論電力自由化下虛擬電廠之商業模式：

德國Harz示範計畫之經驗及對我國之政策意涵

許志義、黃俊凱*

壹、虛擬電廠與電力自由化
貳、德國 Harz 虛擬電廠之背景
叁、Harz 虛擬電廠之運作架構
肆、Harz 之商業模式構想
伍、商業模式之實踐——實測與模擬
陸、對我國電力政策之意涵
柒、結論

* 許志義為國立中興大學資訊管理學系與應用經濟學系合聘教授暨產業發展研究中心主任、黃俊凱為德國柏林洪堡大學法律系博士生。本文作者感謝科技部「需量反應、分散式電源與儲能之整合應用」整合型研究計畫（編號 MOST 103-3113-E-006-011-）及「智慧電網架構下之住商節能管理創新商業模式研究」（編號 NSC 103-ET-E-005-002-ET）之經費支持，始得完成此研究，惟文中若有任何疏誤，應由作者自負文責。

摘要

虛擬電廠是當前全球電業發展重要趨勢之一，其發展之基本前提為電力市場自由化，並可進一步確保電力市場眾多參與者（包括配電端與用戶端）之合理競爭，有助於消費者利益之維護。

本文探討德國「Harz 再生能源示範區」虛擬電廠（VPP）之基本結構及商業模式，該示範區進行虛擬電廠的實際運作，藉由虛擬電廠之整合與調控，將分散式電源導入集中市場與零售市場銷售，增加其市場競爭能量。文中深入分析該示範區的兩種商業模式：其一為虛擬電廠作為電力聯營協調商在集中市場銷售電力，其二為在示範區實施住宅用戶的動態電價與需量反應（Demand Response）。整體而言，該示範區引進 VPP 機制，目的在使再生能源逐步從政策補貼轉型進入電力市場，提升再生能源在電力市場之競爭力，一方面提供市場上現有的 VPP 擬定更具前瞻性的商業策略，另一方面也讓政府相關部門重新檢討電力市場競爭政策，推動能源法規架構之革新。

本文參考德國經驗，考慮我國電業現況，認為我國發展虛擬電廠之商業模式及政策推動，宜分階段進行，亦即先發展虛擬尖峰容量，再發展虛擬電廠，進而建議臺灣未來虛擬電廠應可發展出「前一日獎勵型商業型虛擬電廠」、「前一小時獎勵型商業型虛擬電廠」、「技術型虛擬電廠」等商業運作模式，以達成虛擬電廠與既有電廠（包含臺電公司、民營電廠等）彼此合理發展的空間，並有助於維護且提升消費者福祉。

關鍵詞：虛擬電廠、電力自由化、分散式電源、用戶群代表、電力聯營協調商、虛擬尖峰容量

壹、虛擬電廠與電力自由化

一、虛擬電廠之概念

歷經核四停工封存後，行政院於 2014 年底召開「全國能源會議」，共商臺灣當前能源對策。臺灣因面臨興建大型電廠與輸配電設施之阻力，且不久又將有電廠陸續屆齡除役，恐出現「電荒」。2015 年 7 月 16 日行政院院會通過電業法修正草案，將電業劃分為發電業、電力網業及售電業，除了電力網業仍由臺電公司經營外，其他開放民間自由競爭。換言之，未來臺灣電業自由化將落實「廠網分離」之精神，在此情況下，近年來先進國家興起的「虛擬電廠」（Virtual Power Plant, VPP），將是臺灣電力規劃的發展方向之一。重點是，虛擬電廠的擁有者此種新興的電力市場商業模式，如何與既存的電力公司取得彼此合理發展空間，值得探討。

德國在 1998 年以前，發電、輸電、配電及售電市場基本上為區域性單一事業獨占的型態，1998 年電力自由化立法之後，逐步開放發電業與售電業進入輸、配電系統自由競爭，尤其成立集中批發交易市場（如萊比錫的能源交易所 EEX），使得銷售端的競爭日益發達，除了電力零售商與經銷商之外，市場上也出現許多有能力整合電力供需兩端的能源服務公司（ESCO），可以提供終端用戶與分散式電源更好的用電與發電組合之服務，另一方面，再生能源政策（EEG）鼓勵設置再生能源設施，民間企業開始嘗試調控各種分散式電源，協助大型事業進行負載管理，進而整合到相當的容量，進入集中批發市場銷售，並進一步參與提供輸電備轉容量之投標，而逐漸發展出今日在德國市場上所稱的虛擬電廠（Virtuelle Kraftwerke）或用戶群代表（Aggregator）。可知，德國在電力自由化的背景下，加上再生能源政策之鼓勵，帶動分散式再生能源發電系統的快速發展，以及電子資通訊技術的進步，而發展出虛擬電廠的創新商業模式。

所謂分散式再生能源發電系統，是指越來越多的電力來自於電力產業結構中下游的輸電與配電階段，甚至是用戶電表後端（Behide the Meter）之範疇內，像是分散在不同場址的風電設備，或是家戶屋頂安裝的太陽能面板，而有別於傳統的大型電廠集中發電、由上而下的供電結構。這類分散式電源（Dezentrale

Erzeugungsanlagen, Distributed Energy Resources, DER）使得「電力商品」的生產與配送更加的貼近消費者，甚至是由消費者本身所生產的電源。

所謂虛擬電廠，就是把分散在四處、與不同層級電網相連的分散式電源結合起來，進行集中控制與調度的一種新興電廠，由於它是一種聚少成多，集結各方原本不成氣候的發電能量，包括用戶端的微小再生能源與負載管理方案（如動態電價、可停電力、需量反應等需求面管理計畫），把林林總總隱而不見的供給面及需求面的供電能力，透過當代普及應用的資通訊平臺加以統一操控，特別具有因應再生能源供電不穩定的「彈性」功能，足以因應需求負載起伏不定的變化，故謂之「虛擬」。這種新興電廠除了具有協調各種分散式電源達成供電任務之外，亦有提高整體再生能源發電比例，減少整體輸配線路損失與二氧化碳排放，進而達成整體能源效率之提升。虛擬電廠的運作方式也強化了電力市場競爭機制的作用。

虛擬電廠之運作模式包括四個部分：中控資通訊平臺、分散式再生能源發電系統、儲能系統、彈性電價機制。簡言之，虛擬電廠以中控資通訊（ICT）平臺分別與分散式電源、儲能系統建立連線，透過中央控制中心的能源管理系統進行運算、規劃及控制，並參照電力市場上電價之變化，為分散式電源安排最佳的運轉模式。虛擬電廠本身未必配置如傳統電廠的硬體設備（如大型汽力發電機組），而是透過資通訊系統調控各地的分散式電源，調配供電量給電力銷售端（例如電力零售商），達到相當於電廠的供電規模與作用。不過與傳統電廠不同的是，虛擬電廠除了連接發電設備之外，也可連接消費端的負載設備，透過控制負載設備的開關，來彌補發電端的再生能源間歇性電力的波動，以減少備轉容量的負擔，協助整體電力系統的平衡[1]。

---

[1] 以上參照 C. Schwaegerl, Integration dezentraler Versorgungsstrukturen in das Versorgungsnetz, in: Hake, Jürgen-Friedrich (Hrsg.): Erneuerbare Energie: Ein Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung?, 142-150 (2002); D. Bauknecht / V. Bürger , Energiewirtschaftliche Bewertung Braunkohletagebau Garzweiler I/II, http://www.oeko.de/oekodoc/198/2004-007-de.pdf, 32 (2004), abgerufen am 13. 12 .2014. 國內有關虛擬電廠基概念之說明，可參見許志義，「核四之後虛擬電廠的角色與定位」，遠見華人菁英論壇（2014）。

二、虛擬電廠與傳統大型電廠之關係

虛擬電廠的興起可進一步落實電力自由化政策，進而提升消費者福祉，尤其虛擬電廠係由眾多來自四面八方不同的分散式電源擁有者集結而成，打破了過去一般人普遍認為電力市場係屬獨占或寡占的刻板印象，讓普羅大眾都可以較傳統電力公司更為減碳的方式貢獻一己之力，加入發電行列，遍地開花，提升供電能量，積極落實全民節能減碳的目標，並可在電力交易市場獲得電力現貨市價，因此節能減碳之誘因不僅是一種道德勸說的口號宣導，而且更是一種具體的市場經濟誘因。

首先，虛擬電廠對於既存電廠（包含臺電公司所屬電廠、民營電廠等）將形成既競爭又合作的關係，可強化電力市場中大型集中之中央電廠與小型分散之發電設施彼此互通有無、共存共榮，而可透過市場機制提升各類電廠之發電效率，帶動電價下降，有利於消費者。

此外，虛擬電廠整合分散式電源，亦為一種消費者賦權（Empowerment）過程之實現，使電力用戶兼具消費者與生產者的角色，成為電力市場上的產銷合一者（Prosumer），換言之，消費者取得一種主動權，決定是否參與電力市場之競爭，出售電力獲得報酬，同時也因安裝能源管理系統、再生能源、儲能系統（包括電動車與熱泵等）及汽電共生設備，取得相當高度的用電與供電自主權，此在性質上同屬「網路 2.0」的運作型態[2]，而消費者取得售電與用電之自主決定權，將更有助於消費者之權益維護。

另一方面，虛擬電廠整合並銷售再生能源電力，可提高電力消費市場再生能源的使用比例，且在負載端，用戶配合彈性電價接受虛擬電廠之調控，亦可減少用電，節省電費，並落實節能減碳，此對於產業用戶尤其重要，其生產過程無論購買再生能源電力，或是減少用電，均可減少二氧化碳之排放，產品之碳足跡在國際上即有競爭力，例如在歐盟即可獲得碳稅課徵之優惠，在此意義上亦可提升消費者之福祉。

---

[2] 所謂「網路 2.0」，係指雙向互動式的戶聯網系統，消費者同時也被賦權而扮演著生產者的角色，例如臉書（facebook）或維基百科（Wikipedia）等即屬之。

虛擬電廠也是電力市場自由化背景下所發展出來的創新商業模式，其運用資通訊技術進行即時數據交換，整合中、低電壓層級之電力資源直接投入供電，減少輸電成本，降低電網壅塞，對於傳統電力系統之供電模式而言，更形成一種發電技術突破性的創新市場（Innovation Market）[3]。故虛擬電廠之商業模式可有效削減傳統大型電廠之市場占有率及影響力，降低哄抬電價的可能性。

三、虛擬電廠與電力自由化之關係

虛擬電廠之商業模式是在電力市場自由化的背景下發展出來的，然而隨著虛擬電廠之發展趨勢，將可進一步將電力自由化推升至「智慧化」、「多元化」、「在地化」、「潔淨化」之境界，此可由英國前首相柴契爾夫人於 1980 年代首倡電力市場自由化談起。當年以英國為首，推動電力供給端之發電自由化，重點在於開放大型電廠「發電端」之競爭，公開透明於批發市場競價上網。相對而言，當前虛擬電廠強調之電力市場自由化，則係朝向電力「配電端」與「用戶端」之供電自由化，亦即開放分散式的小型用戶供電自由化，以及開放分散式小型用戶透過「第三方（Third Party）」用戶群代表（Aggregator）與大型發電廠在零售及批發市場之競合。換言之，電力傳輸之自由化也因此從輸電層級進一步擴大到配電層級。此一趨勢已經成為電力市場先進國家所強調電力自由化的主流價值，堪稱電力市場發展新一輪的典範轉移（Paradigm Shift），而虛擬電廠在此波電力自由化之浪潮係位居第三方用戶群代表之地位，負責統籌整合分散式電源，協助小型用戶進入電力市場競爭，其關鍵性地位不言可喻。

本文將藉由德國 Harz 虛擬電廠之案例，闡述虛擬電廠之概念及其各種可能運轉的商業模式，並分析其對臺灣未來發展虛擬電廠之政策意涵。

---

[3] 關於「創新市場」之競爭，參見許志義，「論智慧財產權與競爭政策之立法取向」，《經濟情勢暨評論》第 10 卷第 4 期，68（2005）。

貳、德國Harz虛擬電廠之背景

一、德國「E能源」計畫項下的子計畫之一

德國的「Harz 再生能源示範區」（Regenerative Modellregion Harz，以下簡稱 Harz 計畫），為德國聯邦經濟部（BMWi）與環境部（BMU）所共同推動的「E 能源—未來以 ICT 為基礎的能源系統」（E-Energie, 以下簡稱『E 能源計畫』）總計畫項下的一個子計畫。

德國的「E 能源計畫」，係為發展未來以資通訊技術（ICT）為基礎的新型能源系統，在全德國成立六個示範區，按照個別設定的發展重點，分別就相關的商業模式與技術進行試驗與分析。Harz 計畫為「E 能源計畫」的六個示範區之一，其重點在發展新型態的虛擬電廠作為市場行為主體，與大型電廠相互整合，形成彼此的一種良性的市場競合關係，以促進電力市場公平交易機制的實現。本計畫執行期間從 2008 年 11 月到 2012 年 10 月，為期 4 年，總預算 1,600 萬歐元，其中的 1,000 萬歐元由聯邦政府提供補助，其餘的 600 萬歐元由參加 Harz 計畫的十八家企業與研究單位共同分擔[4]。

二、Harz計畫之重點與目標

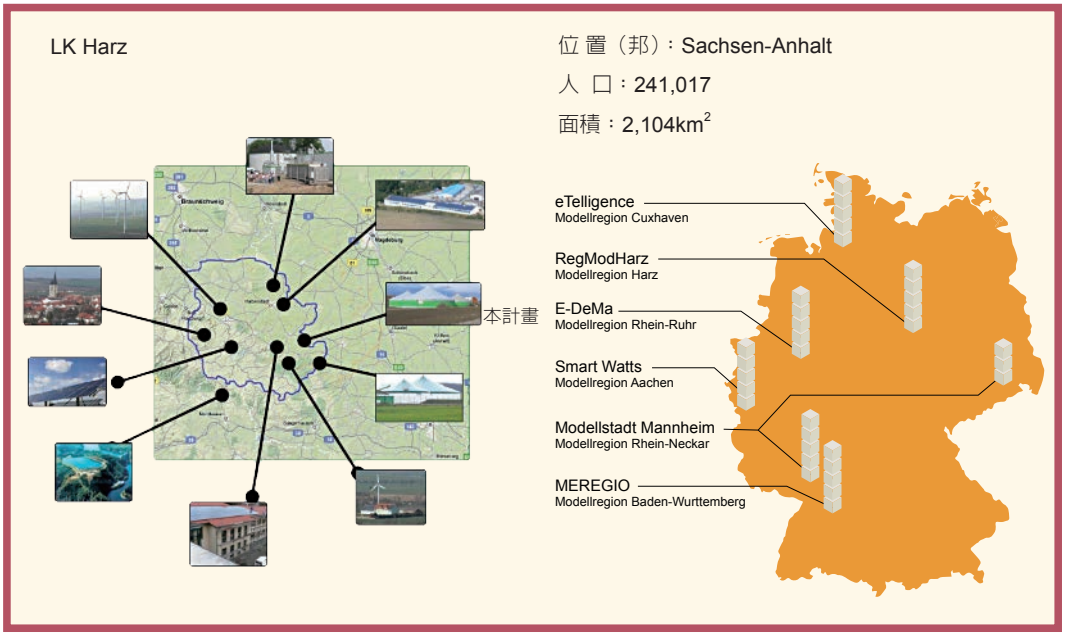
Harz 計畫之發展重點，係為解決大規模再生能源併入電網的問題而成立虛擬電廠，用以整合 Harz（縣）當地的再生能源設備、儲能設備等分散式電源，並為虛擬電廠發展新的商業模式，另一方面也為解決再生能源併網造成電網不穩定的問題，而試驗各種維持電網穩定的技術。

三、Harz示範區之背景條件

為符合 Harz 計畫所設定「大規模再生能源」的條件，示範區位置選在位於德國中部薩克森 - 安哈特（Sachsen-Anhalt）邦的 Harz 縣（Landkreis Harz），該

[4] K. Rohrig, Präsentation RegModHarz, Hannovermesse, http://www.regmodharz.de/uploads/tx_sbdownloader/RegModHarz_Pr%C3%A4sentation.pdf, abgerufen am 20. 11.2014.

地區再生能源供電比例超出全德國平均約 2 倍，總人口約 24 萬人，面積 2,104 平方公里，再生能源設備種類有風力、水力、太陽能（PV）、沼氣、生質能、汽電共生設備（KWK）等（見圖 1），總裝置容量約 200MW（2008 年），年度發電量 467GWh，其中有 311GWh 為風力發電，再生能源總發電量占當地用電量的 36%（467GWh：1300GWh）[5]。



資料來源：RegModHarz_Wellingsbuettel_Speckmann

圖1　RegModHarz示範區所在位置與境內再生能源設備分布狀況圖

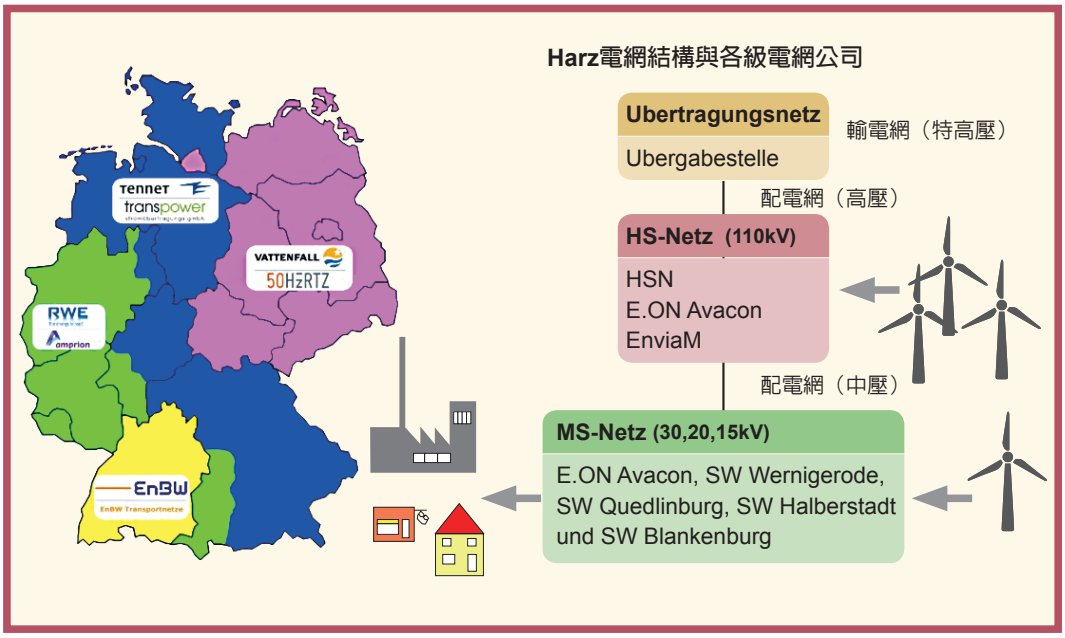
四、Harz示範區之電網結構

德國輸電層級的特高壓電網為歐洲聯合電網（das Europäische Verbundsystem, Wide Area Synchronous Grid）的一部分，分為 380 和 220 千伏特（kV）兩種，作跨越全國的電力輸送，其目前分別為 TenneT、（前身屬 E.ON

[5] *M. Speckmann*, Präsentation RegModHarz, Wellingsbuettel, http://www.regmodharz.de/uploads/tx_sbdownloader/201110_RegModHarz_Wellingsbuettel_Speckmann.pdf (2011), abgerufen am 20.11.2014; K. *Rohrig*, ebenda.

集團）、Amprion（前身屬 RWE 集團）、EnBW Transportnetze 及 50Hertz（前身屬 Vattenfall 集團）所營運，因此德國的輸電系統係由這四家輸電公司經營之之輸電網分為四個輸電區，這四家公司作為輸電營運商，負責維持各自輸電網的電壓穩定，電網頻率必須有效控制在 50 Hertz 的標準值內，必要時也視需要擴充與增加電網建設，故各該輸電網區域又稱為這四家輸電公司之「控制區」（Regelzone, control area）（見圖 2 左）。

Harz 計畫的 Harz（縣）示範區，是位於 50 Hertz 公司的 380/220 kV 特高壓輸電網控制區內，在其配電層級，分別由 E.ON Avacon 與 enviaNetz 兩家公司的 110 kV 高壓電網所覆蓋，中壓與低壓電網層級共有六家配電公司，中壓電網分別有 30kV、20kV 及 15kV 三種（見圖 2 右）[6]。



資料來源：Harz AP_ Marktzugangsbedingungen, Abb.76

圖2　RegModHarz示範區電網結構

[6] 參　見 Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik(IWES), RegModHarz Arbeitspaketbericht_ Marktbedingungen und Zugangsvoraussetzungen zum Strommarkt, http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/2013-01-28_Arbeitspaketbericht_Marktzugangsbedingungenx_01.pdf, 152 (2012a) , abgerufen am 13. 06.2014.

叁、Harz虛擬電廠之運作架構

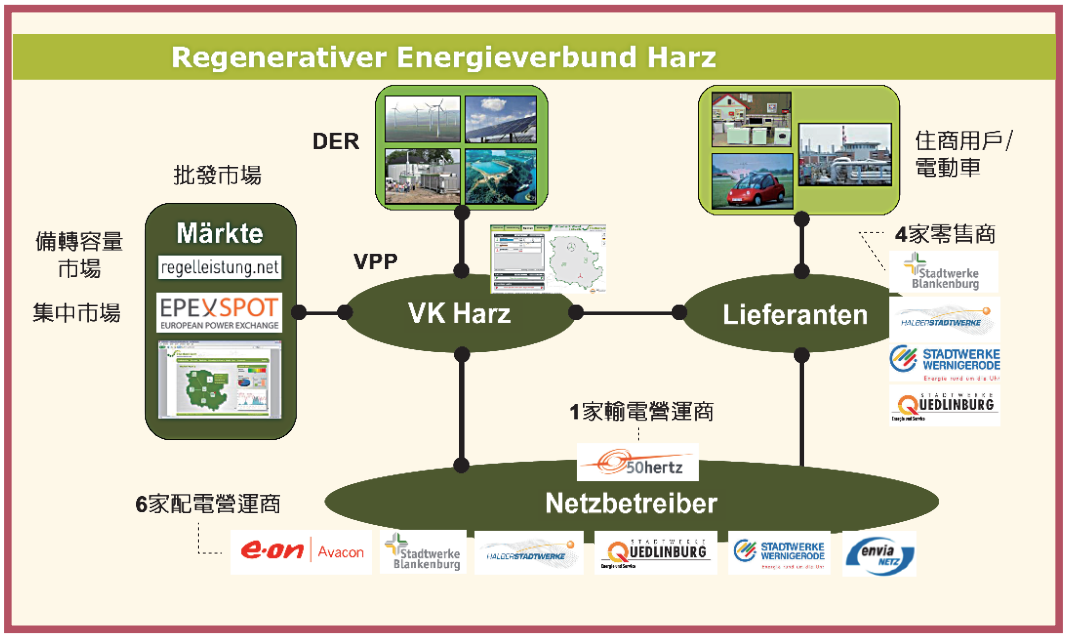
隨著能源供應結構越來越自由化、競爭化、分散化、動態化與複雜化，能源產業必須發展出可以「彈性調控」電力供需的解決方案，以因應再生能源（尤其太陽能與風力）供電不穩定之問題，故未來能源供應系統的最大挑戰，在於如何整合電力市場供需兩端的即時資訊，以及「發電」與「負載」兩者落差的突發性缺口（Gap）。因此，在電力產業結構中必須要有一個能夠與電力市場、發電設備、電力經銷商、電力零售商、電網營運商及電力供需預測者即時連線，由其集中處理並傳遞電力供需資訊的運作單位，此即所謂用戶群代表（Aggregator），或稱為「虛擬電廠」，由其統一調控分散式電源，彙整發電與負載預測，平衡供給端發電與需求端負載的參差起伏，並擬定理想的發電組合與排程計畫，包括藉由動態電價搭配需求端的負載管理方案，以確保電力系統運轉安全與可靠度。當然，更重要的是如何為虛擬電廠形成市場公平競爭的機制，使其能與大型電廠形成良性的競合關係，共存共榮，創造電力消費者最大的福祉，此亦為推動電力市場自由化的宗旨。

Harz 計畫虛擬電廠架構下的市場參與人，說明如下（見圖 3）：

A. 虛擬電廠（VPP Harz）：在 Harz 示範區成立的一個電力聯營協調商（Poolkoordinator, pool coordinator），由其負責整合再生能源與儲能設備的電力，再銷售到批發市場（集中市場），批發市場又分兩種：一為歐洲電力交易所（EPEX）之集中交易現貨市場，另一為輸電公司招標之備轉容量市場，即電力平衡市場。另外則是銷售到零售市場，出售給當地零售商，直接提供電力給當地用戶。虛擬電廠的主要工作，即調控分散式電源（DER），進行機組發電預測與銷售組合管理，預測發電與負載量，安排排程計畫等。

B. 分散式電源（DER）：係指在示範區內的各式再生能源設備，例如風力、水力、太陽能（PV）、沼氣、生質能、汽電共生設備（KWK）、熱泵以及儲能設備等。DER 管理人與虛擬電廠簽約，由虛擬電廠控制 DER，再由虛擬電廠支付報酬給 DER 管理人。

C. 電力零售商：電力零售商與用戶之間簽定「供電契約」（Energieliefervertrag），按用戶之需求，向電力經銷商購電，或是透過虛擬電廠，直接購買示範區 DER 的電力。零售商與經銷商或虛擬電廠之間，除了簽定「供電契約」之



資料來源：RegModHarz_Wellingsbuettel_Speckmann

圖3　RegModHarz虛擬電廠運作結構與市場參與人關係示意

外，雙方亦須簽定「資訊交換協議」，提出隔天用電和發電的排程計畫給對方，並隨時交換其他電力供需資訊。

D.配電營運商：傳輸電力至用戶端，並接受 DER 饋入之電力，負責確保電網安全與穩定。因此配電網營運商電網除了向零售商收取電網使用費與讀表費之外，為妥善管理電網，亦須分別與輸電公司及經銷商（或虛擬電廠）簽定「資訊交換協議」，互相交換電力供需兩端的排程計畫。

E.輸電營運商：負責控制區整體電網之電力平衡，維持電力系統的安全與穩定，已見說明。

F. 住宅用戶：Harz 計畫在示範區推行住宅用戶的動態電價。虛擬電廠將示範區當地的再生能源電力先出售給零售商，再由後者直接供應給當地住宅用戶，以實現能源轉型政策推廣「自產自銷」之目的，同時並導入動態電價方案，透過電價分級的「獎懲制度」（Bonus-Malus-System），讓參與動態電價的用戶搭配能源管理系統，配合虛擬電廠之控制指令，在動態電價下按照合約起停電器設備，自主改變用電時段，達成需量反應（或負載管理方案）之預期成效。

虛擬電廠與 DER 之間必須建立通訊連線，DER 與傳統大型電廠不同，後者的數據通訊方式通常是採內部封閉線路，前者通常是以網際網路的方式傳輸；後者是一次性建置、長年運轉的設施，而前者的數量則隨時會有變化，而且會隨著政策獎勵，不斷出現新型設備，因此 DER 必需要有安全、穩定性高的網路傳輸技術。為此，Harz 計畫採用的網路通訊技術標準為 IEC 61850，讓不同的 DER 透過統一的數據模式進行傳輸，使虛擬電廠可安全快速的處理不同來源的每一筆資料 。[7]

肆、Harz之商業模式構想

一、目標設定

Harz 計畫重點之一，即是發展虛擬電廠可行的商業模式，而其商業模式之設計，必須以下列能源政策為目標[8]：

（一）氣候保護（Klimaschutz）

1. 以再生能源為發電主力
2. 提高能源效率
3. 提高民眾對於再生能源的接受度
4. 減少溫室氣體的排放

（二）供電安全（Versorgungssicherheit）

1. 智慧電網的技術整合
2. 負載管理與發電
3. 電網系統供需平衡
4. 容量市場

---

[7] Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik(IWES) (2012 c): Die Zukunft beginnt im Harz, RegModHarz-Infoblatt-Broschüre, http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/downloads/infoblaetter/RegModHarz-Infoblatt-Broschuere.pdf, 3-7（2012b）, abgerufen am 08. 05.2014.

[8] Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik(IWES): RegModHarz Arbeitspaketbericht_Geschäftsmodelle für RegModHarz, http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/2013-01-28_Zusammenfassung_AP271_GM.pdf, 1 (2012c), abgerufen am 08. 08.2014.

（三）經濟效率（Wirtschaftlichkeit）

1. 將再生能源整合到電力市場之中
2. 兼顧全體市場參與者的經濟效率
3. 提高社會福祉，降低外部成本（包括減少碳能或化石能源之使用）
4. 市場透明化與競爭機制
5. 創造示範區當地能源產業的價值

Harz 計畫並強調，在商業模式的構思過程中，可能有些模式會比較強調特定幾項政策目標，而無法兼顧其他目標，但最低限度是不得有違反或牴觸其他目標之情形發生。

二、初步構想

Harz 計畫按照示範區的結構，初步規劃以下五種商業模式的基本構想。[9]

序	商業構想	核心的市場角色	目標
1	在示範區實施再生能源的動態電價	零售商	將示範區的再生能源電力提供給當地住宅用戶
2	虛擬電廠在批發市場上作電力交易	虛擬電廠作為電力聯營協調商—德國電力市場上的新角色	• 整合再生能源設備參與集中交易市場 • 整合再生能源設備為電網平衡提供備轉容量（輔助服務） • 將再生能源電力提供給零售商銷售
3	電動車作為彈性用電的消費單元	有電動車的住宅用戶	配合第一種商業構想模式，優化住宅用戶的購電行為
4	儲能設備提供電力與輔助服務	儲能設備經營者	為電力批發交易與電網業者提供可彈性調度的電力
2	配電網等級的輔助服務	配電網業者	運用分散式電源的技術減輕電網負擔

資料來源：Harz AP_ Entwicklung von Geschäftsmodell, Tabelle 1

[9] IWES (2012 c), 2-8.

（一）構想 1：在示範區實施再生能源動態電價

「構想 1」經 Harz 計畫實踐後，正式名稱為「示範區住宅用戶的動態電價」，係指透過虛擬電廠將示範區的再生能源電力直接銷售給區域內的住宅用戶，也就是一種當地電力「自產自銷」的商業模式。

此種商業模式的最大挑戰，在於如何維持 Harz 當地電力供需的協調性，因此 Harz 計畫加入動態電價方案，藉由不同時段的電價差異，使住宅用戶自主進行負載轉移，讓一部分購電量從當地風力和太陽能發電量短缺的時段，轉移到發電量充足（或過剩）的時段。換言之，住宅用戶透過動態的電價經濟誘因，能自願性配合再生能源不穩定運轉所造成的負載「缺口」，交由虛擬電廠彈性調控用戶端部分家電設備的負載時段，而使這類家電設備成為次要負載（Secondary Load）。

（二）構想 2：虛擬電廠直接銷售電力

構想 2 亦為 Harz 計畫所實踐的商業模式，其正式名稱為「電力聯營協調商在批發市場銷售電力」，係指虛擬電廠扮演電力市場上電力聯營協調商的角色，連結再生能源、汽電共生與儲能設備等分散式電源，進行發電的組合管理之後，在批發市場上出售能量或容量。

此種商業模式為 Harz 計畫的重點之一，虛擬電廠作為電力聯營協調商與 DER 管理人之間簽定的契約關係，以及其從事電力交易的細節與過程等，均為分析對象。

（三）構想 3：電動車作為彈性用電的消費單元

推廣電動車必須搭配動態電價，讓使用人可以根據電價的高低，選擇理想的充電與饋電時段，這對於家中同時裝太陽能板或迷你型汽電共生設備的住宅用戶而言，電動車的加入，將使其購電安排更為彈性與經濟。不過有關電動車的商業模式，另外一個「Harz 再生能源電動車」（Harz EE-Mobility）的計畫，故非 Harz 計畫所重點發展的商業模式。

（四）構想 4：儲能設備提供輔助服務

此構想係指儲能 DER 管理人自行將電力銷售到批發市場，或是交由電力聯營協調商與再生能源電力搭配，安排二者理想的供電組合之後再行銷售。

未來百分之百再生能源的供電系統，為了填補發電機組在負載尖峰時段故障，或者風力、太陽能間歇性電力的缺口，供電系統中必須有能即時快速反應、可提供大量容量的儲能設備，其中為彌補風力不足的時段，特別須有可長時間持續饋電的儲能設備。對此，若有電力聯營協調商介入進行整合，將儲能設備與再生能源設備的電力作搭配組合，就可發揮 DER 之間的協同效益。

不過儲能設備的投資必須考慮到回收與獲利，儲能技術成本目前仍然相當昂貴，因此在進入百分之百再生能源發電的過渡期間，政策上必須同時為儲能設備建立起市場獎勵機制，唯有建立起儲能市場與獎勵方案之後，才能發展出適合的商業模式，但是這些要素在 Harz 計畫實行期間都不存在，因此並未能發展出本構想的商業模式。

（五）構想 5：配電網的輔助服務

本構想的出發點，是讓配電網業者與當地的 DER，由 DER 提供輔助服務，解決部分電網壅塞的問題，以平衡電網負載。不過，示範區的六家配電營運商在 Harz 計畫進行工作會議時都表示，並沒有與 DER 簽約提供輔助服務的需求。事實上，惟有當風力與太陽能設備持續增加到一定規模時，配電營運商才可能願意為 DER 所提供的輔助服務支付費用。因此構想 5 最終並未在 Harz 計畫中實現。

綜上可知，Harz 計畫後續發展之商業模式為「構想 1」與「構想 2」，關於其運作方式，詳見以下「伍」之說明。

伍、商業模式之實踐——實測與模擬

在 Harz 計畫發展的商業模式之下，虛擬電廠作為電力聯營協調商，在電力市場上扮演大型電力經銷商的角色，故為敘述簡明起見，以下內文均通稱為虛擬電廠。本計畫虛擬電廠之任務大致如下：

1. 零售商可透過虛擬電廠購買 Harz 當地的再生能源電力，供應給 Harz 當地的用戶。

2. Harz 當地的 DER 可透過虛擬電廠取得進入市場的管道，出售電力以增加收入。
3. 在備轉容量市場，供應商必須經過輸電公司之資格審查，分散式電源可透過虛擬電廠的專業協助與調整，通過審查。

一、商業模式1——虛擬電廠在集中市場銷售電力[10]

（一）獎勵政策

為鼓勵再生能源電力直接在歐洲電力交易所之現貨市場（EPEX SPOT）銷售，德國 2012 年修訂之再生能源法（EEG）第 33g 條規定[11]，DER 管理人直接將電力銷售到集中交易市場者（第 1 項第 1 句），得向電網業者請求給付市場獎勵金。本規定引進市場獎勵金（Marktprämie）機制，提供誘因，鼓勵再生能源電力進入集中交易市場，目的要發展分散式電源的銷售市場，藉由市場競爭機制將 DER 整合到電力供應系統之中。因此這類商業模式，今後在德國會變得越來越重要。換言之，在當前德國綠能發電比例越來越高的情況下，讓對於環境友善的再生能源源不絕導入整體歐洲聯合電網之中，形成一股強而有力的潛在競爭能量。

有鑑於此，再生能源在批發市場上直接銷售（Direktvermarktung, Direct Marketing）的模式成為 Harz 計畫最主要的商業模式之一。除了能量市場之外，虛擬電廠亦得將再生能源導入容量市場，為輸電系統提供輔助服務。

（二）虛擬電廠作為新的市場參與者人

基於以下因素，分散式電源參加電力市場時，必須要有一個經銷商或能源服務公司擔任整合者的角色（Pooling-Funktion）：

1. 電力交易必須符合最低交易量的要求；
2. 可藉此分散 DER 進入電力市場交易的成本與風險；

---

[10] 以下參照 Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), RegModHarz_Abschlussbericht “, http://www.regmodharz.de/uploads/tx_sbdownloader/RegModHarz_Abschlussbroschuere2012_www.pdf, 92-102 (2012d), abgerufen am 26. 06 .2014.

[11] 截至 2016 年 7 月為止，本法最新版本為 2014 年 8 月 1 日修正施行之「再生能源法 2014」（EEG 2014）。

3. 可因應電力需求，作集中式的發電組合管理；
4. 整合 DER 之發電進行聯營，較易於儲存備轉容量，這些容量可作為調節電力，提供電網輔助服務，協助維持電力系統可靠度。

因此，虛擬電廠對於能量與容量的銷售，基本上可從兩方面提供協助，其一為提供服務，虛擬電廠可為分散式電源在批發市場提供登錄服務，協助完成進入容量市場的資格審查，提供交易結算資料給電網業者，也為分散式電源進行交易結算；在交易活動方面，虛擬電廠可以自己名義對外從事交易，並負責管理群組內的電力供需平衡。

（三）虛擬電廠與 DER 管理人的契約類型

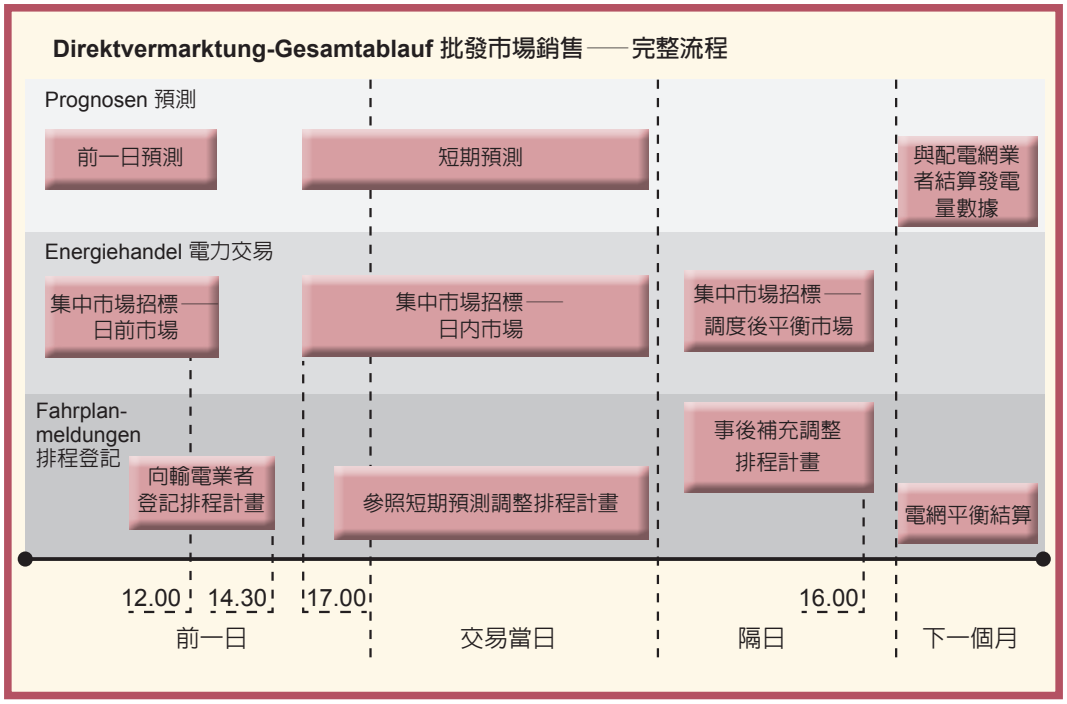
虛擬電廠與 DER 管理人之間必須建立契約關係，以約定供電義務、報酬給付與違約責任等事項，此種契約關係可分為三種類型：

1. 不定量購電：係指虛擬電廠之購電量依設備的發電量而定，設備發電量多少，就購入多少電，此特別適合風能、太陽能與川流式水力電廠這類不穩定的電力。在這種契約類型下，虛擬電廠對於其發電預測與排程，必須自行承擔預測發生誤差的風險。購電報酬係按購電量而定，若雙方約定按市場現值計價，售電價格高低的風險由 DER 管理人負擔，如約定固定報酬（包含市場獎勵額度在內），則該風險轉由虛擬電廠承擔，在後者的情況，虛擬電廠則可藉由逐步擴大與不同地理位置的 DER 之連結範圍，以減少預測偏差，降低銷售風險。
2. 定期供電：係指 DER 管理人提交其發電設備短期或長期之供電曲線給虛擬電廠，這種契約類型特別適合發電量較穩定的儲能設備與熱能發電機組，後者如生質能、汽電共生設備、地熱發電等。契約雙方必須約定發電設備故障時的責任歸屬，且為提高供電可靠度，雙方至少應約定 DER 管理人在重大違反供電曲線時之違約責任。由於 DER 管理人必須仰賴虛擬電廠的營銷能力，因此供電報酬的額度應讓 DER 管理人有獲得一定利潤之保障，至於銷售的風險則完全由虛擬電廠負擔。

3. 提供輔助服務：係指虛擬電廠以特定方法改變電網運作之條件，例如出售備轉容量。為此，虛擬電廠須事先規劃 DER 可提供之容量與能量，製作每個發電設備提供輔助服務的時間表，相對的，DER 管理人則須確保這些容量與能量之可供調度性，例如，當風電設備或沼氣發電廠出售備轉容量時，雙方均須注意這項輔助服務之提供不得抵觸 a）不定量購電或 b）定期供電契約之約定。輔助服務的報酬，可依 DER 所提供的容量計算，或是與 a）、b）兩種契約的供電量一起進行結算。

（四）虛擬電廠從事電力交易的任務與流程

一旦再生能源設備決定不領取饋網電價（EEG-Festvergütung, Feed-in Tarif，FIT），而選擇投入集中市場銷售電力，就必須進行發電預測、電力交易與登記排程計畫等市場流程（見圖 4）。



資料來源：Harz AP_ Entwicklung von Geschäftsmodell, Tabelle 1

圖4　Harz虛擬電廠在批發市場交易之工作項目與流程

虛擬電廠向輸電公司登記之排程計畫，係以其從事電力交易之結果為基礎，而電力交易又以水力、風力及太陽能設備的發電預測，與生質能廠、儲能設備的發電計畫為基礎，至於可彈性調度電力的機組，例如沼氣廠，則按照價格預測來決定投入的時間。這些 DER 的預測與計畫，一概都由虛擬電廠負責處理，可知虛擬電廠的角色即相當於電力經銷商。

為了對 DER 作更準確的即時預測，虛擬電廠除了定時更新天氣預測資訊外，也必須對機組作定時監測，以取得 DER 最新運作狀態的資訊。原本在再生能源饋網電價的架構下，上述這些資訊並非必要，但是當再生能源電力在集中市場銷售時，就必須發展有關預測資訊的相關技術，並為其配置人力，如果可以掌握更準確的即時預測訊息，虛擬電廠就可在履約當天的日內市場（Intraday Market）進行填補差額之後續交易，同時通知輸電公司調整排程計畫。

又如果 DER 管理人也能即時告知其經銷商（即虛擬電廠）其機組停轉時段或突發事故狀況，會讓市場交易更加的精準與順利，因為機組停轉時段可在交易前一日先納入排程規劃中，而突發性的故障或預測偏差，如可立即通知，也可讓虛擬電廠馬上應變，改採其他的供電選項。除了上述日內交易的 45 分鐘投產準備時間之外，虛擬電廠也可在調度後平衡市場（After Day Market）進行後續的填補差額交易。最後如仍有剩餘的差額，虛擬電廠必須每個月與負責調度的輸電公司進行電力平衡結算，為此，虛擬電廠必須每天與配電營運商交換每 15 分鐘結算一次的發電量數據，因此可知，在集中市場銷售的結構下，各方必須建立交換發電量數據的完善資訊流。

資訊流的提供與交換，可謂是再生能源透過虛擬電廠進入電力市場競爭的必備要件，畢竟競爭政策的落實必須從資訊流的即時揭露與透明化，以確保供給端、需求端，以及輸電系統操作者、零售商等的物流（電流）與金流都能符合市場法則，才能達成電力市場供給者剩餘與消費者剩餘。

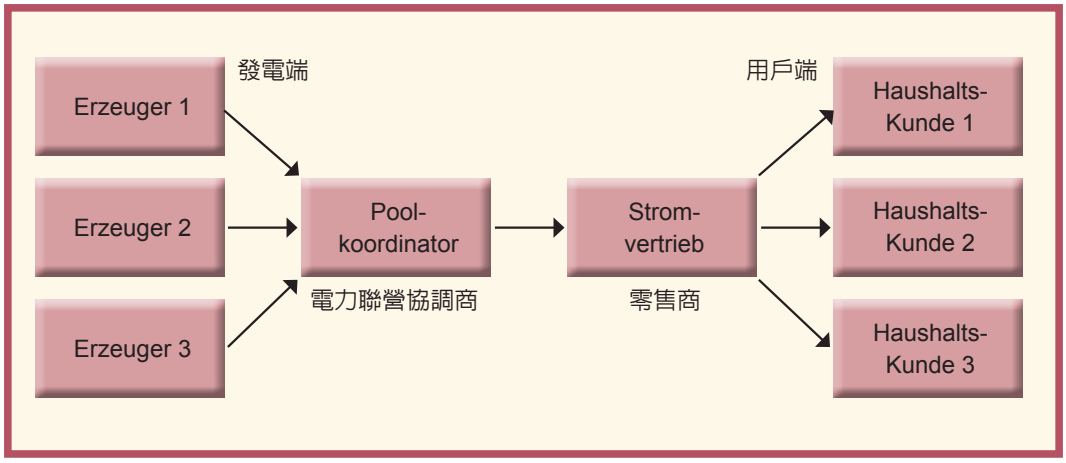
二、商業模式2——示範區住宅用戶的動態電價[12]

（一）市場參與者

為了順利推動能源轉型，能源政策上應積極鼓勵地方居民直接購買當地的再生能源電力，以提高其對當地自產電力與發電設備的識別度與認同感，為此，再生能源設備的商業模式之一，即須建立起發電端到用戶端之間的交易鍊（Handelskette, Trade Chain）。首先，虛擬電廠，即虛擬電廠扮演電力經銷商的角色，負責整合並行銷示範區內的再生能源電力，這個商業模式的另一個市場關鍵角色為零售商，其一方面依約供電給住宅用戶，另一方面則向虛擬電廠購買當地的自產電力（見圖 5）。

（二）特色

未來以再生能源為主的電力系統，其運作的一項重要條件，就是各地區必須盡可能充分利用當地的風力或太陽能設備饋入的間歇性電力，不足的發電量再由當地可彈性發電的機組（如汽電共生、沼氣廠等）或儲能設備來供應，以盡量減少對外購電。



資料來源：RegModHarz Abschlussbericht, Abb. 63

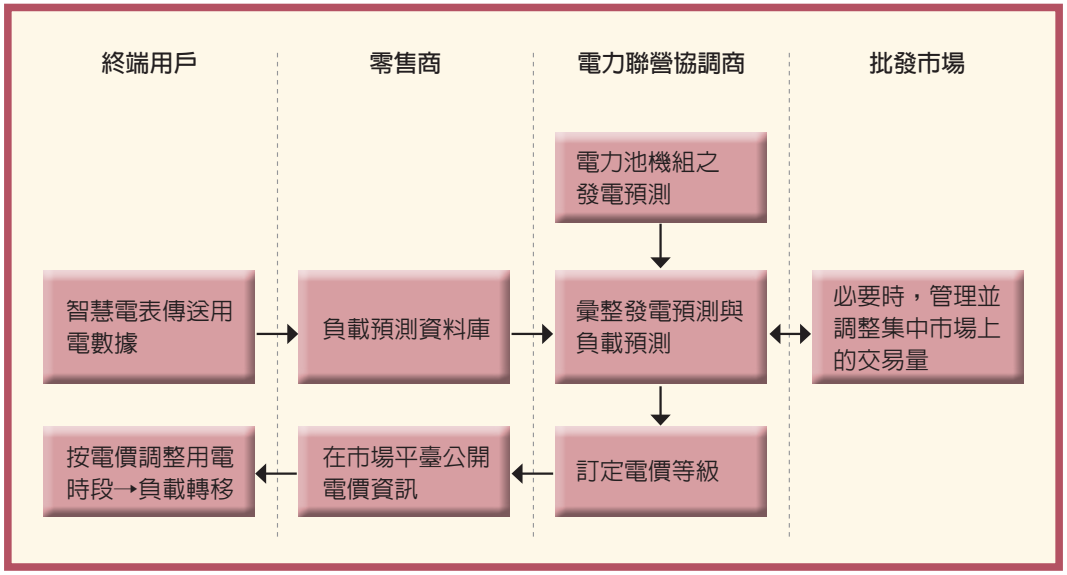
圖5　分散式電源在Harz當地售電與市場參與者關係示意

[12] 以下參照 IWES(2012 c), 8-12; IWES(2012 d),141-145.

本商業模式加入動態電價（或稱即時電價）的設計，目的要讓用戶在價格比較划算的時段購電，這些時段就是當地的風力和太陽能發電量可滿足大部分用電需求的時段，反之，如用戶必須從可彈性發電的機組設備、儲能設備購入電力時，該時段的電價則較為昂貴。

動態電價的電價等級（Preisstufen, Price Level）是由虛擬電廠彙整發電預測與負載預測的供需狀況後所訂出，由零售商在前一日通知用戶，以便用戶事先安排用電時段，因此發電預測與負載預測之準確性會影響消費端進行負載轉移的效果。

其中值得注意者為發電預測，因為除了 Harz 當地的購電量之外，虛擬電廠原則上是以集中市場銷售電力為主，而集中市場之日前市場是根據虛擬電廠的饋電預測進行交易，因此，當地用戶市場的交易流程，例如虛擬電廠之發電預測、負載預測、訂定動態電價之電價等級，也會受到集中市場交易時間之影響。以下圖 6 為商業流程步驟的概觀：



資料來源：Harz AP_ Entwicklung von Geschäftsmodell, Abb. 2

圖6　RegModHarz示範區住宅用戶動態電價之商業運作流程

（三）零售商之運作方式

零售商在供電前一天，根據用戶用電量的歷史資料，預測隔日，即供電當日（Liefertag, delivery day）每小時的電力需求量，依此向虛擬電廠下訂單，並自行負擔預測偏差之風險。虛擬電廠訂出隔日每個小時的電價等級之後，再由零售商通知住宅用戶。

Harz 計畫訂出九種電價等級，中間的「價位 5」（標示為黃色）為用戶為參加 Harz 計畫動態電價前的一般零售電價，價位 1 到價位 4（標示為綠色）為較便宜的價格，價位 5 到價位 9（標示為紅色）為較貴的價格，零售商必須將電價等級的相關訊息傳送到市場交易平臺（Market Platform），讓所有用戶可得知每個小時的電價等級、電力來源以及在所購買的電力中所占之比例。

在理想的情況下，住宅用戶可以按照電價的高低調整特定時段用電量的多寡，實現需量反應。為了準確預測電力需求量，零售商必須製作電力需求預測或負載預測。當動態電價有效引起用戶的需量反應時，用戶會根據前幾個小時的電價及用電情況，調整後續時段的用電量，而使用電量發生動態的變化。

在動態電價下，用戶與零售商之間的供電契約期間宜約定至少為一年，因為電價等級取決於風力、太陽能所饋入間歇性電力之多寡而定，例如，在德國春季、冬季的時候風力較強，風力電價較低，而夏季風電較為匱乏，此時就須動用到可彈性供電的設備，例如汽電共生設備、沼氣廠、儲能設備等，因為這類設備必須額外消耗燃料，或是在轉換過程會造成電力耗損，因此電價較貴。除了電價變動的因素之外，用戶與零售商雙方通常也希望至少有一年以上的時間之內可靠與穩定的購、售電量。

（四）虛擬電廠之運作方式

虛擬電廠的主要工作，除了規劃分散式電源的發電組合外，也負責彙整發電與負載預測，訂出供電日每個小時的電價等級，已如前述。訂定特定時段的電價等級後，將會影響用戶隔日實際的用電需求量，而出現負載轉移，因此虛擬電廠必須事先反覆仔細計算，在何種價格下能提供多少供電量，才能確定電價等級。

無論是為了整年度或是每 15 分鐘的電力供需平衡，虛擬電廠都必須算出再生能源的供電量為多少，再進一步配合安排發電組合，原則上應盡可能以風力與太陽能的預測饋電量來滿足預測需求量，如有超過，就轉售給當地的儲能設備，或轉到集中現貨市場出售這些「綠色電力」（Grünstrom, Green Power）；如有不足，就調度其他發電機組或儲能設備的電力，或是從集中現貨市場，甚至向其他控制區的輸電公司購入電力。此一運作模式的基本思維在於，再生能源的綠色電力在德國是「優先」被調度與消費的能源，而非一般人刻板印象以為再生能源不穩定，只能當作「補充」電源，理由很簡單，再生能源對環境相對友善，而且是上天賜予人類的禮物，其邊際發電成本幾乎為零，故應當傾全力予以「優先使用」！！此即競爭政策之所以重要，讓不穩定的太陽能與風力分散式電源能夠獲得合理發展空間的根本原因。

在供需預測方面，供電量係由虛擬電廠在前一日根據供需預測所決定，如果在供電日當天出現預測偏差，即由虛擬電廠承擔此項風險，必須負責為平衡電力供需進行補充交易，故如何處理供電量不足或剩餘之問題，亦為虛擬電廠主要任務之一。而相較於前一日預測，供電日當天進行的日內預測（Intraday-Prognosen, Intraday forecasts）可提供更準確的饋電預測，因此原本依前一日預測的結果已進行的交易，必須按照日內預測的結果進行調整，由虛擬電廠與零售商進行補充交易，以修正交易數量。然而，不同於電力供給面可由虛擬電廠於供電日當天作更精準的預測與修正，電力需求面並則無法做到此點，因為零售商在前一日已經將電價等級通知了用戶，該電價等級對雙方具有契約拘束力，用戶已經為因應不同的電價時段而預先做好需量反應的準備，因此需求面在供電日當天並無法進行日內預測與後續調整。

由於日內交易相當耗費人力與成本，虛擬電廠也可以考慮不作日內交易，而參加供電日之後的調度後平衡交易（Afterday-Handel, Afterday Trade），透過一個特殊的市場平臺與零售商協議進行平衡電力的事後補充交易。

（五）用戶之需量反應

在實務上，從動態電價的設計到軟硬體設備，都必須考慮從環境心裡學的角度改變用戶消費行為的心態與習慣。為了讓用戶可以即時意識到自己的行為

會對整體電力供應系統造成什麼影響，以及自己的用電行為要如何配合電力系統的平衡，電力供應系統的各項資訊必須透明化，並且要建立一套機制讓用戶及時回報其電力消費行為。

除此之外，日常電力交易行為亦應簡化，電價費率的設定必須簡單，讓用戶不需花太多時間就可理解，並進行手動管理。而在自動化管理、控制及視覺化的硬體裝置方面，也必須讓用戶可自行設定，或可即時反應當時價格而自動切換家中電器等，以協助用戶按動態電價，配合當地風力與太陽能設備的發電量，調整自己的用電量進行需量反應。

三、Harz計畫的問題點

（一）輸電與配電層級的輔助服務

按本計畫所設定的商業模式，係將 VPP 定位為虛擬電廠及電力經銷商的角色，對於其銷售再生能源電力到能量市場與容量市場的獲利模式，進行模擬分析，其中在容量市場提供輔助服務的部分，特別是輸電層級的輔助服務，在德國現行制度上已屬可行，而且運作多年。但是在 Harz 計畫 中僅見有進行相關商品組合與獲利分析之模擬，在結案報告中並未見有輔助服務實測結果之分析。

在德國實務上，Steag 公司 VPP 為德國最早（2002 ～ 2003 年）以虛擬電廠的概念提供備轉容量的商轉實例，發展至今在備轉容量市場（第三級備轉容量）上已有相當規模與市占率，此對我國發展 VPP 作為提供電網輔助服務之單位，頗具參考價值，不過本文礙於篇幅所限，容另外撰文詳述。

在配電層級的輔助服務方面，由於 Harz 當地沒有電網壅塞供電瓶頸產生尖峰負載的問題，因此六家配電營運商表示，並沒有由 Harz 虛擬電廠提供穩定電網等輔助服務之需求，故 Harz 計畫最終未能實施 DER 提供輔助服務的商業模式，此點較為可惜。不過值得注意的是，觀察這個商業模式的構想，係指配電營運商直接與 DER 簽約，由 DER 直接提供輔助服務給配電營運商，由配電營運商支付費用，在此模式下，並未規劃透過 Harz 虛擬電廠來提供輔助服務給配電營運商。此再參諸德國「風電設備提供輔助服務規則」

（SDLWindV）之模式，係直接由 DER 為電網提供輔助服務，並可向電網營運商請求獎勵金，可知，再生能源在配電層級提供輔助服務的方式，除了可透過 VPP 整合進入市場外，亦可藉由提升 DER 設備技術的方式，讓電網營運商直接與 DER 管理人約定提供輔助服務。因此，透過再生能源設備（特別為風電設備）技術的提升而直接提供配電網輔助服務之模式，已成為德國因應大規再生能源電力饋網的重要選項之一。

（二）儲能市場有待建立

為了建立未來百分之百再生能源之供電系統，德國現在已著手規劃相關市場機制與配套措施，儲能系統即為其中一個重要項目。由於風力與太陽能供電不穩定，可以預見百分之百的再生能源供電系統將會有大幅的電價波動，而且屆時整體的饋網電力應會高於負載電力，因此必須有完備的儲能系統與再生能源搭配，可在電力過剩或離峰的低電價時段，將風力與太陽能電力饋入儲能設備中儲存，等到剩餘負載高的尖峰時段，再由儲能設備輸出電力，在市場上以高價出售。可知，儲能設備在有足夠的誘因以及完善的市場配套措施下，可以有效地解決再生能源間歇性的問題，達到負載平衡效果。

不過截至 2012 年 Harz 計畫結束為止，德國這種可運用差別電價機制的儲能市場仍不成熟，本計畫並未實踐上述儲能設備的商業模式，故僅能進行模擬分析。

陸、對我國電力政策之意涵

一、德國虛擬電廠運作經驗之啓發

（一）Harz 計畫之啓發

德國 Harz 計畫所進行的商業模式並不僅侷限於該國現行的法規政策的框架之下，而是專注在如何引進 VPP 的機制，使再生能源能夠順利的轉型進入一般電力市場，並逐步增加其市場競爭力，藉由示範區發展出新的、可行的商業模式，一方面可提供目前已在市場上的 VPP 擬定更具前瞻性的創新商業策

略，另一方面也可讓政府相關部門重新檢討政策，尤其是電力市場之自由化政策，並推動法規架構的改革。

綜觀德國 Harz 計畫以及國際間虛擬電廠在整體電力市場中之商業模式，依據其功能與角色定位，可概分為商業型虛擬電廠（Commercial VPP, CVPP）與技術型虛擬電廠（Technical VPP, TVPP）兩類，其中 CVPP 可整合其轄下不同類型之分散式電力資源，並代表參與能源市場或相關電力服務市場之競合，其重點在於電力能量市場（Energy Market）；TVPP 則係透過通訊系統取得電網相關即時運轉參數、DER 發電排程，進行電網各種可靠度與安全性分析，依據分析結果於輔助服務市場中購買所需的虛功補償、平衡服務、電壓（或頻率）調節及備轉容量等電力服務，亦即輔助服務市場（Ancillary Market）之競合。換言之，CVPP 與 TVPP 各有不同之電力市場自由化機制。若臺灣有意仿效德國虛擬電廠運作之商業模式，首先必須釐清上述兩種不同型態之虛擬電廠之市場運作規則，俾能有效規範其與市場利害關係人之角色定位與權利義務關係。

按此分析 Harz 虛擬電廠運作的商業模式，其 VPP 係整合轄下不同類型之 DER，得代表 DER 參與電力批發、零售市場或相關輔助服務市場，為此 VPP 必須掌握各類 DER 之特性、運轉參數及成本等相關資訊，以為其轄下 DER 進行最佳電能調度，進而獲取最佳效益，成為協調整合電力批發與零售市場上供需關係之重要市場關係人，故 Harz 計畫係將 VPP 定位為虛擬電廠與電力經銷商，因此可知其 VPP 屬性應較接近於商業型虛擬電廠（CVPP）。

（二）虛擬電廠之優點與問題點

整體而言，德國在再生能源法（EEG）與汽電共生法（KWK-G）政策的鼓勵下，分散式的再生能源與汽電共生設施容量持續增加，其中再生能源於 2015 年上半年占總發電量的 32.5% [13]，相較於 2014 年時剛超過四分之一達

[13] BMWi, Erneuerbare Energien auf einen Blick, http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/erneuerbare-energien-auf-einen-blick.html; AG Energiebilanzen, Bruttostromerzeugung in Deutschland 2015 in TWh, Stand: Dezember 2015, http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/B/bruttostromerzeugung-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, abgerufen am 21. 01 .2016.

25.8%，超過燃煤發電的 24.9%，成為占比最大的發電種類，在 2015 年短短一年內更上層樓，一舉突破三分之一的關卡，預期該國 2025 年再生能源占總發電量 40%到 45%之第一階段法定目標，可望提前達陣。

在這種大量再生能源併網的發電結構下，個別 DER 未經協調、間歇性的饋網，會造成電網波動性的尖峰負載而產生不穩定狀態，此除了仰賴傳統大型電廠協助平衡電網之外，必須藉助虛擬電廠的運作，將群組內的 DER 整合起來，集中調控其出力或降載，在尖載時關閉或降載多餘的電源，彌平供電的波動性，另一方面結合儲能系統，例如抽蓄式水力發電，將多餘的電力儲存起來，待電力需求增加，市場價格提高的時段時，再集中出售。因此，從電力需求面（如集中市場經營單位或雙邊交易的買方）來看，以單一、可信賴的介面，即虛擬電廠為交易對象，會比起與多數、小型的設施經營者交涉，來得更有效率，故虛擬電廠的興起，不僅為因應再生能源增加所必要，而成為生態環保系列的新興產業，亦為具有經濟效益優勢的商業模式。

不過虛擬電廠有其前提條件，除了法律制度面必須創造出有利於的電力市場自由化的空間外，相關軟硬體設備成本的支出也是一筆不容小覷的費用。為了電力交易之準備或進行，虛擬電廠之中控平臺必須與 DER 建立雙向連線，而且 DER 基本上必須隨時全部上線，中控平臺才能即時傳輸升載或降載數值，並且獲得設備目前實際出力的數值，以便進行統一排程與調度，因此虛擬電廠與 DER 經營者雙方皆必須進行遠端監控設備（包含軟硬體）的投資，快速、高品質的數據連線與良好的控制技術，都是必須支出的通訊成本。此外，在公共建設支出方面，智慧電網的建置亦為虛擬電廠未來成熟發展的重要基礎[14]。

[14] Vgl. eetechnik, Energiewende – Die Virtuelle Zentralisierung: Zukunftsmusik oder brandaktuell? http://www.eetechnik.de/energiewende-die-virtuelle-zentralisierung-zukunftsmusik-oder-brandaktuell/, abgerufen am 21. 01 .2016.

二、我國發展虛擬電廠之商業模式

本文認為，我國發展虛擬電廠之策略，可分階段進行，中長期而言，應開放電力市場，落實售電自由化，開放能源服務業，並應解除電價管制，讓電價回歸市場供需機制，同時應亟思建立集中市場的交易平臺，方能真實透明反映電力的市場價格，如此不僅讓售電端業者有進入市場之空間，方有使其評估獲利之可能。另一方面，我國目前再生能源占總發電量的比例不到百分之 4（2014 年），在政策上應更積極鼓勵再生能源之發展，必須等到累積到相當程度的再生能源容量（例如至少達 10%以上）時，屆時並結合儲能設施之興建，始具備發展虛擬電廠之客觀條件。因此，電業法等相關法令規尚未朝自由化修正之前，短期可先行發展虛擬尖峰容量（Virtual Peaking Capacity），後續再逐步發展虛擬電廠。

（一）虛擬尖峰容量

有三種方式：一，臺電公司直接與用戶簽約，二 ，透過用戶群代表與用戶簽約，三，臺電公司透過競標方式，開放某一比例的尖峰容量，例如 200MW，讓所有合格的用戶（如 100KW 以上用戶）參與投標。由最低標開始依序進入尖峰容量，直到 200MW 為止。

這種商業模式，參與尖峰虛擬容量競標的用戶群代表，是臺電的夥伴關係，就如同現在的民營電廠，是臺電公司的衛星工廠或 OEM 代工工廠一般，不過兩者之間的差別在於，位於上游發電市場的民營電廠係為臺電代工製造生產電力，而位於下游的用戶群代表則是代理臺電行銷電力，為臺電的行銷代理商。在這種情況下，用戶群代表的存在對於臺電公司相對較不會有競爭壓力，反而可與用戶群代表互相合作。

惟等到尖峰虛擬容量投標方式成熟之後，即可進入下一階段的虛擬電廠商業模式。此時，虛擬電廠可能成為市場上臺電的競爭對手。

（二）虛擬電廠

在臺灣電力事業環境與電業法的架構下，電力主要由臺電供應，電價須經政府統一核定上限，電力系統並不存在電力集中即時交易市場，亦未開放售電業，故在法令限制下，民間目前可能尚無發展虛擬電廠之空間，再生能源設

備等 DER 僅能視為用戶自備發電機，故臺灣在現階段的環境下如欲發展類似德國 VPP 的運作模式，似乎仍有進一步努力的空間。

惟在部分供電瓶頸地區，例如北部大臺北地區，如臺北市中山、內湖區、新北市三重、新莊、蘆洲等地區，或因變電所容量無法擴大，或財務問題須遞延配電網之投資，或是壅塞及其他緊急情況需要輔助服務，例如於有尖離峰時段之供電瓶頸地區，可利用 DER 就近供電，達到削減臺電集中供電高峰的效果；或是在無尖離峰時段之供電瓶頸地區，亦可考慮直接導入再生能源並搭配儲能系統之虛擬電廠之商業模式，以解決饋線電壓變動、供電不穩定之問題。

因此，我國目前在配電層級方面，亦可考慮引進用戶群代表或虛擬電廠的概念，由其負責整合並協調 DER 之發電，臺電公司得與其簽定雙邊合約，向其採購容量、能量或輔助服務，按再生能源躉購電價饋入電網。

再者，未來電業法修正之後，可能開放部分售電市場，讓高壓用戶享有「用戶選擇權」，屆時高壓用戶可能選擇與臺電以外之供電商簽約，此時即可直接向配電等級的虛擬電廠購電，不過可能須另外向臺電支付代輸配電系統費率與配電輔助服務之費用。

（三）商業模式

在上述方向下，本文參考德國 Harz 案例之經驗，並配合國內電力事業環境，建議未來臺灣虛擬電廠可能的商業運作模式，可提供以下三種類型的電力服務[15]：

1. 前一日獎勵型商業型虛擬電廠

臺電公司與用戶群代表簽約，於前一日根據預測電力需求，向用戶群代表提出隔日容量、能量、輔助服務之需求量與獎勵，經用戶群代表通知 DER 管理人（亦為用戶端），詢問是否參與需量反應的投標，DER 管理人將根據隔日用電量之預測，決定是否參與投標，如決定出價競標，由用戶群代表整理

[15] 許志義、陳彥豪、黃俊凱、黃鈺愷等，需量反應、分散式電源與儲能之整合應用，科技部國家型能源科技整合型研究計畫，頁 67 ～ 70（2014）。

DER 之出價，從最低投標價格開始，由低至高依臺電公司之需求量依序決標，並就得標組合進行發電排程，組成最具效率之運轉計畫，提報給臺電公司按此運轉計畫進行排程。

實際調度時，電力公司將根據前一日由用戶群代表提出之運轉計畫進行調度，由用戶群代表通知 DER 管理人依決標之約定，按時提供一定容量、能量或輔助服務，最後由用戶群代表負責向臺電公司提供調度該容量、能量或輔助服務。整個過程中，用戶群代表負責分別整合、溝通與傳遞與臺電、DER 雙向的資訊流，電力流向是從 DER 端直接提供給臺電公司，資金流則是由臺電提供獎勵費用給用戶群代表，再由用戶群代表依約支付報酬給 DER 管理人。

2. 前一小時獎勵型商業型虛擬電廠

當日市場中的前一小時市場，是為更準確預測用電需求量，調整前一日預測的誤差，臺電公司可在供電當日即時向用戶群代表提出需求，其商業模式之流程進行相當於前述的商業運作方式，僅整體運作流程從一日縮短為一小時。

3. 技術型虛擬電廠

為避免前一日與前一小時調度之電量仍不敷使用，得由用戶群代表與臺電公司每年度事先簽訂緊急調度之容量、能量（含實功／虛功）與價格，另一方面再與 DER 使用人事先約定緊急調度時可調度之容量、能量（實功／虛功）與價格，於緊急事件發生時，臺電公司將直接進行調度，此時 DER 即需依據事前合約提供約定之容量、能量或輔助服務。

柒、結論

當前全球各國電業積極發展再生能源與節能減碳趨勢之下，電力市場自由化政策的核心價值，應在於如何有效引進更多對環境友善的分散式電源進入電力系統之中，不僅對既有電廠形成競合關係，削減傳統大型電廠之市場影響力，對於鼓勵再生能源發展，用戶端減少用電、節能減碳之推動，亦可帶來正面作用，尤其虛擬電

廠引進之創新市場，可增加綠色就業機會，同時減少輸電成本，降低區域電網壅塞之情形，凡此均有助於確保電力市場參與者之權益，促進電力市場合理化，並提升消費者福祉。

本文探討德國 Harz 虛擬電廠計畫中所構想或發展的商業模式，其基本出發點是要將環境友善的再生能源結合儲能設備等分散式電源，藉由創新商業模式，順利的引進電力批發市場與電力零售市場之中。而 VPP 即作為一嶄新的「第三方」市場參與者，實扮演電力市場自由化政策關鍵成功因素（Critical Successful Factor）之重要角色，亦即結合其能源資通訊技術（EICT）與行銷管理能力，集結聚沙成塔、積少成多之衆小型分散式電源，調控間歇性電力，達成規模經濟，發揮螞蟻雄兵的精神，頗值得臺灣借鑑。

由於 VPP 擔任整合協調 DER 的關鍵角色，將原來電力市場中再生能源供電不穩定的風險，憑藉其專業能力予以承擔，並以契約自由之精神，與市場各方利害關係人簽定雙邊自願合約（Bilateral Contract），方得以實現再生能源進入電力市場，同時發展出一套商業模式，創造再生能源更高的附加價值，也形塑出電力市場創新綠能產業生態，使得 VPP 找到市場利基，進而獲取利潤。

VPP 成功與否的關鍵，亦即其在電力市場是否有獲利能力，以及所能夠發揮的經濟效益、能源供應效率，有賴後續相關法規政策持續革新與推廣方案之完整配套。觀察德國 Harz 計畫 VPP 商業模式從設計、實踐到經濟效益的評估，其發展前提都是在該國 1998 年之後開始推動電力市場自由化的背景下而展開，相關的政策與法規也都是朝向開放能源服務產業（ESCO，包含 VPP 及 Aggregator 在內）市場，減少其市場參進障礙，優化其市場運作機制，而使 VPP 能夠獲得合理的市場利基。對此，2012 年 11 月 14 日歐盟執委會發布「能源效率指令」（Energy Efficiency Directive）第 15.8 條規定，要求各國管制機關必須確保需量反應可以參進電力批發與零售市場，2014 年 4 月，歐洲「智慧能源需量產業聯盟」（Smart Energy Demand Coalition, SEDC）針對 13 個歐盟成員國另外加上挪威、瑞士共 15 個歐洲國家遵循上述指令之相關管制結構與執行成果，進行研究分析，並對於如何持續推動需量反應市場化，尤其是如何營造一個有利於 Aggregator、VPP 經

營活動的空間，列出四大標準、十項原則之建議[16]，因此歐盟相關的後續發展，值得持續關注。

我國目前電業法修正版本於 2015 年 7 月 16 日已獲行政院拍版定案，前述提及各種有關虛擬電廠之政策措施與商業模式，可供政府有關單位參考。臺灣因為再生能源發電比例相對於德國仍然偏低，距離虛擬電廠之推動與發展仍有一段距離，但是虛擬尖峰容量之作法與商業模式，在當前不需修改法規的情況下即可推動，頗值得考慮在夏季尖峰時段或在電力壅塞區域加以實施。

參考文獻

一、中文

1. 許志義，「核四之後虛擬電廠的角色與定位」，遠見華人菁英論壇（2014）。
2. 許志義，「論智慧財產權與競爭政策之立法取向」，《經濟情勢暨評論》，第 10 卷第 4 期，頁 64 ～ 77（2005）。
3. 許志義、吳仁傑，「論電力需量反應與虛擬電廠發展趨勢」，《台灣經濟論衡》，第 12 卷第 6 期，頁 59 ～ 83（2014）。
4. 許志義、陳彥豪、黃俊凱、黃鈺愷等，需量反應、分散式電源與儲能之整合應用，科技部國家型能源科技整合型研究計畫（2014）。

[16] 四大標準：1. 促使消費者參與需量反應。2. 方案說明——在電力平衡市場之參與應從發電端轉移至用戶端。3. 測量與驗證標準。4. 付款與風險。十項原則：1. 整合電力負載參與（電力市場）應成為合法，並鼓勵其參與任何電力市場。2. 消費者應享有選擇與任何需量反應服務供應商簽訂契約之權利，並不受干擾。3. 國家管制機關與電力系統營運商應監督零售商、供需平衡負責方及用戶群代表，促使其建立起精簡、簡單的契約與與付款安排，這些安排應反映所有參與者各自的成本與風險。4. 電力負載之聯合營運應視為單一的單元，用戶群代表應得被視為用戶。5. 創造細分化的標準產品，以便容納廣大範圍的資源參與市場機制，包括需求面管理方案也成為細分化的標準產品之一 6. 建立合適與公平的測量與溝通協定。7. 確保需量反應之服務獲得所提供服務之全部市場價值。8. 創造市場結構，鼓勵並提高穩健型投資之彈性與能力。9. 違規之處罰應公平，不應偏袒任何一方。10. 在批發與電力平衡市場應創造並落實市場透明度之要求。以上參見 Smart Energy Demand Coalition (SEDC), *Mapping Demand Response in Europe Today- Tracking Compliance with Article 15.8 of the Energy Efficiency Directive*, http://sedc-coalition.eu/wp-content/uploads/Mapping_DR_In_Europe-2014-04111.pdf 2-7 (April 2014), last visited on date: 2015/6/15.

二、英文

Smart Energy Demand Coalition (SEDC), *Mapping Demand Response in Europe Today- Tracking Compliance with Article 15.8 of the Energy Efficiency Directive,* http://sedc-coalition.eu/wp-content/uploads/2014/04/SEDC-Mapping_DR_In_Europe-2014-04111.pdf (April 2014), last visited on date: 2015/6/15.

三、德文

1. Bauknecht, D./ Bürger, V., Energiewirtschaftliche Bewertung Braunkohletagebau Garzweiler I/II, http://www.oeko.de/oekodoc/198/2004-007-de.pdf (2004), abgerufen am 13. 12 .2014.
2. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), RegModHarz Arbeitspaketbericht_ Marktbedingungen und Zugangsvoraussetzungen zum Strommarkt, http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/2013-01-28_Arbeitspaketbericht_Marktzugangsbedingungenx_01.pdf (2012a), abgerufen am 13. 06.2014.
3. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES): Die Zukunft beginnt im Harz, RegModHarz-Infoblatt-Broschüre, http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/downloads/infoblaetter/RegModHarz-Infoblatt-Broschuere.pdf (2012b), abgerufen am 08. 05.2014.
4. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES): RegModHarz Arbeitspaketbericht_ Geschäftsmodelle für RegModHarz, http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/2013-01-28_Zusammenfassung_AP271_GM.pdf (2012c) , abgerufen am 08. 08.2014.

5. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES): RegModHarz_Abschlussbericht, http://www.regmodharz.de/uploads/tx_sbdownloader/RegModHarz_Abschlussbroschuere2012_www.pdf, (2012 d), abgerufen am 26. 06.2014.
6. Klemusch, M., Virtuelle Kraftwerke – Ein sinnvoller Verbund von Kleinanlagen?, 1f (2006).
7. Rohrig, K., Präsentation RegModHarz, Hannovermesse, http://www.regmodharz.de/uploads/tx_sbdownloader/RegModHarz_Pr%C3%A4sentation.pdf (2011), abgerufen am 20. 11.2011.
8. Schwaegerl, C., Integration dezentraler Versorgungsstrukturen in das Versorgungsnetz, in: Hake, Jürgen-Friedrich (Hrsg.): Erneuerbare Energie: Ein Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung?, 142-150 (2002).
9. Speckmann, M., Präsentation RegModHarz, Wellingsb uettel, http://www.regmodharz.de/uploads/tx_sbdownloader/201110_RegModHarz_Wellingsbuettel_Speckmann.pdf (2011), abgerufen am 20. 11.2011.