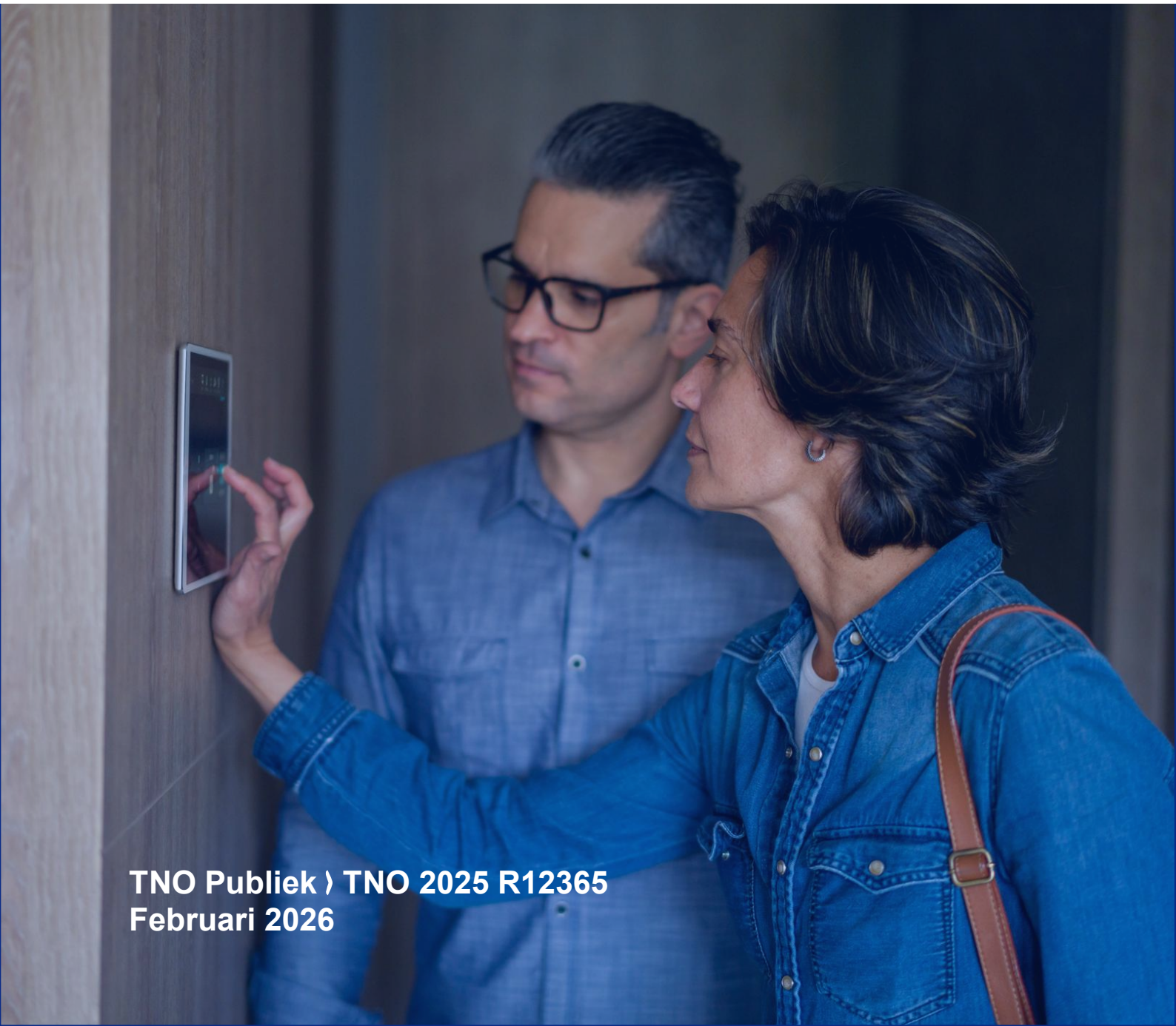
TNO innovation for life

Technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers



TNO Publiek ⟩ TNO 2025 R12365
Februari 2026

Energy & Materials Transition
www.tno.nl
+31 88 866 23 45
info@tno.nl

TNO 2025 R12365 – Februari 2026

Technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers

Auteurs: Hanna van Sambeek, Mente Konsman, Isaï Magan

Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Bijlagen	TNO Publiek
Aantal pagina's	65 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	3
Projectnummer	060.65583

Alle rechten voorbehouden
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2026 TNO

Samenvatting

Het Nederlandse elektriciteitsnet staat onder druk, met risico op lokale overbelasting en stroomuitval. Netbescherming in brede zin zijn maatregelen om het net veilig te houden in noodsituaties. Het doel van netbescherming is om storingen, schade aan het elektriciteitsnet en/of afschakeling van klanten te voorkomen. Netbescherming is in potentie een instrument waarbij de netbeheerder tijdelijk verplichte vermogenskaders oplegt om het elektriciteitsnet te beschermen. In opdracht van het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) onderzoeken we **technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers** (KV-netbescherming) waarbij de focus ligt op huishoudens. De noodzaak, wenselijkheid, het toepassingskader en juridische aspecten van KV-netbescherming zijn buiten scope van dit onderzoek. Dit rapport richt zich aan beleidsmakers, netbeheerders en professionals die werken aan netcongestie en overbelasting van het elektriciteitsnet.

Onze belangrijkste conclusies zijn:
- Geen van de onderzochte technische mechanismen voor KV-netbescherming kan op korte en middellange termijn breed uitgerold worden.
- Een HEMS is de technisch beste manier om een vermogenskader te verwerken en het verhoogt het comfort en de autonomie.
- Om KV-netbescherming op lange termijn breed toegepast te krijgen, moeten er nu stappen gezet worden in de technische voorbereiding. Netbeheerders moeten eenduidige en verantwoorde vermogenskaders ontwikkelen en de manier bepalen waarop die mogelijk gecommuniceerd kunnen worden aan kleinverbruikers.

De belangrijkste aanbevelingen zijn:
- Netbeheerders moeten duidelijkheid geven over de specificaties van een mogelijk KV-netbeschermingssignaal.
- Zet in op vrijwillige, marktgebaseerde, lokale flexibiliteit om stroomstoringen te voorkomen op zowel korte- als lange termijn.
- Stimuleer de adoptie en standaardisatie van HEMS en slimme apparaten.

Internationale voorbeelden

In onderzoek naar hoe andere landen omgaan met KV-netbescherming en netcongestie zien we verschillende benaderingen. De mate van standaardisatie en verplichting verschilt sterk per land. Duitsland is het verst met verplichte KV-netbescherming, terwijl andere landen vooral inzetten op vrijwillige flexibiliteit.
- Duitsland: Verplichte externe aansturing van apparaten >4,2 kW, via slimme meters en gestandaardiseerde protocollen, met financiële compensatie voor huishoudens.
- Verenigd Koninkrijk: Marktgebaseerde flexibiliteitsmarkten, gestandaardiseerd via PAS 1878/1879, met veel ruimte voor vrijwillige deelname.
- Australië, VS, Japan: Marktgebaseerde oplossingen via slimme meters, aggregator- en VPP-oplossingen (Virtual Power Plants), en pilots met directe aansturing van apparaten.

Technische opties in Nederland

Zes mechanismen zijn in dit rapport kwalitatief geanalyseerd en gescoord op comfort, effectiviteit, implementatie, veiligheid, privacy en betaalbaarheid:

- GridShield - decentraal, direct op apparaat of via HEMS
- Real Time Interface v2 - internetgebaseerde aansturing via HEMS
- NextGen slimme meter + HEMS
- Duitse model (§14a EnWG)
- VK-model (PAS 1878/1879)
- Aggregator route - communicatie van aggregator of CPO naar apparaat of HEMS

Uit deze scoring valt op te maken dat routes via de HEMS beter scoren. Verder is er geen enkel mechanisme dat het beste scoort op alle beoordeelde aspecten. Elk mechanisme heeft voor- en nadelen.

De beste technische route is dat kleinverbruikers de vermogenskaders ontvangen via een HEMS, in de vorm van een lokaal kastje in huis en/of in de vorm van een internet-gebaseerde omgeving. Deze technische route maakt coördinatie over apparaten én andere stuursignalen vanuit andere actoren op de apparaten mogelijk. Op die manier wordt het comfortverlies beperkt en de effectiviteit vergroot.

Technisch ontwikkelpad

De komende jaren is een *brede* uitrol van verplichte KV-netbescherming technisch nog niet mogelijk. Het advies is daarom om in te zetten op een vrijwillige flexmarkt waar eventueel technisch op kan worden voortgebouwd voor KV-netbescherming. Dit marktmechanisme blijft ook op lange termijn belangrijk voor het elektriciteitssysteem.

Voor zowel het inzetten op een marktmechanisme als voorbereiding op KV-netbescherming moeten de netbeheerders snel duidelijkheid geven over een gestandaardiseerde en eenduidige definitie van locatieafhankelijke vermogenslimieten en de manier waarop deze zullen worden gecommuniceerd.

De beste technische manier om KV-netbescherming te realiseren is via een Home Energy Management System (HEMS), voortbouwend op de technische keten voor marktgebaseerde flex-oplossingen. Het is daarom onze aanbeveling om te beginnen met een vrijwillige markt voor lokale flexibiliteit. Voor een soepele invoering is het essentieel dat de technische ketens voor marktgebaseerde flexibiliteitsoplossingen en KV-netbescherming goed op elkaar aansluiten. In de NTA (Nederlandse Technische Afspraak) HEMS dient rekening gehouden te worden met het ontvangen van een mogelijk KV-netbeschermingssignaal zodat systemen en apparaten hier technisch op voorbereid zijn. Daarbij verdient het de voorkeur om te kiezen voor internationale, IP-gebaseerde communicatieprotocollen, zoals OpenADR of RTI v2 LS.

De conclusie is dat er geen ‘one size fits all’-oplossing bestaat. De keuze voor een technisch mechanisme vereist een zorgvuldige afweging tussen comfort, effectiviteit, veiligheid, privacy, betaalbaarheid en implementatiegemak. Op korte termijn zijn marktmechanismen het meest haalbaar om stroomstoringen te voorkomen. Voor KV-netbescherming is een HEMS-gedreven aanpak kansrijk. Standaardisatie en interoperabiliteit zijn cruciaal voor succes.

Inhoudsopgave

Samenvatting 3
1 Inleiding 7
1.1 Doelstelling van KV-netbescherming 8
1.2 Definitie KV-netbescherming 9
1.3 Vereisten van netbescherming bij kleinverbruikers 9
2 Wat onderzoeken we en hoe? 11
2.1 Doel van het onderzoek 11
2.2 Onderzoeksvragen 11
2.3 Scope 12
2.4 Onderzoeksaanpak 12
2.5 Leeswijzer 12
3 Internationale voorbeelden 14
3.1 Duitsland 14
3.2 Verenigd Koninkrijk 15
3.3 Australië 16
3.4 Verenigde Staten 17
3.5 Japan 18
3.6 Internationale vergelijking 20
4 Technische opties voor KV-netbescherming 21
4.1 GridShield 22
4.2 Real Time Interface v2 24
4.3 NextGen Slimme meter + HEMS 24
4.4 Duitsland - §14a 25
4.5 Verenigd Koninkrijk - PAS 1878/1879 26
4.6 Aggregator route 27
4.7 IEEE 2030.5 – CSIP / Rule 21 29
5 Scoring 31
5.1 GridShield 31
5.2 Real Time Interface 33
5.3 Ingrijpen via de NextGen slimme meter + HEMS 35
5.4 Het Duitse voorbeeld – Paragraaf 14a 36
5.5 Het VK-voorbeeld – PAS 1878/1879 37
5.6 Aggregator route – assets/HEMS aansturen (incl. CPOs) 38
5.7 Score vergelijking 41
6 Advies en reflectie 44
6.1 Technische randvoorwaarden voor netbescherming bij kleinverbruikers 44
6.2 Technische voorkeur: HEMS 45
6.3 Technisch ontwikkelpad 45
7 Conclusies en aanbevelingen 50
7.1 Conclusies 50
7.2 Aanbevelingen 51
7.3 Standaardisatie 52

Referenties 54

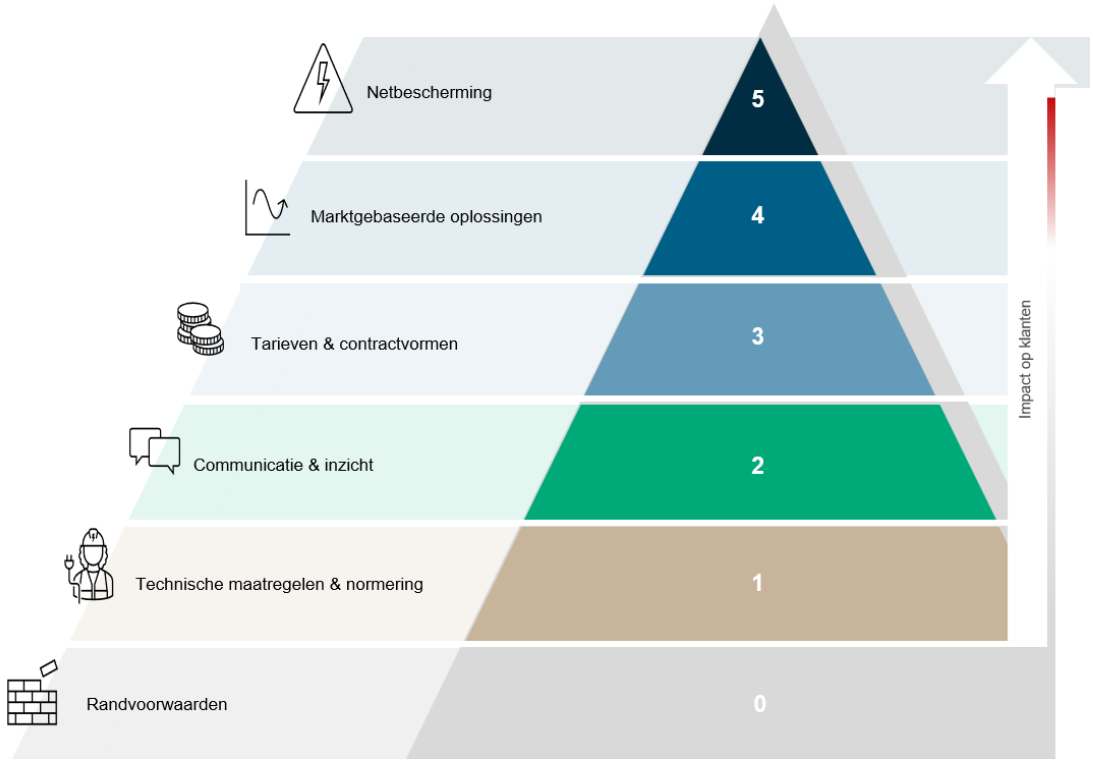
Bijlagen
Bijlage A: Uitgebreide scoring maatregelen 56
Bijlage B: Verdiepende analyse 59
Bijlage C: Technische implicaties KV-netbescherming en marktmechanisme 63

1 Inleiding

Het elektriciteitssysteem in Nederland heeft op sommige momenten te maken met krapte in de mate waar stroom geleverd en terug-geleverd kan worden aan het systeem. Deze krapte, netcongestie, kan leiden tot overbelasting van het net met lokaal of regionaal stroomuitval als gevolg. Door het verminderen en verplaatsen van netgebruik tijdens drukke momenten, zorgen we voor een beter benut stroomnet en minder kans op storingen. In dit rapport bieden we inzichten in de opties die er bestaan voor netbescherming bij kleinverbruikers (KV's) – oftewel het netgebruik tijdelijk, verplicht te verminderen om een stroomstoring te voorkomen.

Er zijn twee vormen van netbescherming: een verplicht vermogenskader en directe aansturing door de netbeheerder. In dit onderzoek is het **uitgangspunt dat netbescherming een vermogenskader is** voor een aansluiting of apparaat. Het niet opvolgen van een verplicht vermogenskader kan gevolgen hebben, die buiten scope zijn van dit onderzoek.

De netbeheerders werken hard aan oplossingen voor netcongestie, waaronder netverzwaring en beter benutten van het net.[1] Maatregelen voor het beter benutten van het net zijn beschreven in de flexpiramide van het Landelijke Actieprogramma Netcongestie (LAN), Figuur 1.1. Netbescherming is de laatste maatregel om de netbelasting lokaal te verminderen om een stroomstoring te voorkomen.



Figuur 1.1: De flex-piramide van het Landelijke Actieprogramma Netcongestie (LAN)

[1] Het Landelijke Actieagenda Netcongestie actielijn 'Sneller bouwen' werkt aan manieren om netverzwaring te versnellen, de actielijn 'Beter benutten' werkt aan onderwerpen zoals flexibiliteit en netbescherming.

Dit rapport heeft als doelstelling om inzichten te bieden in de opties die er bestaan voor netbescherming bij kleinverbruikers: KV-netbescherming – oftewel tijdelijk verplichte vermogenskaders om het elektriciteitsnet te beschermen. Eerder stond dit bekend onder de namen ‘Technisch Vangnet’ en ‘Flexibele Backstop’. Het rapport richt zich aan beleidsmakers, netbeheerders en professionals die werken aan netcongestie en overbelasting van het laagspanningsnet (LS-net). In de analyse zijn met name de technische aspecten van deze opties meegenomen. In andere lopende onderzoeken van het LAN worden onder andere de juridische aspecten, het toepassingskader en de noodzaak voor KV-netbescherming belicht.

1.1 Doelstelling van KV-netbescherming

Het doel van KV-netbescherming is om **stroomstoringen te voorkomen**. Dit onderzoek richt zich op de inzet van netbescherming bij kleinverbruikers (KVers) en met name particulieren, omdat dit een andere aanpak vraagt dan bij grootverbruikers en bedrijven - waar de netbeheerders meer mogelijkheden hebben om contractuele afspraken te maken.

Netbeheerders verwachten een toename in het aantal momenten en hoogte van gelijktijdigheid in netgebruik door o.a. netintensieve apparaten bij kleinverbruikers. Dit komt door zowel grootschaligere adoptie als door toenemende reactie op marktprikkels van deze apparaten. Via verschillende instrumenten die in het LAN worden ontwikkeld zal het netgebruik worden beïnvloed om deze pieken te beperken. Denk daarbij aan bewustwording, normeringen, de introductie van tijdgebaseerde KV-tarieven én marktgerichte oplossingen.

De netbeheerders verwachten situaties waarbij onvoldoende (vrijwillige) flex-liquiditeit en/of onvoorspelbaarheid van veranderlijke (markt)situaties leiden tot overbelastingen op het stroomnet [1]. In de gevallen waar generieke en marktgebaseerde instrumenten niet genoeg effect bereiken is het belangrijk dat onhoudbare situaties door overbelasting worden beheerst om stroomstoringen én blijvende schade aan het stroomnet te voorkomen.

Op dit moment is het laatste redmiddel afschakeling via op afstand bedienbare netelementen zoals een hoog- of middenspanningsstation en/óf automatisch afgaande beveiligingen in het stroomnet. Beide net-gebaseerde instrumenten leiden tot ingrijpend comfortverlies bij kleinverbruikers vanwege volledige uitval van stroom.

Door in dergelijke noodsituaties kleinverbruikers **tijdelijk** limieten voor hun netgebruik op te leggen wordt ingrijpend comfortverlies bij kleinverbruikers als gevolg van stroomstoringen zoveel mogelijk voorkomen. Onder de noemer ‘KV-netbescherming’ wordt onderzocht via welke route een dergelijke tijdelijke noodoplossing kan worden geïntroduceerd. Dit onderzoek naar technische opties is daar onderdeel van.

Gelaagde (indirecte) netcongestie
Lokale stroomstoringen kan een gevolg zijn van een lokale overbelasting. Het kan ook een gevolg zijn van gelaagde netcongestie waar de cumulatieve belasting van meerdere laagspanningsnetten tot overbelasting op hogere netvlakken leidt. Het is de verwachting dat er in de komende jaren overbelasting kan optreden op middenspanningsstations (HS/MS-stations) waardoor alle onderliggende LS-net zullen uitvallen – mits er niets veranderd in de piekbelasting. De risico op overbelasting geldt zowel in de zomer door invoeding (zonnepanelen), als in de winter door afname.

Naast het voorkomen van stroomstoringen kan KV-netbescherming leiden tot efficiënter gebruik van het net door dichter op de technische grens te sturen met minimaal risico op

stroomuitval bij consumenten. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld meer klanten worden aangesloten in afwachting op netverzwaring.

Normering, autonoom regelen, en communicatie met gebruikers
In de flex-piramide vormen communicatie met de gebruikers, en autonoom regelen de basis. Autonoom regelen kan bijvoorbeeld via normeren en standaardisatie van installaties. Denk bijvoorbeeld aan laadpalen met een standaardinstelling dat beperkt wordt geladen tussen 17 en 21 u, tenzij de gebruiker er bewust om vraagt. Hierbij kan de (avond)piek en behoefte van KV-netbescherming verlaagd worden. Deze basis geeft echter geen zekerheid op het realiseren van de benodigde piekvermindering. Normeren, communicatie en tarieven zijn dus belangrijke aspecten om stroomstoringen te voorkomen, maar geen onderdeel van dit onderzoek. Wij kijken naar het technische onderdeel van het topje van de piramide: het verbruik of teruglevering van stroom gedeeltelijk beperken, om op die manier de kans op een stroomstoring te voorkomen.

1.2 Definitie KV-netbescherming

De definitie van netbescherming bij kleinverbruikers opgesteld door KGG en de netbeheerders in het LAN is:

- Netbescherming in brede zin zijn maatregelen om het net veilig te houden in noodsituaties wanneer marktgebaseerde instrumenten onvoldoende effect sorteren.
- Het doel van KV-netbescherming is om storingen, schade aan het elektriciteitsnet en/of afschakeling van klanten te voorkomen in noodsituaties.
- KV-netbescherming is in potentie een instrument waarbij de netbeheerder tijdelijk verplichte vermogenskaders oplegt aan kleinverbruikers om het elektriciteitsnet te beschermen.

1.3 Vereisten van netbescherming bij kleinverbruikers

In dit rapport worden technische opties voor KV-netbescherming geanalyseerd. Het uitgangspunt is om al ver ontwikkelde opties te onderzoeken die meest kansrijk zijn op snelle implementatie. In andere onderzoeken door LAN worden de juridische aspecten, de noodzaak en het toepassingskader onderzocht. Dit onderzoek hanteert de volgende eisen en uitgangspunten voor de technische oplossing:

- Betrouwbaarheid: het is de laatste optie om overbelasting te voorkomen, zonder netdelen (en gebruikers) af te schakelen.
- Eerlijkheid en proportionaliteit: een verplicht mechanisme moet voor zo ver mogelijk eerlijk zijn en gelijk voor alle consumenten.
- Werken voor zowel invoeding als afname.
- Werken voor gelaagde netcongestie[2].

KV-netbescherming is een instrument die tijdelijke, verplichte vermogenskaders oplegt aan kleinverbruikers. De technische invulling daarvan moet een uniforme oplossing zijn zodat alle kleinverbruikers op dezelfde manier worden behandeld, en het duidelijk is aan welke eisen zij moeten voldoen. Het is *niet* wenselijk dat consumenten zelf aan knoppen moeten draaien om het verplichte signaal op te volgen. Een geautomatiseerde, ontzorgende technische invulling is wenselijk. Het is verder wenselijk dat het eerlijk toepasbaar is: dat iedereen met hetzelfde

[2] Gelaagde netcongestie is dat de cumulatieve belasting van meerdere laagspanningsnetten tot overbelasting op hogere netvlakken leidt.

soort apparaat zich aan dezelfde regels moet houden – om het probleem van ‘retro-fitting’ te voorkomen (de oplossing werkbaar maken voor apparaten verkocht in het verleden) kan er besloten worden dat de verplichting geldt voor een aansluiting als geheel of voor apparaten verkocht na een bepaalde datum. Het is aan beleidsmakers om uitzonderingen te maken.

Dat KV-netbescherming óók een functie kan hebben als extra veiligheid voor het net tegen o.a. (cyber)aanvallen is in dit onderzoek niet een speerpunt. Het wordt wel meegenomen als een pluspunt in de analyse. Het introduceren van nieuwe veiligheidsrisico’s in ongewenst.

2 Wat onderzoeken we en hoe?

2.1 Doel van het onderzoek

KV-netbescherming is in dit onderzoek gedefinieerd als een mechanisme om stroomstoringen te voorkomen, door tijdelijk verplichte vermogenskaders op te leggen. Dit rapport heeft als doelstelling om inzichten te bieden in de technische opties voor KV-netbescherming bij kleinverbruikers. De focus ligt op netintensieve apparaten die veel voorkomen bij aangeslotenen op het laagspanningsnet. Dit zijn zonnepanelen, warmtepompen, laadpalen en batterijen. Ook de rol van een Home Energy Management Systemen (HEMS) wordt inzichtelijk gemaakt.

2.2 Onderzoeksvragen

Middels kwalitatief onderzoek beantwoorden we de volgende onderzoeksvragen:

1. Welke doelstelling heeft KV-netbescherming, en welke eisen (o.a. technisch) komen daaruit voort waar een toekomstige oplossing aan moet voldoen?
2. Welke mechanismes kunnen invulling geven aan KV-netbescherming?
3. Hoe werken de verschillende mechanismes technisch?
   a. Wat zijn de technische eisen? (Hardware & software)
   b. Wat zijn de communicatie-eisen?
   c. Welke overige eisen zijn er om het mechanisme te laten werken (bijvoorbeeld: register van slimme apparaten, near real time voorspelling netbelasting)
4. Wie heeft welke rol bij de verschillende mogelijke invullingen aan KV-netbescherming?
5. Op welke apparaten kunnen de verschillende mechanismes van toepassing zijn?
6. Hoe scoort elk van de verschillende mechanismes op de aspecten:
   a. Impact op comfort: in welke mate wordt het comfort van de consument geraakt door het mechanisme? Welke autonomie heeft de consument om zelf te bepalen hoe die invulling geeft aan een KV-netbeschermingsmaatregel?
   b. Effectiviteit: Hoe effectief kan het mechanisme bijsturen in vraag of aanbod van elektriciteit? Werkt het in potentie ook op de hogere netvlakken of alleen op laagspanningsniveau?
   c. Betrouwbaarheid: Tegen welke situaties beschermt het mechanisme? Hoe effectief is het mechanisme dan?
   d. Implementatie van het mechanisme:
      i. Hoever is de technologie van het mechanisme in de ontwikkeling?
      ii. Hoe makkelijk is het mechanisme technisch te schalen? In getalen en functionaliteit zonder kwaliteitsverlies
      iii. Wat is de inschatting van de (maatschappelijke) acceptatie??
      iv. Hoe makkelijk is dit landelijk fysiek uit te rollen?
      v. Hoe makkelijk is dit te implementeren bij netbeheerders, marktpartijen, consumenten, apparaatproducenten en overige partijen?
   e. Veiligheid:
      i. Onder welke omstandigheden blijft het mechanisme werken?

   ii. Welke risico's creëert het mechanisme op het gebied van cyber security en op de stabiliteit van het net? (Communicatiestoring/hack)
   f. Privacy: Welke gegevensuitwisseling is nodig? Wat is impact daarvan op privacy?
   g. Betaalbaarheid: Wat zijn de implementatiekosten?
7. Worden er al vergelijkbare mechanismes in het buitenland toegepast en zo ja, welke zijn dit, wat zijn ervaringen bij de inzet van het mechanisme en hoe past deze invulling op de Nederlandse situatie? (In ieder geval Duitsland)

2.3 Scope

Dit onderzoek focust op technische varianten voor KV-netbescherming en de voor- en nadelen daarvan. In andere onderzoeken van het LAN worden de juridische aspecten, het toepassingskader en het probleem verder geanalyseerd. In het toepassingskader (buiten scope van dit onderzoek) moeten maatschappelijke keuzes worden gemaakt zoals onder welke omstandigheden KV-netbescherming geactiveerd mag worden.

Dit onderzoek is niet een kwantitatieve of modelmatige analyse van de verschillende varianten, maar beoogd kwalitatief inzicht te verkrijgen in wat nodig is om verschillende varianten te implementeren en wat hiervan de voor- en nadelen zijn.

De focus is op kleinverbruikers op het laagspanningsnet, met name particulieren.

Buiten scope zijn:
- Aansluitingen op het midden- en hoogspanningsnet.
- Grootverbruikersaansluitingen.
- Vrijwillig en marktgebaseerde flexibiliteit.
- Kwantitatief modellering of analyse.
- Analyse van juridische aspecten en maatschappelijke impact.
- Analyse van nettarieven.

2.4 Onderzoeksaanpak

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden hebben we een literatuuronderzoek gedaan en tien interviews gehouden met experts. De LAN Werkgroep Netbescherming is meerdere keren als klankbordgroep geraadpleegd.

Na een initiële inventarisatie van geschikte technische opties is samen met KGG en de LAN besloten welke alternatieven verder onderzocht zou worden. Deze zijn beschreven, kwalitatief geanalyseerd en gescoord. De methodologie voor de scoring is afgestemd met KGG en LAN en beschreven in Bijlage A. De scoring is gecheckt door deelnemende experts en de LAN Werkgroep Netbescherming. Tot slot is er een analyse en advies gedaan van hoe er invulling gegeven kan worden aan KV-netbescherming om stroomstoringen te voorkomen in de komende jaren.

2.5 Leeswijzer

Dit rapport biedt beleidsmakers, netbeheerders en professionals inzicht in de technische opties voor netbescherming bij kleinverbruikers. In de inleiding is de context van het onderzoek en uitgangspunten van het onderzoek uiteengezet. Vervolgens worden in Hoofdstuk 2 de centrale onderzoeksvragen, de scope en de methodologie besproken.

Hoofdstuk 3 richt zich op internationale voorbeelden en beschrijft hoe andere landen omgaan met KV-netbescherming en netcongestie. Daarbij is er speciale aandacht voor relevante regelgeving en technische oplossingen in Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Australië, de Verenigde Staten en Japan.

De beschrijving van verschillende technische mechanismen volgt in Hoofdstuk 4. De onderzochte opties zijn: GridShield, Real Time Interface v2, de NextGen slimme meter, Aggregator Route en de opties uit Duitsland en VK. Elk mechanisme wordt schematisch toegelicht.

De analyse van de technische mechanismen voor KV-netbescherming is te vinden in Hoofdstuk 5. De onderzochte mechanismen zijn kwalitatief beoordeeld en gescoord op aspecten als comfort, effectiviteit, implementatie, veiligheid, privacy en betaalbaarheid. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabellen, zodat een vergelijking eenvoudig mogelijk is. De uitgebreide scoring van de maatregelen en een toelichting op de gehanteerde beoordelingscriteria is te vinden in Bijlage A.

Hoofdstuk 6 biedt advies op de technische invulling van KV-netbescherming. We presenteren de zienswijze van TNO op de technische randvoorwaarden waaraan KV-netbescherming voor kleinverbruikers zou moeten voldoen. Vervolgens schetsen we een technisch voorkeursbeeld en een mogelijk technisch ontwikkelpad.

Tot slot worden de belangrijkste inzichten samengevat in Hoofdstuk 7, en worden concrete aanbevelingen gedaan voor beleid en praktijk.

3 Internationale voorbeelden

Buiten Nederland speelt netcongestie ook een rol, waar er duidelijke verschillen bestaan in de aanpak van verschillende landen om hier zowel preventief als reactief mee om te gaan. In dit hoofdstuk analyseren we netcongestie in vijf landen in de context van KV-netbescherming. Hierbij worden niet alleen de maatregelen besproken die enkel KV-netbescherming bewerkstelligen. We beschrijven ook maatregelen die momenteel gebruikt worden voor het beïnvloeden van consumptiegedrag aan de hand van prijsprikkels omdat aspecten daarvan relevant is voor KV-netbeschermingsmaatregelen.

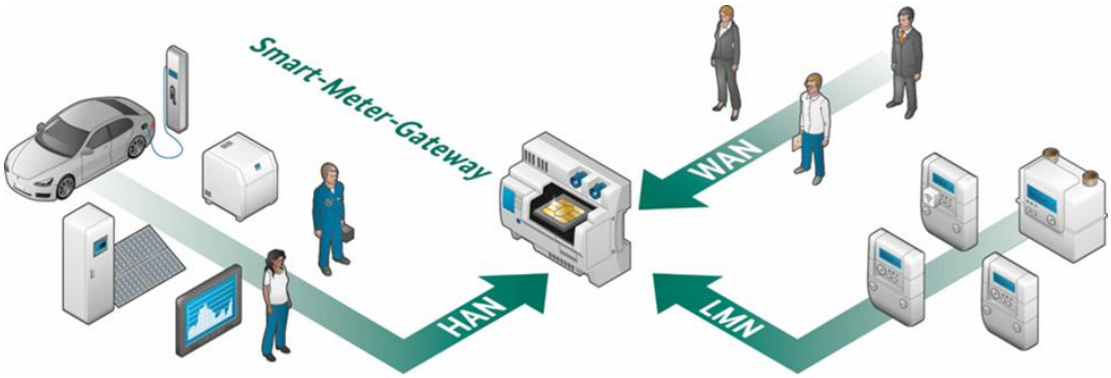
3.1 Duitsland

De Bundesnetzagentur is de Duitse toezichthouder op onder meer het nationale elektriciteitssysteem en heeft in 2024 paragraaf 14a van de Energiewirtschaftsgesetz (EnWg) bewerkstelligd. Deze wet schrijft voor dat alle huishoudelijke apparaten met een vermogen boven 4,2 kW moeten worden geïnstalleerd met de mogelijkheid om van een afstand aangestuurd te worden. Op het gebied van regelgeving speelt Duitsland hiermee een leidende rol in de implementatie van controlemaatregelen in laagspanningsnetwerken [2].

Als compensatie voor het regelbaar maken van de apparaten die boven de vermogenslimiet vallen, ontvangen huishoudens lagere netwerkkosten. Deze compensatie kan verschillende vormen aannemen, zoals een vaste jaarlijkse korting of een korting gebaseerd op daadwerkelijk stroomverbruik. Verder is het op grond van paragraaf 14a verboden voor de DSO om nieuwe aansluitingen te weigeren of uit te stellen. In plaats hiervan moet de DSO eventuele overbelasting beheren door flexibele belasting op het net te beperken.

Het ontwerp van de controlemaatregel ligt in lijn met de algemenere ontwerpkeuzes die gemaakt zijn binnen de wet op de digitalisering van de energiesector (“Wet op de herstart van de digitalisering van de energietransitie”). Deze wet stelt vanaf 2025 een verplichting op de installatie van slimme meter voor consumenten met een verbruik vanaf 6 000 kWh per jaar of installaties met meer dan 7 kW vermogen. De wet beschrijft verder dat tegen 2032 slimme meters de standaard moeten zijn in alle huishoudens en bedrijven in Duitsland [3].

Verder is het ontwerp grofweg op te delen in drie aparte componenten die ieder aparte functionaliteiten realiseren. Het eerste component is een digitale (‘slimme’) meter. Hiermee is het aflezen en monitoren van energieverbruik inzichtelijker. Het tweede component is een ‘Smart Meter Gateway’ systeem. Dit component verzorgt de communicatie tussen de informatie in de digitale meter en andere (markt)partijen, en is te zien in Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Communicatiemogelijkheden van de Smart-Meter-Gateway [4].

Zoals te zien in de figuur is er sprake van drie aparte communicatieverbindingen. De Local Metrological Network (LMN) verbindt de Smart-Meter-Gateway met de digitale meter. De Wide Area Network (WAN) verzorgt de communicatie met externe partijen. De Home Area Network (HAN) integreert de Smart-Meter-Gateway in het lokale netwerk waarbij het mogelijk gemaakt wordt voor consumenten om toegang te verkrijgen tot verbruiksdata en additioneel eventueel ook het home energy managementsysteem (HEMS). Het laatste component, de *Steuerbox*, is een gestandaardiseerde module die stuursignalen van de Smart-Meter-Gateway omzet naar signalen die gecommuniceerd kunnen worden naar (slimme) apparaten.

In de praktijk verloopt de implementatie in Duitsland minder spoedig dan beoogd, en is het onduidelijk of de doelen voor 2025 en 2032 behaald zullen worden. De hoeveelheid geïnstalleerde apparaten was eind 2024 ingeschat op ongeveer veertien procent van de hoeveelheid nodig om de doelstelling van 2025 te halen [5]. Dit komt voornamelijk door een tekort aan personeel, al is er ook vertraging vanwege ontwerpkeuzes voor interoperabiliteit met andere systemen zoals verschillende soorten HEMS.

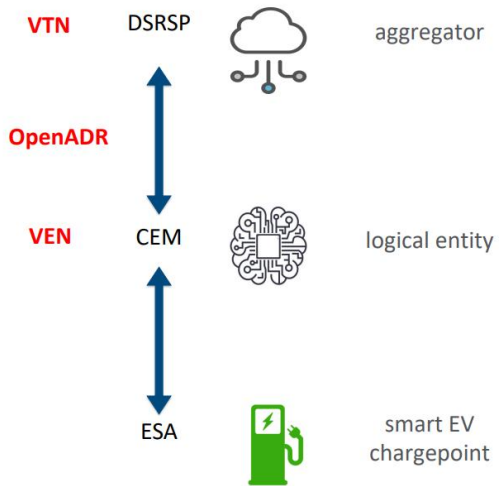
3.2 Verenigd Koninkrijk

In het Verenigd Koninkrijk (VK) wordt de mogelijkheid om netcongestie te verminderen via flexibiliteit van consumenten geacht als realistisch alternatief voor netverzwaring. Het VK richt zich hiermee meer op een marktgebaseerd mechanisme dan KV-netbescherming. De *UK Power Networks* (UKPN) is de grootste regionale netbeheerder in het VK en introduceerde deze optie sinds 2017 als strategie, met daarbij het ontwerp van de flexibiliteitsmarkten waar zij inmiddels mee werken [6].

Binnen het nationale ‘Smart Systems and Flexibility Plan 2021’ zijn er in het VK in 2021 specificaties ontworpen om te dienen als standaard en richtlijn voor de interoperabiliteit tussen apparaten. De Publicly Available Specifications (PAS) 1878 en PAS 1879 vormen hierbij het meest relevante beleid. Vergelijkbaar met Duitsland speelt in het VK de toezichthouder *Office of Gas and Electricity Markets* (Ofgem) de rol van het reguleren van het elektriciteitssysteem.

De PAS 1878 en PAS 1879 schrijven maatregelen voor die genomen kunnen worden om de hoeveelheid flexibiliteit op het laagspanningsnet te vergroten. De initiatiefnemers van deze maatregelen zijn doorgaans de nationale overheid in samenwerking met de British Standardisation Institute (BSI). Voorbeelden van maatregelen zijn de ontwikkeling en adoptie van energy smart appliances (ESA’s), waarbij industriële partijen tevens betrokken zijn.

De BSI heeft binnen dit kader (nog) geen standaard voorgesteld voor de interoperabiliteit van apparaten en hoe deze ingezet zouden kunnen worden om netcongestie te verhelpen. Dit zal vanaf 2026 verder uitgewerkt worden. Er bestaan echter wel al voorgeschreven standaarden, zoals de interactie tussen de apparaten en een *Consumer Energy Manager (CEM) gateway* en het gebruik van open *Application Programming Interfaces* (API) voor de communicatie tussen de CEM en de balanspartij en/of platform [7]. Zie als voorbeeld Figuur 3.2.



Figuur 3.2: Ontwerp volgens de PAS 1879 voor de communicatie tussen slim apparaat en balanspartij en/of platform. Hierbij staat VEN voor 'Virtual End Node' (een entiteit die OpenADR signalen kan ontvangen van een server) en VTN voor 'Virtual Top Node' (server die OpenADR signalen communiceert met verschillende entiteiten) [8].

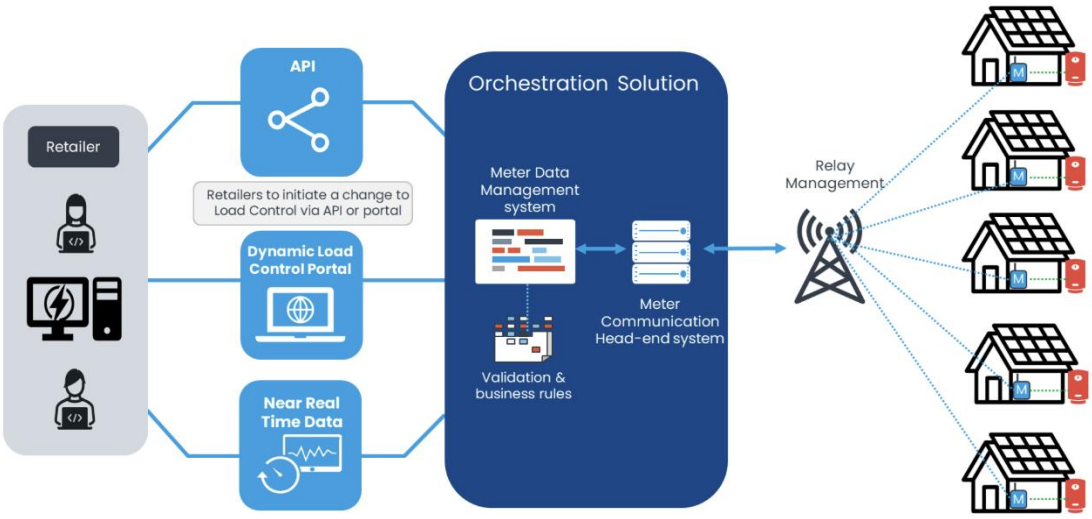
Een voorbeeld van een handelsplatform waar momenteel gebruik gemaakt wordt van de flexibiliteit van slimme apparaten is Piclo Flex. Dit is een platform waar *Flexible Service Providers* (FSPs) flexibiliteit kunnen bieden aan geïnteresseerde partijen zoals regionale netbeheerders. In de praktijk plaatsen de netbeheerders op dit platform tenders voor het inkopen van flexibiliteit waar deze FSPs vervolgens op kunnen bieden. Het is niet toegestaan voor eindgebruikers om zelf assets te registeren op het platform, het is echter wel mogelijk voor assetmanagers om de assets van eindgebruikers aan te bieden als flexibiliteitsoptie.

Zowel regionale netbeheerders (UK Power Networks, Electricity North West, SP Energy Networks, Northern Powergrid) als de TSO maken gebruik van dit platform, waarbij in 2023 1.1 GW aan flexibiliteitscapaciteit geregistreerd stond [9]. De marktgebaseerd oplossing zoals hierboven beschreven is in het VK hiermee groot én ontwikkeld genoeg om naar alle waarschijnlijkheid de komende jaren netcongestieproblemen te verminderen.

3.3 Australië

De *Australian Energy Market Commission* (AEMC) heeft in Australië de verantwoordelijkheid voor regelgeving in de nationale elektriciteitsmarkt. In deze rol verplicht de AEMC het gebruik van slimme metersystemen, met als doel om in 2030 alle huishoudens hiervan te voorzien. Eind 2024 stond het percentage van huishoudens met een slimme meter op grofweg 57 procent [10]. De technische eisen voor slimme metersystemen zijn gedefinieerd binnen de *National Electricity Rules* (NER). Hierbij staat centraal dat de slimme meters in staat zijn om op afstand te communiceren met andere systemen. Verder moet verbruiksdata gemonitord, opgeslagen en uitgewisseld kunnen worden [11].

In Australië zijn er verschillende pilots geweest om slimme apparaten in te zetten voor het verhelpen van netcongestie. Een project uit 2024 heeft onderzocht hoe elektrisch aangedreven warmte-leverende apparaten zoals warmtepompen aangestuurd kunnen worden met behulp van slimme meters [12]. Verder is er onderzocht hoe de vraagprofielen naar elektriciteit hiermee verschoven kunnen worden. Het ontwerp van het systeem waarvoor gekozen is gebaseerd op een *dynamic load control portal*, te zien in Figuur 3.3.



Figuur 3.3: Voorgesteld ontwerp energiemanagement binnen het pilotproject in Australië via de dynamic load control portal.

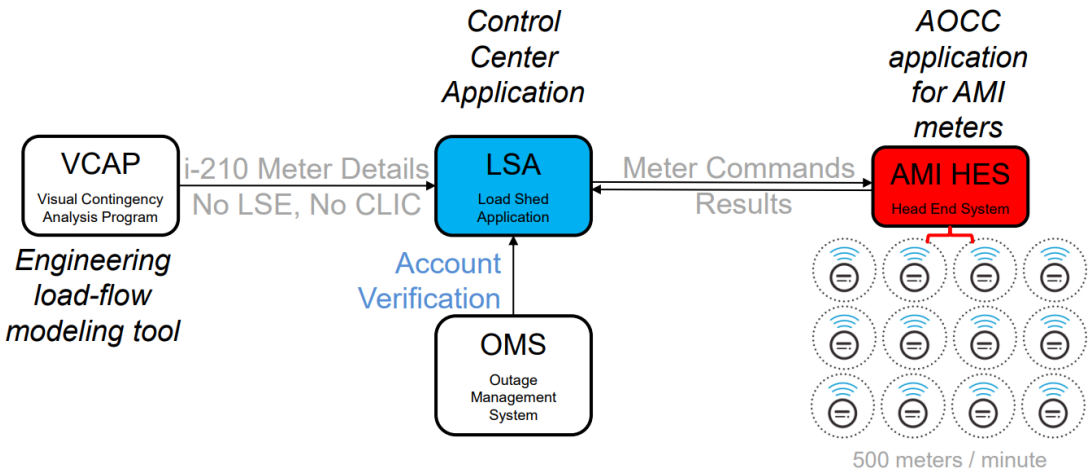
Voor het communiceren met de slimme meters is een API-oplossing ontwikkeld. Deze oplossing kan ingezet worden om automatisch verzoeken voor belastingverschuiving te behandelen via integratie met het energiemanagementsysteem. Verschillende data wordt gecommuniceerd via dit systeem, bijvoorbeeld historisch en huidig elektriciteitsverbruik, netwerktarieven en elektriciteitsprijzen. Verder wordt er informatie gemonitord zoals voltage (V), actief vermogen (W) en reactief vermogen (VAr). Uit de resultaten van de pilot blijkt dat het aansturen van slimme apparaten succesvol leidt tot het reguleren van onder andere voltage.

3.4 Verenigde Staten

De Verenigde Staten (VS) kampt net als Nederland met toenemende overbelasting op distributienetwerken. De Department of Energy (DoE) en de National Renewable Energy Laboratory (NREL) signaleren in gepubliceerde rapporten dat elektrificatie van regionale energiesystemen hinder kan ondervinden door de huidige capaciteit op laagspannings-netwerken [13]. Het verzwaren van de distributienetwerken in de VS kost naar schatting tussen 350 en 790 miljard Amerikaanse dollar [14]. Vanwege deze significante kosten worden momenteel alternatieven onderzocht. Non-Wires Alternatives (NWA) zijn investeringen in het elektriciteitssysteem die dienen als alternatieven voor traditionele netverzwaring.

Een voorbeeld van een NWA toepassing is het ‘Con Edison Outage Management and Smart City’ programma van Con Edison, een energieleverancier in New York City, Verenigde Staten. Binnen dit programma bestaat het initiatief ‘AMI Load Shedding’, waarbij AMI staat voor *Advanced Metering Infrastructure*. In dit initiatief is het mogelijk gemaakt om via slimme meters gericht af te schakelen. Via contractuele overeenkomsten is het hiermee mogelijk om

flexibiliteit te ontsluiten bij kleinverbruikers, zonder daarmee af te schakelen binnen het gehele gebied waar bijvoorbeeld ook cruciale diensten zoals ziekenhuizen vallen [15].



Figuur 3.4: Ontwerp van de data uitwisseling in het AMI Load Shedding initiatief [15].

In **Figuur 3.4** is een overzicht te zien van het ontwerp van de data uitwisseling in het AMI Load Shedding-initatief. De eindverbruiker is verbonden via een AMI Head End System (HES). De Visual Contingency Analysis Program (VCAP) en de Outage Management System (OMS) zijn verbonden met een Load Shedding Application (LSA), en communiceren de status van het distributienetwerk. De LSA is vervolgens in staat om met de AMI HES te communiceren om te sturen wanneer dit nodig is. Er is sprake van bi-directionele communicatie, waarbij de resultaten van de daadwerkelijke sturing terug gecommuniceerd worden aan de LSA. Dit is enkel één voorbeeld van een NWA-oplossing. De prognose voor totale investeringen in verschillende NWA-oplossingen in de VS bedraagt 580 miljoen Amerikaanse dollar in 2026 [16].

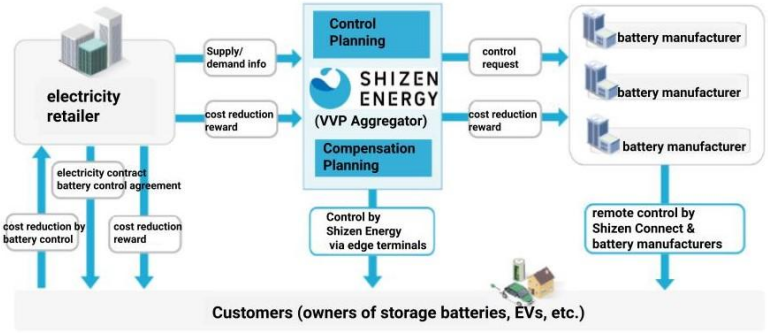
3.5 Japan

In Japan vallen de verantwoordelijkheden voor transmissie en distributie binnen dezelfde portefeuille, in plaats van TSOs en RNBs bestaan hier namelijk *Transmission & Distribution Operators* (TDOs) [17]. Binnen het nationale ministerie van economie, handel en industrie (経済産業省) bestaat een departement (agentschap voor natuurlijke grondstoffen en energie, 資源エネルギー庁) dat werkt aan beleid om slimme metersystemen van standaarden te voorzien en de integratie hiervan te kunnen bevorderen in bijvoorbeeld virtual power plants (VPPs).

Hervormingen in het Japanse elektriciteitssysteem, waaronder de Energy System Reform Roadmap stimuleren de integratie van VPP-systemen [18]. Afhankelijkheden van grondstoffen voor traditionele elektriciteitscentrales (gas, kolen) worden als significante risico's geacht. In combinatie met de grootschalige adoptie van zonnepanelen en elektrische auto's vormen VPPs een logisch alternatief. De prognose voor de geaggregeerde capaciteit van VPP-systemen in Japan voorspelt een toename van 1 GW in 2019 tot 12.6 GW in 2029, een jaarlijkse groei van 31.9% [19].

Ook op het laagspanningsnetwerk kunnen VPPs een belangrijke balanceerrol spelen. Pilots in distributiesystemen werken met systemen waar verschillende slimme apparaten

geaggregeerd worden in een VPP, waar vervolgens signalen mee uitgewisseld kunnen worden. In de Shizen Energy pilot is er gewerkt met een soortgelijk mechanisme [20].



Figuur 3.5: VPP-mechanisme in de Shizen Energy pilot voor distributienetwerk balancering [20].

Figuur 3.5 weergeeft het VPP-mechanisme in de Shizen Energy pilot. Zoals te zien in de figuur is er sprake van een communicatie van de energieleverancier naar de aggregator, van onder andere real-time prijzen voor elektriciteit. Vervolgens is de aggregator in staat om slimme apparaten aan te sturen. De ‘Shizen Connect’ in de figuur is onderdeel van een demonstratie van een VPP systeem van batterijen en elektrische voertuigen, specifiek voor het laagspanningsnetwerk [21].

3.6 Internationale vergelijking

In **Tabel 3.1** is een overzicht gegeven van de verschillende mogelijkheden voor KV-netbescherming uit de beschouwde internationale context. Deze verzameling van mechanismen zijn niet alomvattend, en dienen om te laten zien dat er veel verschillen bestaan in hoe landen omgaan met netcongestie en hoe hun oplossingen daarvoor technisch zijn ingericht. Ook is het belangrijk om te vermelden dat niet alle opties strikgenomen KV-netbescherming zijn, al zijn alle beschouwde mechanismen met enige aanpassingen in te zetten voor KV-netbeschermingsdoeleinden.

Tabel 3.1: Vergelijking van mechanismen uit de internationale context gebruikt voor verhelpen van netcongestie en mogelijk inzetbaar als KV-netbescherming

Mechanisme	Type	Voorbeeld (land)	Operator	Voordelen	Nadelen
Netverzwaring	Technisch	Allen	RNB	Deterministisch in capaciteitsverhoging -> je weet wat je krijgt	Hoge kosten / arbeidsintensief
Slimme apparaten	Technisch / wetgeving	Paragraaf 14a Energy Industry Act (Duitsland)	RNB	Gegarandeerde afschakeling	Invloed op autonomie van consument – impact op comfort
Slimme meter	Technisch / wetgeving	AEMC / NER via dynamic load control portal (Australië)	RNB	Gegarandeerde reductie	Invloed op autonomie van consument – impact op comfort
Lokale flexibiliteits-markten	Marktgebaseerd / technisch / wetgeving	PAS 1878/1879 (VK)	RNB en marktplatformen	Marktoptimale oplossing voor congestie verhelpen – lage kosten + participatie consument	Vereist voldoende flexibiliteit in pooling + geen garantie op voldoende afschakeling
NWA	Marktgebaseerd / technisch / wetgeving	Verenigde Staten	RNB en marktplatformen	In de praktijk lagere kosten dan netverzwaring	Geen standaard, overkoepelend principe en niet per se 1 techniek
VPP	Marktgebaseerd / technisch	Japan	Aggregator	(Gecontracteerde) pooling geeft meer zekerheid/inzicht in mogelijkheid afschakeling	Sterke afhankelijkheid aggregator (waarschijnlijk marktpartij)

Uit het overzicht valt op te maken dat het ontwerp van de KV-netbeschermingsopties uit de verschillende landen sterk beïnvloed zijn door de lokale context. Een NWA oplossing in de VS gaat gepaard met weinig standaardisatie, terwijl dit in het VK juist als nodig wordt geacht om lokale flexibiliteitsmarkten op te kunnen zetten. Verder zijn er in de technische ontwerpen van de mechanismen ook veel verschillen te zien. Een RNB verstuurt in vrijwel alle gevallen een signaal naar een systeem waaraan aansluitingen of apparaten verbonden zijn, maar het communicatieprotocol en de type signalen kennen hier geen overkoepelende standaard.

Het mechanisme in Duitsland en het Verenigde Koninkrijk worden meegenomen in de verdere analyse als opties die mogelijk kunnen werken in de Nederlandse context.

4 Technische opties voor KV-netbescherming

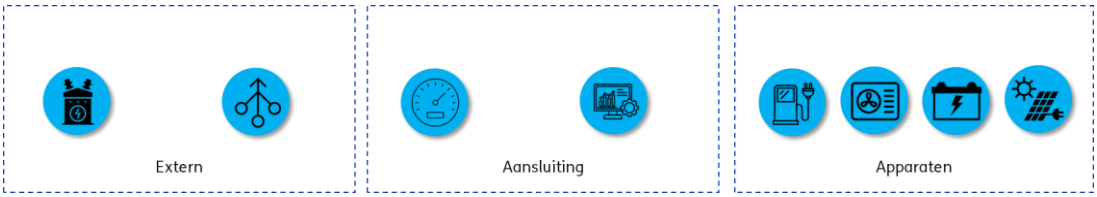
Na een initiële inventarisatie is samen met KGG en LAN besloten welke technische alternatieven onderzocht zou worden. Het uitgangspunt was om opties te onderzoeken die op korte termijn geïmplementeerd kunnen worden. Verder moeten ze kunnen werken voor zowel invoeding als afname, en voor gelaagde netcongestie. De technische werking van deze opties is beschreven in dit hoofdstuk.

Onderzochte mechanismen
De onderzochte opties zijn een mix van pilots voor KV-netbescherming, technieken die aangepast kunnen worden voor KV-netbescherming, en markmechanismen die in zijn geheel of elementen daarvan gebruikt kunnen worden voor KV-netbescherming.

- GridShield (netbescherming)
- Real Time Interface v2 (netbescherming, nu alleen op middenspanning)
- NextGen Slimme meter + HEMS (netbescherming)
- Duitsland - §14a (netbescherming)
- Verenigd Koninkrijk - PAS 1878/1879 (marktmechanisme)
- Aggregator route (marktmechanisme)
- IEEE 2030.5 – CSIP (netbescherming)

De marktmechanismen - VK, aggregator route, en RTI - moeten aangepast worden om echt als KV-netbescherming ingezet te worden. KV-netbescherming is een verplichte maatregel om het net fysiek te beschermen, terwijl marktgebaseerde oplossingen via prijsprikkels vrijblijvend zijn. In Hoofdstuk 6 gaan we verder in op het verschil tussen verplichte en vrijwillige opties en wat dat betekent voor de technische eisen.

Uitleg schematische weergave
Om de verschillen en overeenkomsten tussen de technische oplossingen inzichtelijk te maken, worden deze gemapped op een schematisch overzicht van de KV-netbeschermingsketen.



Figuur 4.1: Schematisch overzicht van de KV-netbeschermingsketen

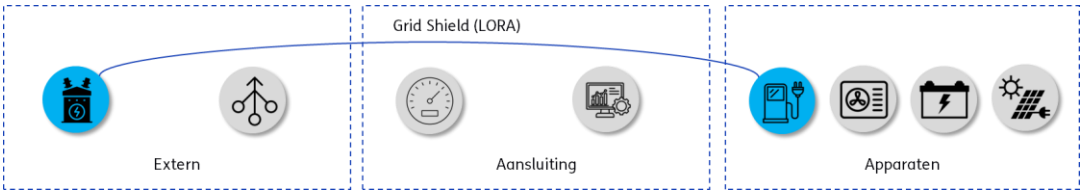
Figuur 4.1 laat zien welke componenten betrokken kunnen zijn bij het overbrengen van een stuursignaal vanaf de RNB, waar congestie wordt vastgesteld, tot aan de slimme net-intensieve apparaten die uiteindelijk de gevraagde flexibiliteit moeten leveren om congestie het hoofd te kunnen bieden.

In het schema worden de volgende symbolen gehanteerd:

	De Regionale Netbeheerder: RNB. Bij de RNB wordt eventuele netcongestie gedetecteerd en wordt besloten hoe hierop te reageren. KV-netbescherming is daarbij één van de mogelijke opties.
	Aggregator. Wanneer de aggregator onderdeel uitmaakt van de keten hoeft de RNB niet zelf met individuele aangeslotenen (of apparaten) te communiceren. De aggregator rol kan door diverse partijen worden ingevuld, bijvoorbeeld door een CPO, OEM, energieleverancier of een VPP.
	Slimme meter. De slimme meter maakt onderdeel uit van de infrastructuur van de RNB en bevindt zich tegelijkertijd in het domein van de aangeslotene. Hiermee vormt de slimme meter in beginsel een logisch ontvangstpunt voor een stuursignaal voor KV-netbescherming.
	Home Energy Management System: HEMS. Een HEMS coördineert het gedrag van slimme net-intensieve apparaten op een aansluiting. Als reactie op een KV-netbeschermingssignaal kan een HEMS bepalen wat de bijdrage van elk apparaat moet zijn.
	Laadpaal. Via een laadpaal kan het laden van een EV beïnvloed worden, bijvoorbeeld door het laden uit te stellen, het maximale laadvermogen te begrenzen of energie terug te leveren in het geval van V2Grid. Het is ook mogelijk dat een laadsessie rechtstreeks via de auto wordt aangestuurd.
	Warmtepomp. Een warmtepomp kan o.a. flexibiliteit leveren door warmte te bufferen in de thermische massa van een huis of in een buffervat voor tapwater.
	Thuisbatterij. Een thuisbatterij vervult geen functionele rol en is volledig gericht op het leveren van flexibiliteit en kan zowel flexibel zijn op afname als op invoeding
	PV-omvormer. Een PV-omvormer kan alleen begrensd worden op het maximaal te leveren vermogen.

Wanneer één van bovenstaande symbolen in het grijs worden weergegeven vormen zij geen onderdeel van een specifieke KV-netbeschermingsketen. De lijn tussen de componenten laat zien hoe de communicatie loopt.

4.1 GridShield



Figuur 4.2: GridShield keten, laadpaalvariant

Zoals weergegeven in Figuur 4.2 is GridShield een KV-netbeschermingsmechanisme waarbij een stuursignaal **rechtstreeks** vanuit de RNB naar een apparaat wordt gestuurd. In het pilot-project gaat het daarbij om laadpalen. Het kan ook aangepast worden om op andere apparaten te werken. Deze rechtstreekse link is één van de onderscheidende factoren van GridShield ten opzichte van de andere mechanismen die in dit hoofdstuk beschreven worden.

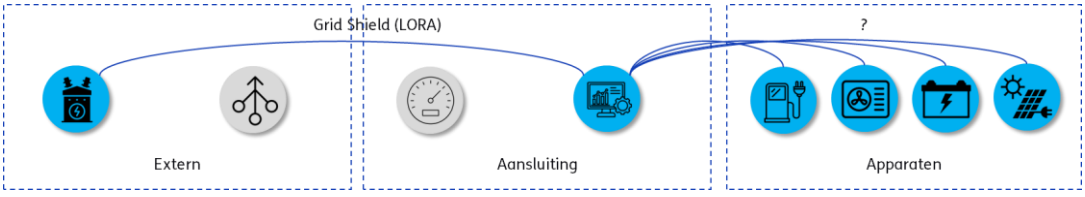
Een andere onderscheidende factor is dat GridShield expliciet als een **decentraal mechanisme** is ontwikkeld. De aansturing van GridShield vindt plaats op basis van metingen in een MSR (MiddenSpanningsRuimte, of LS-trafo). Wanneer lokale overbelasting dreigt plaats te vinden, wordt vanuit de MSR een signaal gestuurd naar de laadpalen die door deze MSR worden gevoed. Dit is een autonoom lokaal proces waarbij geen centrale aansturing door de RNB nodig is. De laadpalen reageren op dit signaal door hun vermogen af te schalen. Wanneer de metingen in de MSR laten zien dat dit onvoldoende effect heeft gehad, wordt opnieuw een signaal gestuurd om de laadpalen nog verder af te laten schalen totdat de belasting van de MSR weer binnen de normale operationele grenzen valt.

Dit afschalen en vervolgens weer opschalen gebeurt volgens het Additive Increase, Multiplicative Decrease algoritme (AIMD). Doordat het afschalen volgens dit algoritme via vermenigvuldiging gaat wordt er bij overbelasting snel ingegrepen. Het opschalen vindt incrementeel plaats, waardoor het laadvermogen weer relatief langzaam wordt opgehoogd om toch weer zoveel mogelijk van de beschikbare capaciteit gebruik te maken. Door dit snelle afschalen en het daarna weer langzaam opschalen worden oscillaties zoveel mogelijk beperkt.

Dit decentrale mechanisme is goed in staat om met directe congestie om te gaan, maar behoeft aanpassingen om ook voor het oplossen van indirecte (gelaagde) congestie ingezet te kunnen worden. Hiervoor is additionele communicatie tussen centrale RNB-systemen en de MSR's noodzakelijk.

GridShield maakt gebruik van LoRa (long range) radiosignalen voor de communicatie tussen de MSR en de laadpalen. Hierbij is de MSR de zender en de laadpaal de ontvanger. De werking van GridShield is daarmee afhankelijk van de installatie van hardware in de MSR en de individuele laadpalen. Elke paal moet uitgerust worden met een LoRa ontvanger en er moeten aanpassingen worden gedaan om het ontvangen signaal om te zetten in een daadwerkelijke reductie van het vermogen. De berichten die door de MSR worden verstuurd worden ondertekend met de private key van de MSR, zodat ontvangers met behulp van de public key van de MSR kunnen vaststellen dat dit bericht inderdaad van de MSR komt.

Wanneer GridShield ingezet gaat worden om naast de laadpalen ook de andere apparaat typen aan te sturen, dan zullen deze apparaten eveneens voorzien moeten worden van bovengenoemde aanpassingen. Om dit te voorkomen is er een alternatieve variant van GridShield denkbaar waarbij er gebruik gemaakt wordt van een HEMS (zie Figuur 4.3).



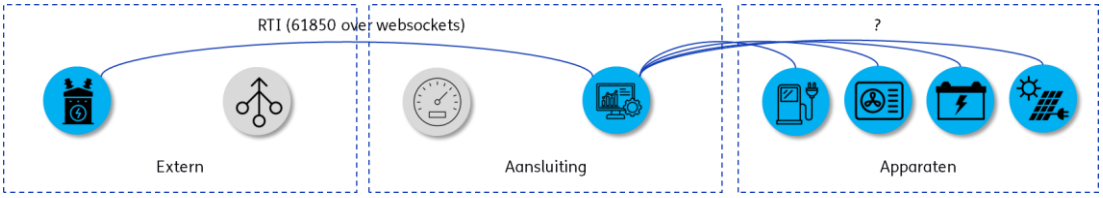
Figuur 4.3: GridShield keten HEMS variant

In dit geval wordt alleen de HEMS uitgerust met een LoRa ontvanger om het stuursignaal van de MSR te kunnen ontvangen. De HEMS kan vervolgens de apparaten achter de meter met een ander protocol aansturen om zo tot de gevraagde reductie in vermogen te komen.

4.2 Real Time Interface v2

De Real Time Interface (RTI) is als KV-netbeschermingsinstrument al in gebruik op middenspanningsnet. Via de RTI kunnen vermogenslimieten naar de aangeslotene (zoals bijvoorbeeld wind- of zonneparken) gecommuniceerd worden. Aangeslotenen zijn verplicht om zich aan deze limieten houden. De basis voor deze verplichting is gelegen in de Europese netcode Requirements for Generators (RfG) en geldt voor opwekkers met een vermogen van 1 tot 50 MW.

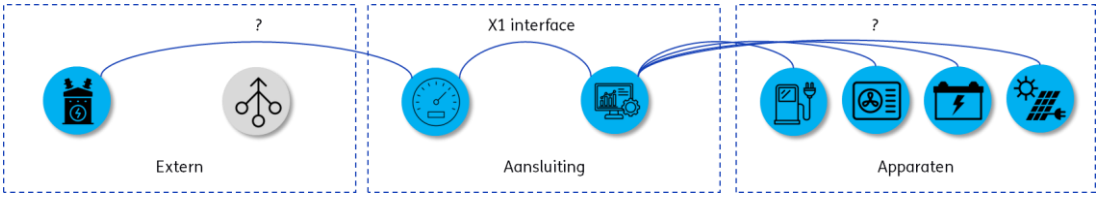
De huidige versie van de RTI bestaat uit twee fysiek endpoints, één voor de aangeslotene en één voor de netbeheerder. Deze endpoints worden op de locatie van de meter verbonden met een fysieke ethernetkabel. Via de kabel vindt communicatie plaats tussen de twee endpoints volgens het IEC-61850 protocol. Deze versie van de is RTI te kostbaar en onvoldoende schaalbaar om als basis te kunnen dienen voor KV-netbescherming op het laagspanningsnet.



Figuur 4.4: Real Time Interface v2 voor laagspanning

Er wordt door Netbeheer Nederland echter ook gewerkt aan een internet gebaseerde versie: RTI v2. Deze zou ook voor laagspanning kunnen worden toegepast (zie Figuur 4.4). Voor RTI v2 worden dezelfde (IEC 61850) berichtdefinities gehanteerd als voor v1.1, maar deze worden via internet (over een websocket verbinding) van de RNB naar een Energie Management Systeem (EMS) op de aansluiting gestuurd. De communicatie van het EMS naar de assets (middenspanning) is niet vastgelegd en biedt dus ook geen houvast voor het inrichten van de communicatie tussen een (H)EMS en slimme net-intensieve apparaten wanneer de RTI v2 naar laagspanning “vertaald” wordt.

4.3 NextGen Slimme meter + HEMS



Figuur 4.5: NextGen Slimme meter

De slimme meter is het ontkoppelpunt tussen de infrastructuur van de RNB en de aangeslotene en is daarmee een logische plek voor het afleveren van een KV-netbeschermingssignaal. Figuur 4.5 laat de keten zien met de NextGen slimme meter. De NextGen slimme meter kan echter geen apparaten aansturen en moet daarom altijd gecombineerd worden met een HEMS.

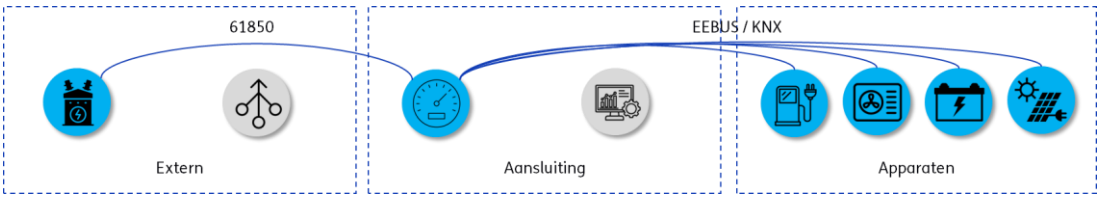
In de NextGen slimme meter is de P1 poort vervangen door de X1 interface. Dit is een kleine webserver op de slimme meter waardoor lokale systemen eenvoudig verbinding kunnen maken. In het geval van KV-netbescherming zou een stuursignaal beschikbaar gemaakt kunnen worden op de X1 interface waar het opgepakt kan worden door een (H)EMS die vervolgens de apparaten aan kan sturen.

Op dit moment is het echter niet voorzien dat er een stuursignaal van de head end systemen bij de RNB naar de slimme meter gestuurd kan worden. Ook gaat het door de geleidelijke uitrol van de NextGen slimme meter nog 10 tot 15 jaar duren voordat deze op voldoende schaal bij aangeslotenen geïnstalleerd zijn.

4.4 Duitsland - §14a

In Duitsland is §14a van de Energiewirtschaftsgesetz (EnWg) per 1 januari 2024 van kracht geworden. Dit is een praktijkvoorbeeld van een verplichte KV-netbeschermingsmaatregel. Aangeslotenen moeten aan §14a voldoen wanneer zij gebruik maken van één of meerdere van de volgende types apparaten: thuislader voor EV, warmtepomp, airconditioning en batterijopslag. Daarbij moet het piekvermogen van zo'n apparaat boven 4,2 kW uitkomen; kleinere installaties vallen niet onder §14a.

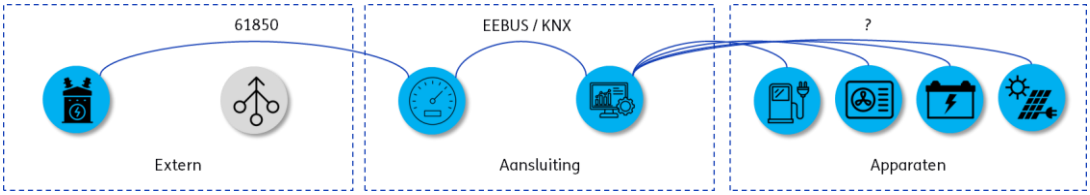
Er zijn twee varianten van §14a: de "Direktansteuerung" variant (waarbij het stuursignaal direct wordt doorgezet naar de individuele apparaten) en de "EMS" variant (waarbij een EMS bepaalt wat de bijdrage van elk apparaat moet zijn om aan het stuursignaal te voldoen).



Figuur 4.6: §14a - apparaat variant

Figuur 4.6 toont de apparaat variant waarbij het stuursignaal één op één wordt doorgezet naar de apparaten. Het mechanisme maakt gebruik van de slimme meter infrastructuur om een stuursignaal naar de aangeslotene te kunnen sturen. Hierbij maakt de RNB gebruik van het IEC 61850 protocol om het stuursignaal bij de aangeslotene af te leveren. In Duitsland is de slimme meter functionaliteit bij de aangeslotene verdeeld over meerdere apparaten: voor §14a wordt gebruik gemaakt van de "smart meter gateway" en de zogenaamde "steuerbox".

De steuerbox zet het signaal in deze variant direct door naar de apparaten. De apparaten moeten vervolgens op dit signaal reageren door het vermogen te beperken tot maximaal 4,2 kW. Het signaal wordt aan de apparaten doorgegeven middels het EEBUS-protocol of via KNX.



Figuur 4.7: §14a - EMS variant

De (H)EMS-variant (zie Figuur 4.7) is tot aan de steuerbox gelijk aan de apparaat variant. Daarna wordt het signaal aan een (H)EMS doorgegeven waarbij ook weer voor EEBUS of KNX gekozen kan worden. Bij de (H)EMS-variant wordt gekeken naar het totaal toegestane vermogen op de aansluiting. Het toegestane vermogen is afhankelijk van het aantal apparaten dat onder §14a valt.

Wanneer er bijvoorbeeld drie netintensieve apparaten zijn, mag voor het eerste apparaat 4,2 kW gerekend worden, terwijl er voor de overige twee apparaten een factor van 0,75 gehanteerd wordt. Het totaal toegestaan vermogen op de netaansluiting wordt hiermee:

4,2 kW + 2 x 0,75 x 4,2 kW = 10,5 kW

Het voordeel van een beperking voor de gehele aansluiting is dat de aangeslotene nu zelf kan bepalen hoe de beperking over de beschikbare apparaten verdeeld moet worden. Zo kan bijvoorbeeld PV opwek worden gebruikt om het extra verbruik van andere apparaten te compenseren.

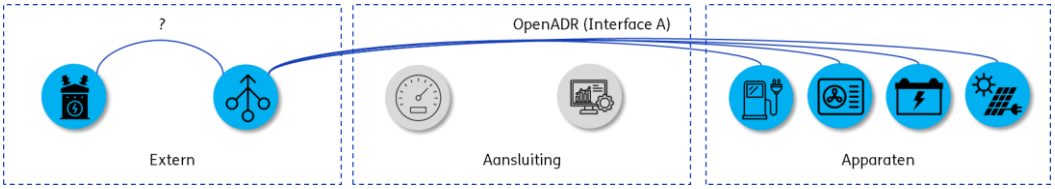
Voor de communicatie tussen (H)EMS en apparaten wordt geen specifiek protocol voorgeschreven.

Alhoewel §14a een wettelijke verplichting is, loopt de uitrol van de infrastructuur (zoals de Steuerbox) traag: momenteel is dit bij minder dan 5% van de aansluitingen geïmplementeerd.

4.5 Verenigd Koninkrijk - PAS 1878/1879

In het Verenigd Koninkrijk zijn in 2021 de PAS 1878 en 1879 gepubliceerd. PAS staat voor Publicly Available Specification en is vergelijkbaar met een Nederlands Technische Afspraak (NTA).

Alhoewel in de PAS documenten geen verplichte KV-netbescherming wordt gespecificeerd is het wel interessant om te kijken welke marktmechanismen voor congestie management door PAS 1878/1879 mogelijk worden gemaakt. De keten voor PAS 1878/1879 is weergeven in Figuur 4.8.

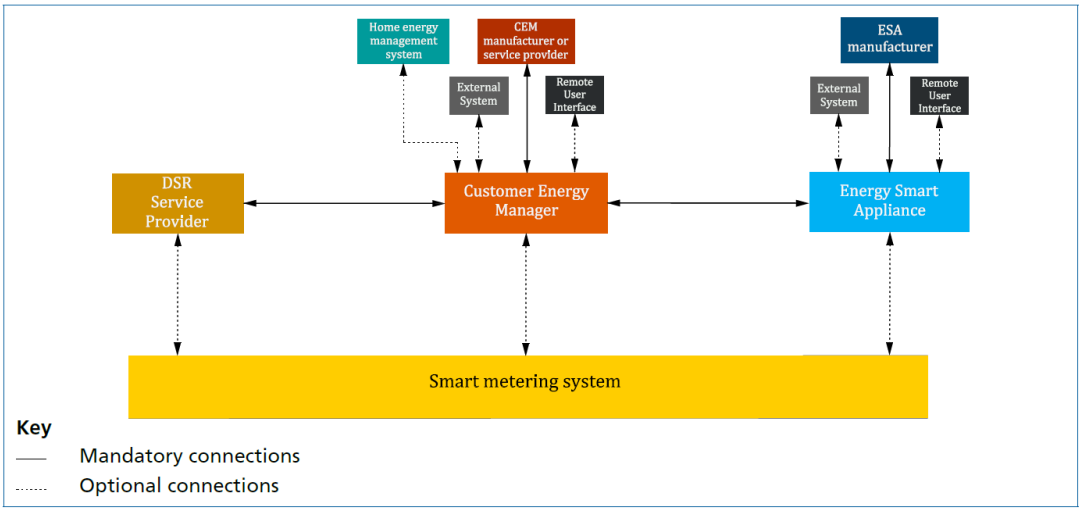


Figuur 4.8: PAS 1878/1879

De RNB kan congestiemanagementdiensten afnemen van een aggregator. In de PAS 1878/1879 wordt de aggregator aangeduid als Demand Side Response Service Provider (DSRSP). Er is geen protocol voor deze communicatie voorgeschreven.

De DSRSP stuurt vervolgens de Energy Smart Appliances (ESA) aan die tot zijn portfolio behoren. De ESA eigenaren kiezen zelf of en door welke DSRSP hun apparaten aangestuurd mogen worden.

Alhoewel Figuur 4.8 anders doet vermoeden worden de apparaten/ESA's niet rechtstreeks door de aggregator/DSRSP aangestuurd. Dit wordt duidelijk bij bestudering van de PAS 1878 architectuur (zie Figuur 4.9).



Figuur 4.9: Overzicht van de PAS 1878:2021 architectuur

Een ESA wordt vertegenwoordigd door een Customer Energy Manager[3] (CEM). Het is deze CEM die met de DSRSP communiceert middels het OpenADR protocol. Voor de communicatie tussen CEM en ESA worden geen specifieke protocollen voorgeschreven.

Opvallend aan de architectuur van PAS 1878 is dat er nauwelijks tot geen aandacht is voor een HEMS. De HEMS is dan wel opgenomen het architectuur plaatje, maar de communicatie is niet gespecificeerd. In de revisie van de PAS 1878 die eind 2025 of begin 2026 gepubliceerd zal worden is de HEMS zelfs helemaal weggelaten.

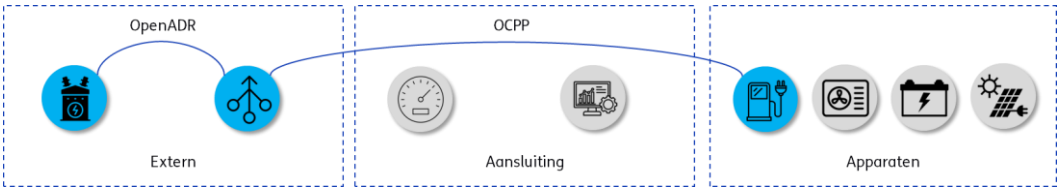
4.6 Aggregator route

Flexibiliteit ontsluiten via een aggregator is een vrijwillig marktmechanisme. Dit kan technisch ook ingezet worden om een KV-netbeschermingssignaal van de netbeheerders te sturen die verplicht opgevolgd zou moeten worden. Het uitgangspunt van onze analyse is in lijn met de definitie van KV-netbescherming van de netbeheerders: de verplichting ligt bij de aangeslotene, en deze kiest ervoor om een aggregator te gebruiken om te voldoen aan de verplichting.

In dit rapport wordt er onderscheid gemaakt tussen drie verschillende varianten om de KV-netbeschermingssignaal via een aggregator te communiceren: de *CPO-route*, *Aggregator naar apparaat* en *Aggregator naar HEMS*. Deze varianten zijn hieronder beschreven.

CPO-route (actieve low tech)
Bij deze variant (zie Figuur 4.10) wordt de aggregator rol ingevuld door een Charging Point Operator (CPO).

[3] De Customer Energy Manager komt ook terug in internationale standaarden. In de PAS 1878 is echter voor een afwijkende invulling van de CEM gekozen waardoor deze niet vergelijkbaar is met de internationale variant.

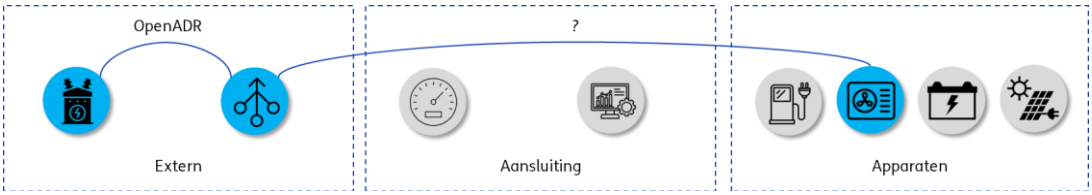


Figuur 4.10: CPO-route

De RNB stuurt een bericht naar de CPO met daarin het verzoek om het vermogen van laadpalen in een bepaald congestiegebied te reduceren. Voor deze communicatie wordt gebruik gemaakt van het OpenADR protocol. Deze laadpalen worden vervolgens door de CPO middels het Open Charge Point Protocol (OCPP) aangestuurd om deze reductie ook daadwerkelijk te realiseren.

Het voordeel van dit marktmechanisme is dat het gebruik maakt van de bestaande laad-infrastructuur/-architectuur en OCPP. Daarmee is dit mechanisme snel inzetbaar. Een nadeel is dat hiermee niet alle laadpalen worden afgedekt. Een deel van de thuislaadpalen wordt niet beheerd door een CPO en kan dus niet op deze manier aangestuurd worden.

Aggregator – apparaat
Deze variant is een generalisering van de CPO-route, waarbij elk type apparaat door een aggregator aangestuurd kan worden (zie Figuur 4.11).

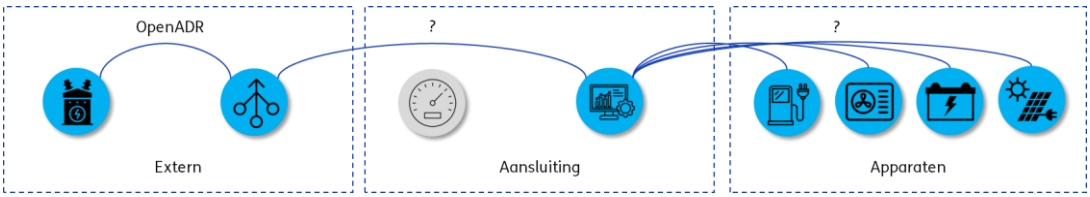


Figuur 4.11: Aggregator – apparaat variant

In dit geval blijft de communicatie tussen RNB en aggregator nog steeds plaatsvinden via OpenADR. De aggregator rol kan hier echter door uiteenlopende partijen worden ingevuld. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan OEM's, VPP's of energieleveranciers. Één van de scenario's zou kunnen zijn dat een warmtepomp fabrikant optreedt als aggregator en via zijn cloudomgeving in staat is om het vermogen van de warmtepompen binnen een bepaald congestiegebied te reduceren wanneer de RNB hier om vraagt.

Het protocol dat de aggregator gebruikt om de apparaten onder zijn beheer aan te sturen is niet gespecificeerd en mag ook proprietary zijn.

Aggregator – HEMS
De laatste variant binnen de aggregator route loopt via een HEMS (zie Figuur 4.12)



Figuur 4.12: Aggregator – HEMS variant

Bij deze variant stuurt de aggregator geen individuele apparaten aan, maar worden er eisen gesteld aan het totaal toegestane vermogen op de aansluiting. Deze eisen worden door de aggregator naar de HEMS gecommuniceerd die vervolgens de apparaten gecoördineerd aanstuurt om zo gunstig mogelijk invulling te geven aan de gestelde limieten.

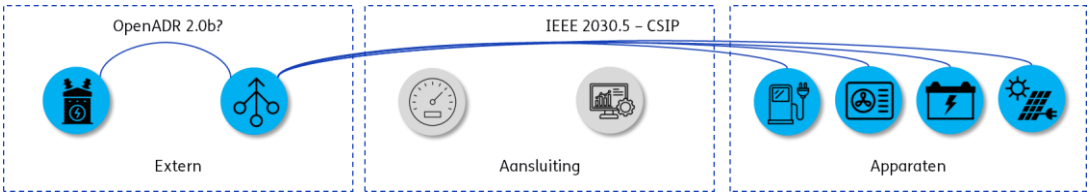
De protocollen die worden gebruikt tussen aggregator en HEMS en tussen HEMS en apparaten zijn niet nader gespecificeerd.

4.7 IEEE 2030.5 – CSIP / Rule 21

IEEE 2030.5 – CSIP stond niet op de originele afgestemde lijst met te onderzoeken protocollen/oplossingen voor KV-netbescherming. Doordat het pas later in dit onderzoek aan bod is gekomen, is IEEE 2030.5 dan ook niet meegenomen in de scores zoals die in hoofdstuk 5 beschreven worden. Dit protocol wordt echter wel als een relevante oplossing gezien op het gebied van KV-netbescherming en is om die reden dan ook opgenomen in dit overzichtshoofdstuk. De input voor deze paragraaf is aangeleverd door ElaadNL.

IEEE 2030.5 (voorheen Smart Energy Profile 2.0, SEP2) is origineel gemaakt door de ZigBee Alliance, bekend van het in-house smart device protocol. SEP2 is een doorontwikkeling van SEP1, wat gelimiteerd was tot het ZigBee protocol, naar een multi-protocol oplossing voor beveiligde, bi-directionele sturing.

De ZigBee Alliance heeft in 2013 SEP2 overgedragen aan de IEEE, waarna het protocol gepubliceerd is als “IEEE 2030.5 – Smart Energy Profile Application Protocol”.



Figuur 4.13: 4.7 IEEE 2030.5 – CSIP / Rule 21

Het protocol is sterk gegroeid toen het in 2016 door California verplicht werd gesteld voor alle nieuwe DER-apparaten, onder het zogenaamde “Rule 21”. Rule 21 is een besluit van de staatsoverheid over hoe er gecommuniceerd moet worden met slimme apparaten. Rule 21 kent twee niveaus van sturing en gebruikt daar respectievelijke OpenADR 2.0b (DSO -> Aggregator) en IEEE 2030.5 + CSIP (Aggregator -> Devices) voor.

Wat is CSIP
Common Smart Inverter Profile (CSIP) is een specificatie boven op IEEE 2030.5 en geen nieuw protocol. Het stelt bepaalde, specifieke eisen aan hoe delen van IEEE 2030.5 die of optioneel, of multi-interpretabel zijn, geïnterpreteerd moeten worden.

CSIP is opgezet om leveranciers van apparaten een duidelijke handleiding te geven van welke functionaliteiten binnen IEEE 2030.5 minimaal ondersteund moeten worden, en op welke manier.

De keten
IEEE 2030.5 + CSIP dient dus door zowel de apparaatleverancier als de Aggregator geïmplementeerd te worden en zit ‘as intended’ op dezelfde plek waar we ook Matter, ZigBee, EEBUS, S2, etc. zien.

Op technisch vlak maakt CSIP gebruik van XML als basis voor het berichtformaat en REST voor de communicatielaag. CSIP heeft onder andere functies voor vermogenslimitering, ramp rates, maar biedt ook frequentieondersteunende functies.

Implementatie
Implementeren is voor zowel aggregator als voor apparaat absoluut niet triviaal. Het gebruik van Mutual TLS (mTLS) stelt stevige eisen aan beide kanten en vereist de nodige rekenkracht. Voeg daar aan toe dat de lijst van verplichte functionaliteiten uitgebreid is en vaak niet apparaat-agnostisch te maken is, en je loopt al snel tegen een stevige belasting aan voor apparaatleveranciers.

Aan de kant van de aggregator is de belasting dubbel, daar ze niet alleen IEEE 2030.5 als geheel moeten implementeren om de CSIP-functies te ondersteunen, want de server voor CSIP draait immers bij hen, maar daarnaast ook nog eens een companion-protocol, zoals OpenADR 2.0b, moeten ondersteunen.

Beperkingen met betrekking tot KV-netbescherming
CSIP is alleen geschikt voor ‘reactieve bescherming’. Het gebrek aan real time sturing alsmede de format van het berichten zorgt er voor dat actief aansturen op afschakelen en KV-netbescherming onmogelijk is. Het protocol stelt wel eisen aan de maximale polling intervals, maar deze hebben een dusdanige orde van grote dat dit simpelweg niet snel genoeg is.

Echter – het is wel goed in te zetten voor reactief aansturen. Hiermee bedoelen we in dit geval dat een apparaat van tevoren wordt uitgerust (‘provisioned’) met een set instructies over hoe te reageren bij specifieke net-situaties. Denk bijvoorbeeld aan:

- “Als het voltage onder de 190V zakt, ga je in standby-modus tot het voltage weer boven 200V zit”
- “Als de netfrequentie boven X is, dan zak je naar max Y verbruik”

IEEE 2030.5 implementeert een ‘ride-through’ concept, waardoor er van apparaten verwacht wordt dat ze in bovenstaande gevallen niet direct om slaan, maar enkele polling momenten nemen om te controleren of de gebeurtenis niet een losse piek was.

5 Scoring

Dit hoofdstuk presenteert een kwalitatieve analyse van de geselecteerde maatregelen. De beoordeling richt zich op de geschiktheid van deze maatregelen, waarbij verschillende aspecten afzonderlijk worden geëvalueerd. De onderzochte aspecten zijn:

- Impact op comfort
  - De mate waarin het consumentencomfort wordt beïnvloed.
  - Het niveau van autonomie dat de consument heeft bij het invulling geven aan de opgelegde beperking.
- Effectiviteit
  - De effectiviteit bij het sturen van vraag en/of aanbod van elektriciteit.
  - De bijdrage aan de bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie.
  - De mogelijkheid voor deelname van uiteenlopende typen net-intensieve apparaten.
- Implementatie
  - De huidige stand van de technologische ontwikkeling.
  - Het potentieel om door te ontwikkelen tot een Technology Readiness Level (TRL) van 9.
  - De schaalbaarheid van implementatie.
  - De complexiteit van implementatie bij netbeheerders, marktpartijen, consumenten en producenten.
  - De mate van afhankelijkheid van externe partijen tijdens gebruik.
- Veiligheid
  - De operationele robuustheid onder wisselende omstandigheden.
  - De introductie van risico's op het gebied van cybersecurity en netwerkstabiliteit.
- Privacy
  - De omvang van de vereiste gegevensuitwisseling en de implicaties hiervan.
- Betaalbaarheid
  - De implementatiekosten voor netbeheerders.
  - De implementatiekosten voor consumenten.
  - De implementatiekosten voor derde partijen, zoals bijvoorbeeld aggregators.

Voor elk (sub-)aspect wordt een score toegekend van één tot vijf, waarbij een hogere score overeenkomt met een hogere mate van geschiktheid van de maatregel. Een compleet overzicht van de betekenis per score per (sub-)aspect is gegeven in **Tabel** in Bijlage A. Elke score wordt onderbouwd met een kwalitatieve toelichting, er is verder geen sprake van een kwantitatieve analyse. De scoring is vooral een richtlijn om de maatregelen onderling te vergelijken.

In de volgende paragrafen is een beknopte beoordeling per maatregel te vinden, waar elke score per aspect genomen is als een gemiddelde waarde van de score van de respectievelijke sub-aspecten. Voor een uitgebreider overzicht van de beoordelingen, zie **Tabel A.2** in Bijlage A.

5.1 GridShield

De kwalitatieve beoordeling van GridShield geïmplementeerd op apparaat of op de aansluiting is te vinden in **Tabel 5.1**. Zoals beschreven in Paragraaf 4.1 is een alternatief om

GridShield een signaal te laten sturen naar een (H)EMS in plaats van een apparaat. In de tabel en in de tekst is opgenomen hoe dat de score zou beïnvloeden.

Tabel 5.1: Samenvatting score per aspect van GridShield geïmplementeerd op apparaten en op aansluiting

Aspect	GridShield op apparaat	GridShield op (H)EMS
Impact op comfort	2	5
Effectiviteit	3	4
Implementatie	3	3,2
Veiligheid	5	5
Privacy	5	5
Betaalbaarheid	2,7	3

GridShield – Apparaat

Comfort
Op het gebied van impact op comfort voor de gebruiker functioneert GridShield als zeer moduleerbaar. Het AIMD-algoritme stelt het mechanisme in staat om stapsgewijs de vraag van het apparaat af te schakelen. Echter, op het gebied van autonomie biedt het mechanisme geen keuze aan de consument. Het algoritme verzorgt de mate van afschakeling zonder dat hierbij verdere afstemming nodig is.

Effectiviteit
Gezien deze mate van autonomie is het mechanisme in staat om snel, en zo nodig, veel af te schakelen. GridShield beschermt het lokale systeem, in een lokale context. De werking van het mechanisme is hierbij afhankelijk van een signaal vanuit de MSR. Het huidige ontwerp van GridShield neemt het sturen van signalen momenteel niet in beschouwing, wat de effectiviteit van het systeem benadeelt. Mogelijk is er in de toekomst de optie om via Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) soft- en hardware het verzenden van signalen mogelijk te maken. Verder is het ontwerp van GridShield momenteel enkel van toepassing op het sturen van laadpalen.

Implementatie
Vanwege deze ontwerpkeuze scoort de implementatie van GridShield als algemeen KV-netbeschermingsmechanisme minder hoog op het gebied van technologische ontwikkeling. Voor het volledig uitrollen en inbouwen van nieuwe functionaliteiten zoals het sturen van andere typen apparaten geldt een geschatte tijdsinvestering van minimaal twee jaar. Voor het opschalen van de implementatie van het mechanisme geldt dat dit technisch geen problemen presenteert. Gezien de kopieerbaarheid van de implementatie wordt het opschalen als simpel, maar arbeidsintensief beschouwd. Afhankelijkheid van derde partijen is gelimiteerd en vindt enkel plaats tijdens de ontwikkelfase van het mechanisme, niet tijdens het gebruik.

Veiligheid en privacy
Op het gebied van veiligheid scoort GridShield hoog. Vanwege het decentrale karakter van het mechanisme schalen aanvallen slecht en veroorzaken storingen enkel lokaal problemen. De integriteit van het systeem is beschermd door het gebruik van Public Key Infrastructure (PKI). Er is geen gegevensuitwisseling nodig van privacygevoelige informatie, gezien er geen data van de consument wordt gedeeld in de werking van het mechanisme.

Betaalbaarheid
De verwachte implementatiekosten zijn het hoogst voor consumenten. Voor deze groep brengt het inbouwen van de functionaliteit in het apparaat kosten met zich mee, net als de installatieprocedure om het apparaat correct in te stellen. Voor de netbeheerders betreffen de kosten voornamelijk het aanpassen van de MSR om signalen te kunnen versturen, waarbij het voordeel geldt dat dit niet voor elke MSR hoeft vanwege het lokale karakter van het mechanisme. Er kan een mate van prioriteit gegeven worden aan de implementatie afhankelijk van welke MSR het beste gebruik kan maken van het mechanisme. De verwachte implementatiekosten voor derde partijen zijn lager dan voor consumenten en netbeheerders, en betreffen de aanpassingen aan apparaten die vereist zijn voor de werking van het mechanisme. Hieronder vallen het installeren van een Long Range (LoRa) antenne en softwareaanpassingen.

GridShield – (H)EMS

Comfort
GridShield is ook in te zetten als mechanisme aangesloten op een (H)EMS of soortgelijke aansluiting. Het mechanisme is in dit geval even modulair als wanneer het aangesloten zou zijn op een apparaat, maar biedt meer autonomie aan de consument om te kiezen hoe er aan vraagvermindering voldaan zou moeten worden. De consument kan dan immers zelf kiezen hoe de vraagvermindering over de apparaten verdeeld moet worden.

Effectiviteit
Het mechanisme is in staat om in deze configuratie meerdere verschillende apparaten aan te sturen. Dit leidt tot een effectievere bijsturing. Net als in het geval van aansluiting op de apparaat is er in dit geval nog geen rekening gehouden met het sturen van signalen via SCADA-systemen.

Implementatie
De beoordeling voor de implementatie van het mechanisme is grotendeels vergelijkbaar met het mechanisme waar GridShield rechtstreeks is aangesloten op een apparaat. De implementatie is mogelijk gemakkelijker mocht er meer uniformiteit bestaan in het ontwerp van de benutte (H)EMS-en

Veiligheid en privacy
Vanwege het decentrale aspect van GridShield schaalt een aanval slecht, en veroorzaken storingen enkel in de lokale context mogelijke problemen. In het geval van een (H)EMS-aansluiting is het hierbij wel mogelijk dat het (H)EMS-systeem aangevallen kan worden. Er is geen sprake van privacygevoelige gegevensuitwisseling.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten voor netbeheerders en consumenten blijven vergelijkbaar met de kosten wanneer GridShield ingezet wordt op apparaatniveau. De aanname is hier gemaakt dat dit het geval is indien de consument al in het bezit is van een (H)EMS. Voor derde partijen zijn de implementatiekosten hoger ingeschat vanwege onder andere het installeren van de LoRa antennes.

5.2 Real Time Interface

De kwalitatieve beoordeling van de Real Time Interface als geschikte maatregel is te vinden in **Tabel 5.2**.

Tabel 5.2: De score per geschiktheidsaspect van de Real Time Interface als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	5
Effectiviteit	5
Implementatie	3,6
Veiligheid	3,5
Privacy	4
Betaalbaarheid	3,7

Comfort
Net als GridShield is de RTI enigszins moduleerbaar. Er is sprake van een rechtstreekse verbinding over internet tussen de RNB en de aangesloten partij. Mocht deze verbinding verbroken worden, zijn er ook geconfigureerde streefwaarden bepaald waarnaar afgeschakeld kan worden. Het gebruik van de RTI verloopt door middel van sturen op de aansluiting. Een (H)EMS of soortgelijk systeem is hierbij een vereiste. Een voordeel hiervan voor de autonomie van de consument is de mogelijkheid om te kiezen in welke mate aangesloten apparaten bijdragen aan de totale afschakeling van de aansluiting.

Effectiviteit
Bij het ontwerp van de RTI is een strikte scheiding gemaakt tussen het technische mechanisme waarmee de tijdelijke beperkingen op de aansluiting worden gecommuniceerd en de toepassingskaders die bepalen voor welk doeleinde en onder welke voorwaarden de RTI kan worden ingezet. Hiermee is de RTI dus voor uiteenlopende toepassingen te gebruiken. Daarnaast is de RTI ook in staat om zowel productie als consumptie te beperken. Afhankelijk van het toepassingskader is het hierbij mogelijk om snel en veel te sturen. De RTI maakt gebruik van cloudnetwerken.

Implementatie
Gezien de huidige technologische ontwikkeling van de RTI, is de verwachte uitrol van de cloud-versie van het mechanisme vanaf 2028. De basisversie van de RTI is inmiddels al in gebruik en werkzaam op middenspanningsnetwerken. Het mechanisme is technisch op te schalen, al ligt hierbij de last voornamelijk bij de RNBs. Gezien de cloud optie van de RTI zijn er geen fysieke kastjes nodig in de uitrol, echter is het een vereiste dat het (H)EMS of soortgelijke systeem een aparte WebSocket connectie ondersteunt. Tijdens het gebruik van de RTI is er geen afhankelijkheid van derde partijen.

Veiligheid en privacy
De cloud-implementatie van de RTI heeft gevolgen voor de robuustheid van het mechanisme. De werking is namelijk sterk afhankelijk van de gebruikte internetverbinding en de status van het centrale systeem bij de netbeheerder. Verder kan een aanval op dit centrale systeem grote impact hebben op de operabiliteit van de RTI. De benodigde gegevensuitwisseling voor de werking van de RTI bevat gebruiksmetingen die na een stuursignaal van de RNB teruggestuurd worden om de effectiviteit van het originele signaal te kunnen meten. Dit is gevoelige informatie, er is echter geen sprake van marktpartijen die deze informatie kunnen inzien. Het zal in deze voorgestelde werking van de RTI gaan om informatie-uitwisseling tussen de RNB en de (H)EMS.

Betaalbaarheid
De verwachte implementatiekosten zijn het hoogst voor de RNBs. Deze partijen zullen rekening moeten houden met het configureren en beheren van het centrale systeem dat stuursignalen naar de (H)EMS verstuurt. Voor de consument zijn de verwachte kosten lager, met mogelijk investeringskosten voor het aanpassen van de (H)EMS. De derde partijen zijn in dit geval de (H)EMS-producenten die kosten maken om het design van de (H)EMS aan te passen aan de vereiste die nodig zijn om de RTI te laten functioneren.

5.3 Ingrijpen via de NextGen slimme meter + HEMS

De kwalitatieve beoordeling van het ingrijpen via de NextGen slimme meter in combinatie met HEMS, als geschikte maatregel is te vinden in Tabel 5.3. De beoordeling is gegeven op basis van de eigenschappen van de nieuwe generatie slimme meter, de NextGen slimme meter, hierna benoemd als ‘slimme meter’.

Tabel 5.3: De score per geschiktheidsaspect van het ingrijpen via de slimme meter als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	5
Effectiviteit	4,7
Implementatie	2,8
Veiligheid	3,5
Privacy	5
Betaalbaarheid	4,3

Comfort
Afhankelijk van de implementatie is de slimme meter een zeer modulair mechanisme. Er wordt bij de werking van het mechanisme gestuurd op de aansluiting. De consument is hiermee in staat om te kiezen hoe aan een signaal van de RNB voldoen moet worden.

Effectiviteit
Ondanks de mogelijk langzamere werking is het mechanisme in staat om te sturen op de gehele aansluiting. Het mechanisme beschermt tegen verschillende situaties afhankelijk van het bericht verstuurd vanuit de RNB. De RNB is in staat om in relevante situaties naar relevante aansluitingen een signaal te verzenden. Dit stelt het mechanisme in staat om effectief vermogenskaders naar de aansluitingen te sturen. De NextGen slimme meter is echter zelf niet in staat om apparaten achter de aansluiting aan te sturen en zal daarvoor gecombineerd moeten worden met een HEMS.

Implementatie
Hoewel de technische ontwikkeling van het mechanisme als snel wordt ingeschat, is daadwerkelijke KV-netbescherming via de slimme meter nog niet ontwikkeld. Het mechanisme wordt beschouwd als moeilijk om technisch op te schalen, met een termijn van ongeveer tien tot vijftien jaar voor een adequate uitrol van de nieuwe generatie slimme meters. Uiteindelijk moeten miljoenen meters met CDMA, LTE, GPRS of soortgelijke verbindingen vervangen worden. Dit is een significante, arbeidsintensieve uitdaging en zal veel tijd in beslag nemen.

Veiligheid en privacy
In het geval van uitval van de telecommunicatie is het mechanisme niet meer werkzaam. Er is een backend server nodig waarbij een aanval op dit centrale systeem kan leiden tot volledige uitschakeling van het mechanisme. Dit heeft consequenties voor het gehele verzorgingsgebied van de RNB. Het centrale systeem is echter goed te beschermen. Verder is er ook geen gegevensuitwisseling nodig van privacygevoelige data, enkel het stuursignaal hoeft verstuurd te worden.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten voor netbeheerders zijn afhankelijk van de mate van de mogelijkheid om gelijktijdig KV-netbeschermingsfunctionaliteit mee te nemen in de huidig geplande uitrol van de slimme meters. De verwachting is echter dat dit te laat plaatsvindt, waardoor duurdere alternatieven gekozen moeten worden. Voor de consument zijn er mogelijk implementatiekosten bij het aanschaffen van een HEMS.

5.4 Het Duitse voorbeeld – Paragraaf 14a

De kwalitatieve beoordeling van het Duitse voorbeeld (paragraaf 14a) als geschikte maatregel is te vinden in **Tabel 5.4**.

Tabel 5.4: De score per geschiktheidsaspect van het Duitse voorbeeld (paragraaf 14a) als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	4,5
Effectiviteit	4,3
Implementatie	4,2
Veiligheid	3,5
Privacy	5
Betaalbaarheid	3,3

Comfort
De beoordeling van het Duitse mechanisme neemt de huidige werking in Duitsland in beschouwing. De consument heeft de keuze om het mechanisme te laten werken via de aansluiting of rechtstreeks op het apparaat, met daarbij de behorende impact op comfort. De impact op het comfort van de consument is afhankelijk van de beschouwde apparaten. Mocht de grens op 4,2 kW liggen zoals in Duitsland dan betreft dit enkel de meest net-intensieve apparaten, en heeft dit minder impact dan in het geval van een lagere grenswaarde.

Effectiviteit
De grenswaarde bepaalt hiermee ook de effectiviteit van het systeem. Een lagere grenswaarde correspondeert met meer aangesloten apparaten en daarmee een hogere effectiviteit. De snelheid en duur van werking is vergelijkbaar met het slimme meter mechanisme. Ook is het mogelijk om voor die mechanisme in relevante situaties een stuursignaal te verzenden naar relevante aansluitingen, net als in het geval van een slimme meter toepassing. Het mechanisme sluit geen apparaten uit, en is daarmee toepasbaar op ieder type apparaat.

Implementatie
Het mechanisme heeft geen ontwikkeltijd nodig, gezien het al geïmplementeerd is in de Duitse context. Voor het opschalen in Nederland is per aansluiting de installatie van een

steuerbox vereist. Het inrichten van de *steuerbox* en de bijbehorende certificaatontwikkeling wordt beschouwd als duur en ingewikkeld. Verder zijn er geen geïdentificeerde technische barrières. Er is geen sprake van afhankelijkheid van derde partijen bij het gebruik van dit mechanisme.

Veiligheid en privacy
De veiligheid van het mechanisme is vergelijkbaar met de slimme meter. De werking vereist een centraal systeem waarbij het risico bestaat dat een uitval van de telecommunicatieverbinding een grote impact heeft voor het gehele verzorgingsgebied van de RNB. Zoals eerder vermeld is dit echter goed te beschermen. Er is tijdens de werking van het mechanisme geen sprake van de uitwisseling van privacygevoelige data, met uitzondering van de registratie van de net-intensieve apparaten.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten van het mechanisme zijn het hoogst voor de RNBs vanwege de aangenomen verantwoordelijkheid voor het uitrollen van de steuerbox systemen. In Duitsland loopt de uitrol hierdoor achter. Voor de consument is het mogelijk dat er een nieuwe meterkast nodig is voor de werking van het mechanisme, met de bijbehorende implementatiekosten. Er zijn geen implementatiekosten voor derde partijen.

5.5 Het VK-voorbeeld – PAS 1878/1879

De kwalitatieve beoordeling van het VK-voorbeeld (PAS 1878/1879) als geschikte maatregel is te vinden in Tabel 5.5.

Tabel 5.5: De score per geschiktheidsaspect van het VK-voorbeeld (PAS 1878/1879) als maatregel

Aspect	Score
Impact op comfort	5
Effectiviteit	3,7
Implementatie	4,4
Veiligheid	3
Privacy	2
Betaalbaarheid	4,7

Comfort
Het VK-mechanisme is inherent een marktmechanisme en minder een netbeschermingsmechanisme. De beoordeling reflecteert dit aspect van het mechanisme. De autonomie van de consument is bijvoorbeeld gewaarborgd via een opt-out met betrekking tot deelname in het mechanisme. De serviceprovider werkt met afschakelprofielen om de impact op het comfort van de consument te beperken.

Effectiviteit
Deze aspecten van autonomie en comfort hebben nadelige gevolgen voor de effectiviteit van het mechanisme. Het mechanisme is zeer flexibel, serviceproviders kunnen eigen diensten opbouwen. Het mechanisme is geschikt voor alle apparaten, en vereist geen interne coördinatie. Ook kan het mechanisme reageren op frequentieschommelingen. De werking van het mechanisme vindt plaats via cloudnetwerken.

Implementatie
Het mechanisme is dusdanig ver ontwikkeld dat er in het VK-pilots bestaan, maar er nog geen nationale uitrol heeft plaatsgevonden. De enige vereiste voor het technisch opschalen van het mechanisme is de OpenADR connectie met de serviceprovider. De consument is op korte termijn in het bezit van apparaten die aan deze specificatie voldoen, waarbij de volledige implementatie plaats kan vinden wanneer de geïnstalleerde capaciteit groot genoeg is.

Het gemak van implementatie is nadrukkelijk bewerkstelligd door de vele afspraken die gemaakt zijn in het voorstadium van ontwikkeling tussen netbeheerders, regulators en fabrikanten. In het VK is de uitrol van het mechanisme hiermee versimpeld. In de Nederlandse context is het lastiger omdat voorgenoemde afspraken nog niet gemaakt zijn. De mate van afhankelijkheid van derde partijen tijdens gebruik van het mechanisme is afhankelijk van welke partij de rol neemt als serviceprovider. Het is mogelijk dat de RNB deze rol neemt, in dit geval is er geen sprake van afhankelijkheid van derde partijen.

Veiligheid en privacy
Het mechanisme introduceert risico's op het gebied van cyber security en op de stabiliteit van het net. Het systeem kan namelijk aangevallen worden via de CEMs. Er is ook een afhankelijkheid van de stabiliteit van de marktplatformen. Het mechanisme blijft werken zolang er een internetverbinding is tussen RNB en aansluiting, vergelijkbaar met het CPO-mechanisme. Er is sprake van gegevensuitwisseling van privacygevoelige data, in het specifiek de profielen met bijbehorend verwachte energieconsumptie per apparaat.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten van het mechanisme zijn laag. Derde partijen, zoals fabrikanten, zijn verantwoordelijk voor de meeste kosten, bijvoorbeeld voor het verzorgen van een OpenADR client implementatie. De implementatiekosten voor netbeheerders zijn beperkt, maar zij moeten bijvoorbeeld wel in staat zijn om de locatie van assets te kunnen identificeren en een OpenADR server inrichten.

5.6 Aggregator route – assets/HEMS aansturen (incl. CPOs)

De kwalitatieve beoordeling van de verschillende aggregator routes (incl. CPO's) als geschikte maatregel is te vinden in Tabel 5.6. Het aansturen van laadpalen via de CPO is een specifieke invulling van de aggregator apparaat variant.

Tabel 5.6: De score per geschiktheidsaspect van de drie verschillende aggregator routes als maatregel

Aspect	Aggregator: CPO	Aggregator: generiek	Aggregator: HEMS
Impact op comfort	2	2	5
Effectiviteit	3	4,3	4,7
Implementatie	4	3	2,8
Veiligheid	2,5	2,5	2,5
Privacy	5	5	5
Betaalbaarheid	4,7	4,3	4,3

CPO-route

Comfort
Het CPO-mechanisme is modulair, echter is er sprake van een mogelijk relatief langzame werking vanwege de inrichting van het systeem. Er is sprake van een langere keten van signalen dan bij alternatieve mechanismen. Hierdoor wordt er wellicht meer ingegrepen dan nodig. Er is geen sprake van autonomie van de consument. Het enige type apparaat wat in beschouwing genomen wordt in dit mechanisme is de laadpaal.

Effectiviteit
Vanwege de gelimiteerde inzetmogelijkheden van het mechanisme op enkel laadpalen is de sturingseffectiviteit als lager geacht dan bij een mechanisme als de slimme meter. Verder beschikt niet elke laadpaal over de functionaliteit om te werken met een CPO.

Implementatie
De ontwikkeling van het mechanisme is in een vergevorderd stadium, waarbij TRL 9 in zicht is. Het mechanisme is technisch makkelijk op te schalen, er hoeft enkel een OpenADR connectie gemaakt te worden tussen de RNB en de CPO. Verder is het van belang om te weten in welk verzorgingsgebied de laadpalen met CPO-functionaliteit staan, en via welke kabel deze aangesloten zijn. De CPO kan vervolgens laadpalen aansturen. Er is een afhankelijkheid van derde partijen tijdens het gebruik van het mechanisme, namelijk de aansturing via de CPO.

Veiligheid en privacy
De werking van het mechanisme is afhankelijk van de kwaliteit van de internetverbinding tussen de RNB en de CPO. Hierbij creëert het mechanisme risico's op het gebied van cyber security en de stabiliteit van het net. De CPO krijgt in dit mechanisme de extra functie van KV-netbescherming, en kan daarmee een doelwit worden van aanvallen. Dit soort aanvallen zijn momenteel al mogelijk. Een aanval of storing bij zowel de RNB als bij verschillende CPO's kan leiden tot impact op de voorgenoemde gebieden. Op het gebied van privacy is de CPO in het bezit van veel privacygevoelige data, al is er geen *extra* informatie nodig voor de uitbreiding naar KV-netbeschermingsfunctionaliteiten.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten voor dit mechanisme worden ingeschat als laag vergeleken met alternatieven. De voornaamste kosten zijn voor derde partijen, waar ze moeten investeren in het kunnen ontvangen van ADR-signalen en eventuele inventarisatie van laadpalen mocht dit nodig zijn. Voor de netbeheerders zijn er kosten geassocieerd met het kunnen sturen van ADR-signalen, en dezelfde soort inventarisatie als gedaan door derde partijen. Voor de consument zijn er geen significante implementatiekosten.

Aggregator op apparaat

Comfort
Het mechanisme waarbij een aggregator een apparaat aanstuurt is vrij generiek; de aggregator rol kan bijvoorbeeld worden ingevuld door de fabrikant, een VPP of de energieleverancier. De beoordeling van dit mechanisme is gedaan met een mogelijke invulling hiervan. De aggregator is bijvoorbeeld gebaat bij het behoud van klanten en zal hierom vermoedelijk 'zacht' omgaan met het sturen op elektriciteitsverbruik. In het geval van sturing op een apparaat is er echter maar tot op zekere hoogte autonomie mogelijk.

Effectiviteit
Het mechanisme is vergelijkbaar in effectiviteit met de CPO, waarbij in theorie ieder type apparaat aangestuurd kan worden, onder verschillende omstandigheden. In de praktijk gaat het stuursignaal via cloudnetwerken en functioneert het mechanisme daarom trager dan een mechanisme als GridShield.

Implementatie
De technologische ontwikkeling van het mechanisme moet nog vorm krijgen, waarmee TRL 9 op korte termijn geen vanzelfsprekendheid is. Het gemak van de technische opschaling van het mechanisme is hierdoor lastig in te schatten. Er is veel variatie mogelijk in de vormgeving van het mechanisme. Er is vrijwel zeker een mate van afhankelijkheid van derde partijen, in dit geval aggregators. Dit zou bijvoorbeeld in de vorm van een VPP kunnen.

Veiligheid en privacy
De veiligheid van het mechanisme is vergelijkbaar met de CPO-beoordeling. De operationaliteit is afhankelijk van de internetverbinding tussen de aggregator en het apparaat. Een aanval op of storing bij de aggregator kan grote impact hebben, afhankelijk van het aantal aangesloten slimme apparaten. Voor het privacy aspect is er wederom geen *extra* informatie vereist voor de uitbreiding naar KV-netbeschermingsfunctionaliteiten.

Betaalbaarheid
De implementatiekosten van dit mechanisme zijn het hoogst voor de derde partijen, in dit geval de aggregators. Deze partijen moeten, vergelijkbaar met het CPO-mechanisme, kosten maken voor het kunnen ontvangen van ADR-signalen en de monitoring van het inventaris aan slimme apparaten. Mogelijke implementatiekosten voor consumenten zijn afhankelijk van in welke mate benodigde software of hardware aanwezig is in de apparaten. Implementatiekosten voor netbeheerders zijn beperkt tot het mogelijk maken van ADR-stuursignalen.

Aggregator op HEMS

De werking van het aggregator mechanisme op een HEMS of soortgelijk apparaat in plaats van rechtstreeks op slimme apparaten leidt tot een andere beoordeling. De grootste verschillen zijn onder andere een hogere score op het gebied van comfort en effectiviteit, en een lagere score voor de implementatie van het mechanisme. Een HEMS is in staat om consumenten meer autonomie te geven over welke apparaten gestuurd worden, maar zal in de praktijk moeilijker zijn om technisch op te schalen dan het mechanisme waarbij aggregators rechtstreeks sturen op individuele apparaten.

5.7 Score vergelijking

Een vergelijking van de beoordeling per aspect in de vorm van een score voor ieder beschouwd mechanisme is te vinden in Tabel 5.7. De hoogste (gedeelde) score per categorie is aangegeven met een groene kleur. Zoals te zien in de tabel verkrijgt ieder mechanisme op minstens één aspect de hoogste score. Er is géén mechanisme dat op ieder aspect de hoogste score behaalt.

Tabel 5.7: Beoordeling per aspect voor alle mechanismen

Aspect	GridShield		RTI	Slimme meter	Duitse voorbeeld	VK voorbeeld	Aggregator route		
Versie	Apparaat	HEMS	-	-	-	-	CPO	Apparaat	HEMS
Impact op comfort	2	**5**	**5**	**5**	4,5	**5**	2	2	**5**
Effectiviteit	3	4	**5**	4,7	4,3	3,7	3	4,3	4,7
Implementatie	3	3,2	3,6	2,8	4,2	**4,4**	4	3	2,8
Veiligheid	**5**	**5**	3,5	3,5	3,5	3	2,5	2,5	2,5
Privacy	**5**	**5**	4	**5**	**5**	2	**5**	**5**	**5**
Betaalbaarheid	2,7	3	3,7	4,3	3,3	**4,7**	**4,7**	4,3	4,3

Impact op comfort

De beoordeling op de impact op het comfort van de consument schetst dat mechanismen waarbij er sprake is van limieten sturen naar een apparaat in plaats van een HEMS over het algemeen lager scoren. De hogere score van een HEMS op comfort komt vanwege de mogelijkheid tot coördinatie over de apparaten heen. De aggregator route in het geval van aansturing op een apparaat of via een CPO scoren samen met GridShield op het apparaat het laagst omdat er geen keuze is van de consument in hoe invulling te geven aan de opgelegde limiet. De overige mechanismen scoren het hoogst vanwege bovengenoemde reden, met uitzondering van het Duitse voorbeeld. In dit mechanisme is er namelijk sprake van sturen op een van tevoren bepaalde limiet per apparaat, die afhankelijk van de hoogte wellicht niet optimaal aansluit bij de benodigde afschakeling. Als het Duitse voorbeeld ook in Nederland ingevoerd zou worden kan men we besluiten om andere limieten te hanteren.

Effectiviteit

De RTI scoort het hoogst op het gebied van effectiviteit, met als uniek onderscheidende karakteristiek dat het technisch mogelijk is om zowel vraag als aanbod te sturen. De slimme meter en de aggregator route op de HEMS scoren ook hoog, al worden deze opties als potentieel trager beschouwd dan mechanismen met een minder complexe signaalketen. GridShield, beide op apparaat en de HEMS, scoort lager dan de andere mechanismen in de bijdrage aan bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie. Dit is vanwege het decentrale karakter van het mechanisme, waarmee congestieproblemen enkel in de lokale context worden beschouwd.

Implementatie
Het voorbeeldmechanisme uit het VK verkrijgt de hoogste score op het gebied van implementatie. Implementatie wordt als makkelijk ingeschat, met name vanwege de bewerkstelliging van het voorgestelde ontwerp via uitgebreide afstemming tussen fabrikanten, netbeheerders en regulators. Verder is er alleen een OpenADR connectie nodig tussen de Service Provider en de consument. Voor het slimme meter mechanisme is de implementatie het enige aspect waar het relatief laag op scoort. Dit komt voornamelijk vanwege de verwachte moeite in het technisch schalen van de implementatie, en de complexiteit hiervan.

Veiligheid
Het decentrale karakter van GridShield, zowel aangesloten op apparaat of in het geval van een HEMS-aansluiting, is een bepalende factor in de hoge score op het gebied van veiligheid. Andere mechanismen zijn tot op verschillende hoogtes kwetsbaar voor centrale aanvallen. In het geval van GridShield zou er mogelijk sprake kunnen zijn van decentrale aanvallen of storingen maar de impact daarvan is beperkt. Verder is de integriteit van het systeem beschermd door PKI. De verschillende versies van het aggregator mechanisme scoren op dit aspect relatief laag. Dit is voornamelijk vanwege introductie van risico's op het gebied van cybersecurity, met name de kwetsbaarheid van het systeem in het geval van een aanval op de aggregator, bijvoorbeeld op de CPO.

Privacy
De meeste mechanismen verkrijgen de hoogste score op het gebied van privacy. Uitzondering hierop is de RTI, waar de RNB of marktpartijen mogelijk meetwaarden verkrijgen om de effectiviteit van het mechanisme in te kunnen zien. Een andere uitzondering met een hogere mate van gegevensuitwisseling van privacygevoelige data is het voorbeeldmechanisme uit het VK. Hierbij is het verwachte energieconsumptie profiel per apparaat beschikbaar voor de betrokken derde partijen. Voor het Duitse voorbeeld is een mogelijk punt om te noemen de registratie van net-intensieve apparaten, maar dit is in de scoring buiten beschouwing gelaten.

Betaalbaarheid
De ingeschatte implementatiekosten zijn over het algemeen het laagst ingeschat voor de aggregator route via de CPO en het voorbeeldmechanisme uit het VK. Beide mechanismen vereisen voor de RNB enkel investeringen in een systeem waarbij ADR-signalen verstuurd kunnen worden en een inventaris van alle aan te sturen apparaten. De implementatiekosten voor derde partijen zijn voor beide het hoogst, voor het mogelijk maken van het ontvangen van ADR-signalen. Beide versies van GridShield scoren laag op het betaalbaarheidsaspect. De implementatiekosten voor de regionale netbeheerders zijn hier voornamelijk doorslaggevend, vanwege de arbeidsintensieve modificaties die gedaan moeten worden binnen de gewenste middenspanningsruimtes.

Conclusies scoring
Ter conclusie is er geen mechanisme gevonden met de hoogste score op ieder aspect. Er is een vrij grote spreiding van de beoordeling van de opties per beoordelingsaspect. Zoals eerder vermeld heeft ieder mechanisme op minstens één categorie de relatief hoogste score behaald. Er is hiermee geen duidelijk meest wenselijke optie op basis van de beschouwde aspecten. Ook is het niet redelijk om via een opsomming van de scores de mechanismen te evalueren. Er is namelijk geen sprake van een weging van de sub-aspecten. De kwestie van hoe veel een aspect mee zou moeten wegen, of dat het mechanisme op één of meerdere aspecten een minimumscore moet behalen wordt buiten beschouwing gelaten. De scoring van de mechanismen dienen in de context van deze resultaten voornamelijk om het relatieve

verschil tussen de opties per aspect te belichten. Het kiezen van een wenselijk mechanisme voor KV-netbescherming is hiermee impliciet een afweging van de wenselijkheid van de prestaties per beschouwde aspect.

In het volgende hoofdstuk volgt een reflectie op de technische randvoorwaarden en opties voor KV-netbescherming.

6 Advies en reflectie

Dit hoofdstuk biedt een reflectie op de technische invulling van KV-netbescherming. In Paragraaf 6.1 presenteren we de zienswijze van TNO op de technische randvoorwaarden waaraan KV-netbescherming voor kleinverbruikers zou moeten voldoen. Vervolgens schetsen we in Paragraaf 6.2 een technisch voorkeursbeeld (HEMS), waarna Paragraaf 6.3 een mogelijk technisch ontwikkelpad uiteenzet.

Op korte termijn is geen oplossing voor KV-netbescherming voorzien, die technisch breed uitgerold kan worden. Verder moet KV-netbescherming voor afname juridisch ondersteund worden. Omdat het probleem van overbelasting echter dringend is, nemen we in de reflectie ook marktmechanismen mee als een mogelijkheid om stroomstoringen te voorkomen in de komende jaren. Ook op lange termijn blijft marktmechanismen belangrijk als eerste stap, en de technologie kan de basis vormen voor KV-netbescherming. De technische verschillen en implicaties voor een verplichte maatregel (netbescherming) versus een marktmechanisme wordt uitgelegd in Bijlage C.

Gezien de definitie van KV-netbescherming is het uitgangspunt van het advies dat een vermogenskader gecommuniceerd wordt middels een KV-netbeschermingssignaal en dat slimme apparaten door dit signaal nooit direct zullen worden aangestuurd. Het KV-netbeschermingssignaal geeft middels het tijdelijke vermogenskader alleen door binnen welke grenzen KV-aangeslotenen dienen te blijven. Of en hoe (welke apparaten leveren welke bijdrage) een kleinverbruiker daar invulling aan geeft is diens eigen verantwoordelijkheid. Eventuele consequenties voor het niet opvolgen van een KV-netbeschermingssignaal vallen buiten de scope van dit onderzoek. Dit rapport gaat wel nadrukkelijk in op de vraag hoe kleinverbruikers technisch het best ondersteund kunnen worden bij het opvolgen van het KV-netbeschermingssignaal.

6.1 Technische randvoorwaarden voor netbescherming bij kleinverbruikers

In deze paragraaf beschrijven we de zienswijze van TNO met betrekking tot de technische randvoorwaarden waaraan netbescherming bij kleinverbruikers (KV’s) moet voldoen.

- KV'ers moeten technisch in staat worden gesteld om een KV-netbeschermingssignaal te kunnen ontvangen en hier vervolgens automatisch invulling aan te geven, zonder dat daarbij handmatige handelingen nodig zijn.
- Er moeten ten behoeve van KV-netbescherming duidelijke specificaties worden opgesteld, of naar bestaande specificaties/standaarden worden verwezen, voor HEMS’en en apparaten. Daarbij moet het voor KV'ers transparant zijn welke HEMS’en en apparaten aan die specificaties voldoen. Dit kan bijvoorbeeld door (nieuwe) apparaten en HEMS’en die in de NL markt worden verkocht vanaf een bepaalde datum een verplichting op te leggen om die specificaties te implementeren. Een andere manier zou zijn om producten, die aan de specificaties voldoen, te certificeren.
- Een KV'er kan er ook voor kiezen om een verplicht vermogenskader uit te besteden aan bijvoorbeeld een aggregator die aan de technische specificaties voor KV-netbescherming kan voldoen.

- Van een KV'er kan niet redelijkerwijs worden verwacht dat die bestaande apparatuur gereed moet maken (*retrofitten*) voor een KV-netbeschermingssignaal (voor zover dit technisch al mogelijk zou zijn)
  - In het buitenland (bijvoorbeeld Duitsland) wordt een KV'er pas verplicht om aan netbescherming mee te werken, nadat deze apparatuur heeft aangeschaft die voldoet aan bepaalde technische specificaties voor KV-netbescherming. Er is een verplichting dat nieuwe apparatuur die op de markt wordt verkocht deze specificaties geïmplementeerd moet hebben.

6.2 Technische voorkeur: HEMS

De **technisch beste manier** om kleinverbruikers te informeren over verplichtende vermogenskaders bevat volgens onze analyse een **Home Energy Management Systeem (HEMS)**. Dit geeft een passend invulling aan de technische randvoorwaarden. Verder geeft een HEMS mogelijkheid tot coördinatie over apparaten heen, waardoor de impact op comfort voor de gebruiker kleiner is en de effectiviteit hoger. Het is ook een manier om al bestaande apparaten mee te nemen in KV-netbescherming – mits ze de juiste slimme aansturing hebben. Een verdieping van de analyse en afwegingen is beschikbaar in Bijlage B.

Een HEMS kan zowel bestaan in de vorm van een lokaal kastje bij een kleinverbruiker óf een cloud-omgeving, welke op basis van internetprotocol (IP) techniek in staat is om een signaal te ontvangen. Deze technische oplossing is vooral preferent vanwege het feit dat het kleinverbruikers in staat stelt om autonomie te houden over de wijze waarop netgebruik-kaders worden vertaald naar het netgebruik door apparaten achter de aansluiting. Het stelt ook kleinverbruikers in staat om zich te laten ontzorgen door dienstverleners, zoals een aggregator of energieleverancier. Deze dienstverleners ontzorgen (vrijwillig) de kleinverbruiker ook bij optimalisatie achter de meter én het aanbieden van marktgebaseerde flexibiliteits-diensten.

Om voor te bereiden op een mogelijke toekomstige rol van HEMS in KV-netbescherming moet het mee worden genomen in het NTA (Nederlandse Technische Afspraak) traject HEMS. Op deze manier kunnen HEMS'en hier al technisch op voorbereid worden. Voor een uitwerking van de eisen van het NTA traject, zie 7.3.

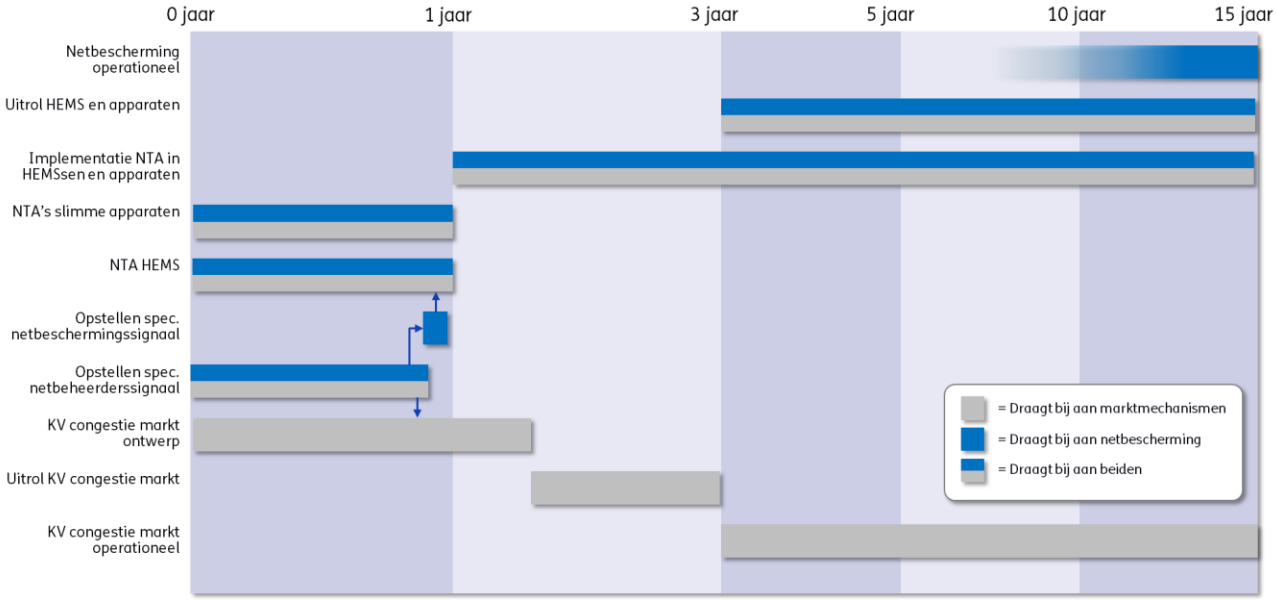
Als model voor een simpele HEMS wordt soms de Duitse Steuerbox genoemd zoals die in § 14a wordt toegepast. Deze Steuerbox zet echter alleen het KV-netbeschermingssignaal rechtstreeks door naar de apparaten (via relais- of digitale sturing) en doet niet aan coördinatie. Voor coördinatie over apparaten heen wordt er in § 14a ook gebruik gemaakt van een EMS (het is overigens wel mogelijk om beide functionaliteiten in één fysiek apparaat te combineren).

6.3 Technisch ontwikkelpad

In deze sectie schetsen we een mogelijk ontwikkelpad voor de technische invulling van KV-netbescherming. Dit is een weergave van de **technische tijdlijn** – daarnaast moet de juridische basis er zijn (niet in scope van dit onderzoek). Om lokale overbelasting te voorkomen is het ook een randvoorwaarde dat de RNB inzichtelijk heeft waar en wanneer de overbelasting optreedt en de afspraken voor het inzetten van KV-netbescherming (de probleemanalyse en het toepassingskader zijn niet in scope van dit onderzoek).

Brede adoptie HEMS en apparaten essentieel
Een brede adoptie van gestandaardiseerde HEMS'en en gestandaardiseerde slimme apparaten is essentieel voor het realiseren van interoperabiliteit. Interoperabiliteit is niet alleen noodzakelijk voor KV-netbescherming, maar ook zeer wenselijk voor de uitrol van marktmechanismen. Op deze manier kan *vendor lock-in* worden voorkomen en kunnen kleinverbruikers makkelijk van aggregator wisselen, ongeacht het merk en het type netintensieve apparaten. De Nederlands Technische Afspraken (NTA's) voor de HEMS, slimme warmtepompen, slimme laadpalen, slimme thuisbatterijen en slimme zonne-omvormers moeten de benodigde interoperabiliteit technisch invullen.

Een brede adoptie kan op verschillende manieren worden bewerkstelligd. Dit kan bijvoorbeeld door (nieuwe) apparaten en HEMS'en die in de NL markt worden verkocht vanaf een bepaalde datum een verplichting op te leggen om de NTA standaarden te implementeren. Een andere manier zou zijn om producten, die aan die standaarden voldoen, te certificeren. Op deze manier wordt het voor de consument transparant welke producten interoperabel zijn.



Figuur 6.1: Technisch ontwikkelpad KV-netbescherming

Figuur 6.1 laat zien welke technische stappen er concreet genomen moeten worden om KV-netbescherming te realiseren. Om ervoor te zorgen dat KV-netbescherming in de toekomst operationeel kan worden ingezet is het noodzakelijk om de eerste 3 jaar een aantal voorbereidende stappen te zetten. Daarnaast blijkt uit het ontwikkelpad dat veel van de stappen zowel bijdragen aan KV-netbescherming als aan marktmechanismen voor congestie.

De stappen zijn hieronder in meer detail beschreven.

6.3.1 Opstellen specificatie netbeheerderssignaal

Voor de communicatie tussen de RNBs en aggregators is het zeer wenselijk om gebruik te maken van een uniform protocol/oplossing. Dit maakt het makkelijker voor aggregators om hun diensten aan de RNB aan te kunnen bieden. Hetzelfde geüniformeerde protocol kan ook als basis dienen voor eventueel toekomstige verplichte KV-netbescherming.

Eén van de belangrijkste taken van dit protocol zal zijn om een vermogenskader te communiceren waarbij aggregators (marktmechanisme) of individuele aansluitingen (netbescherming) gevraagd wordt om dit zo goed mogelijk op te volgen. In het protocol moet ook uitgedrukt kunnen worden voor welke locatie(s) dit vermogenskader gaat gelden.

Daarnaast moeten de netbeheerders een keuze maken voor het technische protocol dat hiervoor als basis zal dienen. Hierbij zal zoveel mogelijk aansluiting bij internationale standaarden moeten worden gezocht. Uit dit onderzoek komt naar voren dat OpenADR en een variant van de RTIv2 voor laagspanning belangrijke kandidaten zijn voor het technische protocol.

Voor zowel het inzetten op een marktmechanisme als voorbereiding op KV-netbescherming moeten de netbeheerders snel duidelijkheid geven over een gestandaardiseerde en eenduidige definitie van locatieafhankelijke vermogenslimieten en de manier waarop deze zullen worden gecommuniceerd.

6.3.2 Opstellen specificatie KV-netbeschermingssignaal

Op basis van het netbeheerderssignaal zal er een specificatie voor het KV-netbeschermingssignaal worden opgesteld. Hierbij is het uitgangspunt dat de verschillen tussen het KV-netbeschermingssignaal en het signaal dat voor congestiemarkten ingezet zal worden, zo minimaal mogelijk zijn.

6.3.3 KV-congestiemarkt ontwerp

Op korte termijn is een **brede uitrol van een technisch geschikt KV-netbeschermings-mechanisme niet mogelijk**. Tegelijkertijd is er veel behoefte aan handelingsperspectief om overbelasting en daarmee stroomstoringen te voorkomen. In maart 2025 heeft CE Delft het advies gegeven dat congestie deels voorkomen kan worden met locatie- en tijdspecifieke vrijwillige maatwerkafspraken [1]. Deze reactieve vorm van netcongestiemanagement is marktgebaseerd, en gaat uit van de vrijwilligheid en mogelijkheid van consumenten om te reageren. In de VK is marktgebaseerde flex een groot succes en wordt daardoor niet nagedacht over een vorm van KV-netbescherming. Essentieel hierin is dat de netbeheerder de behoefte aan congestiediensten duidelijk maakt, zodat de markt hierop kan reageren.

Netbeheerders kunnen in de komende jaren **maximaal inzetten op een vrijwillige markt voor lokale flexibiliteit**, waarbij huishoudens en andere kleinverbruikers beloond worden voor netbewuste gedrag én/of netondersteunend netgebruik. Daarmee communiceren de netbeheerders een lokaal flex-behoefte, en reageren slimme netintensieve apparaten, al dan niet met een HEMS als tussenstap, via een aggregator. De CPO-route om laadpalen aan te sturen (zie sectie 4.6) is hier een goed voorbeeld van. De aggregator rol kan echter ook door andere marktpartijen worden ingevuld zoals bijvoorbeeld een warmtepomp fabrikant die via de cloud signalen stuurt naar de warmtepompen bij aangeslotenen. De signalen naar apparaten van de aggregator mag daarbij via verschillende protocollen/oplossingen plaatsvinden.

Het netbeheerderssignaal dat hierboven is geïntroduceerd zal de basis vormen voor de communicatie tussen de RNB en marktspelers zoals aggregators en CSP’s.

Uiteraard komt er bij het ontwerpen van een congestiemarkt voor kleinverbruikers veel meer kijken dan alleen het technische protocol. Denk hierbij bijvoorbeeld aan marktregels, marktplatformen, toelatingseisen, flexproducten, verdienmodellen, etc. Al deze aspecten zijn

echter buiten scope van dit onderzoek en zullen door de verschillende stakeholders, zoals RNB's, ACM, KGG en marktpartijen, verder uitgewerkt moeten worden.

6.3.4 Uitrol KV-congestiemarkt

De volgende stap is om het congestiemarkt ontwerp daadwerkelijk uit te rollen en alle processen, platformen en protocollen die daarvoor ontworpen zijn te implementeren.

6.3.5 KV-congestiemarkt operationeel

Vanaf het moment dat de KV congestiemarkt operationeel is zal het volume dat hierin omgaat eerst nog beperkt zijn. Deels zit dat in de nog beperkte ontsluitingsmogelijkheden van slimme apparaten, maar het is de verwachting dat dit na verloop van tijd zal verbeteren wanneer steeds meer slimme apparaten de NTA's voor slimme apparaten gaan ondersteunen.

Daarnaast is het de vraag of deelname aan alleen een KV congestiemarkt voldoende oplevert voor aggregators en CSP's om de daarvoor benodigde investeringen te rechtvaardigen. De drempel om tot de KV congestiemarkt toe te treden kan verlaagd worden door de toegang tot deze markt zoveel mogelijk te uniformen en af te stemmen met andere markten en/of diensten, zoals de onbalans markt. Op deze manier wordt het voor marktspelers eenvoudiger om investeringen terug te verdienen.

Tot slot is het belangrijk om op te merken dat **markmechanismen ook op langere termijn even relevant blijven**. Verplichte KV-netbescherming is immers een fallback mechanisme; er zal altijd eerst geprobeerd moeten worden om congestie via de markt op te lossen.

6.3.6 NTA HEMS

In de NTA HEMS, die vanaf januari 2026 zal worden gespecificeerd, moet vastgelegd worden dat HEMS'en de hierboven genoemde specificatie van het KV-netbeschermings-signaal, zoals opgesteld door de netbeheerders, kunnen ondersteunen. Dit moet zowel gelden voor lokale - als cloud gebaseerde HEMS'en.

6.3.7 NTA slimme apparaten

Een belangrijk aspect van de NTA trajecten voor de HEMS en slimme netintensieve apparaten is de communicatie tussen HEMS en apparaten. Hierbij is maximale interoperabiliteit randvoorwaardelijk voor zowel effectieve marktmechanismen als voor KV-netbescherming. Het is van belang dat er afspraken gemaakt worden over de onderliggende (communicatie) protocollen zodat elk HEMS met alle net-intensieve slimme apparaten kan communiceren. Een keuze voor een zeer beperkt aantal open protocollen zal de interoperabiliteit sterk bevorderen.

Voor het maken van deze keuzes is het van belang om ook de ervaringen uit het "Residential Flexibility" project van Elaad en KGG mee te nemen, waarin meerdere van deze protocollen in een open source variant geïmplementeerd gaan worden. Dit kan ook als basis dienen voor verdere certificering van de interoperabiliteit van net-intensieve apparaten

6.3.8 Implementatie NTA's op HEMS en apparaten

Nadat de NTA's voor de HEMS en slimme netintensieve apparaten gepubliceerd zijn, zal het nog enige tijd duren voordat er apparaten op de markt verschijnen die aan de NTA's voldoen.

Fabrikanten hebben die tijd nodig om de NTA's te bestuderen en op hun apparaten te implementeren.

6.3.9 Uitrol HEMS en apparaten

Nadat NTA compatibele HEMS'en en apparaten op de markt verschijnen kunnen deze door kleinverbruikers worden aangeschaft waardoor het aantal HEMS'en en slimme apparaten gestaag zal groeien.

De uitrol kan versneld worden door de aanschaf van NTA compatibele HEMS'en en slimme apparaten te subsidiëren. Er zou zelfs overwogen kunnen worden om fabrikanten te verplichten om aan de NTA's te voldoen. In beide gevallen zal er een certificerings-programma moeten worden opgesteld, zodat transparant gemaakt wordt welke HEMS'en en slimme apparaten aan de eisen van de NTA's voldoen.

6.3.10 KV-netbescherming operationeel

Technisch gezien kan KV-netbescherming worden ingevoerd vanaf het moment dat de eerste NTA compatible HEMS'en en slimme apparaten op de markt verschijnen. Dit zou dan afhankelijk moeten zijn van de aanschaf van nieuwe apparaten die aan de NTA eisen voldoen. Voor de netbeheerders wordt KV-netbescherming echter pas een echt bruikbaar instrument wanneer de uitrol van NTA compatibele HEMS'en en slimme apparaten bij kleinverbruikers een kritische massa bereikt. Om de effectiviteit te beoordelen is verder analyse van het probleem nodig en onderzoek naar de oplossing.

Er zal nog onderzocht moeten worden vanaf welk uitrol percentage er sprake is van deze kritische massa. Zeker is wel dat het nog jaren zal duren voordat dit punt bereikt zal worden. Dit komt onder meer doordat de markt voor slimme apparaten een vervangingsmarkt is. Dit betekent dat oude apparaten pas worden vervangen als ze kapot gaan.

Bovenstaande maakt dat het moeilijk is te zeggen vanaf welk moment KV-netbescherming operationeel zou moeten worden ingevoerd. In Figuur 6.1 is het bijbehorende balkje daarom ook geleidelijk weergegeven.

Naast de oplossingen die in de "opstellen specificatie KV-netbeschermingssignaal" fase al zijn geselecteerd, kan de **NextGen slimme meter** op de lange termijn ook een rol gaan spelen bij het afleveren van het vermogenskader. Hierbij is de verwachting dat het nog zo'n 15 jaar gaat duren voordat de geleidelijke uitrol van de NextGen slimme meter op gang is. Aangezien de NextGen slimme meter is niet in staat om apparaten aan te sturen, zal er bij de inzet van de slimme meter nog steeds een HEMS nodig zijn om te kunnen communiceren met netintensieve apparaten.

7 Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport biedt inzichten in de technische opties voor KV-netbescherming: manieren waarop een noodsignaal van de netbeheerder betrouwbaar en geautomatiseerd kan leiden tot vermogensbeperking bij kleinverbruikers. We hebben verschillende technische opties beschreven, gescoord en geanalyseerd. Daarna hebben we technische randvoorwaarden en een technisch mogelijk ontwikkelpad voor KV-netbescherming geschetst. Juridische aspecten, het toepassingskader en de noodzaak voor KV-netbescherming zijn buiten scope van dit onderzoek.

Onze belangrijkste conclusies zijn:
- Geen van de onderzochte technische mechanismen voor KV-netbescherming kan op korte en middellange termijn breed uitgerold worden.
- Een HEMS (Home Energy Management System) is de technisch beste manier om een vermogenskader te verwerken en het verhoogt het comfort en de autonomie.
- Om KV-netbescherming op lange termijn breed toegepast te krijgen, moeten er nu stappen gezet worden in de technische voorbereiding. Netbeheerders moeten eenduidige en verantwoorde vermogenskaders ontwikkelen en de manier bepalen waarop die mogelijk gecommuniceerd kunnen worden aan kleinverbruikers.

De belangrijkste aanbevelingen, waar snel actie op moet komen zijn:
- Netbeheerders moeten duidelijkheid geven over de specificaties van een mogelijk KV-netbeschermingssignaal.
- Zet in op vrijwillige, marktgebaseerde, lokale flexibiliteit om stroomstoringen te voorkomen op zowel korte als lange termijn.
- Stimuleer de adoptie en standaardisatie van HEMS en slimme apparaten.

7.1 Conclusies

Analyse internationaal
Uit de internationale context blijkt dat er veel verschillende opties bestaan voor KV-netbescherming, inclusief opties die momenteel puur zijn gericht op marktwerking en dus geen verplichtend karakter bezitten. De mate van standaardisatie is erg verschillend. De NWA waar in de VS mee wordt gewerkt kent bijvoorbeeld geen enkele standaardisatie, en is enkel een term voor de in de lokale context meest geschikte optie. In het VK is dit een stuk duidelijker gedefinieerd in samenwerking met de BSI.

De verplichte component van KV-netbescherming is in de meeste landen niet duidelijk aanwezig. Een uitzondering hierop is Duitsland, waar via §14a van de Energiewirtschafts-gesetz al rekening gehouden wordt met de verplichting om netintensieve apparaten in de toekomst aan te kunnen sturen.

Ten slotte komt uit de verschillende pilots in de beschouwde landen naar voren dat er onder andere gekeken wordt naar de vrijwillige, marktgerichte inrichtingen voor opties om het net te

ontlasten. In de Nederlandse context bestaan onder andere dynamische prijscontracten, maar lokale markten gericht op laagspanningsnetwerken ontbreken vooralsnog. In sommige landen zoals het VK bestaan er lokale flexibiliteitsmarkten en daarmee ook de mogelijkheid om in de lokale context vrijwillig vermogen aan te bieden als optie om het netwerk te ontlasten. Het is belangrijk om hiermee rekening te houden, gezien dit betekent dat dergelijke markten nog ontworpen moeten worden voor de Nederlandse context.

Gezien de mate van de uitwerking van de mechanismen in het VK en Duitsland zijn deze expliciet meegenomen als opties voor de Nederlandse context.

Technische analyse van KV-netbeschermingsmechanismen
In de analyse van de technische opties hebben we de volgende mechanismen onderzocht: GridShield, Real Time Interface v2, de NextGen slimme meter, het Duitse §14a-model, het Britse PAS 1878/1879-model en de aggregator route. Uit deze scoring valt op te maken dat routes via de HEMS beter scoren. Verder is er geen enkel mechanisme dat het beste scoort op alle beoordeelde aspecten. Elk mechanisme heeft voor- en nadelen. Het kiezen van een geschikt mechanisme voor KV-netbescherming is daarom altijd een afweging tussen de prestaties op de verschillende aspecten. Met de informatie in dit rapport kunnen beslissingsbevoegde partijen keuzes maken in lijn met hun voorkeuren.

Mechanismen die via een HEMS werken scoren beter op comfort en effectiviteit, omdat ze meer autonomie en coördinatie bieden voor de consument. Een HEMS is ook nodig bij communicatie van een KV-netbeschermingssignaal via RTI of de Slimme meter, om de informatie door te zetten naar apparaten, anders moet de consument handmatig ingrijpen. Een HEMS is daarbij de beste technische oplossing omdat het kleinverbruikers in staat stelt om autonomie te houden over de wijze waarop deze netgebruik-kaders worden vertaald naar het netgebruik door apparaten achter de aansluiting. Ook stelt het kleinverbruikers in staat om zich te laten ontzorgen door dienstverleners, zoals een aggregator of energieleverancier. Deze dienstverleners ontzorgen (vrijwillig) de kleinverbruiker, ook bij optimalisatie achter de meter én het aanbieden van marktgebaseerde flexibiliteitsdiensten.

7.2 Aanbevelingen

De komende jaren is een *brede* uitrol van verplichte KV-netbescherming technisch nog niet mogelijk. Ook het juridische kader, en de rollen en verantwoordelijkheden van verschillende partijen moeten uitgewerkt worden. Het advies is daarom om te starten met een vrijwillige flexmarkt waar technisch op kan worden voorgebouwd voor KV-netbescherming. Deze marktmechanismen blijft ook op langere termijn relevant als eerste optie.

Voor zowel het inzetten op een marktmechanisme als voorbereiding op KV-netbescherming moeten de netbeheerders snel duidelijkheid geven over een gestandaardiseerde en eenduidige definitie van locatieafhankelijke vermogenslimieten en de manier waarop deze zullen worden gecommuniceerd.

De beste technische manier om KV-netbescherming te realiseren is via een HEMS, voortbouwend op de technische keten voor marktgebaseerde flex-oplossingen. Het is daarom onze aanbeveling om te beginnen met een vrijwillige markt voor lokale flexibiliteit en daarbij rekening houden met wat er nodig is voor KV-netbescherming. Voor een soepele invoering is het essentieel dat de **technische ketens** voor **marktgebaseerde flex-oplossingen en KV-netbescherming goed op elkaar aansluiten.** In NTA-trajecten moet KV-netbescherming via HEMS expliciet worden meegenomen, zodat systemen en apparaten hier technisch op voorbereid zijn.

7.3 Standaardisatie

Standaardisatie van netintensieve slimme apparaten en HEMS speelt een cruciale rol bij het ontsluiten van energieflexibiliteit voor effectieve marktmechanismen en een toekomstige implementatie van KV-netbescherming. Alleen wanneer er duidelijke standaarden voor het aansturen van flexibiliteit worden afgesproken (en gereguleerd), zal een mate van interoperabiliteit bereikt worden die noodzakelijk is om flexibiliteit op grote schaal te ontsluiten.

Door in standaardisatietrajecten rekening te houden met wat er technisch nodig is voor KV-netbescherming, wordt de mogelijkheid open gehouden om KV-netbescherming op de middellange termijn in te kunnen voeren. Wanneer dit nu niet wordt meegenomen zal het later een veel moeizamer traject worden om KV-netbescherming alsnog te implementeren.

Hieronder worden de concrete stappen beschreven die op het gebied van standaardisatie genomen moeten worden.

Specificatie van KV-netbeschermingssignaal door regionale netbeheerders
De netbeheerders zullen op korte termijn het voortouw moeten nemen om een technische specificatie op te stellen voor het KV-netbeschermingssignaal voor kleinverbruikers. Hierbij is het van belang dat dit in afstemming met stakeholders gebeurt, zoals bijvoorbeeld HEMS-aanbieders en -aggregators. Het ligt zeer voor de hand om de al bestaande Werkgroep Netbescherming van Netbeheer Nederland dit uit te laten voeren.

Uit de analyse van de verschillende KV-netbeschermingsmechanismen komen de volgende protocollen voor dit communicatiekanaal als mogelijke kandidaten voor een KV-netbeschermingssignaal naar voren: OpenADR (zoals gebruikt in het aggregator mechanisme en de PAS 1878), RTI v2 LS (IEC 61850) en GridShield. Hierbij heeft een IP-gebaseerde, internationale standaard sterk de voorkeur.

Daarnaast is het relevant om de ontwikkeling van een Europese CIM-versie van flexactivatie te volgen. Dit vindt nu plaats in IEC 57 WG21; de standaard wordt een Europese versie van IEC 62746-4 en is daarmee een tegenhanger van Amerikaanse initiatieven zoals OpenADR en GridWise.

Tot slot zal de specificatie van het KV-netbeschermingssignaal zoveel mogelijk in lijn moeten zijn met stuursignalen die door de netbeheerders gebruikt gaan worden voor marktgebaseerd congestiemanagement voor kleinverbruikers.

Ondersteuning van KV-netbeschermingssignaal in NTA HEMS
In de NTA HEMS, die vanaf januari 2026 zal worden gespecificeerd, moet vastgelegd worden dat HEMS-systemen de hierboven genoemde specificatie van het KV-netbeschermingssignaal kunnen ondersteunen. Dit moet zowel gelden voor lokale- als cloudgebaseerde HEMS-systemen.

Beperk NTA trajecten niet tot enkel functionele afspraken
Een belangrijk aspect van de NTA trajecten voor de HEMS en slimme netintensieve apparaten is de communicatie tussen HEMS en apparaten. Voor deze communicatie worden er geen specifieke functionele afspraken gemaakt ten behoeve van KV-netbescherming.

Maximale interoperabiliteit is randvoorwaardelijk voor zowel effectieve marktmechanismen als voor KV-netbescherming. Deze wordt niet bereikt wanneer de NTA-trajecten alleen

beperkt blijven tot alleen functionele afspraken. Wanneer er geen afspraken over de onderliggende (communicatie) protocollen worden gemaakt, zal het in de praktijk nog steeds erg lastig zijn om elk HEMS-systeem met alle net-intensieve slimme apparaten te laten werken. Een keuze voor een zeer beperkt aantal open protocollen zal de interoperabiliteit sterk bevorderen.

Voor het maken van deze keuzes is het van belang om ook de ervaringen uit het “Residential Flexibility” project van Elaad/KGG mee te nemen, waarin meerdere van deze protocollen in een open source variant geïmplementeerd gaan worden. Dit kan ook als basis dienen voor verdere certificering van de interoperabiliteit van net-intensieve apparaten

Referenties

[1] CE Delft, „LS-netcongestie door kortetermijn-marktprikkels,” 3 2025 . [Online]. Available: https://www.netbeheernederland.nl/sites/default/files/2025-06/ce_delft_240460_ls-netcongestie_door_kortetermijnmarktprikkels_def.pdf. [Geopend 7 11 2025].

[2] S. Heinen, O. Franz en J. Danzeisen, „Germany’s Paragraph 14a EnWG: A Model for the World to Unleash Flexibility and Ensure Distribution Network Security?,” 26 February 2025. [Online]. Available: https://www.esig.energy/germanys-paragraph-14a-enwg/.

[3] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Smart Meter-Gesetz final beschlossen: Flächendeckender Einsatz intelligenter Stromzähler kommt,” 12 May 2023. [Online]. Available: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/05/20230512-smart-meter-gesetz-final-beschlossen.html.

[4] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, „Smart-Meter-Gateway: Dreh- und Angelpunkt des intelligenten Messsystems,” Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, [Online]. Available: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meter-Gateway/smart-meter-gateway_node.html. [Geopend 9 October 2025].

[5] E. Augsten, „Smart Meter ROLLOUT: Staffel 1,” VDE Dialog, 10 January 2025. [Online]. Available: https://dialog.vde.com/de/vde-dialog-ausgaben/2025-04-chips/2025-04-smartmeter#:~:text=In%20der%20vorletzten%20Folge%20der,15%2DProzent%2DMarke%20geknackt.. [Geopend 13 October 2025].

[6] UK Power Networks (Operations) Limited, „Flexibility Services Procurement Statement,” UK Power Networks (Operations) Limited, 31 March 2022. [Online]. Available: https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/2022-07/UKPN%20Electricity%20Distribution%20Flexibility%20Services%20Procurement%20Statement%202022-23.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[7] The British Standards Institution, „PAS 1879:2021 Energy smart appliances - Demand side response operation - Code of practice,” BSI Standards Limited 2021, May 2021. [Online]. Available: https://www.bsigroup.com/globalassets/localfiles/en-th/about-bsi/energy-smart-appliances-programme/bsi-pas-1879-2021-energy-smart-appliances-demand-side-response-operation-th.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[8] R. Shutt, „Energy Smart Appliances for Demand Side Response: PAS 1878 and 1879 standards and the Interoperable Demand Side Response (IDSR) programme,” Department for Energy Security and Net Zero, [Online]. Available: https://www.openadr.org/assets/PAS1878_RS_20230912_OpenADR%20Unlocks%20Flexibility%20Throughout%20Europe.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[9] Piclo, „Piclo and Northern Powergrid join forces to accelerate the decarbonisation of the grid,” Piclo, 25 July 2023. [Online]. Available: https://www.piclo.com/press-releases/piclo-and-northern-powergrid-join-forces-to-accelerate-the-decarbonisation-of-the-grid. [Geopend 9 October 2025].

[10] AEMC, „AEMC finalises landmark reform to accelerate smart meter rollout,” AEMC, 28 November 2024. [Online]. Available: https://www.aemc.gov.au/news-centre/media-releases/aemc-finalises-landmark-reform-accelerate-smart-meter-rollout. [Geopend 9 October 2025].

[11] AEMC, „National Electricity Rules, Metering, Metering installation, Metering installation arrangements, Clause 7.8.2,” AEMC, [Online]. Available: https://energy-rules.aemc.gov.au/ner/177/30482. [Geopend 9 October 2025].

[12] H. Saberi en B. Yildiz, „ARENA PLUS ES South Australia Demand Flexibility Trial,” UNSW Sydney, 31 October 2024. [Online]. Available: https://arena.gov.au/assets/2024/11/PLUS-ES-South-Australia-Demand-Flexibility-Trial-Final-Knowledge-Sharing-Report.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[13] U.S. Department of Energy, „National Transmission Needs Study,” U.S. Department of Energy, October 2023. [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-12/National%20Transmission%20Needs%20Study%20-%20Final_2023.12.1.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[14] Priyadarshan, C. Crozier, K. Baker en K. Kircher, „Distribution Grids May Be a Barrier To Residential Electrification,” *Electrical Engineering and Systems Science,* 2024.

[15] K. Wasserman, „AMI Load Shedding: Ensuring Power Supply to Critical Customers,” conEdison, 7 February 2023. [Online]. Available: https://content-cdn.sessionboard.com/content/Doq2PIwTuCzZyViwSyQg_Distributech%20Load%20Shed%20Presentation.pdf. [Geopend 13 October 2025].

[16] B. Chew, E. H. Myers, T. Adolf en E. Thomas, „Non-Wires Alternatives: Case Studies from Leading U.S. Projects,” E4 The Future, 1 November 2018. [Online]. Available: https://e4thefuture.org/wp-content/uploads/2018/11/2018-Non-Wires-Alternatives-Report_FINAL.pdf. [Geopend 13 October 2025].

[17] JEPIC, „The Electric Power Industry in Japan 2023,” JEPIC, 2023. [Online]. Available: https://www.jepic.or.jp/en/data/pdf/epijJepic2023.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[18] H. Takahashi, „Assessing the Review of Electricity System Reform: Making Use of Market Mechanisms,” Renewable Energy Institute, 25 March 2025. [Online]. Available: https://www.renewable-ei.org/en/activities/column/REupdate/20250325.php. [Geopend 9 October 2025].

[19] P. Asmus, „Deregulation Drives Virtual Power Plant Expansion in Japan: Extending VPPs in the Asia Pacific Region Part 1,” Navigant Research, 2019. [Online]. Available: https://www.ashb.com/wp-content/uploads/2020/06/IS-2020-53.pdf. [Geopend 9 October 2025].

[20] Shizen Energy, „Shizen Energy Launches VPP demonstration through a joint platform with retail electricity providers and storage battery manufacturers,” Shizen Energy, 28 October 2022. [Online]. Available: https://www.shizenenergy.net/en/2022/10/28/shizen-energy-launches-vpp-demonstration-through-a-joint-platform-with-retail-electricity-providers-and-storage-battery-manufacturers/. [Geopend 13 October 2025].

[21] Shizen Energy, „Shizen Connect completes one of Japan’s largest VPP demonstrations with EV charging and discharging,” Shizen Energy, 16 February 2024. [Online]. Available: https://www.shizenenergy.net/en/2024/02/16/sc_ev_vpp_demo_complete24/. [Geopend 13 October 2025].

Bijlage A
Uitgebreide scoring maatregelen

Tabel verklaring 1-5 van scores per sub-aspect.

Tabel A.1: Vertaling van de scores per sub-aspect voor de beoordeling van de verschillende maatregelen

Sub-aspect	Score: 1	Score: 2	Score: 3	Score: 4	Score: 5
Consument – comfort	Grote impact				Zo beperkt mogelijk
Consument – autonomie	Geen inspraak				Autonomie bij invulling van opgelegde beperking
Sturen van vraag en/of aanbod elektriciteit	Langzaam, niet veel, en slechts kort				Snel, grote reductie, voor lange duur
Bijdrage aan bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie	Niet geschikt voor verschillende situaties				Kan voor verschillende situaties, zowel lokaal als indirect (cumulatief op MS niveau).
Mogelijkheid voor deelname van uiteenlopende typen net-intensieve apparaten	Enkel één type apparaat				Generiek
Huidige stand van technologische ontwikkeling	TRL 1-2	TRL 3-4	TRL 5-6	TRL 7-8	TRL 9
Potentieel om door te ontwikkelen tot TRL 9	5+ jaar/niet	3+ jaar	2+ jaar	1+ jaar	Minder dan 1 jaar
Schaalbaarheid van implementatie	Lastig schaalbaar				Snel schaalbaar
Complexiteit van implementatie	Significante barrières in de implementatie				Implementatie gaat makkelijk, simpel
Afhankelijkheid van externe partijen tijdens gebruik	Veel/meerdere				Geen
Operationele robuustheid onder wisselende omstandigheden	Grote impact van aanvallen of storingen				Blijft werken in de meeste situaties, bij de meeste gebruikers
Introductie van risico's op het gebied van cybersecurity en netwerkstabiliteit	Introduceert nieuwe kwetsbaarheden				Zeer beperkt extra risico's

Sub-aspect	Score: 1	Score: 2	Score: 3	Score: 4	Score: 5
Omvang van gegevensuitwisseling en implicaties hiervan	Veel privacygevoelige gegevens				Beperkt
Implementatiekosten netbeheerders	Hoog				Laag
Implementatiekosten consumenten	Hoog				Laag
Implementatiekosten derde partijen	Hoog				Laag

Tabel scores
De scoring is een inschatting door TNO gebaseerd op interviews met experts. Het is een relatieve vergelijking tussen de mechanismes, en niet een absoluut cijfer.

Tabel A.2: Geschiktheidsscore per sub-aspect voor de beschouwde maatregelen

Sub-aspect	Aspect	GridShield: apparaat / HEMS	Real Time Interface	Slimme meter	Duitse voorbeeld	VK voorbeeld	Aggregator route: CPO / apparaat / HEMS
Consument – comfort	Impact op comfort	3 / 5	5	5	4	5	3 / 3 / 5
Consument – autonomie	Impact op comfort	1 / 5	5	5	5	5	1 / 1 / 5
Sturen van vraag en/of aanbod elektriciteit	Effectiviteit	4 / 5	5	4	3	2	3 / 3 / 4
Bijdrage aan bescherming tegen verschillende vormen van netwerkcongestie (ook indirect)	Effectiviteit	2 / 2	5	5	5	5	5 / 5 / 5
Mogelijkheid voor deelname van uiteenlopende typen net-intensieve apparaten	Effectiviteit	3 / 5	5	5	5	4	1 / 5 / 5
Huidige stand van technologische ontwikkeling	Implementatie	3 / 3	3	3	5	4	4 / 2 / 2
Potentieel om door te ontwikkelen tot TRL 9	Implementatie	3 / 3	3	3	5	5	5 / 3 / 3
Schaalbaarheid van implementatie	Implementatie	2 / 2	4	1	4	5	5 / 4 / 3

Sub-aspect	Aspect	GridShield: apparaat / HEMS	Real Time Interface	Slimme meter	Duitse voorbeeld	VK voorbeeld	Aggregator route: CPO / apparaat / HEMS
Complexiteit van implementatie	Implementatie	2 / 3	3	2	2	3	4 / 4 / 4
Afhankelijkheid van externe partijen tijdens gebruik	Implementatie	5 / 5	5	5	5	5	2 / 2 / 2
Operationele robuustheid onder wisselende omstandigheden	Veiligheid	5 / 5	4	4	4	3	3 / 3 / 3
Introductie van risico's op het gebied van cybersecurity en netwerkstabiliteit	Veiligheid	5 / 5	3	3	3	3	2 / 2 / 2
Omvang van gegevensuitwisseling en implicaties hiervan	Privacy	5 / 5	4	5	5	2	5 / 5 / 5
Implementatiekosten netbeheerders	Betaalbaarheid	2 / 2	3	4	2	5	5 / 5 / 5
Implementatiekosten consumenten	Betaalbaarheid	4 / 4	4	4	3	5	5 / 5 / 4
Implementatiekosten derde partijen	Betaalbaarheid	2 / 3	4	5	5	4	4 / 3 / 4

Bijlage B

Verdiepende analyse

B.1 Analyse en afwegingen

De verschillende mechanismes hebben ieder een score verkregen in hoofdstuk 5. Uit deze score valt op te maken dat routes via de HEMS beter scoren. Verder is er niet één duidelijke beste mechanisme voor KV-netbescherming in Nederland. De technische opties onderscheiden zich vaak in hun kenmerken langs tweedelingen. Ook spelen er ongeacht de keuze voor een technische optie andere vragen, die bij de implementatie een rol zullen spelen. Deze paragraaf biedt een reflectie op deze punten.

Technische keuze: limiet op apparaat of aansluiting

Uit de analyse van de bestaande mechanismes blijkt dat er op dit moment nog geen KV-netbeschermingsoplossing voorhanden is die in de Nederlandse context kunnen worden toegepast zonder grote aanpassingen zowel technisch als juridisch. De eerste fundamentele keuze is: sturing op apparaat- of op aansluitniveau. Sturing op aansluitniveau biedt meer keuze en mogelijkheid tot coördinatie tussen apparaten. De implementatie op apparaatniveau kan relatief makkelijker zijn (zoals bij laadpalen), maar heeft ook technische nadelen.

Sturing op aansluitniveau

Sturing op aansluitniveau zal altijd via een HEMS verlopen. De (NextGen) slimme meter die zich ook op aansluitniveau bevindt is niet geschikt om apparaten aan te sturen en is op de langere termijn alleen geschikt om eventueel het stuursignaal door te geven.

Een HEMS is op dit moment echter nog niet klaar om ingezet te gaan worden voor KV-netbescherming. De HEMS markt staat nog in de kinderschoenen en het is ook onduidelijk aan welke eisen een HEMS zou moeten voldoen. Een HEMS moet niet alleen in staat zijn om een stuursignaal van de RNB te kunnen ontvangen, maar moet vervolgens ook de aansturing van de slimme net-intensieve apparaten kunnen coördineren. Ook op dit vlak is er nog veel onduidelijk en bestaan er vele verschillende oplossingen naast elkaar.

Deze problemen zijn gelukkig al wel erkend en worden opgepakt door de verschillende NTA-trajecten (HEMS, slimme warmtepompen, slimme zonne-omvormers en slimme thuisbatterijen) die door KGG en NEN zijn/worden opgezet. Deze trajecten zullen nog wel de nodige tijd kosten, waarna de OEM's ook tijd nodig hebben om de specificaties in hun producten te implementeren. Dit betekent dan ook dat de route via de HEMS op de korte termijn (0-3 jaar) geen optie is voor KV-netbescherming. Op de middellange termijn (3-5 jaar), wanneer de NTA's zijn uitgewerkt en geïmplementeerd is de HEMS route de aangewezen manier om KV-netbescherming te implementeren.

Directe sturing op apparaatniveau

Het grote voordeel van een KV-netbeschermingsmechanisme dat direct op een apparaat werkt, is dat de consument geen extra apparatuur hoeft aan te schaffen. Er zijn echter ook drie belangrijke technische nadelen bij directe sturing op apparaten:

- **Geen standaard oplossingen voor de externe aansturing van apparaten.** Op dit moment zijn er nog geen breed geïmplementeerde standaarden om de flexibiliteit van slimme net-intensieve apparaten aan te sturen. Dit gebrek aan interoperabiliteit is al een uitdagend probleem achter de meter, maar bij directe sturing op apparaatniveau komt daar nog eens bij dat deze sturing veilig door een externe partij, zoals een netbeheerder of een aggregator, moet kunnen plaatsvinden. Bij een aanzienlijk deel van de slimme net-intensieve apparaten is directe externe aansturing simpelweg nog niet mogelijk door een gebrek aan rekenkracht op het apparaat of doordat er alleen ondersteuning is voor lokale en/of onvoldoende beveiligde protocollen zoals Modbus.

  Bij laadpalen is directe externe aansturing wel relatief goed mogelijk doordat het OCPP protocol, waarmee laadpalen extern kunnen worden aangestuurd, breed geadopteerd is. Maar zelfs hier geldt dat een deel van de thuislaadpalen geen OCPP ondersteuning biedt.

  Zolang een aanzienlijk deel van de apparaten nog niet (via gestandaardiseerde protocollen) extern aangestuurd kunnen worden, lijkt verplichte netbescherming voor kleinverbruikers op apparaatniveau technisch niet realistisch.

  Bij apparaten waarbij externe aansturing al wel mogelijk is, gebeurt dit vaak niet middels een gestandaardiseerd protocol, maar door aggregators die integreren met cloud API's van fabrikanten. Dit maakt overigens wel dat deze aggregators een belangrijke rol te spelen hebben in het aanbieden van markt gebaseerde congestiemanagement oplossingen aan de netbeheerders.

- **Lastig om over apparaten heen te coördineren.** Er zal per apparaat een limiet moeten worden vastgesteld. Om de impact voor de gebruiker niet te groot te laten zijn zal een limiet moeten worden gekozen waarbij het apparaat nog op een minimaal niveau kan functioneren. Bij de apparaat variant van de Duitse §14a is de limiet per apparaat vastgesteld op 4,2 kW. Wanneer er op een aansluiting meerdere slimme net-intensieve apparaten actief zijn die op 4,2 kW worden begrensd dan is de totale limiet op die aansluiting alsnog erg ruim. Hoe meer slimme-net intensieve apparaten, hoe minder effectief een KV-netbeschermingsmechanisme in deze opzet zal zijn.

  Daarnaast zal een aangeslotene altijd moeten accepteren dat een apparaat beperkt zal worden, zelfs als er mogelijkheden zijn om het verbruik van dat apparaat te compenseren. Een laadsessie van een EV wordt in deze opzet bijvoorbeeld altijd beperkt, ook als het benodigde vermogen voor het laden door PV opwek of het ontladen van een thuisbatterij geleverd had kunnen worden.

- **Comptabele submeters nodig voor individuele apparaten.** Bij een verplichte KV-netbeschermingsmaatregel moet achteraf kunnen worden vastgesteld of deze is opgevolgd. De enige manier om dit met zekerheid vast te kunnen stellen is om per apparaat een comptabele submeter te installeren of het apparaat de meetgegevens te laten opleveren op een vooraf gecertificeerde manier.

Bovengenoemde nadelen maken dat de aansturing op apparaten voorlopig nog geen realistische optie is voor verplichte KV-netbescherming. Er zal dus (eerst) ingezet moeten worden op aansturing op aansluit niveau.

Wanneer er in de toekomst wel gestandaardiseerde oplossingen zijn voor de externe aansturing van slimme net-intensieve apparaten en ook submetering zou zijn uitgerold, dan

kan er vanuit technisch oogpunt opnieuw naar deze KV-netbeschermingsoptie gekeken worden. Het nadeel dat er via deze optie niet over apparaten heen gecoördineerd kan worden, blijft ook in een dergelijk scenario onverminderd gelden.

Overige afwegingen

Onderstaande overwegingen zijn in onze gesprekken met de verschillende stakeholders naar voren gekomen en kunnen van waarde zijn bij de verdere uitwerking van KV-netbeschermingsmaatregelen.

Communicatie via cloud of lokaal
Cloud-gebaseerde systemen zijn gevoeliger voor storingen, wat een risico vormt voor de betrouwbaarheid van KV-netbescherming. Lokale oplossingen bieden op dit vlak voordelen, en is ook beter voor privacybescherming.

Bij een cloud-gebaseerd systeem moet aandacht besteed worden aan de afhankelijkheid van derde partijen (“Big Tech”), en de relatie met veiligheid en weerbaarheid van het elektriciteitssysteem.

Implementatie in een keer of stapsgewijs?
Er is ook een keuze tussen de implementatie in een keer doen of stapsgewijs. Een cloud-gebaseerde oplossing is beter geschikt voor grootschalig uitrol – wat enerzijds veel tijd kost om goed voor te bereiden en anderzijds gelijk is voor alle gebruikers. Een stapsgewijze uitrol kan toegepast worden in wijken of gebieden (netvlakken) waar het probleem het grootst is.

Een combinatie is ook denkbaar met op korte termijn een cloud-gebaseerde signaal en op lange termijn een signaal via de slimme meter, maar met dezelfde HEMS-interface aan de achterkant.

Privacy en ontwerpkeuzes communicatiemodel
Bij het ontwerpen van het communicatiemodel voor KV-netbescherming speelt privacy een grote rol. Er moet worden overwogen of communicatie éénrichting is of tweerichtingsverkeer vereist. Meer functionaliteit betekent doorgaans dat er meer data wordt uitgewisseld, wat weer leidt tot extra privacyafwegingen. Een technische keuze kan bijvoorbeeld zijn om alleen signalen van de middenspanningsruimte (MSR) te ontvangen bij individuele gebruikers, of juist te kiezen voor communicatie in beide richtingen of via een aggregator.

Hoe ga je controleren of een aansluiting of apparaat heeft gereageerd?
Om te controleren of een aansluiting of apparaat heeft gereageerd op een KV-netbeschermingssignaal, kan gebruik worden gemaakt van de gegevens die door de slimme meter worden geregistreerd. Door deze meetgegevens te analyseren, is het mogelijk om vast te stellen of de betreffende aansluiting daadwerkelijk heeft gereageerd. Bij KV-netbescherming op apparaatniveau is sub-metering noodzakelijk om vast te stellen of het signaal is opgevolgd. Het installeren van submeters leidt tot extra kosten die bij sturing op de aansluiting niet hoeven te worden gemaakt. Onderzoek naar hoe de meetgegevens gebruikt worden voor een (financiële) prikkel voor het al dan niet opvolgen van een KV-netbeschermingssignaal is buiten de scope van dit onderzoek.

Dezelfde techniek voor een marktmechanisme en KV-netbescherming?
Er bestaat een conceptuele keuze tussen technische oplossing voor alléén KV-netbescherming of technische oplossing die zowel marktoplossing en verplichte KV-netbescherming bewerkstelligd. Als KV-netbescherming een allerlaatste maatregel is om

overbelasting te voorkomen kan er een voordeel zijn dat het los staat van alle andere technische oplossingen. Anderzijds wordt geargumenteerd dat er voordelen zijn zoals snellere implementatie als we dezelfde oplossing hebben voor zowel marktsturing als KV-netbescherming.

B.2 “Basis-preventie” vs KV-netbescherming

In de flex-piramide van de LAN vormen communicatie met de gebruikers, en autonoom regelen de basis. Autonoom regelen kan bijvoorbeeld via normeren en standaardisatie van installaties. Deze basis geeft geen zekerheid op het realiseren van de benodigde piekvermindering maar zijn zeker op korte termijn zeer belangrijk om een stroomstoring te voorkomen. Afhankelijk van het effect van de maatregelen op de lagen 1 - 4 zal KV-netbescherming meer of minder worden ingezet.

Eén van die maatregelen die, naast de marktmechanismen, op relatief korte termijn kan worden ingezet is de “basis-preventie”. Deze ‘basis-preventie’ bestaat uit een (‘domme’) default statische (netbewuste) fabrieksinstelling per apparaat. Hierbij worden apparaten ingesteld om tijdens typische piektijden (bijvoorbeeld winterperiode tijdens werkdagen tussen 16 - 21uur) binnen, van tevoren vastgestelde, vermogenskaders te blijven: het apparaat werkt nog wel, maar minder snel. Het normeren van een beperkte vermogensvraag in piektijden wordt ook in andere landen toegepast, zoals bij laadpalen in het Verenigd Koninkrijk [22]. Een dergelijke statische beperking vanuit de fabriek kan overwogen worden voor apparaten als laadpalen en thuisbatterijen, maar is zeker niet geschikt voor alle apparaten. Zo zal de impact op warmtepompen aanzienlijk zijn.

Een stap verder is om deze vermogenskaders niet alleen vooraf in de fabriek te configureren, maar deze day-ahead naar het apparaat te communiceren. Het voordeel hiervan is dat deze day-ahead vermogenskaders beter rekening kunnen houden met de actuele situatie op het net en over het algemeen dus minder restrictief zullen zijn dan de statische kaders. Randvoorwaarde hierbij is uiteraard dat het apparaat op afstand beheerd moet kunnen worden en daarbij deze functionaliteit kan ondersteunen.

Bijlage C

Technische implicaties KV-netbescherming en marktmechanisme

Verplichte KV-netbescherming en marktmechanisme

De scope voor dit onderzoek is specifiek een verplichte KV-netbescherming. Tijdens het onderzoek werd geconstateerd dat de implementatie van een verplicht mechanisme waarschijnlijk een aanlooptijd van meerdere jaren heeft i.v.m. juridische kader in combinatie met technische implementatie. In onze gesprekken met experts werd meerdere keer gezegd dat er grote potentie zit in een vrijwillige marktmechanismen om overbelasting (lokaal) op te lossen. Daarom geven we in dit hoofdstuk een korte reflectie op de technische verschillen tussen verplichte KV-netbescherming en een vrijwillig marktmechanisme. Dit is een eerst reflectie die ondersteuning kan geven aan een meer volledige analyse als vervolgonderzoek.

Tabel C.1: Technische verschillen tussen een marktmechanisme en KV-netbescherming

	Marktmechanisme	Netbescherming
Aansturing	Standaardisatie is wenselijk en werkt versnellend op adoptie. Kan ook op basis van propriëtaire oplossingen.	Geautomatiseerde en gestandaardiseerde oplossingen/interfaces voor de hele keten.
Adoptie	Brede adoptie niet noodzakelijk. Eén aanbieder is voldoende om met een bepaald marktmechanisme te starten.	Brede adoptie is het doel. Elke kleinverbruiker moet in staat worden gesteld om aan een KV-netbeschermingsverplichting te kunnen voldoen. Waarschijnlijk regulering/certificering nodig.
Uniformiteit	Er kunnen meerdere marktmechanismes naast elkaar bestaan.	Eén uniforme oplossing voor alle kleinverbruikers.
Comfort	Alleen impact op comfort met expliciete toestemming van de klant.	Impact op comfort niet uit te sluiten.
Effectiviteit	Onzeker of noodzakelijke reductie opgevolgd wordt.	Noodzakelijke reductie wordt afgedwongen.
Metering	Comptabele metingen niet strikt noodzakelijk. Zou bijvoorbeeld ook op basis van metingen van aanbieder kunnen i.c.m. steekproeven.	Comptabele metingen noodzakelijk om achteraf vast te kunnen stellen of een KV-netbeschermingssignaal door een kleinverbruiker/consument is opgevolgd.

Hieronder worden de technische verschillen tussen marktmechanismes en KV-netbescherming verder toegelicht:

- **Aansturing.** Voor een marktmechanisme is een gestandaardiseerde oplossing niet per se noodzakelijk, maar standaardisatie van marktmechanismes zorgt wel voor meer interoperabiliteit tussen aanbieders. Hierdoor kunnen nieuwe spelers op de markt makkelijker toetreden en zitten klanten minder vast aan een specifieke technische oplossing (lock-in), waardoor zij ook makkelijker van aanbieder kunnen wisselen.

  Voor KV-netbescherming zijn geautomatiseerde en gestandaardiseerde oplossingen noodzakelijk. Een consument moet een stuursignaal van de netbeheerder (al dan niet via een aggregator als tussenstap) volledig geautomatiseerd kunnen ontvangen en mag er vervolgens van uitgaan dat net intensieve slimme apparaten in staat zijn om hier (via een HEMS) invulling aan te geven.

- **Adoptie.** Om te kunnen starten met een bepaald marktmechanisme is er in principe maar één aanbieder nodig. In de praktijk zullen dat er waarschijnlijk meer zijn, zodat de kosten voor implementatie van een oplossing beter te rechtvaardigen zijn.

  Bij verplichte KV-netbescherming moeten kleinverbruikers maximaal gefaciliteerd worden om aan deze verplichting te voldoen. Zij mogen er bij de aanschaf van slimme net intensieve apparaten bijvoorbeeld van uitgaan dat die voldoen aan de eisen van KV-netbescherming. Naar alle waarschijnlijkheid is er een vorm van regulering nodig om ervoor te zorgen dat fabrikanten alleen compatibele apparaten op de markt brengen.

- **Uniformiteit.** Voor marktmechanismen geldt dat er meerdere oplossingen mogelijk zijn, waarbij er waarschijnlijk na verloop van tijd duidelijke voorkeuren in de markt gaan ontstaan.

  Bij een verplichting zal er sprake een uniforme oplossing moeten zijn. Op deze manier worden alle kleinverbruikers op dezelfde manier behandeld en is duidelijk aan welke eisen zij moeten voldoen.

- **Comfort.** Deelname aan een marktmechanisme is uiteraard vrij voor een kleinverbruiker. Mocht een marktmechanisme impact hebben op comfort dan is dat dus altijd met expliciete toestemming van de klant. Vaak zullen aanbieders van marktoplossingen de comfortwensen van de klant ook als uitgangspunt nemen bij de aansturing van apparaten.

  Bij verplichte KV-netbescherming is impact op comfort niet uit te sluiten. Dit komt doordat een KV-netbeschermingevent op onverwachte momenten kan optreden, waarbij simpelweg geen rekening gehouden kan worden met de actuele toestand van de apparaten. Wanneer een apparaat zich dan toevallig al dicht bij een comfort grens bevindt, kan KV-netbescherming ervoor zorgen dat het door deze grens heen zakt.

  In het geval dat de aansturing voor KV-netbescherming via een HEMS verloopt, kan deze de impact op comfort zoveel mogelijk beperken door een vermogenslimiet zo gunstig mogelijk over de beschikbare apparaten te verdelen.

  Tot slot moet worden opgemerkt dat een KV-netbeschermingssignaal nooit mag betekenen dat apparaten “hard” worden aangestuurd zonder een mogelijkheid voor de kleinverbruiker om het signaal te negeren. Via deze route kan dus impact op comfort worden vermeden, maar het niet opvolgen van zo’n signaal zou mogelijk wel tot sancties kunnen leiden.

- **Effectiviteit.** Met een marktmechanisme zijn er situaties mogelijk waar er niet voldoende lokale flex vrijwillig beschikbaar is om een stroomstoring te voorkomen. Dit kan komen door (te) weinig gecontracteerde flex bij marktpartijen op bepaalde plekken, of gebrek aan bereid om de flex op dat moment te ontsluiten. Er is verhoudingsgewijs minder flex beschikbaar in kleinere gebieden. Oftewel, hoe meer lokaal het probleem is, hoe minder effectief een vrijwillige markt is. Door de verplichtende karakter van KV-netbescherming daarentegen wordt de noodzakelijke reductie bereikt.

- **Metering.** Bij een marktmechanisme zal er een afrekening moeten plaatsvinden tussen netbeheerder en aggregator enerzijds en tussen aggregator en consument anderzijds. Dit kan natuurlijk op basis van comptabele meetgegevens van bijvoorbeeld de slimme meter, maar zou ook op basis van apparaat/asset data kunnen.

Bij verplichte KV-netbescherming moet achteraf vastgesteld kunnen worden of een stuursignaal door een kleinverbruiker/consument is opgevolgd. Dit kan alleen op basis van een comptabele meter. In het geval van sturing op de aansluiting voldoet de huidige slimme meter al, maar in het geval van apparaatsturing zullen er eerst comptabele submeters uitgerold moeten worden of apparaten gecertificeerd moeten worden om zelf meetgegevens op te mogen leveren.

Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl

TNO innovation for life