

The logo for Elaadnl, featuring the company name in white text on a blue circular background.A large yellow circle graphic that serves as a background for the title text.

Onderzoek onderspanning

Versie 1.0 | Februari 2025

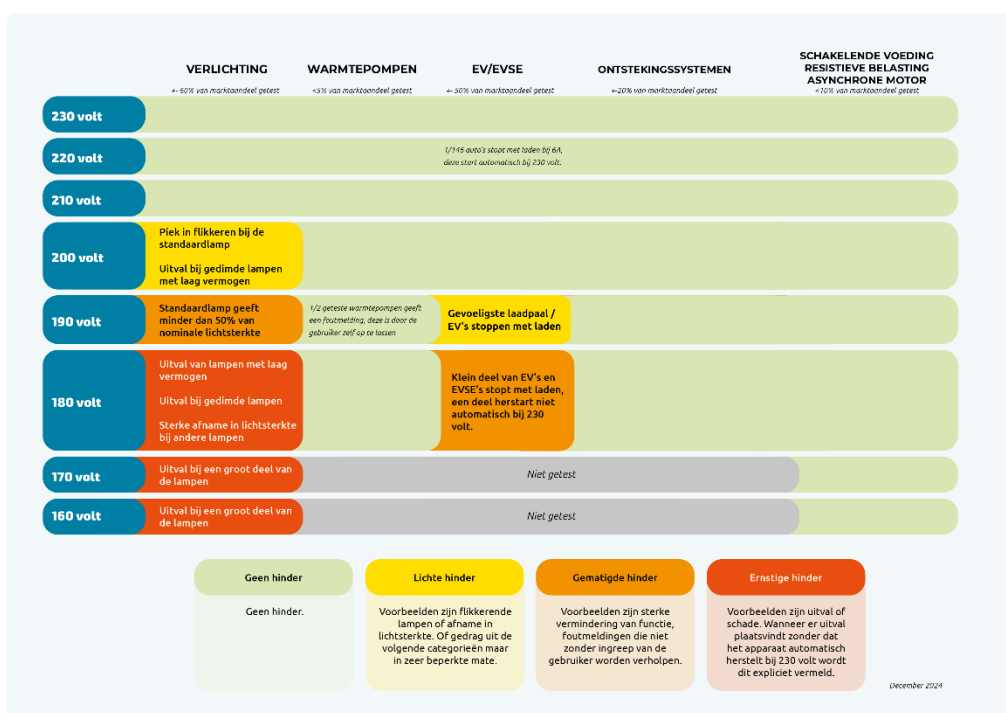
SAMENVATTING

Dit onderzoek richt zich op het analyseren van de impact van onderspanning op verschillende apparaten van laagspanningsklanten (LS-klanten). De groei van het aantal elektrische voertuigen en warmtepompen zorgt voor grotere fluctuaties in het laagspanningsnet, dit kan leiden tot lagere spanningswaarden. Wanneer de spanningswaarde onder de 207 volt komt spreken we van onderspanning. Deze studie beoogt inzicht te verschaffen in de vraag "Wat is de impact van verschillende mate van onderspanning?" door de volgende deelvragen te beantwoorden:

- Hoe reageren verschillende soorten apparaten op verschillende niveaus van onderspanning?
- Wat is het gedrag van apparaten nadat er onderspanning heeft plaatsgevonden; blijven ze in storing of herstellen ze automatisch?
- Welke apparaten, met de nadruk op LS-klanten, zijn het meest gevoelig voor onderspanning?

Om deze vragen te beantwoorden, zijn veelvoorkomende apparaten van LS-klanten onderverdeeld in verschillende belastingcategorieën en getest op hun gedrag bij verschillende niveaus van onderspanning. De resultaten tonen aan dat de apparaten in de categorieën verlichting, frequentiereguleerde motoren (zoals warmtepompen), en elektrische voertuigen en hun laadstations (EV/EVSE) het meest gevoelig zijn voor onderspanning.

Onderstaande afbeelding laat de mate van hinder zien in een impactmatrix. De mate van hinder is per categorie, per voltage weergegeven. Op basis van de resultaten is te stellen dat er lichte hinder is in de categorie 'verlichting' bij 200 volt. Bij 190 volt vertoont de categorie 'EV/EVSE' lichte hinder en neemt de hinder bij verlichting toe tot gematigd. Bij 180 volt zien we ernstige hinder, hier is uitval te zien bij verlichting en het laadproces van een klein aantal elektrische voertuigen.



In de komende paragrafen worden de resultaten per belastingcategorie toegelicht. Verlichting begint bijvoorbeeld al bij 200 volt te flikkeren en bij verdere spanningsverlaging neemt de lichtsterkte significant af, met uitval bij ongeveer 180 volt. Hierbij herstellen de apparaten automatisch wanneer het voltage weer hoger wordt.

Warmtepompen vertonen weinig risico, hoewel foutmeldingen kunnen optreden bij spanningen rond 190 volt, blijven ze functioneren tot 180 volt. De testresultaten voor warmtepompen moeten echter met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, aangezien slechts een beperkt marktaandeel werd getest.

Voor elektrische voertuigen en hun laadstations blijkt dat bij een spanning tussen 200 en 190 volt een klein aantal voertuigen en laadpalen stopt met laden, waarbij de meeste apparaten zichzelf herstellen bij 230 volt. Bij spanningen tussen 190 en 180 volt neemt het aantal storingen iets toe, al blijft dit aantal erg laag. Wel is in sommige gevallen handmatige interventie van de gebruiker vereist om het laden te hervatten.

Bij ontstekingsystemen zien we dat moderne cv-ketels blijven functioneren tot 180 volt. Wanneer de cv-ketels worden opgestart in onderspanning zien we storing bij alle ketels. Dit scenario is erg onwaarschijnlijk aangezien cv-ketels vrijwel altijd voorzien zijn van stroom, en niet vaak gereset worden. Daarom is de mate van hinder door onderspanning binnen deze categorie als 'geen hinder' geclassificeerd.

De mate van hinder en het risico op uitval bij onderspanning verschilt per categorie, maar is vooral merkbaar bij verlichtingsapparaten, en bij een klein deel van de elektrische voertuigen en laadpalen. Hierbij zien we lichte hinder bij 200 volt, matige hinder bij 190 volt, en ernstige hinder bij 180 volt.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	2
Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Definitie onderspanning	5
1.3 Doelstelling	5
1.4 Leeswijzer.....	6
Het gedrag van verschillende apparaten bij onderspanning	7
2.1 Schakelende voeding	8
2.2 Resistieve belasting.....	8
2.3 Verlichting.....	10
2.4 Asynchrone/ inductie motor.....	13
2.5 Frequentie geregelde motor.....	14
2.6 Ontstekingsystemen.....	15
2.7 EV / EVSE.....	16
Conclusie	18
3.1 Impactmatrix.....	19
3.2 Impact op de stroomvraag.....	20
Aanbevelingen	21
4.1 LS-Klanten	21
4.2 Netbeheerder.....	21
4.3 Fabrikant	21
4.4 Installateur	21
Appendix A: Geteste apparaten	23
Appendix B: Resultaten Verlichting	24
Niet gedimde lampen.....	24
Gedimde lampen.....	26
Dimmers.....	27
Appendix C: Resultaten Warmtepompen	39

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Het aantal onderspanning-knelpunten in LS-netwerken zal naar verwachting aanzienlijk toenemen als gevolg van de energietransitie in de komende jaren. Onderspanning kan leiden tot het uitschakelen van elektrische apparaten, dat een aanzienlijke impact heeft op de eindgebruikers. Op dit moment is echter nog niet duidelijk bij welk spanningsniveau en gedurende welke tijdsduur deze apparaten worden uitgeschakeld en of er mogelijk andere ongewenste gevolgen optreden.

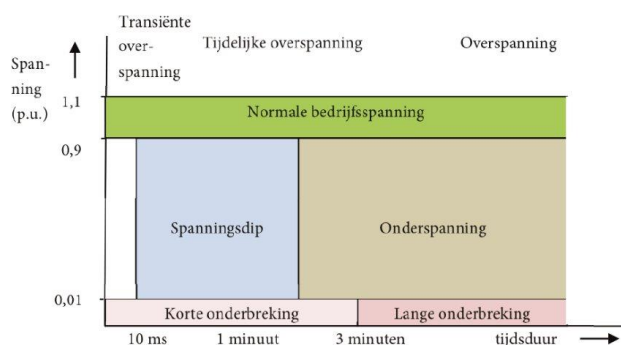
Klanten die worden getroffen door onderspanning klagen nauwelijks en apparaten blijven vaak functioneren. Daarom is het momenteel onduidelijk bij welke mate van onderspanning LS-klanten wel hinder ervaren of wanneer apparaten uitschakelen.

1.2 DEFINITIE ONDERSPANNING

In de Netcode elektriciteit is het nominale spanningsniveau U_{nom} 230V. Hiervoor geldt dat:

- $U_{nom} \pm 10\%$ voor 95% van de over 10 minuten gemiddelde waarden gedurende 1 week
- $U_{nom} +10\% / -15\%$ voor alle over 10 minuten gemiddelde waarden

Hierbij wordt onderspanning over het algemeen gedefinieerd als een spanningsniveau lager dan 207V, waarbij deze voor langer dan een minuut wordt aangehouden. Niet elk apparaat reageert hetzelfde op dit spanningsniveau.



1.3 DOELSTELLING

Dit onderzoek geeft antwoord op de vraag "Wat is de impact van verschillende mate van onderspanning?" Om op deze vraag antwoord te geven worden de volgende deelvragen beantwoord:

1. Hoe reageren verschillende soorten apparaten op verschillende niveaus van onderspanning?
2. Wat is het gedrag van apparaten nadat er onderspanning heeft plaatsgevonden, blijven ze in storing of herstellen ze automatisch?
3. Welke apparaten zijn het meest gevoelig voor onderspanning en in welke netsituatie schakelen deze uit?

Om antwoord te geven op deze deelvragen zijn de veel voorkomende apparaten van LS-kanten in verschillende belastingcategorieën opgedeeld. Voor elk van deze categorieën zijn onderspanningstests uitgevoerd. Tijdens deze tests is er gekeken naar het gedrag van de apparaten bij verschillende mate van onderspanning. Degradatie door langdurig gebruik is buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek. De testresultaten worden beschreven per categorie. Op basis van de resultaten uit deze hoofdstukken kan er een uitspraak gedaan worden over het gedrag van verschillende apparaten bij verschillende niveaus van onderspanning.

1.4 LEESWIJZER

Het document begint met het hoofdstuk dat ingaat op de achtergrond van het onderzoek. In dit hoofdstuk wordt de term onderspanning toegelicht en uitgelegd waarom dit onderzoek in gang is gezet.

Vervolgens worden de belastingcategorieën en de testopstelling beschreven in de eerste paragraaf van het hoofdstuk "Het gedrag van verschillende apparaten bij onderspanning". De rest van dit hoofdstuk bevat de resultaten per belastingcategorie, waarbij elke categorie zijn eigen paragraaf heeft. Elke paragraaf begint met een korte beschrijving van de categorie. Dan volgt een verwachting over het gedrag bij onderspanning van de apparaten uit deze groep. Dit wordt opgevolgd door de testresultaten, waarbij wordt ingegaan op de onderspanningsklachten en een eventuele ondergrens. Op basis van deze resultaten wordt de impact van onderspanning op de categorie bepaald.

De gezamenlijke resultaten van de verschillende belastingcategorieën vormen samen de conclusie. Hier wordt antwoord gegeven op de hoofd- en deelvragen. In dit hoofdstuk is tevens een globaal overzicht geschetst van alle relevante testresultaten. Tot slot is op basis van de conclusie een aanbeveling geschreven.

HOOFDSTUK 2

HET GEDRAG VAN VERSCHILLENDE APPARATEN BIJ ONDERSPANNING

Hoe apparaten reageren bij onderspanning is veelal onbekend. Om hier meer zicht op te krijgen zijn de elektrische apparaten ingedeeld in zeven belastingcategorieën. Deze categorieën zijn deels gebaseerd op het onderzoek "Advanced Load Modelling for Power System Studies" (Collin, 2014). De categorieën die in dit onderzoek worden behandeld staan beschreven in onderstaande tabel. In de komende paragrafen worden de testresultaten en de impact van onderspanning op de apparaten per categorie beschreven. In bijlage A is een overzicht te zien van alle geteste apparaten.

Categorie	Omschrijving	Belasting	Voorbeelden
1. Schakelende voeding (SMPS)	Voedingsapparaat dat onafhankelijk van de ingangsspanning en uitgangsbelasting een stabiele uitgangsspanning levert.	Constant vermogen	Computer, laptop, oplader, televisie, router
2. Resistieve belasting	Eenvoudige belasting met een verwarmingselement, waarbij stroom en spanning in fase zijn	Constante impedantie	Broodrooster, inductie kookplaat, oven, waterkoker
3. Verlichting en dimmers	Licht dat door wisselspanning wordt opgewekt.	Constante impedantie (slimme lampen constant vermogen)	LED, spaarlamp, gasontladings lamp
4. Asynchrone / inductie motor	Borstelloze machine die elektrische energie omzet in mechanische energie.	Constante impedantie (vriezer constant vermogen)	Ventilator, stofzuiger, vijverpomp, koelkast, vriezer
5. Frequentie geregelde motor (VFD)	Motorbesturingssysteem dat de snelheid en koppel van een elektromotor regelt door de frequentie en spanning die aan de motor wordt geleverd te variëren.	Constant vermogen	Airco, warmtepomp
6. Ontstekingsystemen	Apparaat dat warmte genereert doordat het een elektrische stroom door een weerstandsmateriaal laat lopen om warmte te genereren. Zodra de ontsteker de benodigde temperatuur heeft bereikt, ontsteekt het gas waardoor het verbrandingsproces wordt geïnitieerd.		CV-ketel, gasfornuis
7. Elektrische voertuigen (EV) en laadpalen (EVSE)	Voertuigen die worden aangedreven door elektromotoren, waarbij de energie afkomstig is van oplaadbare batterijen. Laadpalen (EVSE) zorgen ervoor dat de batterij van een elektrisch voertuig kan worden opgeladen via het elektriciteitsnet.	Constant vermogen	Elektrische auto's, laadpalen

2.1 SCHAKELENDE VOEDING

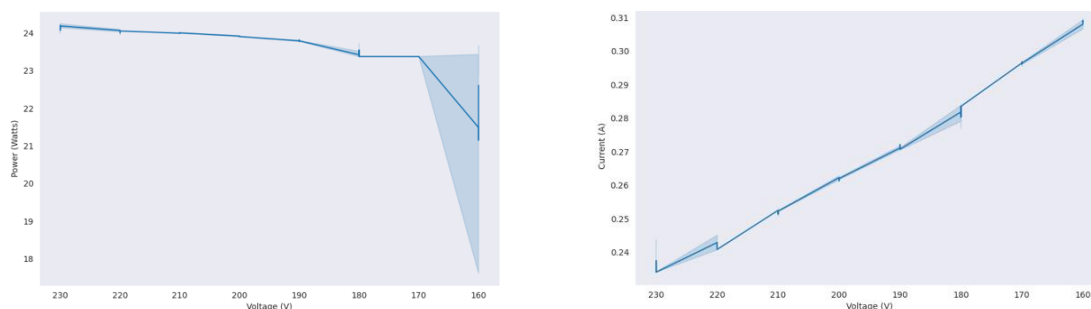
Het type apparaten in deze categorie is heel breed. Schakelende voedingen komen voor in apparaten zoals laptops, televisies, net adapters (voor bijvoorbeeld het laden van een telefoon, tablet etc). Tijdens de tests is het voltage vanaf 230 volt elke 120 seconden steeds met 10 volt verlaagd tot de 160 volt, hierna wordt het voltage elke 120 seconden opgehoogd tot 230 volt in stappen van 10 volt.

2.1.1 Verwachting

Consumentenelektronica met schakelende voedingen wordt veelal internationaal gekeurd en kent een breed spanningsbereik; 100-240V 50/60 Hz. De verwachting is dat het vermogen constant zal blijven. Er worden geen zichtbare reacties op onderspanning verwacht.

2.1.2. Resultaten

De resultaten komen overeen met de verwachting. Het vermogen blijft min of meer stabiel en de stroom neemt toe. De geteste apparaten vertonen geen opmerkelijk gedrag. Een van de geteste monitoren werd iets minder fel bij 160 volt, maar hindert het gebruik niet. In de grafieken toont de lijn het gemiddelde en het blauwe veld rondom de 95% confidence interval.



2.1.3 Ondergrens en hinder

De apparaten zijn getest tot een ondergrens van 160 volt. Hierbij werd 1 van de 3 geteste monitoren iets minder fel. De laptops bleven laden en gaven geen merkbare onderspanningsklachten. De netadapters werden warm, maar niet heter dan bij normaal gebruik. Er is geen uitval, of hinderlijk gedrag dat duidt op een ondergrens.

2.1.4 Impact

Hoewel een groot deel van de bevolking in bezit is van apparaten binnen deze categorie is het effect van onderspanning op de apparaten niet impactvol. De apparaten vertonen geen storend gedrag en geven geen risico op schade.

Er is wel impact te zien op de stroomvraag. Bij een monitor gaat dit om waarden van 0,24 A bij 230 volt en 0,31A bij 160 volt.

2.2 RESISTIEVE BELASTING

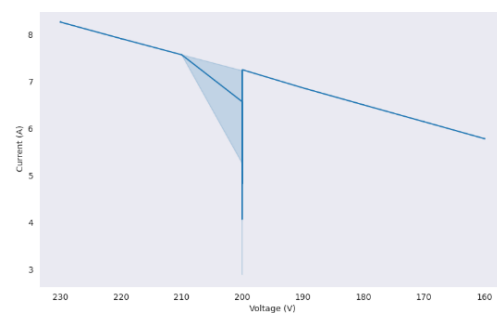
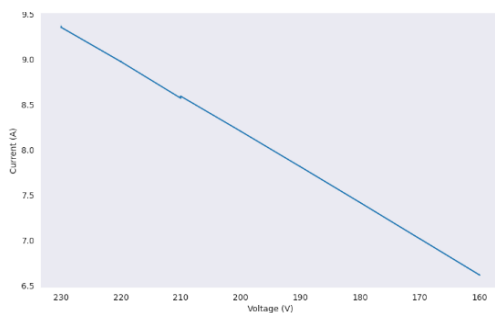
De apparaten die zijn getest in deze categorie zijn broodroosters, waterkokers en koffiezetters. Zie bijlage A voor welke apparaten er specifiek zijn getest. Tijdens de tests is het voltage vanaf 230 volt elke 120 seconden steeds met 10 volt verlaagd tot 160 volt, hierna wordt het voltage elke 120 seconden opgehoogd tot 230 op dezelfde manier.

2.2.1 Verwachting

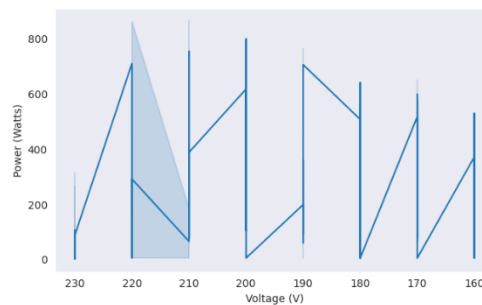
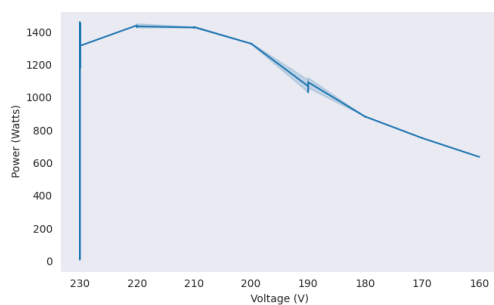
De verwachting is dat de weerstand gelijk zal blijven. Vanwege deze constante impedantie neemt het vermogen af wanneer de spanning lager wordt. Dit leidt ertoe dat apparaten zoals broodroosters of waterkokers er langer over doen om dezelfde hitte te leveren. Er wordt geen uitval of schade verwacht binnen deze categorie

2.2.2 Resultaten

Er is geen noemenswaardig verschil in het gedrag geconstateerd bij onderspanning tussen de verschillende apparaten binnen deze categorie. Wanneer er minder voltage aan het apparaat wordt geleverd, verbruikt het apparaat minder vermogen. Hierdoor duurt het verwarmen (zoals bij waterkokers, koffiezetters en broodroosters) wat langer. Wanneer het voltage weer wordt verhoogd, neemt het verbruikte vermogen weer toe. De apparaten vertonen geen storing of opmerkelijk gedrag, ook is er geen uitval. Tijdens het testen van de waterkokers, koffiezetters en broodroosters zijn de apparaten opnieuw aangezet aangezien deze automatisch uitgaan wanneer hun taak voltooid is. Hierdoor zijn er in deze grafieken soms sterke dalingen in het vermogen en de stroom te zien.



Bij de inductie kookplaten zien we dat wanneer het voltage verlaagd of verhoogd wordt, er een korte toename is van het stroomverbruik en vermogen. Dit stabiliseert zich na ongeveer 20 seconden. De kookplaat geeft geen storing en blijft verwarmen, dit zal voor de gebruiker dus niet merkbaar zijn, maar zorgt voor opmerkelijke grafieken. Dit patroon is te zien wanneer de inductieplaat moet verwarmen op de laagste stand (lager vermogen), maar niet wanneer deze verwarmt op de hoogste stand, hier is een patroon van constante impedantie te zien, vergelijkbaar met de andere apparaten binnen deze categorie.



2.2.3 Ondergrens en hinder

De tests zijn uitgevoerd van 230 volt tot en met 160 volt. Bij deze ondergrens verbruiken de apparaten ongeveer de helft van het vermogen dat wordt verbruikt bij 230 volt. Er is geen sprake van hinder, uitval of een ondergrens boven de geteste 160 volt binnen deze categorie.

2.2.4 Impact

De impact van onderspanning op deze categorie wordt bestempeld als laag. Hoewel een groot deel van de bevolking in bezit is van apparaten binnen deze categorie is het effect van onderspanning op de apparaten niet storend. De apparaten vertonen geen storend gedrag (zoals flikkeren of harde geluiden maken) en geven geen risico op schade. Ook is er geen toename in stroom.

2.3 VERLICHTING

Er is veel onderzoek gedaan in de literatuur naar LEDs, maar slechts in beperkte mate hoe deze reageren op onderspanning. Een onderzoek (Yusrizal et al., 2015) toont aan dat alle onderzochte LEDs blijven functioneren bij onderspanning tot 160V. In ditzelfde onderzoek wordt gekeken naar de totale hoeveelheid licht die wordt uitgestraald (Lumen). Deze daalt nagenoeg lineair met de spanning.

Voor het testen van niet gedimde lampen zijn er bij ElaadNL 23 verschillende LEDs getest. Deze verschillen in vermogen, lumen, kleurtemperatuur, mogelijkheid tot dimmen, aanwezigheid van filament en of ze smart zijn.

Het testscript 230-160V is uitgevoerd, hierbij is elke stap van 10 volt ongeveer 2 minuten aangehouden. Met een analoge luxmeter is bij elke stap deze waarde genoteerd, alsmede het vermogen en de stroomsterkte.

Dimmers

De dimbare lampen zijn getest in combinatie met verschillende dimmers. De tests zijn uitgevoerd van 230 tot 160 volt, hierbij is elke stap ongeveer 2 minuten aangehouden. Voor het meten is gebruik gemaakt van een digitale luxmeter. De lampen zijn getest met 3 verschillende fysieke dimmers, een selectie van de lampen kan enkel middels een app gedimd worden. Deze zijn niet compatibel met de fysieke dimmers en daarom ook niet in combinatie met deze dimmers getest.

2.3.1 Verwachting

De verwachting is dat de lampen blijven functioneren tot 160 volt. Maar dat de totale hoeveelheid licht die wordt uitgestraald (Lumen) lineair daalt met de spanning. Verder is de verwachting dat het flikkeren toeneemt naarmate de spanning afneemt.

2.3.2 Resultaten

Er is bij veel lampen een toename in het flikkeren te zien rond de 200 volt. Ook zien we uitval rond de 180 volt, waarbij onderspanning een grotere impact heeft op lampen die sterk gedimd zijn en lampen met een laag vermogen. Bij deze lampen zien we een sterke afname ten opzichte van de nominale lichtwaarden en uitval rond de 180 volt.

De lampen die worden gedimd door de kwalitatief mindere stekkerdimmer hebben het meest last van onderspanning. De lampen die gedimd worden door een app hebben het minste last van onderspanning. Deze slimme lampen zijn vaak ook wat prijziger.

Bij de slimme lampen (gedimd met een app) zien we dat het vermogen gelijk blijft. Bij de lampen met constante impedantie zien we dat het vermogen, en daarmee de lichtsterkte afneemt bij lagere voltages.

Een uitgebreider verslag van de testresultaten m.b.t verlichting is te vinden in appendix B.

2.3.3 Ondergrens en hinder

Spanningswaarde	Hinder
200 volt	Lampen met een laag nominaal vermogen, en gedimde lampen geven significant minder licht. Piek in flikkeren bij veel lampen.
190 volt	Sterke afname in lichtsterkte bij lampen met een laag nominaal vermogen. Uitval bij sterk gedimde lampen, met uitzondering van de kwalitatief goede smart lampen.
180 volt en lager	Sterkte toename in uitval.

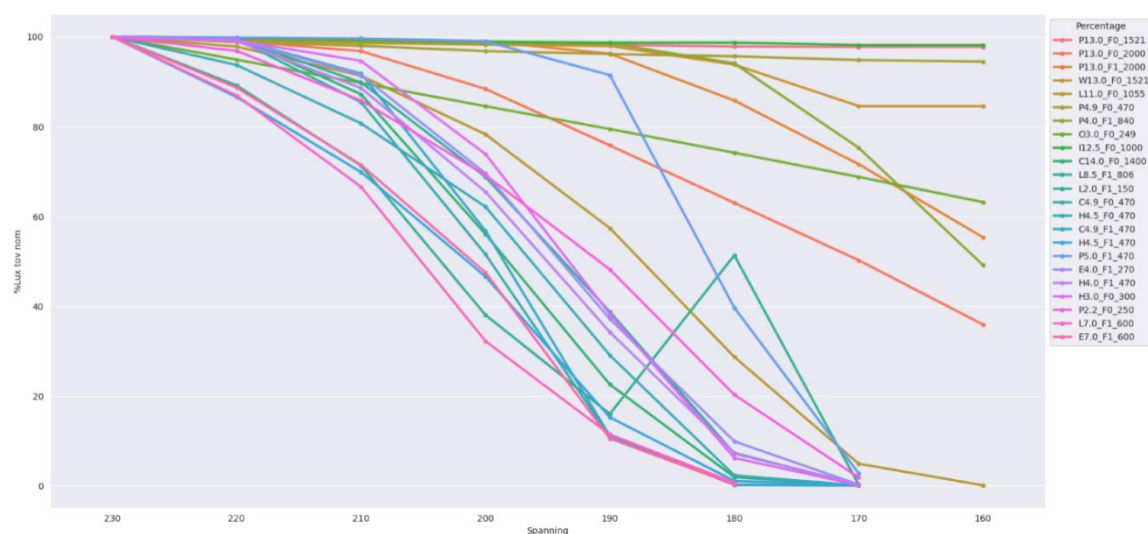
Tot de 200 volt geeft het merendeel van de lampen (19 van de 23 geteste lampen) meer dan 50% van hun nominale lichtsterkte af. De lampen met lagere percentages zijn voornamelijk lampen met een laag nominaal vermogen. Wanneer de lamp gedimd is, zien we dat het nominale lichtvermogen sneller afneemt. Ook zien we bij dit voltage een toename in het flikkeren van lampen.

Bij 190 volt zien we dat er uitval plaatsvindt. Ook is er uitval bij lampen met een laag vermogen die gedimd zijn met de stekkerdimmer, of zeer sterk worden gedimd door andere dimmers.

Bij 180 volt geven nog 9 van de 23 meer dan 50% van hun nominale lichtsterkte af. Bij dit voltage neemt het aantal lampen dat uitschakelt significant toe.

Op basis van deze resultaten kunnen we voor verlichting zeggen dat er significant risico op hinder ontstaat vanaf 200 volt en uitval vanaf 180 volt.

Onderstaande grafiek toont een weergave van het percentage van de nominale lichtsterkte van ongedimde lampen. Hierin is het patroon van afname en uitval rond de 180 volt terug te zien.



2.3.4 Impact

De impact van onderspanning op deze categorie is groot. De lampen geven significant minder licht vanaf 200 volt, en gaan in veel gevallen flikkeren. Ook zien we bij lampen die sterk gedimd zijn, of een laag nominaal vermogen hebben uitval bij 190 volt. Bij lampen met een hoger nominaal vermogen, of lampen die minder sterk zijn gedimd, zien we uitval rond de 180 volt.

Doordat de gebruiker hinder ervaart, is de aanname dat er bij onderspanning een toename zal zijn in klachten en vragen.

2.4 ASYNCHRONE/ INDUCTIE MOTOR

De geteste apparaten binnen deze categorie zijn ventilatoren, een koelbox, een vijverpomp, stofzuigers, vriezers en koelkasten.

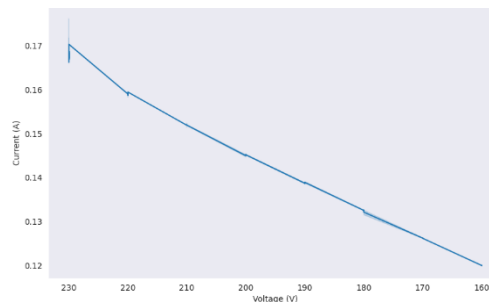
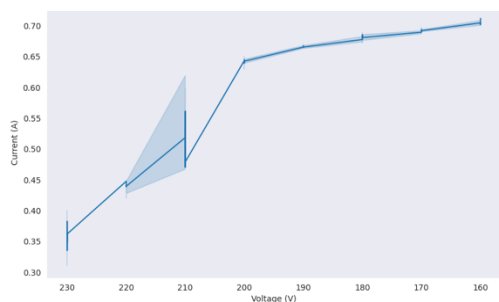
2.4.1 Verwachting

De verwachting is dat wanneer de spanning en daarmee het vermogen daalt, de motor wellicht moeite krijgt om dezelfde belasting aan te drijven. Een andere mogelijkheid is dat het apparaat het verminderde vermogen probeert te compenseren door meer stroom te trekken. Dit kan leiden tot een toename van de stroom die door de motor loopt. Hoewel dit kan helpen om het vermogen enigszins te stabiliseren, kan het ook leiden tot oververhitting en schade aan de motor als de stroom te hoog wordt voor de ontwerp specificaties.

2.4.2 Resultaten

Een geteste koelbox tijdens het verhogen van het voltage gestopt met koelen, de koelbox functioneerde na het testen nog naar behoren. De verwachting is dat de beoogde temperatuur tijdens het testen is bereikt en dat er daarom is gestopt met koelen. Bij het testen van de ventilatoren is er een lichte afname in frequentie geconstateerd. Deze is in gebruik echter nauwelijks merkbaar. Alle apparaten bleven functioneren en konden opstarten bij 160 volt.

Wel is te zien dat de stroom toeneemt. Dit is bij de koelbox een toename van 0,35A op 160 volt. Dit is bijna een verdubbeling van de stroom op 230 volt.



2.4.3 Ondergrens en hinder

Onderspanning heeft geen hinderlijke invloed op apparaten binnen deze categorie. Een ondergrens is hier dan ook niet van toepassing.

2.4.4 Impact

De impact van onderspanning op apparaten uit deze groep is laag. Wel is er een significante toename in stroom te zien. Bij de koelbox stijgt de stroom van 0,35A op 230 volt naar 0.70A bij 160 volt.

2.5 FREQUENTIE GEREGLDE MOTOR

Vanuit de literatuur is er weinig onderzoek gedaan naar de werking van warmtepompen (WP) bij onderspanning. Een onderzoek waarin 6 WP zijn getest laat zien dat deze allemaal functioneren bij een spanningsniveau van 160V (Heffernan et al., 2014). Ander onderzoek spitst zich meer toe op de impact van een hoger aandeel WP in het LS-net. Hierbij komt naar voren dat dit kan leiden tot een verlaging van de spanning als er geen zorg wordt besteed aan de spreiding over fases in woonwijken en het configureren van het tijdstip van functies zoals legionella preventie, thermische desinfectie (Akmal et al. 2011; Li et al., 2018; Protopapadaki et al., 2017).

Over het algemeen zijn er 3 modi te onderscheiden bij WP, namelijk stand-by, tapwaterverwarming en ruimteverwarming. Hierbij is voornamelijk ruimteverwarming onderzocht, aangezien hierbij de (frequentie geregelde) compressor aan het werk moet.

De tests zijn uitgevoerd van 240 volt tot 180 volt, waarbij het voltage elke 120 seconden met 10 volt wordt verlaagd. De tests zijn uitgevoerd tot 180 volt, in tegenstelling tot de 160 volt zoals bij andere categorieën uit bescherming voor de warmtepomp.

2.5.1 Verwachting

De verwachting is dat de warmtepompen bij een lagere spanning het vermogen constant houden, waardoor de stroom zal toenemen. De verwachting is dat WP blijven functioneren bij 180 volt. Om dit beeld te bevestigen moeten nog meer WP getest worden.

2.5.2 Resultaten

Er zijn 2 warmtepompen getest bij ElaadNL, in 2023 werden er 87484 subsidieaanvragen gedaan verdeeld over 2362 verschillende warmtepompen. (Warmtepompen 2023 particulier, aantallen meldcodes 2023 PA). De geteste warmtepompen representeren 3,72% van de subsidieaanvragen.

De warmtepompen blijven functioneren bij een spanningsniveau van 180 volt. En van de 2 geteste warmtepompen toont een foutmelding op 190 volt, maar blijft wel functioneren. De foutmelding kan door de gebruiker worden opgelost.

Uit de resultaten van de vragenlijst blijkt dat 4/5 warmtepompfabrikanten een onderspanningsgrens hanteren. De waardes van deze ondergrens verschillen van 200V-130V. Deze is bij 1/4 aan te passen, namelijk door vervanging van hardware.

Een uitgebreider verslag van de testresultaten is terug te vinden in Appendix C.

2.5.3 Ondergrens en hinder

In de tot nu toe geteste warmtepompen is geen gedrag aangetroffen dat duidt op een ondergrens.

2.5.4 Impact

De impact van onderspanning op LS-kanten in het bezit van warmtepompen lijkt laag. 1 van de 2 geteste warmtepompen toont een foutmelding bij 190 volt, maar de WP blijft functioneren. De gebruiker kan de foutmelding zelfstandig oplossen.

Er is wel een toename in stroomverbruik te zien. Dit zou kunnen leiden tot piekbelasting bij bijvoorbeeld de wekelijkse thermische desinfectie. De kans dat gebruikers het tijdstip van de thermische desinfectie zelf gaan instellen is laag, de kans is dus groot dat dit bij veel warmtepompen op de standaardtijd gaat gebeuren.

2.6 ONTSTEKINGSSYSTEMEN

Voor het testen van apparaten binnen deze categorie is gebruik gemaakt van een instelbare spanningsregelaar, om de impact van spanningsvariaties op verschillende typen cv-ketels te testen. De tests zijn uitgevoerd op locatie bij particulieren, waarbij toestemming is verkregen om metingen te verrichten. Met de spanningsregelaar werd de netspanning gecontroleerd aangepast, zodat de werking van de ketel kon worden geanalyseerd onder omstandigheden van onderspanning. Hierbij zijn zowel de prestaties van de ketel als eventuele storingen in kaart gebracht.

Tijdens de tests werd gradueel de spanning verlaagd van 230 volt tot 180 volt, met een afname van 10 volt elke 2 minuten. Hierbij werd het ontstekingsmechanisme getriggerd door korte periodes warm water te vragen.

Naast deze test, zijn er tests uitgevoerd waarbij de cv-ketel volledig werd uitgeschakeld en vervolgens werd opgestart met een spanningswaarde van 180 volt, hierbij werd de spanning elke 2 minuten met 10 volt verhoogd totdat de nominale spanning van 230 volt was bereikt. Ook hier werd het ontstekingsmechanisme getriggerd door korte periodes warm water te vragen.

2.6.1 Verwachting

De verwachting is dat vanwege de strenge veiligheidseisen voor cv-ketels er geen sprake zal zijn van defecten bij onderspanning. Het is lastig om in te schatten of het ontstekingsmechanisme nog steeds naar behoren functioneert bij onderspanning.

2.6.2 Resultaten

In dit onderzoek zijn drie verschillende merken cv-ketels getest. Eén van de ketels is 15 jaar oud, de anderen zijn 2 en 7 jaar oud. De moderne ketels bleven naar behoren functioneren tot 180 volt en vertoonden geen storingen.

De oudste ketel ging in storing bij 190 volt tijdens het verlagen van de spanning. Hierbij faalde het ontstekingsmechanisme en kon er dus geen nieuw warm water worden geleverd. Wanneer er al warm water werd geleverd, blijft de vlam branden en werkt de cv-ketel naar behoren, maar wordt er wel een storing getoond. De ketel herstelde zichzelf weer bij het bereiken van het nominale spanningsniveau. De gemiddelde levensduur van een cv-ketel is zo'n 12-15 jaar, waarbij uit onderzoek van de consumentenbond blijkt dat zo'n 50% van de ketels dit haalt. Het kan dus ook zijn dat de geteste ketel al aan het einde van zijn latijn zit en daarom minder goed presteert bij onderspanning.

Bij het volledig uitschakelen en vervolgens opstarten van de ketel bij een spanning van 180 volt werkte geen van de ketels. Twee van de drie ketels gaven een foutmelding die verband hield met het ontbrandingssysteem. De derde ketel vertoonde geen foutmelding, maar functioneerde niet. Bij deze ketel was hoorbaar dat gas werd geleverd en dat het systeem meerdere pogingen deed om te ontbranden, maar zonder succes. Van de drie ketels begon er één weer te functioneren bij 190 volt, hoewel er nog steeds een foutcode zichtbaar bleef. Een andere ketel hervatte de werking bij 200 volt. Opvallend was dat de derde ketel pas succesvol kon ontbranden bij spanningen tussen 210 volt (incidenteel succesvol) en 220 volt (consequent succesvol). Dit was de ketel die eerder niet functioneerde, maar ook geen foutmelding toonde. Twee van de drie ketels herstelden zich bij het verhogen van de spanningswaarde naar nominaal niveau. De laatste functioneerde weer, maar bleef een foutmelding tonen. Deze foutmelding verdween na de cv-ketel een aantal keer te resetten op 230 volt.

2.6.3 Ondergrens en hinder

We zien weinig tot geen hinder bij moderne ketels, wel zien we dat de oude ketel vanaf 190 volt niet kan ontsteken en in storing gaat. Deze ketel herstelt zichzelf weer bij 230 volt.

Spanningswaarde	Hinder
190 volt	1/3 geteste cv-ketels gaf een storing en kon niet ontsteken.
180 volt en lager	1/3 geteste cv-ketels gaf een storing en kon niet ontsteken.

2.6.4 Impact

De impact van onderspanning op ontstekingsysteem verschilt, op moderne ketels is de impact laag aangezien de storingen met impact alleen plaatsvinden wanneer de cv-ketel wordt opgestart bij onderspanning. Dit gebeurt alleen wanneer de cv-ketel gereset wordt, of na bijvoorbeeld een stroomuitval. Bij de oude ketel zagen we storing en mislukte het ontsteken bij 190 volt. Aangezien deze ketel buiten de tests ook kuren vertoonde, moeten deze resultaten verder worden onderzocht bij andere ketels.

2.7 EV / EVSE

2.7.1 Verwachting

Er worden bij ElaadNL veel elektrische voertuigen (EV) en laadpalen (EVSE) getest. De verwachting is dat de impact van onderspanning op EV/EVSE minimaal zal zijn. Wanneer de laadsessie stopt door onderspanning, herstelt deze in veel gevallen weer automatisch. Tot dusver zijn er weinig tot geen klachten over uitval of schade door onderspanning.

2.7.2 Resultaten

2.7.2.1 EVSE tests

Bij ElaadNL zijn verschillende laadpalen (EVSE) getest. Hierbij werd de spanning verlaagd vanaf 230 volt tot 100 volt en gekeken op welk spanningsniveau de laadpaal stopte met laden. Vervolgens werd het voltage teruggebracht tot 230 volt en gekeken naar hoe de laadpaal hierop reageerde. Daarnaast is gekeken of de laadpaal kon beginnen met laden bij een spanning van 196 volt.

2 van de 17 EVSE's stopten met laden tussen 200 en 180 volt. Daarvan herstartte 1 automatisch toen het voltage weer terug bij 230V was. Deze 2/17 konden niet starten met laden onder 180 volt. De andere 15 wel.

2.7.2.2 EV tests

Onderspanningstesten zijn onderdeel van de reguliere Power Quality testen voor EV bij het ElaadNL Test Lab. Hierbij wordt de spanning verlaagd van 230 volt naar 195 volt in stappen van 5 volt, en daarna weer teruggebracht naar 230 volt.

Er zijn 76 EV's getest op onderspanning. Uit de data blijkt dat 3 EV's stopten met laden tussen 200 en 195 volt. Hiervan herstartten er 2 automatisch wanneer het voltage weer terug bij 230 volt was.

Uit de resultaten blijkt dus dat weinig EV's last hebben van onderspanning.

2.7.3 Ondergrens en storend gedrag bij apparaten

Er is risico op hinder vanaf 200 volt, 2 van de 17 laadpalen stopten met laden bij voltages tussen de 200 en 180 volt, één van deze palen startte niet automatisch met laden bij het ophogen van de spanning. Drie van de 76 geteste voertuigen stoppen met laden bij 195 volt. Twee EV's hervatten het laden automatisch wanneer de spanning 230 volt is.

Spanningswaarde	Hinder
195 volt	Enkele EV's / EVSE's stoppen met laden.
180 volt	Klein deel van de EV's stopt met laden, een klein deel hiervan start niet automatisch met laden bij 230 volt.

2.7.4 Impact

De impact van onderspanning op elektrische voertuigen en laadpalen is niet verwaarloosbaar. Drie van de 76 geteste voertuigen stoppen met laden bij 195 volt. Twee EV's hervatten het laden automatisch wanneer de spanning 230 volt is. Verder stoppen 2 van de 17 laadpalen met laden bij voltages tussen de 200 en 180 volt, één van deze palen startte niet automatisch met laden bij het ophogen van de spanning. Hierbij is dus een actie van de gebruiker vereist, namelijk het opnieuw opstarten van een laadsessie.

Bij ~70% van de geteste voertuigen bleef de stroomvraag gelijk. Bij de overige nam deze toe. Deze toename is in sommige gevallen vrij significant. Er zijn toenames van 32A bij 230 volt naar 40A bij 180 volt. In veel gevallen is de toename minder significant, maar nog steeds merkbaar.

HOOFDSTUK 3

CONCLUSIE

Om antwoord te geven op de vraag “Wat is de impact van verschillende mate van onderspanning?” zijn apparaten van LS-klienten opgedeeld in verschillende categorieën. Voor elk van deze categorieën is gekeken naar de impact van onderspanning. De testresultaten leren ons dat de apparaten uit de categorieën verlichting, frequentie geregelde motor (warmtepompen), EV/EVSE en ontstekingsysteem het meest gevoelig zijn voor onderspanning. Bij de andere categorieën is geen storend gedrag geregistreerd. Dit is tevens het antwoord op de deelvraag “Welke apparaten zijn het meest gevoelig voor onderspanning en in welke netsituatie schakelen deze uit?”

Om antwoord te geven op de vragen “Hoe reageren verschillende soorten apparaten op verschillende niveaus van onderspanning?” en “Wat is het gedrag van apparaten nadat er onderspanning heeft plaatsgevonden, blijven ze in storing of herstellen ze automatisch?” is gekeken naar het gedrag van verschillende apparaten bij verschillende mate van onderspanning.

De impact van onderspanning op de geteste apparaten verschilt per belastingcategorie. In de categorie ‘Verlichting’ zien we dat vanaf 200 volt een aandeel van de lampen begint te flikkeren. Naarmate de spanning verder daalt, zien we een afname in de lichtsterkte. Bij 180 volt geeft het merendeel geteste lampen minder dan 50% van hun nominale lichtsterkte. Ook zien we bij deze spanningswaarde significant veel uitval, met name bij gedimde lampen en lampen met een laag vermogen. De lampen die worden gedimd door de kwalitatief mindere stekkerdimmer hebben het meeste last van onderspanning. De lampen die gedimd worden door een app hebben het minste last van onderspanning, deze slimme lampen zijn vaak ook wat prijziger. Doordat de gebruiker hinder ervaart, is de aanname dat er bij onderspanning een toename zal zijn in klachten en vragen.

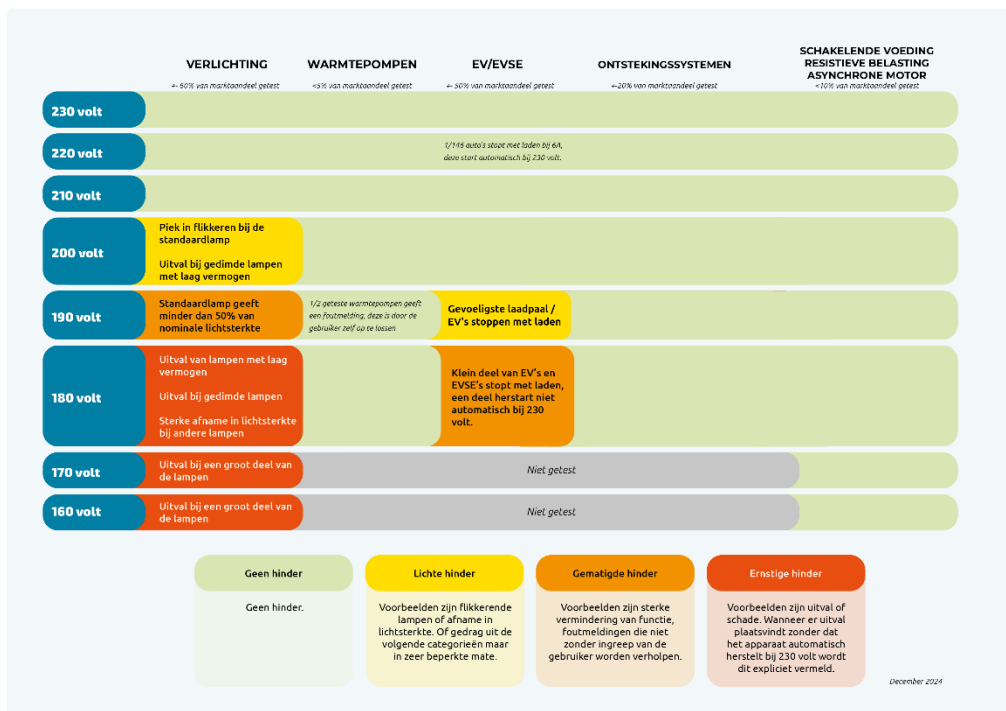
Bij de warmtepompen zien we weinig risico m.b.t. onderspanning. Beide geteste warmtepompen blijven functioneren tot 180 volt. Hoewel er maar een beperkt marktaandeel is getest, geven de resultaten aan dat het mogelijk is om een warmtepomp te fabriceren die blijft functioneren bij lage spanningswaarden. Momenteel is 3,7% van het marktaandeel getest, om meer conclusies te kunnen trekken over het gedrag bij onderspanning van deze categorie zal een groter aandeel getest moeten worden.

Bij ontstekingsystemen, zoals die van cv-ketels, blijkt de impact van onderspanning vooral significant tijdens het opstarten. Een cv-ketel wordt vrijwel nooit opnieuw opgestart, daarom wordt er in deze categorie geen hinder verwacht. Bij het verlagen van de spanning terwijl de cv-ketel al opgestart is zien we bij moderne ketels geen hinder. Ook hier is slechts een klein marktaandeel getest, de schatting is dat >10% getest is.

De laatste categorie die hinder ondervindt van onderspanning is Elektrische voertuigen (EV) en laadinfra (EVSE). Tussen de 200 en 180 volt is te zien dat een klein deel van de laadpalen stopt met laden. Tussen de 195 en 180 volt zien we dat een klein aandeel van de EV's stopt met laden. Hierbij start een deel van de auto's niet automatisch met laden op 230 volt. Komende paragraaf toont een overzicht van de impact van onderspanning per categorie.

3.1 IMPACTMATRIX

Onderstaande afbeelding laat de mate van hinder zien per categorie, per voltage. Op basis van de resultaten is te stellen dat er licht tot matig risico is op hinder bij 200 volt in de categorie 'Verlichting'. Dit risico neemt toe tot ernstige hinder bij 180 volt, hier is uitval te zien bij verlichting en een klein aantal elektrische voertuigen. We zien dat vooral LS-kanten met goedkope verlichting worden getroffen. Verder een klein aandeel van EV-bezitters. Deze matrix betreft de testresultaten tot en met december 2024.



3.2 IMPACT OP DE STROOMVRAAG

Naast dat LS-klanten hinder ondervinden bij onderspanning, zien we in de categorieën 'schakelende voeding', 'frequentie geregelde motor(warmtepompen)', 'EV/EVSE', en 'asynchrone motor' een toename in de stroomvraag. Deze toename in stroom is voornamelijk merkbaar bij warmtepompen en EV's. Wanneer de stroomvraag toeneemt, kan dit de onderspanning verergeren. Deze wisselwerking is in dit onderzoek niet onderzocht, maar heeft mogelijk impact op het LS-net.

Bij warmtepompen neemt de stroomvraag toe met ongeveer 1 Ampère wanneer het voltage wordt verlaagd van 230 volt naar 180 volt. Bij ongeveer 30% van de EV's is een soortgelijke toename te zien, al zitten hier wel uitschieters tussen, namelijk stijgingen van 32A bij 230 volt naar 40A bij 180 volt.

Bij de huishoudelijke apparaten zien we kleinere stijgingen, bij de koelbox uit de belastingcategorie 'Asynchrone motor' stijgt de stroomvraag van 0,35A bij 230 volt naar 0,70A bij 160 volt. Er is een minder grote stroomvraag te zien in de categorie 'schakelende voeding', dit is te zien bij o.a. laptopopladers en monitors. Bij een monitor gaat dit om waardes van 0,24 A bij 230 volt en 0,31A bij 160 volt.

Werking verhoogde stroomvraag door onderspanning

Het is bekend bij de netbeheerders dat sommige typen elektrische apparaten zijn ontworpen om een bepaald constant vermogen op te nemen (onafhankelijk van de netspanning), waarbij vermogen (P) = spanning (U) * stroom (I), bijv. een elektrische auto die is ontworpen om met een constant vermogen op te laden. Dit noemen de netbeheerders ook wel "constant vermogen belastingen". Wanneer de spanning daalt wordt de stroom dus groter, waardoor de spanning weer daalt totdat er een evenwicht wordt bereikt bij een lager spanningsniveau. De lagere spanning wordt door dit soort apparaten iets verder naar beneden getrokken en de stroom wordt iets hoger, over het algemeen is de impact hiervan beperkt. Het gedrag van dit type belasting is reeds geruime tijd bekend bij de netbeheerders.

Impact verhoogde stroomvraag

Theoretisch kan een verhoogde stroomvraag door lagere spanning leiden tot meer storingen en uitvallende apparaten. In de praktijk is dit effect echter beperkt ten opzichte van andere factoren bij het bepalen van de maximale netbelasting en minimale spanning. Denk hierbij aan factoren zoals: de onzekerheid van de adoptie van apparaten, gelijktijdigheid van belasting, het nominale vermogen van apparaten, type warmtepompen etc. Verder zijn er volgens het onderzoek relatief minder apparaten met een zuivere constant vermogen belasting dan met.

Bij het modelleren van netten en uitvoeren van berekeningen houden de netbeheerders al rekening met de aanwezigheid van constant vermogen belastingen. De netten zijn/worden ontworpen om periodieke belastingpieken op te vangen zonder de betrouwbaarheid of veiligheid in het gedrang te brengen.

De netbeheerders zien wel dat het aandeel constant vermogen belastingen de afgelopen jaren is gestegen en verwacht dat dit met o.a. de groei van EV's en warmtepompen de komende jaren doorzet. Het aandeel constant vermogen belasting in de netmodellen van netbeheerders zal hierop periodiek geijkt moeten worden.

HOOFDSTUK 4

AANBEVELINGEN

De bevindingen hebben impact op meerdere partijen. Hieronder staan de aanbevelingen per partij op basis van de testresultaten.

4.1 LS-KLANTEN

Aanschaf en onderhoud van apparatuur

Hinder bij onderspanning ontstaat voornamelijk bij kwalitatief minder goede verlichtingsapparatuur. Daarom is het advies aan LS-klanten om bij het aanschaffen van verlichting te kiezen voor kwalitatief goede lampen en dimmers.

4.2 NETBEHEERDER

Communicatie met de klant

Raad de klant aan de richtlijnen van netbeheerders met betrekking tot spanningsproblemen te volgen. (<https://www.stedin.net/aansluiting/ik-ga-energie-opwekken/spanningsproblemen>). Naast het opvolgen van deze richtlijnen, bevelen wij aan om de klant te wijzen op het belang van kwalitatief goede lampen. Hoewel deze lampen vaak wat duurder zijn, leveren ze betere prestaties bij lage spanningswaarden. Bij de kwalitatief minder sterke lampen zien we in de tests dat deze soms ook binnen de huidige spanningsgrenzen slecht presteren.

Communicatie met branche- en consumentenorganisaties

Ons advies is om te communiceren met branche- en consumentenorganisaties zoals TDI500, vereniging warmtepompen, Techniek Nederland (vroeger Uneto-VNI). Deze communicatie is nodig om deze problematiek onder de aandacht te brengen en vervolgens om afspraken te maken over onderspanningsgrenzen en communicatie naar buiten.

4.3 FABRIKANT

Test en vergelijk producten op gevoeligheid voor onderspanning.

Het is belangrijk dat fabrikanten hun producten testen op onderspanning en deze resultaten gebruiken om hun apparatuur hier tegen bestand te maken. Hierbij moet rekening gehouden worden met een lager spanningsniveau dan momenteel door de netcode wordt aangehouden. Fabrikanten kunnen deze informatie gebruiken om hun producten te verbeteren en bestand te maken tegen fluctuaties in het spanningsnet.

Instelbare onderspanningsgrenzen voor warmtepompen.

Vier van de vijf geïnterviewde warmtepompfabrikanten hanteert een onderspanningsgrens. De waarden van deze grens verschillen van 200V-130V. Deze is bij 1/4 aan te passen, namelijk door vervanging van hardware. Wij adviseren fabrikanten om bij het instellen van deze grens rekening te houden met mogelijke lage spanningswaarden op het net en daarom deze grens zo laag mogelijk binnen redelijke werking te zetten. Zorg dat de grens instelbaar is buiten vervanging van de hardware om.

4.4 INSTALLATEUR

Optimaliseer de fasen-verdeling van warmtepompen.

Dit advies is niet specifiek voor onderspanning, maar voor spanningsproblematiek in het algemeen. Installateurs moeten ervoor zorgen dat warmtepompen correct worden aangesloten op de juiste

fasen in de meterkast. Een correcte fasen-verdeling kan helpen om de spanningsfluctuaties op het net te verminderen. Kijk hierbij naar de richtlijnen zoals beschreven op de website van netbeheer Nederland. (<https://www.netbeheernederland.nl/publicatie/rekenmethode-voor-installateurs-faseverdeling-bij-3-faseaansluitingen>).

Stel waar mogelijk de onderspanningsgrens zo laag mogelijk in.

Wanneer het voor een installateur mogelijk is om een ondergrens in te stellen voor een apparaat adviseren wij om een zo laag mogelijke spanningsgrens in te stellen.

APPENDIX A: GETESTE APPARATEN

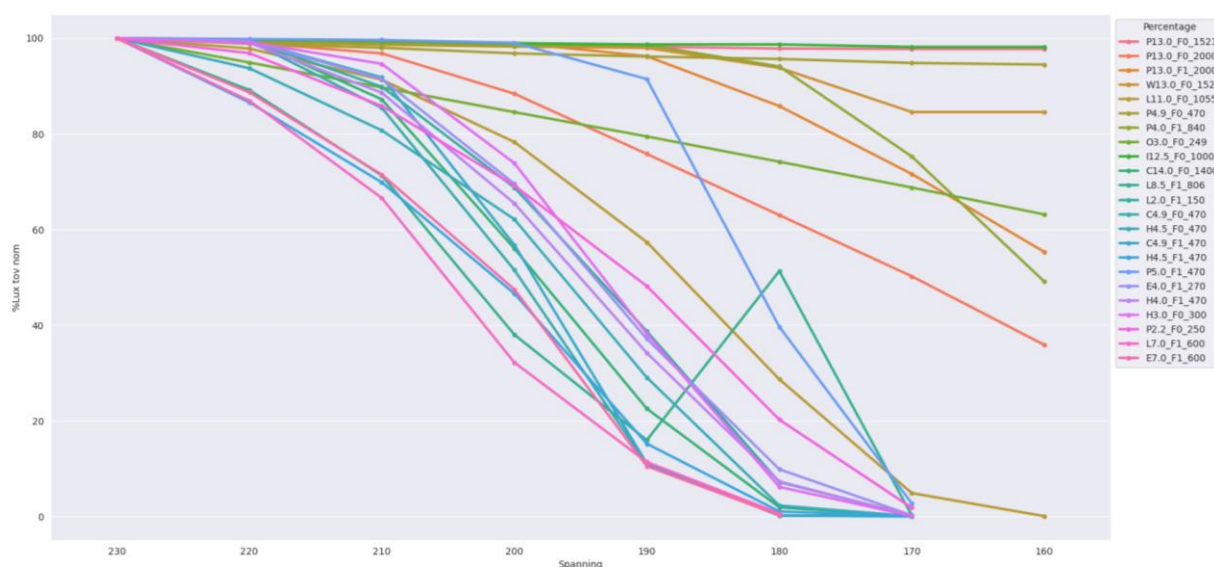
Categorie	Hoeveelheid geteste apparaten
1. Schakelende Voeding	
Laptop	3x
Computervoeding	1x
Beeldscherm	3x
2. Resistieve belasting	
Inductie kookplaat	2x
Koffiezetter	2x
Broodrooster	2x
Waterkoker	3x
3.a Verlichting	
Dimbare led	12x
Niet dimbare led	11x
3.b Dimmers	
Stekkerdimmer	1x
Inbouwdimmer	2x
App	2x
4. Asynchrone / inductie motor	
Koelbox	1x
Stofzuiger	1x
Ventilator	4x
Vijverpomp	1x
5. Frequentie geregelde motor	
Warmtepomp	2x
6. Ontstekingsstelsel	
Cv-ketel	3x

APPENDIX B: RESULTATEN

VERLICHTING

NIET GEDIMDE LAMPEN

Er zijn veel verschillen waarneembaar in de hoeveelheid uitgestraalde licht van LEDs tijdens onderspanning. Over het algemeen presteren de lampen met een hoger nominaal vermogen beter. Grote verschillen zijn daarnaast waar te nemen tussen prestaties bij een spanningsniveau van 200V en van 180V.

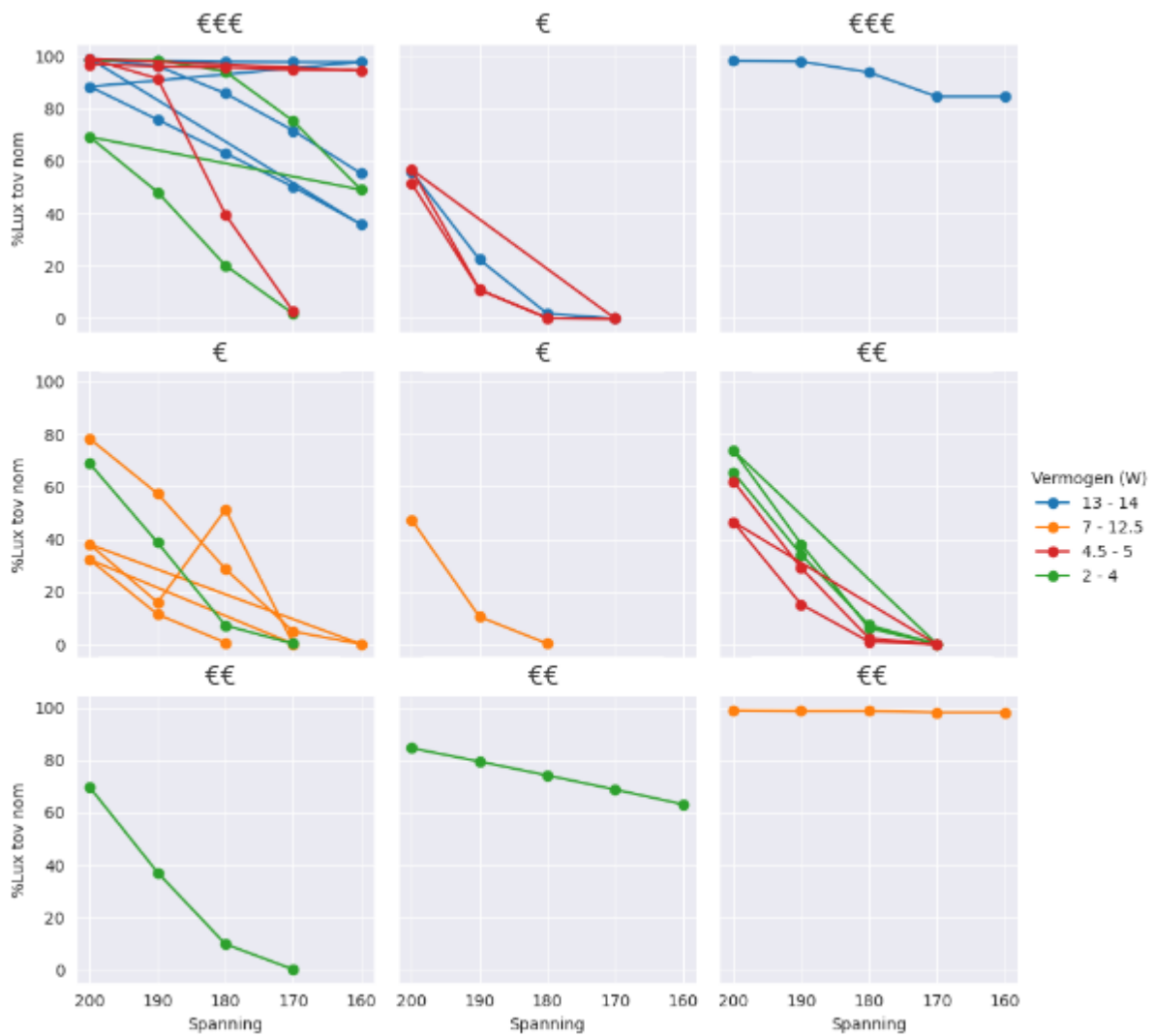


Verschillen zijn waarneembaar op basis van het nominale vermogen van de lamp. Lampen met een hoger nominaal vermogen hebben minder last van onderspanning. 5 van de 6 geteste lampen met een nominaal vermogen >10W hebben bij een spanningsniveau van 180V een lichtsterkte >60% ten opzichte van dat op nominaal spanningsniveau.

Bij de lampen ≤5W zijn er slechts 3 van de 12 lampen met lichtsterkte >40% ten opzichte van dat op nominaal spanningsniveau.

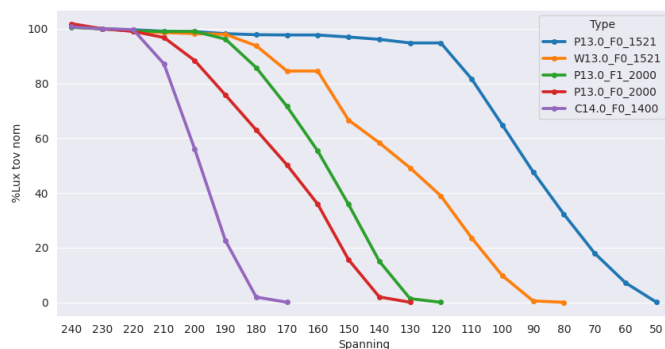
Lampen per merk

Als we kijken naar de verschillen tussen merken zien we dat er bij sommige merken samenhang is tussen de prestaties van de LED, maar dat deze bij andere wat meer uiteenloopt. Over het algemeen geldt dat een wat duurdere lamp beter presteert.

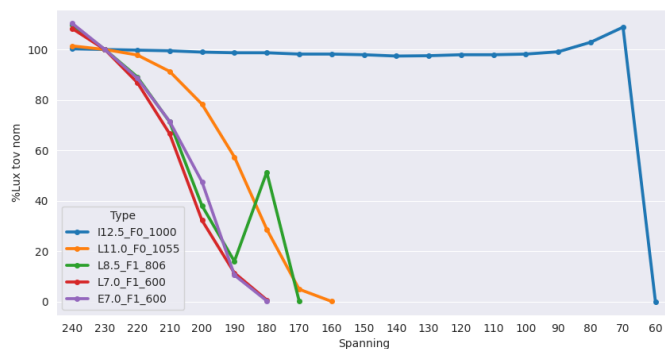


Lampen per vermogen

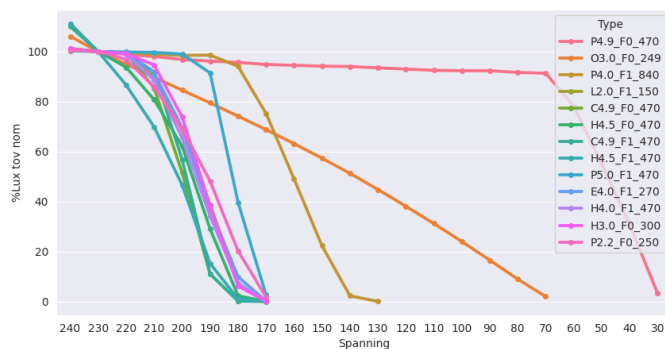
Lampen met hoger nominaal vermogen blijven langer functioneren tijdens onderspanning, zoals te zien in de afbeeldingen. In het bovenste diagram zijn lampen met een nominaal vermogen van 13W en 14W te zien, in het middelste diagram lampen met een nominaal vermogen tussen de 7W en 12,5W en in het onderste diagram zijn lampen te zien met een nominaal vermogen tussen de 2W en 5W. Bij 200V zijn er 19 van de 23 lampen die meer 50% van hun lichtsterkte hebben ten opzichte van nominaal niveau. Bij 180V zijn dit slechts 9 van de 23 lampen.



Hoog nominaal vermogen



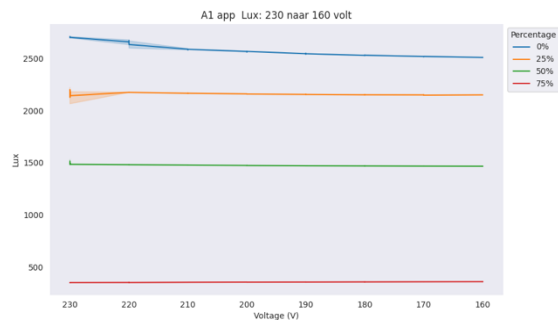
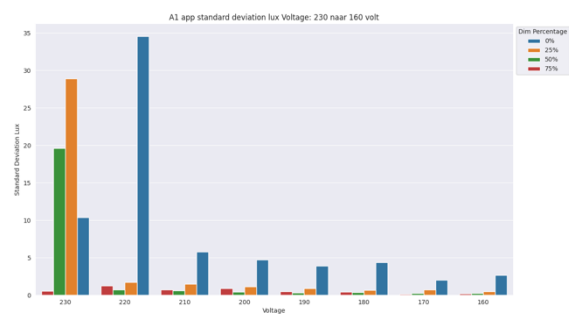
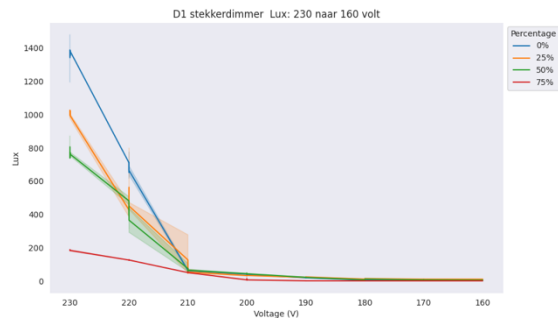
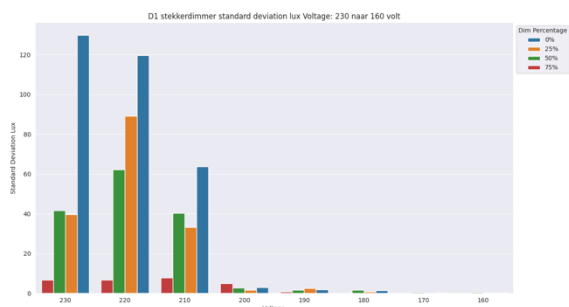
Midden nominaal vermogen



Laag nominaal vermogen

GEDIMDE LAMPEN

Er is een duidelijk verschil te zien tussen goedkope en duurdere lampen. Dit verschil is ook te zien in de dimmers. De goedkope stekkerdimmer in combinatie met een goedkope lamp geeft verreweg het slechtste resultaat. Verder zien we dat de lampen die digitaal gedimd worden via een app het minst last hebben van onderspanning. Wel zien bij deze lampen een toename in stroom.



DIMMERS

Overzicht lampen

Onderstaande tabel toont een overzicht van de met dimmer geteste lampen. De lampen worden in de grafieken genoemd bij hun identifier.

Identifier	Dimbaar	Dim aansturing	Filament	Smart	Vermogen	Lumen	Temperatuur	Fitting
A1	Ja	App only	Nee	Ja	13	1521	2700-6500	E27
A2	Ja	App only	Nee	Ja	4,9	470	2700-6500	E14
A3	Ja	App only	Nee	Ja	13	1521	2700-6500	E27
A4	Ja	App only	Ja	Ja	4,9	470	1800-3000	E27
A5	Ja	App only	Nee	Ja	14	1400	2200-4000	E27
A6	Ja	App only	Nee	Ja	4,9	470	2200-4000	E27
D1	Ja	Led dimmer	Ja	Nee	8,5	806	2900	E27
D2	Ja	Led dimmer		Nee	7	600	2900	E27
D3	Ja	Led dimmer	Ja	Nee	7	600	1800	E27
D4	Ja	Led dimmer	Nee	Nee	4,5	470	2000	E27
D5	Ja	Led dimmer	Ja	Nee	4,5	470	2700	E27
S1	Ja	Schakelaar	Ja	Nee	5	470	2200, 2500, 2700	E14

De resultaten worden per dimmer benoemd. Eerst worden de resultaten van de lampen in combinatie met de stekkerdimmer uitgelegd, vervolgens twee merken inbouwdimmers en tot slot dimmen via een app.

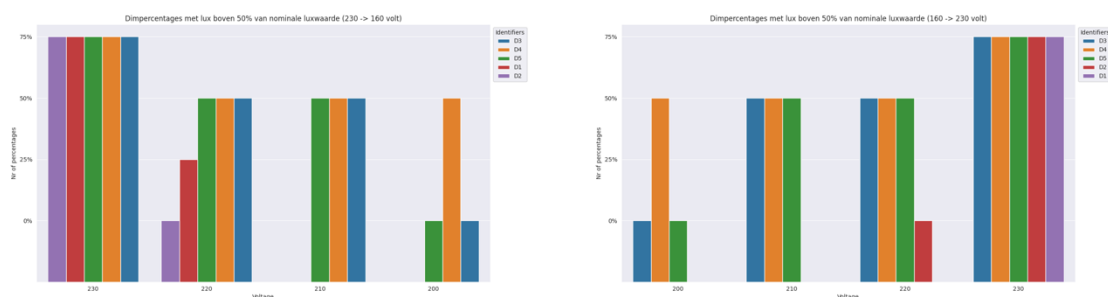
Stekkerdimmer

Resultaten

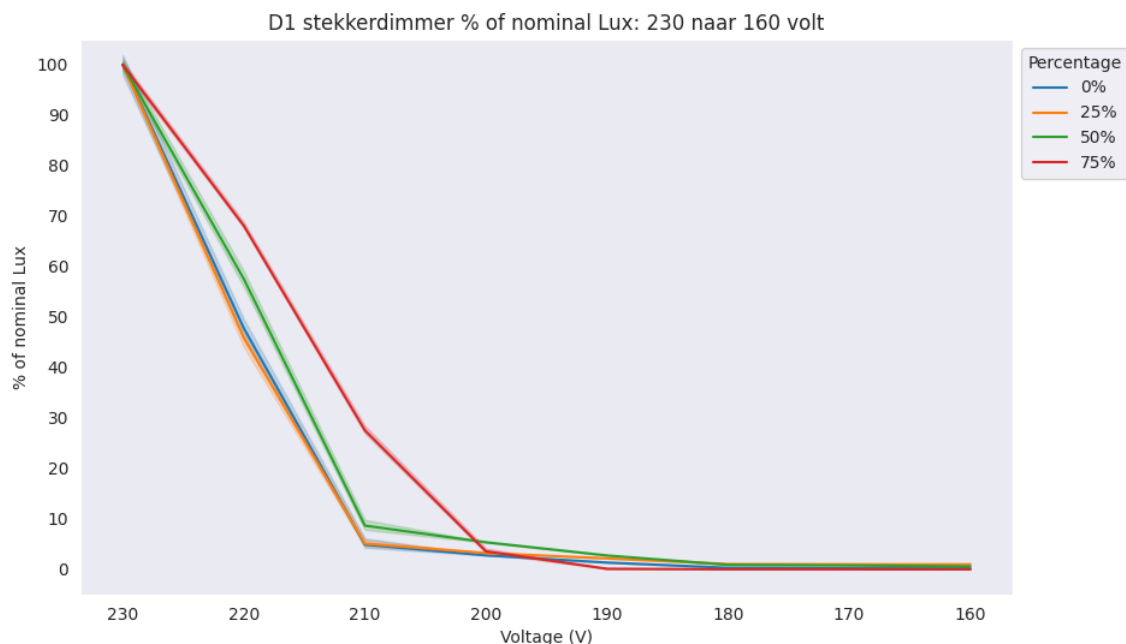
Uitval

Bij een spanning van 190 volt geven alle lampen minder dan 50% van hun nominale luxwaarde af, zowel bij 100% als bij 25% helderheid. Gedimde lampen geven vanaf een hoger voltage minder dan 50% van hun nominale lichtsterkte af. Geen enkele lamp die voor 75% gedimd is, bereikt nog een lichtsterkte hoger dan 50% van hun nominale lichtsterkte bij 220 volt.

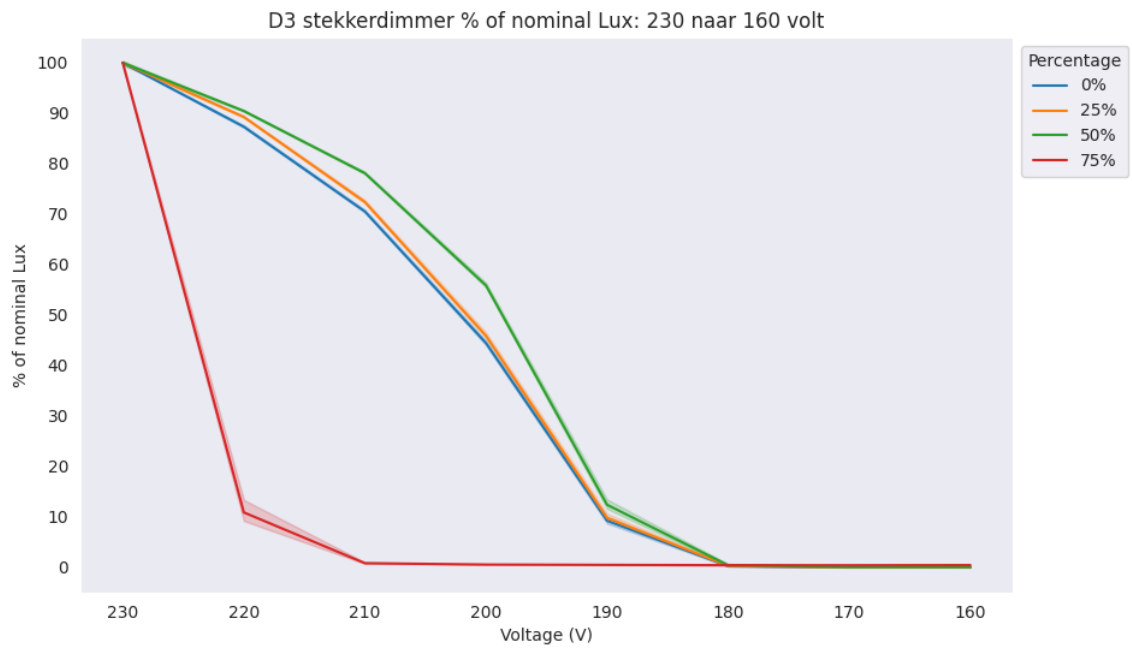
Bij het verhogen van het voltage is te zien dat lamp D1 op 230 volt weer boven 50% van zijn nominale lux waarde komt, bij het verlagen van het voltage is dit op 220 volt. Dit geldt voor dimpercentages 50% en 75%.



Wanneer we kijken naar de afname in lichtsterkte zien we twee profielen bij de lampen wanneer ze worden gedimd met de stekkerdimmer. Het eerste profiel is een sterke afname van percentageel nominale lichtsterkte onafhankelijk van dimpercentage. Dit zien we bij 2/5 lampen (D1 en D2).

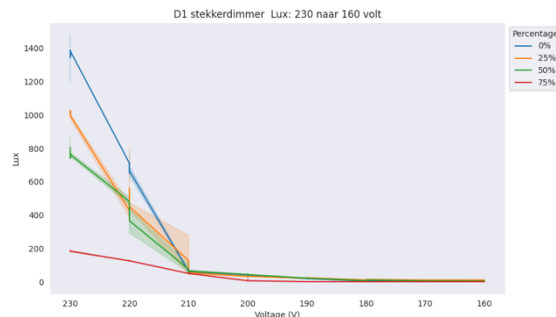
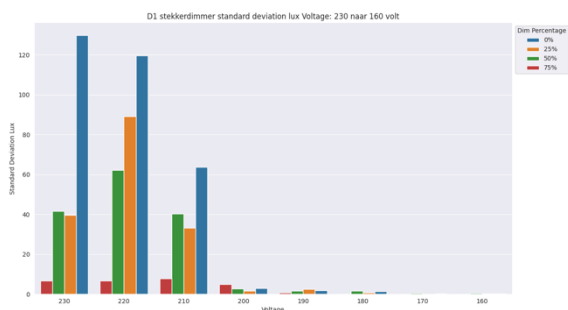


Het tweede profiel betreft lampen die bij 75% dimmen op 220 volt onder 50% van hun nominale lichtsterkte komen, terwijl deze afname bij minder sterk dimmen minder extreem is en rond de 200~190 volt onder de 50% komt. Dit is zichtbaar bij 3 van de 5 lampen (D3, D4 en D5).

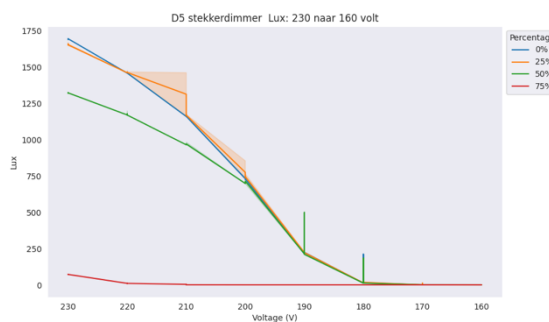
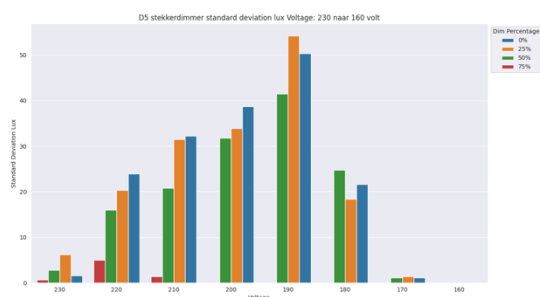


Flikkeren

Qua flikkeren zien we met de stekkerdimmer twee profielen. Het eerste profiel laat zien dat de lamp altijd flikkert en bij een lager voltage uitschakelt. De standaarddeviatie neemt af, maar dit gaat gepaard met een lagere luxwaarde bij lagere voltages. Dit wordt waargenomen bij 2 van de 5 lampen (D1 en D2).



Het tweede profiel toont een toename van de standaarddeviatie wanneer het voltage afneemt, waarbij het flikkeren een piek bereikt rond 190~200 volt. Dit wordt waargenomen bij 3 van de 5 lampen (D3, D4 en D5).



Impact

Het gebruiken van een goedkope stekkerdimmer heeft een negatieve invloed op de prestaties van een lamp bij onderspanning. Zo is te zien dat de lampen wanneer ze sterk gedimd zijn (75%) meer dan 50% van hun nominale lichtsterkte verliezen bij een voltage van 220 volt, dit is bij de wat duurdere inbouwdimmers op 210 volt.

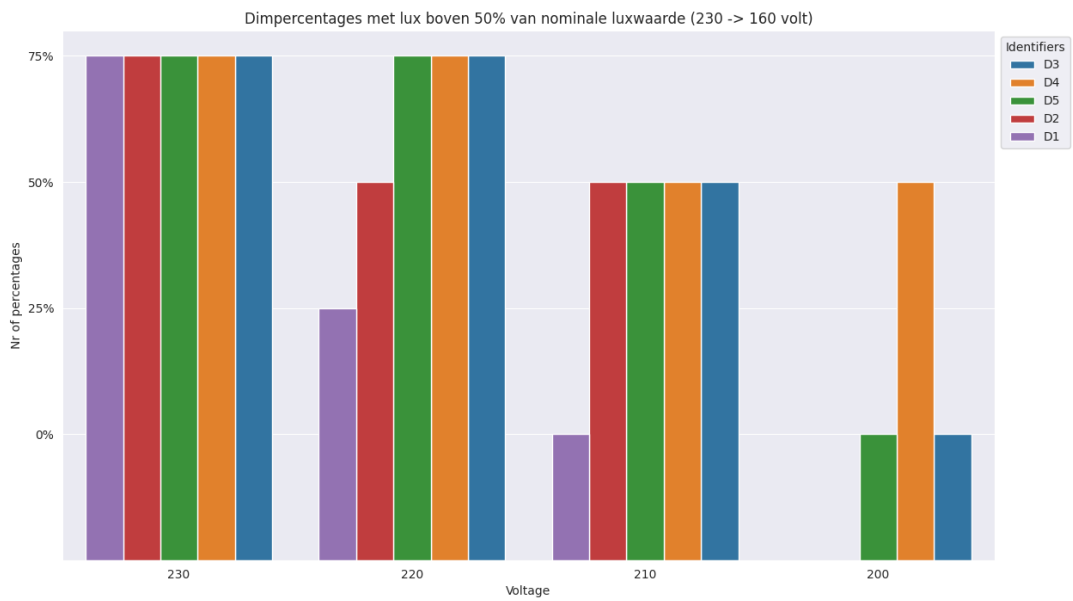
Inbouwdimmer merk "A"

Resultaten

Uitval

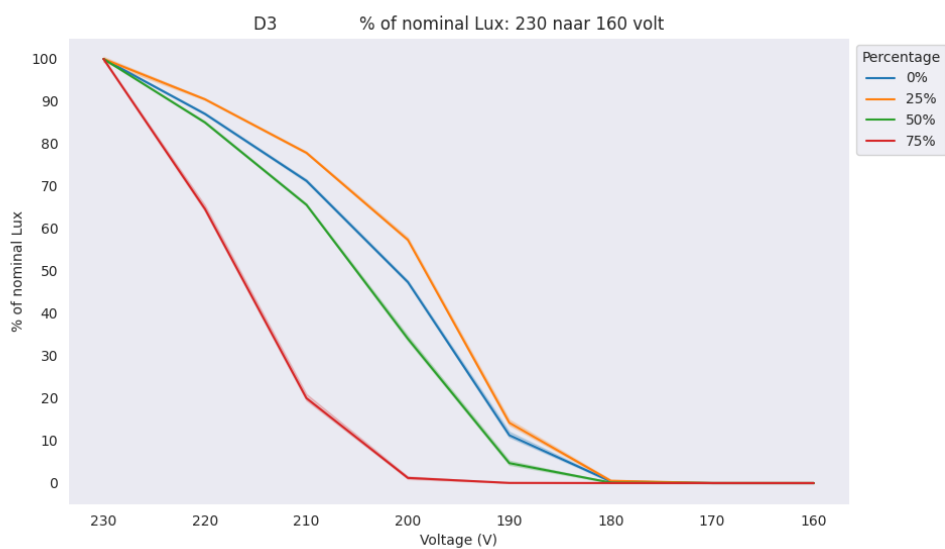
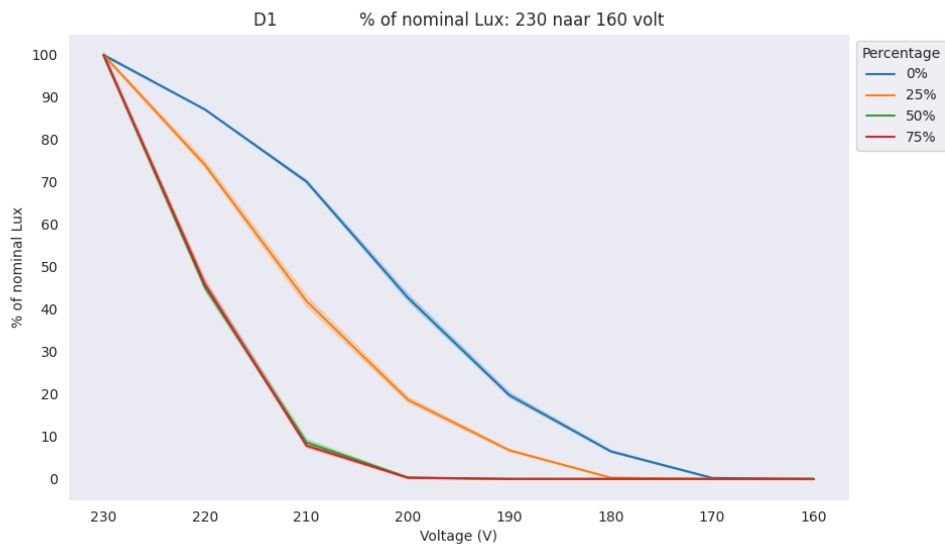
Bij een spanning van 190 volt geven alle lampen, op alle dimniveaus minder dan 50% van hun nominale luxwaarde af.

Wanneer de lampen gedimd zijn, neemt het percentage van de nominale lichtsterkte sterker af wanneer het voltage verlaagd wordt. Geen enkele lamp die voor 75% gedimd is, bereikt nog een lichtsterkte hoger dan 50% van hun nominale lichtsterkte bij 210 volt. Dit is bij de stekkerdimmer bij 220 volt.



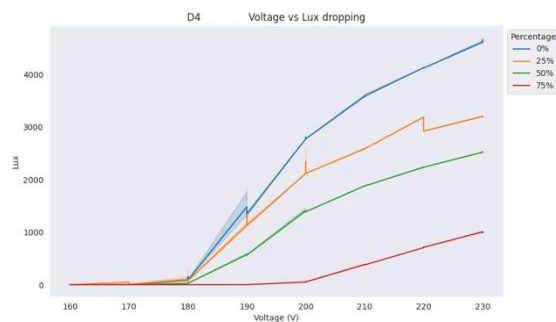
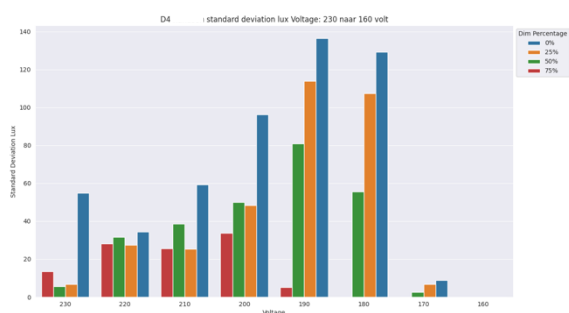
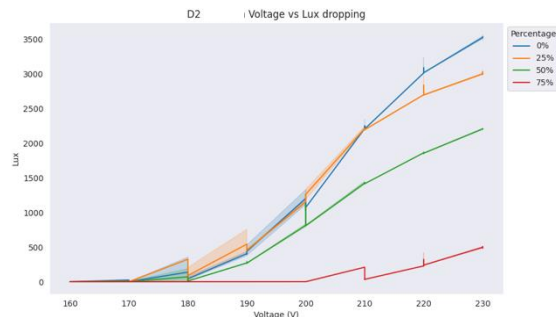
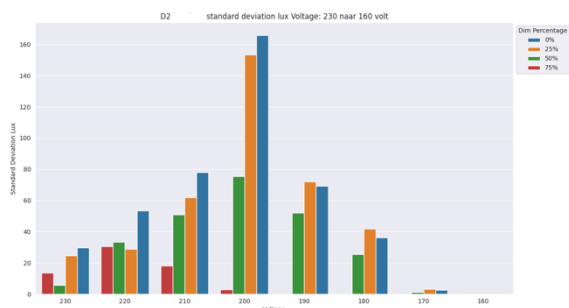
De resultaten m.b.t. afname in nominale lichtsterkte laten zien dat de lampen gedimd met de Handson inbouwdimmer minder extreem reageren op onderspanning dan wanneer deze worden gedimd met de goedkopere stekkerdimmer.

Bij alle lampen is hetzelfde gedrag te zien. Er is een sterke afname wanneer de lamp 75% gedimd is; hier schakelt de lamp rond de 200 volt uit. Wanneer de lamp minder sterk gedimd is, schakelt deze rond 180 volt uit.



Flikkeren

In de grafieken is te zien dat wanneer het voltage afneemt, het flikkeren toeneemt. Dit is te zien bij alle lampen. Het flikkeren vertoont een piek rond 200 volt bij de lampen D1 en D2, en een piek rond de 190 volt bij de lampen D3, D4 en D5. Dit is in beide gevallen ongeveer 20 volt hoger dan de waarde waarbij de lamp uitschakelt.



Impact

De impact van onderspanning bij de lampen gedimd met de inbouwdimmer is kleiner dan bij de lampen gedimd met de stekkerdimmer, maar nog steeds merkbaar. Zo is te zien dat sterk gedimde lampen uitschakelen bij een voltage van 200 volt. Bij de andere dimpercentages is dit rond de 180 volt. Ook zien we een piek in het flikkeren bij 190~200 volt.

Inbouwdimmer merk "B"

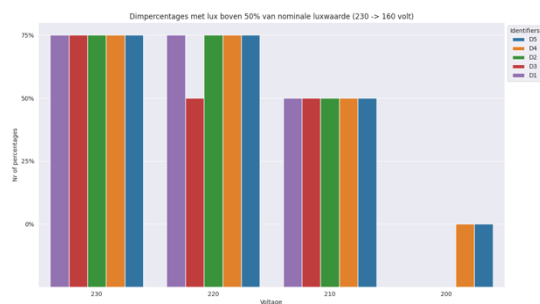
Resultaten

Uitval

Bij een spanning van 190 volt geven alle lampen, op alle dimniveaus minder dan 50% van hun nominale luxwaarde af.

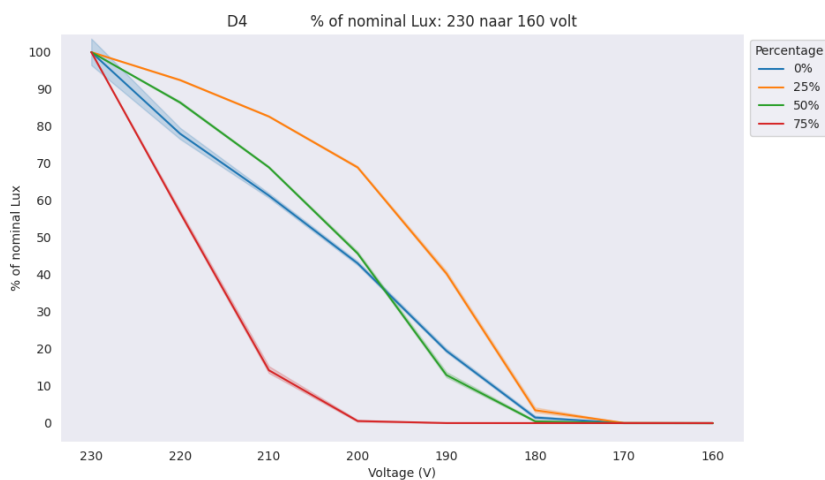
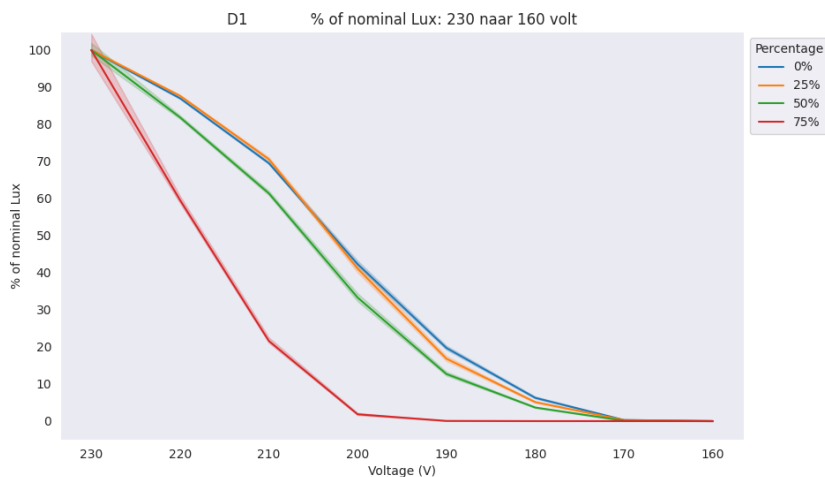
Wanneer de lampen gedimd zijn, neemt het percentage van de nominale lichtsterkte sterker af wanneer het voltage verlaagd wordt. Geen enkele lamp die voor 75% gedimd is, bereikt nog een lichtsterkte hoger dan 50% van hun nominale lichtsterkte bij 210 volt. Dit is hetzelfde als bij dimmer "A".

Net zoals we zagen bij de stekkerdimmer zien we ook hier verschillend gedrag bij het verhogen en verlagen van de spanning. Dit zien we bij D5 (200volt), D2(210 volt & 220 volt) en D1 (220 volt).



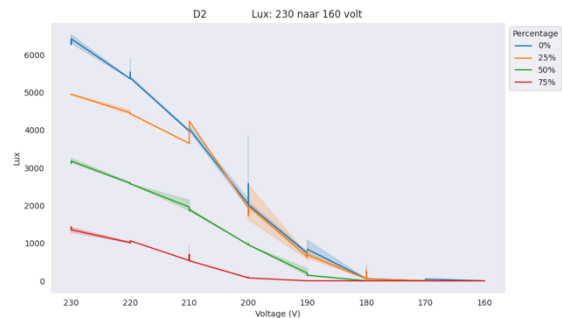
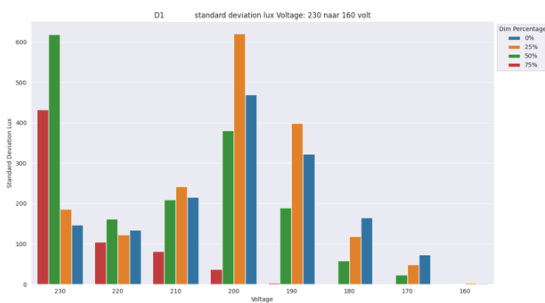
De resultaten m.b.t. afname in nominale lichtsterkte laten zien dat de lampen gedimd met inbouwdimmer 'B' minder extreem reageren op onderspanning dan wanneer deze worden gedimd met de goedkope stekkerdimmer. Dit komt overeen met het gedrag van de lampen gedimd met dimmer 'A'.

Bij alle lampen is hetzelfde gedrag te zien. Er is een sterke afname wanneer de lamp 75% gedimd is, hier schakelt de lamp rond de 200 volt uit. Wanneer de lamp minder sterk gedimd is, schakelt deze rond 180 volt uit. Dit geldt voor alle geteste lampen.

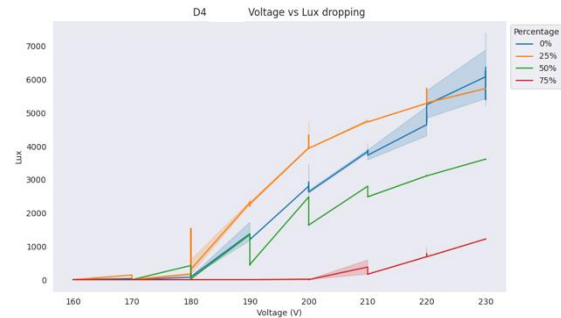
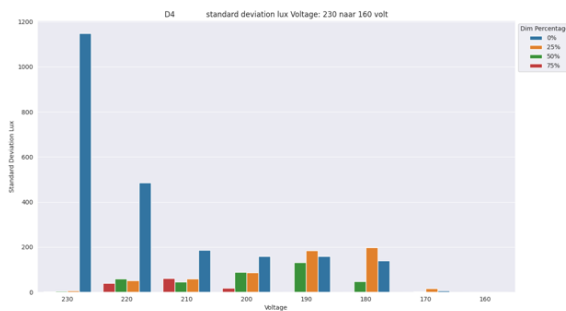


Flikkeren

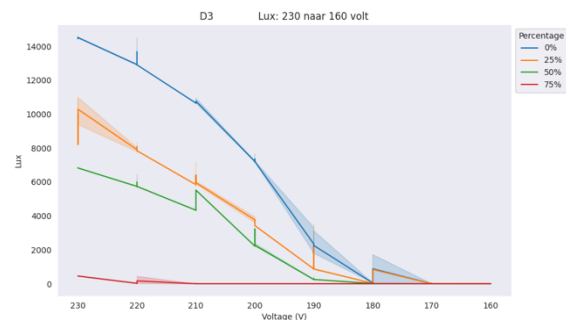
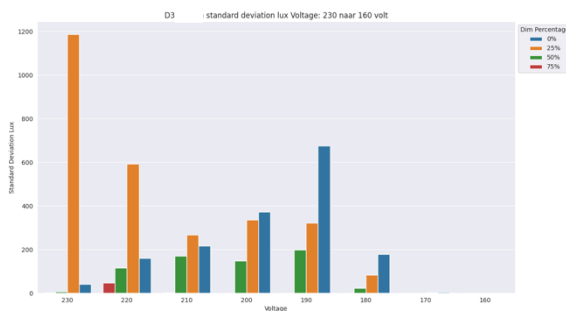
Hier zien we ander gedrag dan bij inbouwdimmer 'A' of de stekkerdimmer. Bij de lamp D2 en D1 zien we een profiel dat we eerder ook hebben gezien, namelijk het bereiken van een piek in het flikkeren rond de 200 volt.



Bij de lampen D3, D4 en D5 zien we opmerkelijk gedrag. Bij lamp D4 flikkert de lamp het meest op een dimpercentage van 0% (dus niet gedimd) en neemt de standaarddeviatie af naarmate de spanning lager wordt. Dit gaat linear met de dalende lux waarde, dus er kan worden aangenomen dat het flikkeren hetzelfde blijft.



Bij lamp D3 en D5 zien we dat de standaarddeviatie op 230 volt met een dimpercentage van 25% piekt. Dit voelt onlogisch met de rest van de grafiek waarbij er een meer logische curve wordt gevolgd met een piek rond de 190 volt.



Impact

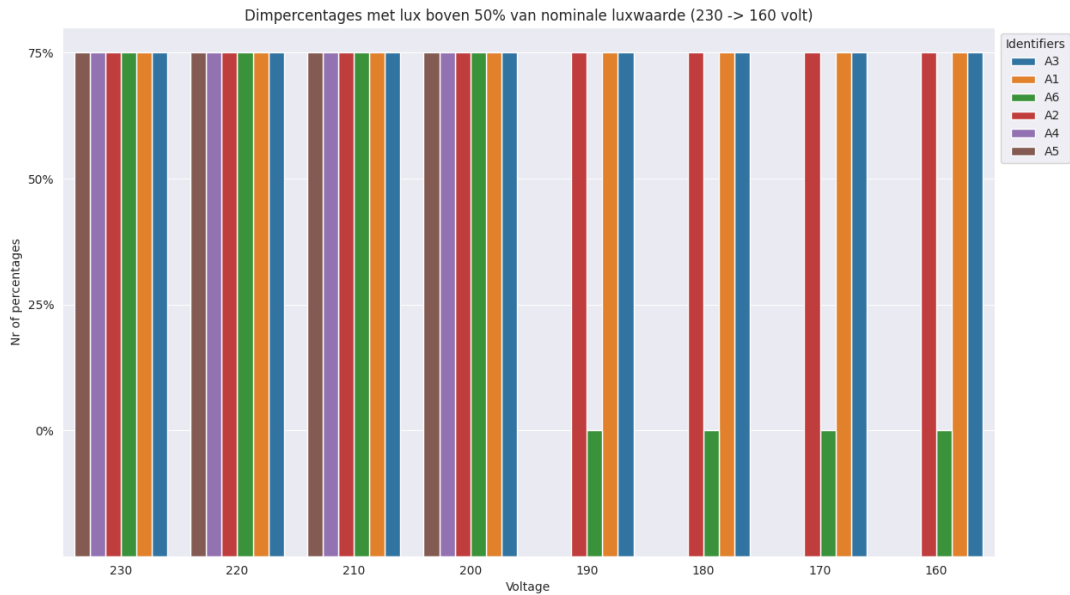
De impact van onderspanning op lampen gedimd met dimmer 'B' is vergelijkbaar met die van de dimmer 'A'.

Dimmen via app

Resultaten

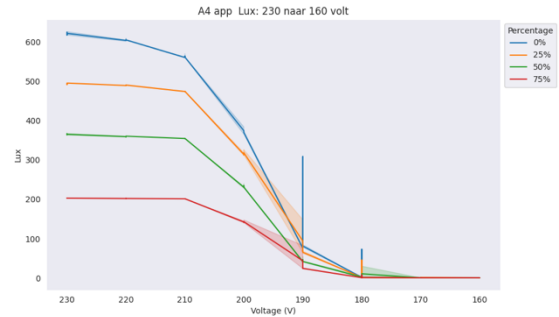
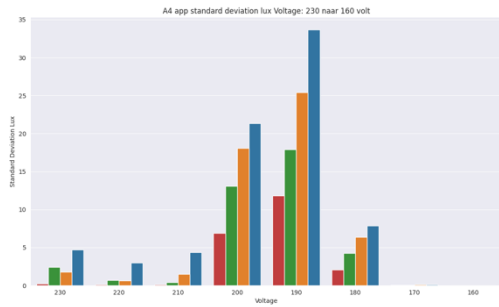
Uitval

Bij de slimme lampen zien we dat het gedrag van de lampen bij het verhogen van het voltage hetzelfde is als bij het verlagen van het voltage. Bij 190 volt branden 3 van de 6 lampen nog met een sterkte van meer dan 50% van hun nominale lichtsterkte bij een dimpercentage van 0% (helderheid 100%). Dit blijft constant tot 160 volt.

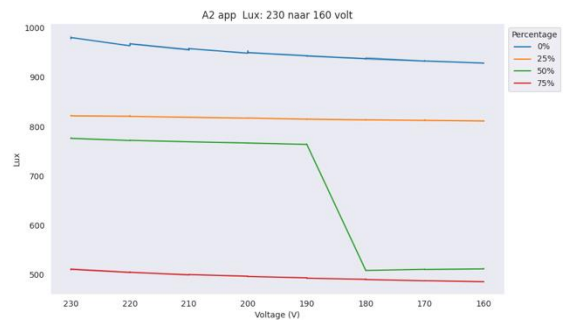


Flikkeren

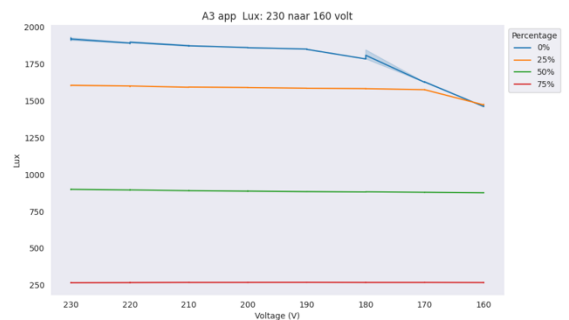
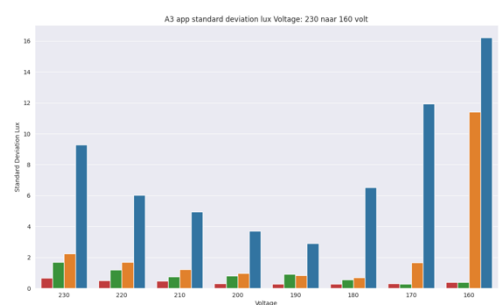
Bij de slimme lampen zien we een piek in flikkeren rond de 190~200 volt, wat zichtbaar is bij 3 van de 6 lampen (A4, A5 en A6).



Daarnaast zijn er lampen (A2, A1) die nauwelijks hinder ondervinden van flikkeren of afname in intensiteit bij onderspanning. Dit is zichtbaar bij 2 van de 6 lampen. Wel is er bij lamp A2 op 180 volt een daling in de lichtsterkte te zien op 50% gedimd. De standaarddeviatie komt voornamelijk doordat er soms een vertraging in de afname van de lichtsterkte is in vergelijking met de afname van de spanning. Hier neemt de lichtsterkte 30~60 seconden later af dan dat de spanning verlaagd is. Aangezien de testen steeds 120 seconden duren zit er een verschil in de waarden van de 60s en de tweede; dit zorgt voor een hogere standaarddeviatie.



Bij lamp A3 is te zien dat het flikkeren rond 180 volt toeneemt. Hierbij stijgt de standaarddeviatie terwijl de lux waarde op 0% gedimd afneemt.



APPENDIX C: RESULTATEN

WARMTEPOMPEN

Vragenlijst

Via de Vereniging Warmtepompen is een vragenlijst verspreid rond fabrikanten van WP. Deze is door 5 fabrikanten ingevuld. Hieruit is een aantal conclusies te trekken:

- 4/5 hanteren een onderspanningsgrens. Waardes verschillen van 200V-130V. Deze is bij 1/4 aan te passen, namelijk door vervanging van hardware.
- Bij 2/4 WP waar een onderspanningserror optreedt, is actie van de gebruiker nodig. De andere 2 resetten automatisch.
- 3/5 WP fabrikanten verwacht verhoging van stroom bij onderspanning. 1/5 verwacht storingen.
- 4/5 geeft aan dat verdeling over de fases in een wijk door installateurs wordt geregeld.
- Thermische desinfectie vindt bij 5/5 WP 1 keer per week plaats. Bij 4/5 is het tijdstip volledig aan te passen door de gebruiker. Bij de andere is dat beperkt mogelijk.

Tests

Er zijn 2 warmtepompen getest bij ElaadNL, hierbij varieerden spanningsniveaus tussen 240V en 180V. De beide WP vertoonden vergelijkbaar gedrag:

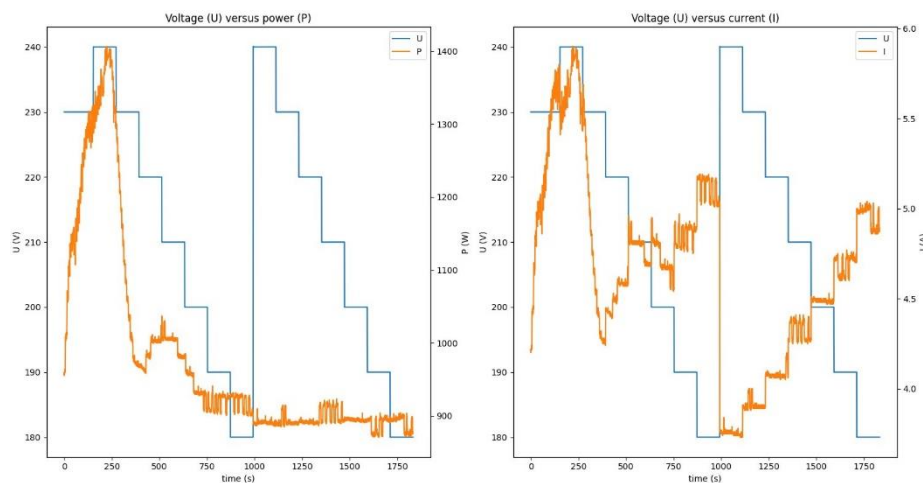
- Ze bleven functioneren bij een spanningsniveau 180V.
- Naarmate het spanningsniveau daalt, stijgt de stroomvraag van de WP.
- 1 van de 2 WP liet een foutmelding zien onder de 190V. De fabrikant meldde dat dit waarschijnlijk door onderspanning kwam. De WP bleef wel functioneren.

De stroomvraag stijgt naarmate de spanning lager wordt. Er is een stijging van ongeveer 1.1 ampère wanneer het voltage van 230 naar 180 volt wordt verlaagd en de warmtepomp in hooglast staat.

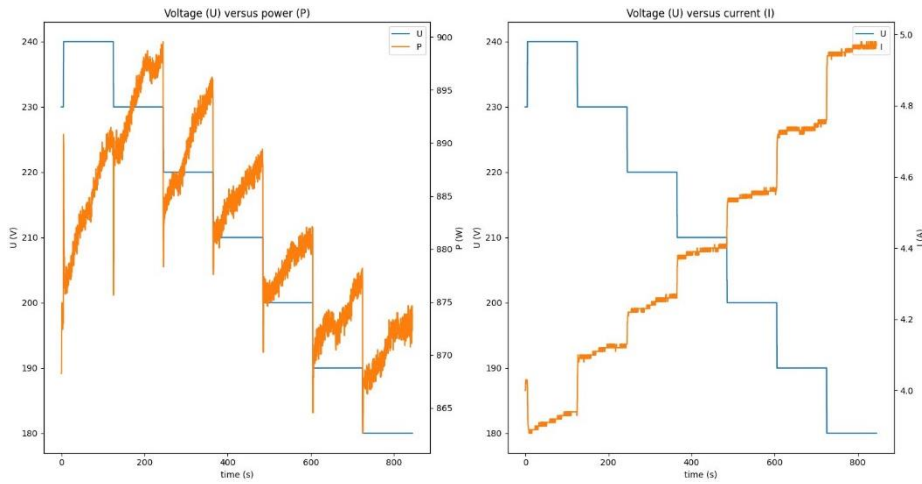
Testresultaten

Bij uitvoering van test script 240V-180V op de hybride WP is in de eerste testrun te zien dat de WP nog aan het opstarten is. In de tweede testrun draait de WP stabiel.

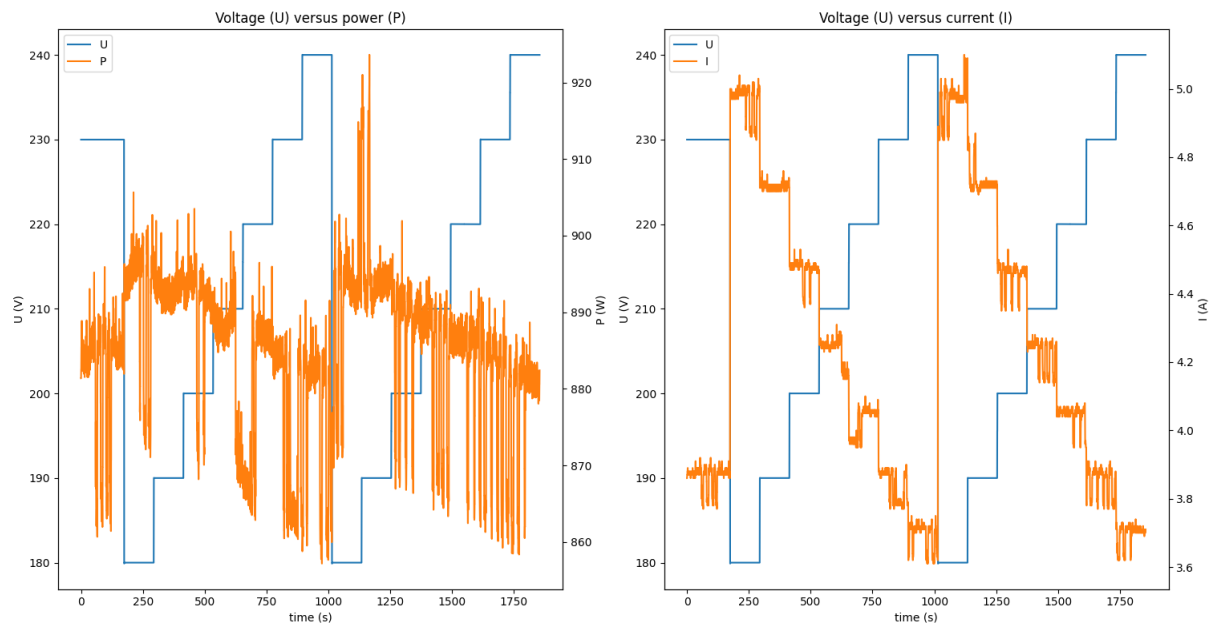
Hierbij is te zien dat het vermogen nagenoeg gelijk blijft als de spanning daalt, en de WP dus een verhoogde stroomvraag heeft. Deze stijgt van ~4A bij 230V naar ~5A bij 180V.



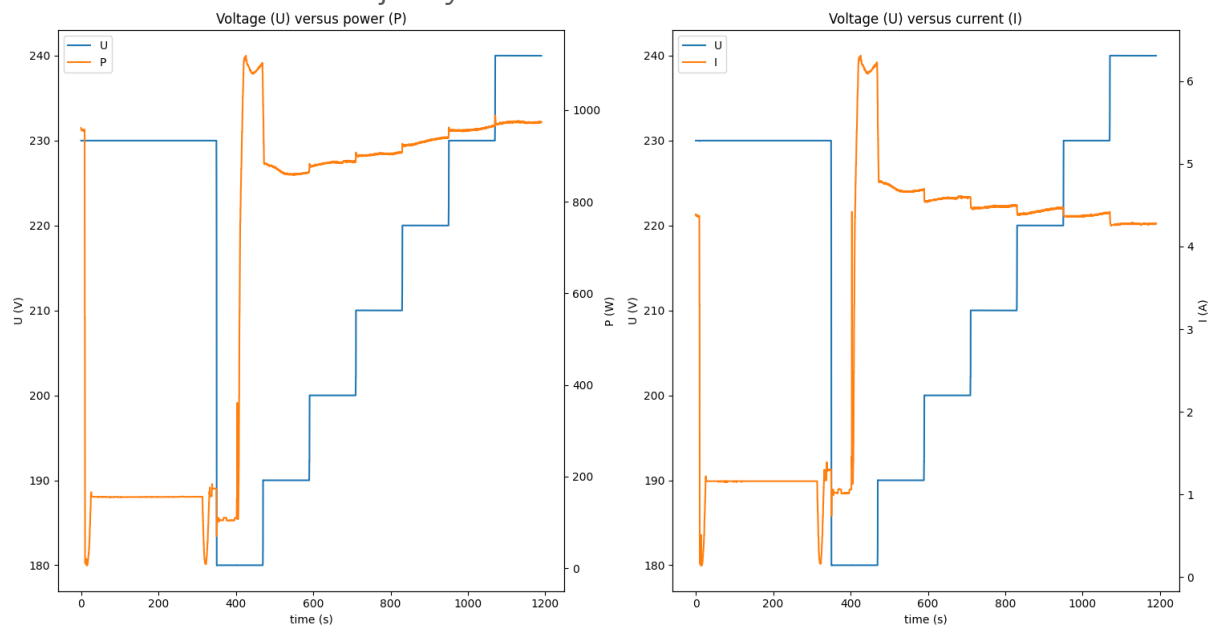
Bij uitvoering van test script 240V-180V op de full-electric WP wordt hetzelfde gedrag geobserveerd als bij de hybride WP. Wederom zien we de stroomvraag stijgen van ~4A bij 230V naar ~5A bij 180V. Bij deze WP zakt het vermogen echter bij elke spanningsstap, waarna het vermogen gedurende die stap weer rustig oploopt.



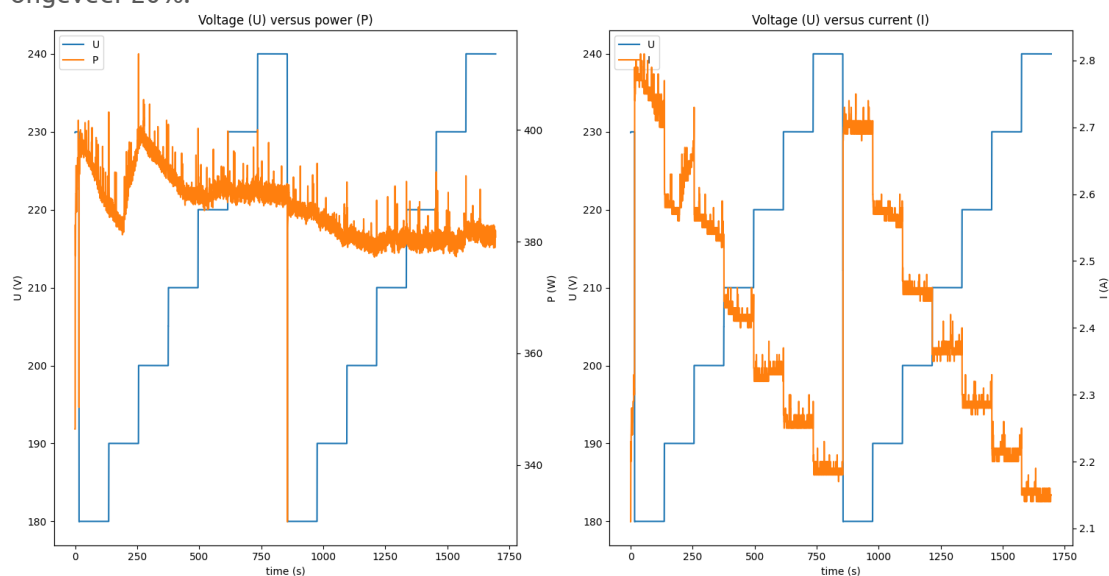
Bij uitvoering van testscript 180V-240V op de hybride WP is in de eerste testrun te zien dat, nadat deze op 230V heeft opgewarmd, het stroomverbruik omhoogschiet bij de start van het testscript. Vervolgens daalt het stroomverbruik wanneer de spanning oploopt. In de tweede testrun is hetzelfde gedrag te observeren. De stroomsterkte daalt hierbij van ~5A bij 180V naar ~3,8A bij 230V.



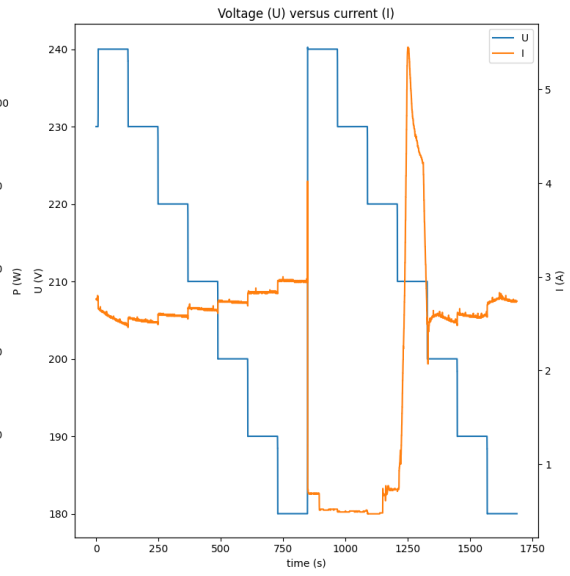
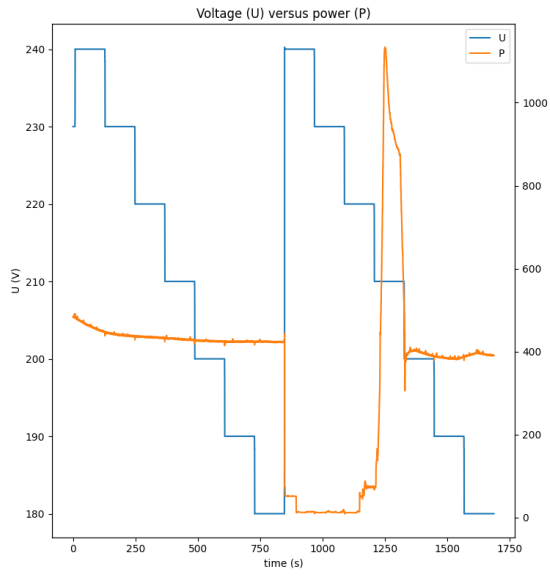
Bij uitvoering van test script 180V-240V op de full-electric zien we dat de WP nog aan het opstarten is wanneer het testscript wordt gestart. Bij ongeveer 190V lijkt deze normaal te functioneren. Een mogelijke reden hiervoor is dat de WP een foutmelding laat zien bij een voltage lager dan 190 volt. Net als bij de hybride WP is te zien dat het stroomverbruik daalt naarmate de spanning stijgt. Dit verschil is echter kleiner dan bij de hybride WP.



Bij uitvoering van testscript 180V-240V bij de hybride WP in laaglast is hetzelfde gedrag te observeren; de stroomsterkte stijgt naarmate de spanning afneemt. Deze toename is wederom ongeveer 20%.



Bij uitvoering van het testscript 240-180V verloopt de eerste testrun in laaglast vergelijkbaar met de testrun niet in laaglast. Bij de tweede testrun is echter te zien dat de WP niet meer goed functioneert. Bij deze plotselinge sprong van 180V naar 240V schiet de PFC regeling in overcurrent protection.



Bij uitvoering van testscript 180V-240V bij de hybride WP in hooglast is te zien dat de WP niet goed functioneert tijdens de start van het testscript. Naarmate de test vordert is te zien dat de stroomsterkte toeneemt van ~6A bij 210V naar ~7A bij 180V. De reden van de niet goed functionerende WP is dat hij zijn warmte niet kwijt kan en de compressor daardoor terug toert.

