

Bachelorscriptie Financiële Economie

**Dikstaartigheid in de elektriciteitsmarkt verklaard aan de
hand van vraag en aanbod fricties**



ERASMUS UNIVERSITEIT ROTTERDAM

Economie en Bedrijfseconomie

Begeleider: R. Huisman

Student: V.M. Molenaar (294807)

Inhoudsopgave

1. Introductie.....	3
2. Onderzoekopzet.....	4
3. Theoretische achtergrond.....	5-10
3.1 Vraag en aanbod op de elektriciteitsmarkt.....	5-7
3.1.1 Vraagfactoren van elektriciteit.....	6
3.1.2 Aanbodfactoren van elektriciteit.....	7
3.2 Prijsvorming op de elektriciteitsmarkt.....	8-10
3.2.1 Mean reversion.....	8
3.2.2 Seizoensafhankelijkheid.....	8
3.2.3 Peak / off peak pricing.....	9
3.2.4 Extreme volatiliteit.....	10
4. Methodologie.....	11-13
4.1 Tail-index.....	11
4.2 Hypothese.....	12
4.3 Data.....	12,13
5. Empirische resultaten.....	14-17
5.1 Beschrijvende statistieken.....	14,15
5.2 Beschrijving elektriciteitsmarkten.....	15,16
5.3 Resultaten.....	16,17
6. Conclusie.....	18
Appendix.....	19-24
Appendix A: Histogram en beschrijvende statistieken.....	19-21
Appendix B: Histogram en beschrijvende statistieken in Euro's.....	22-24
Literatuurlijst.....	25,26

1. Introductie

Elektriciteit heeft een aantal unieke kenmerken in vergelijking met andere energie producten zoals olie en gas. Elektriciteit heeft een lage prijselasticiteit, omdat er geen substituuat van is. Daarnaast zijn er geen mogelijkheden om elektriciteit op te slaan. Elektriciteit moet hierdoor direct geconsumeerd worden na productie. De consumptie van elektriciteit is afhankelijk van diverse factoren. Denk aan weersomstandigheden en variatie in consumptie gedurende de dag of week. Tijdsaspect is dus een belangrijke factor bij de waardering van elektriciteit. Ook moet er snel kunnen worden ingespeeld op vraagveranderingen vanuit de productiecentrale. Deze kenmerken doen de elektriciteitsmarkt verschillen met andere markten en maakt het hierdoor een interessante markt waarin veel onderzoek naar kan worden gedaan.

Zo komt er in de literatuur regelmatig naar voren, dat de prijzen van elektriciteit vaak extreem hoge waardes kunnen aannemen. Een andere manier om dit te verwoorden, is door aan te geven, dat de prijzen van elektriciteit dikstaartig zijn. Dikstaartigheid van elektriciteitsprijzen wordt in de literatuur vaak verklaard aan de hand van vraag en aanbod fricties. Daarmee wordt bedoeld, dat prijzen van elektriciteit over het algemeen extreem hoge waardes aannemen op het moment, dat er een aanbodstekort is. Mijn onderzoek zal zich dan ook richten op de verklaring van dikstaartigheid van elektriciteitsprijzen aan de hand van vraag en aanbod fricties.

2.Onderzoeksopzet

Zoals in de introductie al naar voren kwam, zal mijn onderzoek zal zich voornamelijk richten op de dikstaartigheid van elektriciteitsprijzen verklaard aan de hand van vraag en aanbod fricties. Dit wil ik doen door antwoord te geven op de volgende onderzoeksvraag:

Wat is de dikstaartigheid van uurlijkse elektriciteitsprijzen en hoe kan dit verklaard worden door vraag en aanbod fricties?

Om goed antwoord te kunnen geven, heb ik voor de volgende opzet van mijn onderzoek gekozen. Hoofdstuk 3 zal de theoretische achtergrond van het onderwerp vertellen. De theoretische achtergrond zal zich richten op de factoren van vraag en aanbod op de elektriciteitsmarkt en de prijsontwikkeling op de elektriciteitsmarkt. Vervolgens zal ik als maatstaf voor dikstaartigheid van de elektriciteitsprijzen kiezen voor de tail-index berekend met de Hill schatter. Hoofdstuk 4 zal hier verder op in gaan. Hoofdstuk 5 zal bestemt zijn voor uitleg over de resultaten van mijn empirisch onderzoek. Tenslotte zal hoofdstuk 6 antwoord geven op de hoofdvraag door een conclusie te geven van mijn onderzoek.

3. Theoretische achtergrond

In deze scriptie zal onderzoek worden gedaan naar de dikstaartigheid van elektriciteitsprijzen en de relatie hiervoor van vraag- en aanbod mismatches. Om hier een goed antwoord op te kunnen geven, zal er enig inzicht moeten zijn in de eigenschappen van de elektriciteitsmarkt. Ook moet er kennis zijn van de ontwikkeling van vraag en aanbod in de elektriciteitsmarkt en de prijsontwikkeling van elektriciteit. Daarom ben ik voor de theoretische achtergrond tot de volgende hoofdstuk indeling gekomen. In hoofdstuk 2.1 zal onderzoek worden gedaan naar de factoren van vraag- en aanbod op de elektriciteitsmarkt. Hoofdstuk 2.2 zal ingaan op de prijsontwikkeling op de elektriciteitsmarkt. Hierin zal voornamelijk aandacht worden besteed aan de volatiliteit van elektriciteitsprijzen.

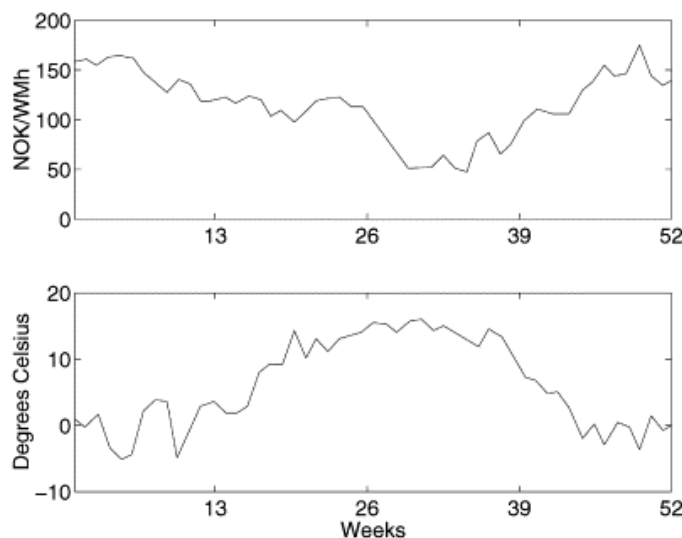
3.1 Vraag- en aanbod op de elektriciteitsmarkt

De elektriciteitsmarkt kent vele unieke kenmerken in vergelijking tot andere markten, zoals markten waarin aandelen, obligaties of olie wordt verhandeld. Een belangrijke unieke eigenschap van elektriciteit is dat er geen mogelijkheid is om elektriciteit op te slaan. Elektriciteit verschilt hierin met andere energie producten zoals olie en gas. Het gevolg van deze eigenschap is, dat er geen voorraad kan worden gecreëerd om onevenwichten tussen vraag en aanbod op te vangen. Tot meer dan tien jaren geleden, zou dit voor de prijsontwikkeling van elektriciteit een onbelangrijke eigenschap zijn geweest, omdat de prijs toen nog bepaald werd door instanties. Echter, sinds de liberalisering van de elektriciteitsmarkt is hier verandering in gekomen. Eén van de belangrijkste gevolgen van deze herstructurering is namelijk, dat de prijs nu wordt bepaald door de wet van vraag en aanbod [1]. Prijzen in de elektriciteitsmarkt zijn hierdoor sterk afhankelijk van de vraag naar elektriciteit, consumptiepatroon van elektriciteit, en de flexibiliteit van de productiefactoren om op deze vraag in te spelen.[1-2] Om inzicht te krijgen in de dikstaartigheid van de elektriciteitsprijzen, is het dus relevant om inzicht te hebben in de vraag- en aanbodfactoren van elektriciteit. Paragraaf 3.1.1 zal de vraagfactoren van elektriciteit bekijken. Informatie over de aanbodfactoren van elektriciteit is in paragraaf 3.1.2 uiteengezet.

3.1.1 Vraagfactoren van elektriciteit

Voor het product elektriciteit is geen substituuat, waardoor de prijselasticiteit van elektriciteit laag is [3]. Gezegd kan dus worden, dat de vraag naar elektriciteit inelastisch is. In 'The trouble with Electricity markets (and some solutions)' [4] wordt dan ook aangegeven, dat in bijna alle elektriciteitsmarkten vraag ongevoelig is voor prijsfluctuaties. De consumptie van elektriciteit is dus onafhankelijk van prijsveranderingen.

Nu bepaald is dat de vraag naar elektriciteit niet afhankelijk is van prijsfluctuaties, ga ik op zoek naar een andere verklaring die invloed heeft op het consumptiepatroon van elektriciteit. Deze valt te vinden in de weersomstandigheden. Verandering in weeromstandigheden zoals de temperatuur op een dag of het aantal uren daglicht, heeft invloed op de vraag naar elektriciteit. Lagere temperaturen leiden tot hogere consumptie van elektriciteit. Het is dan ook bekend dat de vraag naar elektriciteit seizoensafhankelijkheid vertoont. [7-11]. Een voorbeeld hiervoor is te vinden in figuur 1. In [5] wordt uit figuur 1 de conclusie getrokken, dat de vraag naar elektriciteit sterk afhankelijk is van de weersomstandigheden. Geconcludeerd kan dus worden, dat tijdsaspect een belangrijke factor is voor de vraag naar elektriciteit en dus bij de waardering van elektriciteit [3].



Figuur 1 - lagere temperaturen leiden tot hogere consumptie en dus tot prijsstijgingen van elektriciteit [5]

3.1.2 Aanbodfactoren van elektriciteit

Dit hoofdstuk zal zich richten op de aanbodkant van de elektriciteitsmarkt. Zoals eerder al vermeld, is er sinds de deregulatie van de elektriciteitsmarkt verandering gekomen in de totstandkoming van de prijs van elektriciteit. Onderzoek van Borenstein (2000), Borenstein (2001) [4] en Hurman (2006) [3] vertelt hier meer over.

Door de deregulering van de elektriciteitsmarkt is er in de nieuwe situatie sprake van een competitieve markt. Volgens [3] en [4] is een belangrijk gevolg hiervan, dat de marktprijzen gelijk zullen zijn aan de korte termijn marginale kosten. Dit gegeven kan als volgt verklaard worden. Een bepaald deel van de productiekosten is vast. Zolang de productiecentrale onder zijn capaciteiten produceert, zullen de marginale kosten dus lager zijn dan de gemiddelde kosten. De productiecentrale zal dus blijven produceren zolang de marktprijs hoger is dan de marginale kosten. Dit maakt dat de prijzen van elektriciteit afhankelijk zullen zijn van de korte termijn marginale kosten. Deze kosten verschillen per type productiecentrale. Afhankelijk van het type brandstof (fossiel, nucleair, water) dat de productiecentrale gebruikt.

Ook zal een productiecentrale snel in moeten kunnen spelen op de verandering in vraag. Indien er namelijk sprake is van een aanbodoverschot leidt dit tot marktprijzen die liggen onder de gemiddelde kosten voor de productie van elektriciteit en zal de productiecentrale verlies maken. Andersom, indien er sprake is van een aanbodstekort zal dit leiden tot hoge prijzen. Zoals nader onderzocht gaat worden in dit onderzoek, kan een aanbodstekort zelfs leiden tot extreem hoge prijzen. De flexibiliteit van een productiecentrale om snel in te spelen op vraagverandering verschilt per type productiecentrale.[3]

Geconcludeerd kan dus worden, dat aanbod van elektriciteit afhankelijk is van de marginale kosten die een productiecentrale heeft en de flexibiliteit van een productiecentrale om zijn aanbod aan te passen.

3.2 Prijsontwikkelingen op de elektriciteitsmarkt

Nadat bepaald is welke factoren vraag en aanbod beïnvloeden, zal ik kijken welke kenmerken in prijsontwikkeling de elektriciteitsmarkt kent. De prijsontwikkeling op de elektriciteitsmarkt heeft een verschillend aantal erkende kenmerken. Zo laten verscheidene studies zien, dat de prijzen van elektriciteit over de tijd heen gedrag vertonen zoals mean reversion, seizoensafhankelijkheid en extreme volatiliteit. Een verklaring hiervoor is dat in tegenstelling tot de financiële markt, elektriciteit op elk uur van het jaar, dus inclusief nacht, weekends en vakantie, verhandeld wordt. Dit hoofdstuk zal ingaan op deze kenmerken van en zal daarbij mogelijke verklaringen geven. Paragraaf 3.2.1 zal verder ingaan op het kenmerk mean reversion. Vervolgens zal paragraaf 3.2.2 het onderwerp seizoensafhankelijkheid behandelen. Paragraaf 3.2.3 geeft informatie over de piek en daluren van een elektriciteitsmarkt. Tenslotte zal het extreme volatiliteit in paragraaf 3.2.4 behandeld worden.

3.2.1 Mean reversion

Eén van de eerste kenmerken van elektriciteitsprijzen is mean reversion. Dit is de tendens van een prijs om na een schok weer terug te keren naar het lange-termijn gemiddelde [3,6]. Mean reversion in de elektriciteitsmarkt is uit vele onderzoeken gebleken [7]. Huisman et al [6] hebben onderzoek gedaan of deze mean reversion constant is door de dag of verschillend per uur. Hieruit blijkt, dat mean reversion niet constant is gedurende de dag. In de super-peak uren, 18-22 uur, is er significant minder terugkeer naar de lange termijn gemiddelde prijs. Dit wordt verklaard door een verhoogde vraag in deze uren, waardoor er een grotere kans is op tekortkoming vanuit de aanbod kant en daarmee op uitschieters.

3.2.2 Seizoensafhankelijkheid

Een tweede kenmerk van elektriciteitsprijzen is seizoensafhankelijkheid. Met seizoensafhankelijkheid wordt bedoeld, dat de prijsontwikkelingen van elektriciteit meebewegen met de seizoenen. Zo is er in de zomer door het extra gebruik van luchtkoelingapparaten meer vraag naar elektriciteit. Er is dan ook een piek te zien van de prijzen van elektriciteit in de zomer. Ook in de winter is er een stijging in prijzen te zien, door de extra opwarming die nodig is[8].

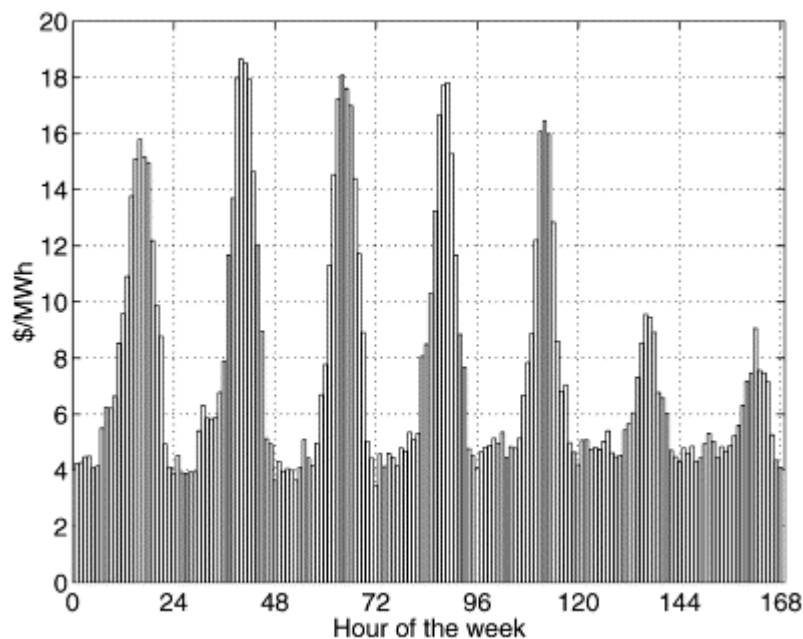
Gezegd kan dus worden, dat door de fluctuaties in de vraag naar elektriciteit door het jaar, de prijzen van elektriciteit seizoensafhankelijk gedrag hebben[7].

3.2.3 Peak / off peak

Een derde kenmerk van de prijsontwikkeling van elektriciteit is, dat er een patroon in volatiliteit is te zien die gecorreleerd is aan piek- en daluren, vanaf nu peak en off peak specificatie [5]. Hiermee wordt bedoeld, dat er verandering in prijsveranderingen zijn gedurende de dag en week. In off peak uren wordt de laagste volatiliteit gevonden. Dit zijn in de weekeindes en tijdens de nachturen. Een hoge volatiliteit is gevonden tijdens de on-peak werkdaguren, met een maximum tussen 15.00 en 16.00. Op zondag is de verandering in prijs het grootst van 16.00 tot 17.00 uur.

De dagelijkse en wekelijkse afhankelijkheid van prijs kan ook geïllustreerd worden [12,13]. Dit is in figuur 2 te zien. In deze figuur staat een statistische week verdeeld over 168 uur van maandag 00.00-01.00 tot zondag 23.00-24.00. Daarin staat de gemiddelde verandering in prijs voor elk uur van dezelfde dag van de elektriciteitsprijs van de Californian Power Exchange. Hieruit is te lezen, dat de in de off peak periodes, het weekend en tijdens de nachturen, de laagste volatiliteit te vinden is. Verder is er een grote volatiliteit tijdens de peak periodes.

Zoals in hoofdstuk 3.2.1 al beschreven stond, vonden Huisman et al [6] ook verschil in prijsveranderingen gedurende de peak en off peak periodes. In [6] wordt namelijk gevonden, dat de prijzen in super-peak uren, van 18.00 tot 22.00 uur, minder tendens hebben naar het lange termijn gemiddelde.



Figuur 2 – Intra-wekelijkse plot van gemiddelde absolute prijsveranderingen van de Californian Power Exchange [5].

3.2.4 Extreme volatiliteit

Nergens zijn de prijsschokken in een markt zo extreem dan in de elektriciteitsmarkt. R. Weron (2000) [5] heeft de volgende percentages van volatiliteit gemeten van de volgende producten over een jaar tijd:

Product	Volatiliteit
Overheidsobligaties	0,5%
Aandelenindices	0,5%
Gas en olie	1,5-4%
Volatiele aandelen	4%
Elektriciteit	50%

Tabel 1 – Gevonden volatiliteit van overheidsobligaties, aandelenindices, gas en olie, erg volatiele aandelen en elektriciteit in procenten gemeten over een jaar.

Het gevolg van deze extreme prijzen is dikstaartigheid van elektriciteitsprijzen, althans dik t.ov. de staarten van de normale verdeling [3]. Voor marktparticipanten betekent dit, dat ze te maken krijgen met hoger dan ‘normaal’ risico. In de literatuur worden hier verschillende verklaringen voor gegeven.

Zo is er sinds de liberalisering van de elektriciteitsmarkt de discussie gestart, of deze extreme prijzen natuurlijk tot stand komen of dat dit komt door manipulatie van de producenten. Onderzoeken van Wolfram (1999), Borenstein en Bushnell (1999), Borenstein (2000), Borenstein, Bushnell en Wolak (2000) hebben bewezen, dat de aanbod condities zoals ze gelden op de elektriciteitsmarkt producenten de mogelijkheid geven om marktmacht uit te voeren. De prijs zou tijdens de piekuren van elektriciteit gemakkelijk boven het natuurlijke prijslevel gezet kunnen worden [4]. De aanwezigheid van marktmacht kan dus een reden zijn van de extreme volatiliteit van elektriciteitsprijzen.

In de rest van mijn onderzoek zal ik onderzoeken of extreme prijzen in de elektriciteitsmarkt ook te verklaren zijn aan de hand van vraag en aanbod mismatches.

4. Methodologie

Dit hoofdstuk beslaat de methodologie voor onderzoek naar de hoofdvraag:

Wat is de dikstaartigheid van uurlijkse spotprijzen in de elektriciteitsmarkt en hoe kan dit verklaard worden aan de hand van vraag- en aanbod fricties?

Om antwoord te kunnen geven op deze hoofdvraag, zal ik, nadat ik de theoretische achtergrond uiteen heb gezet, empirisch onderzoek doen naar de dikstaartigheid die verschillende elektriciteitsmarkten kennen. Deze dikstaartigheid zal ik meten door het berekenen van de tail-index α . Dit zal ik doen voor zowel de peak uren als de off peak uren. De tail-index wil ik berekenen met behulp van de Hill schatter (1975). De opbouw van dit empirisch onderzoek heb ik als volgt opgebouwd. Eerst zal ik in hoofdstuk 4.1 informatie geven over de tail-index en de Hill schatter. Hoofdstuk 4.2 zal de hypothese waar het empirisch onderzoek zich op zal richten beschrijven. Vervolgens geeft hoofdstuk 4.3 informatie over de gebruikte data.

4.1 Tail-index

De tail-index α is een maatstaf voor de grootte van dikstaartigheid van je data. Deze kan ook gezien worden als een indicator voor de manier waarop de staart naar nul gaat.[3] Hoe dikker de staart, hoe langzamer de snelheid naar nul en hoe lager de tail-index. Dus hoe hoger α , des te minder dikstaartig is de verdeling van de gegeven data.

Over het algemeen wordt voor het berekenen van de tail-index de Hill schatter (1975) gebruikt. Dit zal ik als volgt doen. Laat n het aantal waarnemingen van de gegeven dataset zijn. Verder zijn de waarnemingen geordend op grootte, zo dat $x_1 > x_2 > \dots > x_n$. Stel, we kiezen k waarnemingen (van de rechterstaart) voor het berekenen van onze schatting. Verder is gegeven dat de parameter γ per definitie gelijk aan $1/\alpha$ [18]. Dit geeft de volgende schatter voor γ :

$$\gamma(k) = \left[\sum_{j=1}^k \ln(x_{n-j+1}) \right] / k - \ln(x_{n-k})$$

Hierbij is de keuze van k erg cruciaal om tot een zuivere schatter van de tail-index te komen, daarom heb ik in mijn onderzoek een tail-index met een $k = 100$ waarnemingen en een tail-index van $k = 250$ waarnemingen. De tail-index is dus te berekenen door het getal 1 te delen door de berekende Hill schatter $\gamma(k) : 1 / \gamma(k)$.

4.2 Hypothese

Het empirisch onderzoek zal zich richten op de volgende stelling:

Uren met grote vraag naar elektriciteit kennen grote dikstaartigheid.

Om dit te onderzoeken, zal ik de tail-index α voor zowel de peak uren als de off peak uren berekenen. De tail-index van de peak uren bevat de spotprijzen van de uren met grote vraag naar elektriciteit. De tail-index van de off peak uren betreft de spotprijzen van uren met minder vraag naar elektriciteit. De hypothese voor het empirisch onderzoek kan dan als volgt worden gesteld:

$$\text{Ho: } \alpha_{peak} = \alpha_{off-peak}$$

$$\text{Ha: } \alpha_{peak} < \alpha_{off-peak}$$

Hierbij is α_{peak} de tail-index van spotprijzen in de peak uren en $\alpha_{off-peak}$ de tail-index van de spotprijzen in de off-peak uren. Indien de nul hypothese verworpen wordt, kan geconcludeerd worden, dat de spotprijzen van een markt tijdens de peak uren meer dikstaartigheid kent, dan de spotprijzen tijdens de off peak uren. Dit bevestigt dan onze stelling dat uren met grote vraag naar elektriciteit grote dikstaartigheid kent.

4.3 Data

Voor het berekenen van de tail-index maak ik gebruik van spotprijzen op de Amsterdam Power Exchange (APX), de Nordic Power Exchange (NPX), en de Dow Jones Indexes (DJ). De data is verkregen via DATASTREAM. De prijzen van de APX zijn de spotprijzen van APX Power in Nederland en zijn weergegeven in Euro's. Prijzen van de NPX zijn de spotprijzen van Nordpool en zijn oorspronkelijk weergegeven in Noorse Kronen. De prijzen van de DJ betreft de spotprijzen van North Path 15 (NP15) en South Path 15 (SP15) en zijn oorspronkelijk weergegeven in Dollars. Indien nodig, reken ik de data om in Euro's met behulp van de wisselkoers. Voor de omrekening van Noorse Kronen tot Euro's heb ik gerekend met 1 NK = 0,111535 EUR. Voor omrekening van de Dollar heb ik gebruik gemaakt van 1 Dollar = 0,71618 EUR. De data loopt van 4 januari 2001 tot en met 31 december 2008.

Voor het onderscheid tussen peak uren en off peak uren, zal ik mij houden aan de verdeling zoals de markten deze zelf gebruiken. Dit leidt tot de volgende verdeling:

	Peak Load	Off Peak Load
Amsterdam Power Exchange*	07.00-23.00uur	23.00-07.00uur
Nordic Power Exchange**	08.00-20.00uur	20.00-08.00uur
Dow Jones Indexes***	06.00-22.00uur	22.00-06.00uur
	(Maandag-Zaterdag)	(Maandag-Zaterdag)
		00.00-00.00uur
		(Zondag)

Tabel 2 – Verdeling van peak uren en off peak uren van de Amsterdam Power Exchange, Nordic Power Exchange en Dow Jones Indexes.

* [15] <http://www.apxgroup.com/index.php?id=211>

** [16] <http://www.nordpool.com/asa>

***[17] <http://www.djindexes.com/mdsidx/?event=energySouthPathD>

5. Empirische resultaten

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van mijn empirisch onderzoek besproken worden. Ten eerste zal ik een kleine indicatie van de gebruikte data geven door middel van wat beschrijvende statistieken. Dit zal in hoofdstuk 5.1 naar voren komen. Hoofdstuk 5.2 geeft nadere informatie over de verschillende elektriciteitsmarkten waarvan ik de data gebruik heb. Vervolgens geeft hoofdstuk 5.3 het uiteindelijke resultaat van de tail-index schattingen. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5.4 een interpretatie gegeven van de tail-index schattingen.

5.1 Beschrijvende statistieken

Dit hoofdstuk zal een indicatie geven van de gebruikte datasets met betrekking tot het gemiddelde, standaardafwijking, skewness en kurtosis. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de peak uren en off peak uren. Daarbij zijn alle gegevens uitgedrukt in Euro's.

	Valuta	Load	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Skewness	Kurtosis
APX Power NL	Euro	Off peak	26,35	12,59	1,05	3,63
		Peak	62,53	48,31	7,99	126,5
Nord Pool	Euro	Off peak	29,81	12,28	1,3	5,34
		Peak	32,35	12,7	1,31	5,26
North Path 15	Euro	Off peak	35,01	27,68	3,88	21,59
		Peak	49,67	38,73	3,99	22,27
South Path 15	Euro	Off peak	32,54	20,61	3,25	19,09
		Peak	48,82	34,33	4,11	25,21

Tabel 3 - Gemiddelde, standaarddeviatie, skewness en kurtosis van de uurlijkse spotprijzen van de APX Power NL, Nord Pool, North Path 15 en Sout Path 15 over de periode 4 januari 2001 tot en met 31 december 2008.

Tabel 3 geeft een overzicht van wat beschrijvende statistieken van de gebruikte data. Als gekeken wordt naar het *gemiddelde* en de *standaarddeviatie*, is duidelijk af te leiden, dat voor alle markten het gemiddelde in de peak uren hoger ligt dan in de off peak uren. Daarbij is de standaarddeviatie, ofwel de standaardafwijking, voor alle markten ook in de peak uren groter. Dit geeft aan dat de verdeling van de uurlijkse spotprijzen in de peak uren groter is dan voor spotprijzen in de off peak uren. Voor Nord Pool is dit verschil echter erg klein in vergelijking tot de andere markten.

Vervolgens kijk ik naar de *skewness*, ofwel de scheefheid van de gegeven datasets. De waarde van de skewness geeft aan in hoeverre er sprake is van asymmetrie in een dataset. Voor elke markt is te zien, dat er sprake is van positieve scheefheid. Dit betekent, dat de rechterstaart langer is dan de linkerstaart. Gezegd kan dus worden, dat in elk dataset extreem hoge waardes van de spotprijzen gevonden kunnen worden. Hoe hoger de waarde van de skewness, des te groter zijn de

extreme waarden van de variabelen. Ook hier is af te leiden, dat de waarde van de scheefheid in de peak uren hoger is, dan in de off peak uren. De grootte van dit verschil, is voor de APX en stuk groter dan voor Nord Pool.

De *kurtosis*, ofwel platheid, is een maat voor de piekheid van een dataset. Een hoge kurtosis wijst op een verdeling met een sterke piek. Voor een normale verdeling wordt een kurtosis van ongeveer 3 gegeven. Als ik dit terugkoppel op de kurtosis van de verschillende markten, is de kurtosis van alle markten hoog. Dit houdt in dat een relatief groot deel van de variantie van de uurlijkse spotprijzen veroorzaakt wordt door extreme waarden. De APX heeft een extreem hoge kurtosis met een waarde van 126,50 in de peak uren. Ook North Path 15 en South Path 15 hebben een hoge kurtosis. Behalve voor de spotprijzen van Nord Pool, geldt dat de kurtosis van de markten in de peak uren hoger is, dan in de off peak uren. Geconcludeerd kan dus worden, dat voor deze markten in de peak uren veel extreme spotprijzen voorkomen.

5.2 Beschrijving elektriciteitsmarkten

Om tot een juiste conclusie te komen over de uitkomsten van mijn onderzoek, is kennis over de gebruikte elektriciteitsmarkten ook van belang. Dit hoofdstuk zal informatie geven over de Amsterdam Power Exchange, Nordic Power Exchange en de Dow Jones Indexes.

De *Amsterdam Power Exchange (APX)* is opgericht om de liberalisering van de energiemarkt te ondersteunen. De overheid heeft geregeld dat alle import van elektriciteit naar Nederland via de APX gaat. Aanbieders en kopers van elektrische energie komen op deze markt bij elkaar. [19] Tijdens de theoretische achtergrond, Hoofdstuk 3, van dit onderzoek is al naar voren gekomen, dat liberalisering van de markt tot grote prijschommelingen kan leiden. Dit zal dan ook in de gebruikte data naar voren moeten komen.

Nordic Power Exchange (NPX), ook wel Nord Pool, is de energiemarkt voor Noorwegen, Denemarken, Finland én Zweden. Het grote voordeel van één energiemarkt voor vier verschillende landen, is dat het de mogelijkheid geeft voor extra aanbod van elektriciteit indien dit nodig is. Als bijvoorbeeld één van de landen onvoldoende productie heeft om aan de vraag te voldoen, kan het de nodige elektriciteit van het buurland importeren. Over het algemeen wordt elektriciteit van Nord Pool gegenereerd uit water, nucleaire energie en kolen. Doordat dit verschilt per land, is de behoefte aan extra energie verschillend per land en verschilt dit in tijd, waardoor er voor Nord Pool over het algemeen geen grote problemen worden ervaren tijdens uren van grote vraag.[20]

De *Dow Jones Indexes* is een Amerikaans bedrijf dat futures verhandeld die gebaseerd zijn op prijzen van de North en South path 15. Path 15 is een pad van stroomkabels die van noord tot zuid Californië loopt. Ook North en South Path 15 hebben te maken met volatiele prijzen. Dit komt door

het enorme volume van de stroom die geproduceerd wordt. Daarbij produceren ze over een groot gebied elektriciteit waardoor er regelmatig een tekort is een aanbod.[21]

5.3 Tail-index schattingen

De schattingen van de tail-index zijn voor de verschillende elektriciteitsmarkten in tabel 4 gepresenteerd. Deze heb ik voor alle markten berekend met behulp van de Hill schatter zoals beschreven in Hoofdstuk 4. Uiteraard is er onderscheid gemaakt tussen de off peak en peak uren. Daarbij heb ik onderscheid gemaakt tussen de verschillend gekozen k.

Elektriciteitsmarkt		k=250		k=100	
		Off peak	peak	Off peak	peak
APX Power NL	γ	0,1687	0,305	0,1033	0,3674
	α	5,93	3,28	9,68	2,72
Nord Pool	γ	0,1905	0,1815	0,1539	0,1326
	α	5,25	5,51	6,5	7,54
North Path 15	γ	0,4981	0,5895	0,6443	0,7308
	α	2,01	1,7	1,55	1,37
South Path 15	γ	0,4225	0,5763	0,3567	0,6009
	α	2,37	1,74	2,8	1,66

Tabel 4 - Tail-index berekend voor de ~~uurlijkse~~ spotprijzen van de APX Power NL, Nord Pool, North Path 15 en South Path 15 voor zowel peak uren als off peak uren en voor k=250 en k=100.

5.4 Resultaten

In dit hoofdstuk zal ik de resultaten van de berekende tail-indexes bespreken. Om tot een goede conclusie te komen van de tail-index schattingen, zal ik nogmaals de gebruikte hypothese herhalen:

Uren met grote vraag naar elektriciteit kennen grote dikstaartigheid.

Dit heb ik empirisch gezien vertaald in:

$$H_0: \alpha_{peak} = \alpha_{off-peak}$$

$$H_a: \alpha_{peak} < \alpha_{off-peak}$$

Zoals eerder in dit hoofdstuk al naar voren kwam, hebben alle markten een hoge kurtosis. Hierdoor komt al enigszins naar voren dat er sprake is van dikstaartigheid in de verschillende datasets. Verwacht kan dus worden, dat de tail-index lager is dan gemiddeld gevonden wordt in datasets. Daarbij wordt verwacht dat deze tail-index in de peak uren lager is, dan in de off peak uren.

Wanneer gekeken wordt naar de schattingen van de tail-indexes, vallen een aantal dingen op. Ten eerste is er een groot verschil in tail-index tussen de peak uren en off peak uren voor de APX Power NL. De peak uren heeft een tail-index van 2,72, (bij een k van 100) terwijl de off peak uren een

tail-index van 9,68 (bij een k van 100) heeft. Dit betekent, dat voor deze markt de spotprijzen tijdens peak uren veel meer en hogere extreme waardes aanneemt, dan de uurlijkse spotprijzen in de off peak uren. Met betrekking tot de onderzochte hypothese kan ik voor deze markt de nul-hypothese verwerpen. Dus gezegd kan worden, dat voor de APX Power NL uren met grote vraag naar elektriciteit grote dikstaartigheid kent.

Voor Nord Pool is de tail-index in zowel de peak als off peak uren erg hoog. Deze markt kent dus over het algemeen weinig dikstaartigheid en dus weinig extreme spotprijzen. Tijdens de peak uren is deze dikstaartigheid zelfs minder aanwezig, dan voor de off peak uren. Echter is dit verschil minder groot dan voor de APX Power NL. Een verklaring hiervoor is te vinden in het feit, dat Nord Pool elektriciteit levert over verschillende landen. Hierdoor kunnen eventuele aanbodstekorten makkelijker aangevuld worden en zullen er minder vraag en aanbod fricties zijn. Dit is een voordeel waar de APX Power NL geen gebruik van kan maken.

Tenslotte is voor de markten van de Dow Jones Indexes, South en North Path 15, in zowel de peak als off peak uren dikstaartigheid te vinden. Voor beide markten geldt, dat er in de peak uren een lagere tail-index geschat is dan voor de off peak uren. Geconcludeerd kan dus worden, dat de uurlijkse spotprijzen van zowel South Path 15 als North Path 15 tijdens de peak uren meer extreme waardes aannemen, dan tijdens de off peak uren. Ook dit is dus in overeenstemming met de gestelde hypothese, waardoor ook South Path 15 en North Path 15 bij uren met grote vraag naar elektriciteit dikstaartigheid kent.

6. Conclusie

Tenslotte zal ik een conclusie geven van mijn onderzoek door antwoord te geven op mijn onderzoeksvraag:

Wat is de dikstaartigheid van uurlijkse elektriciteitsprijzen en hoe kan dit verklaard worden door vraag en aanbod fricties?

Uit de theoretische achtergrond van mijn onderzoek is gebleken, dat de vraag naar elektriciteit onafhankelijk is van de prijs die elektriciteit heeft. Vraag naar elektriciteit is veelal tijdsgebonden en kan daarom ingedeeld worden in piek en dal momenten. Verder is naar voren gekomen, dat prijzen op de elektriciteitsmarkt seizoensafhankelijk zijn en vooral in de peak uren extreme waardes aan kunnen nemen.

Vervolgens heb ik empirisch onderzoek gedaan, naar het verschil in dikstaartigheid tussen de spotprijzen op de elektriciteitsmarkt tijdens de peak uren en off peak uren. Ook uit het empirisch onderzoek wordt geconcludeerd, dat er in verschillende elektriciteitsmarkten sprake is van dikstaartigheid van de uurlijkse spotprijzen. Voor bijna alle markten kan bevestigd worden, dat uren met grote vraag naar elektriciteit meer dikstaartigheid kennen. De markten waaruit dit blijkt, hebben regelmatig ook te kampen met een tekort aan aanbod en dus een vraag en aanbod frictie.

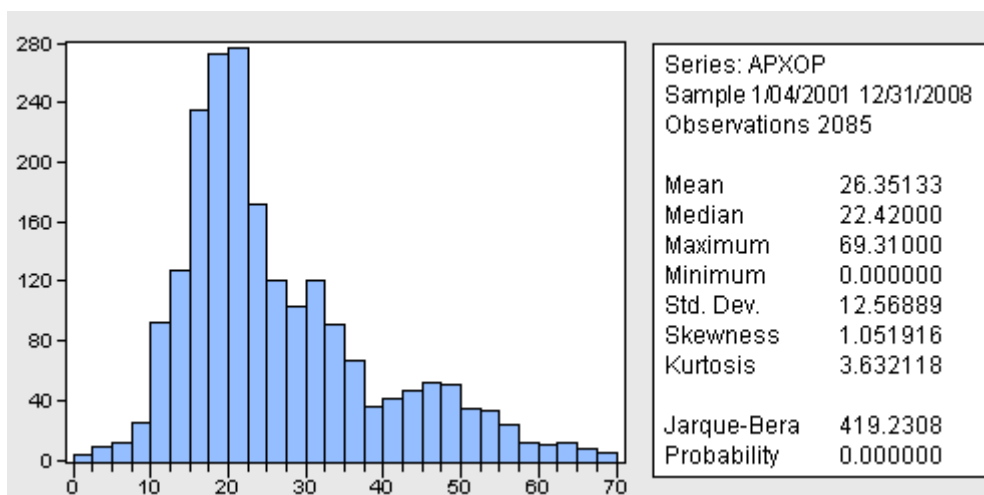
Er kan dus worden gezegd, dat elektriciteitsmarkten die te maken hebben met vraag en aanbod onevenwichten, spotprijzen van elektriciteit hebben tijdens de peak uren die dikstaartig zijn. Geconcludeerd kan dus worden dat dikstaartigheid van uurlijkste spotprijzen van elektriciteit wel degelijk te verklaren valt wegens vraag en aanbod fricties die er op een markt bestaan.

Appendix

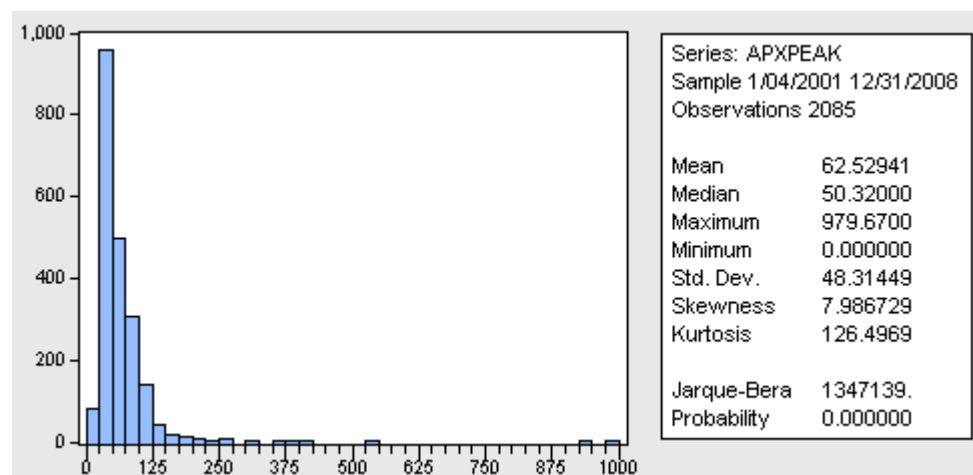
Appendix A: Histogram en beschrijvende statistieken

Tabel A1 tot en met A8 geven de resultaten van de met EViews berekende histogram en beschrijvende statistieken weer.

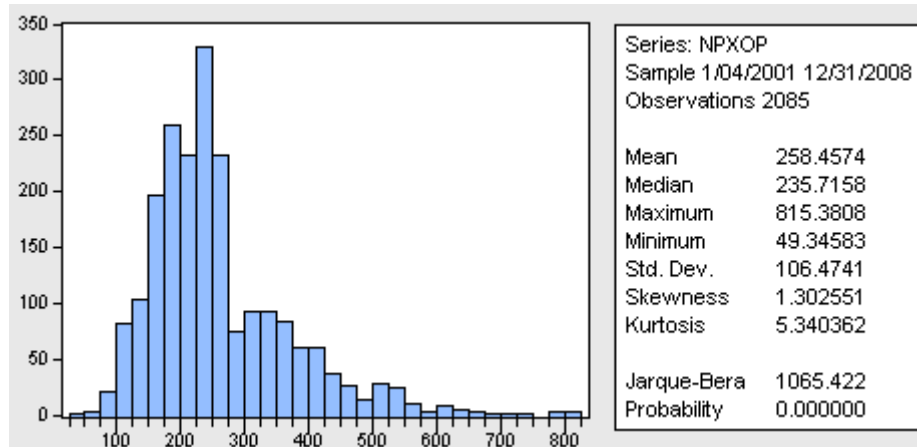
Tabel A1: APX Power NL off peak load in Euro's



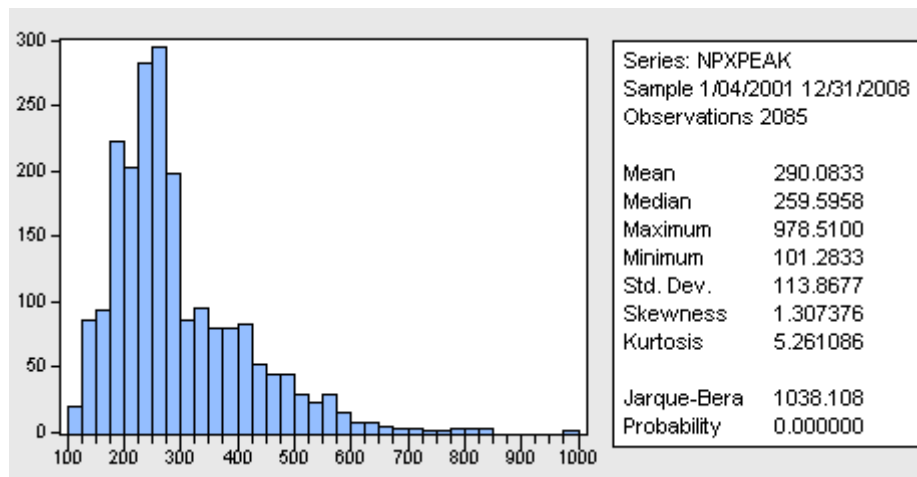
Tabel A2: APX Power NL peak load in Euro's



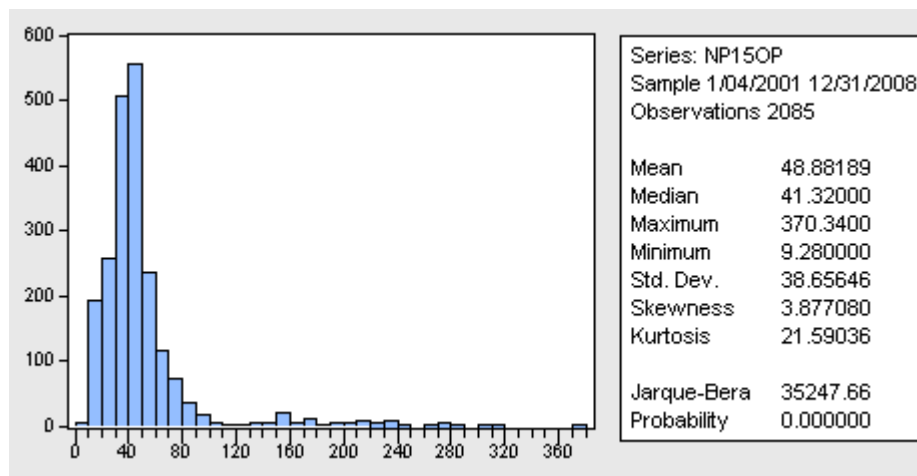
Tabel A3: Nord Pool off peak load in Noorse Kronen



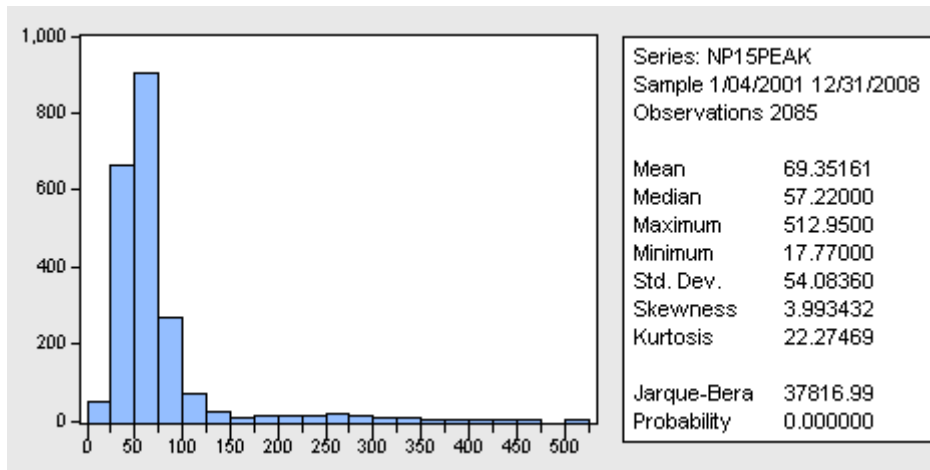
Tabel A4: Nord Pool peak load in Noorse Kronen



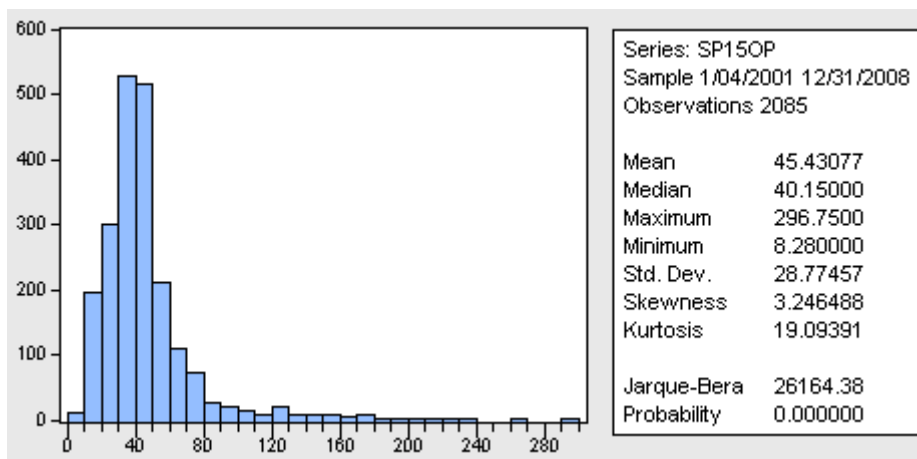
Tabel A5: North Path 15 off peak load in Dollar's



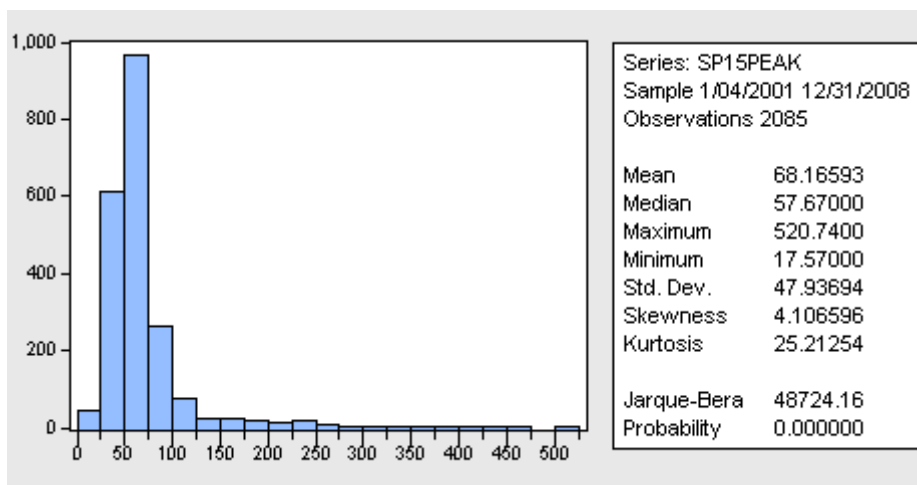
Tabel A6: North Path 15 peak load in Dollar's



Tabel A7: South Path 15 off peak load in Dollar's



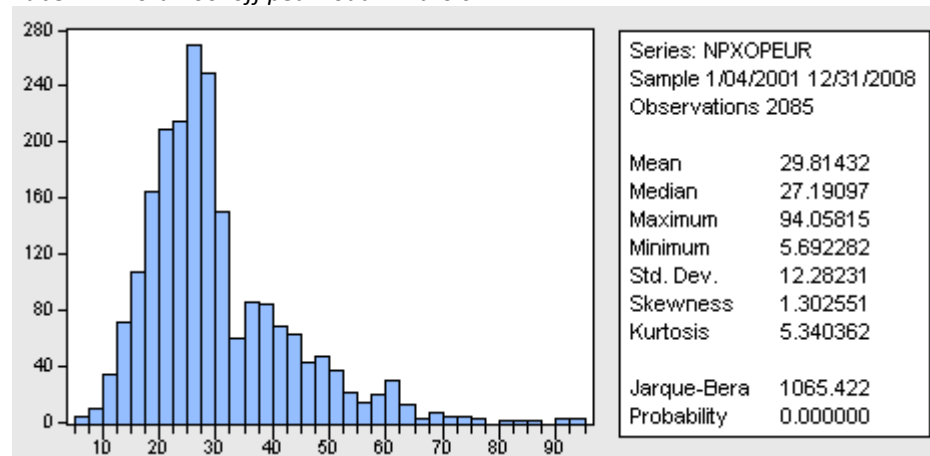
Tabel A8: South Path 15 peak load in Dollar's



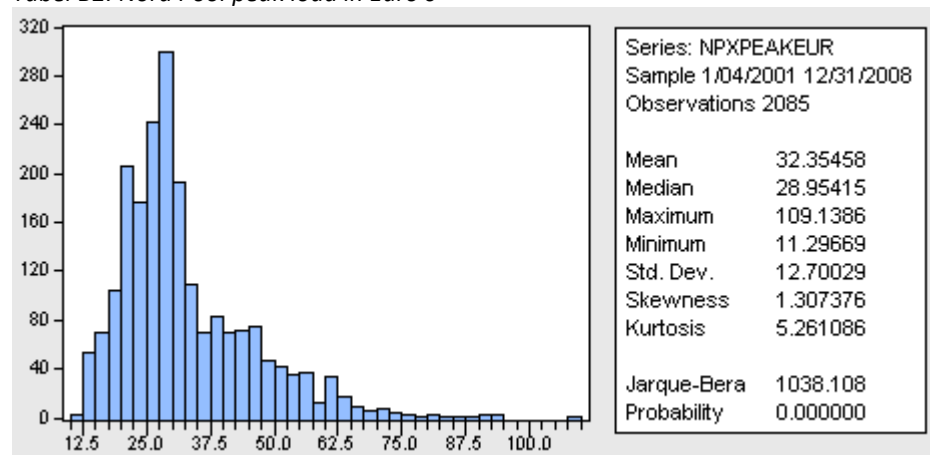
Appendix B: Histogram en beschrijvende statistieken in Euro's

Tabel B1 tot en met B6 geven de resultaten van de met EViews berekende histogram en beschrijvende statistieken in Euro's weer.

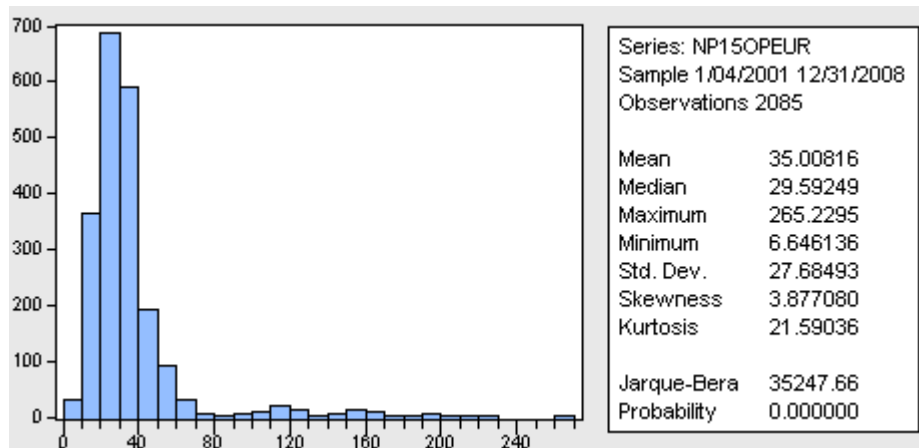
Tabel B1: Nord Pool off peak load in Euro's



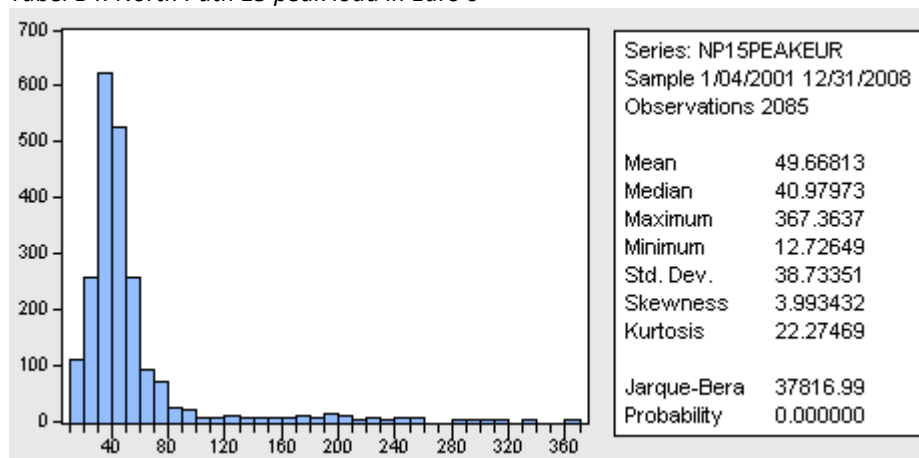
Tabel B2: Nord Pool peak load in Euro's



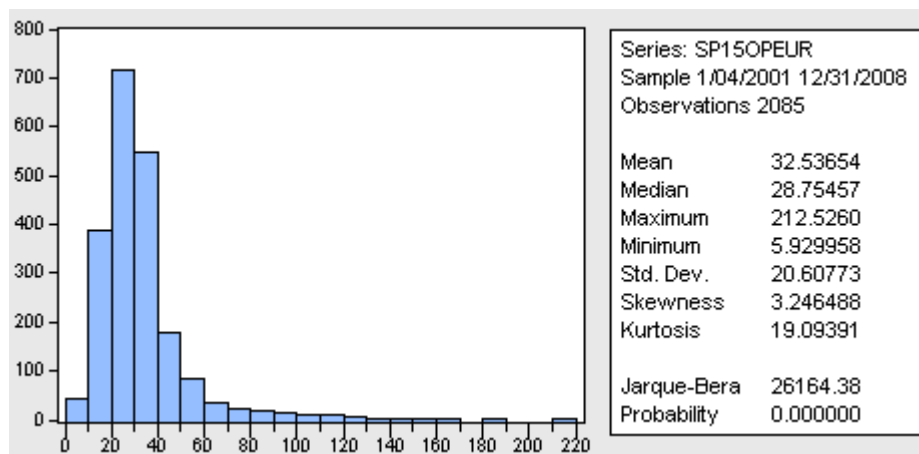
Tabel B3: North Path 15 off peak load in Euro's



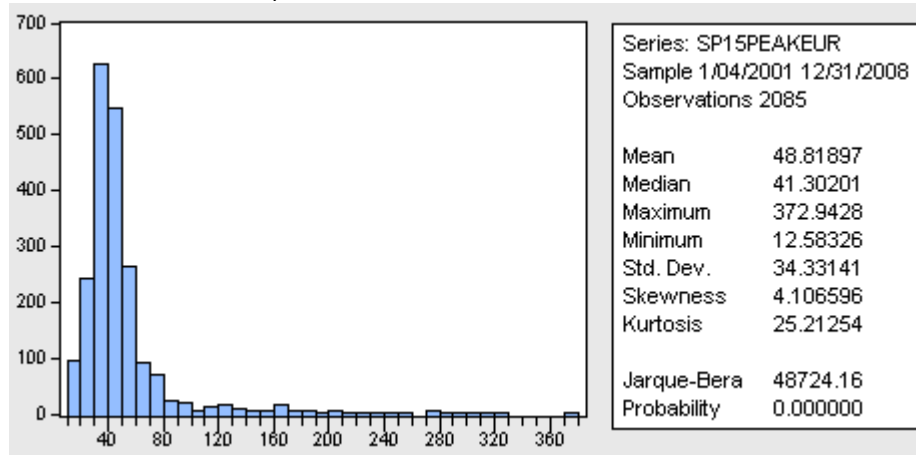
Tabel B4: North Path 15 peak load in Euro's



Tabel B5: South Path 15 off peak load in Euro's



Tabel B6: South Path 15 peak load in Euro's



Literatuurlijst

- [1] H. Geman, A. Roncoroni, Understanding the fine structure of Electricity prices, Journal of Business, 2006
- [2] J. Lucia, E. Schwartz, Electricity prices and power derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange, Kluwer Academic Publishers, 2002
- [3] C. Hurman, Dealing with electricity prices, 2007
- [4] S. Borenstein, The trouble with electricity prices (and some solutions), 2001
- [5] R. Weron, Energy prices risk management
- [6] R. Huisman, C. Hurman, R. Mahieu, Hourly electricity prices in day-ahead markets, Elsevier, 2006
- [7] R. Weron, M. Bierbrauer, S. Trück, Modeling electricity prices: jump diffusion and regime switching, Elvervier BV, 2004
- [8] D. Pilipovic, Energy Risk: Valuing and managing energy derivatives, McGraw-Hill, 1998
- [9] V. Kaminski (Ed), Managing energy price risk, Risk books, 1999
- [10] L. Clewlow, C. Strickland, Energy derivatives – Pricing and risk management, Lacima publications, 2000
- [11] A. Eydeland, H. Geman, Fundamentals of electricity derivatives in energy modeling and the management uncertainty, Risk books, 2000
- [12] M.M. Dacorogna, U.A. Müller, R.J. Nagler, R.B. Olsen, O.V. Pictet, J. Int. Money Finance 12, 1993
- [13] D.M. Guillaume, M.M. Dacorogna, R.R. Dave, U.A. Müller, R.B. Olsen, O.V. Pictet. Finance Stochast, 1997
- [14] <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35b.htm> ; Engenering statistics handbook, measuring skewness and kurtosis.
- [15] De Amsterdam Power Exchange over de verdeling van peak en off peak uren, <http://www.apxgroup.com/index.php?id=211>
- [16] Nord Pool over de verdeling van peak en off peak uren <http://www.nordpool.com/asa>
- [17] De Dow Jones Indexes over de verdeling van peak en off peak uren <http://www.djindexes.com/mdsidx/?event=energySouthPathD>

[18] R. Huisman, K. Koedijk, C. Kool, F. Palm; The tail-fatness of FX returns reconsidered; De Economist; 2002

[19] Wikipedia over Amsterdam Power Exchange, [http://nl.wikipedia.org/wiki/Amsterdam Power Exchange](http://nl.wikipedia.org/wiki/Amsterdam_Power_Exchange)

[20] Wikipedia over Nordic Power Exchange, [http://en.wikipedia.org/wiki/Nord Pool](http://en.wikipedia.org/wiki/Nord_Pool)

[21] New York Mercantile Exchange over de Dow Jones Indexes, http://www.nymex.com/DV_desc.aspx