent niet te onderscheiden van de andere componenten.

Onderstations van RNB's worden ook wel bedreven in 'hot-stand by modus'. Dat wil zeggen dat in tegenstelling tot het besproken voorbeeld in Figuur 2-6, de reservetransformator niet belast wordt tijdens de normaal situatie, maar wel paraat staat om de belasting over te nemen als zich een N-1 situatie voordoet.

Het in parallel bedrijven van transformatoren beïnvloedt het kortsluitgedrag van het net. De vluchtstrook kan dus enkel bestaan, en benut worden om klanten op aan te sluiten, als er ook voldaan wordt aan de gestelde criteria voor kortsluitgedrag.



FIGUUR 2-6

Voorbeeld van vier transformatoren in verschillende situaties

2.3 De impact van de energietransitie op het Nederlandse elektriciteitsnet

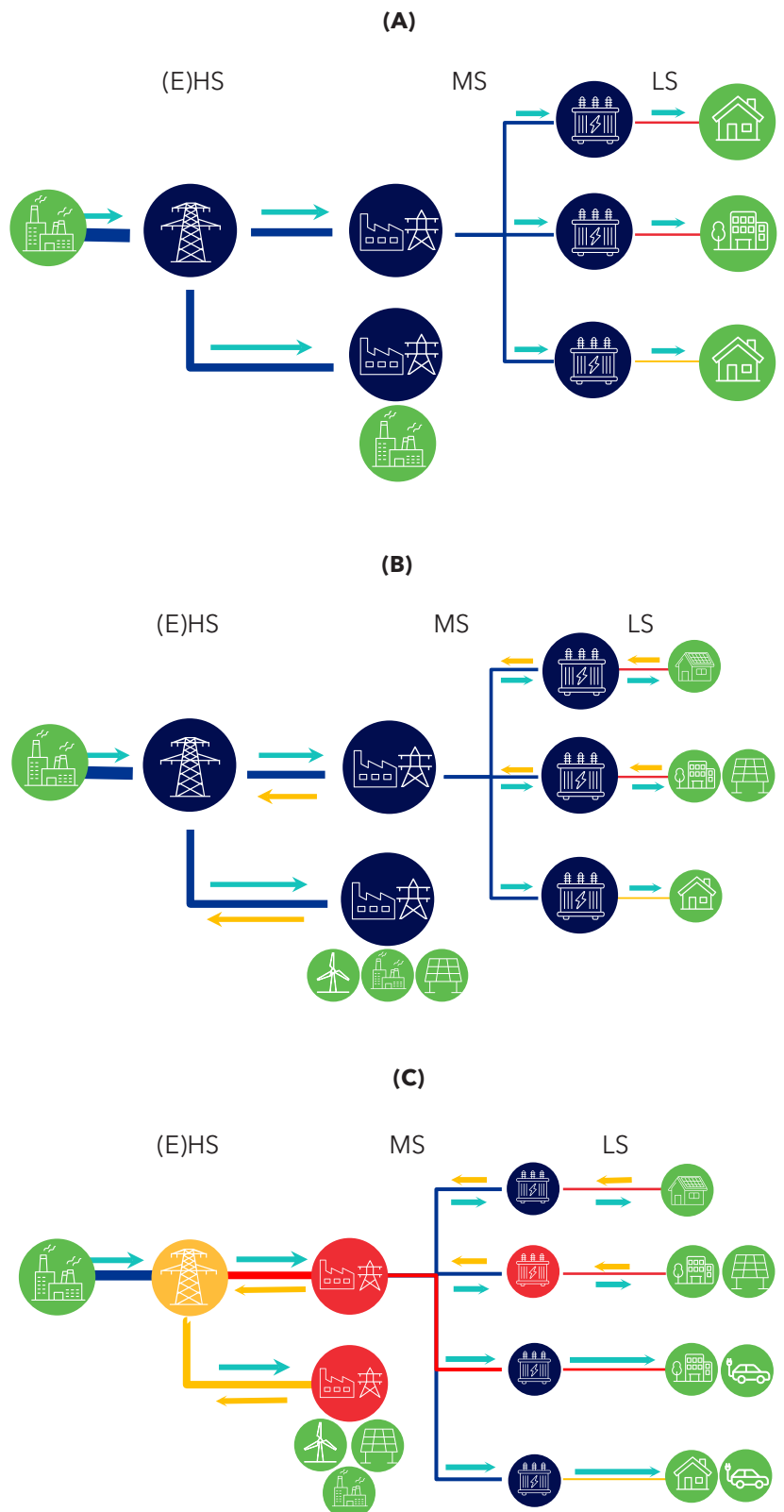
In Figuur 2-7 wordt de ontwikkeling van de vermogensstromen als gevolg van de energietransitie en de impact hiervan op het elektriciteitsnet weergegeven.

Traditioneel stroomt elektriciteit van conventionele, grootschalige energiecentrales, die zijn aangesloten op het (E)HS-net, via het MS-net naar de LS-netten waar de meesten verbruikers zijn aangesloten **(A)**.

Door **de energietransitie** worden hernieuwbare energiebronnen (zoals zonne-energie en windenergie) doorgaans aangesloten op het MS- en LS-net doordat zij een kleiner vermogen hebben dan de traditionele energiecentrales. Als gevolg hiervan kan het voorkomen dat elektriciteit in tegenovergestelde richting getransporteerd moet worden. Dat wil zeggen van lagere naar hogere spanningsniveaus **(B)**.

De vraag naar elektriciteit neemt tegelijk toe door de elektrificatie van de warmtevraag en vervoer, en door de groei van datacenters. Dit leidt steeds vaker tot **lokale congestie** tijdens piekuren van zowel vraag als opwek, doordat de aanwezige capaciteit op het elektriciteitsnet niet toereikend is **(C)**. Dit betekent dat:

- De capaciteitslimieten van sommige componenten overschreden dreigen te worden doordat er meer stroom door die specifieke componenten verwerkt moet worden of stroom in de andere richting dan waarvoor ze ontworpen zijn verwerkt moet worden.
- De spanning bij de klanten niet binnen de wettelijk gestelde normen blijven.



FIGUUR 2-7

Verandering in de vermogensstromen in het net als gevolg van de energietransitie leiden tot capaciteitstekort (en lokale congestie) in het net

3

ANALYSE HOOGSPANNINGSNET

3.1	Klantinspanningsproces: bepaling van capaciteit	29
3.2	Huidige en geprognoseerde benutting van het net	32
3.3	Analyse technische oplossingen	37
3.4	Algemene bevindingen	64

3. ANALYSE HOOGSPANNINGSNET

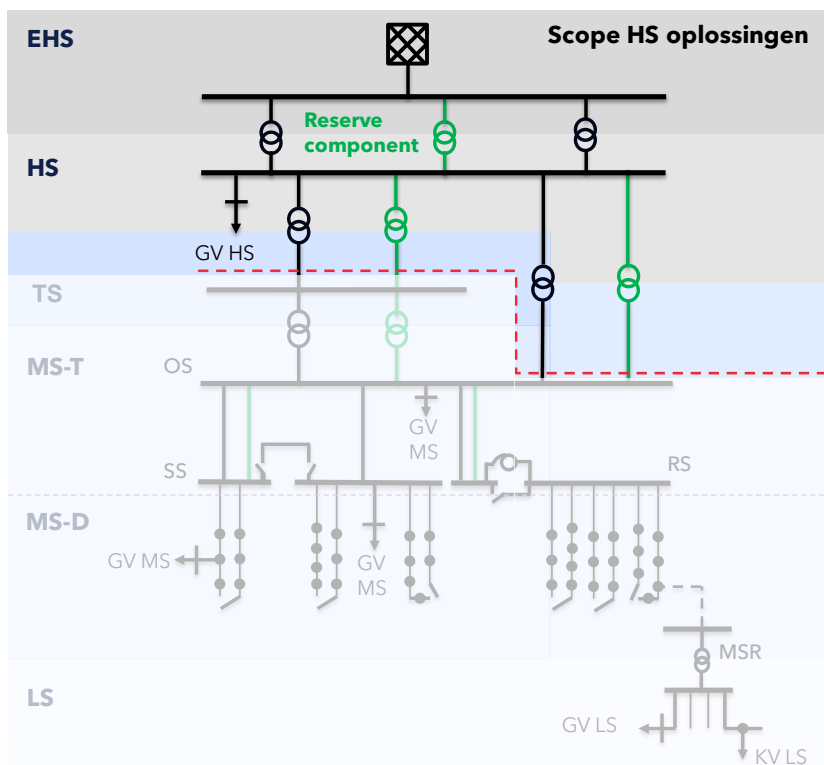
In dit hoofdstuk worden de technische oplossingen voor het hoogspanningsnet geanalyseerd. In Figuur 3-1 is weergegeven welke afbakening in dit rapport gehanteerd wordt voor het hoogspanningsnet. In hoofdstukken 4 en 5 worden de technische oplossingen voor midden- respectievelijk laagspanning geanalyseerd.

De technische oplossingen die in dit hoofdstuk beschouwd worden (zie paragraaf 3.3) hebben betrekking op de wijze waarop het HS-net bedreven wordt, ofwel de (korte termijn/real time) bedrijfsvoering. Bedrijfsvoering zit aan de knoppen en zorgt voor een goede leveringszekerheid en betrouwbaarheid.

Een ander belangrijk proces binnen de netbeheerder is de (lange termijn) netplanning. Enerzijds wordt binnen de netplanning bepaald welke netuitbreidingen en -vervangingen nodig zijn om aan de toekomstige vraag naar transportcapaciteit te kunnen voldoen, anderzijds wordt hier bepaald of en hoeveel klanten aangesloten kunnen worden. Het bepalen van de benodigde netuitbreidingen en -vervangingen is een iteratief proces dat eens in de twee jaar leidt tot het vaststellen van de InvesteringsPlannen (IPs); de klantinpassing is een continu proces dat steeds wordt uitgevoerd indien een klant een aanvraag indient voor transportvermogen.

In dit rapport wordt onderzocht in welke mate meer klanten aangesloten kunnen worden door het toepassen van technische oplossingen. Dit betekent dat in het planningsproces rekening moet worden gehouden met de technische oplossingen die de bedrijfsvoering tot zijn beschikking heeft (of zal hebben). Hiermee ontstaat een belangrijke link tussen beide processen.

Vanwege deze link wordt in dit hoofdstuk eerst ingegaan op het klantinpassingsproces (paragraaf 3.1), alsmede de huidige benutting van het net (paragraaf 3.2), voordat de technische oplossingen worden geïntroduceerd en geanalyseerd (paragraaf 3.3).



FIGUUR 3-1

Scope HS-oplossingen

3.1 Klantinspanningsproces: bepaling van capaciteit

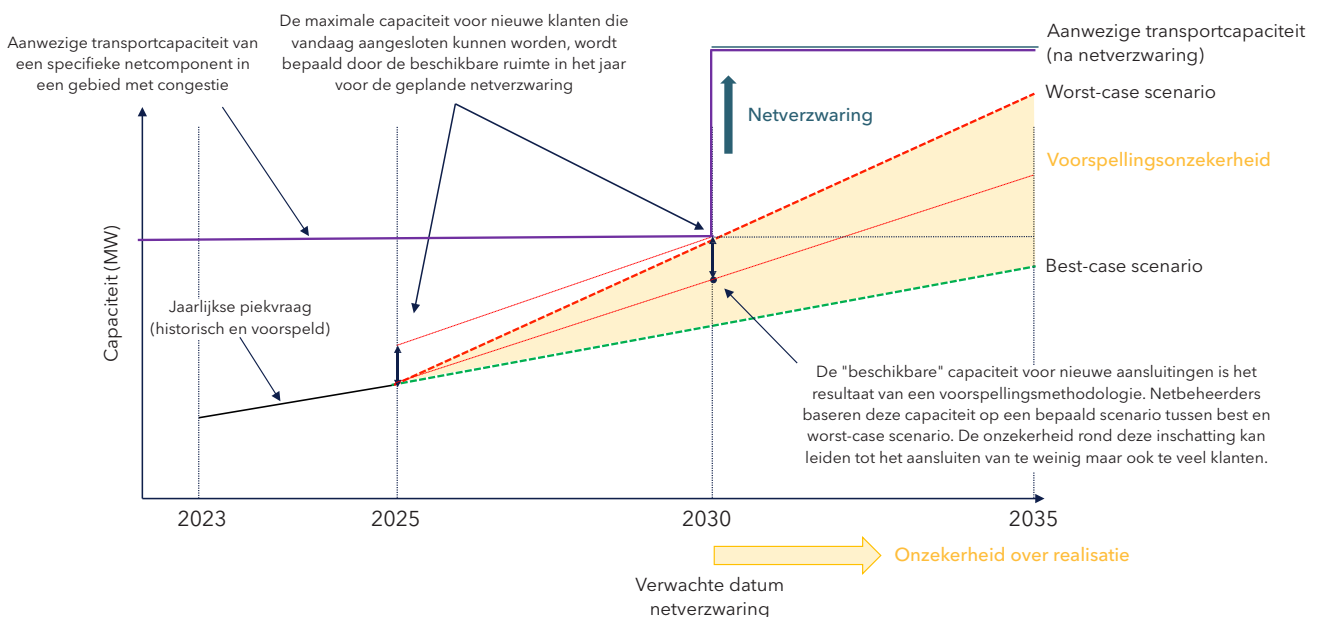
Om te begrijpen hoe technische oplossingen kunnen bijdragen aan het versneld aansluiten van klanten, is het van belang om nader in te gaan op het klantinpassingsproces bij de netbeheerder. Hierbij wordt in deze sectie toegelicht waarom er wachtrijen ontstaan, ook in gebieden waar de benuttingsgraad van het net nog relatief laag is.

3.1.1 TOELICHTING KLANTINSPANNING, CONGESTIE ONDERZOEK EN CONGESTIEMANAGEMENT

Bij iedere aanvraag van transportcapaciteit moet beoordeeld worden of deze gefaciliteerd kan worden binnen de bestaande en toekomstige infrastructuur. Hierbij zijn de volgende factoren van belang:

- Als de aanvraag in een congestiegebied gesitueerd is, is er reeds vastgesteld dat er transportschaarste is, en zal de aanvraag op de wachtrij geplaatst worden.
- Als er lokaal voldoende transportcapaciteit aanwezig is, moet er nog wel een toetsing op hogere netvlakken plaatsvinden. Bijvoorbeeld een aanvraag van enige omvang op het distributienet zal zowel op MS-D niveau als op MS-T- en (E)HS-niveau geverifieerd moeten worden, want de inpassing van deze klant zal immers impact hebben op alle niveaus.

- Als de transportcapaciteit schaars (of al ontoereikend) is, betekent dit in de meeste gevallen dat er al investeringen gepland zijn om de aanwezige capaciteit te verruimen. In de tweejaarlijkse investeringsplannen worden namelijk capaciteitsknelpunten in kaart gebracht, en investeringen gepland om deze op te lossen.
- Voor de klantinpassing betekent dit, dat vooral de periode tot de geplande investering van belang is. Hierbij is het laatste jaar voor de investering het meest kritisch, aangezien in de regel in dat jaar de belasting van de kritieke componenten het hoogst is.
- Als er in een bepaald gebied geen congestie is afgeroepen, kan een klantaanvraag deze wel initiëren. Dit betekent niet dat het toekennen van transportcapaciteit aan deze klant direct tot fysieke congestie leidt, maar wel dat het toekennen tot fysieke congestie kan leiden aan het einde van de congestieperiode (d.w.z. kort voor de netuitbreiding), zie ook de visualisatie in Figuur 3-2. Onder fysieke congestie wordt verstaan dat het net niet te allen tijde N-1 veilig bedreven kan worden, waarmee de betrouwbaarheid in gevaar komt.
- Om te bepalen of een klantaanvraag ingepast kan worden, is de prognose van de totale belasting van de kritieke netcomponent aan het eind van de congestieperiode (soms over 5-10 jaar) cruciaal. Deze prognose is echter aan vele onzekerheden onderhevig, zoals in paragraaf 3.1.2 verder wordt toegelicht.



FIGUUR 3-2

Impact van onzekerheden op de mate van klantinpassing

Bovenstaande factoren zijn gevisualiseerd in Figuur 3-2. Dit fictieve voorbeeld laat de inherente onzekerheden zien waar netbeheerders mee geconfronteerd worden bij het klantinpassingsproces. In paragraaf 3.1.2 wordt beschreven hoe netbeheerders in hun huidige werkwijze omgaan met deze onzekerheden: deze is niet gebaseerd op een worst-case scenario.

Volgens dit fictieve voorbeeld bedraagt de piekbelasting in 2025 slechts de helft van de aanwezige transportcapaciteit; er lijkt dus voldoende ruimte te zijn om nieuwe klanten aan te sluiten. Op basis van een worst-case scenario (d.w.z. maximale autonome groei) zal de totale vraag in 2030 (het jaar voor de netverzwaring) gelijk zijn aan de aanwezige transportcapaciteit, en kunnen er dus geen klanten aangesloten worden. Indien gerekend wordt met een gemiddelde prognose, is er nog enige ruimte om klanten aan te sluiten, zoals weergegeven.

Naast de onzekerheid in de belastingprognose, is ook de "datum ingebruikname" (IBN) van de netinvestering van groot belang. Als deze niet in 2030, maar pas in 2032 plaatsvindt, zal ook een berekening o.b.v. een gemiddelde prognose, geen ruimte meer tonen om nieuwe klanten aan te sluiten. Dit geldt nog sterker in situaties waarbij weliswaar de netuitbreiding in gebruik is genomen, maar er nog geen extra transportcapaciteit beschikbaar is. Daarmee zijn zowel de prognosemethodiek, als de veronderstelde IBN-datum, van groot belang bij de klantinpassing, in de wetenschap dat beide inherente onzekerheden bevatten.

Congestie management is gedefinieerd in de netcode, hoofdstuk 9. Het is erop gericht om bij transportschaarste, toch meer klanten aan te kunnen sluiten door deze of andere klanten binnen hetzelfde congestiegebied op momenten van schaarste hun opwek of afname aan te laten passen. Dit gaat dus primair over marktoplossingen, in tegenstelling tot technische oplossingen die in deze studie belicht worden. Echter, artikel 9.7.1.a van de netcode geeft ook aan dat de netbeheerder bij transportschaarste "de mogelijkheid om door middel van technische maatregelen anders dan netverzwaring de beschikbare transportcapaciteit te vergroten" dient te onderzoeken.

3.1.2 METHODE OPSTELLEN BELASTINGPROGNOSES

Zoals in paragraaf 3.1.1 beschreven, zijn belastingprognoses cruciaal om te bepalen of klanten ingepast kunnen worden op basis van de aanwezige transportcapaciteit in het net. Om deze reden gaan we globaal in op de vraag op welke wijze deze worden bepaald. Dit onderzoek richt zich echter niet op de vraag of de belastingprognoses voldoende nauwkeurig c.q. realistisch zijn. De netbeheerders geven aan dat de belastingprognoses die voor klantinpassing worden gebruikt, niet dezelfde zijn als de belastingprognoses die voor de investeringsplannen gebruikt worden. Hieronder wordt in grote lijnen beschreven waar deze prognoses uit bestaan, zowel voor de LNB als RNB.

Belastingprognoses LNB

Zowel in het landelijke als regionale transportnet, is sprake van vermaasde bedrijfsvoering van het net. Om de belastingprognose van componenten te bepalen, zijn technische berekeningen nodig. In vermaasde netten zijn deze berekeningen complex omdat er een veelvoud aan scenario's/gevoeligheden, ongeplande uitvalsituaties (storingen) en onderhoudssituaties doorgerekend moet worden.

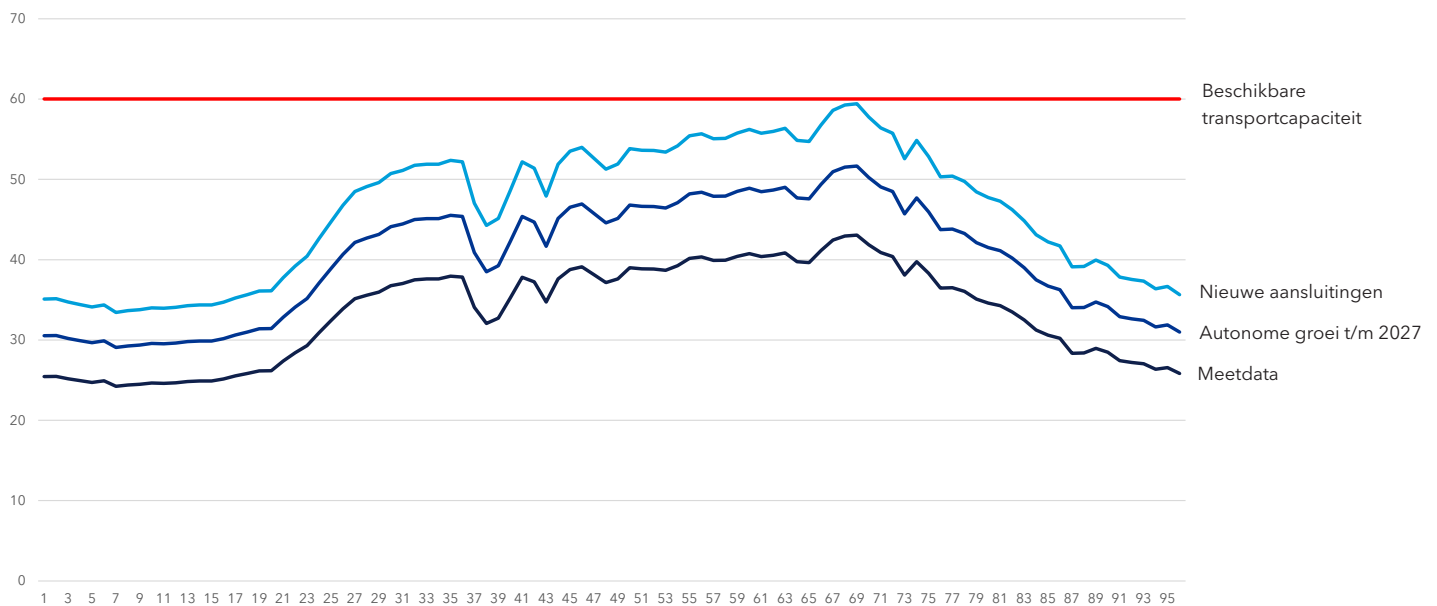
Een belangrijke input voor de berekeningen is de toekomstige vraag (en opwek) van aangesloten. Hiervoor geldt dat:

- Merendeel van belasting komt van distributienetten. RNB's stellen de belastingprognose per HS/MS onderstation op en leveren deze aan bij de LNB;
- Voor bestaande aangesloten op het transportnet wordt uitgegaan van historische data;
- Voor nieuwe klanten (met gecontracteerd transportvermogen) wordt de prognose opgesteld op basis van informatie van de klant.

In deze berekening dient ook rekening te worden gehouden met regelbaar vermogen of belasting die beïnvloed kan worden (via redispatch, TijdsDuurgebonden TransportRecht (TDTR), CapaciteitsBeperkende Contracten (CBC), etc.), waarmee de piekbelasting van bepaalde componenten en delen van het net omlaag gebracht kan worden.

Belastingprognoses RNB - HS/MS onderstations

Om de belasting op of achter een HS/MS onderstation te voorspellen zijn minder complexe berekeningen nodig dan op het transportnet. Deze voorspelling wordt gebaseerd op historische meetdata, en aangevuld met toekomstige toegezegde of onvermijdbare toename in belasting en het risiconiveau van het knelpunt. Deze is o.a. afhankelijk van het aantal overschrijdingen van het veilig vermogen. Hierbij is met name de dag uit het historisch verbruik met de hoogste piek van belang.



FIGUUR 3-3

Voorbeeld van een geprognosticeerde belasting van een onderstation ('slechtste' dag)

De prognose wordt vastgesteld voor elk jaar voorafgaand aan de netuitbreiding waarmee de congestie wordt opgeheven (hierbij is het laatste jaar in de regel het meest kritisch). In Figuur 3-3 raakt de geprognosticeerde piek, voor de "slechtste" dag in het "slechtste" (laatste) jaar, de aanwezige transportcapaciteit. Dit betekent dat er geen extra klanten meer aangesloten kunnen worden, en congestie wordt afgeroepen, ondanks dat de huidige piekbelasting slechts 72% bedraagt, en de huidige benutting (op jaarbasis) slechts 39% (fictief voorbeeld).

De aanwezige transportcapaciteit is hierbij het "bedrijfszekere vermogen", d.w.z. exclusief de gereserveerde storingsreserve.

De belastingprognose wordt opgebouwd uit de volgende elementen:

- Historisch verbruik, gemeten op het onderstation (vorig kalenderjaar).
- Autonome groei
 - Groei binnen het kleinverbruiksegment (m.n. EV-laders, warmtepompen).
 - Nieuwe woonwijken.
- Nieuwe klanten (of uitbreidingen) met een afgesloten transportovereenkomst, die niet in het 2024 profiel zijn opgenomen.

Per medio 2026 gaat dit veranderen, waarbij in beginsel geen ruimte gereserveerd zal worden voor nieuwe kleinverbruik aansluitingen, zoals nieuwe woonwijken.

Zowel de autonome groei, als het gedrag van nieuwe klanten, bevatten inherente onzekerheden. De RNB's hebben aangegeven dat de gemiddelde onzekerheid in hun belastingprognoses 15% bedraagt. Bij congestieperiodes van 5-10 jaar heeft deze onzekerheid een grote invloed op de mate waarin klanten ingepast kunnen worden.

Er bestaan veel misverstanden over deze belastingprognoses. Voor de goede orde vermelden we daarom:

- Voor bestaande grootverbruik klanten wordt geen rekening gehouden met het gecontracteerde transportvermogen (GTV), alleen met het historisch verbruik. Berekeningen gebaseerd op GTV zouden de prognose onrealistisch hoog maken aangezien deze dan geen rekening houdt met gelijktijdigheid (het feit dat niet alle piekbelastingen op dezelfde moment van de dag optreden).
- Ook bestaande, industriële klanten kunnen structureel een aansluiting/GTV beter gaan benutten, hier wordt bij de prognose geen rekening mee gehouden.
- Grootverbruikers en (grootschalige) opwekkers die geen transportovereenkomst hebben worden niet meegenomen.

3.2 Huidige en geprognostiseerde benutting van het net

Het elektriciteitsverbruik in Nederland is de afgelopen 10 jaar zeer stabiel geweest, met een jaarlijks verbruik van ca. 120 TWh⁵ en een piek van 18-19 GW⁶. Met een ruim gedimensioneerd elektriciteitsnet en veel geplande netverzwaringen roept dit de vraag op waarom er zoveel klanten in de wachtrij staan. In een aantal publicaties wordt vermeld dat het hoogspanningsnet maar voor 30-40% benut wordt, waarbij gesuggereerd wordt dat er nog voldoende ruimte is om meer klanten versneld aan te sluiten. De enige reden waarom dit niet zou gebeuren is dat de netbeheerders te veel veiligheidsmarges op elkaar stapelen.

Voor klantinpassing moet altijd de jaarlijkse piekbelasting beschouwd worden, omdat dit het kritieke moment bepaalt. Bovendien, zoals beschreven in paragraaf 3.1, om de beschikbare capaciteit voor nieuwe klantinpassingen te beoordelen, moet niet alleen naar de huidige pieken gekeken worden, maar juist naar de voorspelde pieken binnen de volledige congestieperiode. De maximale capaciteit voor nieuwe klanten die vandaag kunnen worden aangesloten, wordt bepaald door de geschatte toekomstige beschikbare capaciteit, zoals weergegeven in Figuur 3-2.

Om het potentieel van elke technische oplossing voor klantinpassing in perspectief te plaatsen, is het relevant om te begrijpen wat de huidige status van het gebruik van het elektriciteitsnet is. De capaciteit in het elektriciteitsnet wordt bepaald op basis van de volgende elementen:

1. De **aanwezige transportcapaciteit** is de capaciteit die de netbeheerders in het elektriciteitsnet beschikbaar hebben en wordt bepaald door netontwerpcriteria en operationele veiligheids-grenzen. De aanwezige transportcapaciteit bepaalt hoeveel klanten ingepast kunnen worden, rekening houdend met gelijktijdigheid. De netontwerpcriteria en operationele veiligheids-grenzen bepalen wat een net of een deel daarvan zou moeten kunnen. Elementen die hieronder vallen zijn onder andere de maximale belastbaarheid van componenten, spanningshuishouding van het net, kortsluit-vermogens, selectiviteit van beveiligingen, redundantie-eisen en ontwerpnormen uit technische standaarden. Om deze criteria en grenzen te bepalen, wordt rekening gehouden met onzekerheden zoals die van de belastingprognoses en de weersomstandigheden, die in veiligheidsmarges voor de aanwezige transportcapaciteit resulteren.

Een deel van deze marges dient om voor een stabiele en veilige bedrijfsvoering van het net te zorgen en zijn noodzakelijk, andere marges kunnen mogelijk gerekt worden om meer aanwezige transportcapaciteit te creëren. Dit laatste is onderdeel van het onderzoek in deze studie, waarbij de maximale belastbaarheid van componenten en de mogelijkheid om deze te verhogen beoordeeld worden en ook het tijdelijk inzetten van de enkelvoudige storingsreserve ten behoeve van het versneld aansluiten van klanten.

2. De **storingsreserve** is de capaciteit die regelmatig gebruikt wordt voor onderhoud en netuitbreidingen, zelden in geval van storingen. Daarmee garanderen de netbeheerders de betrouwbaarheid van het net. De **fysieke transportcapaciteit** is daarmee de som van de aanwezige transportcapaciteit en de storingsreserve.
3. De huidige benodigde transportcapaciteit die nodig is om aan de huidige vraag van alle aangeslotenen (de huidige **piekbelasting**) te kunnen voldoen.
4. De **verwachte groei** bevat de toename in de elektriciteitsvraag. Deze bestaat uit reeds toegezegde transportovereenkomsten die nog niet operationeel zijn, en natuurlijke groei. Toekomstige aanvragen voor transportcapaciteit en huidige aanvragen in de wachtrij zijn hier niet in opgenomen.
5. De **gevraagde transportcapaciteit** is opgebouwd uit de **(huidige) benodigde transportcapaciteit** en de **verwachte groei**. Deze capaciteit is gebaseerd op belastingprognoses.

Om het huidige gebruik van het net te beoordelen, heeft DNV gegevens verzameld over het capaciteitsgebruik van ongeveer 60 netcomponenten en onderstations die door congestie in het hoogspanningsnet getroffen worden. Dit betreft een steekproef van beperkte omvang, waarbij we de netbeheerders verzocht hebben een representatieve steekproef aan te leveren. DNV heeft hierbij niet vast kunnen stellen in welke mate de steekproef representatief is, omdat DNV geen inzicht had hoe deze steekproef is samengesteld.

⁵ Bron: [Aanbod en verbruik van elektriciteit, 1990-2024 | Compendium voor de Leefomgeving](#)

⁶ Bron: [ENTSO-E Transparency Platform](#)

3.2.1 HUIDIGE EN GEPROGNOTISEERDE BENUTTING TRANSPORTNET (LNB)

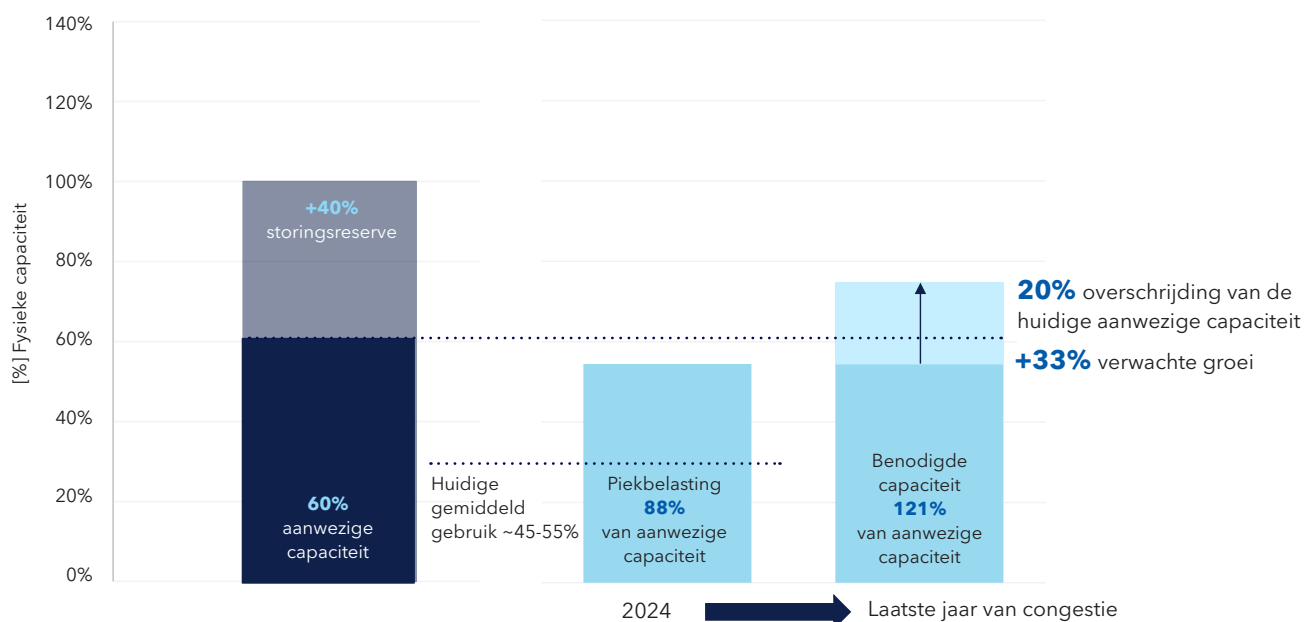
In Figuur 3-4 wordt de huidige benutting van het transportnet weergegeven. Dit overzicht is beperkt tot transformatoren waar transportschaarste heerst, d.w.z. dat de transformator (of het onderstation waar deze zich bevindt) de limiterende factor is. Dit betekent dat voor het gehele net de gemiddelde relatieve piekbelasting en benutting lager ligt dan in de figuur weergegeven is. We tonen de transportcapaciteit aan de hand van transformatoren, omdat het zeer complex is om de transportcapaciteit van het transportnet als geheel te tonen. Transformatoren zijn hierbij een goede representatie, omdat deze belangrijke componenten vormen in het net. De figuur toont drie kolommen:

- De linker kolom toont de fysieke transportcapaciteit. Vanwege de storingsreserve is deze niet volledig beschikbaar om klanten aan te sluiten, alleen de aanwezige transportcapaciteit kan hiervoor gebruikt worden. Deze kolom is minder tijdsafhankelijk, de waarden blijven gelijk tijdens de congestieperiode, pas de netverzwaring aan het eind van de congestieperiode leidt tot een verhoging hiervan.
- De twee rechter kolommen tonen de gevraagde transportcapaciteit van de aangesloten (inclusief distributienetten). Deze groeit door de tijd heen. Voor 2024 was deze gelijk aan de metingen op de transformatoren. Voor het laatste jaar van de congestie wordt de prognosemethodiek gehanteerd zoals beschreven in paragraaf 3.1.2. Dit overzicht is beperkt tot de vraag van aangesloten, de transportbehoefte van de klanten in de wachtrij is hier niet in opgenomen. Het plaatsen van klantaanvragen in de wachtrij is juist een manier om te voorkomen dat deze gevraagde transportcapaciteit nog verder boven de aanwezige capaciteit stijgt.

Op basis van TenneT data is Figuur 3-4 opgesteld. Dit betreft een simplificatie, zo wordt de lokaal aanwezige transportcapaciteit niet alleen op basis van transformatorgegevens bepaald, maar wordt naar de gehele netschakel gekeken. Desondanks geeft dit enig inzicht in de huidige benutting van het net, maakt het duidelijk waarom er congestie is, ook al is de huidige benutting relatief laag. Tevens kan hiermee de technische potentie van oplossingen geduid worden (zie paragraaf 3.2.3).

De volgende observaties kunnen gemaakt worden:

- TenneT reserveert gemiddeld 40% van de fysieke capaciteit storingsreserve.
- De gemiddelde benutting (gemiddeld gebruik) bedraagt ca. 27%-33% ten opzichte van de fysieke capaciteit (45-55% ten opzichte van de aanwezige capaciteit). Dit percentage is -als enige- niet gebaseerd op de aangeleverde data (alleen piekgegevens zijn uitgevraagd), maar op eerdere DNV-analyses. Het gemiddelde is hierbij genomen over verschillende transformatoren (onderstations/locaties), over het jaar 2024.
- Omdat deze gegevens zich beperken tot transformatoren met congestie, worden er geen extra klanten aangesloten. Toch voorspelt TenneT dat de piekbelasting stijgt met 18% ten opzichte van de fysieke capaciteit (33% ten opzichte van de aanwezige capaciteit) tot het laatste jaar voor de netverzwaring, door onder meer natuurlijke groei.
- Dit betekent dat zonder aanvullende maatregelen in de laatste jaren van congestie, het net op meerdere momenten van het jaar niet N-1 veilig bedreven kan worden. In de praktijk betekent dit dat TenneT op zoek moet naar regelbaar vermogen om de 20% overschrijding van de aanwezige capaciteit tegen te gaan.



FIGUUR 3-4

Benutting van de capaciteit van transformatoren met transportschaarste in het LNB-hoogspanningsnet (gemiddeld)

Conclusies

Uit deze gegevens blijkt dat gemiddeld genomen het inpassen van klanten geen optie is zonder aanvullende maatregelen (markt-gebaseerd, dan wel technisch van aard). Hierbij gelden de volgende kanttekeningen:

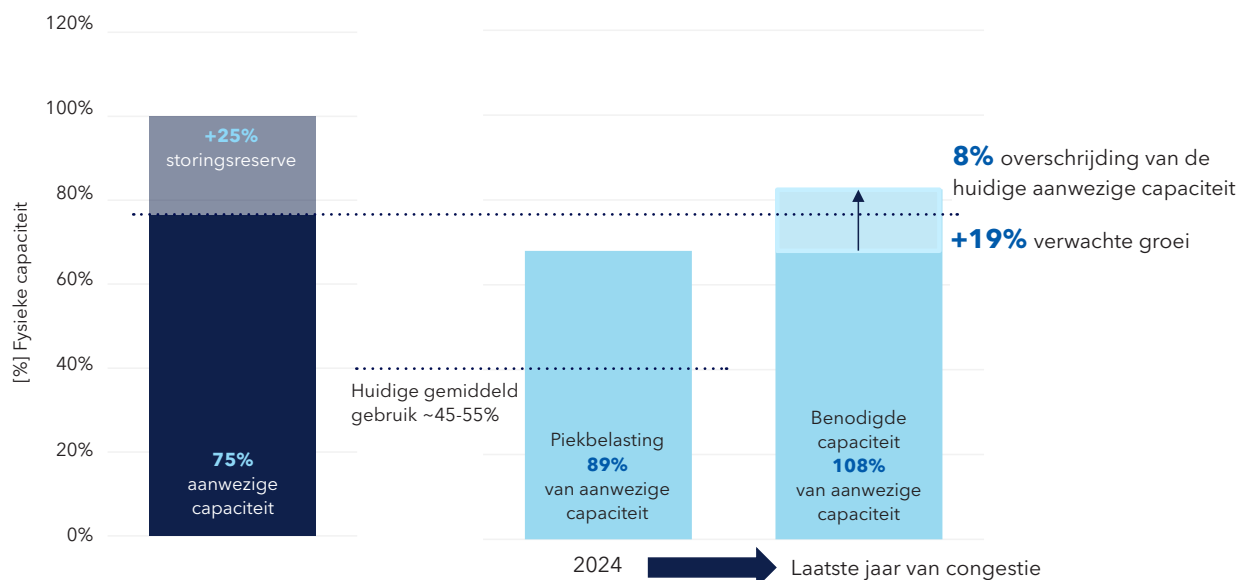
1. Deze studie heeft niet in detail gekeken naar de prognosemethodieken van de netbeheerders, hiervoor heeft EZK een ander traject gestart. Deze conclusie is gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch/betrouwbaar zijn.
2. Deze studie heeft niet in detail gekeken op welke wijze de LNB rekening houdt met regelbaar vermogen bij het bepalen van de toekomstige, benodigde transportcapaciteit.
3. Deze beschrijving heeft betrekking op de situatie in 2024. Het nieuwe prioriteringskader per 2025 heeft invloed op de benodigde reservering voor autonome groei; deze wordt beperkt tot de natuurlijke groei (de groei van het netgebruik binnen bestaande KV-aansluitingen en binnen het gecontracteerde transportvermogen van grootverbruikers), Deze wijziging kan leiden tot een verlaging van de geprognostiseerde, benodigde capaciteit in het laatste jaar van congestie.
4. De mate van representativiteit van de aangeleverde data voor het gehele hoogspanningsnet kon niet vastgesteld worden.

3.2.2 HUIDIGE EN GEPROGNOTISEERDE BENUTTING HS/MS ONDERSTATIONS (RNB)

Voor de HS/MS onderstations van de RNB's is een vergelijkbaar figuur samengesteld (Figuur 3-5). Dit betreft gemiddelde resultaten voor de drie RNB's.

De volgende observaties kunnen gemaakt worden:

- De RNB's reserveren gemiddeld 25% van de fysieke capaciteit als storingsreserve. Deze kan ook tijdens onderhoud ingezet worden. Hierbij is de fysieke capaciteit in principe gelijk aan de nominale capaciteit van de transformator. Indien zwaarder belasten al wordt toegepast, is dit verwerkt in de fysieke capaciteitswaarde.
- De huidige gemiddelde piekbelasting bedraagt ongeveer 67% ten opzichte van de fysieke capaciteit (89% ten opzichte van de aanwezige transportcapaciteit).
- De gemiddelde benutting bedraagt slechts ca. 33-41% ten opzichte van de fysieke capaciteit (45-55% ten opzichte van de aanwezige capaciteit). Dit percentage is -als enige- niet gebaseerd op de aangeleverde data (alleen piekgegevens zijn uitgevraagd), maar op eerdere DNV-analyses. Het gemiddelde is hierbij genomen over verschillende transformatoren (onderstations/locaties), over het jaar 2024.



FIGUUR 3-5

Benutting van de capaciteit van HS/MS transformatoren met transportschaarste (gemiddeld)

- Omdat deze gegevens zich beperken tot transformatoren met congestie, worden er geen extra klanten aangesloten. Ondanks deze maatregel voorspellen de netbeheerders dat de piekbelasting met 14% stijgt ten opzichte van de fysieke capaciteit (19% ten opzichte van de aanwezige capaciteit) tot het laatste jaar voor de netverzwaring.
- Dit betekent dat, zonder aanvullende maatregelen, in de laatste jaren van congestie, de onderstations op meerdere momenten van het jaar niet altijd N-1 veilig bedreven kunnen worden. In de praktijk betekent dit dat de RNB's op zoek moeten naar regelbaar vermogen om de 8% overschrijding van de aanwezige capaciteit tegen te gaan.

Conclusie

Vanwege de verwachte groei van het verbruik vóór de geplande netverzwaring, blijkt uit deze analyse dat er gemiddeld geen capaciteit beschikbaar is om meer klanten aan te sluiten. Ondanks het lage gemiddelde gebruik van het elektriciteitsnet komen tijdens pieken kritieke momenten voor, die momenteel de beperkende factor vormen voor het vrijmaken van ruimte voor nieuwe klanten. Dezelfde kanttekeningen gelden voor deze conclusie als voor de conclusies t.a.v. de LNB.

3.2.3 EFFECT VAN OPLOSSINGEN VOOR NETCONGESTIE

In bovenstaande figuren zijn de wachtrijen nog niet weergegeven. De figuren bieden een goede basis om weer te geven op welke wijze bepaalde oplossingen kunnen leiden tot het inpassen van meer klanten in congestiegebieden, en welk technisch potentieel hiervoor geldt. We gebruiken hiertoe het RNB-overzicht in Tabel 3-1 (voor LNB is dit niet wezenlijk anders). De oplossingen vallen uiteen in drie categorieën:

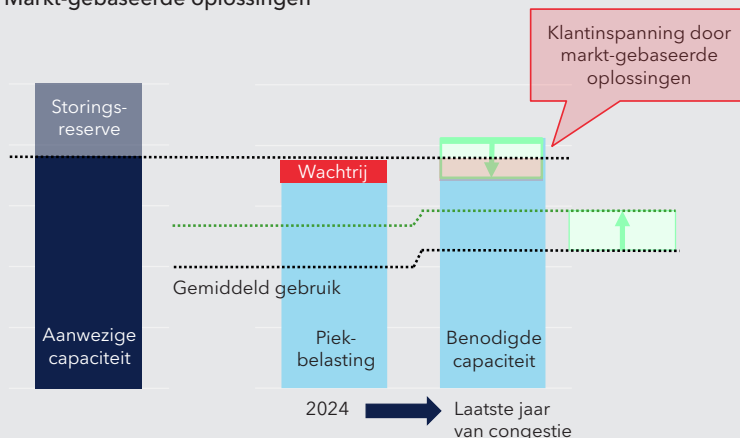
1. Het beter benutten van het net. Hierbij wordt de benutting verhoogd door de vraag te verschuiven van de piek naar het dal (bijvoorbeeld middels tijdsafhankelijke nettarieven), de piek te verlagen (bijvoorbeeld middels CBC's) of het dal te vullen (bijvoorbeeld middels TDTR). Hieronder vallen alle markt gebaseerde oplossingen. De analyse hiervan valt buiten de scope van dit onderzoek.
2. Het zwaarder belasten van netcomponenten. Dit is een van de belangrijkste technische oplossingen binnen dit onderzoek, deze wordt nader geïntroduceerd in paragraaf 3.3.1.
3. Het gebruik van de storingsreserve. Dit is ook een van de belangrijkste technische oplossingen binnen dit onderzoek, deze wordt nader geïntroduceerd in paragraaf 3.3.2.



De figuren in Tabel 3-1 maken inzichtelijk dat de drie categorieën op een andere wijze gebruik maken van beschikbare ruimte. Het technisch potentieel is hierbij een bovengrens, zo is voor marktoplossingen de bereidheid/mogelijkheid voor klanten om te flexibiliseren een beperkende factor. Voor de technische oplossingen zullen de belemmeringen geïdentificeerd worden in de volgende paragraaf.

Dit overzicht toont aan dat oplossingen waarmee meer klanten aangesloten kunnen worden, ook deels nodig zijn om de verwachte groei, boven de aanwezige transportcapaciteit, op te vangen. Hiermee kan dit potentieel dus niet een-op-een doorvertaald worden naar het terugdringen van wachtrijen, dit zal per locatie geanalyseerd moeten worden.

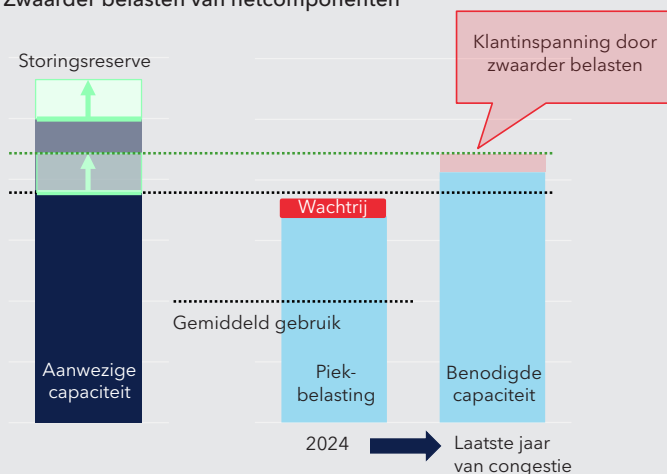
Markt-gebaseerde oplossingen



1

Bij markt-gebaseerde oplossingen wordt de ruimte tussen de gemiddelde belasting en piekbelasting benut. Eerder intern onderzoek binnen Netbeheer Nederland heeft aangetoond dat vraagverschuiving een technisch potentieel heeft om 25-30% meer klanten aan te sluiten, op HS/MS onderstation niveau. Dit betreft het technisch potentieel, niet het marktpotentieel dat vooral afhankelijk is van de vrijwillige participatie van aangesloten.

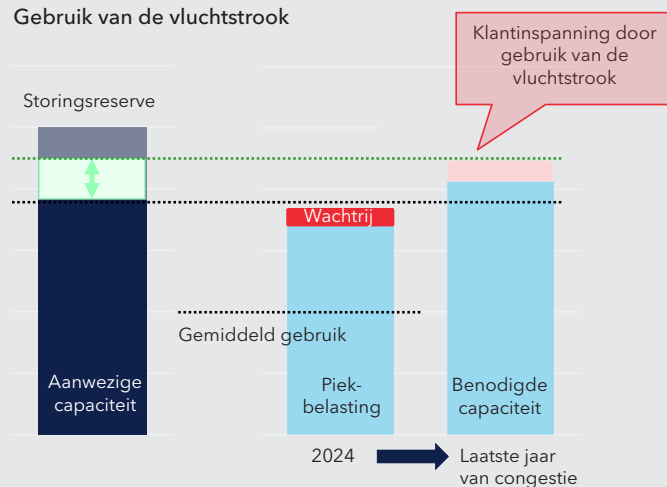
Zwaarder belasten van netcomponenten



2

Het zwaarder belasten van netcomponenten verhoogt de fysieke capaciteit (aanbodzijde van capaciteit), hiermee wordt zowel de aanwezige transportcapaciteit als de capaciteit van de storingsreserve verhoogd. Het technisch potentieel wordt in deze studie onderzocht, deze heeft dezelfde orde grootte als categorie 1 en 3.

Gebruik van de vluchtstrook



3

Het gebruik van de storingsreserve bevindt zich eveneens aan de aanbodzijde van de capaciteit. Het technisch potentieel hiervan is gelijk aan de capaciteit van deze reserve, voor de RNB is deze 33% ten opzichte van de aanwezige transportcapaciteit.

TABEL 3-1

Technische potentie van markt-gebaseerde en technische oplossingen

3.3 Analyse technische oplossingen

Zoals in de inleiding van dit rapport aangegeven, heeft DNV een lange lijst van mogelijke technische oplossingen opgesteld die gebaseerd is op eerdere DNV-congestie en belastbaarheidsonderzoeken. De oplossingen die van toepassing zijn op het (E)HS-net beheerd door de LNB en op de transformatoren van de RNB's die deze netten met het TS- en MS-net verbinden (conform scope weergegeven in Figuur 3-1) zijn in Tabel 3-2 opgenomen.

Hieruit zijn de kansrijke oplossingen, met significante potentie voor het rekken van de netcapaciteit ten behoeve van klantinpassing, geselecteerd en in de volgende secties uitgewerkt. Elke oplossing is in detail beschreven. Vervolgens is op basis van de informatie die door de netbeheerders is verstrekt de mate en manier waarop ze deze op dit moment toepassen beschreven. Waarna de analyse van DNV, belemmeringen voor het benutten van de potentie van de oplossing en de conclusies en aanbevelingen presenteert.

De oplossingen waarvan is gebleken dat deze ofwel niet geschikt zijn om toe te passen op hoogspanning, ofwel al volledig benut worden, zijn kort toegelicht in Appendix A.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
Kansrijke oplossingen HS		
3.3.1	Zwaarder belasten van netcomponenten	Voor een specifiek aantal componenten mag de werkelijke stroom door een component onder bepaalde (temperatuur)omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximum ontwerptemperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
3.3.2	Inzet storingsreserve	De inzet van de enkelvoudige storingsreserve t.b.v. het aansluiten van meer klanten. Hierbij zijn veel mitigerende maatregelen nodig om de impact van een storing op te vangen, bijv. afschakelbare contracten met (industriële) eindgebruikers.
3.3.3	LNB-RNB coördinatie	Nauwere/geavanceerde samenwerking tussen LNB en RNB. Voorbeelden hiervan zijn: (1) Verlengen vluchtstrook en (2) Gezamenlijke congestieonderzoeken.
Onvoldoende potentie of al volledig benut door netbeheerders (Appendix A)		
Geavanceerde stroomsturing		Voorbeelden hiervan zijn het gebruik van PST's (faseverschuivingstransformatoren ofwel dwarsregelaar) en HVDC's (High-Voltage Direct Current-systemen).
Spanningskwaliteitsbeheersing		Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitproblemen, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan.
Herconfigurering van het elektriciteitsnet		Dit betreft oplossingen om het bestaande net anders te configureren, teneinde lokaal de aanwezige transportcapaciteit te verhogen.
Risico-gebaseerde klantinpassing		Verdere verschuiving van een deterministische naar risico-gebaseerde methode voor de klantinpassing. In principe in combinatie met mitigerende maatregelen, dit kunnen zowel technische of marktgebaseerde oplossingen zijn.

TABEL 3-2

Lijst van technische oplossingen

3.3.1 ZWAARDER BELASTEN

3.3.1.1 Beschrijving

Wanneer een netcomponent op een veilige manier meer stroom mag voeren dan de nominale capaciteit, zonder dat de maximale ontwerptemperatuur overschreden wordt (zoals verderop in dit hoofdstuk wordt uitgelegd), spreekt men van “zwaarder belasten”. Dit biedt de mogelijkheid om met bestaande infrastructuur meer elektriciteit te transporteren en daarmee (tijdelijk) aan een hogere vraag te voldoen.

De nominale capaciteit van een netcomponent wordt door de fabrikant vastgesteld onder uniforme, vaak ongunstige testomstandigheden, zoals ongunstigere omgevingstemperaturen dan op de locaties waarop de componenten geplaatst worden. Daardoor is in de praktijk regelmatig meer capaciteit beschikbaar dan deze vaste ontwerpsituaties suggereren.

In de eerder gebruikte wegen analogie is de elektriciteit het verkeer, en zijn de netcomponenten de bruggen die voor een bepaalde draagkracht zijn ontworpen. De nominale capaciteit is te vergelijken met de maximale verkeersbelasting die de brug mag dragen onder ongunstige omstandigheden, zoals hoge temperaturen of hogere gemiddelde snelheden. Net als bij een brug kan een netcomponent tijdelijk meer ‘verkeer’ verwerken wanneer de omstandigheden gunstiger zijn dan waarvoor het is ontworpen. Bij lagere omgevingstemperaturen kan een kabel of transformator bijvoorbeeld extra stroom voeren zonder oververhitting of blijvende schade. Zolang de belasting zorgvuldig wordt begrensd—vergelijkbaar met een tijdelijke snelheidsbeperking op een brug—blijft de situatie veilig en kan extra capaciteit worden benut.

Zwaarder belasten heeft echter ook grenzen. Wanneer langdurig en vaak boven de nominale capaciteit wordt belast, zorgt de hogere stroom voor hogere temperaturen in de elektrische componenten. Extra warmte leidt tot versnelde veroudering van kritieke onderdelen, zoals isolatiematerialen in kabels en transformatoren, en temperatuurschommelingen kunnen verbindingen, lassen en behuizingen verzwakken. Dit verhoogt het risico op uitval en kan op termijn leiden tot verminderde efficiëntie of het volledig falen van de component, met mogelijke veiligheidsrisico's voor medewerkers en afnemers. Ook kan zwaarder belasten de netprestaties beïnvloeden: het kan tot spanningsvariaties en ongewenste netreacties leiden.

Naast de integriteit van de componenten en de effecten op de betrouwbaarheid van het net, moet rekening worden gehouden met omgevingsfactoren. Dit kan vergeleken worden met de verkeerssituatie, waarin rekening moet worden gehouden met extra geluid en fijnstof die worden geproduceerd bij meer of sneller verkeer.

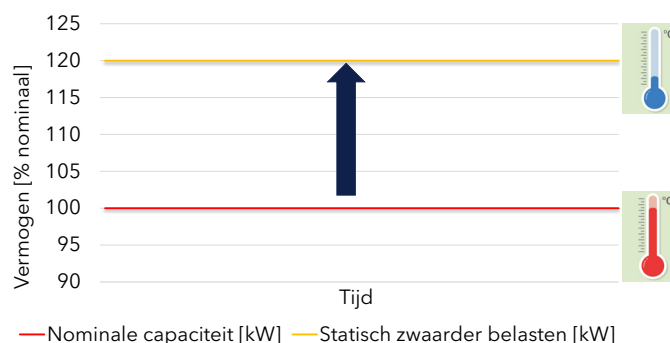
Meer stroom betekent sterkere elektromagnetische velden, waardoor de elektromagnetische beïnvloeding van nabijgelegen infrastructuur, zoals spoorlijnen van ProRail, toeneemt. Richtlijnen voor elektromagnetische compatibiliteit (EMC: het vermogen van elektrische en elektronische apparatuur om correct te functioneren zonder andere apparaten te storen én zonder zelf door elektromagnetische invloeden verstoord te worden), die opgesteld zijn om de beïnvloeding op de omgeving te reguleren, begrenzen daarom in sommige situaties de mate waarop zwaarder belasten toegepast kan worden, met name voor lijnen en kabels.

Samengevat vereist de toepassing van zwaarder belasten een gebalanceerde afweging tussen beschikbare thermische marge, levensduurimpact op de component, netbetrouwbaarheid, omgevings- en EMC beperkingen. Indien zorgvuldig toegepast kan zwaarder belasten een waardevol instrument zijn om meer transportcapaciteit te creëren, in afwachting op geplande netuitbreidingen.

Methoden voor zwaarder belasten

Er zijn verschillende methoden om netcomponenten zwaarder te belasten. Deze methoden helpen netbeheerders om de capaciteit van netcomponenten (tijdelijk) veilig te verhogen zonder dat dit tot oververhitting leidt.

1. Statisch zwaarder belasten houdt in dat voor een netcomponent één vaste maximale belasting boven de nominale capaciteit wordt vastgesteld, op basis van lokale omstandigheden. Wanneer de werkelijke omgevingstemperaturen lager liggen dan in de door de fabrikant aangegeven testomstandigheden, ontstaat extra thermische marge. Netbeheerders kunnen deze marge benutten om een vaste hogere belastinglimiet toe te staan, zonder dat de maximale ontwerptemperatuur wordt overschreden. Dit kan leiden tot verschillende seizoenlimieten, zoals een hogere limiet in de winter en een lagere in de zomer. In het voorbeeld van Figuur 3-6 is een continue belasting van 20% boven de nominale capaciteit toegestaan.



FIGUUR 3-6

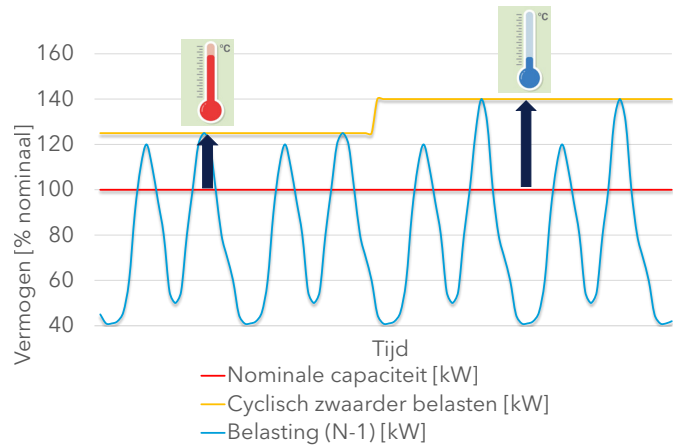
Voorbeeld van statisch zwaarder belasten

2. Cyclisch zwaarder belasten maakt gebruik van voorspelbare belastingpatronen die gedurende de dag, week of met de seizoenen variëren. In de praktijk worden netcomponenten niet continu met het piekvermogen belast; ze warmen langzaam op bij hogere belasting en koelen weer af wanneer de belasting afneemt. Door rekening te houden met deze cycli kunnen tijdelijke pieken boven de nominale capaciteit worden toegestaan, zolang de componenten tussentijds voldoende kunnen afkoelen. Denk aan een brug, waar gedurende specifieke perioden een hogere belasting toegestaan kan worden, zodat er op drukke tijdstippen tijdelijk meer auto's op een lage snelheid kunnen rijden, omdat de rest van de dag het aantal auto's dat over de weg rijdt laag is.

Optioneel kan de netbeheerder ook rekening houden met omgevingspatronen, zoals dagelijkse of seizoensgebonden temperatuercycli. Koelere periodes – vaak 's nachts of in de winter – vergroten de thermische marge en versterken dit effect. Hierdoor kan een piekvraag in de winter soms wél worden toegestaan, omdat componenten dan sneller kunnen afkoelen dan bij een vergelijkbare piekvraag in de zomer. Figuur 3-7 illustreert hoe de maximaal toelaatbare belasting afhankelijk is van zowel het belastingprofiel als de omgevingstemperatuur: bij lagere temperaturen (rechts) ligt de maximale belasting hoger dan bij warmere omstandigheden (links). Door cyclische patronen zorgvuldig te benutten kunnen netbeheerders dus tijdelijk, meestal onder N-1 situaties tijdens onderhoud, hogere belastingen toestaan zonder thermische limieten te overschrijden.

3. Dynamisch zwaarder belasten betekent dat de maximale belasting van een component die toegestaan is op elk moment kan veranderen, zoals weergegeven in Figuur 3-8. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van real-time gegevens van zowel de belasting als de temperatuur. Temperatuursensoren en belastingmetingen voeden thermische modellen die gebruikt worden om de actuele toestand van componenten continu te monitoren en de belasting van componenten te voorspellen. Hierdoor kunnen netbeheerders de limieten dynamisch aanpassen aan de actuele omstandigheden om de benutting van componenten veilig te maximaliseren zonder thermische limieten te overschrijden.

Dit werkt als matrixborden boven een brug die de toegestane snelheid dynamisch aanpassen op basis van real-time en op basis van de dagen daarvoor voorgespelde verkeersdrukke. Wanneer voorspeld wordt dat een transformator afkoelt, kan de limiet worden verhoogd; bij verwachte hogere temperaturen wordt de limiet verlaagd.

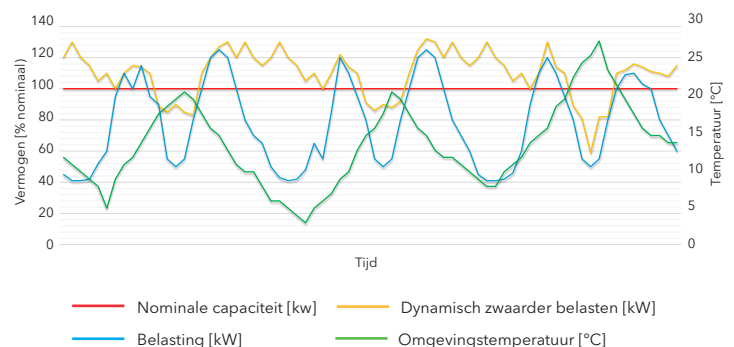


FIGUUR 3-7

Voorbeeld van cyclisch statisch zwaarder belasten

In noodsituaties mogen netbeheerders zelfs een lichte oververhitting toestaan, zolang de langetermijneffecten op het gebied van componentveroudering beheerst kunnen worden en dit geen onveilige situaties voor de medewerkers van de netbeheerder, klanten en omgeving oplevert.

Dynamisch zwaarder belasten is geschikt om de benutting van bestaande capaciteit te maximaliseren, vooral bij tijdelijke piekbelasting. Het is echter niet bedoeld om structureel meer klanten aan te sluiten, omdat er altijd een handelingsperspectief nodig is wanneer de dynamische limiet wordt benaderd. Wel kan het worden ingezet om andere congestie-maatregelen, zoals het dynamisch bepalen van beperking van invoeding van duurzame opwek, efficiënter in te zetten. Ook kan sensor data gebruikt worden om de modellen te voeden die ten grondslag liggen aan het cyclisch zwaarder belasten, en daarmee te verfijnen.



FIGUUR 3-8

Voorbeeld van dynamisch zwaarder belasten

Risico's en toleranties voor zwaarder belasten

Veel netcomponenten, zoals transformatoren, ondergrondse kabels en bovengrondse lijnen, kunnen tijdelijk zwaarder belast worden onder gecontroleerde omstandigheden.

Bepaalde netcomponenten in een netschakel, zoals vermogensschakelaars, hebben echter strikte operationele limieten en mogen niet boven 100% van hun nominale capaciteit worden belast. Deze componenten zijn doorgaans ontworpen met vaste drempels voor veiligheid, nauwkeurigheid of betrouwbaarheid, en het overschrijden van deze limieten kan leiden tot directe uitval of blijvende schade.

Een belangrijke categorie zijn beveiligingscomponenten, zoals zekeringen, vermogensschakelaars en beveiligingsrelais. Deze zijn gekalibreerd om bij specifieke stroomniveaus te reageren om kortsluitstromen te onderbreken en verdere schade aan het systeem te voorkomen. Wanneer zwaarder belasten wordt toegepast, moeten de instellingen van de beveiligingsrelais mogelijk worden aangepast om onnodige uitschakeling te voorkomen bij tijdelijke stroompieken die binnen veilige thermische grenzen blijven. Indien thermische grenzen overschreden worden door zwaarder belasten van deze apparaten kan dit hun vermogen om correct te functioneren tijdens echte storingen aantasten, wat kan leiden tot onveilige situaties doordat de beveiligingscomponenten niet meer adequaat reageren.

Het is dus cruciaal om rekening te houden met de omkeerbaarheid van schade. Een transformator die tijdelijk zwaarder is belast en daarna is afgekoeld, hoeft geen slijtage op te lopen. Daarentegen, als een vermogensschakelaar zwaarder wordt belast en materiaalvervorming optreedt, is de schade onomkeerbaar en zal het apparaat niet herstellen, zelfs niet na afkoeling. Om de toepasbaarheid van zwaarder belasten in iedere situatie te beoordelen, is het daarom van cruciaal belang dat er inzicht is in de tolerantie om boven de nominale capaciteit belast te worden en de bijbehorende faalmechanismen van elk type netcomponent.

De potentie voor het zwaarder belasten van het net

De capaciteit van het net of een deel daarvan wordt gedreven door de component met de minste capaciteit. Dit geldt voor de capaciteit van zowel netstations (lokaal) als voor verbindingen (over langere afstanden). Zwaarder belasten is in het geval van het elektriciteitsnet niet in alle situaties een effectieve oplossing om de capaciteit van het net te vergroten, zodat er meer klanten aangesloten kunnen worden. In het voorbeeld hierboven, betekent dit dat het niet veel zin heeft om op een route het aantal auto's dat over een weg vóór de brug kan te vergroten, als het aantal auto's dat vervolgens over de brug zelf kan beperkend is. In het geval van het elektriciteitsnet kan de situatie zo zijn dat de capaciteit van een onderstation beperkt wordt door de capaciteit van bijvoorbeeld een vermogensschakelaar of een lastscheider. Het zwaarder belasten van de transformator helpt in dit geval niet om de capaciteit van het hele onderstation te vergroten, omdat een ander component al op zijn maximale capaciteit belast wordt. Er komt dus niet meteen over de hele keten van componenten van het onderstation dezelfde capaciteit beschikbaar door de toepassing van zwaarder belasten, waardoor er ook niet meer klanten aangesloten kunnen worden. Dit geldt niet alleen op onderstationsniveau, maar ook op net niveau, waarbij het hoger belasten van een lijn of kabelverbinding beperkt kan worden door de belastbaarheid van de daarop aangesloten transformatoren of andersom.

Vanuit een ketenbenadering moet daarom worden beoordeeld welk component de zwakste schakel vormt en in hoeverre zwaarder belasten daar extra capaciteit kan ontsluiten voor de gehele keten, totdat de volgende beperkende component wordt bereikt. Een alternatief is het vervangen van deze zwakste schakel, maar dit is niet in alle situaties optimaal. De beslissing om een component te vervangen hangt af van meerdere factoren, zoals de verwachte capaciteitswinst, de financiële afweging, de beschikbaarheid van interne middelen en de totale doorlooptijd.

Daarnaast vergen de benodigde onderzoeken en analyses voor dergelijke oplossingen aanzienlijke tijd en inspanning. RNB's geven aan dat zij organisatorische uitdagingen ervaren bij het versnellen van dit proces.

3.3.1.2 Huidige toepassing

In dit hoofdstuk wordt, op basis van de door de netbeheerders verstrekte informatie, aangegeven hoe zwaarder belasten door de LNB TenneT en de RNB's op dit moment wordt toegepast. Voor de LNB is dit opgesplitst in lijnen en kabels, en transformatoren.

Landelijke netbeheerder

TenneT geeft aan het concept van zwaarder belasten te onderzoeken en actief toe te passen om de lokale transportcapaciteit te verhogen, conform onderstaande beleidsmaatregelen. In een N-1 situatie mogen transformatoren, bovengrondse lijnen en kabels, statisch zwaarder belast worden dan tijdens normaal bedrijf, maar alleen gedurende vastgestelde periodes en onder gecontroleerde condities. Deze toepassing wordt ontwikkeld via een combinatie van beleidsaanpassingen, technische innovaties en pilotprogramma's.

Één van de belangrijkste strategische initiatieven van TenneT op dit gebied is het MaxLimit-programma, waarin TenneT de maximale belastbaarheid van het bestaande hoogspanningsnet opnieuw aan het bepalen is, op basis van een ketenanalyse. Door ontbrekende data van tienduizenden assets te reconstrueren en nieuwe inzichten toe te passen, blijkt dat veel verbindingen meer stroom kunnen vervoeren dan gedacht, meestal omdat de capaciteit van de zwakste

schakel nog ruim hoger is dan de "ontwerpcapaciteit" van de netschakel, dat wil zeggen de capaciteit waarmee gerekend wordt bij klantinpassing, door het verhogen van de aangenomen windsnelheid en/of door het vervangen van de zwakste schakels. Hiermee kan al meer transportcapaciteit vrijgemaakt worden, nog zonder boven nominale waarden te belasten. Pilots tonen 10 tot 20% extra transportcapaciteit op 113 netschakels (het geheel aan componenten dat een aaneengesloten keten vormt tussen twee stations) en het programma wordt opgeschaald naar 1.200 netschakels. Deze waarden zijn exclusief de verhoogde capaciteit als gevolg van het vervangen van het zwakste component in de schakel. Het programma is cruciaal voor het verkleinen van netcongestie op korte termijn, terwijl uitbreidingstracés op langere termijn worden gerealiseerd. En het vormt een belangrijk onderdeel van TenneT's data gedreven asset en capaciteitsstrategie. Het vaststellen van de karakteristieken van alle componenten in de keten is hierbij een tijdrovende activiteit.

Ten aanzien van het belasten van componenten boven de nominale capaciteit worden hieronder de maatregelen benoemd die TenneT op dit moment toepast of wil gaan toepassen om de componenten hoger te belasten. Dit zijn aanvullende maatregelen op het bepalen van de correcte belastbaarheid van de componenten en de keten.

1

Voor bovengrondse **lijnen** en ondergrondse **kabels** heeft TenneT aangegeven om verschillende beleidsmaatregelen toegepast te hebben om zwaarder te belasten:

- Het statisch zwaarder belasten van lijnen op basis van de windsnelheid is in beleid opgenomen. Hiermee is een capaciteitsverhoging (statisch zwaarder belasten) van 10 tot 15% voor ongeveer 50% van alle lijnen mogelijk en dit wordt al in beleid toegepast. Onder andere doordat een hogere transportcapaciteit tot verwarming van de lijn leidt en daarmee de "sagging" (doorhang) vergroot, is hiervoor nog wel een aanscherping van de huidige standaardnormen nodig. De limieten voor sagging maar ook voor EMC zijn afhankelijk van de nabijheid van infrastructuur om de veiligheid te garanderen. Ook stuit toepassing in de praktijk op EMC-normen, vanwege verhoogde stromen (zie de door TenneT genoemde belemmeringen verderop in deze sectie). Op kabels wordt statisch zwaarder belasten niet toegepast.
- Het cyclisch zwaarder belasten van lijnen is seizoensafhankelijk toegepast zoals voorgeschreven in het beleid AM-Req-0970, waarbij winterse omstandigheden ongeveer 15% meer capaciteit mogelijk maken dan in de zomer, vergeleken met statisch belasten. Ook voor kabels past TenneT seizoensafhankelijk zwaarder belasten toe, waarbij een zeer beperkt aantal kabels tot 110% belast wordt in de winter.
- Een model, genaamd 'Year Rating Curve' (YRC), wordt verder ontwikkeld door TenneT. Op basis van historische weers- en belastinggegevens kan met dit model de capaciteit van de lijnen vastgesteld worden voor elk uur in het jaar. Het wordt op dit moment nog niet toegepast. De presentatie van de eerste resultaten staat gepland voor de eerste helft van 2026, met volledige publicatie later in het jaar. De inschatting van TenneT is dat met dit concept maximaal 30% boven de nominale capaciteit wordt behaald, afhankelijk van het type verbinding en risicoprofiel.

- Het dynamisch zwaarder belasten van bovengrondse lijnen en kabels wordt ook door TenneT onderzocht. Hoewel dit extra capaciteit kan opleveren, geeft TenneT aan dat dit momenteel nog geen snellere klantinpassing mogelijk maakt vanwege de afhankelijkheid van weersomstandigheden, terwijl voor klantinpassing meer zekerheid nodig is. De onderzochte methoden zijn:
 - Voor lijnen wordt Dynamic Line Rating, oftewel het dynamisch zwaarder belasten op basis van weersverwachtingen, onderzocht. Real-time weersgegevens en sensoren worden vervolgens gebruikt voor kalibratie van capaciteitsinschattingen. Dit zou tot 10% (zonder sensoren) en 20% (met sensoren) meer capaciteit vrij kunnen maken.
 - Voor ondergrondse kabels wordt gekeken naar dynamisch belasten met behulp van glasvezelsensoren en temperatuurmetingen. Volgens TenneT, kan dit gemiddeld ongeveer 10% extra transportcapaciteit bieden in situaties zonder sensoren en tot 20%-30% met sensoren, vooral ter verbetering van de operationele betrouwbaarheid en minder voor het realiseren van nieuwe aansluitingen. Om dit succesvol te kunnen toepassen, is voor betere monitoring en veiligheid de inzet van glasvezelsensoren en integratie met SCADA-systemen vereist.
- Vanwege veiligheid en leveringszekerheid staat het huidige beleid van TenneT geen versnelde veroudering van lijnen toe. Hiervoor is het houden van een veilige afstand tussen de geleider en de grond maatgevend. Voor kabels geeft TenneT door dat de maximale temperatuurgrenzen steeds dichterbij worden benaderd, specifiek in het geval van oudere kabels zonder glasvezel, waar mogelijke hotspots kunnen ontstaan, waardoor kabels en moffen (koppelstukken tussen de kabels) naar verwachting zullen falen. TenneT is bezig om het vervangen en repareren van moffen en kabels in geval van falen te versnellen (nu vereist dit rond de 2 weken) door het beschikbaar maken van noodmaterialen.

2

Er zijn ook beleidsmaatregelen geïmplementeerd om **transformatoren** zwaarder te belasten:

- Technisch gezien kunnen transformatoren volgens IEC-normen (zoals de IEC 60067) gedurende één uur tot tussen 130% en 150% van hun nominale belasting aan. Dit wordt alleen in geval van nood toegepast en niet voor klantinpassing, vanwege het risico op verkorte levensduur en storingen.
- Het omschakelen van type transformatorcooling kan ook een statische capaciteitsverhoging van 10% tot 30% opleveren, volgens TenneT. Technisch gezien betekent dit dat er wordt overgestapt van transformatorcooling met ongeforceerde luchtcooling (oil natural air natural of ONAN) naar geforceerde luchtcooling (oil natural air forced of ONAF). Dit past TenneT al toe in 50% van de transformatoren. Opschaling naar andere transformatoren hangt af van de haalbaarheid om (additionele) ventilatoren toe te voegen aan ONAN-transformatoren.
- TenneT is bezig met het project Dynamic Transformer Rating (DTR). Hier zijn de onderzoeken naar en de implementatie van cyclisch en dynamisch belasten van transformatoren onderdeel van. Over wanneer het DTR-project wordt afgerond, is geen informatie verstrekt. De status van de onderzoeken en implementatie bij TenneT zijn als volgt:
 - TenneT is bezig met het schrijven van het beleid voor het toepassen van cyclisch zwaarder belasten van transformatoren op basis van de norm IEC 60076-7. Met het toevoegen van voldoende informatie per transformator aan het DTR-model, verwacht TenneT dat ongeveer 5% tot 20% meer transportcapaciteit beschikbaar gemaakt kan worden.
 - TenneT is van plan om vanaf 2026 transformatoren dynamisch zwaarder te belasten, wat per transformator 10% tot 30% extra capaciteit kan opleveren ten opzichte van statisch belasten, afhankelijk van de netconfiguratie en transformatortype. Net als bij lijnen en kabels wordt deze vorm van zwaarder belasten niet ingezet om meer klanten aan te sluiten.
- Beleidsnormen van TenneT staan versnelde veroudering toe bij zwaarder belasten van transformatoren waarbij de hoogste temperatuur van de transformator (hotspottemperaturen) wordt beperkt tot 140°C (conform de internationale technische standaarden) om het risico op uitval te minimaliseren. Daarnaast zijn beleidswijzigingen nodig om flexibeler transformatorbelasting mogelijk te maken.

Belemmeringen

TenneT heeft aangegeven dat op dit moment EMC (elektromagnetische compatibiliteit) de belangrijkste belemmering voor bredere toepassing van zwaarder belastingen is. Door het zwaarder belastingen van componenten kunnen er verschillende beïnvloedingen optreden, zoals verstoringen op de infrastructuur in de omgeving door hogere elektromagnetische velden. Door middel van EMC-studies dienen daarom alle beïnvloedingen bestudeerd te worden om te toetsen of geldende EMC-normen niet overschreden worden ten gevolge van het verhogen van de stroom. Als EMC-normen overschreden worden, dienen mitigerende maatregelen onderzocht te worden. Dit zijn studies die 2 tot 6 jaar in beslag nemen, omdat het doorgaans complexe en tijdrovende studies zijn, waarbij alle mogelijke interferenties op een hoog detailniveau onderzocht moeten worden, en omdat de ingenieursbureaus die dit soort studies uitvoeren niet aan de vraag kunnen voldoen. TenneT heeft daarom een intern programma opgezet om de implementatie van zwaarder belastingen te kunnen versnellen, waarbij onder andere beleidsmatige en regelgevende aspecten worden aangepakt, in samenwerking met stakeholders zoals ProRail en Gasunie. Er wordt een risico-gebaseerde benadering gehanteerd, waarbij beslissingen worden genomen met ongeveer 80% van de benodigde informatie. Dit maakt proactieve investeringen mogelijk om de robuustheid van het net te verbeteren. Een voorbeeld hiervan is een gezamenlijk project met ProRail om potentiële knelpunten nabij spoorlijnen in kaart te brengen.

Zoals hierboven aangegeven zijn er binnen het MaxLimit programma, 113 (10%) netschakels die al 10% tot 20% boven nominaal belast worden. Tegen 2027 verwacht TenneT dat tussen de 400 en 1.200 netschakels (tussen 33% en 100%) zwaarder belast kunnen worden. Dit weerspiegelt een aanzienlijke opschaling van zwaardere belastingpraktijken binnen het net. De mate en snelheid waarop dit gerealiseerd kan worden hangen af van de uitkomsten van EMC-onderzoeken en andere technische beperkingen.

Regionale netbeheerders

De regionale netbeheerders (RNB's) hebben aangegeven dat ze zwaarder belastingen in het HS-net toe passen door o.a. HS/TS- en HS/MS-transformatoren boven hun nominale capaciteit te laten opereren, terwijl ze binnen veilige operationele grenzen blijven. De toegestane stroomlimiet wordt dus verhoogd zonder dat de toegestane temperatuurlimiet overschreden wordt. De schaalbaarheid van deze aanpak is beperkt vanwege congestie in hoger gelegen spanningsniveaus. Ca. 80% van alle HS/MS-onderstations kampt met bovenliggende congestie. Zwaarder belastingen van transformatoren is hier geen oplossing voor het versneld inpassen van klanten, omdat deze niet ingepast kunnen worden in het transportnet.

Indien er geen bovenliggende congestie is, geven RNB's aan zwaarder belastingen toe te passen om meer klantaansluitingen mogelijk te maken. De manier waarop zwaarder belastingen wordt aangepakt, verschilt per RNB. Zowel de schaal als de methode hangen af van lokale omstandigheden, technische en operationele beperkingen en het regelgevend kader. Er zijn verschillen tussen RNB's in de wijze waarop dit in de praktijk gebeurt en in hoeverre zwaarder belastingen is toegestaan. Deze verschillen komen deels voort uit beleidskeuzes: sommige RNB's kiezen voor een voorzichtige en selectieve aanpak, terwijl andere het breder toepassen. Alle RNB's benadrukken het belang van het te allen tijde borgen van veiligheid en betrouwbaarheid.

In meer detail is de aanpak van de RNB's en de beperkingen die ze hebben als volgt:

- Twee van de drie RNB's passen statische belasting toe, waarbij doorgaans 110% tot 120% van de nominale transformatorcapaciteit wordt toegestaan. Dit wordt vooral toegepast in gebieden met congestie. Eén van deze RNB's geeft aan dat statisch zwaarder belastingen van alle HS/MS transformatoren toegestaan wordt.
- Net als TenneT, erkennen de drie RNB's dat het extra koelen van de transformator een statische capaciteitsverhoging kan opleveren. Ze geven aan dat ONAF voor 40% tot 70% van de HS/MS transformatoren al toegepast is.
- Alle RNB's passen cyclisch belasting toe op een deel van hun transformatoren, variërend tussen maximaal 110% en 130% van de nominale belasting, waarbij:
 - Een RNB staat generiek een tijdelijke belasting toe tot 110% en tot 130% in de worst-case situatie (tijdens de winter). Dit gebeurt alleen na gedetailleerde thermische berekeningen en op onderstations waar de transformator als belangrijkste knelpunt is geïdentificeerd. In augustus 2025 werd deze methode al toegepast op 25 van hun 155 onderzochte stations (16%).
 - De tweede RNB staat 110% tot 120% toe, afhankelijk van het seizoen.
 - De derde RNB past cyclisch zwaarder belasting toe tot 110% op alle transformatoren, en is bezig met de implementatie van het belastingen tot 120%. Om de transformatoren te monitoren is het nodig om sensoren te installeren en om monitoringssystemen te updaten. Ook is inzet van extra personeel noodzakelijk. Elke locatie vergt ongeveer zes maanden voorbereiding.
- Geen van de RNB's heeft aangegeven dynamisch zwaarder belastingen in HS/MS transformatoren toe te passen. Voor de scope van dit onderzoek is dit niet relevant, omdat het geen potentie heeft voor het aansluiten van meer klanten. Dit kan wel een nuttige toepassing zijn in combinatie met de inzet van de enkelvoudige storingsreserve, omdat het de noodzaak om klanten af te schakelen kan beperken na een storing, door eerst de kritieke component zwaarder te belastingen.

Belemmeringen

Indien de transformator niet de beperkende component van een onderstation is, kan het in sommige gevallen nodig zijn om de kritieke component op een onderstation te vervangen of veilig zwaarder te belasten. Netbeheerders geven aan dat dit echter niet effectief is in alle situaties. Beslissingen over vervanging zijn afhankelijk van afwegingen tussen de verwachte capaciteitswinst, de kosten, de beschikbaarheid van interne middelen en de doorlooptijd, waarbij de vraag is of de capaciteitswinst voldoende opweegt tegen de kosten en voornamelijk het inzetten van kritische resources.

Onderzoek en analyse voor deze implementaties vergen aanzienlijke tijd en inspanning, en RNB's melden organisatorische uitdagingen bij het versnellen van dit proces.

Er zijn beperkingen op het gebied van regelgeving, voor het zwaarder belasten van transformatoren. Deze beperkingen zijn geluidsnormen (hoe hoger de belasting, hoe hoger het geluid dat een transformator maakt) in 5% van de gevallen waarbij de transformator boven 100% belast wordt, en het 100 MW-criterium, dat het vermogen van specifieke onderstations dat bij een storing mag uitvallen tot 100 MW en 10 minuten beperkt. Aangezien deze grens (per 1 januari 2026) verhoogd is naar 200 MW (via Energiebesluit), is deze beperking komen te vervallen.

Het beheren van hogere belastingen in combinatie met congestiemanagement maakt het geheel complexer. Congestiemanagement leidt immers tot een ander, vlakker belastingprofiel, waarmee de mogelijkheden tot cyclisch en dynamisch zwaarder belasten beperkt worden.

De RNB's geven ook aan dat zwaarder belasten de veroudering van netcomponenten kan versnellen en de onderhoudsbehoefte kan vergroten. De kosten die hier in de praktijk aan verbonden zijn, zijn echter onbekend omdat ze hier geen ervaring mee hebben. Daarnaast kunnen hogere belastingen het herstelvermogen bij storingen verminderen, maar zolang er sprake is van een storingsreserve (redundantie), worden de betrouwbaarheid en veiligheid van het net niet aangetast.

3.3.1.3 DNV Analyse

Deze sectie bevat een analyse van de potentie van deze oplossing om capaciteit in het net op korte termijn vrij te maken voor klantinpassing. Deze analyse is gebaseerd op de input die DNV heeft ontvangen van de netbeheerders, beoordeling door DNV's componentenspecialisten met diepgaande technische kennis van transformatoren, kabels, lijnen en elektriciteitsnetten in Nederland en in het buitenland, internationale technische normen (zoals IEC standards) en internationale best practices van landelijke en regionale netbeheerders op dit gebied.

Internationale benchmarken⁷ tonen aan dat toonaangevende netbeheerders in Europa vergelijkbare methoden toepassen om componenten in hun hoogspanningsnetten statisch, cyclisch of seizoenafhankelijk boven de nominale limieten te belasten. Zo hebben LNB's in naburige landen ook programma's lopen of afgerond om de reële capaciteit van hun hoogspanningscomponenten te bepalen, zoals TenneT met het MaxLimit-programma doet. Ook rapporteren de netbeheerders vergelijkbare haalbare belastingpercentages (doorgaans maximaal 20% tot 30%) en uitdagingen, zoals beperkingen in de keten door zwakke schakels, afhankelijkheid van lokale (weers)omstandigheden en individuele technische beperkingen van componenten, operationele complexiteit en tijdrovende processen voor implementatie. Ondanks de uitdagingen passen deze netbeheerders van hoogspanningsnetten ook al zwaarder belasten toe, voornamelijk bij lijnen en transformatoren.

Net als in Nederland wordt het hoger belasten van componenten bij andere LNB's toegepast om de aanwezige transportcapaciteit en de capaciteit van de storingsreserve te verhogen. Deze verhoogde belasting op het net geschiedt alleen in N-1 situaties voor een beperkte tijd, maar gedurende normaal bedrijf zijn de componenten nog steeds ver onder 100% belast (zoals weergegeven in Tabel 3-1 (3)).

De potentie van deze oplossing voor het (tijdelijk) creëren van extra capaciteit ten behoeve van klantinpassing is beoordeeld aan de hand van de KPI's die beschreven zijn in sectie 1.3. De details van de beoordeling worden in Tabel 3-3 gepresenteerd. In deze tabel wordt elke KPI afzonderlijk geanalyseerd, conform de definities en scores in *Appendix B: Beoordelingsmethodiek technische oplossingen*. Er wordt gebruik gemaakt van de input geleverd door de netbeheerders, met daarbij het DNV-perspectief.

Er zijn drie manieren waarop aanvullende capaciteit gecreëerd wordt in de hele keten door hogere belasting van componenten:

- Netcomponenten binnen een netverbinding of onderstation kunnen groter gedimensioneerd zijn dan de netcapaciteit die gedefinieerd is voor het geheel (per verbinding of station) en waar de netbeheerder mee rekent. Als dit voor de zwakste schakel in de keten geldt, dan bestaat er al ruimte voor zwaarder belasten;
- Netcomponenten zoals transformatoren, lijnen en kabels kunnen vaak zwaarder belast worden dan de nominale capaciteit, rekening houdend met specifieke omgevingscondities en representatieve belastingprofielen;
- Netcomponenten die de zwakste schakel vormen, en daarmee de totale capaciteit van de keten beperken, kunnen vaak vervangen of verzwaard worden.

⁷ O.a.: - [Dynamic Line Rating for Overhead Lines – Current Practice of Continental European TSOs - ENTSOE RGCE SPD WG](#);
- [Dynamic Line Rating \(DLR\) en ENTSO-E RDI Roadmap 2024-2034](#);
- [Increasing line capacity by 20% using data science - Data Science @ Statnett](#);
- [Case Study on Applications of Measurement Equipment for Dynamic Line Rating](#)

Door hoogspanningscomponenten in N-1-situaties zwaarder te belasten, kan het hieronder beschreven potentieel worden benut om extra klanten op het hoogspanningsnet (HS-net) aan te sluiten. Het genoemde potentieel betreft een inschatting en geen exacte of gegarandeerde capaciteit. De verwachte extra capaciteit is bepaald als het gewogen gemiddelde van de lokaal haalbare belastbaarheden bij toepassing van één of meerdere maatregelen. Dit gewogen gemiddelde wordt berekend door per maatregel de maximale extra belastbaarheid te vermenigvuldigen met het aandeel van de locaties waar deze maatregel naar verwachting toepasbaar is (de schaalbaarheid). De bijdragen van de afzonderlijke maatregelen worden vervolgens bij elkaar opgeteld. De capaciteit per netvlak (LNB- of RNB-niveau) is de laagst ingeschatte capaciteitswinst per componentgroep.

Landelijke netbeheerder

Een overzicht van het totale, reeds benutte en resterende potentieel van deze oplossing in het LNB-net is hieronder opgesomd:

- **Voor lijnen geldt:**
 - MaxLimit-programma heeft een potentieel van 10-20%, het kan toegepast worden op 80% van de locaties, waarvan 10% van de locaties al gerealiseerd is. Dit houdt rekening met hogere minimale windsnelheden.
 - Deze potentie houdt geen rekening met de mogelijkheid van het vervangen van de zwakste schakel, we rekenen daarom met een potentieel van 20%.
 - YRC heeft een potentieel van 30%, om dubbeltellingen t.a.v. windsnelheden te voorkomen rekenen we met een potentieel van 20%. Dit kan toegepast worden op 80% van de locaties, is nog niet gerealiseerd.
 - Het resterend potentieel voor lijnen bedraagt daarmee $70\% * 20\% + 80\% * 20\% = 30\%$.
- **Voor transformatoren geldt:**
 - Het gebruik van het Dynamic Transformer Rating-model (cyclisch zwaarder belasten) heeft een potentieel van 20%. Dit kan toegepast worden op 80% van de locaties, is nog niet gerealiseerd.
 - Het gebruik van ventilatoren heeft een potentieel van 30%. Dit kan toegepast worden op 70-80% van de locaties, waarvan 50% al gerealiseerd is.
 - Het resterend potentieel voor transformatoren bedraagt daarmee $80\% * 20\% + 25\% * 30\% = 23,5\%$.
- **Voor het totale potentieel op EHS en HS-net geldt:**
 - De ruimte die gecreëerd wordt hangt sterk af van de nettopologie, in welke mate lijnen, transformatoren of andere componenten de beperkende factor(en) vormen. Het potentieel om een lijn 30% zwaarder te belasten kan bijvoorbeeld beperkt worden als een transformator maar 20% zwaarder belast kan worden.
 - Gebaseerd op het totale potentieel voor lijnen (32%) en transformatoren (38%) schatten we het totale potentieel in op 30%, vrij te maken voor klantinpassing.
 - Gebaseerd op het resterende potentieel voor lijnen (30%) en transformatoren (23,5%) schatten we het totale potentieel in op 15-20%

De belangrijkste voorwaarde om daadwerkelijk gebruik te kunnen maken van de bovengenoemde ruimte door brede toepassing van zwaarder belasten is het opheffen van de belemmering door de huidige EMC-richtlijn. Door een risico-gebaseerde aanpak te hanteren, in samenwerking met relevante externe stakeholders, tracht TenneT om de EMC-belemmering weg te nemen in een aantal specifieke cases. Echter kan dit pas structureel en breed toegepast worden na aanpassing van de EMC-regelgeving. Met het huidige tempo (2 tot 6 jaar voor EMC-onderzoek) duurt het te lang om de potentie van het MaxLimit-programma (400 tot 1200 netschakels tot 20% van hun huidige capaciteit belasten) te realiseren. Door lokaal de risico-gebaseerde aanpak te hanteren, kan naar verwachting een deel hiervan eind 2027 gerealiseerd worden. Hoeveel dit is heeft TenneT niet aangegeven en kan daarom lastig ingeschat worden. Versnelling van de aanpassing van de EMC-wetgeving faciliteert snellere implementatie van hogere belastingpercentages. Als TenneT er klaar voor staat, dan is begin 2027 haalbaar om een significant resultaat te behalen, inclusief het implementeren van de YRC- en DTR-modellen op de eerste locaties en het vervangen van zwakke schakels op congestielocaties met grote impact, tegenover een relatief lage inspanning. Naar verwachting zal niet al het potentieel, ongeacht het opheffen van de EMC-belemmering, benut kunnen worden op deze termijn, wel het merendeel.

Het oplossen van (een deel van) de congestie op het landelijke net, met TenneT's strategieën en het wegnemen van de EMC-belemmering, zorgt ook voor het bewerkstelligen van een hoge schaalbaarheid van het zwaarder belasten van de regionale elektriciteitsnetten.

Regionale netbeheerders

Als de congestie van het bovenliggende (E)HS-net niet meegenomen wordt, kan potentieel tot 15% extra capaciteit vrijgemaakt worden in het HS-net op RNB-niveau (HS/MS-transformatoren). Deze hogere percentages worden bereikt met een combinatie van:

- **Statisch en cyclisch hoger belasten.** Afhankelijk van lokale omstandigheden en technische eigenschappen van transformatoren, kunnen deze 10% tot 50% hoger belast worden dan nominaal. Gemiddeld levert dit een potentieel van 30% op, welke in 80% van de locaties toegepast kan worden. Dit levert een capaciteit van 24% op. Omdat de drie grote RNB's al jaren zwaarder belasten van HS/MS-transformatoren toepassen, wordt een deel van de potentie al benut, naar schatting 13%. Het resterend potentieel is daarmee 11%.
- **Aanvullende geforceerde koeling.** Dit levert een potentieel van 10% tot 20% op. Deze kan aanvullend op statisch en cyclisch toegepast worden op 40% van de locaties en is nog niet gerealiseerd. Het resterende potentieel is daarmee ongeveer 6%.

Om de resterende 15% capaciteitsverhoging te behalen, is het nodig en haalbaar geacht om:

- de grenzen van alle RNB's op te rekken (van 10% en 20% naar 30%) met behulp van gedetailleerde thermische berekeningen;
- een brede (in plaats van een voorzichtige en selectieve) aanpak te hanteren en onderling af te stemmen om vergelijkbare uitgangspunten en beleid te hanteren waar mogelijk, ondanks lokale verschillen; het toepassen van geforceerde koeling waar haalbaar uit te breiden;
- ketenbeperkingen op te lossen door kritieke schakels te vervangen, waar mogelijk (o.a. waar levering en vervanging van componenten geen lange doorlooptijden kennen en/of waar personeel dat nodig is voor netuitbreidingen beschikbaar is);
- de geluidseisen te herzien op kritische locaties waar deze een belemmering zijn. Dit heeft een lage prioriteit,

want dit vormt een probleem in maar 5% van de gevallen, wat maximaal 1% potentieel onbenut laat, en kan ook in een aantal situaties (maar lang niet altijd) opgelost worden door het nemen van maatregelen door de RNB's.

Cruciaal is dat congestie op het bovenliggende net opgelost wordt. Doordat er op dit moment congestie is op 80% van de locaties, is de schaalbaarheid van het zwaarder belasten op RNB-niveau maar 16% (20% van 80%) en daarmee de nader te benutten potentie maar maximaal 3% (20% van 15%).

Is dat opgelost, dan kan een groot deel van het potentieel binnen een jaar benut worden. Dit vergt alsnog versnelling en hoger prioriteren van deze oplossing door de RNB's, zodat ze niet het knelpunt worden als het aanpassen van de EMC-richtlijnen in de versnelling komt. Beleid en implementatieplannen dienen dan klaar te zijn voor het uitrollen van deze oplossing.

TABEL 3-3
Beoordeling van KPI's voor zwaarder belasten

KPI (score max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit 5 (≥ 25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt)	Zwaarder belasten kan aanzienlijk extra capaciteit vrijmaken, doorgaans tussen de 10% en 50%, afhankelijk van het type component, het netvlak en de methoden van zwaarder belasten. Dit is exclusief het effect van de hele keten, die impact heeft op de schaalbaarheid en daarmee op de realiseerbare capaciteitsverhoging (zie volgende KPI). Op <u>LNB</u>-niveau kunnen idealiter per component de volgende percentages boven de beschikbare capaciteit behaald worden: • 10 tot 15% statisch bij bovengrondse <i>lijnen</i> door aanpassingen in windsnelheidsaannames, 15% cyclisch (alleen in de winter) en tot 15% extra (maximaal 30% boven nominaal) bij implementatie van het Year Rating Curve model. • 10% bij een beperkt aantal <i>kabels</i>, in de winter. • 10 tot 30% statisch bij toepassing van extra koeling⁸ op <i>transformatoren</i> en 5 tot 20% cyclisch bij toepassing van het DTR-model. Dit levert theoretisch 50% hogere belasting bij de transformatoren zonder geforceerde koeling en waarbij mogelijk is om extra ventilatoren te plaatsen. Voor de <u>RNB's</u> gaat het om de mate waarin <i>transformatoren</i> zwaarder belast kunnen worden. De maximale extra capaciteit op dit niveau bedraagt 10 tot 50%. Waarbij er overeenkomsten en verschillen zijn tussen de 3 RNB's, zoals in paragraaf 3.3.1.2 toegelicht: statisch tot 20% en cyclisch/seizoensafhankelijk tot 30% van de nominale waarde. Een additionele 20% is mogelijk op locaties waar nog geen ONAF-transformatoren staan en waar extra ventilatoren geplaatst kunnen worden.
Schaalbaarheid LNB: 4 (Geschikt voor 50-80% van de situaties)	De schaalbaarheid is hoog op RNB- en LNB-niveau. Echter zorgt de congestie op LNB-niveau voor lage schaalbaarheid bij de RNB's. DNV verwacht dat zwaarder belasten in de meeste gevallen (geschat 80%) toegepast kan worden. Echter, naarmate dit verder wordt doorgevoerd (meer capaciteit wordt vrijgespeeld), neemt de schaalbaarheid af. Dit komt doordat deze oplossing niet overal technisch toepasbaar is en sterk afhankelijk is van lokale technische en netgerelateerde omstandigheden. Bij het zwaarder belasten moeten ook kortsluitvastheid, spanningskwaliteit en de dynamische stabiliteit van het net binnen veilige grenzen blijven, die ook beïnvloed kunnen worden door het zwaarder belasten van componenten. Dit kan lokaal een beperking vormen.

⁸ IEC 60076(verhouding met/zonder ventilatoren indicatief van 100/120 tot 100/130)
IEEE c57.12.10, 2017 (verhouding met/zonder ventilatoren van 100/115 tot 100/167%)
DEP - Ecoboost vermogenstransformator (transformatordag September 2025)
[Understanding transformer cooling methods: ONAN, ONAF, KNAN, and KNAF explained * Giga Energy](#)

KPI (score max. 5)	BEOORDELING
RNB: 4 (excl. congestie LNB) (Geschikt voor 50-80% van de situaties) 2 (incl. congestie LNB) (Geschikt voor 5-20% van de situaties)	Op <u>LNB-niveau</u> zijn beperkingen over de keten sterk bepalend voor de schaalbaarheid van de oplossing en daarmee het behalen van bovengenoemde percentages. Met het MaxLimit-programma is voor ongeveer 10% van de netschakels een verhoogde capaciteitslimiet bepaald en wordt deze nog voor de resterende netschakels bepaald. Naar aanleiding van deze eerste resultaten wordt verwacht dat er een statische capaciteit van nog 10 tot 20% op alle netschakels behaald wordt. Bij beperkingen door specifieke componenten voorziet TenneT het vervangen van de zwakste schakels om lokaal aanvullende capaciteit te creëren. Al met al geldt een geaggregeerde schaalbaarheid over het hele (E)HS-net van 80%. Per component is de toepasbaarheid van de maatregelen om zwaarder te belasten over het hele net als volgt: • Voor lijnen wordt cyclisch zwaarder belasten in de winter op alle lijnen toegepast en kan in theorie 50% statisch hoger belast o.b.v. hogere windsnelheden. In de komende jaren verwacht DNV een mogelijk hogere schaalbaarheid (aanvullende 15-25%) door verdere aanpassingen in windsnelheidsaannames in beleid en naarmate het lopend onderzoek over de Year Rating Curve (YRC) vordert. Zodra de YRC-studie afgerond is, schat DNV de schaalbaarheid tot maximaal 80%. Een hogere toepasbaarheid is niet mogelijk vanwege technische eisen aan de veiligheid van het systeem. • Voor transformatoren: statisch hoger belasten door middel van geforceerde koeling is al op 50% van de transformatoren toegepast. De potentie voor toepassing op meer locaties wordt beïnvloed door constructieve beperkingen bij specifieke transformatoren, de haalbaarheid van het plaatsen van ventilatoren en de beschikbaarheid van personeel om de aanpassingen aan de transformatoren te doen. In de praktijk zal in een deel van de gevallen lokaal een keuze gemaakt moeten worden tussen deze oplossing en het cyclisch belasten met gebruik van het DTR-model. Ook beperken de situaties waarbij andere stationscomponenten (zoals schakelaars of transformatorkabels) de limiterende factor zijn de toepasbaarheid van deze oplossing. DNV verwacht dat het zwaarder belasten op maximaal 80% van de transformatoren toepasbaar is. Op <u>RNB-niveau</u> spelen vergelijkbare aspecten een rol in het breed toepassen van hogere belastingsgrenzen op transformatoren. De daadwerkelijke schaalbaarheid bij de RNB's is echter lager vanwege de afhankelijkheid van congestie op het HS-net. Naar schatting is er congestie in 80% van de netschakels in het bovenliggende net, wat de schaalbaarheid aanzienlijk reduceert (naar 20%). Deze gaat omhoog als TenneT de technische oplossingen met succes kan toepassen. Afgezien van deze beperking wordt verwacht dat: • Statische belasting van 110 tot 120% is toe te passen op 80 tot 90% van de transformatoren. Dit wordt al tientallen jaren door een van de RNB's succesvol toegepast. Hogere schaalbaarheidspercentages zijn niet mogelijk vanwege beperkingen t.a.v. conditie en andere limiterende stationscomponenten. • Hoger (cyclisch) belasten kan tot 130% gerekt worden door het gebruik van bestaande metingen, het toevoegen van monitoring en het doorontwikkelen en implementeren van het DTR-model. • Uitgangspunt voor een hoge schaalbaarheid op RNB-niveau (afgezien van de bovenliggende congestie) is dat alle RNB's in staat zijn om de hogere percentages toe te passen, c.q. op te schalen (bijvoorbeeld van 16% nu, naar 80 tot 90%). • Net als bij de LNB, hangt de schaalbaarheid van het aanbrengen van extra ventilatoren af van lokale beperkingen ten aanzien van interne bouw van de transformatoren, haalbaarheid van het plaatsen van ventilatoren en de beschikbaarheid van personeel. ONAF-transformatoren zijn al in 40 tot 70% toegepast.
Kosteneffectiviteit 4 (40-100 k€/MW jaarlijks, netto baten)	De kosteneffectiviteit is hoog doordat de implementatie relatief goedkoop is en de baten groot zijn door betere benutting van bestaande assets. • Er zijn nauwelijks grote investeringen nodig, de opbrengst is snel zichtbaar en klanten kunnen versneld aangesloten worden. • Nadeel is dat structureel hogere belastingen naar verwachting leiden tot extra onderhoud of vervroegde vervanging vanwege versnelde veroudering, waardoor kosten later alsnog kunnen stijgen. Hier is nog onvoldoende praktijkervaring mee, waardoor het aantal, de frequentie en de impact op kosten niet gekwantificeerd kunnen worden.

KPI (score max. 5)	BEOORDELING
Compliant LNB: 2 <i>(Grote wijzigingen nodig, enigszins politiek)</i> RNB: 3 <i>(Beperkte wijzigingen nodig, enigszins politiek of groot/nauwelijks)</i>	Zwaarder belasten kent meerdere relevante regulatorische beperkingen die, samen met de organisatorische, ervoor zorgen dat de oplossing nog niet breed wordt toegepast op de locaties waar mogelijk. • In (E)HS-netten is regelgeving omtrent EMC-richtlijnen met parallelle infrastructuur bepalend. Hierdoor is afstemming noodzakelijk met o.a. Gasunie en ProRail en waarvoor complexe en langdurige EMC-studies nodig zijn om hoger belasten te kunnen implementeren in de praktijk. • Toepassing bij de RNB's kent daarentegen minder regulatorische beperkingen. Ze ervaren beperkte belemmeringen van reguleringen zoals de geluidsnormen (maar in 5% van de gevallen) en beïnvloeding op het gebied van EMC.
TRL 5 <i>(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)</i>	De technologie is volwassen en heeft een hoge TRL; deze is direct toepasbaar in de praktijk.
Implementatietijd 3 <i>(12-24 maanden)</i>	De implementatietijd is relatief kort, indien de benodigde informatie beschikbaar is. <u>Op LNB-niveau</u> is de verwachting dat in 2027 zwaarder belasten merendeels kan worden toegepast op de meeste netschakels. Deze duur wordt voor een groot deel bepaald door de belemmeringen vanwege de huidige EMC-richtlijnen. Implementatie van statisch belasten van transformatoren bij de <u>RNB's</u>, met veilige en conservatieve percentages (maximaal extra 20%) waar fysiek geen aanvullende maatregelen voor nodig zijn, moet binnen een jaar toegepast kunnen worden, op basis van de ervaring van een deel van de RNB's hiermee en de jaren onderzoek die daartoe hebben geleid. Voor hogere percentages (> 30%) is meer tijd nodig, maar dit kan worden versneld door gefaseerde implementatie waarbij bijvoorbeeld congestiegebieden worden geprioriteerd. Overal genomen geldt: • Deze oplossing kan snel worden ingevoerd en vereist vaak weinig fysieke aanpassingen, vooral in vergelijking met netuitbreidingen die jaren duren. • Nadelen ten aanzien van implementatie zijn dat vooraf technische checks nodig zijn en wanneer ketencomponenten beperkend zijn, (eenvoudige) vervanging extra tijd kan vragen.
Organisatorische impact 2 <i>(Vereist aanzienlijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)</i> Operationele complexiteit 3 <i>(Toename in complexiteit is beperkt en beheersbaar)</i>	De organisatorische impact is hoog, omdat er brede interne en externe afstemming nodig is. Er is extra monitoring nodig, en afstemming tussen veel teams kost tijd. Zowel analyses als implementatie vereisen gespecialiseerde capaciteit, die beperkt beschikbaar is. De operationele complexiteit neemt toe omdat real time monitoring en sturing noodzakelijk worden. Real time operationele risico's nemen toe, mede door weersomstandigheden en belastingprofielen. Echter, met goede IT- en OT-systemen kan dit beheersbaar worden uitgevoerd.
Betrouwbaarheid 4 <i>(Geen significante impact)</i>	Wanneer componenten structureel hoger worden belast dan hun nominale waarden, kan de betrouwbaarheid afnemen. De kans op storingen kan toenemen doordat de componenten dicht bij hun thermische grenzen worden gebruikt. Binnen gecontroleerde toepassing blijft de betrouwbaarheid echter goed beheersbaar, vooral met data-gedreven monitoring. Het huidige beleid van de netbeheerders richt zich op toepassingen waarbij de levensduur niet noemenswaardig aangetast wordt, dit gaat pas spelen als de limieten verder opgerekt worden.
Veiligheid 4 <i>(Geen significante impact)</i>	De oplossing is veilig wanneer deze binnen de thermische en mechanische grenzen van alle component in de netschakel wordt toegepast en zorgvuldig wordt bewaakt.

Opheffen van belemmeringen

Voor het zwaarder belasten van componenten is er op dit moment nog een aantal belemmeringen die weggenomen moeten worden voor een betere benutting van de capaciteit van het huidige net. Deze belemmeringen zijn:

TECHNISCH

- **Ketenbeperkingen:** zoals bovengenoemd kunnen componenten zoals kabels, afgaande transformatorvelden, schakelaars en andere ketenschakels limiterend zijn om het totale potentieel van zwaarder belasten te benutten. Wanneer het versterken of vervangen van deze componenten op grote schaal nodig is, vergt dit aanzienlijke investeringen en doet beslag op personeel dat ook nodig is voor reguliere netuitbreidingen. Daarom is dit niet effectief in alle situaties. Door gericht ketenonderzoek uit te voeren om limiterende componenten te identificeren, kunnen uitsluitend de kritieke schakels die daadwerkelijk capaciteit ontsluiten vervangen of verzwaard worden. Dit kan gecombineerd worden met gefaseerde uitvoering om personele druk te beperken. Het gaat hier niet om het vervangen van componenten zoals een transformator of hele schakelinstallaties, maar om "kleinere" doch kritieke componenten om het net zwaarder te kunnen belasten. Vervangen van een transformator om een lijn hoger te kunnen belasten is niet haalbaar vanwege langere levertijden, gemiddeld tot wel 7 jaar.
- **Betrouwbaarheid en levensduur:** er is op dit moment onvoldoende inzicht in de resterende levensduur van componenten en de impact van zwaarder belasten daarop, net als beperkte monitoring. Verbeterde levensduurmodellering en conditiediagnostiek zijn nodig om deze inzichten te vergroten, om de betrouwbaarheids- en financiële risico's van (aanzienlijke) hogere belastingen op langere termijn in te kunnen schatten.

ORGANISATORISCH

Coördinatie en afstemming: intern en extern (bijvoorbeeld onderling tussen netbeheerders of met derde partijen) is intensieve afstemming nodig om zwaarder belasting veilig in te voeren. Waarbij het doel is om hogere grenzen breed door alle netbeheerders (voornamelijk bij de RNB's) toe te passen. Het op één lijn brengen van teams en stakeholders blijkt in de praktijk complex. Richt duidelijke standaardprocessen, uniforme beoordelingskaders en gezamenlijke besluitvorming in tussen interne teams (of verbeter de bestaande) en, waar nodig, andere netbeheerders of externe partijen. Dit verkort doorlooptijden en voorkomt inconsistenties.

REGELGEVING

- Huidige wettelijke geluidslimieten waar de transformatoren aan moeten voldoen, kunnen de maximaal toelaatbare belasting beperken. Netbeheerders passen al geluidsreducerende maatregelen, zoals akoestische omkastingen toe, zodat transformatoren binnen geluidsnormen kunnen blijven terwijl hogere belasting tijdelijk mogelijk wordt gemaakt.
- De belangrijkste barrière in hoogspanning voor het toepassen van zwaarder belasten, betreft daarmee de beperking vanuit de huidige EMC-vergunningen. Relevant hierbij om te vermelden is dat de meeste hoogspanningsverbindingen ouder zijn dan de huidige EMC-richtlijnen. De bestaande verbindingen zijn daarmee niet onderworpen aan EMC-studies, aangezien bij invoering van nieuwe EMC-richtlijnen geen verplichting bestaat om bestaande verbindingen hieraan te toetsen. De huidige verbindingen zijn de facto conform verklaard aan de vigerende EMC richtlijnen op basis van de ontwerpcapaciteit van de netschakel. Als met het toepassen van zwaarder belasten de capaciteit hoger uitkomt dan de ontwerpcapaciteit van de netschakel, dient TenneT een EMC-studie uit te voeren. Dit is een traject dat meerdere jaren kan duren. Hierbij dient een EMC onderzoek uitgevoerd te worden, om vast te stellen of de hogere belasting tot onacceptabele beïnvloeding van parallelle infrastructuur leidt, dit betreft alle infrastructuur en alle objecten binnen de volgens de normen vastgestelde beïnvloedingszones, waaronder het spoor (ProRail), het gastransportnet (Gasunie) en snelwegen (Rijkswaterstaat).

Het is daarom van het hoogste belang om dit vergunningstraject te versnellen, zodat eerder extra transportcapaciteit vrijgemaakt kan worden en klanten versneld aangesloten kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld bereikt worden door de volgende maatregelen (deze zijn niet uitputtend):

- Vereenvoudigen van vergunningstraject en beperken van bezwaarmogelijkheden
- Bewijslast verleggen van TenneT (LNB) naar betrokken stakeholders. In Duitsland wordt een model gehanteerd waarbij de LNB alleen een meldplicht heeft en zijn stakeholders verantwoordelijk zijn voor studie en eventueel het treffen van maatregelen. De LNB kan gedurende de studie al wel de capaciteit verruimen en moet wel voor de studie en de maatregelen betalen.
- De-facto EMC-normering vaststellen op basis van nominale capaciteit van de hoogspanningslijnen, i.p.v. de ontwerpcapaciteit van de netschakel.

- De facto EMC-normering toetsen tegen de gemiddelde jaarlijkse belasting i.p.v. de piekbelasting (dit model wordt in Noorwegen en Zweden gehanteerd)
- Toestaan om transportcapaciteit te verhogen o.b.v. quick scan met positief resultaat
- Binnen het *bestuurlijk akkoord netcongestie* afspraken maken met betrokken stakeholders om EMC-barrières versneld weg te nemen.

Voor de vergunningstrajecten ten aanzien van geluidsnormen, welke typisch 2-5 jaar in beslag nemen, het onderstaande overwegen. Dit heeft een lagere prioriteit, omdat de netbeheerders in maar 5% van de gevallen op beperkingen vanwege de geluidsnormen stuiten.

- Vergunningstraject te vereenvoudigen en bezwaarmogelijkheden te beperken.
- Toe te staan om alleen tijdens noodsituaties de geluidsnorm te overschrijden.

3.3.2 INZET STORINGSRESERVE

3.3.2.1 Beschrijving

De betrouwbaarheidseisen aan de performance van het elektriciteitsnet resulteren in netontwerpen waarbij voldoende reservecapaciteit aanwezig is in de normale toestand van het net (N-0) om storingen op te vangen en om onderhoud te plegen.

De aanwezige storingsreserve in (extra)hoogspanningsnetten, ook wel de vluchtstrook genoemd, kan in potentie (gedeeltelijk) worden ingezet om klanten op de wachtrij aan te kunnen sluiten. Belangrijke consequentie is dat het onderhoud gepland moet worden gedurende perioden met lage belasting, zodat het uit bedrijf nemen van één van de componenten niet leidt tot een overbelasting van de andere componenten die nog in bedrijf zijn. Dit kan in de praktijk beperkt realiseerbaar zijn en wordt steeds lastiger naarmate er op meer plekken klanten worden aangesloten op de storingsreserve.

Twee hoofdvarianten van het gebruik van de storingsreserve zoals beschouwd in deze analyse zijn:

1 - Curatieve N-1

Klanten worden aangesloten op basis van afschakelbare contracten. De aangeboden transportcapaciteit is aanvullend op de aanwezige transportcapaciteit, dat betekent dat tijdens piekuren deze klanten deels of volledig gebruik maken van de enkelvoudige reservecapaciteit. Afkoppeling vindt plaats bij storingen of onderhoud tijdens piekuren, zodat overbelasting voorkomen wordt. Vanwege de locatie van de klant en technische beperkingen kan deze variant in de praktijk schaalbaarheidsproblemen opleveren. Het vermogen van een klant moet namelijk tijdig afgeschakeld kunnen worden door de klant zelf of de netbeheerder, en de klant moet afschakelbaar zijn zonder dat dit andere klanten treft. Dit concept kan gebruik worden om klanten op de wachtrij aan te kunnen sluiten, maar is met name interessant (en schaalbaar) voor bestaande klanten. Indien een gedeelte van de energie-intensieve industrie omgezet kan worden naar een curatief N-1 contract, kan veel transportcapaciteit vrijgespeeld worden om extra klanten aan te sluiten.

Een variant kan overwogen worden waarbij niet-kritieke belastingen (bijv. elektrolyzers) verplicht op de vluchtstrook geplaatst worden, en afgekoppeld worden bij storingen of onderhoud. Dit is minder schaalbaar vanwege de beperkte hoeveelheid niet-kritieke belasting, en is met name van toepassing op klanten bovenaan de wachtrij. Ook dient de voorkeur gegeven worden aan marktgebaseerde oplossingen vanuit EU-regelgeving. Indien er te weinig interesse is in de markt-gebaseerde variant, kan een verplichting overwogen worden. Deze verplichting moet beperkt worden tot congestiegebieden en -periodes, omdat dit anders mogelijk te sterk ingrijpt op het recht op transportvermogen.

2 - Beperkte vrijgave N-1 en lagere betrouwbaarheid accepteren

In deze variant wordt ook de vluchtstrook deels ingezet, maar wordt het risico op een storing (op het verkeerde moment) niet beheerst door het afsluiten van curatieve N-1 contracten, maar wordt dit risico geaccepteerd. Het inzetten van de vluchtstrook kan gefaciliteerd worden door het versoepelen van de N-1 verplichting (bijv. toestaan dat 1% van de tijd er geen volledige storingsreserve aanwezig is). Dit kan tijdens piekbelastingen de betrouwbaarheid op specifieke locaties verminderen en betrouwbaarheidsrisico's en juridische uitdagingen met zich meebrengen. Door deze verplichting voor een zeer beperkt gedeelte van de tijd weg te nemen, kan een relatief groot potentieel ontsloten worden. Zo schat één RNB dat het versoepelen van de N-1 criteria gedurende 5% van de tijd, 50% meer transportcapaciteit kan opleveren op het eigen netvlak, met minimaal risico op uitval.

Beide hoofdvarianten maken gebruik van de aanwezige reservecapaciteit in het net, daarmee zijn ze technisch vergelijkbaar en maken ze beide aanspraak op het aanwezige potentieel. Tijdens normale bedrijfsvoering is er daarmee geen onderscheid, het verschil wordt duidelijk als er zich een storing voordoet tijdens een piekbelasting. In de curatieve N-1 variant kan dit leiden tot het afregelen of afschakelen van klanten waarmee een dergelijke afspraak gemaakt is. De betrouwbaarheid van het net voor de overige netgebruikers komt daarmee niet in het geding. In de tweede variant kan een storing wel leiden tot een noodsituatie waarbij de netbeheerder gedwongen klanten moet afschakelen, dit leidt dus tot een lagere betrouwbaarheid in het netgedeelte waar deze oplossing wordt toegepast.

Beide hoofdvarianten worden in de volgende paragrafen verder uitgewerkt.

3.3.2.2 Huidige toepassing

Aangezien er een wettelijke eis is voor het hanteren van een enkelvoudige storingsreserve voor alle netten van 110kV en hoger, wordt het concept waarbij een lagere betrouwbaarheid geaccepteerd wordt, nog niet toegepast.

TenneT heeft een proef gestart voor het Curatieve N-1 concept, en één van de regionale netbeheerders heeft een vergelijkbare constructie aangeboden aan een klant in de wachtrij.

Landelijke netbeheerder

Om meer klanten aan te kunnen sluiten is TenneT actief aan het werk hun capaciteit te verbeteren door het gebruik van nood- of storingsreserves te optimaliseren. Deze storingsreserves maken deel uit van de bredere congestiemanagementstrategie en worden ingezet om de netbetrouwbaarheid te waarborgen. Tegelijkertijd wil TenneT meer flexibiliteit om klantintegratie mogelijk te maken. Het proces begint met de inkoop van flexibiliteitsopties, zoals reserves voor congestiemanagement, voordat transportlimieten worden vastgesteld. Klantintegratie kan in dit geval worden gebaseerd op beschikbare flexibiliteit en congestieniveaus in plaats van enkel op basis van de vastgestelde transportlimieten. Zodra deze factoren zijn beoordeeld worden de limieten overeenkomstig aangepast.

Het gebruik van storingreserves is met name relevant in curatieve N-1 scenario's, waarbij het net stabiel moet blijven ook al valt een component uit. In dergelijke gevallen moeten klanten of TenneT hun belasting snel kunnen regelen of afkoppelen. De vereiste reactietijd hangt af van de grootte van de belasting, de aard van de storing en het type component dat overbelast wordt. Deze aanpak vereist directe meet- en regelrelaties tussen klanten en het hoogspanningsnet. Ook is de locatie van de aansluiting van belang, met name in een vermaasd net is er niet altijd een eenduidige, 1-op-1 relatie met het congestiepunt. Het omzetten van een bestaande klant naar een "curatief N-1" concept, zal weliswaar capaciteit vrijmaken om andere klanten aan te sluiten, maar mogelijk maar een gedeelte van de huidige capaciteit van deze klant. TenneT voert momenteel pilots uit met een RNB om rekenmethoden voor curatieve N-1 en slimmer gebruik van storingsreserves te ontwikkelen om eventueel klanten in te passen. Deze pilots zijn gericht op het verbeteren van de betrouwbaarheid en reactievermogen van het net tijdens noodsituaties.

Er zijn echter uitdagingen. Het risico op overbelasting van andere componenten bemoeilijkt de implementatie van curatieve N-1-strategieën. Bovendien hebben de huidige programma's prioriteit, zoals tijdsduurgebonden transportrechten (TDTR), CBC's, en het aansluiten van invoeding op de vluchtstrook. Daarom richt TenneT zich eerst op de implementatie van bestaande noodmaatregelen voor productie en de inzet van batterijen, voordat deze strategieën worden uitgebreid naar nieuwe klantcategorieën.

Regionale netbeheerders

Twee van de drie RNB's vinden het aansluiten van afnameklanten op de vluchtstrook technisch vergelijkbaar met het op de vluchtstrook aansluiten van invoeding door hernieuwbare opwek. Bij invoeding kunnen klanten automatisch worden afgeschakeld in geval van storingen. Dezelfde methode kan worden gebruikt voor afnameklanten, mits de regelgeving dit toestaat. Eén RNB benadrukt echter dat de economische en maatschappelijke impact van het afschakelen van bepaalde verbruikers aanzienlijk groter is dan bij producenten.

Één RNB heeft het gebruik van de storingsreserve getest voor grootverbruikers (zoals fabrieken en datacenters). Technisch haalbaar, maar alleen praktisch bij hoge vermogens en acceptabel als klanten instemmen met een iets lagere betrouwbaarheid, mogelijk in ruil voor lagere nettarieven. Dit is beheersbaar voor onderhoud, maar storingen kunnen problemen veroorzaken omdat niet vooraf bekend is wanneer en hoe lang de betreffende klant afgeschakeld wordt.

De "vluchtstrook"-aanpak heeft veel potentieel (25-50% meer beschikbare capaciteit) en is in theorie schaalbaar. Onderzoek door één RNB toont aan dat op 30 van de 31 stations in hun beheer de vluchtstrook gedeeltelijk of volledig inzetbaar is. De belangrijkste knelpunten die door de RNB genoemd worden zijn juridisch van aard – de huidige Nederlandse wetgeving staat het niet toe om verbruikers zonder speciale toestemming aan te sluiten op de storingsreserve – en operationele complexiteit, voornamelijk bij de coördinatie tussen de LNB en de RNB. De oplossing is in de praktijk niet overall toepasbaar, omdat toepassing op veel stations het risico zou verhogen tot een niveau dat de RNB niet acceptabel acht en vanwege de mogelijke impact op de bedrijfsvoering in relatie tot de beheersbaarheid van kortsluitstromen. Aanpassingen aan administratieve en ICT-systemen kunnen meer dan een jaar duren.

Alle RNB's erkennen de technische haalbaarheid van het gebruik van de storingsreserve voor verbruikers. RNB's zetten de vluchtstrook nog niet op in vanwege juridische, operationele en betrouwbaarheidsbezwaren. De verschillen tussen RNB's zitten in tot hoeverre elk het concept heeft onderzocht en/of getest, en in hun inschatting van de risico's en de interesse van klanten.

De storingsreserve wordt weliswaar nog niet ingezet om klanten versneld aan te sluiten (in het planningsproces), deze wordt in bepaalde situaties al wel gebruikt in het operationele proces door de RNB's, op plaatsen waar de transportvraag door natuurlijk groei al de aanwezige transportcapaciteit overstijgt.

3.3.2.3 DNV Analyse

Zoals aangegeven maken beide hoofdvarianten gebruik van de aanwezige reservecapaciteit. Het maximale technische potentieel van beide varianten gezamenlijk is daarmee gelijk aan de capaciteit van de vluchtstrook (ca. 40% in het LNB-net en 25% in het RNB-net volgens de berekeningen in paragraaf 3.2). In welke mate welke variant toegepast kan worden, zal per locatie bepaald moeten worden. Enerzijds op basis van de aanwezigheid en bereidheid van klanten om te participeren in de curatieve N-1 variant, anderzijds op basis van een risicoanalyse (en risicobereidheid). Het potentieel dat realistisch bereikt kan worden is echter beduidend lager vanwege beperkingen die hieronder beschreven staan.

Een belangrijke beperking is dat het verrichten van onderhoud (incl. netuitbreiding en nieuwe aansluitingen) volgens opgave van een netbeheerder praktisch onmogelijk wordt als meer dan 50% van de vluchtstrook benut wordt. Op basis hiervan lijkt een bovengrens van 20% (LNB) resp. 13% (RNB) realistisch. Andere beperkingen zijn afhankelijk van de variant, deze varianten worden hieronder apart behandeld.

Curatief N-1

TABEL 3-4

Beoordeling van KPI's voor inzet storingsreserve o.b.v. curatief N-1

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit 4 <i>(15-25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt)</i>	- In beginsel is de inschatting van de additionele capaciteit, die vrijgemaakt kan worden significant, namelijk 20% (LNB) resp. 13% (RNB), omdat dit overal toepasbaar is (bij voldoende klantparticipatie, zie schaalbaarheid), waarbij onderhoud nog mogelijk is, zonder dat dit de betrouwbaarheid van het net sterk beïnvloedt. - Het gebruik van de enkelvoudige storingsreserve wordt momenteel al toegepast op locaties met invoedingscongestie door opwek met hernieuwbare energie, wat volgens TenneT tot circa 30% additionele capaciteit zal leiden.
Schaalbaarheid 2 <i>(Geschikt voor 5-20% van de situaties)</i>	- Schaalbaarheid is primair afhankelijk van de interesse/bereidheid van klanten, deze is sterk afhankelijk aan de eisen en vergoedingen die hieraan verbonden worden. - Een recent TNO-rapport⁹ schetst een technisch potentieel van 3,5 – 4,0 GW (ca 20% van de Nederlandse piekvraag). Deze studie beschouwt Industriële vraagrespon in het algemeen, niet specifiek het curatieve N-1 concept. Ook geeft het rapport aan dat “de inzetbaarheid beperkt wordt door operationele randvoorwaarden”. Vanwege deze beperking is een initiële inschatting van het potentieel vanuit de kantzijde gezien: 5-15%. - Hierbij is dit concept ook met name interessant voor E-boilers en warmte pompen, evt. in combinatie met warmteopslag. Dit maakt onderdeel uit van de 5-15% inschatting, maar dit concept is zeer geschikt om extra transportcapaciteit voor toekomstige aanvragen vanuit de industrie te faciliteren. - Indien de reservetransformator in ‘hot-stand by modus’ staat kan het mogelijk zijn dat er geen klanten aangesloten kunnen worden op de vluchtstrook. Dit is afhankelijk van de bedrijfsvoering en de fysieke mogelijkheden om het station hiervoor aan te passen. - Het is technisch gezien niet altijd mogelijk om alleen de betreffende klanten van het net af te sluiten met wie een afspraak is gemaakt. Momenteel is dit alleen mogelijk voor grotere klanten met een eigen, directe verbinding naar het onderstation, dit kan de schaalbaarheid beperken. - Dit concept is met name geschikt voor grootverbruikers die direct op het LNB-net zijn aangesloten, of een directe verbinding naar het HS/MS onderstation hebben bij bovenliggende congestie.
Kosteneffectiviteit 5 <i>(<40 k€/MW jaarlijks, netto voordelen)</i>	- Een curatief N-1 contract biedt kansen voor de industrie om netwerkkosten te verlagen, dit is afhankelijk hoe het corresponderende product vormgegeven zal worden. Ook kan dit de business case voor de elektrificatie van de warmtevraag verbeteren. - Effectiviteit kan afnemen in een vermaasd net, afhankelijk van de netwerktopologie en de locatie van de klant t.o.v. het congestiepunt.
Compliant 3 <i>(Beperkte wijzigingen nodig, enigszins politiek of groot/nauwelijks)</i>	In beginsel kan het gebruik van een CSC, evt. in combinatie met een ontheffing, voldoende zijn om dit concept toe te passen. Aangezien een wijziging van het Energiebesluit benodigd is voor de andere variant (“accepteren lagere betrouwbaarheid”), kan curatief N-1 gebruik maken van deze voorgestelde wijziging.
TRL 5 <i>(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)</i>	Hoge Technology Readiness Level, vergelijkbaar met afschakelbare contracten voor balanceren van vraag en aanbod in het elektriciteitsnet, indien rekening wordt gehouden met aanvullende maatregelen die mogelijk nodig zijn op het gebied van veiligheid en controle.
Implementatietijd 2 <i>(24-36 maanden)</i>	- Er zal behoefte zijn aan robuuste IT-systemen, die het mogelijk maken om klanten en belastingen real-time aan te sturen en coördineren. IT -en OT-systemen en operationele processen zullen naar verwachting mogelijk moeten worden aangepast. - Pilotprogramma's kunnen helpen om het concept te testen en feedback te verzamelen.

⁹ Verkenning van vraagrespon in de Nederlandse energieintensieve industrie, TNO Publiek, 27 januari 2026

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Organisatorische impact 3 <i>(Vereist ofwel de invoering van nieuwe processen of de ontwikkeling van nieuwe competentie)</i>	- Het kan worden geïmplementeerd met bestaande systemen, al zijn deze systemen niet overal gerealiseerd of bruikbaar (toegepast om invoeding op de vluchtstrook aan te sluiten). - Dit betreft maatwerk, haalbaarheid zal voor iedere locatie apart onderzocht moeten worden.
Operationele complexiteit 2 <i>(Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/geïmplementeerd worden)</i>	- Voegt extra complexiteit toe aan netbeheer, zowel t.a.v. planning als operations, protectie en control center. - De storingsreserve wordt ook ingezet voor netuitbreidingen en onderhoud. De uitvoering en planning daarvan kan complexer worden als de storingsreserve maar deels beschikbaar is en dit kan betekenen dat er klanten langdurig moeten worden afgesloten, met name in het distributienet.
Betrouwbaarheid 4 <i>(Geen significante impact)</i>	- De impact op de betrouwbaarheid van het net voor bestaande/ nieuwe klanten zonder curatieve N-1 afspraken is zeer beperkt, mits correct geïmplementeerd. - Netbeheerders zijn voorzichtig met te snelle implementatie, omdat de maatschappelijke en politieke gevolgen van een grote stroomuitval ernstig zullen zijn. Als het mechanisme faalt is er weinig tijd om alternatieve maatregelen te nemen om stroomuitval te voorkomen. - Klanten die hieraan deelnemen worden niet onnodig afgeschakeld – de huidige markproducten zoals TDTR en CBC worden preventief ingezet, om N-1 vooraf te borgen, d.w.z. elke keer als de aanwezige transportcapaciteit overschreden dreigt te worden. Curatief N-1 wordt alleen toegepast bij storingen, eens in de 5-10 jaar, en bij gepland onderhoud (met name in het RNB-net). - Klanten die via de storingsreserve zijn aangesloten, kunnen worden afgeschakeld tijdens storingen. Het moment en de duur hiervan is vooraf onbekend en het kan een uitdaging zijn voor de klant om hier op ieder moment adequaat op te kunnen reageren. Met name in het RNB net kunnen hersteltijden lang zijn, hetgeen een grote impact op de klant kan hebben.
Veiligheid 4 <i>(Geen significante impact)</i>	Geen impact.

Het realistisch potentieel van de curatieve N-1 oplossing is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van participatie van grootverbruikers, de bereidheid hiertoe moet nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het potentieel bedraagt 5-15%, waarbij dit het meest interessant is voor energie-intensieve industrie en datacenters, d.w.z. grootverbruikers met aansluitingen direct op het LNB-net, of met een eigen verbinding naar een HS/MS onderstation. Verdere ontwikkeling en implementatie van dit concept is benodigd, waarbij de nadruk moet liggen op het voldoende aantrekkelijk maken voor eindklanten, en het oplossen van technische belemmeringen. Om tijd te winnen dient dit parallel opgepakt te worden.

Opheffen van belemmeringen

- Het is technisch gezien niet altijd mogelijk om alleen de betreffende klanten van het net af te sluiten met wie een afspraak is gemaakt. Dit gaat er echter van uit dat de netbeheerder met een schakeling in het eigen net deze klant kan afsluiten. Als alternatief kan de klant zichzelf afschakelen of afregelen, op verzoek van de netbeheerder.
- Het adequaat afschakelen van klanten in noodsituaties kan risicovol zijn als dit niet snel genoeg gebeurt. Daarbij is niet alle belasting hiervoor geschikt. Dit kan gemitigeerd worden door de klant, bijv. middels het plaatsen van een batterij die een gecontroleerde bedrijfsstop kan faciliteren.
- Door het onderhoud te plannen buiten piekperiodes (bijv. in de zomer als de piekvraag in de winter optreedt), kan voorkomen worden dat deze klanten langdurig afgesloten moeten worden tijdens onderhoud. Dit wordt steeds lastiger te organiseren naarmate een groter gedeelte van de storingsreserve ingezet wordt.
- Indien klanten na een storing of tijdens onderhoud voor langere tijd afgeschakeld moeten worden, kunnen noodvoorzieningen gebruikt worden om de impact op de klant te beperken.

Vanuit de netbeheerders worden vooral de technische belemmeringen benadrukt. Het is daarom opvallend om vast te stellen dat in België, de LNB reeds curatieve N-1 contracten aanbiedt aan haar klanten in congestiegebieden. Dit wordt momenteel alleen aan klanten in de wachtrij aangeboden, maar de LNB bestudeert ook de mogelijkheid om bestaande klanten om te zetten naar een dergelijke transportovereenkomst, teneinde klanten in de wachtrij te kunnen voorzien van (regulier) transportvermogen. Dit geeft aan dat eventuele technische barrières overbrugbaar zijn.

Ontwikkelen van curatieve N-1 concept

Het curatieve N-1 concept beperkt zich niet tot klanten in de wachtrij. Om schaalbaarheid te bereiken is het juist van belang om bestaande klanten (m.n. energie intensieve industrie en datacenters) ertoe te bewegen om op de vluchtstrook geplaatst te worden. De netbeheerders hebben tot nu toe veel moeite om flexibiliteitscontracten (CBC's) af te sluiten met de industrie. De vraag is echter niet waarom de industrie geen interesse heeft om te flexibiliseren, de vraag zou moeten zijn wat er nodig is om het voor de industrie interessant te maken om te flexibiliseren.

Het grote voordeel van het curatieve N-1 concept, bijv. t.o.v. een TDTR-transportovereenkomst, is dat afschakeling alleen nodig is in geval van een onvoorziene storing (alleen op RNB-niveau zou afschakeling ook nodig kunnen zijn tijdens gepland onderhoud en netuitbreiding. Afhankelijk van de situatie kan dit vermeden worden door slim te plannen). De kans hierop is klein (eens in de 5-10 jaar). Het nadeel is dat de storing onvoorzien is en afschakeling snel plaats moet vinden.

Om de ontwikkeling van dit concept te versnellen zijn de volgende parallelle activiteiten benodigd:

- **Marktconsultatie:** Vaststellen met grootverbruikers onder welke condities het curatieve N-1 concept interessant is. Denk hierbij aan het traject voor TDTR, waarbij met marktpartijen een product is ontwikkeld dat voldoende interessant blijkt te zijn (TDTR betreft een korting op nettarieven, waarbij de beschikbare 9,1 GW inmiddels overtekend is). Voor de industrie kan een curatief N-1 concept ook een verlichting bieden op de almaar stijgende nettarieven. Maar niet alleen de financiële compensatie is van belang, ook de producteisen. Hierbij zullen de risico's evenwichtig tussen netbeheerder en grootverbruiker verdeeld moeten worden – denk bijv. aan een maximaal aantal toegestane onderbrekingen per jaar of contractperiode. Dit kan onderdeel zijn van doorbraak nr. 6 binnen het *Aansluitoffensief*¹⁰: Individuele top-50 flexafspraken.
- **Onderzoek naar verplichting:** Mocht de marktconsultatie (gecombineerd met de technische en regulatorische beschouwing) niet tot voldoende potentieel leiden, kan onderzocht worden of een verplichting van dit concept haalbaar is. Hierbij kan niet-kritische belasting verplicht worden om onder curatieve N-1 condities aangesloten of bedreven te worden. Onder niet-kritische belasting kan gedacht worden aan elektrolyzers, batterijen (met firm aansluitovereenkomsten), hybride boilers en datacenters (met back-up faciliteiten). Nadruk ligt hierbij op nieuw aan te sluiten klanten, omdat het ontnemen van bestaande rechten op “firm” transportcapaciteit niet haalbaar lijkt. Het spreekt voor zich dat marktgebaseerde concepten de voorkeur verdienen.
- **Uitvoeren van pilot(s)** om technische randvoorwaarden en implementatievraagstukken te adresseren.
- **Technische optimalisaties:** netbeheerders geven aan dat de afschakeling plaats dient te vinden via netcomponenten, hetgeen eisen stelt aan de locatie van de grootverbruiker in het net. Een mogelijkheid tot afschakelen “achter de meter”, bijvoorbeeld via de Real-Time Interface, vergroot de mogelijkheden om grootverbruikers te laten participeren.
- **Verlengde vluchtstrook:** Mogelijkheden onderzoeken om grootverbruikers op het distributienet aan te sluiten op de vluchtstrook van TenneT. Dit is vooral relevant op locaties waar niet voldoende curatief N-1 vermogen beschikbaar komt rechtstreeks op het transportnet (zie ook paragraaf 3.3.3).
- **Regulatorische aanpassingen:** Er zijn mogelijk aanpassingen in de regelgeving nodig (vrijstelling N-1 verplichting via Energiebesluit), zoals dit ook voor invoeding heeft plaatsgevonden. Er moet onderzocht worden of het gebruik van een CSC, evt. in combinatie met een ontheffing, als alternatief kan gelden. Hiervoor is geen aanpassing benodigd.

¹⁰ Zie: [Aansluitoffensief: Acht doorbraken voor beter benutten van het net](#)

Accepteren lagere betrouwbaarheid

TABEL 3-5

Beoordeling van KPI's voor inzet storingsreserve i.c.m. accepteren lagere betrouwbaarheid

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit 4 <i>(15-25% ten opzichte van de aanwezige capaciteit)</i>	- In beginsel is de inschatting van de additionele capaciteit, die vrijgemaakt kan worden significant, namelijk 20% (LNB) resp. 13% (RNB), omdat dit overal toepasbaar is (bij voldoende klantparticipatie, zie schaalbaarheid), waarbij onderhoud nog mogelijk is. - Het gebruik van de enkelvoudige storingsreserve wordt momenteel al toegepast op locaties met invoedingscongestie door opwek met hernieuwbare energie, wat volgens TenneT tot circa 30% additionele capaciteit zal leiden. - Het potentieel moet beschouwd worden in relatie tot de lagere betrouwbaarheid die acceptabel is. Dit is geen eenvoudige knop om aan te draaien, maar moet per congestiegebied o.b.v. een gedetailleerde risico-analyse bepaald worden. - Met name in gebieden met een steile belastingduurkromme kan het zeer beperkt loslaten van de enkelvoudige storingsreserve direct veel capaciteit opleveren om meer afnameklanten van de wachtlijst aan te kunnen sluiten. In gebieden met een vlak belastingprofiel zal de potentie lager zijn. - Op hogere netvlakken zal de impact van een storing zeer groot zijn, de potentie van deze oplossing is daarmee groter op lagere netvlakken. - Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van de risicobereidheid, d.w.z. welke lagere betrouwbaarheid van het net acceptabel is. Daarbij zal het potentieel sterk verschillen per congestiegebied.
Schaalbaarheid 4 <i>(Geschikt voor 50-80% van de situaties)</i>	- Zeer schaalbaar, niet afhankelijk van klantparticipatie. Kan wel stuiten op technische beperkingen, zoals kortsluitvermogen. - Indien de reservetransformator in 'hot-stand by modus' staat kan het mogelijk zijn dat er geen klanten aangesloten kunnen worden op de vluchtstrook. Dit is afhankelijk van de bedrijfsvoering en de fysieke mogelijkheden om het station hiervoor aan te passen.
Kosteneffectiviteit 4 <i>(40-100% k€/MW jaarlijks, netto baten)</i>	Lage kosten, bestaat voornamelijk uit kosten die gemaakt moeten worden om de impact van storingen te verkleinen en klantvergoedingen voor extra storingsminuten.
Compliant 2 <i>(Grote wijzigingen nodig, enigszins politiek)</i>	Aanpassing van Energiebesluit benodigd.
TRL 5 <i>(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)</i>	Hoog Technology Readiness Level, vergelijkbaar met huidige noodplannen, indien rekening wordt gehouden met aanvullende maatregelen die mogelijk nodig zijn op het gebied van veiligheid en controle.
Implementatietijd 3 <i>(12-24 maanden)</i>	Organisatorisch aanpassingen nodig die tijd vergen (opschalen storingsdienst.
Organisatorische impact 2 <i>(Vereist aanzienlijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)</i>	- Storingen dienen zeer snel opgelost te worden, aangezien dit anders grote impact heeft op aangeslotenen. - Er is een intensievere afstemming tussen LNB en RNB benodigd.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Operationele complexiteit 2 <i>(Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/geïmplementeerd worden)</i>	• Voegt extra complexiteit toe aan netbeheer, zowel t.a.v. planning als operations, protectie en control center. • De storingsreserve wordt ook ingezet voor netuitbreidingen en onderhoud. De uitvoering en planning daarvan kan complexer worden als de storingsreserve maar deels beschikbaar is.
Betrouwbaarheid 2 <i>(Substantiële impact, mitigatie is denkbaar maar kostbaar of complex)</i>	Betrouwbaarheid kan lager worden in congestiegebieden waar dit wordt toegepast, tijdens de congestieperiode. In tegenstelling tot Curatief N-1 kan dit in principe alle aangeslotenen treffen.
Veiligheid 4 <i>(Geen significante impact)</i>	Geen impact

Het realistisch potentieel van het accepteren van een lagere betrouwbaarheid is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van de mate van risicoacceptatie, en er grote verschillen bestaan tussen congestiegebieden. Dit potentieel moet nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het potentieel bedraagt 10% (gebaseerd op een capaciteit van 13% en schaalbaarheid van 50-80% voor de RNB), waarbij dit het meest interessant is op lagere netvlakken, aangezien de impact van een storting daar kleiner is. Omdat een brede toepassing hiervan een grote impact op de betrouwbaarheid zal hebben, is een zorgvuldige beleidsafweging tussen klantinpassing en lagere betrouwbaarheid benodigd.

Opheffen van belemmeringen

- Per congestiegebied dient een risico afweging tussen het aansluiten van extra klanten, het accepteren van een lagere betrouwbaarheid en het maken van kosten (waarmee bijvoorbeeld de kans op, of het effect van uitval gemitigeerd kan worden). Deze afweging is sterk afhankelijk van de lokale situatie, maar kan wel op een generiek methodiek gebaseerd worden.
- De storingsdienst dient uitgebreid te worden. Er dient een grotere voorraad aan reservecomponenten en noodvoorzieningen opgebouwd te worden.

Gezien het grote (technische) potentieel van deze oplossing, is het raadzaam meer prioriteit aan de uitwerking en implementatie van dit concept te geven. Dit valt uiteen in een drietal elementen.

1 - WEGNEMEN VAN REGULATORISCHE BARRIÈRES

De huidige verplichting t.a.v. de enkelvoudige storingsreserve, zoals opgenomen in de Energiewet (inclusief de uitzonderingen volgens het Energiebesluit), is momenteel de belangrijkste barrière. Per 2020 is voor invoeding een wijziging doorgevoerd in de toenmalige AMvB, waarbij in de planningsfase (mits technisch mogelijk) invoeding door duurzame opwek aangesloten dient te worden op de vluchtstrook. De enkelvoudige storingsreserve is daarmee voor invoeding niet meer verplicht, maar in principe zelfs niet meer toegestaan. Implementatie hiervan is echter lastig, de benodigde protection schemes en/of beveiliging vanuit EMS/SCADA kunnen een oplossing vormen maar moeten worden getest en de bijbehorende IT/OT en telecom moet worden aangepast.

Voor afnamecongestie lijkt dit geen verstandige keuze. Het is immers a priori niet duidelijk hoeveel regelbaar vermogen als "curatief N-1" gecontracteerd kan worden. Daar waar onvoldoende curatief N-1 vermogen beschikbaar is, kan een storting tot het verplicht afschakelen van aangeslotenen leiden, hetgeen tot een onacceptabele verslechtering van de betrouwbaarheid van het net kan leiden, daar er a priori ook geen zicht is op de eventuele herstelduur van de storting.

Als eerste stap is het daarom raadzaam om de verplichting t.a.v. enkelvoudige storingsreserve weg te nemen, dan wel af te zwakken, maar de netbeheerders niet te verbieden deze te blijven hanteren. Een afzwakking van deze verplichting kan de vorm hebben van een tijdsduurgebonden verplichting, waarbij de netbeheerder bijv. minimaal 99% van de tijd de enkelvoudige storingsreserve moet hanteren in de planningsfase. Het ophogen van de 200MW grens kan ook overwogen worden, maar een tijdsduurgebonden verplichting biedt de netbeheerder meer mogelijkheden om per gebied de juiste risicoafweging te maken.

Binnen de nieuwe Energiewet zijn haakjes ingericht om via een AMvB – het Energiebesluit – vrijstellingen en ontheffingen te verlenen voor de N-1 taak. Beide hebben voor- en nadelen die gezamenlijk verder uitgezocht moeten worden.

- Vrijstellingen zijn geldig voor het hele net en zijn dus generiek van aard. Deze kunnen de vorm hebben zoals hierboven omschreven (gebaseerd op tijd, vermogen o.i.d.), ook kunnen de ondergrenzen (uitgedrukt in transportcapaciteit) voor de verplichting opgetrokken worden.
- Ontheffingen zijn daarentegen maatwerk. In het verleden zijn deze al uitgegeven voor specifieke onderdelen. Deze route kan opengesteld worden, waarbij de netbeheerders, goed onderbouwd ontheffingen aan kunnen vragen voor bepaalde situaties.

Zoals aangeven lijkt voor de curatieve N-1 oplossing een aanpassing van het Energiebesluit niet een vereiste, deze kan ook als een CSC worden opgezet. De voorgestelde Energiebesluit wijziging biedt de mogelijkheid eerst extra klanten aan te sluiten, en pas later curatieve N-1 contracten af te sluiten.

2 - HERIJKEN AFWEGING TUSSEN BETROUWBAARHEID EN KLANTINSPANNING

Het voor beperkte duur loslaten van de N-1 verplichting in de planningsfase voor hoogspanning zal in veel congestiegebieden de netbeheerder direct de mogelijkheid bieden om meer klanten aan te sluiten (waarbij TenneT ook de RNB in staat kan stellen meer klanten aan te sluiten door het verhogen van de transferlimieten op de koppelpunten).

Gezien de 15% (gemiddelde) onzekerheid in de belastingprognoses, zullen er gebieden zijn waar het aansluiten van klanten (binnen zekere grenzen) niet leidt tot het daadwerkelijk inzetten van de vluchtstrook. In andere gebieden waar dit wel leidt tot het inzetten van de vluchtstrook, kan o.b.v. een risicoanalyse besloten worden om dit risico te mitigeren, teneinde de betrouwbaarheid intact te laten, bijv. middels

- Afsluiten van curatieve N-1 contracten
- Contracteren van regelvermogen (CBCs, CapaciteitSturende Contracten (CSCs))
- Initiëren van flex tenders, zoals recent in de FGU-regio geïnitieerd is door TenneT en Stedin.

Alleen in gebieden waar deze risicoafweging laat zien dat de kans op een storing laag is, de impact van een storing laag is en/of de kosten voor mitigerende maatregelen hoog zijn, kan besloten worden om, in geval van storing tijdens het gebruik van de vluchtstrook, klanten verplicht af te sluiten. Hierbij kan bijv. een RNB ervoor kiezen een storingskans te accepteren op een niveau dat gelijk is aan de kans op een storing tijdens onderhoud (wanneer er immers ook niet altijd een storingsreserve beschikbaar is).

Het is hierbij van belang (ook voor curatief N-1) dat een storing (zeer) snel verholpen kan worden, omdat anders bepaalde klanten meerdere dagen of weken getroffen kunnen worden. Dit vergt organisatorische aanpassingen bij de netbeheerders, waarbij de inzet van schaars personeel noodzakelijk is.

De cruciale vraag is of netbeheerders gebruik gaan maken van de mogelijkheid om klanten op de vluchtstrook aan te sluiten, m.n. als dit ten koste kan gaan van de betrouwbaarheid. Ondanks de grote maatschappelijke druk op het verminderen van congestie, zijn er ook redenen om niet deze kant op te bewegen.

- Zoals hierboven geschetst heeft deze oplossing een grote impact op de organisatie van de netbeheerders, welke al zwaar onder druk staat.
- Tot op heden heeft de ACM zeer sterk op kostenefficiëntie (via X-factor) en betrouwbaarheid (via Q-factor) gestuurd. Dit heeft enerzijds geleid tot een zeer betrouwbaar net, anderzijds tot een cultuur die een herijking van de balans tussen klantinpassing en betrouwbaarheid zeer lastig maakt. Bij de netbeheerders leeft de indruk dat een lagere betrouwbaarheid noch voor de toezichthouder, noch voor de aangeslotenen, acceptabel is.

Deze keuze is voor TenneT nog lastiger: waarom zou TenneT een lagere betrouwbaarheid van het hoogspanningsnet accepteren om de RNB's in staat te stellen meer klanten in te passen op het distributienet? Volgens het concept methodebesluit komt de maatstafregulering, waaronder de kwaliteitsfactor (Q-factor), te vervallen. Hiermee wordt een mogelijke barrière voor deze oplossing weggenomen. Tegelijk zal de financiële prikkel voor versnelde klantinpassing (resultierend in een hogere benuttingsgraad van het net en daarmee hogere inkomsten voor de netbeheerder) komen te vervallen.

Kortom, er is meer nodig dan alleen het toestaan ervan, om de inzet van de vluchtstrook een vlucht te laten nemen. Omdat ieder congestiegebied anders is, met andere risico's en mogelijkheden, dient de uiteindelijke afweging of en welk gedeelte van de vluchtstrook ingezet kan worden, bij de netbeheerder te (blijven) liggen. Netbeheerders hebben echter wel duiding nodig vanuit de politiek en toezichthouder. Dit is tweeledig:

- Er dient een kader ontwikkeld te worden, hoe klantinpassing tegen betrouwbaarheid gewogen dient te worden. Een eerste indicatie hierbij kan zijn welke hoeveelheid additionele storingsminuten geaccepteerd worden per MW additioneel transportvermogen.
- De organisatorische impact dient hierbij beschouwd te worden. Vol inzetten op deze oplossing kan gevolgen hebben, inzet van schaarse experts op dit onderwerp kan hun betrokkenheid bij andere activiteiten verlagen, bijvoorbeeld bij de uitbouw van het net.

Gezien de complexiteit van zowel dit vraagstuk als de oplossing, volstaat niet een "eenvoudige" regulatorische aanpassing. Een verplichting (om klanten in te passen) of een verbod (om de storingsreserve te handhaven) biedt onvoldoende ruimte om met locatie-specifieke omstandigheden rekening te houden. Een financiële prikkel is niet toereikend omdat aanpassing van het concept methodebesluit (voor de reguleringsperiode 2027-2031) niet haalbaar lijkt, en er pas vanaf 2032 enig mogelijk effect gesorteerd kan worden. Aanpassing van de netcode is wellicht nodig voor specifieke elementen (bijv. financiële grens verhogen als de curatieve N-1 via een CBC ingericht gaat worden, hetgeen overigens niet zeker is), maar is ontoereikend om het hele vraagstuk af te dekken. Er is daarom een open dialoog benodigd tussen EZK, de ACM en de netbeheerders om de maatschappelijk optimale balans te vinden, zowel tussen klantinpassing en betrouwbaarheid, als tussen de verschillende taken en activiteiten van de netbeheerders. Het onlangs gepubliceerde *Aansluitoffensief* biedt hiervoor het juiste platform: de eerste doorbraak ("Risicobereidheid") is specifiek gericht op het wegnemen van deze belemmering, dit rapport kan

3 -VOORBEREIDING OP IMPLEMENTATIE BIJ NETBEHEERDERS

De technische implementatie van deze oplossing ligt naar verwachting op het kritieke pad. Het zou daarom verstandig zijn om dit verder voor te bereiden, parallel aan bovenstaande "open dialoog". Dit betreft onder meer:

- Opzetten van risico-methodiek: O.b.v. een risico analyse dient bepaald te worden of, en zo ja, welk gedeelte van de vluchtstrook ingezet kan worden om versneld klanten aan te sluiten, en welke mitigerende maatregelen hierbij getroffen dienen te worden. Dit betreft een afweging tussen kosten, baten (versneld aansluiten klanten), betrouwbaarheid en organisatorische impact.
- Onderzoeken effect van inzet vluchtstrook op belastingprognoses in rondom gelegen netten. Hierin is samenwerking tussen LNB en RNB's essentieel.
- Aanpassing onderhoudsstrategie en planningswerkzaamheden t.b.v. netverzwaring en klantinpassing
- Aanpassen/opschalen storingsdienst
- Aanpassen noodplannen: Afschakelschema's kunnen bijv. deels gebaseerd worden op maatschappelijke prioriteit.
- Inrichten curatief N-1 product in processen en systemen.

Realistisch potentieel

Zoals aan het begin van deze paragraaf aangegeven, bedraagt een realistische bovengrens van het potentieel van beide varianten 20% (LNB) resp. 13% (RNB). Voor de twee varianten afzonderlijk geldt op basis van onze analyse:

- Het realistisch potentieel voor curatief N-1 bedraagt 5-15%
- Het realistisch potentieel voor het accepteren van een lagere betrouwbaarheid bedraagt 10%.

De varianten zijn niet complementair, de potenties kunnen niet bij elkaar opgeteld worden. Per gebied zal een keuze gemaakt moeten worden of de risico's ten aanzien van de inzet van de storingsreserve, gemitigeerd kunnen/moeten worden middels curatieve N-1 contracten, of dat de risico's geaccepteerd worden. Omdat beide varianten ca. 10% potentie hebben, kunnen we stellen dat het totale potentieel van de inzet storingsreserve daarmee ook 10% bedraagt. Hierbij geldt dat dit een initiële inschatting van het realistisch potentieel betreft. Voor een exacte bepaling zijn uitgebreide risicoinschattingen, klantgesprekken en netberekeningen nodig.

3.3.3 LNB-RNB COÖRDINATIE

3.3.3.1 Beschrijving

Het Nederlandse elektriciteitsnet is als één systeem verbonden, maar wordt beheerd door verschillende systeembeheerders. Het koppelnet en transportnet wordt beheerd door één landelijke netbeheerder (LNB) en het distributienet wordt beheerd door meerdere regionale netbeheerders (RNB) zoals beschreven in sectie 2.1. Onderstations vormen het koppelpunt tussen het transportnet beheerd door de LNB en het distributienet beheerd door de RNB's. Echter, een aanzienlijk deel van de klantaanvragen op het distributienet staat momenteel in de wachtrij met een transportbeperking, vanwege transportschaarste op een koppelpunt (of hogere netdelen). Een verder versterkte coördinatie tussen LNB en RNB's kan het mogelijk maken om (een groter deel van) de klanten met dit type transportbeperking aan te sluiten op het distributienet. Dit valt uiteen in drie aspecten:

1 - Verlengde vluchtstrook o.b.v. curatief N-1

Mocht er onvoldoende bereidheid/capaciteit zijn om de wachtrijen op het distributienet weg te werken, dan kunnen ook bepaalde industriële klanten, gekoppeld aan het distributienet, op de enkelvoudige storingsreserve van TenneT aangesloten worden. Hierbij kan deze klant tegelijk op de enkelvoudige storingsreserve van de RNB aangesloten worden, maar dit is niet noodzakelijk (dit is niet nodig als er alleen sprake is van bovenliggende congestie). Dit concept wordt ook wel "verlengde vluchtstrook" genoemd. Vooralsnog is het noodzakelijk dat de klant een rechtstreekse verbinding heeft op het HS/MS onderstation, om te voorkomen dat ook andere klanten afgeschakeld worden, in geval van een storing (of onderhoud). Complicatie is dat een dergelijke klant, in tegenstelling tot klanten op het transportnet, mogelijk ook bij onderhoud afgesloten dienen te worden, hetgeen de klantpropositie minder aantrekkelijk maakt, zeker voor bestaande klanten.

2 - Gezamenlijke congestieonderzoeken

In het klassieke energiesysteem, gekenmerkt door aanstuurbare, centrale productie-eenheden en voorspelbare, prijsinelastische vraag, was de noodzaak voor samenwerking en informatieuitwisseling beperkt. Het huidige energiesysteem vereist een veel intensievere samenwerking, in zowel lange termijn planningsactiviteiten, klantinpassing, korte termijn planningsactiviteiten en *system operations*. Dit geldt des te meer indien het net dichter tegen zijn fysieke grenzen benut wordt, zoals middels cyclisch of dynamisch belasten en inzet enkelvoudige storingsreserve.

De RNB's moeten bij de klantinpassing rekening houden met de inpasbaarheid op het transportnet waarbij gekeken wordt naar de transferlimieten op de onderstations, de koppelpunten tussen het LNB- en RNB-net. Dit proces bestaat momenteel uit de volgende stappen:

1. Bij klantinpassing/congestie onderzoek stellen de RNB's de (aangepaste) prognoses voor het distributienet op,
2. Op basis van deze prognoses voert TenneT berekeningen voor het transportnet uit. Indien er transportbeperkingen op het LNB net worden vastgesteld, worden er (statische) transferlimieten voor de koppelpunten aan de RNB opgelegd.
3. De RNB's dienen vervolgens rekening te houden met deze transferlimieten bij klantinpassing. De transferlimieten zijn geen fysieke limieten, d.w.z. deze liggen meestal onder de nominale capaciteit van het onderstation.

Deze stappen worden tot nu toe in isolatie uitgevoerd, de LNB heeft weinig zicht hoe de RNB tot de prognose is gekomen, de RNB heeft geen inzicht in de netberekeningen die door de LNB worden uitgevoerd, noch op de karakteristieken van de congestieproblematiek op het (plaatselijke) transportnet.

Een nauwere samenwerking biedt op zijn minst twee mogelijkheden:

- Verkleinen van veiligheidsmarges die realistisch zijn op RNB-niveau, maar op geaggregeerd niveau bijgesteld kunnen worden. Een concreet voorbeeld is dat RNBs (voor 2026) ruimte reserveerden voor het aansluiten van nieuwe woonwijken. De realisatie hiervan kent vaak vertraging, maar voor een enkele woonwijk (op distributieniveau) kan de RNB niet zomaar veronderstellen dat deze vertraging optreedt. Op LNB-niveau, waar sprake is van meerdere woonwijken, kan wel statistiek bedreven worden en rekening gehouden worden met een gemiddelde vertraging, hiertoe is wel inzicht in de RNB prognoses benodigd.
- Indien de RNB beter zicht heeft op de karakteristieken van de congestie op LNB-niveau, kunnen proposities aan klanten aangeboden worden die passen binnen de congestieproblematiek, en aantrekkelijk zijn voor de klant. Zo kan in plaats van een standaard blokstroom product tussen 0:00h en 06:00h 's nachts, een product voor ruimere tijdsvensters aangeboden worden.

3 - Dynamische uitwissellimieten

Verbeterde operationele samenwerking, zoals het overstappen van statische naar week- of dagplanning, zou kunnen helpen om het net efficiënter te gebruiken en klanten sneller aan te sluiten. Het huidige systeem is echter grotendeels statisch, en het dynamischer maken ervan zou een aanzienlijke verbetering zijn.

3.3.3.2 Huidige toepassing

Verlengde vluchtstrook o.b.v. curatief N-1

Een dergelijk gebruik van reservevermogen, vereist duidelijke communicatie en operationele afstemming tussen hoogspannings- en middenspanningsnetten. Een voorbeeld hiervan is een pilotproject met een RNB, waarbij TenneT rekenmethodes ontwikkelt voor curatieve N-1-scenario's. Deze methodes zijn afhankelijk van het vermogen van klanten om hun belasting snel te regelen of af te schakelen bij storingen, wat op zijn beurt afhangt van directe aansturingrelaties tussen RNB's en TenneT.

Door samen te werken aan slim gebruik van het reservevermogen en noodmaatregelen willen TenneT en de RNB's een responsiever en flexibeler net creëren dat beter kan inspelen op de groeiende eisen van de energietransitie. Dit betreft echter een pilotproject, waarbij er geen duidelijke plannen zijn ten aanzien van verdere opschaling.

Gezamenlijke congestieonderzoeken

Voor specifieke regio's zoals Flevoland-Gelderland-Utrecht (FGU), wordt nauw samengewerkt om de congestieproblematiek aan te pakken. De samenwerking is hierbij vooral gericht op het in stand houden van de betrouwbaarheid van het net, in mindere mate op het versneld aansluiten van klanten. Het uitgevoerde onderzoek in 2025 voor FGU toonde aan dat een nauwere

samenwerking vruchten afwerpt, ook voor het versneld aansluiten van klanten. Zo kwam uit dit onderzoek naar voren dat vanaf 2030 in het FGU-gebied weer enige ruimte op het hoogspanningsnet om bedrijven en instellingen van de wachtlijst aan te sluiten. Deze positieve effecten waren het resultaat van de samenwerking tussen het ministerie van Klimaat en Groene Groei, TenneT, Stedin en Liander.¹¹ Nader onderzoek in 2026 voor FGU¹² bracht weliswaar naar voren dat het elektriciteitsnet in FGU inmiddels zijn grenzen heeft bereikt, dit doet echter weinig af aan de noodzaak voor een intensievere samenwerking.

Dynamische uitwisselingslimieten

Momenteel wordt in een gezamenlijk werkgroep van LNB en RNB's de mogelijkheden van dynamische uitwisselingslimieten onderzocht om capaciteit seizoensgebonden aan te passen. Er ligt een nadruk op het verbeteren en uitwisseling van data, de toepassing van machine learning en scenarioanalyses om de planning nauwkeuriger en responsiever te maken.

3.3.3.3 DNV analyse

Verlengde vluchtstrook o.b.v. curatief N-1

De analyse van deze oplossing is grotendeel gelijk aan de analyse van de oplossing "inzet enkelvoudige storingsreserve o.b.v. curatieve N-1", zie sectie 3.3.2. In onderstaande tabel worden alleen de elementen benoemd die specifiek gelden voor de variant "verlengde vluchtstrook".

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Schaalbaarheid 2 (Geschikt voor 5-20% van de situaties)	- In absolute zin is er meer potentieel bij grote klanten, die direct zijn aangesloten op het transportnet. Deze klanten hoeven niet, zoals op RNB-niveau, afgeschakeld te worden bij gepland onderhoud. - Bij onvoldoende potentieel op LNB-niveau kunnen grotere klanten op het distributienet een interessant potentieel vrijspelen. Dit is, in tegen stelling tot het aansluiten enkel op de RNB-storingsreserve, juist schaalbaar in situaties met bovenliggende congestie. Momenteel is de "verlengde vluchtstrook" niet haalbaar voor de meeste klanten, omdat veel klanten niet op afstand kunnen worden afgeschakeld. Daarmee is dit momenteel beperkt tot aansluitingen die beschikken over aparte middenspanningskabels naar het betreffende onderstation met eigen schakelaar in het onderstation (eigen veld).
Implementatietijd 2 (24-36 maanden)	De implementatietijd kan afhankelijk zijn van de complexiteit om verschillende systemen van de LNB en RNB's te integreren.
Organisatorische impact 2 (Vereist aanzienlijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)	- Afhankelijk van de specifieke implementatie kan dit impact hebben op de operationele werkzaamheden van zowel de LNB als de RNB's. - Organisaties kunnen verschillende prioriteiten hebben, gebruik makend van verschillende datasystemen en methoden, wat de samenwerking compliceert.

TABEL 3-6
Beoordeling van KPI's voor LNB-RNB coördinatie t.a.v. verlengde vluchtstrook

¹¹ Enige ruimte op stroomnet in Flevopolder en Gelderland vanaf 2030 | Liander
¹² Krachtige interventies in Flevopolder, Gelderland en Utrecht nodig om aansluitstop voor kleinverbruik te voorkomen

Opheffen van belemmeringen

De noodzaak om klanten af te schakelen middels schakelaars in het onderstation kan vermeden worden door klanten zichzelf af te laten schakelen na een verzoek hiertoe, bijv. via de real-time interface.

Gezamenlijke congestieonderzoeken

TABEL 3-7

Beoordeling van KPI's voor LNB-RNB coördinatie t.a.v. gezamenlijke congestieonderzoeken

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit -	- Het belangrijkste voordeel van betere LNB-RNB-coördinatie is dat het helpt om het bestaande net optimaal te benutten, klantaansluitingen te versnellen en congestie te verminderen. - Het is niet geheel duidelijk tot welk potentieel een betere coördinatie leidt om deze reden is geen waarde toegekend aan deze KPI. Volgens de RNB's worden de meeste verbeteringen verwacht uit betere planning en samenwerking, eerder dan uit nieuwe technische producten.
Schaalbaarheid 5 <i>(Geschikt voor bijna alle situaties)</i>	Nauwere samenwerking kan op alle locaties ruimte creëren, waarbij via flexibele contracten op maat gemaakte oplossingen aan klanten geboden kunnen worden.
Kosteneffectiviteit 4 <i>(40-100% k€/MW jaarlijks, netto baten)</i>	Hiervoor is inspanning benodigd, geen investeringen. De kosteneffectiviteit is daarmee hoog.
Compliant 5 <i>(Geen wijzigingen nodig)</i>	Volledig in lijn met regulering. LNB en RNB's worden geacht samen te werken.
TRL 5 <i>(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)</i>	Geen specifieke technologie benodigd.
Implementatietijd 3 <i>(12-24 maanden)</i>	Eerste onderzoeken zijn al uitgevoerd, de benodigde tijd voor opschalen is vooral afhankelijk van de beschikbaarheid van de juiste experts.
Organisatorische impact 2 <i>(Vereist aanzienlijke operationele veranderingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)</i>	Organisaties kunnen verschillende prioriteiten hebben, wat de samenwerking compliceert.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Operationele complexiteit 3 (Toename in complexiteit is beperkt en beheersbaar)	Organisaties maken gebruik van verschillende datasystemen en methoden, wat de samenwerking compliceert.
Betrouwbaarheid 4 (Geen significante impact)	Geen impact
Veiligheid 4 (Geen significante impact)	Geen impact

Opheffen van belemmeringen

De belangrijkste belemmeringen zijn organisatorisch, de beschikbaarheid van de juiste experts en afwijkende belangen en prioriteiten. Het opschalen van de samenwerking kan ten koste gaan van andere activiteiten binnen de netbeheerder, zoals het voorbereiden van netverzwaringen.

Samenwerking tussen de RNB's

LNB-RNB coördinatie is gebaat bij een uniformering van de processen binnen de RNB's, zodat bijv. de informatie-uitwisseling tussen TenneT en de RNB's op een uniforme wijze geschiedt. Daarom besteden we hier ook aandacht aan de samenwerking tussen de RNB's.

Binnen de maatstafregulering is een stimulering tot onderlinge concurrentie opgenomen. Dit zou als een belemmering tot nauwere samenwerking ervaren kunnen worden. Er zijn veel redenen de samenwerking te intensiveren, naast bovenstaand argument. Voor de technische oplossingen is nog veel onderzoek vereist, ook zullen meer en meer ervaringen opgedaan worden bij het toepassen hiervan, die met elkaar gedeeld kunnen worden.

De RNB's zijn deze samenwerking al vorm aan het geven, zo heeft één van de RNB's het ontwikkelde model voor zwaarder belasten gedeeld met de andere netbeheerders. Aangezien het concept methodebesluit van de ACM niet gebaseerd is op maatstafregulering, verwachten we dat de samenwerking tussen RNB's verder zal toenemen, en zien we geen reden hier aanvullende aanbevelingen voor op te nemen.



3.4 Algemene bevindingen

Conform artikel 9.6b van de netcode hebben netbeheerders een verplichting om bij dreigende transportschaarste, de mogelijkheid te onderzoeken om door middel van technische maatregelen anders dan netverzwaring de aanwezige transportcapaciteit te vergroten. Dit gebeurt voordat het congestieonderzoek plaats vindt, dit betekent dat de impact van de technische oplossingen, voor zover beschikbaar, al verwerkt is in de aanwezige transportcapaciteit, zoals vermeld in de congestieonderzoeken.

Incidenteel worden in huidige congestieonderzoeken de (on)mogelijkheden van bepaalde technische oplossingen al vermeld. Zo beschrijft TenneT in een aantal onderzoeken de mogelijkheid om dwarstransformatoren in te zetten om meer transportcapaciteit te creëren.

De oplossingen zwaarder belasten en vluchtstrook worden tot nu toe niet of nauwelijks vermeld, voornamelijk omdat deze tot op heden nog nauwelijks toegepast worden.

Dit rapport geeft meer duidelijkheid over de inspanningen die de netbeheerders reeds hebben ondernomen t.a.v. het onderzoeken, voorbereiden en inzetten van deze technische oplossingen, alsmede de toekomstige mogelijkheden hiervan. Tot nu toe was hier weinig zicht op vanuit de politiek, toezichthouder en maatschappij. Aangezien dit rapport een momentopname is, is het raadzaam om op structurele wijze meer inzicht te bieden in de mogelijkheden en beperkingen van deze technische oplossingen.

Het doel hiervan is tweeledig:

- 1.** Transparantie bieden welke oplossingen al zijn toegepast en de successen die hiermee behaald zijn.
- 2.** Beperkingen en belemmeringen benoemen die de netbeheerders beletten om het beschikbare potentieel van deze oplossingen op specifieke locaties toe te passen. Dit stelt EZK en de ACM in staat aanvullend beleid te ontwikkelen om deze belemmeringen weg te nemen (waar wenselijk), denk hierbij aan de volgende belemmeringen.
 - a.** Lange doorlooptijd vanwege benodigde meerjarige vergunningstrajecten.
 - b.** Te hoge kosten (t.o.v. bereikbare potentieel) bij vervangen van componenten.
 - c.** Te hoge impact op eigen organisatie (bijv. overbelasten van storingsdienst).

Deze informatie kan zowel in de vooraankondiging als in het congestieonderzoeksrapport opgenomen worden. Om de administratieve last te beperken, stellen we voor dit niet als een verplichting op te nemen in de netcode (artikel 9.8). We veronderstellen dat de netbeheerders zelf ook gebaat zijn bij deze transparantie en de relevante informatie op zullen nemen in de vooraankondiging en/of het congestierapport.

Hierbij geven de netbeheerders aan dat het opnemen van deze informatie veel werk kost, en het lastig is om alle afwegingen die ten grondslag liggen om netcomponenten al dan niet zwaarder te belasten, in schrift te noteren zonder de nuances te verliezen.

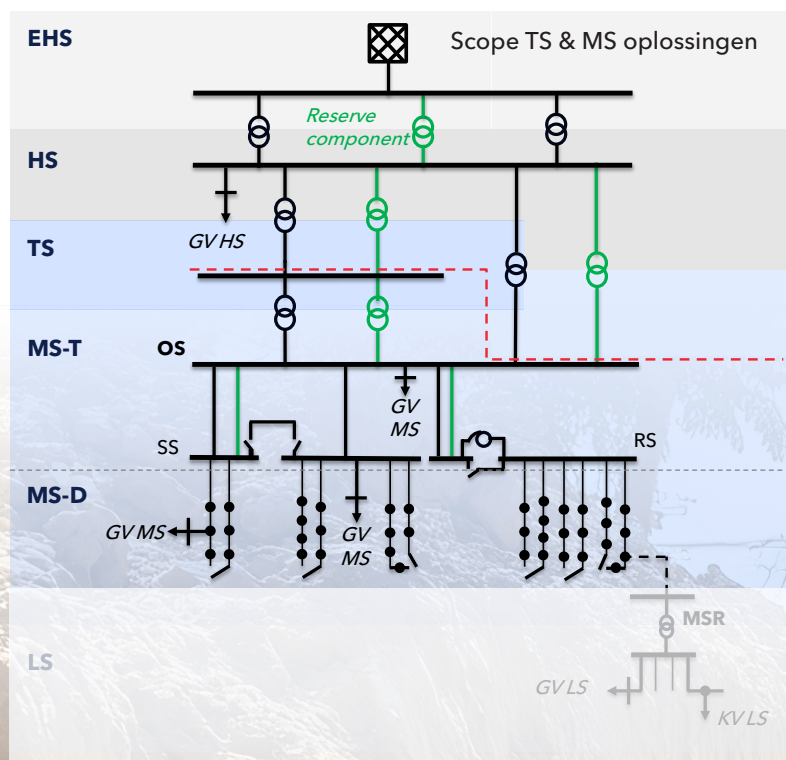


4

ANALYSE TUSSEN- EN MIDDENSPPANNINGSNET

- | | | |
|-----|------------------------------------|----|
| 4.1 | Huidige benutting van het net | 67 |
| 4.2 | Analyse van technische oplossingen | 70 |

4. ANALYSE TUSSEN- EN MIDDEN- SPANNINGSNET



FIGUUR 4-1

Scope TS & MS oplossingen

In dit hoofdstuk worden de technische oplossingen voor het tussen- en middenspanningsnet geanalyseerd. In Figuur 4-1 is weergegeven welke afbakening in dit rapport gehanteerd wordt voor het TS- en MS-net.

De technische oplossingen die in dit hoofdstuk worden beschouwd (zie paragraaf 4.2) hebben betrekking op de wijze waarop het TS- en MS-net bedreven wordt, ofwel de (korte termijn/real-time) bedrijfsvoering. Bedrijfsvoering zit aan de knoppen en zorgt voor een goede leveringszekerheid en betrouwbaarheid.

4.1 Huidige benutting van het net

Zoals in het hoogspanningsnet, is de (verwachte) jaarlijkse piekbelasting in een bepaald gebied of op een station bepalend bij de klantinpassing, zoals beschreven in paragraaf 3.1.1.

Om het potentieel van elke technische oplossing voor klantinpassing in het tussenspanningsnet (TS-net) en middenspanningsnet (MS-net) in perspectief te plaatsen, is het relevant om te begrijpen wat de huidige benutting van het elektriciteitsnet is op basis van de elementen zoals gedefinieerd in sectie 3.2 (zie voor definities aldaar).

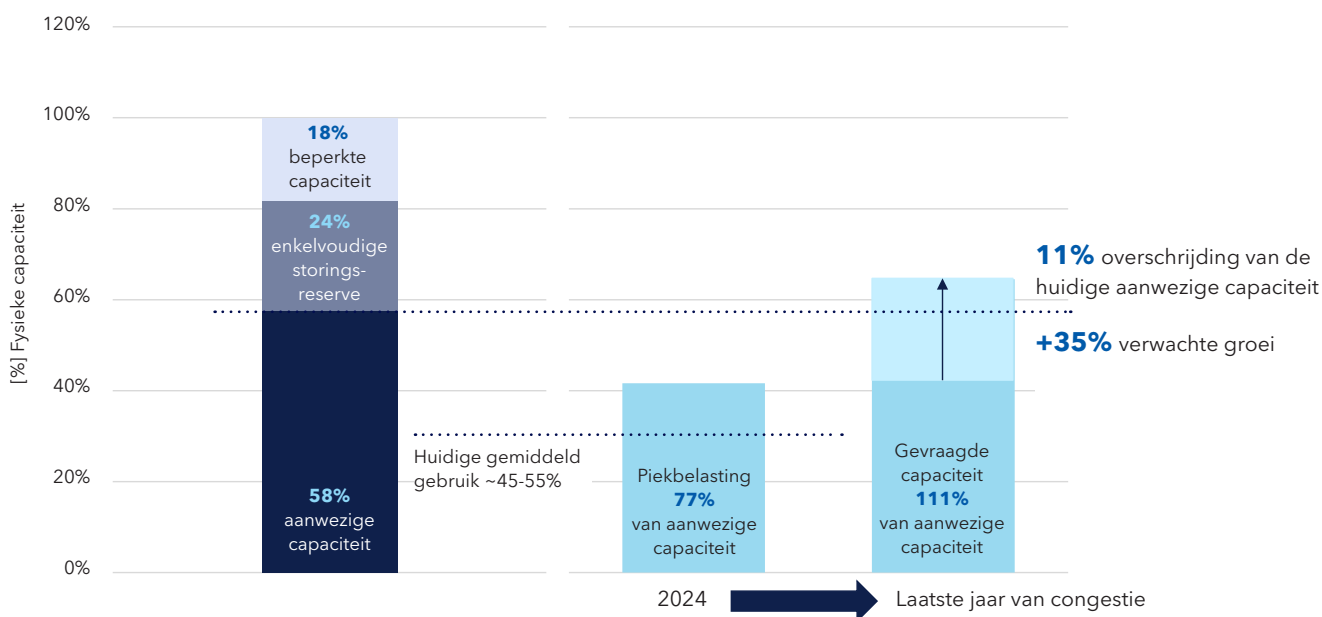
Voor het bepalen van de huidige benutting van het MS-net, heeft DNV gegevens verzameld over het capaciteitsgebruik van ongeveer 30 netcomponenten die door congestie in het TS-net en MS-net getroffen worden. Dit betreft een steekproef die geselecteerd en aangeleverd is door de netbeheerders. DNV heeft hierbij niet vast kunnen stellen in welke mate de steekproef representatief is.

Zoals toegelicht in sectie 4.3.1 kunnen niet alle componenten zwaarder belasten worden, omdat dit kan leiden tot onomkeerbare schade en onveilige situaties doordat componenten niet meer betrouwbaar en nauwkeurig reageren. Om de fysieke transportcapaciteit in het TS-net en MS-net te bepalen moet daarom de capaciteit van alle individuele componenten op de onderstations en verbindingen in beschouwing worden genomen (de keten) net zoals in het HS-net.

Zwaarder belasten kan alleen toegepast worden in situaties waarin de limiterende component zwaarder belast kan worden. In andere gevallen kan de capaciteit van de keten alleen vergroot worden door de betreffende kritieke component te vervangen voor één met een grotere capaciteit. In het TS-net en MS-net zijn transformatoren en kabels de componenten die voornamelijk zwaarder belast kunnen worden zonder onomkeerbare schade op te lopen. De rest van de analyse met betrekking tot zwaarder belasten richt zich daarom op dit type componenten.

In Figuur 4-2 wordt de huidige benutting van transformatoren in het TS-net en MS-net weergegeven (TS/MS- en MS/MS-transformatoren (beide voor transformatie van een hogere naar een lagere MS-spanning, en alleen voor spanningsregeling (regeltransformatoren) op dezelfde spanning). Dit overzicht is beperkt tot de transformatoren en MS-kabels met transportschaarste. Dit betekent dat voor het gehele TS-net en MS-net de gemiddelde relatieve piekbelasting en benutting lager liggen dan in de figuren is weergegeven. De kolommen in de figuren laten het volgende zien:

- De linker kolom geeft de fysieke transportcapaciteit van de opgestelde transformatoren weer. De klantinpassing wordt gebaseerd op de aanwezige transportcapaciteit, omdat de storingsreserve gereserveerd moet blijven. De "beperkte capaciteit" is ook niet beschikbaar voor klantinpassing. Volgens de informatie verzameld van de netbeheerders, wordt deze capaciteit door verschillende beperkingen onbeschikbaar gemaakt, zoals zwakkere componenten

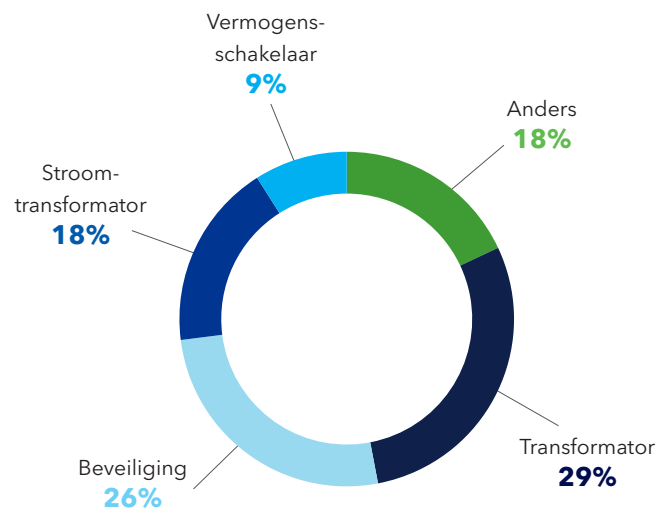


FIGUUR 4-2

Benutting van de capaciteit van transformatoren met transportschaarste in het TS-net en MS-net

in dezelfde keten of vergunningslimieten. Deze kolom is minder tijdsafhankelijk, de waardes blijven gelijk tijdens de congestieperiode, pas na de netverzwaring aan het eind van de congestieperiode leidt tot een verhoging hiervan.

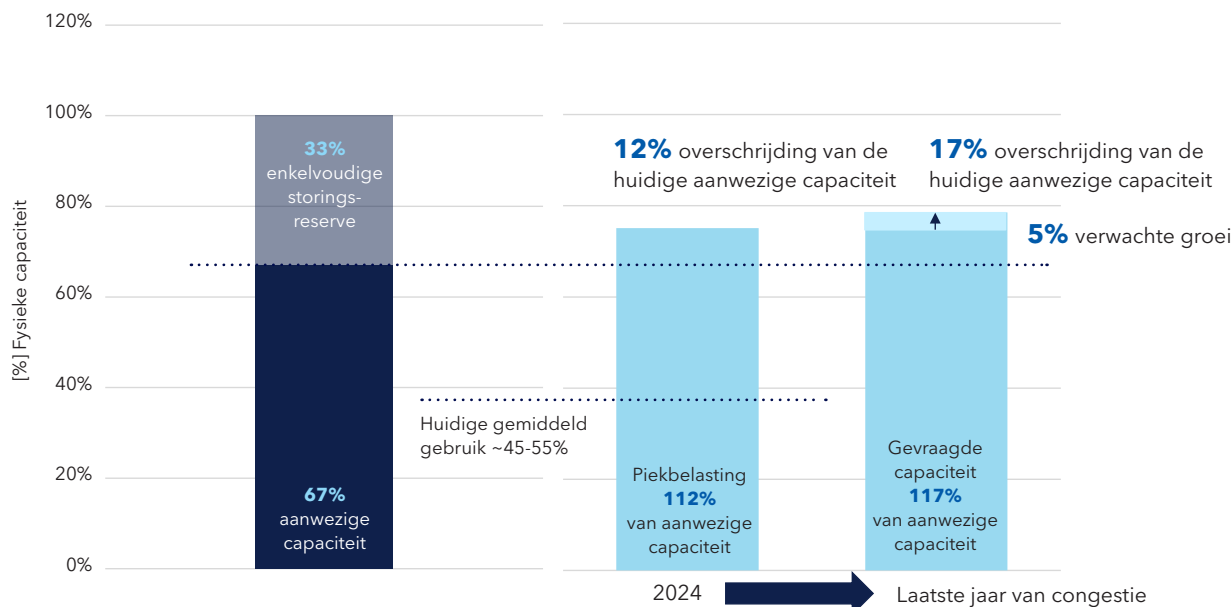
- De middelste en de rechter kolom geven de gevraagde transportcapaciteit van de aangesloten (inclusief LS-netten) weer. Deze laten de verwachte vraaggroei zien, tot het laatste jaar van congestie. Voor 2024 was de benutting van transportcapaciteit gelijk aan de hoogste waarden gemeten op de transformatoren of kabels. Voor het laatste jaar van congestie wordt de prognosemethodiek gehanteerd zoals beschreven in paragraaf 3.1.2 en 5.1.3. Dit overzicht is beperkt tot de vraag van aangesloten, de transportbehoefte van de klanten in de wachtrij is hier niet in opgenomen.
- De RNB's reserveren gemiddeld 24% (variërend tussen 22% en 41%) van de fysieke capaciteit van alle transformatoren in het TS-net en MS-net als storingsreserve, terwijl 58% (variërend tussen 57% en 61%) gebruikt kan worden om klanten aan te sluiten (dan wel voor uitbreidingen van bestaande klanten). De resterende 18% bevat de capaciteit die niet gebruikt kan worden vanwege de beperking door een andere netcomponent.



FIGUUR 4-3

Limiterende componenten voor stations in TS- en MS-netten

Figuur 4-3 toont de verdeling van componenten die momenteel een beperkend effect hebben op de capaciteit van stations in het TS- en MS-net. In de meeste situaties blijkt de combinatie beveiliging-vermogensschakelaar (samen 35%) het limiterende deel van de keten te zijn (opmerking: omdat de RNB die de beveiliging als beperkend heeft opgegeven, maar niet heeft gespecificeerd welke deel van de beveiliging dit betreft, wordt aangenomen dat het deze combinatie betreft). De beveiliging kan niet altijd worden aangepast zonder de veiligheid van de installatie in gevaar te brengen, in het geval van vermogensschakelaars zou het betekenen dat de gehele component vervangen moet worden met een zwaarder exemplaar, maar deze hebben niet altijd dezelfde bouwvorm voor een 1 op 1 vervanging waardoor de aanpassingen buitensporig worden. De volgende beperkende component is de transformator (29%). Het vervangen van de transformator zelf is een langdurig en duur proces en de RNB's besluiten meestal om dit tijdens een netverzwaring te doen. In 14% van de gevallen zijn de beperkende componenten "anders" zoals kabels en rails.



FIGUUR 4-4

Benutting van de capaciteit van kabels met transportschaarste in het TS-net en MS-net

In Figuur 4-4 wordt de huidige benutting van kabels in het TS-net en MS-net weergegeven. Dit overzicht is beperkt tot de kabels met transportschaarste. Dit betekent dat voor het gehele TS-net en MS-net de gemiddelde relatieve piekbelasting en benutting lager ligt dan in de figuren weergegeven is.

- Figuur 4-4 is gebaseerd op data aangeleverd door één RNB en daardoor mogelijk niet representatief voor alle RNBs. De enkelvoudige storingsreserve is ongeveer 33% van de fysieke transportcapaciteit, waardoor de resterende 67% beschikbaar is voor klanthinpassing en -aanpassing. Kabels en transformatoren hebben een vergelijkbare relatieve omvang van de reservecapaciteit. Het beperkte verschil komt door het onderscheid in hoe de kabels en de transformatoren gedimensioneerd worden, hun nominale waarden, en de netconfiguratie.
- De huidige gemiddelde piekbelasting bedraagt 44% voor transformatoren en 75% voor kabels ten opzichte van de fysieke transportcapaciteit (77% en 112% ten opzichte van de aanwezige capaciteit, respectievelijk), waarbij de gemiddelde benutting ca. 45-55% bedraagt. Ten opzichte van de fysieke capaciteit is de gemiddelde benutting slechts 26-31% voor MS/MS-transformatoren en 30-36% voor MS-kabels.
- De piekbelasting zal naar verwachting met ~35% van de aanwezige capaciteit stijgen voor transformatoren tot het laatste jaar voor de netverzwaring. De MS-kabels werden in 2024 al overbelast (tot 112% van de aanwezige capaciteit) en een verdere ~5% groei van de aanwezige capaciteit is verwacht.

Dit betekent dat, zonder aanvullende maatregelen, in de laatste jaren van congestie, de MS-stations en MS-kabels op meerdere momenten van het jaar niet N-1 veilig bedreven kunnen worden. In de praktijk betekent dit dat bij deze prognoses de RNB's op zoek moeten naar regelbaar vermogen om de 11% overschrijding van de aanwezige capaciteit bij transformatoren en 17% overschrijding van de aanwezige capaciteit bij kabels tegen te gaan teneinde hetzelfde niveau van betrouwbaarheid in het MS-net te behouden, ofwel toe moeten staan om deze zwaarder te belasten, ofwel een lagere betrouwbaarheid tijdelijk te accepteren.

Vanwege de verwachte groei van het verbruik vóór de geplande netverzwaring, blijkt uit deze analyse dat er gemiddeld genomen geen capaciteit beschikbaar is om meer klanten aan te sluiten. Hierbij gelden de volgende kanttekeningen:

1. Deze studie heeft niet in detail gekeken naar de prognosemethodieken van de netbeheerders, hiervoor heeft EZK een ander traject gestart. Deze conclusie is gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch/ betrouwbaar zijn.
2. Deze beschrijving heeft betrekking op de situatie in 2024. Het nieuwe prioriteringskader per 2025 heeft invloed op de benodigde reservering voor natuurlijke groei; deze wordt beperkt tot de groei van het netgebruik binnen bestaande KV-aansluitingen en binnen het gecontracteerde transportvermogen van grootverbruikers. Deze wijziging kan leiden tot een verlaging van de geprognostiseerde, benodigde capaciteit in het laatste jaar van congestie.
3. De mate van representativiteit van de aangeleverde data voor het gehele TS-net en MS-net kon niet vastgesteld worden.

4.2 Analyse van technische oplossingen

Tabel 4-1 geeft de lijst van geanalyseerde technische oplossingen weer voor het TS-net en MS-net, zoals deze gedefinieerd zijn in Figuur 3-2. Van deze oplossingen blijken het *zwaarder belasten van netcomponenten* en de *inzet van de storingsreserve* de meeste potentie te hebben. Daarom worden in de volgende paragrafen de huidige toepassing, voor- en nadelen en de belemmering voor verdere implementatie toegelicht. Uit het onderzoek is ook gebleken dat de andere drie oplossingen reeds in hoge mate toegepast worden door de RNB's of dat hun potentie verwaarloosbaar is. Om deze redenen worden daar alleen de principes van toegelicht, en worden geen concrete beleidsaanbevelingen gegeven.

Bij het analyseren van de potentie en schaalbaarheid van alle beschreven oplossingen in deze sectie is aangenomen dat het aansluiten van nieuwe klanten niet belemmerd wordt door congestie in hogere netvlakken. In praktijk zal de potentie en schaalbaarheid dus lager uitvallen.

4.2.1 ZWAARDER BELASTEN

4.2.1.1 Beschrijving

Het zwaarder belasten van TS- en MS-netten heeft met name betrekking op de transformatoren op TS/MS onderstations, MS/MS-(regel)transformatoren en de kabels in deze netten.

Voor aanwezige lijnen in het TS-net is de analyse zoals besproken voor de lijnen op het HS-net van toepassing. De drie beschreven methoden voor zwaarder belasten, namelijk statisch, cyclisch en dynamisch, zijn op dezelfde manier gedefinieerd als beschreven in sectie 3.3.1.

Het zwaarder belasten van TS/MS onderstations en MS-(regel)stations is vergelijkbaar met het zwaarder belasten van de HS/MS onderstations besproken in sectie 3.3.1.

Voor het zwaarder belasten van kabels in het middenspanningsnet is het van belang om onderscheid te maken tussen twee type kabels, die hoofdzakelijk aanwezig zijn in Nederland:

- **Kunststofkabels**, ofwel Cross-Linked Poly-Ethylene (XLPE)-kabels: deze kabels bestaan uit koperen of aluminium geleiders met een kunststofisolatie. Deze kabels worden nu standaard toegepast en de maximaal toegestane temperatuur van de geleider is 90°C.
- **Papier-Loodkabels**, ofwel Gepantserd Papier-Lood Kabels (GPLK): deze kabels bestaan ook uit koperen of aluminium geleiders, maar zijn geïsoleerd met papier en olie. De maximaal toegestane temperatuur van de geleiders is 50°C, omdat het isolatiemateriaal anders vloeibaar wordt en sneller verouderd. Deze kabels kennen daarom lagere belastbaarheden. Ook hebben deze mechanische nadelen, die niet relevant zijn voor dit onderzoek.

SECTIE	OPLOSSING	BESCHRIJVING
Kansrijke oplossingen TS en MS		
4.2.1	Zwaarder belasten van netcomponenten	Voor een specifiek aantal componenten mag de werkelijke stroom door een component onder bepaalde (temperatuur)omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximale ontwerptemperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
4.2.2	Inzet storingsreserve	De inzet van de enkelvoudige storingsreserve t.b.v. het aansluiten van meer klanten. Hierbij zijn veel mitigerende maatregelen nodig om de impact van een storing op te vangen, bijv. afschakelbare contracten met (industriële eindgebruikers).
Onvoldoende potentie of al volledig benut door netbeheerders (Appendix A)		
Netwerk herconfiguratie		Het herconfigureren van MS-D-netten door middel van de aanwezige netopeningen ten behoeve van een verbeterde verdeling van vermogensstromen door het MS-D-net zodat nieuwe klanten ingepast kunnen worden.
Spanningsregeling - Compounding		Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitsproblemen in het MS-net, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan.
Monitoring		Het verbeteren van het netinzicht in het MS-net, zodat inzicht in de daadwerkelijk belasting van het net wordt verbeterd.

TABEL 4-1

Overzicht van technische oplossingen, die zijn onderzocht voor TS-netten en MS-netten

Een klein deel (minder dan ~3%) van de kabels bestaat uit oliedruk kabels¹³, maar vanwege beperkte schaalbaarheid is dit type kabel niet meegenomen in het onderzoek.

De productie van papier-loodkabels is in 2005 gestopt en wordt tegenwoordig niet meer aangelegd. Het aandeel van kunststofkabels neemt daardoor toe, maar desondanks is op dit moment de verhouding van aanwezige kunststof-/papier-loodkabels circa 60%/40%.

Wanneer kabels belast worden, geven deze warmte af aan de grond. Zoals eerder aangegeven, is het grootste probleem bij hogere belasting de extra warmteontwikkeling. Eén "hotspot" in een kilometerslange kabel is al voldoende om tot een storing van het gehele tracé te leiden. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij het vaststellen van de capaciteit van kabels. Als kabels langdurig te warm worden, kan de grond uitdrogen. Droge grond geleidt warmte slechter, waardoor kabels nóg warmer worden. Dit is een negatieve spiraal die uiteindelijk tot kabelschade kan leiden. Bij kunststofkabels is uitdroging van de grond door zwaarder belasten een groter risico dan bij papier-loodkabels, omdat kunststofkabels tot hogere temperaturen verwarmd kunnen worden. Het toestaan van versnelde veroudering van kabels als gevolg van zwaarder belasten wordt in beperkte mate geaccepteerd. De exacte impact op levensduur en storingskans is echter nog niet volledig gekwantificeerd en onderzocht, waardoor risico's daaraan gerelateerd niet uitgesloten kunnen worden.

4.2.1.2 Huidige toepassing

Transformatoren

Het statisch en cyclisch zwaarder belasten van TS/MS en MS/MS transformatoren wordt reeds toegepast door twee RNB's; de derde RNB heeft geen TS-net en ziet nog geen meerwaarde om het toe te passen op de MS/MS transformatoren, gezien de zeer beperkte aantallen (2 stuks). De limieten die deze twee RNB's hanteren zijn weergegeven in Tabel 4-2. Eén van deze RNB's past al langere tijd statisch zwaarder belasten tot 110% toe, en cyclisch zwaarder belasten tot 130% toe; één andere RNB staat cyclisch zwaarder belasten tot 120% toe door gebrek aan detailinzicht in de belastinggraad. De daadwerkelijk gehanteerde limiet voor het cyclisch zwaarder belasten van een onderstation hangt af van het belastingprofiel, lokale omgevingscondities en andere componenten in de keten.

De derde RNB geeft aan nog geen vorm van zwaarder belasten toe te passen, omdat het geen TS-net beheert. Hierdoor is het alleen toepasbaar op enkele MS-(regel) stations in het MS-net van de betreffende RNB, waardoor de schaalbaarheid en de potentie (<4,8 MVA per regelstation) voor deze RNB beperkt zijn.

RNB 1	RNB 2
Statisch	
110%	Informatie niet beschikbaar
Cyclisch	
110% - 130%	110% - 120%

TABEL 4-2

De gehanteerde limieten door RNB's voor het zwaarder belasten van TS/MS onderstations en MS-regelstations

Dynamisch zwaarder belasten van transformatoren wordt nog door geen van de RNB's toegepast, hetgeen ook niet relevant is voor klantinpassing.

De potentie van het zwaarder belasten van transformatoren is afhankelijk van de capaciteit van andere componenten in de keten die mogelijk de zwakste schakel kunnen zijn. In dit geval zal deze schakel eerst moeten worden vervangen. Dit voordat de transformator zwaarder kan worden belast.

Kabels

Op dit moment passen alle RNB's (een combinatie van) statisch en cyclisch zwaarder belasten van kabels toe. Een overzicht van de toegepaste limieten door RNB's voor het zwaarder belasten van kunststofkabels in MS-netten is schematisch weergegeven in Tabel 4-3. Zoals weergegeven bestaan er verschillen tussen de waarden die RNB's hanteren. Een RNB past verschillende limieten toe voor MS-T- en MS-D kabels. Voor MS-T kabels hanteert de RNB een statische zomer- en winterlimiet. Rekening houdend met deze statische limieten en het belastingprofiel zijn er volgens specifieke cyclische limieten gedefinieerd voor de zomer en de winter. De tweede RNB past dezelfde statische limieten toe voor zowel MS-T- als MS-D kabels in het geval dat cyclisch belasten niet mogelijk is, omdat er geen generiek profiel bekend is. De derde RNB hanteert cyclische limieten, die in alle gevallen worden toegepast. Dynamisch zwaarder belasten wordt momenteel door één RNB getest in een pilotfase, maar verder wordt dit door geen RNB structureel toegepast. Deze manier van zwaarder belasten levert ook geen capaciteiten voor klantinpassing. Indien de RNB meer inzicht heeft in accurate belastingprofielen en omgevingscondities van de verschillende kabels in het MS-net, bijvoorbeeld na de installatie van monitoring, kunnen in delen van het net waar dat nog niet het geval is ruimere limieten worden toegepast. Verdere digitalisering van het net voor betere benutting, inclusief het zwaarder belasten, is onderdeel van alle RNB's strategieën.

¹³ Een oliedrukkabel is een GPLK type kabel waarbij de isolatie rondom de geleiders bestaat uit geïmpregneerd papier dat onder druk staat met olie, maar worden tegenwoordig steeds minder gebruikt vanwege de omslachtige aanleg en het onderhoud in vergelijking met moderne kabeltypes zoals XLPE-kabels.

RNB 1		RNB 2		RNB 3
Statisch				
Winter MS-T & MS-D - N-0: 105 - 108% - N-1: 115 - 120%	Zomer MS-T & MS-D - N-0: 100% - N-1: 105 - 120%	Winter MS-T - N-0: 100% - N-1: 107%	Zomer MS-T - N-0: 93% - N-1: 93%	N.v.t.
		Winter en zomer MS-D - N-0: 65% - N-1: 130%		
Cyclisch				
Winter en zomer MS-T: - Locatie-specifiek MS-D: - N-0: 130% en 128% - N-1: 143% en 135%		Winter en zomer MS-T: - N-0: 100% - N-1: 145% MS-D: - N-0: 100% - N-1: 130%		Winter en zomer MS-T & MS-D: - N-0: 108% - N-1: 120%

TABEL 4-3

Limieten gehanteerd voor het zwaarder belasten van kunststofkabels in MS-netten

De waarden in Tabel 4-3 geven de range van limietwaarden die gehanteerd worden in de betreffende periode aan, met inachtneming van de lokale condities.

Een limietwaarde lager dan de nominale waarde wordt door RNB 3 in de zomerperiode gehanteerd in beide N-0- en N-1-situaties voor kunststofkabels in het MS-T-net. Dit komt omdat klantinpassing voor afname beperkt wordt door de winterpiek en zomerbelasting (en de mogelijkheid zwaarder te belasten in de zomer); dit is echter niet relevant voor deze studie.

Voor papier-loodkabels gelden in het algemeen dezelfde limieten, behalve voor het cyclisch belasten door twee RNB's. Deze hanteren in dat geval lagere limieten voor papier-loodkabels dan voor kunststofkabels. Deze afwijkende limieten zijn weergegeven in Tabel 4-4.

4.2.1.3 DNV Analyse

Net als bij het zwaarder belasten in het HS-net wordt in deze sectie een analyse gemaakt van de potentie van deze oplossing om capaciteit in het TS- en MS-net op korte termijn vrij te maken voor klantinpassing, op basis van de input van de netbeheerders, expert opinion en internationale best practices op dit gebied.

Hierbij hebben internationale benchmarks ook aangetoond dat andere RNB's (DSO's/DNO's) in Europa vergelijkbare methoden toepassen om hun netten zwaarder te belasten en dat ze vergelijkbare belastingpercentages hanteren voornamelijk voor transformatoren. Andere landen zijn minder bekabeld dan Nederland, waardoor op dat gebied minder bekend is over de grens. Nagenoeg dezelfde uitdagingen als voor het HS-net zijn van toepassing (beperkingen in de keten door zwakke schakels, afhankelijkheid van lokale (weers)omstandigheden en individuele technische beperkingen van componenten, operationele complexiteit en tijdrovende processen voor implementatie).

RNB 1	RNB3
Cyclisch	
MS-T: - locatie-specifiek MS-D: - N-0: 105% - 113% - N-1: 115% - 120%	N-0: 107%

TABEL 4-4

Limieten voor het zwaarder belasten van papier-loodkabels in MS-netten, die afwijken ten opzichte van het zwaarder belasten van kunststofkabels

De potentie van deze oplossing voor het (tijdelijk) creëren van extra capaciteit ten behoeve van klantinpassing in het TS- en MS-net is beoordeeld aan de hand van de KPI's die beschreven zijn in sectie 1.3. De details van de beoordeling worden in Tabel 4-5 gepresenteerd. In deze tabel wordt elke KPI afzonderlijk geanalyseerd, conform de definities en scores in *Appendix B: Beoordelingsmethodiek technische oplossingen*. Er wordt gebruikgemaakt van de input geleverd door de netbeheerders, met daarbij het DNV-perspectief.

Net als bij de HS-netten op RNB-niveau, om het potentieel van het zwaarder belasten in deze netvlakken effectief te benutten, dient de congestie in het bovenliggende net (grotendeels) opgelost te zijn. Indien dat niet het geval is, dan is de potentie van deze oplossing voor klantinpassing maar maximaal 3%.

Afgezien van de congestie op HS-niveau, kan potentieel 15 tot 20% capaciteit vrijgemaakt worden in het TS en MS-net. Deze capaciteit houdt rekening met een schaalbaarheid van 20 en 70% (voor transformatoren en kabels, respectievelijk).

Voor **TS/MS- en MS/MS-transformatoren** is de beoordeling van de KPI's bij hogere belasting, zoals beschreven in sectie 3.3, eveneens van toepassing. Afhankelijk van lokale omstandigheden en technische kenmerken kunnen deze transformatoren 10 tot 50% boven hun nominale vermogen worden belast. Dit wordt bereikt door een combinatie van statische en cyclische overbelasting, aangevuld met geforceerde koeling op geselecteerde locaties. Het aantal transformatoren op dit niveau is echter beperkt—TS/MS zelfs zeer beperkt—en niet alle RNB's beschikken over regeltransformatoren. Daarnaast vormen de leeftijd van een deel van de populatie en zwakkere componenten zoals stroomtransformatoren en schakelaars, die lastig te vervangen zijn, belangrijke beperkingen. Hierdoor is de schaalbaarheid midden tot laag en bedraagt het totale potentieel voor extra klantinpassing maximaal ongeveer 10%.

Voor **kabels** is het potentieel groter: deze kunnen tot ca. 45% boven hun nominale vermogen belast worden, met een verwachte schaalbaarheid van maximaal 70%. Hiermee kan, op netniveau, 15 tot 20% extra capaciteit beschikbaar komen voor nieuwe klanten. Alle RNB's hanteren reeds verhoogde grenzen voor kabelbelasting (lokaal 10 tot 45% boven nominaal). Het resterende potentieel ligt daarom vooral in het daadwerkelijk

toepassen van deze grenswaarden, het harmoniseren naar de hoogste toelaatbare grens over alle RNB's, en verdere verhoging op basis van intensievere monitoring van thermische eigenschappen en conditie van kabels, ondersteund door verbeterde thermische modellen. Hierbij dienen congestiegebieden prioriteit te krijgen. De implementatie is echter complex door lokale technische uitdagingen, zoals uitdroging van grond door hogere kabeltemperaturen, de organisatorische en operationele impact (bijv. op het oplossen van storingen), en de behoefte aan betere informatie over lokale omgevingscondities en kabelkarakteristieken.

Om het totale potentieel van zwaarder belasten in het TS- en MS-net te realiseren, zijn nodig: een brede in plaats van selectieve aanpak; intensievere onderlinge afstemming tussen RNB's om waar mogelijk uniforme uitgangspunten en beleid te hanteren; verbetering van thermische modellen voor gedetailleerdere berekeningen; verdere belastingmonitoring in het MS-net; oplossen van ketenbeperkingen door vervanging van kritieke schakels; en het herzien van geluidseisen en -dempende maatregelen op locaties waar deze een beperking vormen (lage prioriteit vanwege de beperkte impact van <1% op het totale potentieel).

Met de huidige beleidsgrenzen achten RNB's versnelde veroudering geen zwaarwegend risico, omdat hogere belastingen alleen tijdens N-1 situaties en piekbelasting optreden. De impact blijft afhankelijk van de lokale omstandigheden en de duur van de N-1 situatie. Indien grenzen verder worden verhoogd, is aanvullend inzicht nodig in de effecten op veroudering, ondersteund door verbeterde modellen en monitoring.

De snelheid waarop dit volledig gerealiseerd kan worden hangt enorm af van interne besluitvormingsprocessen (o.a. door afstemming met meerdere interne stakeholders) en uitbreiding van monitoring en implementatie van rekenmodellen. Naar verwachting kan een deel van de potentie (zo'n 10%) binnen een jaar benut worden en de resterende na twee (en lokaal drie) jaar.

Verder is het cruciaal dat congestie op het bovenliggende net opgelost wordt, om het potentieel op dit niveau volledig te kunnen benutten. Net als bij het HS-net op RNB-niveau, is aan te raden dat de RNB's hierop voorbereid zijn, c.q. deze oplossing prioriteren en de nodige stappen zetten om het opschalen hiervan te versnellen.

TABEL 4-5

Beoordeling van KPI's voor zwaarder belasten van kabels en transformatoren in het TS- en het MS-net

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit Transformatoren en kabels 5 <i>(≥ 25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt)</i>	Transformatoren Zwaarder belasten kan doorgaans tussen de 10% en 50% extra capaciteit lokaal vrijmaken, door: • 10-20% cyclisch overbelasten bij transformatoren met voldoende informatie uit de lopende studie; • Additioneel tot 30% met toepassing van extra koeling. Door beperkingen in de keten vanwege limieten van andere zwakkere componenten die niet altijd vervangen kunnen worden, kan niet altijd de additionele capaciteit van de transformatoren volledig benut worden. Kabels Potentiële additionele capaciteit van 10 tot 45% per congestielocatie. Ook is het verruimen van deze grenzen op dit moment lastig, op basis van generieke eigenschappen en omstandigheden waar nu vanuit gegaan wordt en de onzekerheid die daarop verschillende locaties mee gepaard kan gaan. Omdat op het MS-T-net zich relatief veel aangesloten bevinden, heeft het onderzoeken en meten van omgevingscondities significant impact op de transportcapaciteit die daarmee gecreëerd wordt op het achterliggende MS-net.
Schaalbaarheid Exclusief congestie HS Transformatoren 3 <i>(Geschikt voor 20-50% van de situaties)</i> Kabels 4 <i>(Geschikt voor 50-80% van de situaties)</i> Inclusief congestie HS Transformatoren en kabels 2 <i>(Geschikt voor 5-20% van de situaties)</i>	Net als in het HS-net van de RNB's, speelt congestie in de bovenliggende netten een rol bij het breed en effectief toepassen van deze oplossing in het TS- en MS-net voor zowel transformatoren als kabels. Hierdoor is de maximale schaalbaarheid beperkt tot 10%. Afgezien van deze beperking wordt het volgende verwacht: Transformatoren Deze maatregel is voor transformatoren toepasbaar op 20 tot 30% van de locaties. Het aantal TS/MS onderstations en MS-(regel)stations varieert tussen regio's en niet op alle congestielocaties (zoals schakelstations) staan deze transformatoren opgesteld. De schaalbaarheid is daarom naar verwachting midden tot laag ingeschat. Kabels Alle RNB's geven aan dat hun beleid t.a.v. zwaarder belasten van XLPE en GPLK kabels toepasbaar is op hun hele MS-T en MS-D-net. Vanwege lokale situaties, is dit in sommige gevallen niet haalbaar, wat de schaalbaarheid naar schatting brengt naar 40 tot 70%, afhankelijk van de mate waarin deze oplossing al toegepast is door elk RNB. • Schaalbaarheid van het zwaarder belasten van kabels is in principe hoog, omdat kabeltypes in het net grotendeels gestandaardiseerd zijn en de oplossing daarmee generiek toegepast kan worden. De schaalbaarheid kan echter verschillen per RNB en is afhankelijk van de nettopologie. • Ook is de schaalbaarheid op dit moment hoog omdat de limieten gebaseerd zijn op generieke omstandigheden. Echter, neemt de schaalbaarheid naar verwachting af zodra er gebruik gemaakt wordt van meer locatie-specifieke eigenschappen. Toepassen van lokaal-specifieke richtlijnen stuit op organisatorische en operationele beperkingen vanwege de complexiteit (zie desbetreffende KPI's).
Kosteneffectiviteit Transformatoren en kabels 3/4	Geen informatie beschikbaar van de RNB's. Schatting van DNV is dat vergelijkbaar met de maatschappelijke kosten van het niet kunnen aansluiten van nieuwe klanten en investeringskosten om het net uit te breiden, de kosten van de meeste maatregelen om transformatoren en kabels hoger te belasten, beperkt zijn. Een deel van de oplossingen (zoals bredere digitalisering om inzichten in het net te krijgen) is al onderdeel van de strategische pijlers van alle RNB's, net als het beter benutten van het net. De kosten van het vervangen van de zwakste schakels verschillen per type component en worden afgewogen tegen de baten en de inzet die nodig zijn van schaarse resources.
Compliant Transformatoren 4 <i>(Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek)</i> Kabels 5 <i>(Geen wijzigingen nodig)</i>	Transformatoren Op het gebied van regelgeving zijn er minder beperkingen met betrekking tot bijvoorbeeld EMC-normen en N-1 criteria. Het zwaarder belasten van transformatoren kan echter nog wel stuiten op geluidsnormen in ca. 5% van de gevallen. Kabels Er zijn geen beleidswijzigingen nodig om de additionele capaciteit te realiseren door kabels zwaarder te belasten.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
TRL Transformatoren 5 <i>(TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)</i> Kabels 4 <i>((TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen minder dan 5 jaar)</i>	Transformatoren De technologie is volwassen en met een hoge TRL, is deze direct toepasbaar in de praktijk. Kabels Alle RNB's hebben beleid om kabels in het MS-T en MS-D-net zwaarder te belasten en het beleid wordt sinds kort gebruikt voor netinpassing.
Implementatietijd Transformatoren en kabels 3 <i>(12-24 maanden)</i>	Transformatoren De implementatietijd is relatief kort, indien benodigde informatie beschikbaar is. De oplossing kan snel worden ingevoerd en vereist vaak weinig fysieke aanpassingen, vooral in vergelijking met netuitbreidingen die jaren duren. Nadelen ten aanzien van implementatie zijn dat vooraf technische checks nodig zijn en wanneer ketencomponenten beperkend zijn, vervanging extra tijd kan vragen. Kabels Implementatietijd voor het benutten van de additionele capaciteit die zwaarder belasten kan opleveren ten opzichte van de huidige toepassing, verschilt per netbeheerder en per assettype, en kan op basis van de beschikbare informatie niet generiek worden vastgesteld. Het ontbreken van locatie-specifieke data (zoals kabelcondities, grondparameters en detailmetingen) vormt een belangrijke beperking voor het kunnen hanteren van fijnmaziger limieten. Hiervoor zijn lokaal extra investeringen in monitoring, sensoren en datasystemen noodzakelijk. Voor het versnellen van de implementatie op meer locaties en/of het verhogen van de limieten door een deel van de RNB's, is aan te raden om een brede aanpak te kiezen door onderling afstemming om vergelijkbare uitgangspunten en beleid te hanteren waar mogelijk.
Organisatorische impact Transformatoren en kabels 2 <i>(Vereist aanzienlijk operationele wijzigingen en ontwikkeling van nieuwe competentie)</i>	Transformatoren De organisatorische impact is hoog, omdat er brede interne en externe afstemming nodig is om dit te implementeren op de resterende (regel)transformatoren en het verhogen van de limieten waar nodig. Er is extra monitoring nodig, en afstemming tussen veel teams kost tijd. Zowel analyses als implementatie vereisen gespecialiseerde capaciteit, die beperkt beschikbaar is. Kabels Verder implementeren van het huidige beleid in de praktijk vereist naar verwachting weinig veranderingen. Echter, voor het verhogen van de limieten in een deel van het MS-net is verbeterde informatie van lokale omgevingscondities en mogelijk van de kabels nodig. Zonder deze informatie is de verwachting dat verdere verruiming van de limieten een negatieve impact kan hebben door een verwachte toename van mogelijke storingen. Dit kan de werkdruk voor de RNB's vergroten om aan alle hersteltijden te kunnen voldoen.
Operationele complexiteit Transformatoren en Kabels 2 <i>(Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/geïmplementeerd worden)</i>	Transformatoren De operationele complexiteit bij het verhogen van de limieten neemt toe omdat real time monitoring en sturing noodzakelijk worden. Real time operationele risico's nemen toe, mede door weersomstandigheden en belastingprofielen. Echter, met goede IT en OT systemen kan dit beheersbaar worden uitgevoerd. Ook is het aantal locaties waar dit nodig is beperkt vanwege het beperkte aantal transformatoren. Kabels Toepassing van hogere limieten in de praktijk zorgt voor een complexere bedrijfsvoering en vermoeilijkt het acuut maken van besluiten in het veld. Breder toepassen van de huidige limieten kampt niet met deze beperkingen.
Betrouwbaarheid Transformatoren en Kabels 4 <i>(Geen significante impact)</i>	Transformatoren Wanneer componenten structureel hoger worden belast dan hun nominale waarden kan de betrouwbaarheid afnemen. De kans op storingen kan toenemen doordat de componenten dichter bij hun thermische grenzen worden gebruikt. Binnen gecontroleerde toepassing blijft de betrouwbaarheid echter goed beheersbaar, vooral met datagedreven monitoring. Het huidige beleid van de netbeheerders richt zich op toepassingen waarbij de levensduur niet noemenswaardig aangetast wordt. Dit gaat pas spelen als de limieten verder opgerekt worden. Ook wordt dit alleen tijdens N-1 situaties toegepast en niet continu.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
	Kabels Indien beter inzicht verkregen kan worden, is de impact op storingsrisico's beperkt (zie Organisatorische impact). Ook hier geldt dat het alleen in N-1 situaties toegepast wordt.
Veiligheid Transformatoren en kabels 4 (Geen significante impact)	De oplossing is veilig wanneer deze binnen de thermische en mechanische grenzen van alle componenten in de netschakel wordt toegepast en zorgvuldig wordt bewaakt.

Opheffen van belemmeringen

Aanvullend op de beschreven belemmeringen voor het HS-net, die opgelost moeten worden om het potentieel in het TS- en MS-net te benutten, zijn er technische belemmeringen voor het TS-net en MS-net, die opgeheven moeten worden:

- De belasting van kabels dieper in het net dient op meer locaties, voornamelijk congestielocaties, gemeten te worden. Op dit moment is deze belasting niet overal waar nodig bekend, waardoor limieten voor zwaarder belasten vaak worden vastgesteld op basis van generieke belastingprofielen. Op dit gebied zijn er echter verschillen tussen de netbeheerders waarbij:
 - Een van de RNB's de belasting (stroom en spanning) van nagenoeg alle kabels in het MS-T-net en de eerste secties van de nagenoeg alle kabels in het MS-D-netten (op de onderstations) meet. Ook meet deze RNB de belasting van kabels dieper in het net d.m.v. distributieautomatisering (DA) in ongeveer 10% van MS-ruimten (op kritische knoppunten in het MS-D-net)
 - De tweede RNB geeft aan dat het plaatsen van meetapparatuur lopend in MS-T (41% van de stations zijn op afstand schakelbaar en bemeten) en volledig in MS-D is (stroom- en spanningswaarde op MS en soms ook op LS-niveau worden al gemeten);
 - De derde RNB heeft aangegeven momenteel bezig te zijn om meetapparatuur in nieuwe MS-netten uit te rollen, terwijl ze onderzoeken hoe dat ook in bestaande stations uitgevoerd kan worden.
- Naast betere bemeting, betere modellen en documentatie om locatie specifieke hogere kabelbelastingen mogelijk te maken. De omgevingscondities (grondsoort, vocht, diepte) en kabelspecifieke factoren beïnvloeden de maximaal toelaatbare kabelbelasting en kunnen per locatie sterk variëren. Omdat deze parameters in veel gevallen niet worden bemeten of gedetailleerd zijn vastgelegd, hanteren de netbeheerders conservatieve limieten die generiek toepasbaar zijn.
- Indien in de toekomst flex-contracten breder toegepast worden, kunnen door het vullen van de dalen kabels mogelijk geen tijd meer hebben om af te koelen, dat de potentie voor het toepassen van cyclisch zwaarder

belasten kan verminderen. Dit gaat echter pas spelen bij een grote hoeveelheid flex-contracten, waar vooralsnog geen sprake van is.

- Omdat op het MS-T-net zich relatief veel aangesloten bevinden kan het onderzoeken en meten van omgevingscondities veel extra transportcapaciteit creëren op het achterliggende MS-net.

4.2.2 INZET STORINGSRESERVE

4.2.2.1 Beschrijving

In sectie 3.2 is toegelicht dat de aanwezige storingsreserve in het net ervoor zorgt dat de stroomvoorziening gecontinueerd kan worden in het geval van storing of onderhoud. Zoals in paragraaf 2.2 uitgelegd, kennen TS en MS netten geen wettelijke verplichting voor het aanhouden van storingsreserve, maar voorzien regionale netbeheerders hier in de praktijk wel in. Dit wordt gedaan om aan prestatie indicatoren zoals Jaarlijkse Uitvalduur en Jaarlijkse Uitvalfrequentie, evenals de inspanningsverplichting om storings binnen gestelde richttijden op te lossen te voldoen, omdat de impact van een storing in het TS-net en het MS-T-net relatief groot is (relatief veel klanten kunnen getroffen worden door een enkele storing). Met de aanwezigheid van reservecomponenten in combinatie met vermaasde netontwerpen, wordt ervoor gezorgd dat een storing- of onderhoudssituatie niet tot een onderbreking van de levering zal leiden, zoals ook het geval is in het HS-net. Een storing in het MS-D-net zal daarentegen wel tot een tijdelijke onderbreking van de stroomvoorziening leiden (enkelvoudige storingsreserve met energieonderbreking). MS-D-netten hebben voornamelijk een ringvormig netontwerp dat radiaal wordt bedreven zoals is toegelicht en weergegeven in Figuur 2-3. Dit betekent dat bij storings de levering relatief snel (typisch variërend van ca. 15 tot 90 minuten) wordt hersteld voor getroffen klanten in het gebied, door het net op locatie te herconfigureren, gebruikmakend van de aanwezige netopeningen. Om te bepalen of er voldoende storingsreserve aanwezig blijft bij het inpassen van nieuwe klanten wordt typisch de 'worst-case' storing -of onderhoudssituatie als uitgangspunt genomen. Daarnaast wordt de storingsreserve ook ingezet voor de realisatie van netuitbreidingen en voor onderhoud.

Dit onderzoek beschouwt dezelfde methoden voor de inzet van de storingsreserve als voor HS-netten, beschreven in sectie 3.3.2. Deze methoden zijn:

METHODE 1 - Curatieve N-1

RNB's kunnende betrouwbaarheid van het net waarborgen door toepassing van curatieve N-1 contracten. De betreffende klanten hebben dan alleen een gecontracteerd transportvermogen tijdens normaal bedrijf, wat betekent dat ze afgeschakeld kunnen worden zodra zich een storings- of onderhoudssituatie voordoet. De kans op een storing is klein, maar levert onzekerheid op voor de klant doordat het moment vooraf onbekend is. Verder kan het noodzakelijk zijn om tijdens onderhoudswerkzaamheden en netuitbreidingen langdurig (maanden) een beroep te doen op de reservecapaciteit van het net.

METHODE 2 - Beperkte vrijgave N-1

RNB's sluiten afnameklanten aan op (een deel van) de storingsreserve, accepteren de daarbij behorende betrouwbaarheidsrisico's en passen aanvullende maatregelen (bijv. opschalen storingsdienst, grotere voorraad reserveonderdelen) toe om de risico's.

4.2.2.2 Huidige toepassing

Curatieve N-1

Zoals toegelicht in sectie 3.3.2 wordt momenteel de storingsreserve al ingezet voor het aansluiten van nieuwe opwekkanten.

Op dit moment worden afnameklanten in principe niet op de reservecapaciteit van het TS-net en MS-T-net aangesloten. Er zijn echter uitzonderingssituaties waarbij twee RNB's aangeven klanten wel aan te sluiten op deze storingsreserve. Eén van deze RNB's geeft daarbij aan in deze gevallen tijdsblokken voor afname te hebben afgesproken om de belasting op de storingsreserve te minimaliseren. De andere RNB geeft aan dat ze op vrijwillige basis enkele datacenters en batterijen tijdelijk op de storingsreserve aansluiten, totdat het net op de betreffende locatie uitgebreid is. Dit kan extra ruimte vrijmaken om klanten op de wachtlijst aan te sluiten.

Voor het MS-D-net past één RNB momenteel een gedoogconstructie toe gedurende de afgekondigde congestieperiode, waarbij nieuwe klanten met een eigen aansluiting op een MSR kunnen worden afgesloten tijdens een storings situatie. De toepassing is echter beperkt, omdat deze klanten ook vaak een spanningsknelpunt of capaciteitsknelpunt tijdens normaal bedrijf hebben of een knelpunt op een hoger spanningsniveau. Eén van de RNB's geeft aan dat deze oplossing niet relevant is, omdat deze RNB op dit moment geen congestie in MS-D-netten heeft. De derde RNB geeft aan dat momenteel een intern onderzoek loopt naar de mogelijke potentie en consequenties van het aansluiten van klanten op de storingsreserve in MS-D-netten. Aanleiding voor dit onderzoek was de publicatie van het rapport "Schakelen naar de toekomst - IBO Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur", waarin het "verlagen van de redundantie door de inzet van storingsreserves" als één van de opties genoemd wordt om de investeringsopgave te verminderen. De verwachting was dat het onderzoek eind 2025 werd afgerond.

Beperkte vrijgave N-1

Er is geen RNB die momenteel een lagere betrouwbaarheid van het net ziet als een oplossing om meer klanten aan te kunnen sluiten, deels omdat er momenteel geen congestie is, of dit geen oplossing is bij bovenliggend congestie, deels omdat er nog geen beleid voor ontwikkeld is. Echter geven de RNB's aan dat in de praktijk het nu al kan voorkomen dat een deel van de capaciteit van de aansluitingen, tijdens piekbelasting, is aangesloten op de reservecapaciteit van het MS-net door de natuurlijke groei van klanten, zonder dat de RNB hier een bewuste keuze voor heeft gemaakt. Omdat deze klanten geen curatieve N-1 contracten hebben afgesproken met de RNB's, hebben de RNB's geen manier om de storingsreserve te garanderen.

Als de capaciteit van de storingsreserve wordt beperkt, moet een lagere betrouwbaarheid van het net worden geaccepteerd. In dit geval kunnen meer klanten getroffen worden in vergelijking met de curatieve N-1 oplossing, waarbij alleen de betreffende klanten geraakt worden, die zijn aangesloten op de storingsreserve. Als gevolg hiervan kunnen de storingsminuten dus toenemen voor alle klanten in het congestiegebied. Om deze risico's te mitigeren verwacht één RNB in de loop van 2026 de implementatie van aanvullende maatregelen om de betrouwbaarheid van het net te waarborgen, die onder andere betrekking hebben op het opschalen van de inzet van noodaggregaten.

4.2.2.3 DNV Analyse

Evenals voor HS maken beide hoofdvarianten gebruik van de aanwezige reservecapaciteit. Twee RNB's schatten in dat het inzetten van de storingsreserve de potentie heeft om maximaal 10% tot 30% extra klanten aan te sluiten in hun MS-T-netten en maximaal 10%-35% in de MS-D-netten. Dit komt overeen met de omvang van de storingsreserve.

Dit is niet echter niet overal haalbaar, en het realistisch potentieel komt lager uit. Dit wordt nader toegelicht in de uitwerking van de hoofdvarianten.

Curatieve N-1

De KPI's gedefinieerd en beschreven in sectie 1.3 zijn beoordeeld bij de inzet van de storingsreserve op basis van curatief N-1. De KPI's zoals die zijn beoordeeld voor de inzet van deze oplossing op HS/MS onderstations van de RNB's, zoals toegelicht in sectie 3.3.2 en Tabel 3 4, zijn grotendeels ook van toepassing op het tussen- en middenspanningsnet. Daarom zijn ook voor deze oplossing alleen de verschillen toegelicht.

TABEL 4-6

Becoördeling van KPI's voor inzet storingsreserve o.b.v. curatief N-1

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING KPI
Capaciteit 4 (15-25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt)	Twee RNB's schatten in dat het inzetten van de storingsreserve de potentie heeft om maximaal 10% tot 30% extra klanten aan te sluiten in hun MS-T-netten en maximaal 10%-35% in de MS-D-netten. Dit is niet overal haalbaar (zie schaalbaarheid).
Schaalbaarheid 2 (Geschikt voor 5-20% van de situaties)	De totale schaalbaarheid ligt naar verwachting op 5%-20%. Redenen voor de beperkte schaalbaarheid zijn: • De belangrijkste beperking is de mate van klantparticipatie, in relatie tot storingsherstel en benodigd onderhoud. Dit kan enerzijds leiden tot een klantpropositie die niet voldoende aantrekkelijk is vanwege de kans op langdurige uitval, anderzijds de mogelijkheden voor onderhoud te sterk beperken. • Als gevolg van de toegenomen vraag van nieuwe klanten kan de spanningskwaliteit in MS-D-netten negatief worden beïnvloed. • Er kan fysiek een knelpunt zijn voor de hoeveelheid aansluitingen in het net. Indien de storingsreserve ook wordt benut, kunnen er op stations en MSR's fysiek niet genoeg aansluitpunten zijn voor extra klanten, omdat dit gedimensioneerd is op de aanwezigheid van storingsreserve. • Klanten in MS-D-netten kunnen vooralsnog niet op afstand, maar alleen op locatie worden afgesloten door de RNB. Dit bemoeilijkt het om adequaat te kunnen reageren en de betreffende klant(en) af te schakelen in noodsituaties. • Een aansluiting van een betreffende klant met curatieve N-1 afspraken kan lastig te onderscheiden zijn van de andere klanten zonder curatieve N-1 afspraken als de aansluiting gedeeld wordt op dezelfde MS-kabel, waardoor de betreffende klant met curatieve afspraken niet als enige afgeschakeld kan worden.
Compliant 4 (Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek)	Er geldt geen wettelijke verplichting voor een enkelvoudige storingsreserve. Daarbij zijn curatieve N-1 contracten een andere manier om invulling te geven aan de benodigde storingsreserve.
Betrouwbaarheid 4 (Geen significante impact)	• Mits op de juiste wijze geïmplementeerd, kan middels curatieve N-1 contracten de huidige betrouwbaarheid van het net voor alle andere aangesloten behouden blijven. • De onvoorspelbaarheid van storingen en daarmee de zekerheid van levering kan de interesse van klanten in curatieve N-1 afspraken beperken. Tevens kan het optreden van een storing, maar ook gepland onderhoud en netuitbreidingen, tot lange afsluitingen voor deze klanten leiden. Hierdoor zijn curatieve N-1 contracten waarschijnlijk minder aantrekkelijk voor klanten in MS-ringen.

Het realistisch potentieel van de curatieve N-1 oplossing is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van participatie van grootverbruikers, dit moet nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het potentieel bedraagt 1-5%, aangezien curatieve N-1 contracten waarschijnlijk minder aantrekkelijk zijn voor klanten in MS-ringen. Verdere ontwikkeling en implementatie van dit concept is benodigd, waarbij maatwerk per congestiegebied gewenst is.

Opheffen van belemmeringen

- Een belangrijke beperking voor klanten om tot curatieve N-1 afspraken te komen is de kans op langdurige afsluitingen vanwege onderhoud of na een storing. Deze beperking kan weggenomen worden door het voorbereiden van noodmaatregelen, bijv. de inzet van noodaggregaten om de maximale duur van de afsluiting te beperken.
- De beperking dat klanten niet op afstand afgesloten kunnen worden, en niet als enige afgeschakeld kunnen worden, kan weggenomen worden door technische

oplossingen voor te bereiden waarmee een individuele klant afgesloten kan worden (of zichzelf kan afsluiten). Dit zou via de "Real-Time Interface", kunnen, waarvan de netbeheerders aangeven dat deze, volgens het huidige ontwerp, ontoereikend is t.a.v. de hoge eisen die aan responstijden worden gesteld om curatief N-1 te kunnen faciliteren. Het ontwerp van de RTI zal hiervoor aangepast moeten worden.

Accepteren lagere betrouwbaarheid

De KPI's gedefinieerd en beschreven in sectie 1.3 zijn beoordeeld bij de inzet van de storingsreserve in het TS- en MS-net, in combinatie met het accepteren van een lagere betrouwbaarheid. De KPI's zoals die zijn beoordeeld voor de inzet van deze oplossing op HS/MS onderstations van de RNB's, zoals toegelicht in sectie 3.3.2, zijn grotendeels ook van toepassing op het tussen- en middenspanningsnet. Daarom zijn voor deze oplossing alleen de verschillen verder toegelicht.

TABEL 4-7

Boordeling van KPI's voor inzet storingsreserve i.c.m. accepteren lagere betrouwbaarheid

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Capaciteit 4 (15-25% ten opzichte van de aanwezige capaciteit)	• Twee RNB's schatten in dat het inzetten van de storingsreserve de potentie heeft om maximaal 10% tot 30% extra klanten aan te sluiten in hun MS-T-netten en maximaal 10%-35% in de MS-D-netten. • Het potentieel moet beschouwd worden in relatie tot de lagere betrouwbaarheid die acceptabel is. Dit is geen eenvoudige knop om aan te draaien, maar moet per congestiegebied o.b.v. een gedetailleerde risico-analyse bepaald worden. • Met name in gebieden met een steile belastingduurkromme kan het zeer beperkt loslaten van de enkelvoudige storingsreserve direct veel capaciteit opleveren om meer afnameklanten van de wachtlijst aan te kunnen sluiten. In gebieden met een vlak belastingprofiel zal de potentie lager zijn. • De impact van een storing is vaak sterk afhankelijk van de locatie waar deze storing (bijv. kabelbreuk) plaatsvindt. Ook t.a.v. de locatie kan een ander risicoprofiel gekozen worden, door niet altijd de worst-case als uitgangspunt te nemen.
Schaalbaarheid 4 (Geschikt voor 50-80% van de situaties)	Volgens opgave van twee RNB's kan deze oplossing op maximaal 40% tot 90% van het MS-T-net en het gehele MS-D-net toegepast worden om meer klanten aan te sluiten.
Kosteneffectiviteit 4 (40-100% k€/MW jaarlijks, netto baten)	Lage kosten, bestaat voornamelijk uit kosten die gemaakt moeten worden om de impact van storingen te verkleinen en klantvergoedingen voor extra storingsminuten.
Compliant 4 (Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek)	• Vergeleken met het HS-net zijn er minder belemmeringen, omdat er momenteel geen expliciete verplichtingen in wet- en regelgeving zijn voor de aanwezigheid van een storingsreserve in deze netten. • Wel ervaren de netbeheerders de zorgplichtgrondslag in de Energiewet, waarbij netbeheerders het systeem zó moeten beheren dat betrouwbaarheid en continuïteit gewaarborgd zijn, als een belemmering om deze oplossing in te zetten, aangezien deze de huidige betrouwbaarheid van het net aan kan tasten.
TRL 5 (TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar)	Toepassing van bestaande en bewezen technologieën.

KPI (score, max. 5)	BEOORDELING
Implementatietijd 3 (12-24 maanden)	Organisatorisch aanpassingen nodig die tijd vergen (opschalen storingsdienst).
Organisatorische impact 1 (Vereist aanzienlijke organisatorische veranderingen, ontwikkeling van nieuwe competenties en IT/OT-aanpassingen)	- De operationele en organisatorische impact is hoog, omdat het aantal storingen dat mogelijk verholpen moet worden op verschillende locaties toeneemt. Om al deze storingen tijdig te kunnen oplossen zal naar verwachting de druk op storing -en onderhoudsteams aanzienlijk kunnen toenemen met mogelijk negatieve consequenties voor het tempo van de netuitbreidingen, aangezien de storings- en onderhoudsteams ook op netuitbreidingen worden ingezet. Daarom dient deze oplossing vanuit dit perspectief zorgvuldig overwogen te worden en vereist naar verwachting opschaling van de storingsdiensten. - Toekomstige netuitbreidingen ten behoeve van de energietransitie kunnen vertraagd worden doordat deze oplossing het planningsproces complexer kan maken voor de RNB's. Het kan leiden tot minder beschikbare tijdvensters om de verzwarende uit te voeren zonder beperkingen te veroorzaken.
Operationele complexiteit 1 (Toename in complexiteit is substantieel, met (te) hoge risico's voor RT operaties)	- De risico-inschatting is moeilijker te maken, gezien het lagere netinzicht. - Door het gebrek aan storingsreserve kan de stroomvoorziening niet in elke situatie voor elke klant worden hersteld voordat de oorzaak van de storing verholpen is. Dit kan dagen, tot zelfs weken, vergen. Daardoor wordt het voor de bedrijfsvoering van de RNB's lastiger om te prioriteren voor welke klanten als eerste (gedeeltelijk) de stroomvoorziening hersteld wordt.
Betrouwbaarheid 3 (Marginale impact, of er bestaan duidelijke mitigatie-mogelijkheden)	In vergelijking met het HS-net wordt er een iets lagere impact verwacht, omdat het aantal getroffen klanten bij een storing kleiner is. Hoe groot de impact precies is, hangt af van het spanningsniveau waarop de storingen plaatsvindt. Storingen op het TS-net hebben de relatief grootste impact, terwijl storingen op MS-D-netten de minst impact hebben. De impact op betrouwbaarheid komt door het volgende: - Het tekort aan storingsreserve kan consequenties hebben voor het aantal storingsminuten van de RNB's. Er zullen namelijk meer klanten zijn aangesloten op het net en er zullen dus meer klanten getroffen worden. Daarnaast door de verhoogde werkdruk van de storingsdienst en onderhoudsteams, kan het langer duren voordat storingen verholpen zijn. - Het tekort kan consequenties hebben voor alle aangeslotenen, en niet alleen voor de klanten aangesloten op de storingsreserve. Elke klant kan getroffen worden door stroomuitval indien de storing plaatsvindt gedurende een periode dat de netcapaciteit ontoereikend is. De stroomvoorziening kan vervolgens slechts voor een beperkte groep getroffen klanten dan nu het geval is hersteld worden afhankelijk van de capaciteit die op dat moment nog gedeeltelijk beschikbaar is op de storingsreserve. - Ook is het de vraag of de herstelperiodes die op dit moment gehanteerd worden door de RNB's (bijvoorbeeld < 24 uur in MS-T en <72 uur in MS-D-netten bij een van de RNB's) haalbaar blijven als het aantal storingen toeneemt door toepassing van deze oplossing.
Veiligheid 4 (Geen significante impact)	Geen impact

Het realistisch potentieel van het accepteren van een lagere betrouwbaarheid is moeilijk te bepalen, omdat deze met name afhangt van de mate van risicoacceptatie, en er grote verschillen bestaan tussen congestiegebieden. Dit moet dus nader vastgesteld worden. Een eerste indicatie van het realistische potentieel bedraagt 10% (in lijn met de inschatting voor HS-RNB). Omdat een brede toepassing hiervan een grote impact op de betrouwbaarheid zal hebben, is een zorgvuldige afweging tussen klantinpassing en lagere betrouwbaarheid benodigd. Daarnaast heeft

een brede toepassing hiervan verregaande impact op de organisatie van de RNB, die al sterk onder druk staat.

Opheffen van belemmeringen

- De toenemende druk op storing -en onderhoudsteams kan gemitigeerd worden door een opschaling van de storings- en onderhoudsdiensten
- De lagere zichtbaarheid kan gemitigeerd worden door versneld monitoringapparatuur te installeren in congestiegebieden waar deze oplossing wordt toegepast.

5

ANALYSE LAAG- SPANNINGSNET

5.1	Congestieproblematiek en wachtrijen	82
5.2	Huidige benutting van het net	85
5.3	Analyse technische oplossingen	87

5. ANALYSE LAAGSPANNINGSNET

5.1 Congestieproblematiek en wachtrijen

5.1.1 CONGESTIEPROBLEMATIEK IN LS

De congestieproblematiek manifesteert zich in LS-netten op een andere manier dan in HS -en MS-netten, hieronder worden de belangrijkste verschillen opgesomd.

- Het onderscheid tussen invoeding en afnamecongestie is minder scherp. De gecontracteerde capaciteit binnen de aansluit- en transportovereenkomsten van kleinverbruikers staan zowel afname en invoeding toe, terwijl grootverbruikers afzonderlijke rechten moeten contracteren voor afname en invoeding van elektriciteit.
- Afgezien van nieuwbouwwijken, vindt de meeste groei in LS achter de meter plaats, dus binnen bestaande transportrechten. Deze groei, met name gerelateerd aan EV-laadpunten en warmtepompen, kent ook een hoge gelijktijdigheid. Het plaatsen in de wachtrij van aanvragen voor LS-transportcapaciteit, kan de groei enigszins beperken. Maar omdat de meeste groei achter de meter plaatsvindt, kan in tegenstelling tot HS- en MS-netten de groei in LS-netten niet (of nauwelijks) beteugeld worden door klanten in de wachtrij te plaatsen.
- Ook nieuwe kleinverbruik LS (KV LS) aanvragen voor transportcapaciteit (bijv. kleine bedrijven, nieuwbouw in bestaande wijken, upgrade van 1- naar 3-fase) werden in het algemeen gehonoreerd, ook bij bovenliggende congestie. Vanaf 2026 komt daar verandering in, mede door invoering van het prioriteringskader.
- De grootste problemen worden momenteel veroorzaakt door invoeding van fotonvoltaïsche (photovoltaic of PV) energie. Dit leidt tot spanningsproblemen in de kabels, waarbij PV-omvormers af kunnen schakelen, maar ook steeds vaker tot congestieproblemen (vermogen) op de MS/LS transformator. Dat wordt deels getemperd door de afschakelende omvormers.
- Door toename van EV-laden en warmtepompen zal ook de afnamecongestie toenemen.



Doordat MS/LS transformatoren zwaar overbelast kunnen worden (en dit al plaatsvindt, zie paragraaf 5.3.1), kan de capaciteitsgroei vaak nog gefaciliteerd worden. De standaard (en enige) oplossing die momenteel gehanteerd wordt voor de congestieproblematiek is het verzwaren van het LS-net door het plaatsen van een zwaardere of extra MS/LS transformator en/of het vervangen of uitbreiden van LS-kabels. Op bepaalde locaties is vervanging ook nodig vanwege ouderdom. Deze vervangingen en uitbreidingen stuiten met name op beperkingen in uitvoercapaciteit. De maakbaarheid richting 2030 (d.w.z. de beschikbare uitvoercapaciteit in verhouding tot de benodigde uitvoercapaciteit om alle knelpunten op te kunnen lossen) wordt door de netbeheerders geschat op 68%.

Hierbij is bovenliggende congestie geen reden om een verzwaring van een LS-net niet uit te voeren.

Voor de ontwikkeling van nieuwe woonwijken (d.w.z. nieuwe LS-netten) wordt nog wel ruimte gereserveerd zodat deze nog wel aangelegd kunnen worden, op enkele gevallen na waar sprake is van zware bovenliggende congestie. Dit gaat naar verwachting veranderen vanaf medio 2026. In de eerste helft van 2026 wordt het nieuwe prioriteringskader geïmplementeerd door de netbeheerders en wordt het eerder aanvragen van capaciteit voor woningen uitgewerkt.

Opvallend hierbij is dat de drie RNB's onderling een beduidend andere inschatting maken van de mate van toekomstige congestie, bijvoorbeeld per 2030. Het is onduidelijk waar dit exact door veroorzaakt wordt. Mogelijke oorzaken zijn verschillen in:

- **Nettopologie:** De mate en vorm waarin congestie zich manifesteert in stedelijke gebieden wijkt sterk af van landelijke gebieden. Verschillende netbeheerders hebben een verschillende verhouding tussen stedelijke en landelijke gebieden;
- **Inschatting maakbaarheid:** De RNB's hanteren verschillende inschattingen van de maakbaarheid van netverzwaringen in LS (resp. 85%, 68%, 50%), dit betreft met name de beschikbare uitvoercapaciteit;
- **Prognosemethodiek:** RNB's hanteren weliswaar dezelfde uitgangspunten (landelijke scenario's), maar gebruiken verschillende distributiemodellen en prognosemethodieken. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 5.1.3.

5.1.2 WACHTRIJPROBLEMATIEK IN LS

Het huidige (2025) beleid van twee RNB's is om geen wachtrij voor kleinverbruik te hanteren (bijv. 1 → 3 fase upgrade, publieke laadpaal). Eén van de drie RNB's is begonnen KV LS aanvragen in de wachtrij te plaatsen (4462 KV LS transportbeperkingen per 1 sept 2025), de aanleiding hiervoor is volgens de netbeheerders vrijwel altijd bovenliggende congestie.

Waar nodig plaatsen alle RNB's grootverbruik (GV LS > 3x80A) aanvragen al wel in de wachtrij. Ook dit wordt vrijwel altijd veroorzaakt door bovenliggende congestie.

Eén van de drie RNB's gaat bij het aansluiten van een nieuwe GV LS klant, direct de MS/LS transformator verzwaren.

5.1.3 PROGNOSEMETHODIEK IN LS

De energietransitie heeft een grote impact op de huidige en toekomstige belasting van het LS-net. Dit is al te zien aan de grote hoeveelheid PV-vermogen, in de toekomst zal ook de verwachte groei in EV-laadpunten (inclusief *vehicle-to-grid*), warmtepompen en thuisbatterijen een enorme impact hebben. Bij het opstellen van de belastingprognoses is een juiste inschatting van deze technologieën van groot belang. Het gaat hierbij zowel om het aantal (penetratiegraad en distributie) als het gedrag (belastingpatroon) van deze technologieën.

De huidige RNB-prognose van het aantal is gebaseerd op:

- Landelijke energysysteemscenario's voor de groei van deze technologieën, deze scenario's worden (vanuit Netbeheer Nederland) gezamenlijk door de netbeheerders opgesteld, in nauwe samenspraak met belanghebbenden¹⁴;
- Specifieke distributiemodellen binnen netgebieden, deze worden door RNB's zelf opgesteld.

Het gedrag van deze technologieën is gebaseerd op:

- Grotendeels o.b.v. heuristiek, d.w.z. historische metingen van bijvoorbeeld EV-laadpunten;
- Momenteel wordt onderzocht welke aanpassingen hierin nodig zijn, rekening houdend met ontwikkelingen die tot ander gedrag zal leiden, zoals de afschaffing van de salderingsregeling, maar ook de toename in dynamische leveringscontracten;
- Er wordt nog geen rekening gehouden met toekomstige ontwikkelingen die te verwachten zijn, maar nog niet besloten, zoals de aanpassing van netwerk tariefmethodiek voor kleinverbruik of congestie management in LS.

¹⁴ Zie: [Toekomstscenario's | Netbeheer Nederland](#)

5.1.4 DNV ANALYSE

Aangezien de belastinggroei in LS voornamelijk achter de meter (binnen bestaande transportovereenkomsten) plaatsvindt, is het moeilijk deze groei te beperken. De enige oplossing die momenteel aanwezig is om aan de groeiende transportvraag te voldoen, is het verzwaren van het LS-net. Dit stuit echter op beperkte uitvoercapaciteit (68% per 2030).

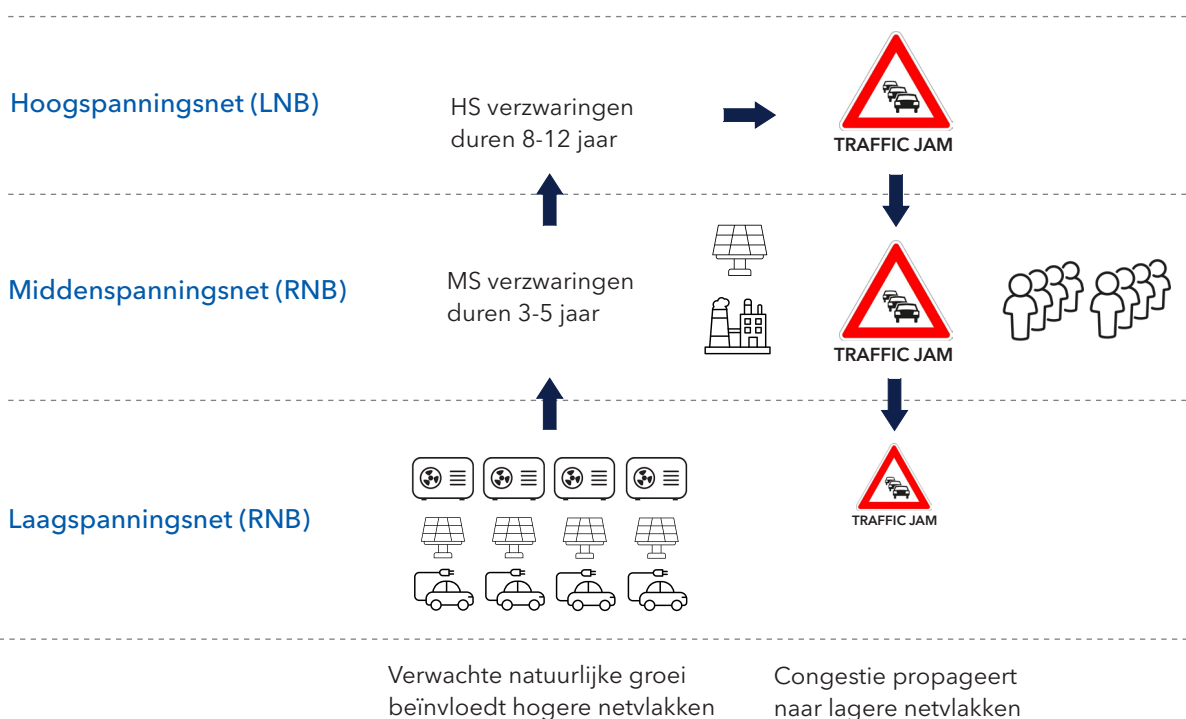
Het is dus noodzakelijk om deze groei te gaan beteugelen. De verwachte congestie in LS is niet de enige reden hiervoor, de natuurlijke, toekomstige groei in LS heeft namelijk een grote impact op de congestieproblematiek (en wachtrijen) in MS en HS, zoals hieronder geschetst.

Figuur 5-1 laat zien dat de groei in verbruik en opwek in LS, een belangrijke driver voor congestie in MS en HS is. Zoals in paragraaf 3.1 aangegeven moet bij klantinpassing op HS- en MS-niveau ook rekening gehouden worden met de natuurlijke groei in LS. Aangezien netverzwaringen in het

HS-net in het algemeen de langste doorlooptijd kennen, zal deze natuurlijke groei op HS-niveau het zwaarst meewegen, waardoor op HS-niveau het eerst transportschaarste optreedt. Deze congestie propageert vervolgens weer naar lagere netvlakken, MS maar ook LS.

Saillant hierbij is dat de technische oplossingen, die binnen deze studie beschouwd worden, bijdragen aan dit fenomeen. Door het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren kan de toenemende vraag (en dus impact op MS) gefaciliteerd worden. En, door de inzet van de enkelvoudige storingsreserve (in de operationele fase) op HS/MS-niveau, kan de toenemende vraag (en dus impact op HS) ook op dit netvlak gefaciliteerd worden.

Het beheersen en realistisch prognosticeren van deze natuurlijke groei is daarmee zeer belangrijk. Hierbij opgemerkt dat de totale vraag mag groeien, maar dat de piekvraag beheerst moet worden.



FIGUUR 5-1

Impact natuurlijke groei LS op wachtrijproblematiek

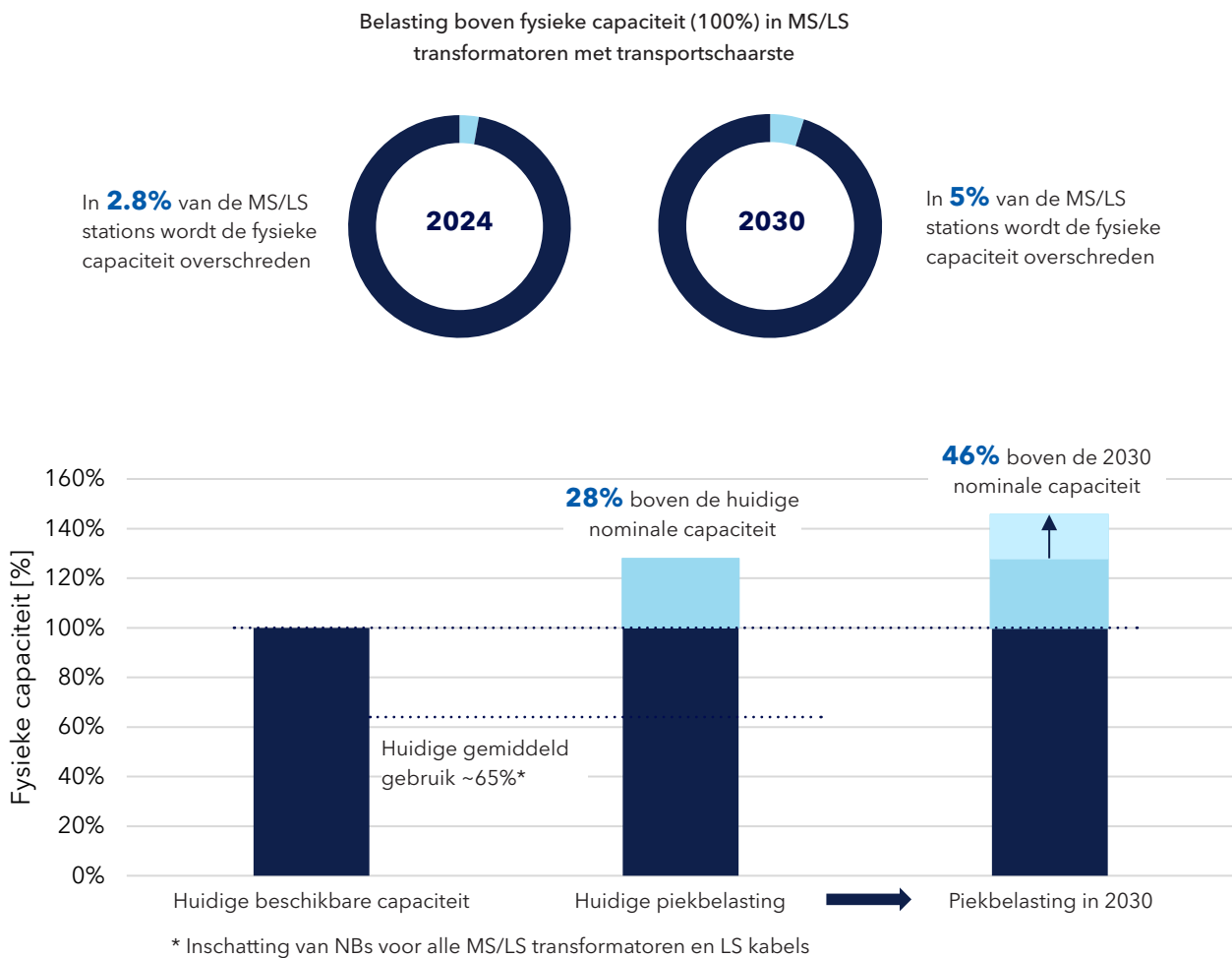
5.2 Huidige benutting van het net

Figuur 5-2 geeft de huidige benutting van het LS-net weer, specifiek voor MS/LS transformatoren, o.b.v. informatie aangeleverd door de drie RNB's. Enerzijds wordt weergegeven in hoeveel locaties de aanwezige capaciteit (o.b.v. nominale capaciteit transformator) overschreden wordt en zal worden. Anderzijds wordt de gemiddelde mate van overschrijding weergegeven voor de stations waar overschrijding plaatsvindt.

Uit de figuur blijkt dat in 2024 reeds 3% van de MS/LS-transformatoren zwaarder belast worden t.o.v. de nominale (of fysieke) capaciteit. Hierbij variëren de gegevens per netbeheerder van 1% tot bijna 5%. Het zwaarder belasten gaat tot maximaal 128% ten opzichte van de fysieke capaciteit (gemiddeld over de drie netbeheerders), waarbij het maximum per netbeheerder varieert van 120% tot 140%.

Richting 2030 zal dit toenemen naar 5% van de MS/LS-transformatoren, waarbij de gegevens per netbeheerder variëren van 1% tot 7.2%, en een maximale belasting van 146% ten opzichte van de fysieke capaciteit (gemiddeld over de drie netbeheerders), waarbij het maximum per netbeheerder varieert van 124% tot 167%. Hierbij is al rekening gehouden met geplande netverzwaringen in LS tot 2030. Hierbij opgemerkt dat overbelasting vaak optreedt bij transformatoren waar veel klanten op aangesloten zijn (stedelijke gebieden). Mocht de overbelasting tot uitval leiden dan worden dus relatief veel klanten getroffen.

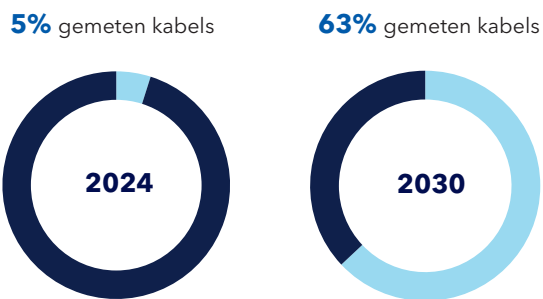
Op basis van de door de netbeheerders aangeleverde informatie, blijkt dat van de LS-kabels in 2024 minder dan 1% zwaarder belast worden (d.w.z. boven de nominale capaciteit), waarbij de gemiddelde belasting 110% bedraagt. Richting 2030 blijft dit aandeel onder de 1%, waarbij de gemiddelde belasting nauwelijks toeneemt. Zie paragraaf 5.3 voor een verdere toelichting hierop.



FIGUUR 5-2

Belasting boven nominale capaciteit in MS/LS transformatoren met transportschaarste

Figuur 5-3 geeft aan in welke mate de LS-kabel gemonitord en bemeten worden. In 2024 is het gemiddeld aantal bemeten LS-kabels minder dan 5%. De situatie verschilt per RNB: 1%, 4.6% en 11%. In 2030 zal dit volgens de RNB's naar verwachting groeien tot gemiddeld 63%. Dit zal de RNB's aanzienlijk meer inzicht geven in de belasting van LS-kabels, hoewel er verschillen tot 50% zijn in de verwachtingen van de drie RNB's. Een van de netbeheerders heeft aangegeven alleen in nieuwe middenspanningsruimtes (MSR's) de LS-kabels van monitoring te voorzien, voor bestaande MSR's zal de belasting van LS-kabels gemonitord worden op basis

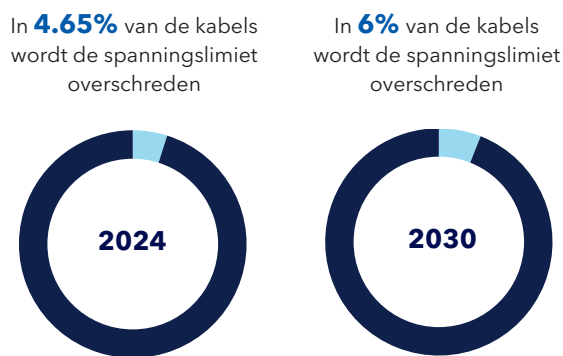


FIGUUR 5-3

Percentage van gemeten LS-kabels, in 2024 en in 2030 (gemiddeld)

van slimme meter data (voor 75% van de kabels in 2030). Als deze vorm van monitoring meegenomen wordt, zal het gemiddeld monitoringsniveau van LS-kabels door RNB's in 2030 op 78% uitkomen.

Figuur 5-4 geeft aan in welke mate spanningslimieten worden overschreden in LS-kabels. In 2024 wordt de spanningslimiet bij gemiddeld 5% van de LS-kabels overschreden. Dit percentage zal naar verwachting stijgen tot 6% in 2030. Ook hier is rekening gehouden met netverzwaringen die tot 2030 plaats gaan vinden.



FIGUUR 5-4

Percentage van LS-kabels waarbij de spanningslimiet wordt overschreden, in 2024 en 2030



5.3 Analyse technische oplossingen

Tabel 5-1 geeft de lijst van geanalyseerde technische oplossingen weer voor het LS-net, beheerd door de RNB, zoals weergegeven in Figuur 2-1. In de volgende paragrafen wordt elke oplossing verder beschreven, de huidige toepassing toegelicht, de voor- en nadelen van de toepassing geanalyseerd en de belemmering voor verdere implementatie gepresenteerd.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
Kansrijke oplossingen LS		
5.3.1	Zwaarder belasten van MS/LS componenten	De werkelijke stroom door deze componenten mag onder bepaalde (temperatuur)omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximum ontwerp temperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
5.3.2	Zwaarder belasten van LS-kabels	
Onvoldoende potentie of al volledig benut door netbeheerders (Appendix A)		
Spanningsregeling - toepassen van compounding op (HS/MS en MS/MS niveau)		Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitsproblemen, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan. De spanning kan beheerst worden via regelbare transformatoren. Dit kan zowel op HS/MS en MS/MS niveau plaatsvinden (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn al regelbaar), als op MS/LS niveau (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn echter nog niet regelbaar).
Spanningsregeling - toepassen van automatische spanningsregeling op MS/LS niveau		Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitsproblemen in het MS-net, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan.
Monitoring - Beter inzicht t.b.v. klantinpassing		Deze oplossing bestaat uit twee elementen: (1) Het meten van de belasting van een LS-netwerkkomponent met hoge resolutie (kwartier of uurwaardes). Deze zijn op afstand uitleesbaar. (2) Het inschatten van de belasting van een netwerkkomponent op basis van metingen lager in het net, met name via slimme meter data.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
1	Zwaarder belasten van MS/LS transformatoren	De werkelijke stroom door deze componenten mag onder bepaalde (temperatuur)omstandigheden hoger zijn dan de nominale stroom indien de maximum ontwerp temperatuur niet overschreden wordt. Afhankelijk van het type component kan statisch, cyclisch of (real-time) dynamisch zwaarder belasten toegepast worden.
2	Zwaarder belasten van LS-kabels	

TABEL 5-1

Lijst van technische oplossingen

De analyse van de volgende drie aanvullende oplossingen is opgenomen in Appendix A.

ID	OPLOSSING	BESCHRIJVING
3	Spanningsregeling - toepassen van compounding op HS/MS en MS/MS niveau	Indien congestie veroorzaakt wordt door spanningskwaliteitsproblemen, kan de beheersing hiervan mogelijk het inpassen van meer klanten toestaan. De spanning kan beheerst worden via regelbare transformatoren. Dit kan zowel op HS/MS en MS/MS niveau plaatsvinden (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn al regelbaar), als op MS/LS niveau (de huidige transformatoren op dit netvlak zijn echter nog niet regelbaar).
4	Spanningsregeling - toepassen van automatische spanningsregeling op MS/LS niveau	
5	Monitoring - Beter inzicht t.b.v. klantinpassing	
		Deze oplossing bestaat uit twee elementen: (1) Het meten van de belasting van een LS-netwerkcomponent met hoge resolutie (kwartier of uurwaardes). Deze zijn op afstand uitleesbaar. (2) Het inschatten van de belasting van een netwerkcomponent op basis van metingen lager in het net, met name via slimme meter data.

TABEL 5-2

Lijst van overige technische oplossingen

Aangezien er geen enkelvoudige storingsreserve aanwezig is in LS (zie paragraaf 2.2) is de inzet van de enkelvoudige storingsreserve t.b.v. het aansluiten van meer klanten op LS-net geen geschikte oplossing.

Herconfiguratie van het elektriciteitsnet is evenmin haalbaar omdat het LS-net grotendeels radiaal uitgelegd is. In een aantal grote steden zijn LS-netten nog vermaasd, maar deze worden (waar mogelijk) "ontmaasd" om de bedrijfsvoering te vereenvoudigen. Dit maakt het bijvoorbeeld gemakkelijker om fouten in het LS-net te kunnen lokaliseren. Daarnaast zijn deze niet herconfigureerbaar omdat er geen netopeningen aanwezig zijn.

5.3.1 ZWAARDER BELASTEN MS/LS TRANSFORMATOREN

5.3.1.1 Beschrijving

Het zwaarder belasten van MS/LS trafo's is vanuit technisch perspectief niet wezenlijk anders dan het zwaarder belasten van transformatoren op andere spanningsniveaus. Voor een beschrijving van deze oplossing wordt daarom verwezen naar de corresponderende paragrafen voor hoog- en middenspanning. Er zijn echter drie verschillen:

- MS/LS transformatoren zijn over het algemeen niet op afstand bestuurbaar/ regelbaar en worden maar op een beperkte schaal (~ 30%) op afstand continu bemeten. Alleen een van de drie netbeheerders heeft aangegeven

dat meer dan 80% van zijn transformatoren uitgerust zijn met apparatuur voor bemeten op afstand. Een andere doet dit in intelligente ruimten op ongeveer 10% van de transformatoren.

- De totale belasting, en ook het aantal klanten, achter de MS/LS transformator is beduidend lager dan bij hoog- en middenspanning. Dit betreft voornamelijk KV LS klanten.
- Er is geen storingsreserve aanwezig, een middenspanningsruimte (MSR) is niet redundant uitgevoerd.

5.3.1.2 Huidige toepassing

Het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren wordt momenteel al toegepast door de RNB's. Dit is enerzijds onderdeel van het beleid, anderzijds (in feite) onvermijdelijk. Als de totale belasting de nominale capaciteit overschrijdt, heeft de RNB geen mogelijkheden om dit te voorkomen door op afstand (een deel van) de belasting af te schakelen of anderszins. De enige huidige mogelijkheid om overbelasting te voorkomen is door tijdig het LS-net te verzwaren en/of een extra of zwaardere transformator te plaatsen. Hierbij geldt ten aanzien van het zwaarder belasten van de MS/LS transformator:

- MS/LS transformatoren worden vanuit beleid standaard al belast tot minimaal 120% van de nominale waarde. Dit beleid heeft vooral betrekking op het planningsproces (netverzwaring en klantinpassing), niet zozeer op het operationele proces.

- MS/LS transformatoren worden niet op afstand bewaakt beveiligd, maar via MS-zekeringen. Bij kortsluiting of zeer hoge/langdurige overbelasting zal de MS-zekering smelten en daardoor de stroom onderbreken. MS-zekeringen zijn trage zekeringen voor overbelastingen en grijpen pas in bij langdurige stromen groter dan de nominale capaciteit. Bij welke waarde ze ingrijpen, is afhankelijk van het gebruikte type MS-zekering.

De volgende aspecten limiteren de mogelijkheden van overbelasten:

- In de Nederlandse LS-netten krijg je bij zware belasting meestal eerst spanningsproblemen (in de kabels) en daarna pas stroomproblemen (voornamelijk in de transformator). Nog zwaarder belasten zal dus vooral tot (meer) spanningsproblemen leiden. Bij overschrijding van de bovengrens van de spanning schakelen PV-omvormers zichzelf uit, wat leidt tot een vermindering van de stroom waardoor overbelasting kan worden voorkomen. Bij overschrijding van de ondergrens van de spanning ontbreekt dit mechanisme, omdat een te lage spanning meestal geen problemen oplevert voor aangesloten apparaten. Het risico op uitval bij overbelasting door een te hoge vraag (afname) is daardoor hoger dan bij een te hoge invoeding.

Hierbij zal de transformator eerder de zwakste schakel zijn dan de kabel. Het feit dat MS/LS transformatoren eerder uitvallen dan LS-kabels, komt met name door de dimensionering van de MS/LS transformatoren. De som van de capaciteit van alle LS-kabels die zijn aangesloten op één MS/LS transformator is typisch aanmerkelijk groter dan de capaciteit van de betreffende MS/LS transformator.

- De afgelopen jaren is er veel aandacht besteed aan de LS-aanraakveiligheid. Ook dit geeft eisen aan de dimensionering van het LS-net die effect hebben op maximaal toegestane (over)belastingen.

Tabel 5-3 geeft het huidige beleid weer t.a.v. het zwaarder belasten.

Tabel 5-3 geeft ten eerste aan wat een netbeheerder aan belastbaarheid accepteert en hoe. RNB1 gebruikt een kleuralarm waarbij de daadwerkelijke belasting van een transformator snel en simpel gevisualiseerd kan worden. Bij het naderen van de nominale capaciteit van de transformator wordt een geel kleuralarm afgegeven, die oranje wordt als de belasting nog verder toeneemt en zelfs rood wordt als de veilige normen zijn overschreven. Voor RNB2 en RNB3 is de belastbaarheid een vaste waarde, weliswaar voor RNB2 gespecificeerd per stationtype (een compactstation is een MS-ruimte met een transformator en aanverwante schakel-

	RNB 1	RNB 2	RNB 3
Belastbaarheid	Geel $\geq 90\%$ voor meer dan 2 uur OF $\geq 100\%$ Oranje $\geq 100\%$ voor meer dan 2 uur OF $\geq 120\%$ Rood $\geq 120\%$ voor meer dan 2 uur OF $\geq 140\%$	Compact station: 110% Betreedbaar station: 10%	Generiek: 120%
Voorwaarden	Boven de 100% belasting <i>Distributie Automatisering Light</i> (DALI) installeren	LS-metingen installeren Bouwkundige ruimte moet bekend zijn Cyclisch belastingprofiel	Boven de 110% belastingstudie uitvoeren Boven de 120% reden tot afkeuring
Risico's & mitigatie	Risico's: 1. Invalide data 2. Te hoge belasting Mitigatie: 1. Periodieke lokale meting uitvoeren en datakwaliteit op orde brengen 2. Werken met kleuralarmen om tijd te hebben voor vervangingsplannen	Risico's: Te hoge belasting Mitigatie: 1. Boven 100% voorzien van LS-metingen 2. Boven 110% of 120% verzwaring of verschakeling inplannen en uitvoeren	Risico's: Te hoge belasting Mitigatie: 1. Belastingstudie 2. Afkeurlimiet om op tijd te vervangen

TABEL 5-3

Beleid t.a.v. zwaarder belasten RNB's MS/LS transformatoren

en beveiligingsmateriaal die te klein is om te betreden en een betreedbaar station is een grotere wel te betreden variant van een compactstation).

Om dit beleid uit te kunnen voeren gelden er wel wat voorwaarden, zoals dat

- er voor RNB1 een meet- en automatiseringssysteem aanwezig is in het station dat zwaarder belast mag worden,
- er voor RNB2 er een meetsysteem aanwezig moet zijn, de ruimte bekend en er sprake moet zijn van een cyclisch belastingsprofiel, en
- voor RNB3 dat er belastingstudies zijn uitgevoerd alvorens zwaarder te mogen belasten en er nooit boven 120% belast mag worden (dit is dan "afkeur").

De RNBs zien een te hoge belasting ook als risico, en mitigeren dit met studies dan wel met tijdig ingrijpen op basis van de actuele meetgegevens die beschikbaar zijn vanwege de aanwezige meet- en automatiseringssystemen.

5.3.1.3 DNV Analyse

Het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren wordt al toegepast door de RNB's. Hiermee kan de (grotendeels) natuurlijke groei tot zekere hoogte geabsorbeerd worden. Deze oplossing biedt hiermee geen aanvullend potentieel om de congestie te verzachten.

Tabel 5-3 kan de vraag oproepen waarom transformatoren niet zwaarder belast kunnen worden, teneinde de congestieproblematiek te verzachten. Deze vraag lijkt terecht, in analogie met het zwaarder belasten van transformatoren in HS en MS, waar dit inderdaad een oplossing is om meer klanten, versneld aan te kunnen sluiten. Voor LS gaat deze analogie echter niet op, zoals uitgelegd in paragraaf 5.1, en hieronder samengevat:

- In hogere netvlakken is de maximale belastbaarheid geoperationaliseerd, dat wil zeggen dat een hogere belastbaarheid niet wordt toegelaten. Enerzijds worden preventieve maatregelen getroffen om een overschrijding te voorkomen, anderzijds worden bij een overschrijding maatregelen getroffen om schade aan de transformator te voorkomen, zoals het afschakelen van belasting;
- Een belangrijke maatregel op hogere netvlakken is dat een toename van de belasting boven de maximale belastbaarheid wordt vermeden door aanvragen op de wachlijst te plaatsen;
- In LS vindt de belastinggroei voornamelijk plaats achter de meter, waardoor de transformator boven de nominale waarde belast kan gaan worden, als deze niet tijdig vervangen (verzwaard) wordt;
- Als deze overbelasting plaatsvindt, zijn er geen maatregelen beschikbaar in de operationele fase om dit tegen te gaan. De belasting kan dus ook de waarden in de tabel overschrijden;

- Het beleid t.a.v. de maximale belastbaarheid is dus vooral relevant voor het uitvoeren van netverzwaringen (deze vinden pas plaats als de maximale belastbaarheid overschreden dreigt te worden). Vanwege het maakbaarheidsgat zullen er, naar verwachting, meer en meer transformatoren zijn die boven de waarden in de tabel belast gaan worden;
- De enige relevantie van de maximale belastbaarheid in relatie tot congestie, is gerelateerd aan nieuwe KV aansluitingen en verzwaringen van bestaande KV aansluitingen. Deze kunnen vanaf medio 2026 op de wachlijst geplaatst worden. Het verhogen van de maximale belastbaarheid kan in theorie een oplossing zijn om dergelijke aanvragen wel uit te kunnen voeren, maar zal in de praktijk vooral op bovenliggende congestie stuiten. Daarnaast kan een verzwaring van het LS-net uitkomst bieden.

Er kan gesteld worden dat het zwaarder belasten van MS/LS transformatoren vanuit het beleid van de netbeheerders al wordt toegestaan. De huidige toepassing is voornamelijk nog zeer beperkt omdat de vraag naar transportcapaciteit momenteel de aanwezige transportcapaciteit slechts in 2,8% van de locaties overschrijdt. De verwachting is dat deze oplossing in de toekomst meer toegepast gaat worden (5% van de gevallen in 2030, zie Figuur 5-2), mede omdat niet alle benodigde netverzwaringen in LS uitgevoerd kunnen worden vanwege het maakbaarheidsgat.

5.3.2 ZWAARDER BELASTEN LS-KABELS

5.3.2.1 Beschrijving

Het zwaarder belasten van LS-kabels is, vanuit technisch perspectief, niet wezenlijk anders dan het zwaarder belasten van kabels op andere spanningsniveaus. Voor een beschrijving van deze oplossing wordt daarom verwezen naar de corresponderende paragrafen voor hoog- en middenspanning. Hierbij zijn dezelfde verschillen aanwezig als voor MS/LS transformatoren (zie paragraaf 5.3.1).

5.3.2.2 Huidige toepassing

Zoals in paragraaf 5.2 aangegeven is de overbelasting van LS-kabels momenteel zeer beperkt, dit komt voor bij 0,1 tot 0,42% van de LS-kabelgroepen, hierbij zijn overbelastingen tot minimaal 110% acceptabel. Ook richting 2030 blijft de overbelasting van kabels, volgens de RNBs, onder 1% van alle kabelgroepen (rekening houdend met geplande verzwaringen).

De huidige problemen zijn vooral spanning-gerelateerd, voornamelijk veroorzaakt door PV-invoeding. Momenteel wordt bij ca. 5% van de kabels de spanningslimiet overschreden op ten minste één overdrachtspunt. Dit leidt met name tot het afschakelen van PV-omvormers. In 2030 zal de spanningslimiet naar verwachting op 1%, 6% en 10% van de kabelgroepen van de drie RNB's worden overschreden op ten minste één overdrachtspunt.

Het nog zwaarder belasten van kabels:

- Leidt bij opwek vooral tot spanningsproblemen, minder tot capaciteitsproblemen
- Hieraan gerelateerde capaciteitsbeperkingen worden eerder bereikt op transformatorniveau

Vergelijkbaar met MS/LS transformatoren, wordt het zwaarder belasten van LS-kabels momenteel al toegepast door de RNB's, met de nuance dat dit alleen maar gebruikt hoeft te worden als de transportvraag de aanwezige capaciteit overschrijdt. Hetgeen maar op een zeer beperkt aantal locaties het geval is. Dit is enerzijds onderdeel van het beleid, anderzijds (in feite) onvermijdelijk. Hierbij geldt specifiek ten aanzien van het zwaarder belasten van de LS-kabels:

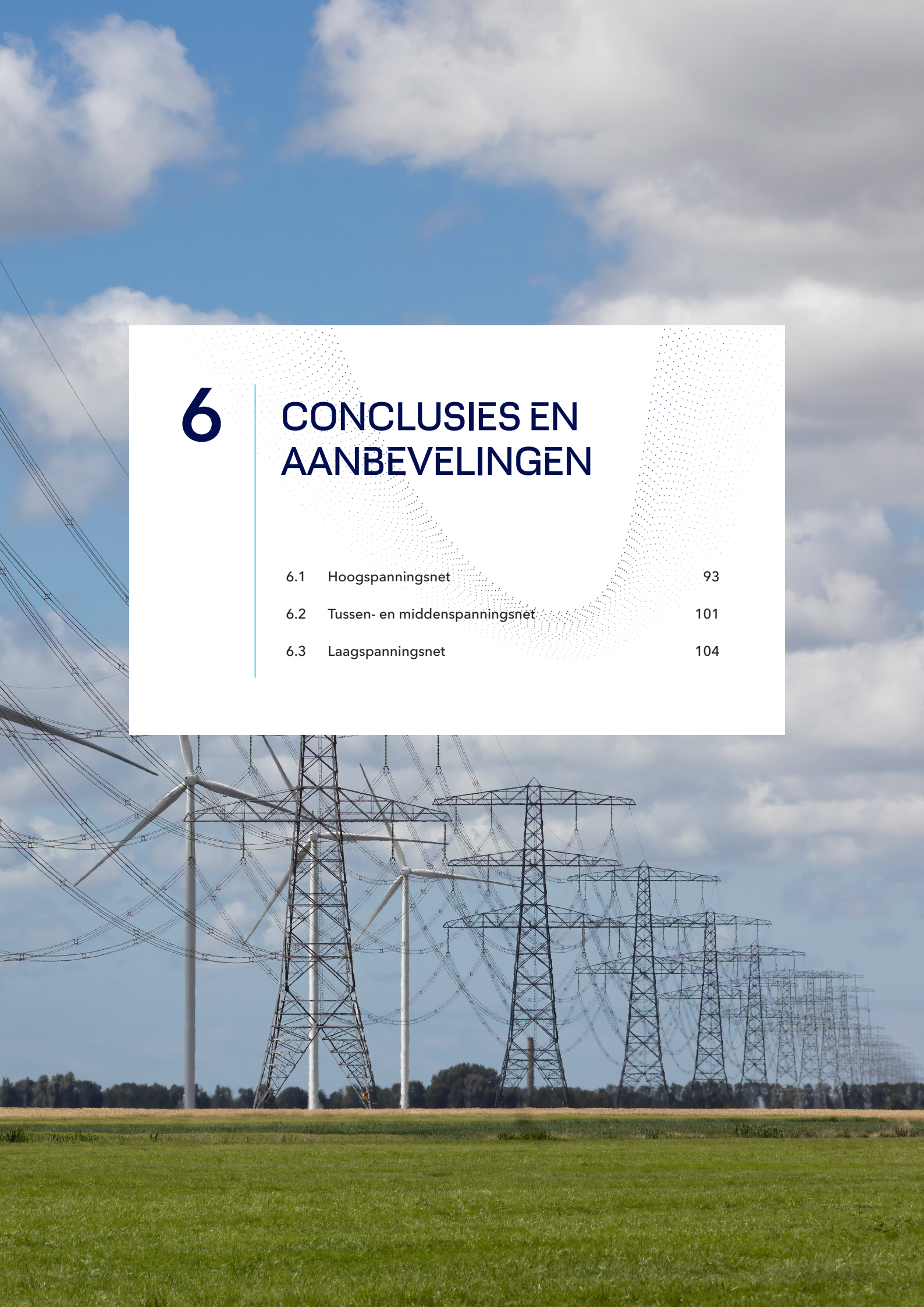
- De afgaande LS richtingen op de laagspannings-verdeelinrichting, ook bekend als het LS-rek, worden beveiligd met zekeringen. De voedende richtingen op het LS-rek worden soms beveiligd met zekeringen. Alle zekeringen zijn ingericht op het snel uitschakelen bij een kortsluiting en tolerant voor hogere belasting dan de nominale capaciteit. Dit biedt mogelijkheden om de LS-kabels zwaarder te belasten.
- De LS-zekeringen moeten passen bij de diameter van de afgaande LS-kabel. Dat kan bijvoorbeeld een 250A zekering zijn bij een 4x150AL kabel.
- De mate van overbelasting van het LS-rek is afhankelijk van het type LS-rek, het aantal en de belasting van de afgaande LS-kabels. Zwaarder belasten kan leiden tot warmteontwikkeling in het rek die ook kan leiden tot rekbranden. Het heeft ook effect op de spanningskwaliteit bij klanten en op aanraakspanningen. Beide aspecten limiteren de mogelijkheden van overbelasten.
- De enige mogelijkheid die resteert is het vervangen van zekeringen met andere karakteristieken. Dit is maar zeer beperkt mogelijk, en wordt al toegepast daar waar relevant en haalbaar, c.q. waar het niet leidt tot (verhoogde) risico's met betrekking tot (aanraak)veiligheid.

5.3.2.3 DNV Analyse

Evenals voor MS/LS transformatoren kan geconcludeerd worden dat het zwaarder belasten van LS-kabels vanuit het beleid van de netbeheerders al wordt toegestaan. De huidige toepassing is voornamelijk zeer beperkt omdat de vraag naar transportcapaciteit momenteel de aanwezige transportcapaciteit niet overschrijdt, behalve bij de huidige spanningsproblematiek gerelateerd aan PV-invoeding. De verwachting is dat deze oplossing in de toekomst meer toegepast gaat worden (tot 6% in 2030, zie Figuur 5-4), mede omdat niet alle benodigde netverzwaringen in LS uitgevoerd kunnen worden vanwege het maakbaarheidsgat.

Met het zwaarder belasten van LS-kabels kan en zal de (grotendeels) natuurlijke groei tot zekere hoogte geabsorbeerd worden. Nieuwe aanvragen worden voornamelijk beperkt door bovenliggende congestie. Deze oplossing biedt hiermee geen *aanvullend* potentieel om de congestie te verzachten.





6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1	Hoogspanningsnet	93
6.2	Tussen- en middenspanningsnet	101
6.3	Laagspanningsnet	104

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Hoogspanningsnet

6.1.1 HUIDIGE BENUTTING VAN HET NET

Uit de analyse van de wijze waarop de netbeheerders de grenzen van het elektriciteitsnet bepalen, en op grond van een data-analyse van congestiegebieden, kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat voor de geanalyseerde congestiegebieden er geen ruimte is om meer klanten in te passen en dat er zelfs veelal aanvullende maatregelen nodig zijn om de betrouwbaarheid van het net te kunnen garanderen. Voor het LNB-net is sprake van een gemiddelde overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit aan het eind van de congestieperiode met 20%, voor de HS/MS onderstations in het RNB-net met 8%. Hierbij bedraagt de gemiddelde huidige benuttingsgraad van het HS-net in congestiegebieden 45-55%.

Wel zijn er grote inherente onzekerheden die de juiste mate van klantinpassing compliceren, zowel in de natuurlijke belastinggroei (groei binnen bestaande transportovereenkomsten), als in de ingebruiknamedatum van netinvesteringen. In dit rapport wordt verklaard hoe de hoge mate van congestie en de momenteel ogenschijnlijk lage benuttingsgraad met elkaar overeenkomen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een beoordeling van de kwaliteit van de prognosemethodieken van de netbeheerders buiten de scope van deze studie valt. Hiervoor heeft EZK het aansluitoffensief traject gestart. Onze bevindingen zijn gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch en betrouwbaar zijn. Ook is niet in detail gekeken op welke wijze de LNB rekening houdt met regelbaar vermogen bij het bepalen van de toekomstige, benodigde transportcapaciteit. Ten slotte kunnen recente wijzigingen in het prioriteringskader van invloed zijn op onze conclusies.



De constatering dat aan het einde van de congestieperiode aanvullende maatregelen nodig zijn, betekent ook dat het potentieel van technische oplossingen deels aangewend zal moeten worden om de natuurlijke groei te absorberen, en dus niet volledig gebruikt kan worden om versneld meer klanten aan te sluiten. Dit maakt de toepassing van deze oplossingen niet minder relevant, maar betekent wel dat het geïdentificeerde potentieel voor beide doeleinden benodigd is. De verhouding zal verschillen per congestiegebied.

6.1.2 ZWAARDER BELASTEN HS

Het zwaarder belasten van het hoogspanningsnet biedt een significant potentieel voor klantinpassing. Een deel van dit potentieel wordt al door de LNB en de RNB's benut om de verwachte belastinggroei tot aan de netuitbreiding te faciliteren. Het resterende potentieel is nog onbenut door diverse technische, organisatorische en wettelijke belemmeringen. Per netvlak en verantwoordelijke netbeheerder(s) is het geschatte potentieel als volgt:

Landelijke netbeheerder - (Extra) Hoogspanningsnet

Naar verwachting zit in het landelijke EHS- en HS-net de potentie om 30% extra capaciteit vrij te maken voor klantinpassing. Dit kan worden gerealiseerd door componenten (voornamelijk lijnen en transformator) lokaal zwaarder te belasten met 10 tot 50% boven hun huidige beschikbare capaciteit. Een deel van dit potentieel (10-15%) is reeds gerealiseerd.

Regionale netbeheerders

In de RNB netten bedraagt de potentie in totaal ongeveer 30%. Een deel van dit potentieel (15%) is reeds gerealiseerd. Het resterende potentieel van het zwaarder belasten voor klantinpassing in de netten van de RNB's is sterk afhankelijk van de congestie op het bovenliggende net. Doordat er congestie is op 80% van het (E)HS-net, is het resterende potentieel van deze oplossing 3%. Zodra bovenliggende congestie wordt opgelost, wordt deze oplossing ook op RNB-niveau zeer relevant. Die is (exclusief bovenliggende congestie) als volgt.

In het HS-net bedraagt het resterende potentieel 15% op RNB niveau (dit betreft HS/MS-transformatoren). Hierbij is er rekening gehouden dat deze oplossing in 80% van de gevallen toegepast kan worden, vergelijkbaar met het LNB HS-net. Dit wordt bereikt doordat, afhankelijk van lokale omstandigheden en technische eigenschappen van transformatoren, deze 10 tot 50% hoger te belasten zijn dan normaal.

Het potentieel van zwaarder belasten wordt al deels door de netbeheerders benut. Hiervoor passen ze een aantal strategieën toe en zijn ze andere aan het (door)ontwikkelen.

De netbeheerders hebben de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar het zwaarder belasten van netcomponenten, hebben hier deels al beleid voor ontwikkeld, en hebben hier al eerste resultaten mee geboekt (extra klanten aan kunnen sluiten). De netbeheerders zorgen met het actualiseren van de Nederlandse Praktijkrichtlijn *voor de belastbaarheid van kabelsystemen en transformatoren* voor meer transparantie in de uitgangspunten ten aanzien van belastbaarheden van hun net.

Internationale benchmarks tonen aan dat toonaangevende netbeheerders in Europa vergelijkbare methoden toepassen om componenten in hun hoogspannings- en middenspanningscomponenten boven de nominale limieten te belasten om ruimte te creëren die (tijdelijk) benut kan worden tijdens N-1-situaties. Deze strategieën leveren deze netbeheerders percentages van zwaarder belasten op die vergelijkbaar zijn met die van de Nederlandse netbeheerders. De programma's en initiatieven van de LNB en de RNB's tot nu toe, en het al benutte potentieel, zijn als volgt:

Landelijke netbeheerder - (Extra) Hoogspanningsnet

- MaxLimit-programma, om de werkelijke belastbaarheid van alle netschakels te bepalen. Tot nu toe is er voor 10% van de schakels een 10 tot 20% capaciteitswinst gerealiseerd.
- In dit programma wordt onder meer gerekend met een verhoogde minimale windsnelheid, die gebaseerd is op waargenomen windsnelheden in Nederland, als uitgangspunt om de capaciteit van componenten te bepalen. Dit potentieel is op 50% van de lijnen vastgesteld, wat lokaal voor tot 15% capaciteitsverhoging van de hele netschakel kan zorgen, door het verkoelende effect van de wind.

Hiermee zijn de componenten nog niet boven hun nominale capaciteit belast. Daar is nog ruimte voor. TenneT heeft de volgende initiatieven gestart.

- Year Rating Curve-model (YRC), waarmee componenten lokaal tot nog eens 30% boven de MaxLimit-waarden belast kunnen worden.
- Ontwikkelen van het Dynamic Transformer Rating-model (DTR) om transformatoren cyclisch tot 20% zwaarder te kunnen belasten.
- Bovendien is ongeveer 50% van de transformatoren van TenneT voorzien van geforceerde koeling. Deze hebben standaard een hogere belastbaarheid dan transformatoren met natuurlijke koeling, hun nominale (100%) waarde is hierop gebaseerd. Door transformatoren met natuurlijke koeling van ventilatoren te voorzien, kunnen deze ook zwaarder belast worden.

Regionale netbeheerders

- Transformatoren in de HS-netten van de RNB's worden al jaren boven hun nominale capaciteit belast. Op dit moment wordt zowel statische als cyclische belasting toegepast, wat lokaal 10 tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit oplevert, verschillend per RNB.
- Eén netbeheerder staat belasting tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit toe, indien mogelijk.
- Dynamische modellen worden (door)ontwikkeld om de impact van het (lokaal) toepassen van hogere belastingwaarden en de haalbaarheid daarvan te kunnen inschatten.

Net als bij TenneT, maakt ongeveer 50% van de RNB-transformatoren (40 tot 70%, afhankelijk van de RNB) gebruik van geforceerde koeling en kan de capaciteit van de rest van de transformatoren potentieel verhoogd worden door het toepassen van ventilatoren.

Zowel de LNB als de RNB's onderzoeken ook de mogelijkheden om dynamisch te kunnen belasten (met gebruik van dezelfde YRC- en DTR-modellen als voor cyclisch belasten). Dit levert echter geen aanvullend potentieel om capaciteit vrij te maken en extra klanten aan te sluiten op het net, en wordt daarom hier verder niet behandeld.

Er ligt nog 15 tot 20% onbenut potentieel dat niet gebruikt wordt doordat er diverse belemmeringen zijn.

De belemmering ten aanzien van de huidige EMC-richtlijnen is daarin cruciaal.

Hoewel netbeheerders al langere tijd zwaarder belasten toepassen, is nog altijd 15 tot 20% van het beschikbare potentieel onbenut. Dit extra vermogen kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het verkorten van wachtrijen voor transportcapaciteit en het versnellen van klantinpassing. In de praktijk blijkt echter dat een reeks belemmeringen, zowel technisch, organisatorisch als regelgevend, ervoor zorgt dat dit potentieel nog niet wordt ontsloten. Daarbij speelt ook mee dat netbeheerders tot op heden beperkt transparant waren over de mate waarin zwaarder belasten al is toegepast en welke knelpunten zij daarbij ervaren. De inzichten in dit rapport geven hier een eerste antwoord op, maar dit is een momentopname; structurele monitoring en rapportage worden geadviseerd.

De belangrijkste rem op brede toepassing van zwaarder belasten is de huidige EMC regelgeving. Bij 60-80% van de TenneT cases is eerst een EMC onderzoek nodig, met doorlooptijden van twee tot zes jaar. Hierdoor is het uitvoeren van maatregelen op schaal vrijwel onmogelijk. Ook bij RNB's is de impact groot: in circa 80% van de gevallen stuiten zwaardere belastingmogelijkheden op bovenliggende congestie, waardoor extra capaciteit in HS/MS netten nog nauwelijks kan worden ingezet voor klantinpassing en de potentie dus maar beperkt wordt benut.

Naast deze structurele belemmeringen zijn er aanvullende beperkingen:

- Ketenbeperkingen door kritieke zwakkere componenten (transformatoren, verbindingen) die de hogere belasting van het geheel verhinderen.
- Gebrek aan uniforme uitgangspunten tussen RNB's, waar verschillende belastbaarheidswaarden worden gehanteerd.
- Organisatorische complexiteit, schaarse expertise en trage IT/OT aanpassingen die implementatie vertragen.
- Beperkingen in vergunningen rond geluidsnormen, al spelen deze slechts in circa 5% van de gevallen en is de impact op het totale potentieel beperkt (~1%).
- Beperkte praktijkervaring met cyclisch (of dynamisch) belasten (YRC, DTR), waarvoor modellen nog verder ontwikkeld en gevalideerd moeten worden.

Zolang deze belemmeringen bestaan, blijft het daadwerkelijke schaalbare potentieel zeer beperkt. Door de congestie op het bovenliggende net kan effectief slechts ~3% van het potentiële extra vermogen voor klantinpassing worden gebruikt.

Het tijdig aanpassen van EMC kaders én het versnellen van de aanpak van de netbeheerders is bepalend om het beschikbare potentieel sneller te ontsluiten.

Om het resterende potentieel daadwerkelijk te benutten, moeten zowel de LNB als de RNB's hun huidige programma's versnellen en verbreden, terwijl zij tegelijkertijd afhankelijk blijven van aanpassingen in randvoorwaarden die zij niet volledig zelf kunnen beïnvloeden. Wat dit betekent voor elke partij:

Landelijke netbeheerder

Voor de LNB betekent dit dat lopende programma's zoals MaxLimit, hogere windsnelheden, Yearly Rating Curves en Dynamic Transformer Rating niet alleen moeten worden voortgezet, maar ook in tempo en schaal vergroot, en dat geforceerde koeling breder toegepast moet worden. Waar ketenbeperkingen worden veroorzaakt door zwakke componenten in verbindingen of transformatoren, zullen deze gericht vervangen moeten worden om hogere belasting van het gehele systeem mogelijk te maken. Dit is een potentieel dat nu nog niet volledig is meegenomen in MaxLimit. Verder kan de risico gebaseerde EMC aanpak op specifieke locaties worden benut om sneller ruimte te creëren, al blijft brede toepassing afhankelijk van aanpassingen die buiten de directe controle van de LNB liggen.

Regionale netbeheerders

Ook voor de RNB's geldt dat zij hun aanpak moeten verbreden. Zij moeten ervoor zorgen dat zij operationeel klaarstaan om zwaarder belasten op grote schaal toe te passen zodra de bovenliggende congestie wordt opgeheven.

Een belangrijk onderdeel daarvan is dat zij de huidige verschillen in belastbaarheidswaarden verkleinen, door harmonisatie naar hogere waarden. Dit vraagt om een minder terughoudende en selectieve benadering, maar dat er breed wordt ingezet op het verruimen van belastinggrenzen waar dit technisch verantwoord is. Daarbij horen ook het verbeteren van thermische modellen, uitbreiding van monitoring en het aanvullen van componentinformatie, zodat hogere belastingen verantwoord en reproduceerbaar kunnen worden toegepast. Net als bij de LNB moeten ook bij de RNB's geforceerde koeling verder uitgerold worden en de ketenbeperkingen worden weggenomen door kritieke componenten te vervangen, omdat deze anders de totale potentie beperken. Geluidseisen en geluiddempende maatregelen kunnen worden herzien op locaties waar zij daadwerkelijk een blokkade vormen voor klantinpassing, al is de totale impact daarvan zeer beperkt.

Wet- en regelgeving

Zowel LNB als RNB's blijven voor het breed kunnen inzetten van zwaarder belasten afhankelijk van noodzakelijke aanpassingen in de regels en procedures die de toepassing nu vertragen. De huidige EMC kaders zorgen voor langdurige, casuïstische trajecten en beperken het schaalbaar toepassen van maatregelen. Snellere en meer risico-gebaseerde besluitvorming is noodzakelijk om de beoogde versnelling mogelijk te maken.

Ook vergunningprocedures voor technische maatregelen en de evaluatiekaders die verschillende betrokken stakeholders hanteren moeten worden aangepast, zodat netbeheerders niet gehinderd worden door doorlooptijden die niet in verhouding staan tot de urgentie van de congestieproblematiek. Pas wanneer deze randvoorwaarden zijn aangepast, kunnen LNB en RNB's de opgeschaalde technische oplossingen breed toepassen en het volledige potentieel van zwaarder belasten benutten.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
8	Netbeheerders dienen hun programma's ten aanzien van zwaarder belasten te versnellen, eventueel ten koste van andere initiatieven met een lager potentieel. Omdat hiervoor de inzet van schaarse expertise benodigd is, dient dit onderdeel te zijn van de "open dialoog", alsmede het aansluitoffensief.	- Eerdere benutting van het beschikbare potentieel door LNB - RNBs kunnen dit toepassen zodra bovenliggende congestie opgeheven is	- TenneT - Regionale netbeheerders	2026
9	Netbeheerders dienen transparantie te bieden over mogelijkheden en onmogelijkheden ten aanzien van het zwaarder belasten van netschakel(s)/onderstations via het congestieonderzoek of vooraankondiging - dit betreft bijv. statisch/cyclisch belasten, vervangen kritische componenten, extra koeling. In de toekomst mogelijk ook de inzet van de enkelvoudige storingsreserve.	- Verhoogt zichtbaarheid op successen die netbeheerders hiermee boeken - De ACM krijgt beter zicht in welke gevallen limiet-bepalende componenten niet vervangen worden - EZK/de ACM en andere belanghebbenden krijgen beter zicht welke toepassing/oplossing verhindert wordt door (lange) vergunnings-trajecten (of andere barrières), en kan hierin optreden.	- TenneT - Regionale netbeheerders	Per direct
10	Netbeheerders dienen meer transparantie over de veronderstelde IBN-datum netinvestering op de nemen in het congestieonderzoek, met name over de impact op de mate van klantinpassing.	ACM kan een betere afweging maken tussen de hieraan gerelateerde risico's (minder klanten aansluiten vs. dure oplossingen om N-1 te kunnen garanderen).	- TenneT - Regionale netbeheerders	Per direct

Het beleid moet gericht zijn op het versnellen van deze ontwikkelingen, gekoppeld aan een aangepaste risicoafweging

Zonder aanpassing van de EMC kaders blijven onderzoeken en vergunningstrajecten twee tot zes jaar duren, waardoor de brede uitvoering traag blijft, waardoor het beschikbare potentieel voorlopig nauwelijks benut kan worden. Wanneer de EMC belemmeringen wel worden weggenomen en bovenliggende congestie tijdig wordt opgelost, kan een eerste deel van de maatregelen al binnen één jaar worden toegepast. In dat versnelde tempo kunnen de belangrijkste programma's vervolgens binnen één tot drie jaar breder

worden uitgerold. Hierdoor worden zichtbare effecten begin 2027 haalbaar en komt benutting van het volledige resterende potentieel binnen handbereik.

Met de vaststelling dat alle mogelijke opties voor zwaarder belasten worden onderzocht en voorbereid door de netbeheerders, dient het beleid gericht te zijn op het versnellen van de implementatie hiervan. De onderstaande aanbevelingen zijn hierop gericht. Een aangepaste risicoafweging maakt hier ook deel van uit (bijv. zwaarder belasten als niet alle benodigde informatie beschikbaar is), deze komt terug in aanbeveling #2.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
1	EMC vergunningstraject, benodigd bij zwaarder belasten hoogspanningslijnen en -kabels, dient versneld en vereenvoudigd te worden	- Versneld vergunningstraject waardoor klanten sneller ingepast kunnen worden, ofwel - Mogelijkheid om klanten al in te passen (o.b.v. quick scan), in afwachting van de uitkomst van het vergunningstraject.	- Overheid (EZK/ VRO/lenW) - Regiefunctie bij EZK	6 maanden – 2 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing
12	Vergunningstrajecten t.a.v. geluidsnormen dienen versneld of vereenvoudigd te worden	Versneld aanvragen van nieuwe milieucategorie inclusief geluidsrapport.	- Overheid (EZK/ VRO/ lenW/ VNG) - Regiefunctie bij EZK	6 maanden – 2 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing

6.1.3 GEBRUIK STORINGSRESERVE

Technisch gezien heeft deze oplossing een enorm potentieel, deze is vergelijkbaar met het potentieel van de vluchtstrook bij invoeding, welke ca. 30% additionele transportcapaciteit oplevert¹⁵. Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van enerzijds klantparticipatie en anderzijds risicobereidheid. Een initiële inschatting van het realistisch potentieel bedraagt 10%.

Ten opzichte van invoeding zijn er echter wel grotere belemmeringen, omdat het veel lastiger is om afname te beperken in geval van een storing (of evt. bij gepland onderhoud). Er zijn in grote lijnen twee varianten denkbaar:

- 1. Curatieve N-1 oplossing:** Hierbij worden er contracten met eindgebruikers (grootverbruikers) afgesloten, waarvan het gebruik gereduceerd kan worden indien er een storing optreedt, en eventueel tijdens onderhoud. Hiermee blijft de betrouwbaarheid van het net intact. De schaalbaarheid is echter zeer afhankelijk van de vraag hoeveel grootverbruikers interesse hebben in een dergelijke afspraak.

- 2. Het accepteren van een lagere betrouwbaarheid** van het net. Dit betreft een tijdelijke acceptatie (gedurende de congestieperiode) op specifieke locaties (afname congestiegebieden). De inzet van de enkelvoudige storingsreserve, ten behoeve van het versneld aansluiten van klanten, zonder aanvullende maatregelen, betekent in de praktijk dat dit in uitzonderlijke omstandigheden, tot uitval kan leiden. Hierbij bestaat ook nog de mogelijkheid, als bijvoorbeeld een storing in een transformator optreedt, om de andere transformator(en) tijdelijk zwaarder te belasten.

De kans dat een storing tot uitval leidt is daarmee klein. Maar wanneer de vluchtstrook op veel locaties wordt ingezet (zonder aanvullende maatregelen zoals curatief N-1), zal de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet lager worden. Ook kunnen aanvullende maatregelen worden getroffen om de impact van een storing te verkleinen, zoals het toepassen van dynamisch zwaarder belasten en het versneld herstellen van storingen. Dit laatste vergt echter grote organisatorisch inspanningen en aanpassingen bij de netbeheerders.

¹⁵ Bron: <https://www.tennet.eu/nl/vluchtstrook-van-het-hoogspanningsnet>

Behoudens enkele uitzonderingen, wordt deze oplossing momenteel nog niet toegepast.

LNB TenneT is momenteel een pilot voor het curatieve N-1 concept aan het uitvoeren met een industriële gebruiker. Ook zijn er enkele voorbeelden van RNB's die dergelijke afspraken met datacenters hebben gemaakt.

Momenteel geldt een verplichting voor het hanteren van een enkelvoudige storingsreserve op hoogspanning (de "vluchtstrook"). Voor TenneT geldt deze verplichting ook tijdens onderhoudssituaties (waarbij vrijstellingen van kracht zijn) en voor de RNB alleen tijdens normale bedrijfsvoering (op hoofdverdeelstations moet ook tijdens onderhoud redundantie aanwezig moet zijn waarbij wordt toegestaan dat er 200MW voor een periode van 6 uur mag uitvallen). Dit betekent dat voor afnamecongestie, de enkelvoudige storingsreserve niet gebruikt wordt om meer klanten aan te sluiten, behalve in enkele situaties waarvoor een ontheffing is aangevraagd en verleend.

Binnen de huidige beleidskaders kunnen de netbeheerders meer initiatief tonen

Ondanks de afhankelijkheid van beleidswijzigingen, zien we vooral een gebrek aan initiatief rond het curatieve N-1 concept. Gezien de beperking van de bovenliggende congestie voor RNBs, is hier vooral de LNB aan zet. Aangezien dit concept in andere landen zoals België al wordt toegepast, lijkt een snelle introductie binnen 2-3 jaar, haalbaar. Dit kan gekoppeld worden aan de individuele top-50 flexafspraken die binnen het *Aansluitoffensief* opgesteld gaan worden:

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
4	1. Ontwikkel de curatieve N-1 propositie met hoge prioriteit. 2. Voer hiervoor benodigde pilots uit, parallel aan 1,3,4 3. Adresseer technische vraagstukken 4. Bepaal of dit middels een (variant op de) CBC/CSC ingevuld kan worden, of een wetwijziging behoeft (Energiebesluit).	Een curatieve propositie die voldoende interessant is voor (bestaande) industrieën die snel tot zeer snel afschakelbaar zijn. Propositie die snel schaalbaar is Propositie die onafhankelijk is van de exacte locatie binnen de nettopologie Eventuele regulatorische barrières zijn opgeheven	1. Landelijk actieprogramma netcongestie 2. TenneT en RNB's 3. TenneT en RNB's 4. EZK en de ACM	2-3 jaar

Het beleid moet gericht zijn op benodigde wetswijzigingen en de risicobereidheid

Om het curatieve N-1 concept op grote schaal mogelijk te maken en de enkelvoudige storingsreserve deels te kunnen gebruiken om meer klanten aan te sluiten, zijn wetswijzigingen nodig. Daarnaast zal voor het tweede gebruik van de enkelvoudige storingsreserve de risicobereidheid aangepast dienen te worden.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
2	Bepaal in een open dialoog met netbeheerders een herijking tussen het versneld aansluiten van klanten en de betrouwbaarheid van het net. Hierbij dienen ook de geassocieerde kosten en de druk op de netbeheerders beschouwd te worden. Bij voorkeur is dit onderdeel van de doorbraakaanpak, waarbij het risico deels overgeheveld kan worden naar EZK (bijv. via een storingsfonds).	- Netbeheerders maken ook daadwerkelijk gebruik van maatregel 3, op een maatschappelijk geaccepteerde en optimale wijze. - TenneT kan een lagere betrouwbaarheid van het eigen net, of hogere kosten accepteren t.b.v. het versneld aansluiten van klanten op het distributienet.	EZK	6 maanden
3	Maak de verplichting van enkelvoudige storingsreserve in de planningsfase tijdsafhankelijk (bijv. 99% van de tijd, waarde afhankelijk van netvlak). Hiertoe dient het Energiebesluit aangepast te worden. Indien nodig kunnen ook hersteltijden opgerekt worden.	- Netbeheerders krijgen de vrijheid om een andere afweging te maken tussen het versneld aansluiten van klanten en hoge betrouwbaarheid - Maatregel is generiek, waarbij netbeheerders de vrijheid houden om rekening te houden met specifieke condities in congestiegebieden	- EZK (wijziging Energiebesluit) - NB-NL (voorstel percentage per netvlak/spanningsniveau of anderszins, alsmede hersteltijden)	2 jaar
5	Onderzoek de mogelijkheid om bepaalde afname-klantgroepen alleen een vluchtstrook aansluiting aan te bieden in congestiegebieden, tijdens congestieperiodes.	Specifieke doelgroepen, bijv. elektrolyzers en datacenters, nemen hiermee geen transportcapaciteit in.	ACM	6 maanden

Indien de vastgestelde belemmeringen niet versneld weggenomen worden, zal het (op grote schaal) toepassen van deze technische oplossingen meerdere jaren vergen en niet snel, op grote schaal, tot het versneld aansluiten van klanten leiden. Echter, aangezien het aansluiten van extra klanten in de meeste gevallen niet direct leidt tot betrouwbaarheidsissues (congestie treedt met name op tegen het einde van de congestieperiode), kan er ook voor gekozen worden om op korte termijn al extra klanten aan te sluiten, anticiperend op het in de toekomst toe kunnen passen van deze oplossingen. Deze optie zou onderdeel moeten zijn van de open dialoog die we in aanbeveling #2 hebben vermeld.

6.1.4 LNB-RNB SAMENWERKING

Een nauwere samenwerking tussen LNB en RNB is een belangrijke voorwaarde om versneld meer klanten aan te kunnen sluiten.

Hierbij richt dit onderzoek zich op de thema's verlengde vluchtstrook, gezamenlijke congestie onderzoeken en uitwissellimieten.

De netbeheerders zijn de samenwerking aan het intensiveren

- Een eerste onderzoek door TenneT en een RNB ten aanzien van de verlengde vluchtstrook is inmiddels gestart.
- De netbeheerders voeren inmiddels gezamenlijk congestie onderzoeken uit, maar dit wordt met name toegepast voor regio's waar structurele overbelasting van het regionale stroomnet dreigt, en is dus vooral gericht op het vermijden van grootschalige uitval.
- Momenteel wordt met statische uitwissellimieten gewerkt. Een van de consequenties hiervan is dat bij iedere klantinpassing door de RNB, TenneT nieuwe berekeningen moet uitvoeren. Dit leidt tot vertraging van het proces. Momenteel voeren de netbeheerders een gezamenlijk onderzoek uit naar dynamische transferlimieten om hier verbetering in aan brengen.

Binnen de huidige beleidskaders kunnen de netbeheerders de samenwerking verder versterken

- Om het potentieel van curatief N-1 te vergroten, is het aan te bevelen de verlengde vluchtstrook met prioriteit nader te onderzoeken en te testen.
- Gezamenlijke congestie onderzoeken worden nog niet toegepast voor het versneld aansluiten van klanten. Dat wil zeggen in regio's waar weliswaar congestie is afgeroepen, maar er nog geen risico op grootschalige uitval voorzien is. Gezien de noodzaak voor (en succes van) veel nauwere samenwerking, verdient dit aanbeveling.

Aanbevelingen

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
6	Gezamenlijk onderzoek, zoals nu voor de FGU-regio plaats vindt, dient voor alle regio's plaats te vinden, waar congestie op LNB-niveau leidt tot wachtrijen op het distributienet. Dit betreft zowel samenwerking bij het opstellen van prognoses, als bij mogelijke klantinpassing.	• Veel nauwere samenwerking tussen LNB en RNB. Niet ad-hoc maar gestructureerd om in alle congestiegebieden gezamenlijk alle mogelijkheden voor het versneld inpassen van klanten te onderzoeken. • Eventueel te ruime marges op LNB-niveau wegnemen.	• TenneT • Regionale netbeheerders	Per direct
7	Onderzoek de mogelijkheid om RNB's en aangeslotenen op het distributienet (deels/tijdelijk) aan te sluiten op de enkelvoudige storingsreserve van TenneT.	• Meer ruimte op koppelpunten voor RNB's, waarmee zij meer capaciteit (via geschikte producten) aan kunnen bieden aan hun klanten. • Breder gebruik van het N-1 curatief concept, met name als er (op bepaalde locaties) onvoldoende mogelijkheden zijn vanuit klanten die rechtstreeks op transportnet zijn aangesloten.	• TenneT • Regionale netbeheerders (met koppelpunten op transportnet)	1 jaar

Er is daarmee geen noodzaak voor een aanpassing van de beleidskaders ten aanzien van LNB-RNB samenwerking.

6.2 Tussen- en middenspanningsnet

6.2.1 HUIDIGE BENUTTING VAN HET NET

Uit de analyse van de wijze waarop de netbeheerders de grenzen van het elektriciteitsnet bepalen, en op grond van een data-analyse van congestiegebieden, kunnen we concluderen dat het aannemelijk is dat voor de geanalyseerde congestiegebieden er geen ruimte is om meer klanten in te passen en dat er zelfs veelal aanvullende maatregelen nodig zijn om de betrouwbaarheid van het net te kunnen garanderen tegen het eind van de congestieperiode. Voor het TS- en MS-net is sprake van een gemiddelde overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit aan het eind van de congestieperiode met 11% (MS-transformatoren) en 17% (MS-kabels). Hierbij bedraagt de gemiddelde huidige benuttingsgraad in congestiegebieden 45-55%.

Wel zijn er grote inherente onzekerheden zowel in de natuurlijke belastinggroei (groei binnen bestaande transportovereenkomsten) als in de ingebruiknamedatum van netinvesteringen. Dit compliceert een correcte inschatting van de juiste mate van klantinpassing. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een beoordeling van de kwaliteit van de prognosemethodieken van de netbeheerders buiten scope van deze studie is. Hiervoor heeft EZK het aansluitoffensief traject gestart. Onze bevindingen zijn gebaseerd op de assumptie dat de prognoses realistisch en betrouwbaar zijn. Ten slotte kunnen recente wijzigingen in het prioriteringskader van invloed zijn op onze conclusies.

Het inzicht in de actuele belasting is in het MS-net beperkt doordat van een aanzienlijk deel van de netcomponenten geen metingen beschikbaar zijn of de frequentie van de meetwaarden zeer beperkt is. De belasting in deze delen van het MS-net wordt bepaald door gebruik te maken van modellen, die de belasting berekenen. Een beter inzicht verbetert de bepaling van de belastbaarheid. Alle RNB's werken op dit moment aan verbeterde monitoring van het MS-net richting 2030.

6.2.2 ZWAARDER BELASTEN

In het TS en MS-net bedraagt het resterende potentieel 15% - 20%. Hierbij is rekening gehouden dat zwaarder belasten in 20% en 70% (voor transformatoren en kabels, respectievelijk) van de gevallen toegepast kan worden. Voor TS/MS- en MS/MS-transformatoren zijn de mogelijkheden voor zwaarder belasten vergelijkbaar met die van de HS/MS-transformatoren en kunnen deze onder dezelfde voorwaarden 10% tot 50% boven hun nominale vermogen worden belast. Dit is echter maar in 10% van de congestiegebieden toepasbaar, wat voornamelijk door de grootte van de populatie komt. Voor kabels is het potentieel groter (32%). Deze kunnen namelijk tot circa 45% boven hun nominale waarde belast worden, in maximaal 70% van de gevallen. Het potentieel van het kabelnet is het meest bepalend voor de te benutten capaciteit van het TS- en MS-net.

- Transformatoren in de HS-, TS- en MS-netten van de RNB's worden al jaren boven hun nominale capaciteit belast. Op dit moment wordt zowel statische als dynamische belasting toegepast, wat lokaal 10% tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit oplevert, verschillend per RNB. De impact van het hoger belasten van TS/MS- en MS/MS-transformatoren is beperkt, aangezien deze in minder aantallen aanwezig zijn.
- Één netbeheerder staat belasting tot 30% van de nominale transformatorcapaciteit toe, indien mogelijk.
- Op dit moment passen alle RNB's (een combinatie van) statisch en cyclisch zwaarder belasten van MS-kabels toe.
- Dynamische modellen worden (door)ontwikkeld om de impact van het (lokaal) toepassen van hogere belastingwaarden en de haalbaarheid daarvan te kunnen inschatten.

Net als bij TenneT, maakt ongeveer 50% van de RNB-transformatoren (40 tot 70%, afhankelijk van de RNB) gebruik van geforceerde koeling en kan de capaciteit van de rest van de transformatoren potentieel verhoogd worden door het toepassen van ventilatoren.

Voor benutting van het potentieel gelden dezelfde afwegingen en maatregelen genoemd voor het HS-net. Waarbij de nadruk ligt op doorzetten van de huidige strategieën, op harmonisatie om door een bredere, minder selectieve aanpak hogere belastinglimieten te bereiken, en op het versnellen.

Ook voor benutten van het potentieel in het TS- en MS-net is het oplossen van bovenliggende congestie cruciaal. Bij de huidige bovenliggende congestie bedraagt het realiseerbare potentieel slechts 3%.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
8	Netbeheerders dienen hun programma's ten aanzien van zwaarder belasten te versnellen, eventueel ten koste van andere initiatieven met een lager potentieel. Omdat hiervoor de inzet van schaarse expertise benodigd is, dient dit onderdeel te zijn van de "open dialoog", alsmede het aansluitoffensief.	RNBs kunnen dit toepassen zodra bovenliggende congestie opgeheven is	Regionale netbeheerders	2026

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
12	Vergunningstrajecten ten aanzien van geluidsnormen dienen versneld of vereenvoudigd te worden (lage prioriteit vanwege de beperkte impact)	Versneld aanvragen van nieuwe milieucategorie inclusief geluidsrapport	- Overheid (EZK/VRO/IenW/VNG) - Regiefunctie bij EZK	6 maanden - 2 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
11	Verder harmoniseren van beleid ten aanzien van zwaarder belasten van MS-netcomponenten	Meer ruimte creëren in netten waar netbeheerders conservatievere belastbaarheidswaardes hanteren	Regionale netbeheerders	1 jaar

6.2.3 GEBRUIK STORINGSRESERVE

Technisch gezien heeft deze oplossing een enorm potentieel. Deze is vergelijkbaar met het potentieel van de vluchtstrook bij invoeding, welke circa 30% additionele transportcapaciteit oplevert. Het realistisch potentieel is sterk afhankelijk van enerzijds klantparticipatie, anderzijds risicobereidheid. Een initiële inschatting van het realistisch potentieel bedraagt 10%.

Dit potentieel zal voornamelijk middels de tweede variant (accepteren lagere betrouwbaarheid) bereikt worden, aangezien de Curatieve N-1 oplossing waarschijnlijk minder interessant is voor eindklanten.

1. Curatieve N-1 oplossing: Indien bestaande klanten van deze oplossing gebruik zouden maken, zal dit direct extra transportcapaciteit opleveren die aan klanten in de wachtrij aangeboden kan worden. RNB's hebben hier echter nog geen geschikt product voor ontwikkeld. Het huidige aanbod kent geen additionele vergoeding of compensatie, waardoor deze alleen interessant is voor klanten in de wachtrij die anders niet aangesloten kunnen worden. Een beperkende factor is dat de aansluiting op de vluchtstrook tijdens normale bedrijfsvoering niet tot fysieke congestie (incl. spanningsproblemen) mag leiden.

Ook zijn de mogelijkheden beperkt om op afstand af te schakelen. Ten slotte kan een dergelijke klant mogelijk lang afgeschakeld worden, na het optreden van een storing of tijdens onderhoud.

2. Het accepteren van een lagere betrouwbaarheid van het net. Dit betreft een tijdelijke acceptatie (gedurende de congestieperiode) op specifieke locaties (afname congestiegebieden). De inzet van de enkelvoudige storingsreserve, t.b.v. het versneld aansluiten van klanten, zonder aanvullende maatregelen, betekent in de praktijk dat een storing in zeer specifieke situaties tot uitval kan leiden. Als deze kans klein genoeg is, lijkt deze aanvaardbaar t.b.v. van het aansluiten van meer klanten. De uitdaging zit voornamelijk in: (1) de storing moet snel genoeg verholpen kunnen worden, om de impact te minimaliseren en (2) gepland onderhoud en netverzwaringen moeten wel mogelijk blijven. Als de risico's op uitval te groot worden ingeschat, of noodzakelijk onderhoud onmogelijk wordt, kunnen alternatieve oplossingen alsnog overwogen worden, zoals het plaatsen van mobiele batterijen. Hierbij is het raadzaam om monitoringsapparatuur te installeren, indien nog niet aanwezig.

Behalve enkele uitzonderingen, wordt deze oplossing momenteel nog niet toegepast.

In MS geldt geen expliciete verplichting vanuit wet- en regelgeving voor het hanteren van een enkelvoudige storingsreserve. De inzet hiervan stuit dus niet op regulatorische barrières. De schaalbaarheid/toepasbaarheid is vooralsnog zeer beperkt gezien bovenliggende congestie. Dit laatste kan alleen overwonnen worden door toepassing van de “verlengde vluchtstrook” (zie paragraaf 3.3.3). De curatieve N-1 oplossing wordt op kleine schaal toegepast, alleen voor klanten op de wachtlijst. Overigens wordt de enkelvoudige storingsreserve in een deel van de congestiegebieden, tijdens piekbelasting, al ingezet voor het absorberen van de natuurlijk groei. Maar nog niet structureel om meer klanten aan te sluiten.

Binnen de huidige beleidskaders zal het resterende potentieel niet gerealiseerd worden.

Het curatieve N-1 concept heeft een groter potentieel op LNB-niveau. Bij de ontwikkeling van dit concept zal daar de nadruk op moeten liggen, waarbij het nuttig is dit concept ook geschikt op MS-niveau te maken.

Voor het accepteren van een lagere betrouwbaarheid, zijn grote organisatorische inspanningen en aanpassingen bij de netbeheerders benodigd. Zoals het installeren van monitoringsapparatuur, het monitoren van de belasting, opschalen van storingsdienst en het aanpassen van noodplannen. We zien daarmee vooral terughoudendheid bij de RNB's om deze oplossing toe te passen voor het versneld aansluiten van klanten, aangezien deze oplossing al wel wordt toegepast om autonome groei te kunnen absorberen.

Om het potentieel te realiseren, dient het beleid gericht te worden op risicobereidheid

Om de enkelvoudige storingsreserve deels te kunnen gebruiken om meer klanten aan te sluiten, zal de risicobereidheid aangepast dienen te worden. Evenals voor HS, is dit een maatschappelijk vraagstuk. Deze discussie dient op korte termijn gestart te worden, zodat de RNB voorbereidingen kan treffen om dit toe te kunnen passen zodra bovenliggende congestie opgeheven is.

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
2	Bepaal in een open dialoog met netbeheerders een herijking tussen het versneld aansluiten van klanten en de betrouwbaarheid van het net. Hierbij dienen ook de geassocieerde kosten en de druk op netbeheerders beschouwd te worden. Bij voorkeur is dit onderdeel van het aansluitoffensief, waarbij het risico deels overgeheveld kan worden naar EZK (bijv. via een storingsfonds).	Netbeheerders zijn bereid, in staat en gefaciliteerd om op basis van een ander risicoprofiel, meer klanten aan te sluiten.	EZK	6 maanden

6.3 Laagspanningsnet

Op basis van de input van de netbeheerders concluderen we dat er dringend behoefte is aan oplossingen in het LS-net, omdat verzwaren stuit op beperkingen in uitvoercapaciteit (de zogenaamde maakbaarheid bedraagt slechts 68% per 2030), en de groei momenteel niet (of nauwelijks) beteugeld kan worden. In 2030 kent ca. 5% van de HS/MS transformatoren een piekbelasting van gemiddeld 145% ten opzichte van de nominale capaciteit. Dit kan vanaf 2030 tot grootschalige uitval gaan leiden.

In deze studie is vastgesteld dat er geen technische oplossingen zijn in laagspanning waarmee de congestieproblematiek verder verzacht kan worden.

- Zwaarder belasten van netwerkcomponenten word reeds toegepast. Er is geen potentieel om nog zwaarder te belasten.
- In laagspanning is geen storingsreserve aanwezig, er is daarom geen potentieel deze te benutten.
- Andere oplossingen (compoundering en monitoring) worden reeds toegepast, of hebben onvoldoende potentieel.

Dit leidt tot de conclusie dat oplossingen in het markt/klantdomein noodzakelijk zijn om de congestieproblematiek het hoofd te bieden. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Bredere acceptatie/stimulering van dynamische leveringscontracten (deze leiden in het algemeen tot net-vriendelijk gedrag)
- Nieuwe methodiek voor KV-nettarieven, met stimulering van net-vriendelijke gedrag
- Congestie management in laagspanning
- Andere manieren om flexibele technologieën aan te sturen

De analyse van deze marktoplossingen valt buiten de scope van deze studie.

Nota bene: Indien vandaag besloten wordt om per 2030 de KV-tariefmethodiek aan te passen, kunnen op basis hiervan de prognoses vanaf 2030 aangepast worden, en zal dit tot meer ruimte leiden aan het einde van de congestieperiode. Hierdoor kan per direct begonnen worden met het aansluiten van klanten in de wachtrij (incl. klanten op HS- en MS-netten), dit hoeft dus niet te wachten tot het moment dat de nieuwe tariefmethodiek van kracht is. Dus ook lange-termijn wijzingen hebben de potentie om per direct tot resultaat te leiden. Hiervoor is alleen snelle besluitvorming noodzakelijk. Dit betekent overigens wel dat het beleid consistent moet zijn, want als een dergelijke beslissing op later tijdstip teruggedraaid wordt, zijn de gevolgen mogelijk niet te overzien.

6.3.1 AANBEVELINGEN TEN AANZIEN VAN BELEID

De voornaamste aanbevelingen zijn daarmee:

ID	BELEIDSAANBEVELING	BEOOGD RESULTAAT	EIGENAAR	TIJDSLIJN
13	Netbeheerders/EZK moeten meer haast maken met het doorvoeren van markt-/klantoplossingen in laagspanning.	• Voldoende prikkels voor consumenten ten aanzien van net-vriendelijk gedrag • Minimaliseren van impact flexibele technologieën op piekbelasting	• EZK • Netbeheerders	6 maanden - 3 jaar, afhankelijk van gekozen oplossing
14	Onderzoeken prognosemethodiek, met name een voorschot nemen op de impact van toekomstige beleidswijzigingen (bijv. afschaffen saldering, invoering nieuwe KV-tariefmethodiek, etc.). Daarnaast kan de methodiek verder geharmoniseerd worden tussen RNB's.	Verlaagde geprognostiseerde piekbelasting (t.o.v. huidige prognoses), waardoor er ruimte ontstaat voor inpassen klanten op hogere netvlakken.	Netbeheerders	6 maanden

APPENDIX A - Overige technische oplossingen

Een aantal andere technische oplossingen is in deze studie onderzocht. Hiervan is gebleken dat deze ofwel niet geschikt zijn om toe te passen op hoogspanning, ofwel al volledig benut worden. Een korte toelichting op deze overige oplossingen is opgenomen in deze sectie.

Overige HS-oplossingen

GEAVANCEERDE STROOMSTURING

Eén van de mechanismen die de netbeheerders hebben om de aanwezige capaciteit in het net optimaal te benutten, is om het stroomverloop in het net actief te beheren. Gecombineerd gebruik van dwarsregeltransformatoren (in Engels: Phase Shifting Transformers oftewel PST's) en hoogspanning gelijkstroomsystemen (HVDC) stelt netbeheerders in staat om de stroomrichting in het EHS-net te beïnvloeden, waardoor de flexibiliteit en capaciteit toenemen zonder dat er grote uitbreidingen van de infrastructuur nodig zijn. Dit gebeurt meestal door de impedantie of het spanningsprofiel van het elektriciteitsnet aan te passen, wat gerealiseerd kan worden met gebruik van regelbare componenten zoals de PST's en de HVDC-systemen.

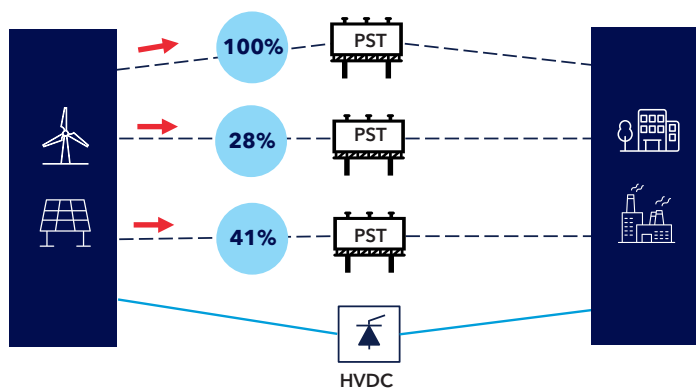
PST's kunnen vergeleken worden met slimme navigatie. De auto's veranderen hun route afhankelijk van de drukte, zodat het verkeer gelijkmatiger over alle beschikbare wegen verdeeld wordt. PST's worden meestal geïnstalleerd op landsgrenzen, zoals tussen Nederland en België of Nederland en Duitsland. Ze werken door de fasehoek van de spanning te veranderen, waardoor stroom wordt omgeleid naar andere lijnen. Dit helpt om de belasting te balanceren zonder de hoeveelheid opgewekte of verbruikte elektriciteit te veranderen.

Bestaande PST's kunnen ook binnen een land worden ingezet om congestie te beheren en de netcapaciteit te vergroten.

HVDC-systemen kunnen vergeleken worden met hogesnelheidstreinen, die rechtstreeks van de ene stad naar de andere stad rijden zonder tussenstops. Ze zijn sneller, efficiënter en kunnen veel passagiers (elektriciteit) over lange afstanden vervoeren. HVDC-systemen transporteren elektriciteit als gelijkstroom en bieden verschillende voordelen ten opzichte van elektrisch transport op basis van traditionele wisselstroomsystemen. Denk aan lagere energieverliezen over lange afstanden, hogere capaciteit en de mogelijkheid om verschillende soorten AC-netwerken met elkaar te verbinden.

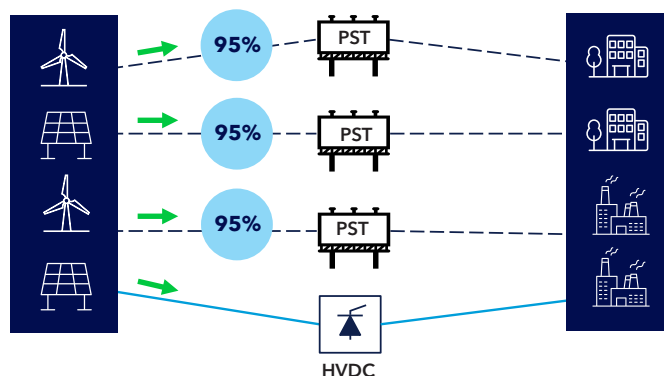
HVDC-links geven netbeheerders nauwkeurige controle over hoeveel elektriciteit, die wordt getransporteerd.

Figuur A - 1 en Figuur A - 2 illustreren hoe geavanceerde stroomsturing de efficiëntie van het elektriciteitsnet verbetert door stroom te herverdelen van overbelaste circuits naar onderbenutte circuits. Figuur A - 1 en Figuur A - 2 illustreren hoe geavanceerde stroomsturing de efficiëntie van het elektriciteitsnet verbetert door stroom te herverdelen van overbelaste circuits naar onderbenutte circuits. Stel je een slim verkeerscontrolecentrum voor dat zowel snelwegen als hogesnelheidstreinen beheert: het gebruik van PST's om auto's om te leiden en HVDC om mensen een snelle treinverbinding als alternatief te bieden. Zoals te zien is in Figuur A - 1, vóór toepassing van geavanceerde stroomsturing is de stroomverdeling ongelijk: één transmissiecircuit draagt 100% van de belasting (nominale capaciteit), terwijl de andere slechts 28% en 41% dragen (onderbenut).



FIGUUR A-1

Zonder geavanceerde stroomsturing



FIGUUR A-2

Met geavanceerde stroomsturing

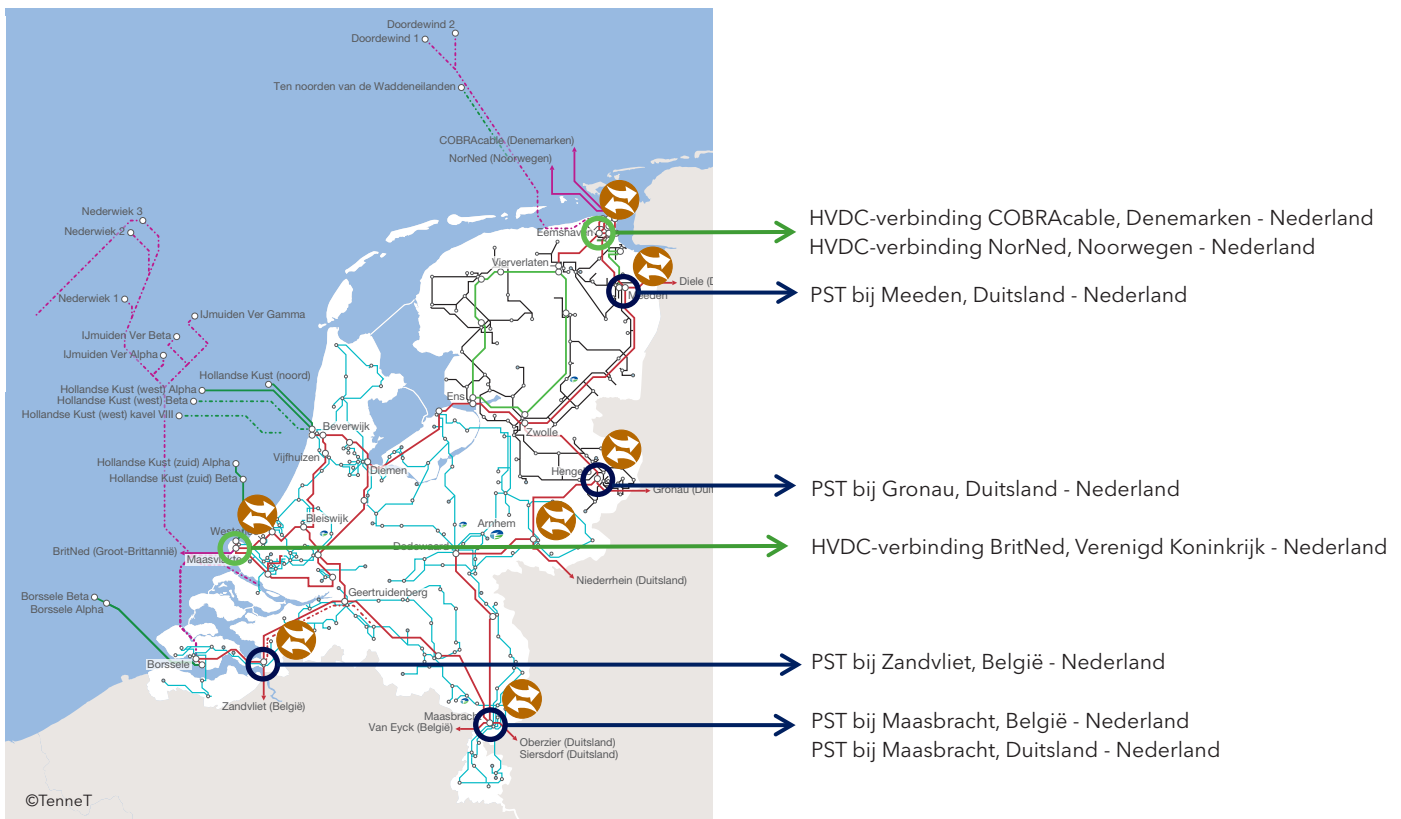
Zoals te zien is in Figuur A - 1, vóór toepassing van geavanceerde stroomsturing is de stroomverdeling ongelijk: één transmissiecircuit draagt 100% van de belasting (nominale capaciteit), terwijl de andere slechts 28% en 41% dragen (onderbenut). In Figuur A - 2, na toepassing van geavanceerde stroomsturing, is de stroom gelijkmatig verdeeld en werken alle PST's dicht bij hun nominale capaciteit. In Figuur A - 2, na toepassing van geavanceerde stroomsturing, is de stroom gelijkmatig verdeeld en werken alle PST's dicht bij hun nominale capaciteit. Deze balans wordt bereikt door PST's en HVDC-systemen slim te coördineren om stroom intelligent te herverdelen. In Figuur A - 3 worden de bestaande locaties van PST's in Nederland en de HVDC-verbindingen met de omliggende landen weergegeven.

Gecoördineerde werking van bestaande PST's en HVDC-verbindingen kan worden gerealiseerd door het gebruik van stroomregelingssystemen (power flow controllers). Hierdoor hebben de netbeheerders de mogelijkheid om de transportcapaciteit maximaliseren zonder netcomponenten te overbelasten, ongewenste kringstromen te beheersen, de behoefte aan 'redispatch' (bijsturing van vraag en aanbod) te verminderen en de congestiekosten te verlagen. Deze aanpak stelt netbeheerders in staat om flexibeler te reageren op veranderingen in de vraag, nieuwe klanten efficiënter aan te sluiten en beter gebruik te maken van

bestaande infrastructuur. Geavanceerde stroomsturing wordt in netontwikkelingsplannen erkend als een volwassen en kosteneffectieve oplossing die geen nieuwe hoogspanningslijnen vereist.

HUIDIGE TOEPASSING

TenneT implementeert actief geavanceerde stroomsturing voor stroomsturing om netcongestie in (E)HS-netten te beheersen en grootschalige hernieuwbare energie te integreren. De primaire focus ligt op HVDC-technologie via het 2GW-programma, waarmee offshore windparken via 14 HVDC-verbindingen (zeven in Nederland, zeven in Duitsland) tegen 2032 op het landelijk net worden aangesloten. Deze systemen bieden nauwkeurige controle over vermogensstromen, verlagen de kosten van 'redispatching' en maken grensoverschrijdende flexibiliteit mogelijk. PST's worden ook ingezet op connecties met het buitenlandse net en binnen het Nederlandse net om vermogensstromen te beheersen en de verdeling van wisselstroom te optimaliseren. Gecombineerde en gecoördineerde inzet van PST en HVDC wordt erkend als een ontwikkelde toepassing in TenneT's ontwikkelingsplannen voor het transmissienet, waarmee dynamische congestieverlichting en betere benutting van bestaande infrastructuur mogelijk wordt gemaakt.



FIGUUR A-3

Bestaande locaties van dwarsregeltransformatoren en HVDC-verbindingen

ANALYSE

Omdat deze oplossing, waar mogelijk al toegepast wordt, is er geen aanvullend potentieel om versneld, meer klanten aan te sluiten. Er zijn daarom geen beleidsadviezen geformuleerd, gericht op deze toepassing

Spanningskwaliteitsbeheersing

Een hoog niveau van stroomharmonischen in het net leidt tot extra verliezen in individuele componenten. Als gevolg daarvan wordt hun belastbaarheid en die van het transportnet verminderd. Door de aanwezigheid harmonischen in het net te verminderen of uit het net te verwijderen, kan de belastbaarheid van het net theoretisch worden hersteld tot de nominale waarden. Het zal echter in geen geval tot een toename van de belastbaarheid boven de nominale leiden. Er worden ook klanten in de wachtlijst geplaatst vanwege de overschrijding van spanningslimieten (variatie t.o.v. de contractwaarde) op het distributienet (spanningscongestie). Oplossingen gerelateerd aan deze problematiek zal in de volgende fase van dit onderzoek uitgewerkt worden.

Herconfiguratie van het elektriciteitsnet

Dit betreft oplossingen om het bestaande net anders te configureren. Hieronder vallen o.a. het optimaliseren van de nettopologie en inpassing van "gesloten ringbedrijf". Dit zijn oplossingen voor het distributienet en zullen nader worden uitgewerkt in de volgende fase van dit onderzoek.

Risicogebaseerde klantinpassing

Bij de klantinpassing wordt een deterministische aanpak gehanteerd, d.w.z. op basis van vastgestelde aannames en scenario's wordt doorgerekend of het inpassen van de klant tijdens de operationele fase tot problemen kan leiden. De belangrijkste uitgangspunten hierbij zijn:

- Het net moet tijdens een storing of onderhoud bedreven kunnen worden zonder impact op aangesloten
- De belastingprognose is correct, waarbij de piekbelasting leidend is
- Een bepaalde belastbaarheid van netcomponenten
- Eventueel aanwezig regelbaar vermogen moet beschikbaar en betrouwbaar zijn

Een risico-gebaseerde klantinpassing kijkt naar de mogelijkheid dat alle uitgangspunten tegelijk ongunstig uitvallen, waarbij een bepaald risico geaccepteerd kan worden. Dit biedt de mogelijkheid om alle beschikbare marktgebaseerde en technische oplossingen in samenhang te beschouwen. Hieronder een eenvoudig voorbeeld:

- Een klantinpassing van 10 MW leidt tot een overschrijding van de aanwezige transportcapaciteit 5% van de tijd in het laatste jaar voor congestie.
- Dit is gebaseerd op een bepaalde belastingprognose, waarbij er een kans van 30% is dat deze klantinpassing niet tot een overschrijding leidt.
- Preventief kan flexibiliteit worden afgeroepen, als de beschikbaarheid niet gegarandeerd is, zal dit in 50% van de gevallen de overschrijding kunnen voorkomen.
- Tijdens normale bedrijfsvoering kan de storingsreserve ingezet worden voor deze 5% van de tijd. Alleen bij een storing leidt dit tot complicaties, een dergelijke storing treedt lokaal eens in de 5 jaar op.
- Als een storing binnen deze 5% optreedt, kan de netcomponent nog zwaarder belast worden (dan volgens beleid toegestaan). Kans dat de component hierdoor faalt is 30%.

Via een dergelijke berekening kan de impact van klantinpassing op de betrouwbaarheid, gebruik makend van alle beschikbare oplossingen, bepaald worden. Hiermee kan het risicoprofiel binnen het bestaande profiel blijven (het net heeft tenslotte geen tweevoudige storingsreserve), maar ook kan een hoger risicoprofiel geaccepteerd worden.

Aangezien risico-gebaseerde klantinpassing, strikt genomen, geen technische oplossing is, wordt deze niet verder uitgewerkt in dit rapport. Wel komt de afweging tussen klantinpassing en betrouwbaarheid prominent naar voren in de analyse van de technische oplossing "inzet enkelvoudige storingsreserve".

Overige MS-oplossingen

SPANNINGSREGELING - COMPOUNDERING

Beschrijving

Zoals besproken in sectie 3.2 opereren MS-D-netten op spanningsniveaus van 10 kV tot 25 kV. De daadwerkelijke spanning op ieder punt in een MS-D-net kan echter variëren ten opzichte van het betreffende spanningsniveau. De wettelijke richtlijnen schrijven voor wat de minimum en maximum spanning ten opzichte van het nominale spanningsniveau in ieder punt van het MS-D-net is.

Figuur A - 4 geeft een voorbeeld weer van een MS-D ring met twee afgaande kabels die van elkaar gescheiden worden door een netopening. De spanning aan de eind van de kabel zal lager zijn, afhankelijk van de belasting op de betreffende kabel. Vergelijk situatie 5-5a met een groep elektrische auto's in de avondspits onderweg naar huis, die via de afrit van een snelweg naar een regionale weg kunnen. Op ieder van deze regionale weg kunnen zij vervolgens afslaan naar een lokale weg. De elektrische auto's hebben een verschillend rijbereik afhankelijk van hoeveel accucapaciteit beschikbaar is vanaf de afrit. De accu's raken steeds leger naarmate ze langer moeten rijden over de regionale weg tot de afslag naar de lokale weg. Hoe veel capaciteit er over is bij aankomst thuis, hangt onder andere af van de capaciteit die beschikbaar was vanaf de afrit.

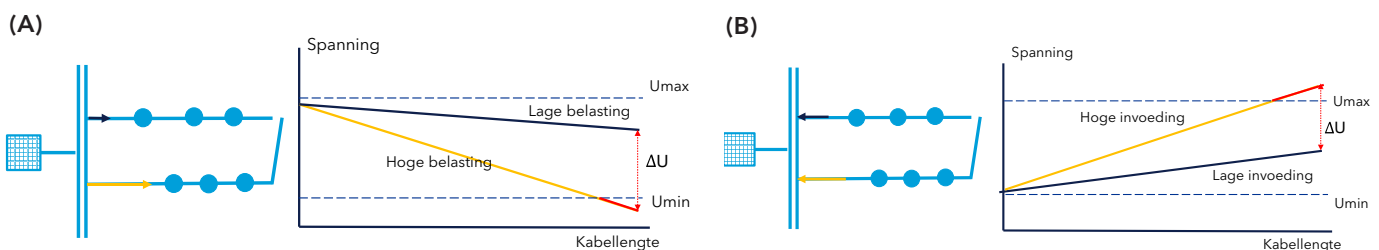
Vergelijkbaar neemt in het MS-D-net de spanning (accucapaciteit) af naarmate de stroom (auto's) een langere afstand door de kabels (regionale weg) moet afleggen. Wat de resulterende spanning aan het einde van de kabel is, hangt onder andere af van de spanning aan het begin van de kabel (afrit). Daarnaast hangt dit ook af van de hoeveelheid stroom die tegelijk getransporteerd wordt door de kabels. Bij een hoge vraag zal bij dezelfde afstand de resulterende spanning aan het eind van de kabel dus lager zijn dan tijdens periode van lage vraag. De situatie waarbij de spanning op een punt in het MS-D-net onder de wettelijk toegestane limiet is wordt onderspanning genoemd, wat kan het leiden tot het niet meer (goed) functioneren van apparaten.

Bij perioden van hoge invoeding door zonnepanelen werkt het precies omgekeerd zoals weergegeven in Figuur A - 4b. Als de elektrische auto's de volgende dag van huis vertrekken (hoge invoeding), moeten de auto's die verder van de snelweg af wonen verder zijn opgeladen om via de regionale weg met voldoende capaciteit de snelwegoprit te bereiken. Vergelijkbaar neemt de spanning (accucapaciteit) op de kabel (regionale weg) naar het einde toe. Om de stroom opgewekt door zonnepanelen in het MS-D-net richting het netstation getransporteerd te krijgen moet de spanning op ieder punt iets verhoogd worden, want stroom loopt namelijk alleen van een hoog naar lager spanningsniveau. Hierdoor loopt de spanning richting het einde van de kabel op. Als de spanning op een punt hoger is dan de wettelijk toegestane limiet spreekt men van overspanning. In de praktijk schakelt de omvormer uit waardoor invoeding gestopt wordt en verdere overspanning voorkomen wordt. In de praktijk komt het steeds vaker voor dat beide beschreven situaties zich kunnen voordoen op hetzelfde deel van het MS-D-net op verschillende momenten van de dag.

Traditioneel werden spanningsproblemen op kabels voorkomen door korte strengen te leggen en door een maximaal aantal klanten per streng (dus meer kabels) aan te sluiten. Omdat dit op het moment niet snel genoeg gaat kan compounding een oplossing zijn op locaties waar het MS-D-net niet snel genoeg uitgebreid kan worden of waar de kosten van uitbreidingen te hoog zijn.

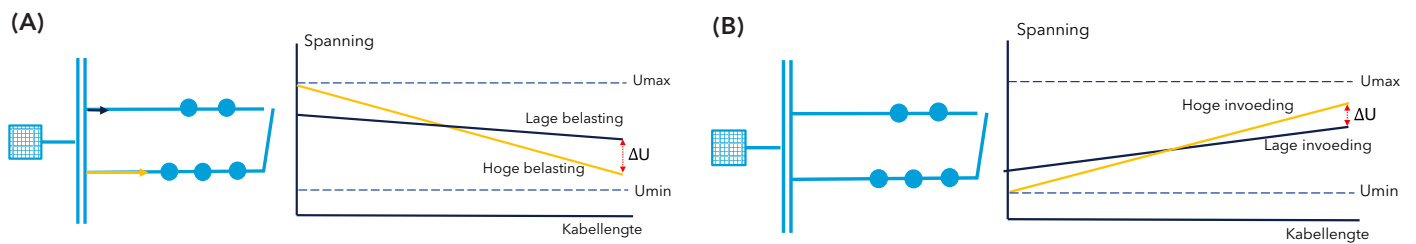
Compounding is een techniek die wordt toegepast in middenspanningsdistributienetten (MS-D-netten) om spanningsproblemen zoals onderspanning en overspanning te voorkomen. Hierbij wordt de spanning op specifieke locaties in het net actief verhoogd of verlaagd, afhankelijk van de belasting en invoeding, zodat de spanning op ieder punt binnen de wettelijk toegestane grenzen blijft, zoals weergegeven in het besproken voorbeeld.

Door middel van vermogensregelaars kan de spanning op het onderstation automatisch aangepast worden. Zo kan bij onderspanning op de kabel de spanning op het onderstation tijdelijk worden verhoogd, en kan bij overspanning op de kabel de spanning op het onderstation tijdelijk worden verlaagd. Als gevolg van compounding mag de spanning op het onderstation vanzelfsprekend niet te hoog of te laag worden.



FIGUUR A-4

Voorbeeld van de spanning over een MS-kabel tijdens hoge vraag (situatie A) en hoge invoeding (situatie B), waarbij de minimaal (U_{min}) en maximaal (U_{max}) toegestane spanning in een MS-D-net is weergegeven



FIGUUR A-5

Voorbeeld van de toepassing van compounding om onderspanning en overspanning te voorkomen en het minderen van spanningsvariatie (ΔU) over een MS-kabel, waarbij de minimaal (U_{min}) en maximaal (U_{max}) toegestane spanning in een MS-D-net is weergegeven

Naast de minimale en maximale spanningsniveaus die toegestaan zijn, geldt er ook dat er op ieder punt in het MS-D-net typisch een maximale spanningsvariatie van $\pm 10\%$ ten opzichte van de nominale spanning is toegestaan. In het voorbeeld van Figuur A - 5 waar de twee besproken situaties apart voorkomen neemt de spanningsvariatie af door toepassing van compounding. Zoals aangekomen komt het in de praktijk steeds vaker voor dat beide situaties zich voordoen op verschillende momenten van de dag. Daardoor kan de toepassing van compounding beperkt worden, want de toegestane spanningsvariatie kan de mate waarin de spanning verhoogd en verlaagd mag worden beperken zonder dat de minimaal en maximaal toegestane spanningslimieten overschreden worden.

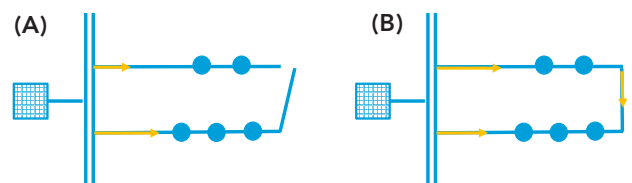
Compounding wordt momenteel breed toegepast door de RNB op onderstations waar dit waarde heeft om de spanningsniveaus in MS-D-netten beter te kunnen handhaven. Twee RNB's geven aan dat zij compounding niet zien als een oplossing voor congestie omdat ze of geen congestie ervaren op basis van spanningsproblemen, of dat spanningsproblemen alleen betrekking heeft op invoedingscongestie. Eén RNB geeft aan dat zij geen congestie ervaren op basis van spanningsproblemen in MS-D netten. De andere RNB past compounding alleen toe in uitgestrekte MS-D-netten om de spanning op niveau te houden. De derde RNB geeft aan dat 50% van de MS-assets in hun verzorgingsgebied een spanningsknelpunt hebben, waarvan 22% enkel een spanningsknelpunt in het MS-D-net. Daarvan hebben deze spanningsknelpunten met name betrekking op invoedingscongestie en niet op afnamecongestie.

Er kan dus ten eerste geconcludeerd worden dat compounding al waar mogelijk wordt toegepast. Daarnaast wordt zowel de potentie als schaalbaarheid voor de toepassing om afnamecongestie te beperken als gering ingeschat omdat compounding met namen gericht is om de spanningsproblematiek op te lossen. Daarom zijn er geen concrete beleidsaanbevelingen voor de toepassing van deze oplossing gedaan.

NETWERK (HER)CONFIGURATIE - GESLOTEN RINGBEDRIJF

Beschrijving

Zoals in sectie 3.2 beschreven, zijn de meeste MS-D-netten ringvormig aangelegd, maar worden in de praktijk radiaal bedreven. Figuur A - 6 geeft een voorbeeld weer van een MS-D ring, waarbij de netopening geopend is en dus radiaal bedreven wordt. Figuur A - 6b geeft dezelfde MS-D ring weer, maar de netopening is gesloten waardoor dit net als een ring bedreven wordt.



FIGUUR A-6

Voorbeeld van een MS-D ring waarbij de netopening aan het eind van de twee kabels gesloten is

Files op de regionale weg zullen als eerst aan het begin van de regionale weg ontstaan, omdat het aantal auto's bij iedere afslag naar een lokale weg afneemt. Als de twee regionale wegen met elkaar verbonden worden door de open ring te sluiten, kunnen de auto's de andere afrit van de snelweg nemen als er file op één van de regionale wegen staat. Vergelijkbaar ontstaan capaciteitsproblemen in de MS-D ring als eerst aan het begin van een kabel (regionale weg). Daar is de stroom (auto's) die door de kabel loopt typisch het hoogst, omdat hier de stroom naar alle klanten die op de kabel aangesloten zijn loopt. Er kan tijdens perioden van hoge vraag en invoeding ook spanningscongestie ontstaan op de kabels, zoals toegelicht bij de oplossing met spanningsregeling door middel van compounding.

In radiaal bedreven MS-D-netten ontstaat er op een vergelijkbare manier een ongelijke verdeling van de belasting over de kabels aan (de) weerszijde(n) van een netopening. Dit kan congestie op één van de kabels veroorzaken. Door de ring te sluiten kan de belasting zich op een natuurlijkere manier evenredig over beide kabels verdelen. Dit zou afhankelijk van de situatie, zowel capaciteitscongestie als spanningscongestie kunnen verminderen. Deze oplossing van herconfiguratie van het MS-D-net wordt gesloten ringbedrijf (GRB) genoemd.

In de praktijk hangt de potentie en schaalbaarheid van GRB sterk af van de nettopologie, type belasting(profielen) en gehanteerde criteria voor de storingsreserve. Daarnaast heeft deze manier van bedrijfsvoeren een aantal nadelen, waaronder dat het lastiger wordt om in het geval van een storing de plaats in de ring te lokaliseren waar de storing heeft plaatsgevonden. Dit leidt tot meer storingsverbruikers minuten (SVBM's) doordat het langer duurt om de storing te vinden, af te schakelen en (een deel van) de klanten weer van stroom te voorzien. Daarbij zal het vaker nodig zijn om in eerste instantie grotere delen van het net tijdens de storings (tijdelijk) af te schakelen, totdat de storingslocatie bepaald kan worden.

Twee RNB's verwachten dat de potentie en schaalbaarheid van deze oplossing beperkt is, omdat zij nog weinig congestie in MS-D-netten kennen. Deze situatie kan gaan veranderen, maar de focus van dit onderzoek is het terugbrengen van de huidige wachtrijen. De derde RNB heeft de toepassing GRB op grote schaal in de praktijk getest. De schaalbaarheid en potentie voor het verminderen van capaciteitscongestie in hun MS-D-netten bleken in hun onderzoeken beperkt te zijn, voornamelijk vanwege verhoogde complexiteit van de bedrijfsvoering, benodigde aanvullende metingen, verhoogde SVMB's en beschikbaarheid van personeel voor o.a. implementatie in het veld. Vergeleken met oplossingen zoals het zwaarder belasten van componenten is de verwachte potentie van GRB marginaal, mede doordat er op dit moment maar één RNB is waar deze lokaal waarde kan toevoegen. Kijkend naar de impact op betrouwbaarheid, biedt het inzetten van storingsreserve met accepteren van lagere betrouwbaarheid meer potentie, mede doordat het een minder kostbare en complexe oplossing is. Er zijn daarom geen concrete beleidsadviezen ten behoeve van de inzet van deze oplossing over het hele net geformuleerd. Echter, de huidige aanpak van de derde RNB t.a.v. het toetsen van GRB voor het lokaal oplossen van congestie kan aanvullende inzichten opleveren voor bredere toepassing die niet bekend zijn ten tijde van dit onderzoek.

MONITORING - BETER INZICHT TEN BEHOEVE VAN KLANTINPASSING

In vergelijking met het HS-net is het inzicht in de actuele belasting van het MS-net beperkt doordat van een aanzienlijk deel van de netcomponenten geen metingen beschikbaar zijn of de frequentie van de meetwaarden zeer beperkt is. De belasting in deze delen van het MS-net wordt bepaald door gebruik te maken van modellen, die de belasting berekenen op basis van:

- Bekende informatie zoals gecontracteerd vermogen, gelijktijdigheidsfactoren en representatieve belastingprofielen.
- Omliggende netcomponenten die wel worden bemeten.

De installatie van meetapparatuur om meer componenten te monitoren kan helpen om een accurater beeld te krijgen van de actuele belasting in het net. In de praktijk kan dan blijken dat de componenten minder zwaar belasten worden dan berekend. Gebrek aan inzicht in het MS-net kan in die gevallen een directe belemmering vormen voor klantinpassing als er geen congestie op het HS-net is. Het is echter ook mogelijk dat de installatie van monitoring in plaats van rekenmodellen juist ongunstig kan uitvallen t.b.v. klantinpassing.

Op dit moment is de monitoring van onderstations, MS-regelstations en schakelstations op het MS-T-net relatief hoog (40%-100%), waarbij het hoogste in het (E)HS-net beheerd door de LNB. Echter, de monitoring van kabels in zowel het MS-T als het MS-D-net is vaak zeer beperkt. Indien meetapparatuur is geïnstalleerd, is monitoring niet beperkt tot het meten van het vermogen en de stroom, maar kan ook meer omvatten zoals de temperatuur, spanning, fasehoek en blindvermogen.

Technisch is het ook mogelijk om op basis van slimme meter data, belastingen in MS-netten te reconstrueren en daarmee het inzicht in de actuele belasting van het MS-net te vergroten. In praktijk wordt dit echter nog weinig toegepast door RNB's doordat er beperkte toestemming van aangesloten KV klanten is (ca. 50%-60%). Daarnaast is de reconstructie op met name MS-T-netten een uitdaging door onder andere het grote aantal klanten en de complexere netstructuren waar rekening mee moet worden gehouden. Eén van de RNB's geeft aan dat meer dan 80% van de MSR's op dit moment wordt bemeten, wat efficiënter toegepast kan worden om de belasting tot aan het MS-T-net te berekenen.

Alle RNB's werken op dit moment aan verbeterde monitoring van het MS-net. De uitvoeringscapaciteit vormt daarbij de grootste beperking voor een snellere uitrol van meer meetapparatuur. De locaties die in aanmerking komen voor de uitrol van meetapparatuur worden daarom als volgt geprioriteerd:

1. Meetapparatuur wordt als eerst geïnstalleerd op locaties met berekende congestie
2. Vervolgens op locaties met verwachte transportschaarste
3. Tot slot op overige locaties

Omdat er al plannen liggen voor de brede uitrol van meetapparatuur in het MS-net tot 2030 en een snellere realisatie hiervan met name wordt beperkt door de beschikbare uitvoeringscapaciteit, zijn er geen concrete aanbevelingen gedaan voor deze oplossing.

Overige LS-oplossingen

SPANNINGSREGELING - TOEPASSEN VAN COMPOUNDERING OP HS/MS EN MS/MS NIVEAU

De spanning op HS-MS onderstations en MS-regelstations kan ingesteld worden afhankelijk van de belasting, zodat het spanningsniveau ook in het LS-net blijft voldoen aan de geldende beleidsnormen. Dat wil zeggen dat de spanning op het onderstation verhoogd kan worden tijdens perioden met hoge vraag, zodat de spanning voor (toekomstige) klanten aan het einde van LS-kabels niet te laag wordt. De volgende randvoorwaarden zijn van toepassing voor de inpassing van nieuwe afname klanten:

- het spanningsniveau van klanten aan het begin van de MS-kabel mag de geldende beleidsnormen m.b.t. de maximaal toegestane spanningsniveau niet overschrijden;
- de spanningsvariatie op jaarbasis mag de geldende beleidsnormen niet overschrijden. Dat wil zeggen dat toepassing van compounding door het verlagen van de spanning op het onderstation om overspanning te voorkomen tijdens perioden met hoge teruglevering, de toepasbaarheid van deze oplossing voor nieuwe afnameklanten kan beperken.

Compounding op transformatoren in hoger gelegen netvlakken kan worden toegepast om spanningsknelpunten op het MS-net op te lossen (zie paragraaf 6.5). Hiermee kan ook de spanning verbeterd worden die als uitgangspunt aan het LS-net wordt meegegeven. Dit wordt al door twee van de drie RNB's toegepast, een derde is bezig dit in te richten/ te optimaliseren. Het optimaliseren van het spanningsniveau betekent niet dat er meer klanten ingepast kunnen worden.

Op dit moment is er namelijk geen congestie op het LS-net die puur gerelateerd is aan de onderspanning. Er zijn dus geen LS-afnameklanten op de wachtlijst vanwege spanningsproblemen op het LS-net. Daarnaast is dit een weinig effectieve maatregel, de spanning kan maar op een beperkt aantal plekken gereguleerd worden op de stations in hoger gelegen netvlakken ten behoeve van de verbetering van het spanningsniveau op onderliggende MS en LS-netten. Het is daarmee veel effectiever om het spanningsniveau in de MS/LS transformator te regelen (zie volgende paragraaf).

SPANNINGSREGELING - TOEPASSEN VAN AUTOMATISCHE SPANNINGSREGELING OP MS/LS NIVEAU

Een regelbare distributietransformator (rDTR) is een MS/LS transformator voorzien van een tapwisselaar (trapstandschakelaar), die de uitgangsspanning automatisch instelt om spanningsvariaties in het net te corrigeren. De werking van een rDTR volgt hetzelfde principe voor compounding in het MS-net. Bij een hoge vraag wordt de spanning op de rDTR verhoogd om onderspanning aan het eind van een LS-kabel te mitigeren. Bij veel invoeding wordt de spanning op de rDTR juist verlaagd om overspanning aan het einde van een LS-kabel te mitigeren.

De huidige MS/LS transformatoren zijn niet op afstand regelbaar. Veel van deze transformatoren moeten toch al vervangen/verzwaard worden. Het voordeel van het plaatsen van een rDTR is in dat geval dat dit kan voorkomen dat de uitgaande LS-kabels vervangen moeten worden.

Deze oplossing valt onder "slimmer bouwen" en is daarmee buiten scope van deze studie. Gezien de raakvlakken met de oplossing "compounding (HS/MS en MS/MS niveau)" wordt deze voor de volledigheid kort toegelicht.

Een RNB geeft aan dat de inzet van rDTR's en snelle LS-zekeringen de benodigde kabelverzwaringen met zo'n 25-30% zou kunnen reduceren. Deze RNB geeft niet expliciet aan rDTR's toe te passen in hun netten terwijl de tweede RNB wel expliciet aangeeft deze strategie toe te passen, waar mogelijk en de derde aangeeft dit niet te doen. Reden om rDTR's niet toe te passen is dat deze RNB verwacht dat de meeste netten met spanningsproblemen, door capaciteitsknelpunten toch uitgebreid moeten worden, waardoor enkel een rDTR geen toekomstbestendige oplossing is.

De belangrijkste beperkingen zijn:

- Noodzaak voor ombouwen/vervangen van bestaande MSR's vanwege de grotere afmetingen van rDTR's
- Voor oudere dunnere netten met veel aansluitingen (groot deel van de LS-netten), is het verzwaren en splitsen van LS-kabels en het bijplaatsen van LS-voedingspunten benodigd.
- De conditie van LS-kabels is een belangrijk aspect, dus ook al worden transportbeperkingen opgelost door vervanging naar een rDTR, kan het zijn dat de kabel alsnog moet worden vervangen vanwege de conditie.

Eén RNB implementeert momenteel een spanningsregelaar (een LS/LS transformator) waarmee op specifieke, lange strengen in buitengebieden, waar enkel spanning een probleem is, de spanning beter onder controle gehouden kan worden met beperkte additionele investeringen.

MONITORING - BETER INZICHT T.B.V. KLANTINSPANNING

Het netinzicht van het LS-net is laag. Hierdoor is het wellicht lastig om te bepalen of er nog klanten aangesloten kunnen worden. Bij deze oplossing wordt bekeken of bij het toepassen van meer monitoring, meer klanten aangesloten kunnen worden.

Twee van de drie RNB's plaatsen alleen vanwege bovenliggende congestie klanten op de wachtrij. De derde heeft een zeer beperkt aantal klanten (47) op de wachtrij vanwege congestie in het LS-net, zonder bovenliggende congestie. Een betere zichtbaarheid zal daarom nu niet leiden tot meer klantaansluitingen. Aangezien er wel wachtrijen verwacht worden vanaf 2026, is het relevant om toekomstige ontwikkelingen ten aanzien van LS-monitoring te beschouwen.

Onder monitoring wordt in deze context verstaan:

- (1) Het meten van de belasting van een LS-netcomponent met hoge resolutie (kwartier- of uurwaardes). Deze zijn op afstand uitleesbaar, waarbij de data gebruikt wordt voor analyse doeleinden (geen noodzaak voor real-time monitoring)
- (2) Het inschatten van de belasting van een netwerkcomponent op basis van metingen lager in het net, met name middels slimme meter data. Gegeven de 90% dekkinggraad kan, o.b.v. de netwerktopologie, de belasting van specifieke componenten met een zekere nauwkeurigheid herleid worden vanuit de slimme meter data.

De huidige status van, en de toekomstige ontwikkelingen in LS-monitoring zijn:

- Momenteel wordt 5,2% van de LS-kabels bemeten, met grote verschillen tussen RNB's
- In 2030 is dit 57%, ook dan zijn er grote verschillen tussen RNB's
- Eén netbeheerder verkiest het gebruik van slimme meter data boven het installeren van monitoring op LS-kabels in bestaande MSR's, als dit succesvol is kan gesteld worden dat in 2030 monitoring op 78% van de LS-kabels aanwezig is.

Alle RNB's zijn bezig met een uitrol van monitorapparatuur, belangrijkste belemmeringen zijn de uitvoeringscapaciteit, kosten, levering van materiaal en ruimtegebrek. Slimme Meter (SM) data is hierbij een kansrijk alternatief, op zijn minst ter overbrugging.

RNB's onderzoeken hiertoe hoe SM-data gebruikt kan worden t.b.v. LS-monitoring:

- Eén RNB heeft pilots gedaan en gaat opschalen;
- Een tweede RNB ontwikkelt dit, resultaten worden in 2026 verwacht, met de verwachting dit in 2030 toe te kunnen passen op max. 73% van de LS-velden;
- Een derde RNB meldt alleen dat er plannen hiertoe zijn.

Beperkingen in het gebruik van slimme meter data ten behoeve van LS-monitoring zijn:

- Lastig om te implementeren voor vermaasde netten (zoals aanwezig in een aantal steden);
- Momenteel (2025) mag 60% van de profielen hiervoor gebruikt worden. Als de nieuwe allocatiemethode operationeel is (per 2026) levert dit 90% zichtbaarheid op, en is deze beperking grotendeels opgeheven;
- Gebruik van SM-data is alleen toegestaan bij kabels met minimaal 5 aansluitingen vanwege regelgeving op het gebied van privacy.

APPENDIX B

Beoordelingsmethodiek technische oplossingen

Voor de analyse van de technische oplossingen in paragraaf Analyse technische oplossingen is een kwalitatieve beoordelingsmethodiek toegepast, deze is in onderstaande tabel nader toegelicht.

	1	2	3	4	5
 CAPACITEIT Biedt de technologie voldoende capaciteit om de aansluiting van klanten op de wachtlijst te versnellen?	< 5% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	10-15% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	10-15% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	15-25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt	>25% ten opzichte van de beschikbare capaciteit op het congestiepunt
 SCHAALBAARHEID Kan het in elke situatie worden toegepast of alleen op specifieke locaties/tijdstippen?	Geschikt voor minder dan 5% van de situaties	Geschikt voor 5-20% van de situaties	Geschikt voor 20-50% van de situaties	Geschikt voor de meerderheid van de situaties (50-80%)	Geschikt voor (bijna) alle situaties (80-100%)
 KOSTENEFFECTIVITEIT Staan de operationele/implementatiekosten in verhouding tot de baten (maatschappelijk perspectief)?	> 500 k€/MW per jaar ≈ bruto maatschappelijke kosten	250-500 k€/MW jaarlijks ≈ netto maatschappelijke kosten	100-250 k€/MW jaarlijks ≈ netwerkstarieven	40-100 k€/MW jaarlijks ≈ netto baten	< 40 k€/MW jaarlijks ≈ netto voordelen
 COMPLIANT MET REGELGEVING Zijn substantiële wijzigingen van het regelgevingskader nodig?	Grote wijzigingen nodig, zeer politiek	Grote wijzigingen nodig, enigszins politiek	Beperkte wijzigingen, enigszins politiek of groot/nauwelijks	Beperkte wijzigingen nodig, nauwelijks politiek	Geen wijzigingen nodig
 TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL) Is de technologie voldoende volwassen/kan de markt deze technologie of dienst leveren?	TRL 7	TRL 8	TRL 9, nog niet toegepast voor versnelde netaansluitingen	TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen, minder dan 5 jaar	TRL 9, toegepast voor versnellen netaansluitingen meer dan 5 jaar
 TIJD OM TE IMPLEMENTEREN Hoe snel kan de oplossing worden geïntroduceerd?	Meer dan 36 maanden	24-36 maanden	12-24 maanden	6-12 maanden	Minder dan 6 maanden
 ORGANISATORISCHE IMPACT Hoeveel inspanning zal de organisatie van de SO moeten leveren voor het ontwerpen, implementeren en gebruiken van de oplossing (personeel en IT/OT-aanpassingen)?	Vereist aanzienlijke organisatorische veranderingen, ontwikkeling van nieuwe competenties en IT/OT-aanpassingen	Vereist ofwel de invoering van nieuwe processen of de ontwikkeling van nieuwe competentie	Vereist ofwel de invoering van nieuwe processen of de ontwikkeling van nieuwe competentie	Vereist kleine veranderingen in organisatorische processen of beperkte ontwikkeling van nieuwe competentie	Vereist kleine veranderingen in bedrijfsprocessen, interne teamstructuren, nieuwe competenties
 OPERATIONELE COMPLEXITEIT In welke mate worden real-time operaties beïnvloed door de oplossing?	Toename in complexiteit is substantieel met (te) hoge risico's voor RT operaties	Toename is aanzienlijk, moet zorgvuldig overwogen/geïmplementeerd worden	Toename in complexiteit is beperkt en beheersbaar	Kleine impact, nauwelijks extra complexiteit	Geen effect op RT-operaties
 BETROUWBAARHEID Heeft het invloed op de betrouwbaarheid van het net (storingsminuten)?	Grote impact, geen geschikte mitigatie beschikbaar	Substantiële impact, mitigatie is denkbaar maar kostbaar of complex	Marginale impact, of er bestaan duidelijke mitigatiemogelijkheden	Geen significante impact	Verbeterd de betrouwbaarheid van het net
 VEILIGHEID Heeft het een invloed op de veiligheid en/of (cyber)beveiliging van het net?	Grote impact, geen geschikte mitigatie beschikbaar	Substantiële impact, mitigatie is denkbaar maar kostbaar of complex	Marginale impact, of er bestaan duidelijke mitigatiemogelijkheden	Geen significante impact	Verbeterd de veiligheid/beveiliging van het net

ABOUT DNV

DNV is an independent assurance and risk management provider, operating in more than 100 countries, with the purpose of safeguarding life, property, and the environment. Whether assessing a new ship design, qualifying technology for a floating wind farm, analysing sensor data from a gas pipeline, or certifying a food company's supply chain, DNV enables its customers and their stakeholders to manage technological and regulatory complexity with confidence. As a trusted voice for many of the world's most successful organizations, we use our broad experience and deep expertise to advance safety and sustainable performance, set industry standards, and inspire and invent solutions.

In the energy industry

DNV provides assurance to the entire energy value chain through its advisory, monitoring, verification, and certification services. As the world's leading resource of independent energy experts and technical advisors, the assurance provider helps industries and governments to navigate the many complex, interrelated transitions taking place globally and regionally, in the energy industry. DNV is committed to realizing the goals of the Paris Agreement, and supports customers to transition faster to a deeply decarbonized energy system.

Disclaimer

All information is correct to the best of our knowledge. Contributions by external authors do not necessarily reflect the views of the editors and DNV.

All rights reserved. DNV 04/2026

DNV Netherlands B.V.

Utrechtseweg 310-B50
6812 AR Arnhem, the Netherlands
Tel: +31 26 3569111
Email: contact.energysystems@dnv.com
www.dnv.com