

出國報告（出國類別：考察）

智慧電網商務訪德代表團
考察報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：綜合研究所資訊與通信研究室主任

派赴國家：德國

出國期間：107年4月14日至107年4月21日

報告日期：107年6月19日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：智慧電網商務訪德代表團考察報告

頁數 69 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

沈德振/台灣電力公司/綜合研究所/主任/23601048

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：107 年 4 月 14 日~107 年 4 月 21 日

出國地區：德國

報告日期：107 年 6 月 19 日

分類號/目

關鍵詞：智慧電網、再生能源、能源儲存、需求端管理、能源小鎮

內容摘要：(二百至三百字)

德國聯邦經濟暨能源部為台灣產官學界決策者規劃智慧電網商務訪德代表團，俾與德國業界、研究機構與政界決策者交流德國智慧電網與智慧儲能、能源效率以及再生能源技術之知識與經驗，供台灣作為借鏡，並由經濟部能源局電力組吳組長志偉率代表團參訪考察。

本考察報告說明參加德國聯邦經濟與能源部舉辦的能源解決方案商務論壇重點、參訪 Fraunhofer ICT 及 sonnen GmbH 以瞭解能源儲存解決方案；參訪能源小鎮 Wildpoldsried，以瞭解其促進公民參與再生能源專案，如何成為獨立於外部電網之自給自足電力小鎮，以及相關法規架構與獎勵；參訪 Stuttgart 斯圖加特機場以瞭解其需求端管理最佳典範，俾供本公司規劃推動智慧電網之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

| | |
|---|----|
| 第一章 前言..... | 1 |
| 壹、目的..... | 1 |
| 貳、德國電業概況..... | 1 |
| 一、德國簡介..... | 1 |
| 二、電業概況..... | 2 |
| 參、行程說明..... | 3 |
| 第二章 心得及建議事項..... | 4 |
| 第三章 考察過程與紀實..... | 6 |
| 壹、商務論壇..... | 6 |
| 一、論壇議程..... | 6 |
| 二、論壇重點..... | 7 |
| 貳、考察行程..... | 26 |
| 一、西門子專案 egrid | 26 |
| 二、Energy Village Wildpoldsried (公民電廠) | 33 |
| 三、sonnen GmbH | 42 |
| 四、西門子智慧電網管控系統..... | 46 |
| 五、Energy park Hirschaid | 51 |
| 六、斯圖加特機場(Airport Stuttgart) | 54 |
| 七、Juwi AG | 58 |
| 八、KIT 儲能園區..... | 63 |

第一章 前言

壹、目的

德國聯邦經濟暨能源部為台灣產官學界決策者規劃智慧電網商務訪德代表團赴德考察，並由經濟部能源局電力組吳組長志偉率代表團參訪，主要目的為：與德國業界與政界決策者交流德國智慧電網與智慧儲能、能源效率以及再生能源技術之知識與經驗，俾供台灣作為借鏡。

貳、德國電業概況

一、德國簡介

參考維基百科資料，德國是位於中西歐的聯邦議會共和制國家，首都與最大城市為柏林。德國南北距離為 876 公里，東西相距 640 公里，國土面積約 35.7 萬平方公里，從北部的北海與波羅的海延伸至南部的阿爾卑斯山。德國人口約 8,180 萬人，為歐洲聯盟中人口最多的國家，也是世界第二大移民目的地，僅次於美國。



德國由 16 個邦共同組成國家。各邦擁有其邦憲法，並對其內部事務有相當大的自治權。截至 2013 年，德國共分為 402 個縣市級行政區，包括 295 個縣行政區及 107 個市行政區。巴登-符騰堡、巴伐利亞、黑森、北萊茵-西法冷及薩克森設有 22 個一級行政區，管理地方事務。

二、電業概況*

| | |
|--|------------------|
| Installed Capacity, 2017 [GW] | 203.22 (100%) |
| Coal | 46.34 (22.8%) |
| LNG | 29.50 (14.5%) |
| Nuclear | 10.80 (5.3%) |
| Oil | 4.44 (2.2%) |
| Solar | 42.98 (21.1%) |
| Wind Onshore | 50.92 (25.1%) |
| Wind Offshore | 5.26 (2.6%) |
| Hydro | 5.60 (3.8%) |
| Biomass | 7.38 (3.6%) |
| Total Power Supply, 2017 [TWh] | 546.36 (100%) |
| Coal | 216.69 (39.7%) |
| LNG | 46.71 (8.5%) |
| Nuclear | 72.14 (13.2%) |
| Solar | 38.69 (7.1%) |
| Wind | 103.65 (19.0%) |
| Hydro | 20.87 (3.8%) |
| RES share of gross electricity consumption, 2016 | 31.5 % |
| RES share of gross final energy consumption, 2016 | 14.8 % |
| Electricity Grid Length, 2017 | ca. 1,735,000 km |
| Distribution Grid | ca. 1,700,000 km |
| Transmission Grid | ca. 35,000 km |
| Gas Grid Length, 2017 | ca. 511,000 km |
| Average Electricity Prices, 2016 | |
| Households | 29.33 ct/kWh |
| Industry | 10.83 ct/kWh |

* Source: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

參、行程說明

本次出國行程為 107 年 4 月 14 日至 4 月 21 日共計 8 天，出國行程圖及行程計畫表如下圖與表。



出國行程計畫表

| 日期 | 工作內容 |
|---------|--|
| 4/14-15 | 往程（台北—香港—德國慕尼黑—斯圖加特） |
| 4/16 | 商務論壇：台灣 — 智慧電網暨再生能源併網；參訪 Fraunhofer ICT |
| 4/17 | 參訪 Sonnen GmbH、能源小鎮 Wildpoldsried |
| 4/18 | 參訪西門子、Energy park Hirschaid |
| 4/19 | 參訪 Stuttgart 斯圖加特機場、PV 與儲能 Frenell GmbH |
| 4/20 | 參訪儲能園區 Karlsruhe Institute of Technology |
| 4/20~21 | 返程(德國斯圖加特—蘇黎世—香港—台北) |

第二章 心得及建議事項

本次參與考察及商務論壇項目相當廣泛，雖時間相當緊湊，經由考察提出下列建議事項，以做為本公司推展智慧電網相關業務之參考。

- 一、世界各地的電力系統正在面臨一場劇烈的能源轉型轉變，因應此轉變所需要的新觀念、技術、市場機制和政策方向逐次被各界討論，成為全球能源轉型進程重要的新興研究領域，建議台電公司積極與國內外研究機構進行交流，以吸取國內外已研究與驗證過之經驗與技術成果，節省自行摸索的時間，並避免重複研究相同議題之成本。
- 二、在德國維爾德波爾茨里德市(Wilpoldsried)進行之IRENE2 微電網計畫，除結合產官學研合作之外，最主要的是選擇在已發生大量再生能源及併接於配電網之地區，針對新型電網結構、市場運作及控管方面，進行實際場域研究與驗證，期望在技術面和經濟方面，尋求分散式發電設施與電力系統設備組件整合互通運作，使電力系統維持平衡(Balancing)、消峰填谷(Peak avoidance)、配電營運與市場運作最佳化(distribution Optimization)的明確目標，建議可做為台電公司建置金門智慧電網示範場域極佳之參考案例。
- 三、德國 AüW 地區的維爾德波爾茨里德市(Wilpoldsried) IRENE2 微電網計畫係採穩健的作法，由小區域到大區域逐步從智慧微電網到地區性電網，因此 IRENE2 計畫的研究人員將逐步在 Wilpoldsried 擴展智慧微電網測試的範圍，建議台電公司亦可參考其做法進行區域電網驗證與測試。

- 四、參訪 Netze BW 配電公司在下斯特滕(Niederstetten)二次變電站裝設西門子智慧電網管控系統，經洽詢知悉該專案並未實際應用 IEC 61850 國際資通訊標準，主要係因當地處於偏遠地區，布建光纖網路成本相當高，僅有之 RF Mesh 通訊網路，無法符合 IEC 61850 所要求之通訊效能需求。因此，建議台電公司應妥善整體規劃資訊科技(IT)與運轉科技(OT)未來所需之通訊網路需求，並積極布建健全的通訊網路，以利後續推動 IEC 61850 國際資通訊標準，俾智慧電網能真正整合互通與智慧化。
- 五、輸電網的規劃得前瞻未來數十年的電力建設和需求，從德國能源轉型遇到許多困難，例如北部風大，發的綠電特別多，可是電力需求高的製造業在南部，偏偏附近的核電廠幾年後全將關閉。德國得新建多條南北向的遠距直流電纜，才能順利將北電南送。因此，能源轉型不僅是再生能源取代傳統電力的過程而已，也會帶動電網的全面更新，最大的障礙往往不是技術，而是與民眾的溝通，成了德國能源轉型未來 10 到 15 年最大的挑戰。建議台電公司在未來在推動 AMI 智慧電表及智慧電網時，需特別強化與民眾的溝通。
- 六、德國能源轉型的趨勢來看，分散式發電愈來愈重要，如何利用資通訊科技發展智慧電網：整合能源、交通與網路，將太陽光電、風力發電、電動車電池、充電樁、儲能設備、智慧型手機全部結合起來，成為能源業當前主要的挑戰。因此建議台電公司積極推動 IEC 61850 國際資通訊標準，將上述相關設備資訊格式標準化，以利後續智慧電網能整合互通與互相操作，因應大量再生能源、儲能及電動車併網所需之回應速度。

第三章 考察過程與紀實

壹、商務論壇

107 年 4 月 16 日德國聯邦經濟與能源部在 Fraunhofer Institute ICT, Pfinztal-Berghausen 舉辦能源解決方案商務論壇，議程及重點說明如下。

一、論壇議程

| Information and networking event | |
|--|---|
| Taiwan – Smart Grids: Grid integration of renewable energies | |
| German Energy Solutions Initiative of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy 16 th April 2018 Event location: Fraunhofer Institute ICT, Pfinztal-Berghausen | |
| Moderation: Prof. Dr. Jens Tübke | |
| 08:45 – 09:00 | Registration |
| 09:00 – 09:15 | Baden-Württemberg International (bw-i) Bettina Klammt, Head of Department International Projects, Baden-Württemberg International → p. 38 - Welcoming - Introduction of the Energy Export Initiative |
| 09:15 – 09:40 | GTO - German Trade Office Taipei Linda Blechert, Manager Project Affairs → p. 48 - Introduction of the Taiwanese delegation and German participants - Intercultural Aspects |
| 09:40 – 10:15 | Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs, Taiwan R.O.C Mr Wu Chih-Wei, Director der Electricity Division → p. 45 Developments and framework conditions of the Smart Grids sector in Taiwan Photo session |
| 10:15 – 10:30 | Coffee break and Get-Together |
| 10:30 – 11:00 | Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Posts and Railway for Economy and Energy Peter Stratmann, Head of Department Renewable Energys → p. 43 Smart Grids: Political/legal framework conditions and promotional programs in Germany Cooperation between central and federal state authorities |
| 11:00 – 11:30 | Netze BW GmbH Dr. Christoph Müller, Managing Director → p. 40 Challenges and solution approach of the energy transition in Germany |
| 11:30 – 11:45 | Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT Prof. Dr. Jens Tübke, Director Applied Electrochemistry → p. 37 Spokesperson Fraunhofer Alliance Battery Project presentation “RedoxWind” |
| 11:45 – 12:45 | Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT Dr. Stefan Tröster, Central Management Guided Tour through ICT, Discussions |

| | |
|--|---|
| 12:45 – 14:00 | Lunch Buffet and Get-Together |
| 14:00 – 14:30 | C/Sells, Smart Grids – Plattform Baden-Württemberg e.V. Christian Schneider, Senior Researcher C/sells → p. 41 C/sells - Energy System of the Future in the Southern German Solar Arc Grid integration of renewable energies |
| 14:30 – 15:00 | Oli Systems GmbH Dr. Thomas Brenner, Chief Technology Officer → p. 35 Digital, distributed and decarbonized – where Blockchain can provide solutions for tomorrow's energy system |
| 15:00 – 15:30 | Coffee Break |
| 15:30 – 16:00 | Baden-Württemberg Ministry of the Environment, Climate Protection and the Energy Sector Dr. Massimo Genoese, Analyst in the Department of Energy Policy → p. 36 Presentation on Demand Side Management as a pilot project in Baden-Wurtemberg |
| 16:00 – 16:30 | City of Karlsruhe, Economic promotion, Energy Forum Karlsruhe Andrea Bühler, Cluster Manager, Technology Transfer Management → p. 35 Recent technologies from research |
| 16:30 – 17:00 | Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI) Dr. Marian Klobasa, Coordinator of the Business Unit Demand Response and Smart Grids → p. 38 Competence Center Energy Technology and Energy Systems Technologies for energy storage |
| <i>- The event will be held in English -</i> | |

二、論壇重點

(一) Developments and framework conditions of the Smart Grids sector in Taiwan

Mr Wu Chih-Wei, Director der Electricity Division
Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs, Taiwan
R.O.C

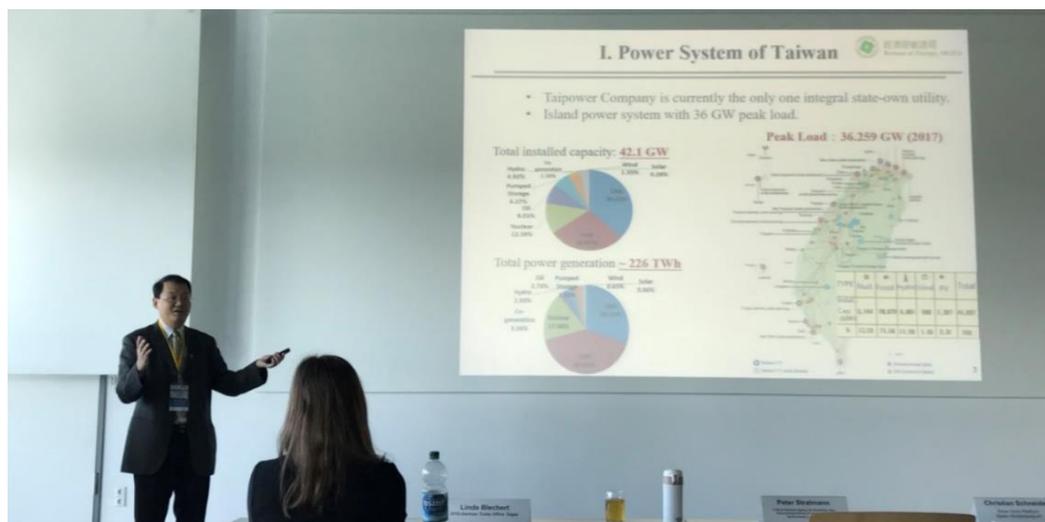


圖1 經濟部能源局吳組長志偉說明台灣智慧電網的發展

由經濟部能源局吳組長志偉說明台灣智慧電網的發展策略、目標及架構(如圖1)。



圖2 商務論壇演講者與參訪團合影

(二) Smart Grids: Political/legal framework conditions and promotional programs in Germany - Cooperation between central and federal state authorities

**Peter Stratmann, Head of Department Renewable Energy
Federal Network Agency for Electricity, Gas,
Telecommunications, Posts and Railway for Economy and
Energy**

主要說明德國能源轉型過程聯邦監管機關在電力系統所扮演的角色，德國「能源轉型(energiewende)」是由再生能源、能源效率以及可永續發展的能源政策。德國大力推展能源轉型，希望能實現能源結構的變化，其最終目標是停止煤炭及其它非再生能源的使用。德國「能源轉型」被全世界奉為楷模，德國的經驗說明能源轉型的困難度及代價(例如：電價由2000年15分歐元/度上漲至30分歐元/度如圖3)，但的確是可以被實現的。

由於再生能源佔比不斷增加，德國的電力批售價格有逐年遞減趨勢，但目前一般家庭用戶電價中，批售價格約占20%，再生能源躉購制度產生的差額附加費(renewable surcharge)約占23%，以及電網費(grid fee)約

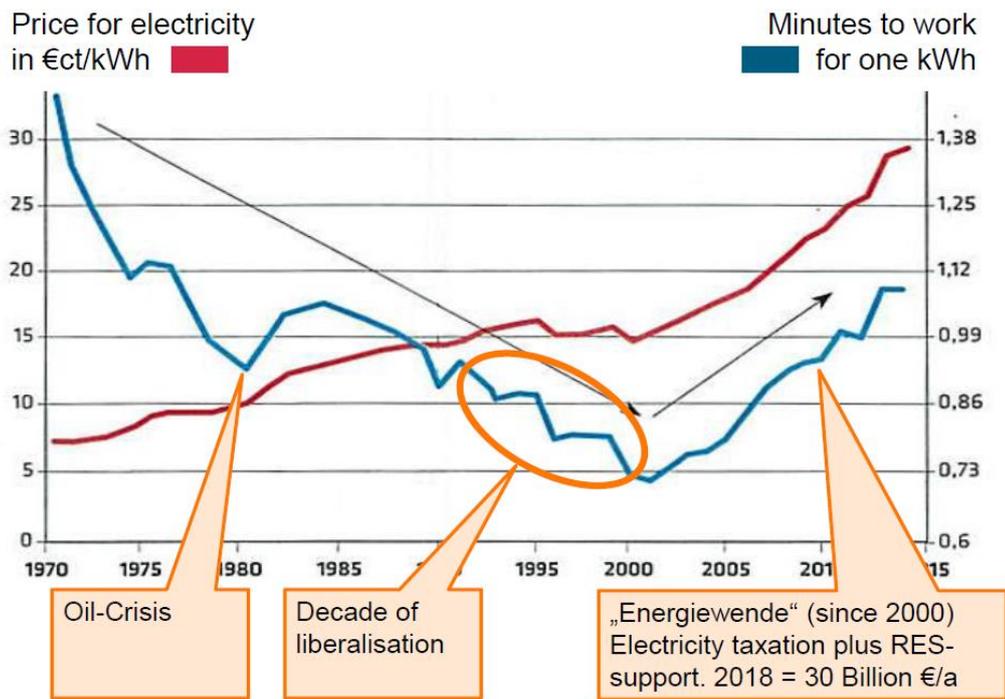


圖3 1970 ~ 2015年德國每度電電價與每度電須付出之工作時間(分鐘)

占25~26%，2017與2018年德國家庭用戶平均電價計價組成因素(參考圖4)包括：批售價格、電網費、營業稅、特許費、再生能源附加費、電力稅、熱電聯產法附加費及其他課徵稅等8種不同的費用。

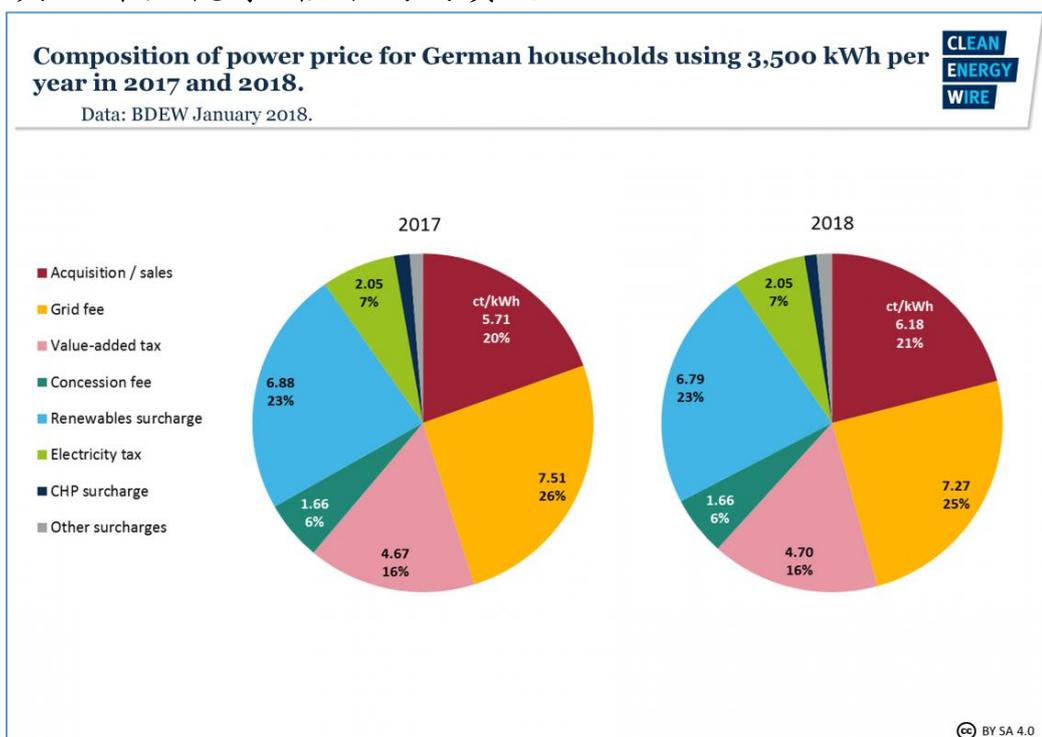


圖4 2017與2018年德國家庭用戶平均電價計價組成因素

資料來源：<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/what-german-households-pay-power>

由於德國早於1991年即立法要求電業以「躉購費率制度」(Feed-in Tariffs, FIT)補貼方式，優先併聯再生能源，並於2000年公布實施再生能源法(Erneubare Energien Gesetz, EEG/German Renewable Energy Sources Act)，即使家庭用戶平均電價至今翻漲100%，由於德國人民環保意識及能源安全意識(石化燃料及LNG依賴進口)極高，因此對於能源轉型的支持度高。另外從2006~2018德國家庭用戶平均電價組成因素，可觀察到自2013年以來，家庭用戶平均電價近乎持平(如圖5)，且經濟仍持續成長，而電費支出佔其平均薪資收入比例不高(Peter Stratmann表示約占2%)，因此即便電價成長的幅度大，並未對德國社會造成明顯增加的負擔。

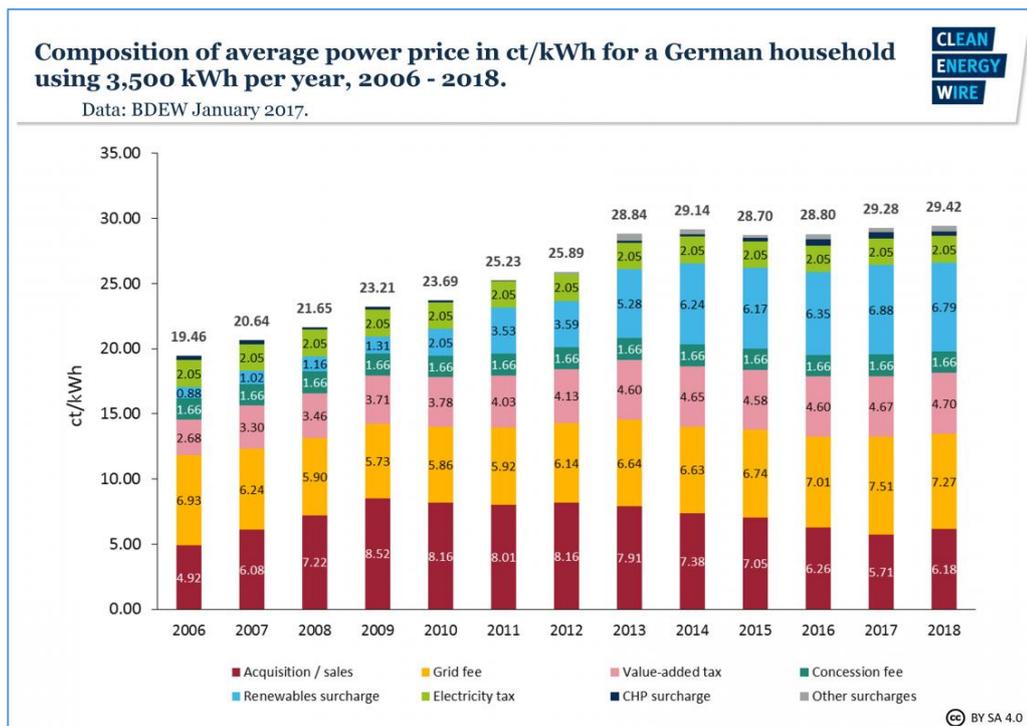


圖5 2006~2018德國家庭用戶平均電價組成因素

資料來源：<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/what-german-households-pay-power>

(二) Challenges and solution approach of the energy transition in Germany

Dr. Christoph Müller, Managing Director

Executive Director of Concessions & Finance

Spokesperson of the Management Board Netze BW GmbH

德國電力市場的改革之路，係透過1998年德國通過電力市場開放規定，開啟電力市場改革之路。在此之前德國是高度壟斷的電力市場，意昂(E.on)、巴登-符騰堡州(EnBW)、萊茵 (RWE)、大瀑布(Vattenfall)四大能源公司，擁有超過80%的德國電力裝置容量，隨著電力改革四大能源公司逐步被拆分。再生能源法於2000年公布實施後，E.on、EnBW與RWE等均積極成立專營再生能源的事業，而傳統能源的火力電廠也積極謀求轉型，2015年德國再生能源發電裝置容量比例如圖6，2016年德國再生能源裝置容量首度超過傳統電廠的總裝置容量(約100 GW)如圖7。



圖6 2015德國再生能源發電裝置容量比例

資料來源：https://km.twenergy.org.tw/KnowledgeFree/knowledge_more?id=2215

此外，德國長期以來都有反核情結及運動，車諾比事件讓民眾感受到不安全，2011年日本福島事件發生後，原本要將核電廠延役的梅克爾政府，一夕之間全面轉向，2011年立即關閉8座核能電廠，同時宣布在2022年全面廢

核，對德國傳統四大能源公司造成重大之衝擊與挑戰。

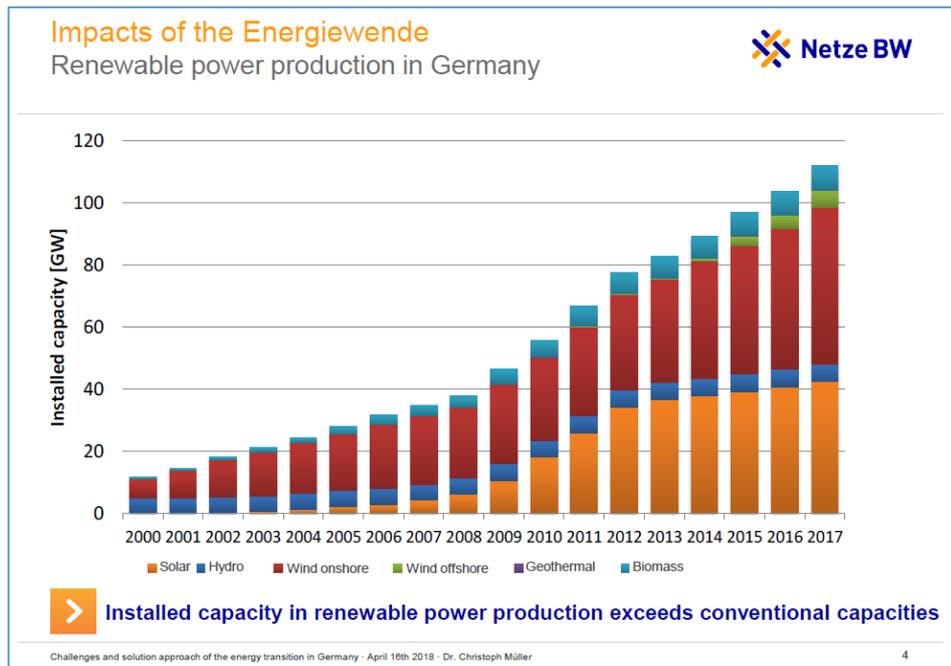


圖7 2000~2017德國再生能源發電裝置容量
(資料來源：Dr. Christoph Müller簡報資料)

德國能源轉型沖擊下，三大電力公司2012~2017年之營收淨利資料如圖8。

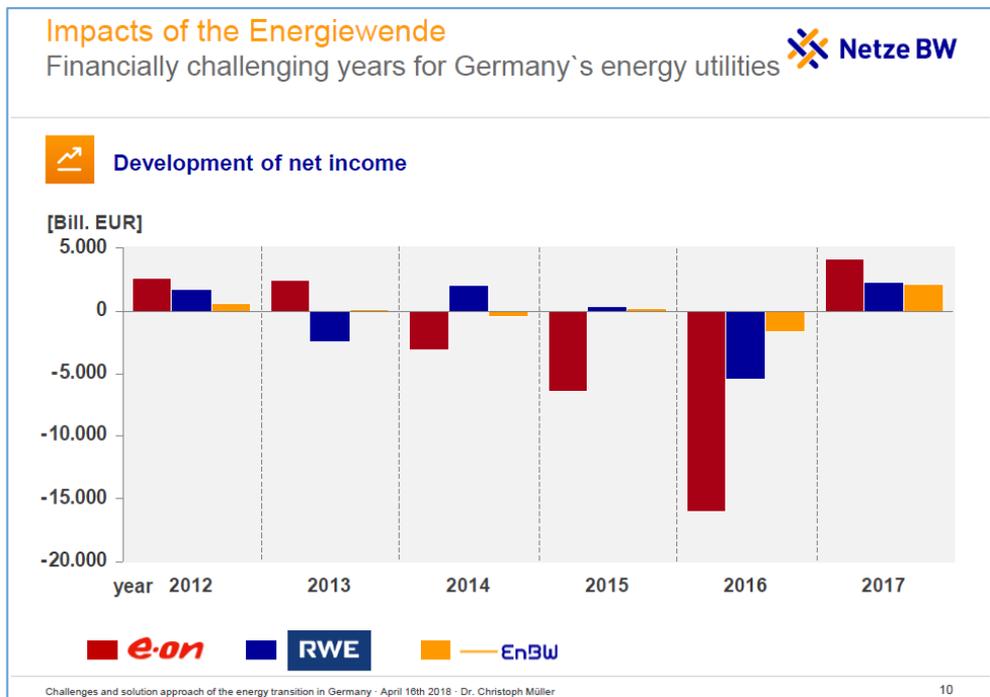


圖8 2012~2017年德國三大電力公司之營收淨利資料
(資料來源：Dr. Christoph Müller簡報資料)

巴登符騰堡能源公司(EnBw)為德國第3大的能源集團，是目前德國僅存由政府持有，擁有發、輸、配和售電業務的綜合電業，性質與目前台電公司非常相似。

德國能源轉型為二階段策略(如圖9)，首先讓再生能源成為具有競爭力的電力來源後，再進行產業鏈結(供熱、電動車)、數位化與擴大低碳化；EnBw因應能源轉型之衝擊與影響，也採用分階段因應策略：

- 第一階段(能源轉型1.0)：始於1991年，大幅調整集團的商業模式，轉型策略包括：積極擴展再生能源發電(風電的開發商)、逐漸退出核能發電事業、降低傳統火力營收占比、發展天然氣複循環機組及電網。
- 第二階段(能源轉型2.0)：始於2017年，轉型策略包括：提升競爭力與再生能源市場整合、技術創新以開創新商業模式(如電動車相關市場)、數位化與智慧化電網、滿足客戶需求(個人化與提供便利性)，強調創新、科技、市場與競爭力為主導能源轉型的力量。

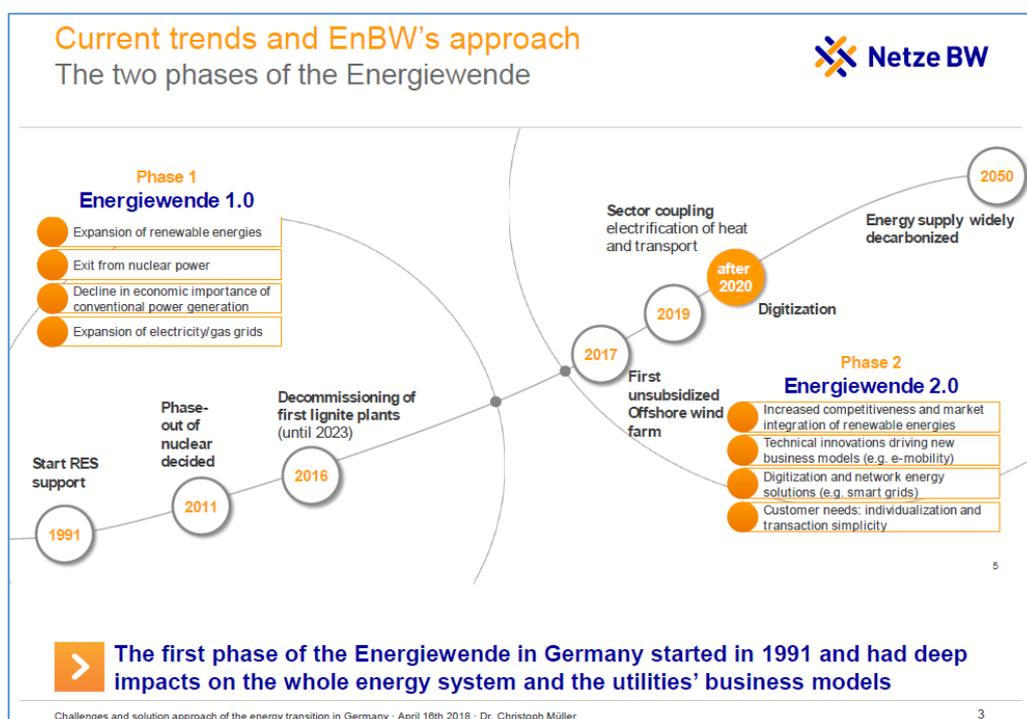


圖9 EnBw因應德國能源轉型之策略
(資料來源：Dr. Christoph Müller簡報資料)

此外，EnBw尚須克服能源轉型遇到的許多困難，例如：德國北部風場適合發展風力發電，但電力需求高的製造業卻在德國南部，而鄰近的核電廠在2022年將全面關閉。因此，必須興建多條南北向的遠距輸配電網，俾順利將北電南送。另外在北海發展離岸風力發電，也必須要興建海底電纜，將海上風力發電電力輸送至陸地。

(三) Project presentation “RedoxWind”

Prof. Dr. Jens Tübke, Director Applied Electrochemistry
Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT

夫朗和斐應用研究促進協會是德國及歐洲最大應用科學研究機構，成立於1949年，協會下設80多個研究所，總部位於慕尼黑。此次參訪的普芬茨塔爾化工技術研究所(Fraunhofer Institute for Chemical Technology, Fraunhofer ICT)為其研究機構之一，核心研究領域為：化學與環境工程、高分子工程、爆破科技、能源系統。

Dr. Jens Tübke介紹氧化還原反應液流電池(Redox Flow battery)系統，氧化還原反應(Reduction-oxidation reaction, Redox)是由氧化反應和還原反應構成。遵守電荷守恆，在氧化還原反應裡，氧化與還原必然以等量同時進行。系統包含兩個容器，其中儲存著液體化學溶劑，

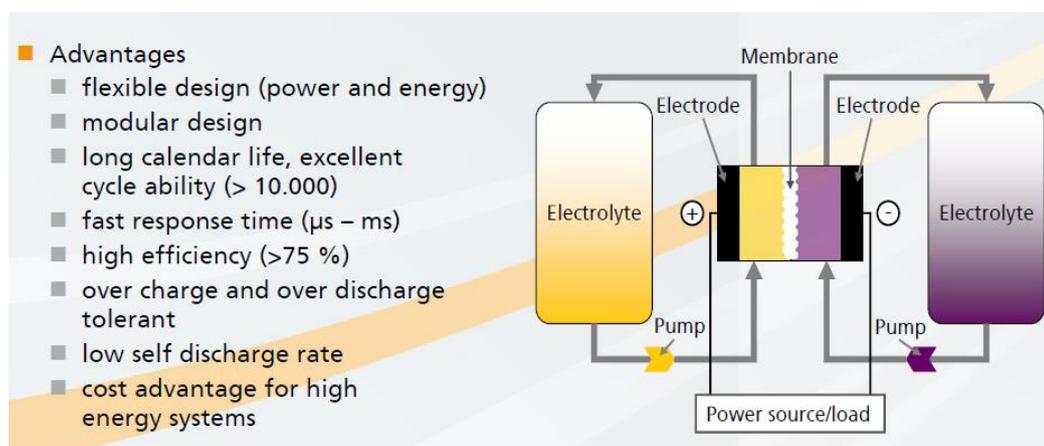


圖10 氧化還原反應液流電池(Redox Flow battery)系統原理與優點
(資料來源：Dr. Jens Tübke簡報資料)

形成兩個次系統，次系統間的連接部份為發電區，以薄膜(membrane)隔開。兩種化學溶劑由其所在的容器，流動到發電區，隔著薄膜產生離子交換，透過此方式進行放電或儲電(如圖10)。

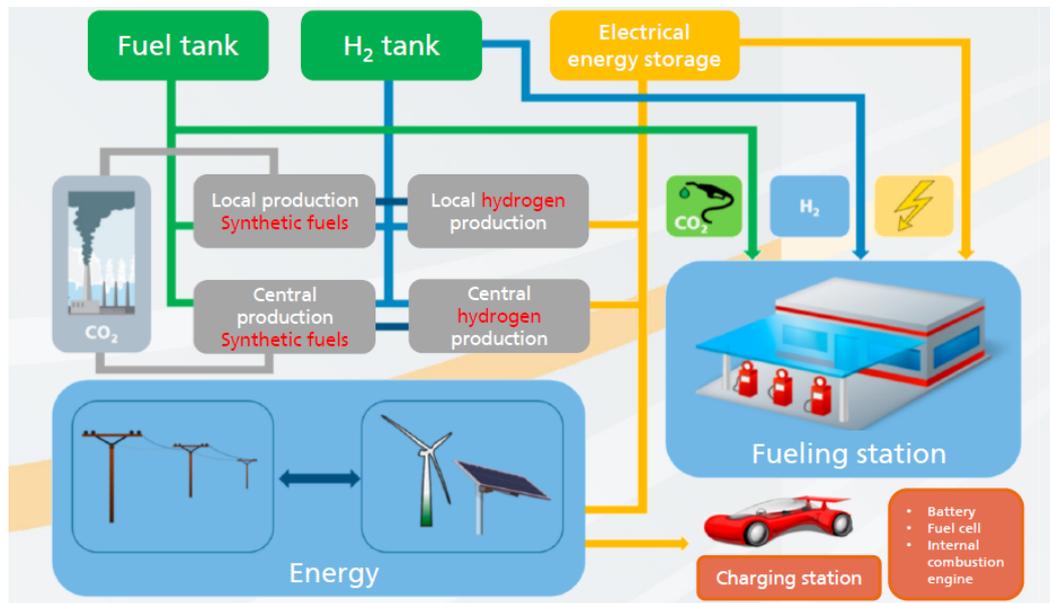


圖11 氧化還原反應液流電池(Redox Flow battery)系統原理與優點
(資料來源：Dr. Jens Tübke簡報資料)

Fraunhofer ICT的"RedoxWind"旗艦計畫主要係建置一個2MW/20MWh氧化還原反應液流電池(Redox Flow battery)系統，用以儲存2MW風力發電機組產生的間歇性電力，並透過直流連結風力發電機與電池系統。RedoxWind建置目的主要係於大型風場搭配設置儲能系統，藉由儲能系統具備快速充/放電能力，經適當充放電調控可使再生能源電力輸出平滑化、穩定電力系統電壓與頻率(如圖11)。

(四) Guided Tour through ICT, Discussions

Dr. Stefan Tröster, Central Management

Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT

實地參訪2MW風力發電機組及氧化還原反應液流電池(Redox Flow battery)系統(如圖12~15)。



圖12 Fraunhofer ICT鳥覽圖

(資料來源 : Dr. Jens Tübke簡報資料)



圖13 參訪風機及氧化還原反應液流電池(Redox Flow battery)系統



圖14 參訪2MW風力發電機組



圖15 氧化還原反應液流電池(Redox Flow battery)系統
(資料來源：Dr. Stefan Tröster簡報資料)

(五) C/sells - Energy System of the Future in the Southern German Solar Arc - Grid integration of renewable energies
Christian Schneider, Senior Researcher C/sells
C/Sells, Smart Grids – Plattform Baden-Württemberg e.V.

德國能源轉型到2050年的目標，希望至少80%使用的電力係來自再生能源，但為了實現這個目標，不僅僅需要建造更多的風力發電機和太陽能板，電力系統也必須要變得更靈活與智慧化。但電網究竟要如何改變呢？

如果電力供應不足時，工商業又要如何靈活地因應所需的電力呢？一般家庭用戶或消費者在需求端又可以做什麼因應措施？數位化提供電網什麼樣的可能性？等等問題應運而生。

因此，為了探索能源轉型之未來情境，德國聯邦經濟事務暨能源部(BMWi)推展“SINTEG智慧能源轉型-數位化議程(Digital Agenda for the Energy Transition)計畫”，鼓勵開發與展示未來能源的概念。德國聯邦經濟事務暨能源部選擇五個示範區域，分佈在不同的地區，希望從實踐中嘗試可能的解決方案。如果這些示範場域驗證成功，將成為整個德國推廣實施的典範：

- C /銷售(C/Sells)：德國南部太陽能拱門的大型展示場域，位於巴登-符騰堡州，巴伐利亞州和黑森州的展示場域，著重於太陽光電及區域供需平衡與優化。區域單元互相連接且互相影響，每個區域單元首先會平衡自身的能源供需，若有多餘之能源會與其他需要能源的單元進行交易，以維持該區域單元之供需平衡。
- Designetz：模組化能量轉換展示場域-未來高效能分級系統解決方案為導向，位於北萊茵-威斯特法倫州、萊茵蘭-普法爾茨州與薩爾州的太陽光電與風力發電複合式場域，提供城市與工業用戶所需電力的展示。
- enera：能源轉型的下一步，系統從集中化到分散化因應措施展示場域，位於下薩克森州，著重於區域性系統服務，能源市場提供區域系統服務，使電網更為穩定，以及提升再生能源電力供應可靠度。
- NEW 4.0：北德能源革命展示場域：位於石勒蘇益格-荷爾斯泰因州與漢堡，主要確保在2025年時可安全有效地提供70%再生能源。
- WindNODE：德國東北部智慧能源展示場域，包括東

德五州與柏林，目標係將再生能源有效地整合到電網、供熱與交通行業(電動車)的整合能源系統中。

Christian Schneider介紹C /銷售(C/Sells)計畫，說明未來智慧電網轉型藍圖(如圖16)，未來電力交易市場包括：期貨市場(Futures Market)、現貨市場(Spot Market)、系統服務市場、場外交易市場(over-the-counter, OTC)。

Blueprint of the Energy Transition

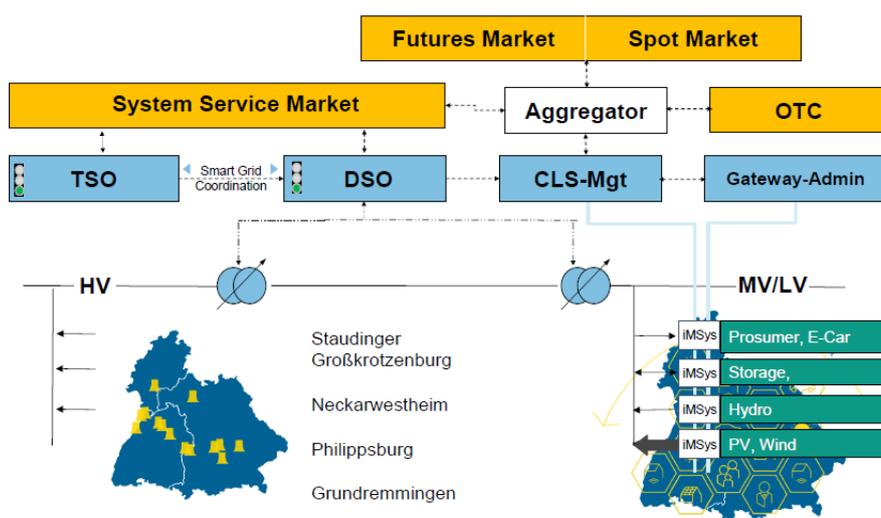


圖16 智慧電網轉型藍圖

(資料來源：Christian Schneider簡報資料)

C /銷售(C/Sells)採用蜂巢式連結、參與及多元等概念方法，以及基礎資訊系統、智慧電網協調與區域性能源與彈性交易等工具(如圖17~圖18)。

C/sells – The Instruments



圖17 C/sells的概念方法與工具

(資料來源：Christian Schneider簡報資料)

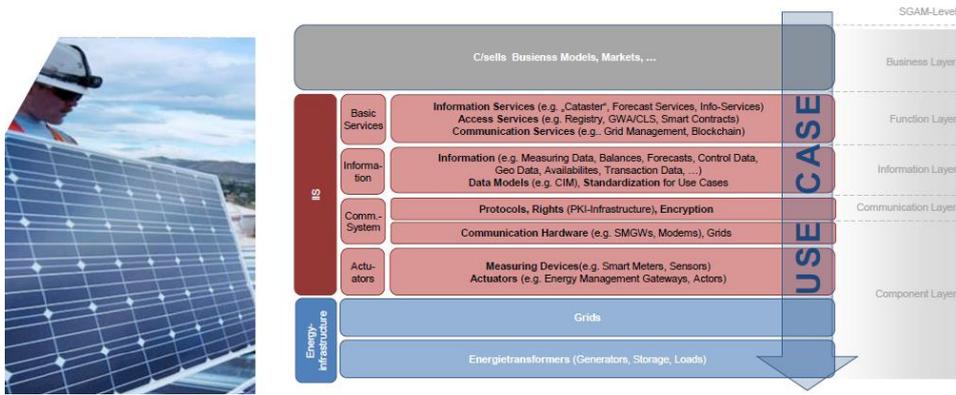


圖18 未來智慧電網基礎資訊系統
(資料來源：Christian Schneider簡報資料)

Even simple Processes are complex – and will become IT-driven

C/sells Use Case „Flexibility Sales and Action“

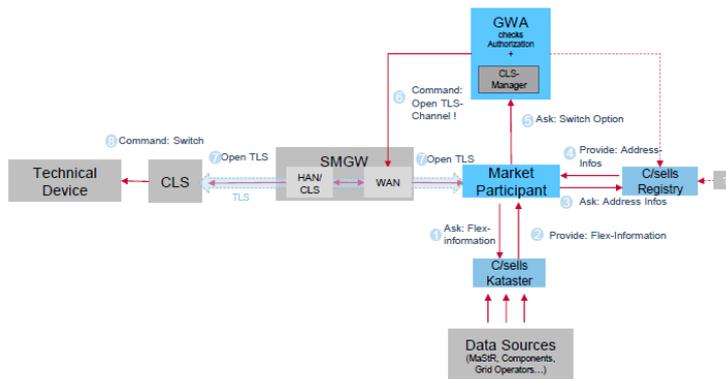


圖19 未來智慧電網將會以IT來驅動複雜流程
(資料來源：Christian Schneider簡報資料)

Manual Grid Coordination

Current process for the coordination between TSO and DSO

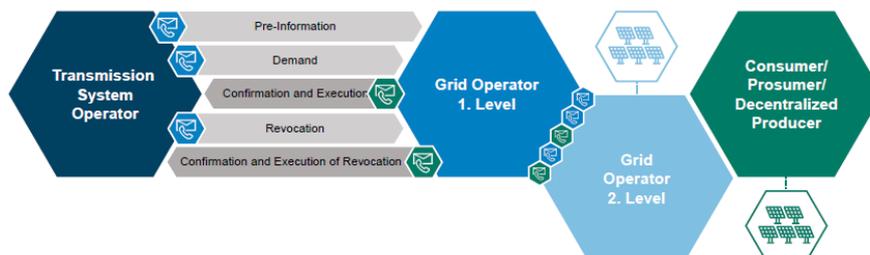


圖20 傳統電網以人工協調方式進行TSO與DSO協調流程

(資料來源：Christian Schneider簡報資料)

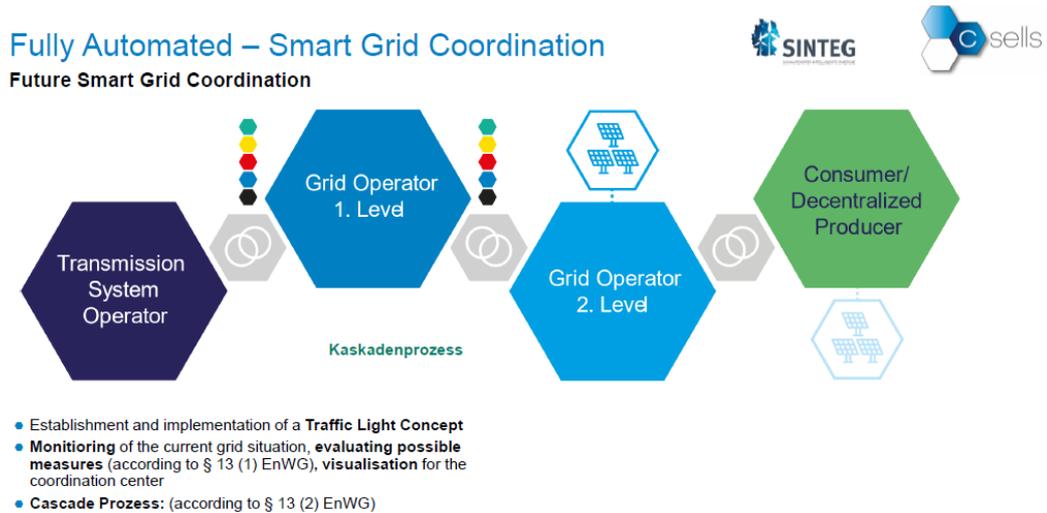


圖21 未來智慧電網以全自動方式進行TSO與DSO協調流程
(資料來源：Christian Schneider簡報資料)

未來智慧電網將以IT來驅動複雜流程(如圖19)，並由傳統人工協調改以全自動方式進行TSO與DSO協調(如圖20~21)，並以區域單元市場間進行交易(如圖22)。

Regionalised Trading

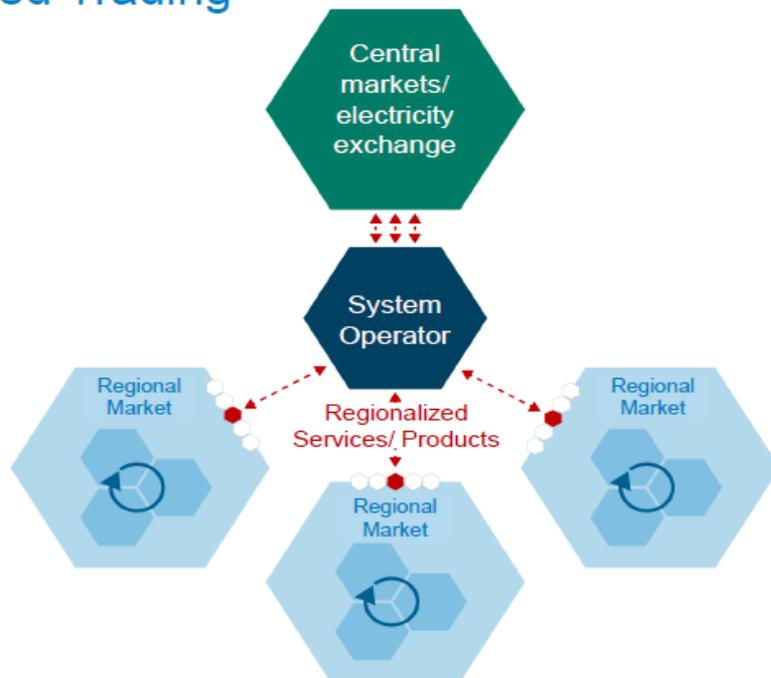


圖22 區域單元市場間進行交易
(資料來源：Christian Schneider簡報資料)

(六) Digital, distributed and decarbonized – where Blockchain can provide solutions for tomorrow's energy system
Dr. Thomas Brenner, Chief Technology Officer
Oli Systems GmbH

德國電網係由4個輸電公司(TSO)及883個配電公司(DSO)所經營管理，一般家庭用戶約4,300萬戶(計量電表約47萬)，前20大配電公司占約60%的一般家庭用戶數。因應德國能源轉型，能源供給將由傳統的集中式供給(8,000座大型集中式電廠)，轉變成為160萬個分散式產消合一者/生產性消費者(Prosumer)，產消合一者可以自行生產所需能源的消費者，伴隨著數位化與ICT新科技，800多家傳統公用電業將喪失舊有的商業模式(如圖23)。

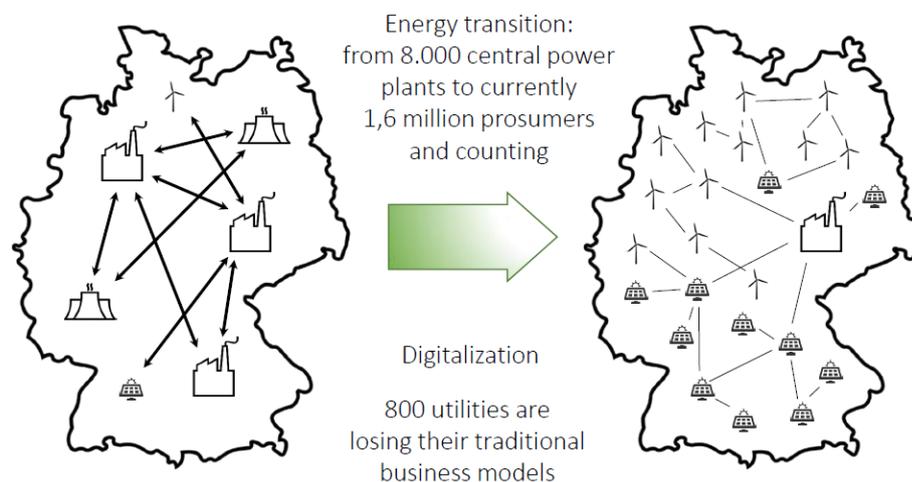


圖23 傳統的集中式供給轉變成為分散式產消合一者/生產性消費者
(資料來源：Dr. Thomas Brenner簡報資料)

全球能源供應從集中式大型電廠轉變成分散式能源服務的趨勢，其驅動力來自於下列三個因素：

- 政治因素：降低環境污染、減緩溫室效應及提高供電之安全與穩定性。
- 技術因素：大量再生能源發電、分散式發電、數位化、能源系統(供熱、電動車)電氣化。
- 經濟因素：再生能源成本降低、分散式發電與儲能系統逐次發展，傳統集中式發電原有的經濟規模優勢不

復存在，直接共享經濟取代依賴中間商之商業模式。

因應上述全球能源變遷趨勢，Oli Systems公司開發具備數據自主性的OLI硬軟體單元，使用區塊鏈技術(例如數字貨幣比特幣)，形成蜂窩型能源管理系統。分散的OLI單元可以直接進行”點對點(P2P)” 互相通信，交易過程的源頭和處理方式變得透明，並可確保防偽與具經濟性與高效能的交易處理，OLI的原理和結構，其實與互聯網非常相似(如圖24)。

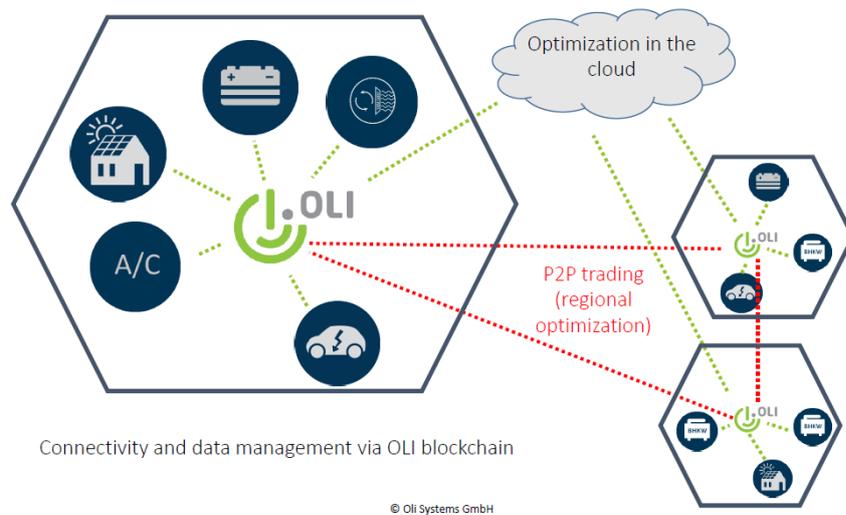


圖24 OLI使用區塊鏈技術直接進行”點對點(P2P)”互相通信
(資料來源：Dr. Thomas Brenner簡報資料)

透過OLI發展之支援區塊鏈的硬軟體組件，可以形成一個分佈式網絡，以便在區域內、鄰近區域、甚至整個德國境內共享電力(如圖25)。

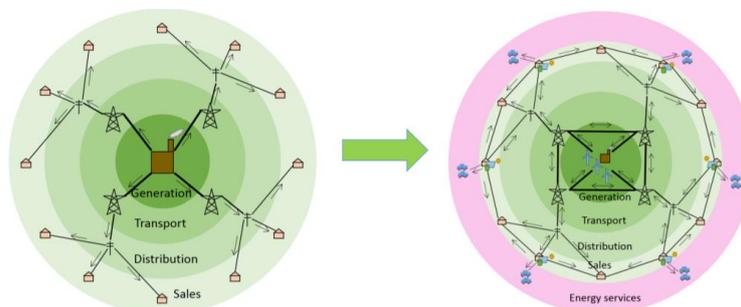


圖25 OLI使用區塊鏈技術形成一個分佈式蜂窩型能源管理系統
(資料來源：Dr. Thomas Brenner簡報資料)

(七) Presentation on Demand Side Management as a pilot project in Baden-Wurtemberg

Dr. Massimo Genoese, Analyst in the Department of Energy Policy

Baden-Württemberg Ministry of the Environment, Climate Protection and the Energy Sector

Dr. Massimo Genoese分享巴登-符騰堡州需求端管理先導計畫之經驗，因德國在2011年關閉了11.5 GW核能電廠，到2022年還要關閉另外10 GW核能電廠，但只增蓋了二座燃煤火力發電廠共1.6 GW，所以要確保電力供給之安全，需求端管理(Demand Side Management)就相當重要。需求端管理市場可分為：壅塞管理(Congestion management)、平衡控制(Balance control)、備轉平衡市場(Balancing Markets)、市場價格回應(Spot Markets)。

巴登-符騰堡州結合業界與學界進行需求端管理先導計畫，主要目的是要分析電力市場情境與需求端管理之機會，為工業界、聚合商、能源主管機關、電網公司及相關利害關係人營造需求端管理網絡，公開透明的資料溝通平台，以及從市場運作過程中得到實務經驗。

需求端管理先導計畫首先聯繫約650家公司，初步挑選適合做需求端管理的公司(如具有潛力及已設置有能源管理功能)，問卷調查分析具有經濟效益潛力約40家公司，然後到現場進行詳細分析約34家公司(包括:金屬、化工、食品、玻璃與陶瓷、機器製造及木材等業別)，最後挑選最多5家公司進行需求端管理市場試行。經調查公司不願意做需求端管理的原因許多，包括：員工輪班工作可能工廠無法連續的配合、無充分的量測技術、工廠須配合調整改善、誘因不足、沒有需求端管理潛力、容量不足等因素。

根據需求端管理先導計畫之經驗，找出推展之障礙包括技術、法規及經濟等三種障礙：

- 技術障礙：製程失效技術風險、產品品質下降、干擾正常工作流程。
- 法規障礙：法規限制太嚴、未來制定之法規不確定性、法規太複雜。
- 經濟障礙：必要投資成本太高、電費減少太低或不確定、其他須優先投資考量、增加新的營運成本。

需求端管理先導計畫之經驗，也找出推展成功之因素，包括用電需求高的產業、市政廳及水公司等，具有高尖峰用電及用電量高等特性。但決定性因素在於流程例如：空調冷凍流程、抽吸流程及緊急發電機等高容量(> 500 kW)、前置作業時間短(< 5分鐘)、可單獨接受控制、流程控制程度高。

另外仍需考慮軟性(soft)成功因素，包括：人及組織因素(公司上下階層均需要一致支持)、將負載管理化為工作流程(從較不重要、風險小的流程開始做，再逐次整合更多的流程)、持續研發以符合未來能源系統之需求。Dr. Massimo Genoese最後總結：由於未來能源系統需要更多的彈性，而彈性負載是未來能源系統提升供電穩定與安全的重要環節之一，目前仍有需多障礙待克服。

參、考察行程

此次考察行程包括：西門子專案egrid、Energy Village Wildpoldsried(公民電廠)、西門子智慧電網管控系統、Energy park Hirschaid、斯圖加特機場、Juwi AG及儲能園區(Power Storage Park)。

一、西門子專案 egrid

德國正全力推動朝再生能源經濟的方向轉型，目前再生能源占德國能源組成比約25%，德國要達成2050年再生能源發電比提高至80%的能源轉型目標，就必須有更多再生能源併入電網。然而，傳統電網上無法因應再生能源間歇性發電的特性，以及傳統集中式大型發電廠逐漸由分散式發電所取代的情境，因此必須採取其他因應措施，例如建置更具彈性(負載平衡、電壓與頻率調節反應等)的智慧電網，以確保即使再生能源的發電量隨氣候與日照情況而隨時波動，分散式發電系統與智慧電網也能提供用戶充足與穩定的電力。

傳統電網具有集中式大型發電、集中調度、單向電力流與資訊流的特性，由於分散式發電與再生能源興起，與傳統電網不同之處在於：分散式發電、區域調度、雙向電力流與資訊流，用戶由單純電力消耗者(consumer)變成產消合一者(prosumer)，因此打造一個兼具彈性與慧化，能因應新特性的智慧電網，成為各國政府與電業當務之急。

德國AüW地區的維爾德波爾茨里德市(Wildpoldsried)早在2010年時，就積極投資發展風電、太陽光電和生質能發電，當時發電量就已超出當地用電量約一倍，甚至在2016年的再生能源發電量已達到自身用電量的五倍以上，大幅超越尖峰時段的需求量，這景象相當類似德國在2050年希望達成

的能源轉型藍圖與願景。

但更多再生能源發電併入電網，也對傳統電網造成極大之挑戰與不穩定性。由於分散式發電的特性，智慧電網在配電端即需要平衡發電與用電，再者由於雙向電力流與資訊流的特性，電力與資訊控制範圍甚至需直接到用戶端。所以對AüW地區的電網公司而言，其主要的任務卻是要確保在任何時候，無論當地電力輸入或輸出變化有多大，都要保證AüW地區電網的穩定性。

為解決上述問題，並及早研究與發展未來最佳化智慧電網的調控與配置，AüW電網公司選擇在維爾德波爾茨里德市當地進行一項大規模技術驗證計畫，目的在建立可自動調控穩定電力網絡的智慧電網，此智慧電網是未來能源系統的關鍵，因為有智慧電網才能順利將更多的再生能源發電併入電力網，而仍能維持電力網在安全及穩定情形下運作。

因此，在AüW電網公司、西門子公司及大學共同合作下，2011 年到 2013 年間在德國維爾德波爾茨里德市進行 IRENE (Integration of Regenerative Energy and Electric Mobility)智慧微電網計畫，以整合再生能源與電動交通系統計畫，德國聯邦經濟技術部也提供經費補助該計畫。

當然要達成微電網與配電電網的平衡與穩定，必須依賴許多先進的技術與設備，其中包括：可調控的配電變壓器(消除電壓波動所帶來的影響)、同步與保護設備、彈性控制變流器(inverters)、配電等級儲能系統、先進的資通訊基礎設施、複雜的測量與控制器等系統、分散式再生能源發電系統。IRENE 計畫的合作夥伴希望能發展出理想的技術條件，並展開後續相關的研究計畫，朝實現德國2050年能源轉型目標努力。



圖26 德國維爾德波爾茨里德市進行IRENE智慧微電網計畫



微控制器(microcontroller)



儲能系統控制室

IRENE計畫於2013年底圓滿結束，同時證明智慧微電網能靈活地平衡當地波動的電力供需平衡，維持微電網與配電電網的平衡與穩定。但考量2050年時，80%的電力供應來自再生能源而非傳統大型發電廠，就目前的電網相關技術而言，仍然面臨重大挑戰，例如使無功功率能夠穩定提供與電網一致的電壓。因此要在 2050 年實現能源轉型目標，仍然需要創新的解決方案。有鑑於此，繼IRENE計畫之後，2014年7月為期三年的IRENE2計畫正式啟動(如圖27)。



圖27 德國維爾德波爾茨里德市進行IRENE2智慧微電網計畫

IRENE2 計畫係由德國經濟與能源部出資贊助，目標是使用分散式發電系統與微電網相關設備(如儲能蓄電池設備、熱電聯發廠、沼氣或備援/發電機柴油發電機、可調控的配電變壓器、智慧變壓器、變流器、微電網控制器、電網管理系統及通訊系統等)，希望進一步改善Allgäu地區性電網，使當地微電網能獨立孤島運作、併網運作，同時也能在正常運作下提供傳統發電廠所提供的輔助服務系統(如圖28)。

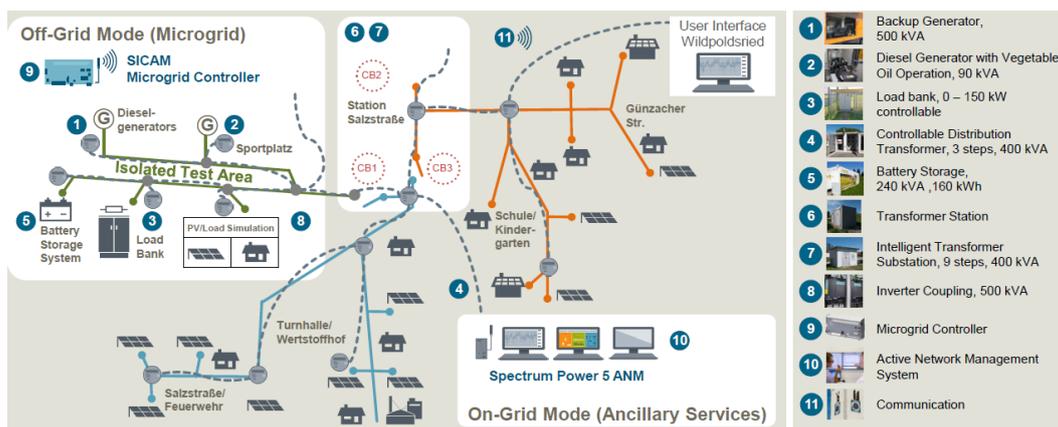


圖28 IREN2 微電網計畫希望進一步改善Allgäu地區性電網

當然，穩健的作法是逐步從智慧微電網到地區性電網，因此IRENE2計畫的研究人員將逐步在 Wildpoldsried 擴展智慧微電網測試的範圍(如圖29)。

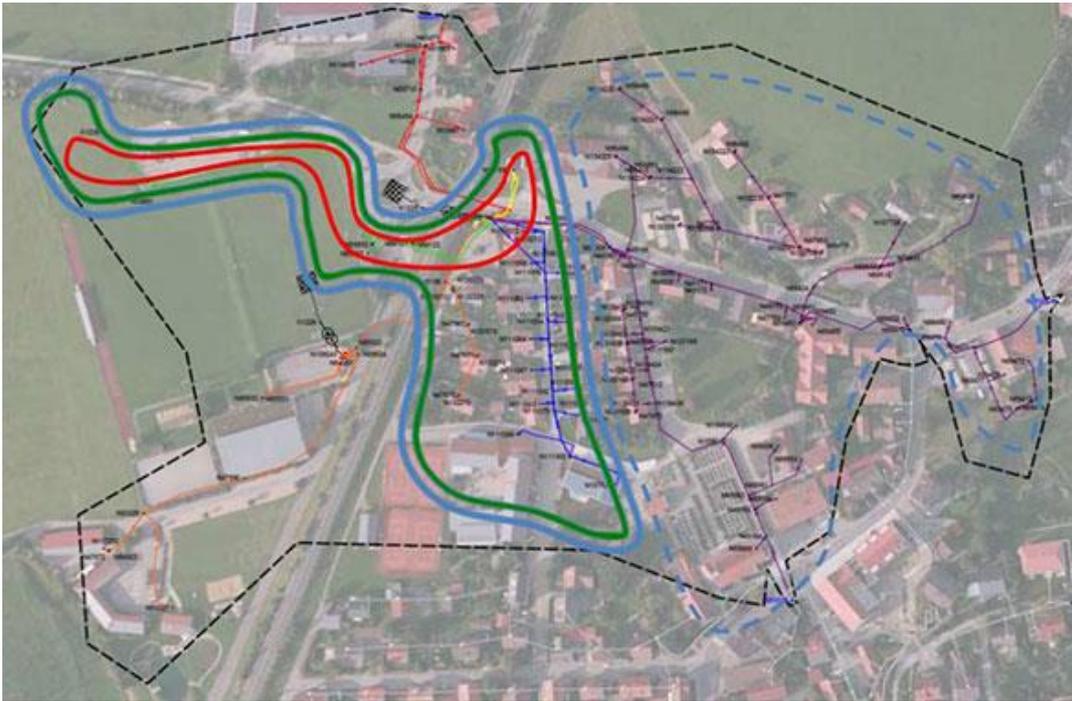


圖29 IRENE2計畫將逐步擴展智慧微電網的範圍(從紅到綠到藍)

IRENE2計畫提供實際驗證及研究微電網，包括自主獨立網路與拓撲電廠(topological power plants)提供輔助服務運轉模式。針對新型電網結構、市場運作及控管進行研究，期望在技術面和經濟方面，尋求分散式發電設施與電力相關設備組件整合互通運作(如圖30)，達成下列三個目標的方法：

- 使電力系統維持平衡(Balancing)
- 消峰填谷(Peak avoidance)
- 配電營運與市場運作最佳化(distribution Optimization)。

該專案同時為當地居民提供32輛電動車，並整合到智慧微電網做為移動式儲能緩沖裝置。如有盈餘電力可優先給車輛電池充電，電力不足時可向電網回饋電能。車輛配備導航設備，可根據行駛情況判斷電池充當電網緩沖裝置的效益。

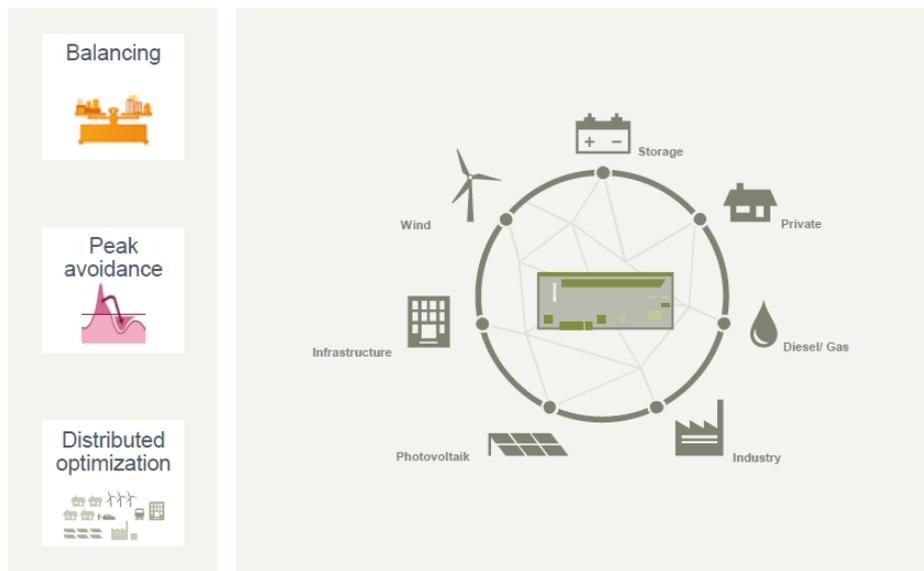


圖30 IRENE2 計畫希望達成的三個目標

參與計畫的Kempton應用科學大學科學家分析了電網中的非對稱負荷，找出了合理分布的測量點(如圖31)。當然希望藉由研究達成有效電網控制、降低二氧化碳排放與電網成本、避免電力損失、以及完善電網規劃等目的。



圖31 依電網中的非對稱負荷找出上百個合理分布的測量點

為將研究成果轉化為經濟效益，Allgäuer Überlandwerk 與西門子合資成立egrid公司。egrid公司在IRENE2 計畫研究成果與經驗(圖32)，將可進一步提供給其他電力公司或配

電公司參用。

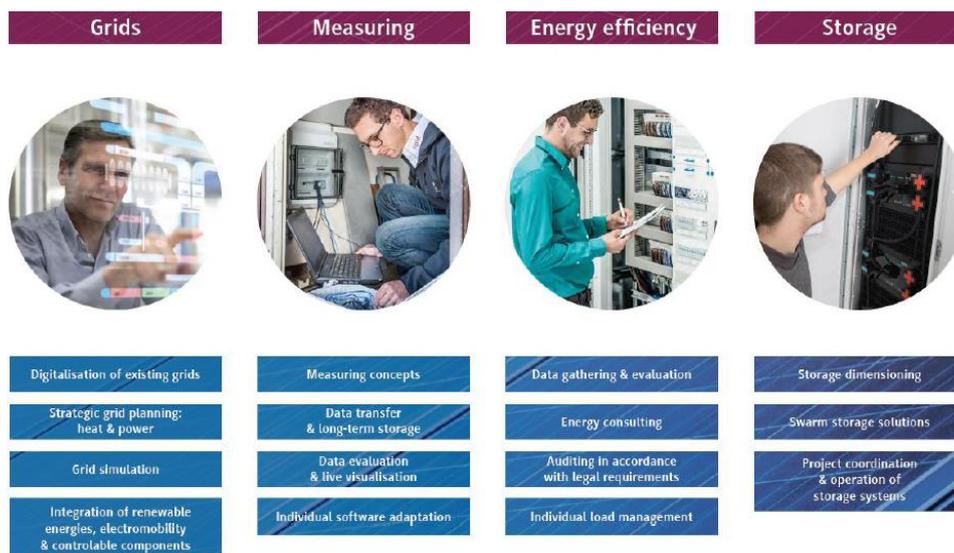


圖32 egrid公司在IRENE2 計畫研究成果與經驗

二、Energy Village Wildpoldsried (公民電廠)

維爾德波爾茨里德市(Wildpoldsried)是個位於德國巴伐利亞州的小鎮，靠近阿爾卑斯山與著名觀光景點新天鵝堡，小鎮總面積21.34平方公里，森林約占1/4，目前人口約2,600多人，人口密度118人/平方公里，以畜牧業為主(如圖33)。



圖33 維爾德波爾茨里德市(Wildpoldsried)面積與人口資料

20年前小鎮市民2500人集資4千萬歐元，希望打造一個永續能源村。歷經20年努力，在市政府的決心與市民的民主共同參與下，終於逐步將Wildpoldsried朝向多年夢想的願景村，結合生質能源、太陽能、風力發電與儲能系統，充分運用地資源及保護水資源的再生能源村。目前其產生的電力遠超過當地居民電力、暖氣及電動車所需的電量，剩餘的再生能源發電為小鎮帶來可觀效益，2015年約470萬歐元，2016年約600萬歐元，資金約10年即可攤還投資者並開始可以獲利。

穆格雷副市長在簡報時表示:居民支持永續能源村的理念，是市長推動再生能源最重要的力量。市長與他自1996年

上任後，在1998年邀集居民進行腦力激盪，共同討論想要市府做的工作清單，而受車諾比事件影響，「遠離核電，擁有自己的能源」是大家所認同的首要工作。

- 1996 New mayor and village council
- 1998 Brainstorming weekend
- 1999 Public survey
- 2000 first “EEG” law in Germany
- 2000 Development of a village concept

因此，尚在2000年德國訂立再生能源法之前，這個小鎮就已經決定發展再生能源，當然再生能源法透過政策補貼，規範民間配電業者，對於距離最近的再生能源電力，必須以優惠價格進行收購，期間長達二十年，也就更激勵小鎮居民的決心，完全由居民自己投資以實現永續能源村的夢想。

首先由市政府在公有建築(如:市政府、消防隊、幼兒園、學校、體育館等)裝設太陽能板，並讓市民瞭解與宣導再生能源。目前全鎮350多家的屋頂都設有太陽能板(如圖34)，亦有超過400人擁有風電，而投資報酬也遠高於存放銀行的利息。



圖34 全鎮350多家的屋頂都設有太陽能板

當時小鎮永續能源村堅持三個支柱包括:能源(創造再生

能源+最大努力的節能)、在地資源(盡量使用在地木材建築)及水資源(保護飲用水、考量生態處理廢水)(如圖35)。



圖 35 永續能源村三個支柱
(Ecological three pillar approach)

整個再生能源村的運作體系中，包含水力、風電、太陽光電、生質能、在地資源、智慧電網與儲能，其中「公民參與」及「私人擁有」是最核心的理念與價值(如圖36)。

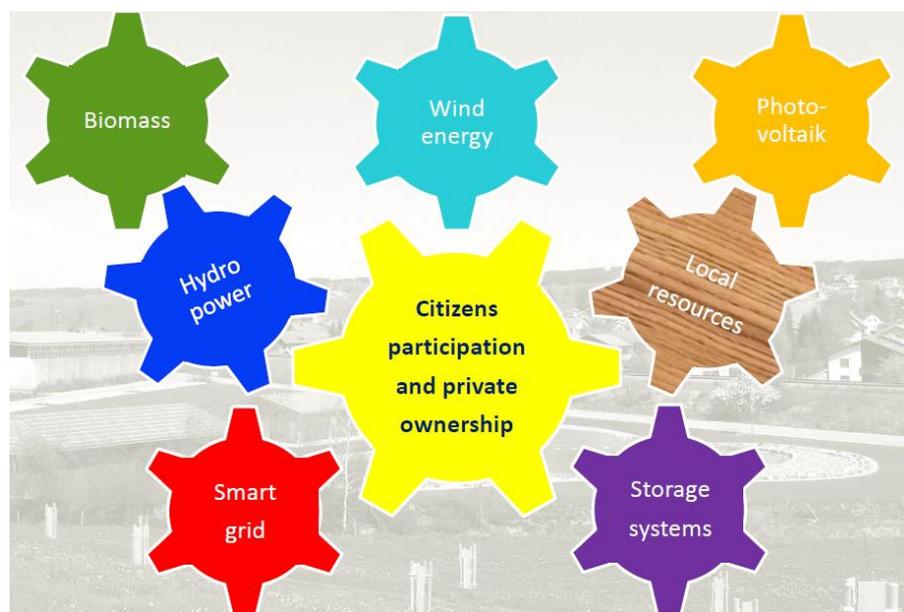


圖36 整個再生能源村的運作體系

維爾德波爾茨里德市利用在地的青草、玉米、牲畜排泄物與其他生物質來發電(如圖37)，圓拱型生質能儲氣槽消化生物質，並將其轉化成沼氣，沼氣被送至燃燒沼氣的發電機設備來發電。



圖37 生質能(Biomass)儲氣槽、青草、玉米和其他生物質

參考2017年維爾德波爾茨里德市各種再生能源發電量(如圖38)，當地並沒有大河川與瀑布，水力發電所占比例甚微(57 MWh)，當然也並非全年四季都有日照，所以太陽光電發電量(4,919 MWh)就遠不及風力發電量，但只依靠生質能源所發的電量(9,357 MWh)，就足以提供當地居民所需用電量(6,293 MWh)。穆格雷副市長強調：科技日新月異，以風力發電為例，鎮上就有三種不同時期的風力發電機，最舊的已使用17年，而2015年最新架設的2部新的風力發電機，其發電量(15,103 MWh)就高於最早裝設的5部舊風力發電機發電量(12,172 MWh)。



圖38 2017年各種再生能源發電量

同樣以2017年為例，維爾德波爾茨里德市產生的再生能源發電量相當於當地居民所需用電量的810%，當然，這些剩餘的再生能源可以優先賣給當地電力公司，但隨著白天收購太陽光電價格逐漸下降至每度12歐分，但晚上無太陽光電時電價卻高達每度30歐分。因此，最大的問題不在於生產太陽光電，而在於要如何儲存它，到晚上時可以自己使用。

另外，再生能源發電的間歇性與不穩定，會造成電力系統電壓與頻率之不穩定，要克服此問題，就需要智慧化科技協助來解決。為解決上述儲能與間歇性問題，穆格雷副市長指出：必須透過「混合型能源」、「智慧電網」及「電池」，來解決所謂「再生能源不穩定」的問題。

以整合能源的角度，也必須同時考量相關的三個主要產業包括：交通(電動車)、供電(電力)、供熱等產業，這些產業都需仰賴儲能系統，並須透過智慧化的技術，互相連結與整合以達成能源供需的平衡穩定與最佳化(如圖39)。

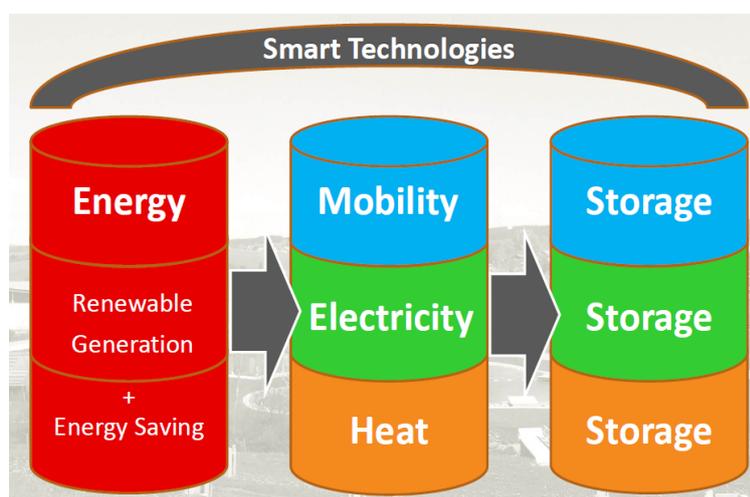


圖 39 整合能源規劃相關的三個主要產業
(The three main sectors of energy)

維爾德波爾茨里德市運用混合型發電產生供過於求的電力，就類似於2050年德國再生能源供電要占80%所需電力一

樣情形，需要智慧電網與電池來調節儲存過剩的再生能源。因此，在2011到2013年間，維爾德波爾茨里德市與西門子、當地大學及電力公司合作，展開第一期的智慧微電網計畫(IRENE)。智慧電網計畫耗資約1000萬歐元，研究計畫經費大半來自大型企業，但只能參與研究計畫，不能參與投資當地發電。

此研究計畫對參與研究計畫者都有好處，例如：對維爾德波爾茨里德市而言，智慧電網有助轉換或儲存多餘發電，穩定再生能源發電；對大學而言，此研究有助於提升其研究質量及學校名望；而對西門子這樣的大企業來說，維爾德波爾茨里德市提供了實際驗證微電網調控技術最佳場域，而非僅在公司實驗室進行模擬驗證；對當地電力公司而言，透過此研究計畫可提升其電力系統之品質與穩定性，未來相關經驗與技術更可以進一步擴展至更大區域之電網(如圖40)。

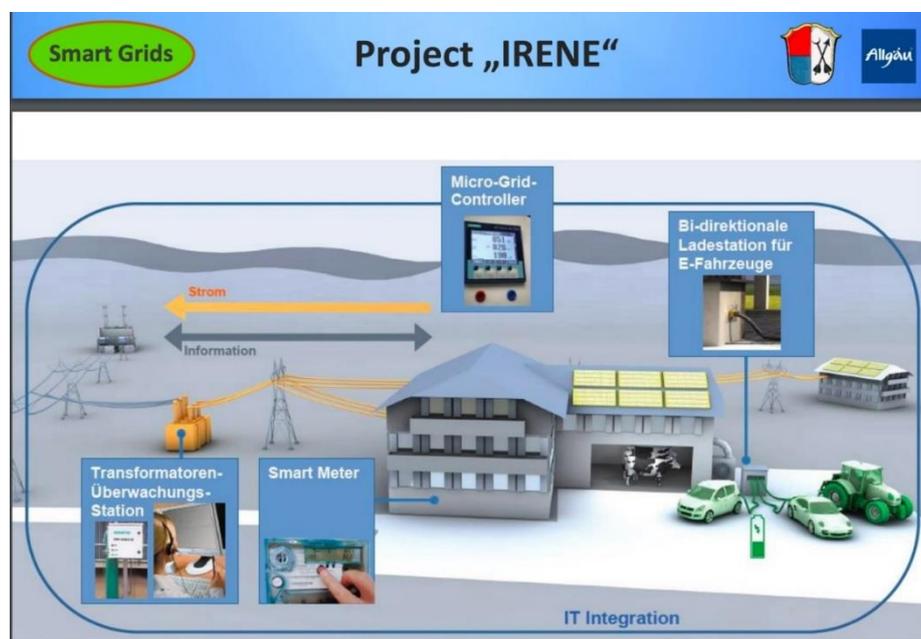


圖 40 第一期的智慧微電網計畫(IRENE)

第一期的智慧微電網計畫(IRENE)結束後，再與西門子合作進行IRENE2微智慧電網計畫，克服太陽光電、風力發

電等不穩定問題，平衡發電量與用電量，藉以維持微電網的穩定，積極為分散式電源建置最佳化調控系統。IRENE2微電網可隨時顯示發電情形，連結到微電網的顯示網頁，該網頁每5秒更新顯示，目前當地各種再生能源發電占比，當地所需電力，以及發電量是用電量的比例，亦可顯示昨天發電量狀況，以及上個月發電量狀況統計資料(如圖41)。

此外，網頁也會以淺顯易懂之方式表達，例如:將發電量以「相當於可提供多少顆60瓦燈泡使用」、「相當於可供3人家戶多少戶的用電」，可清楚掌握再生能源發電的狀況。

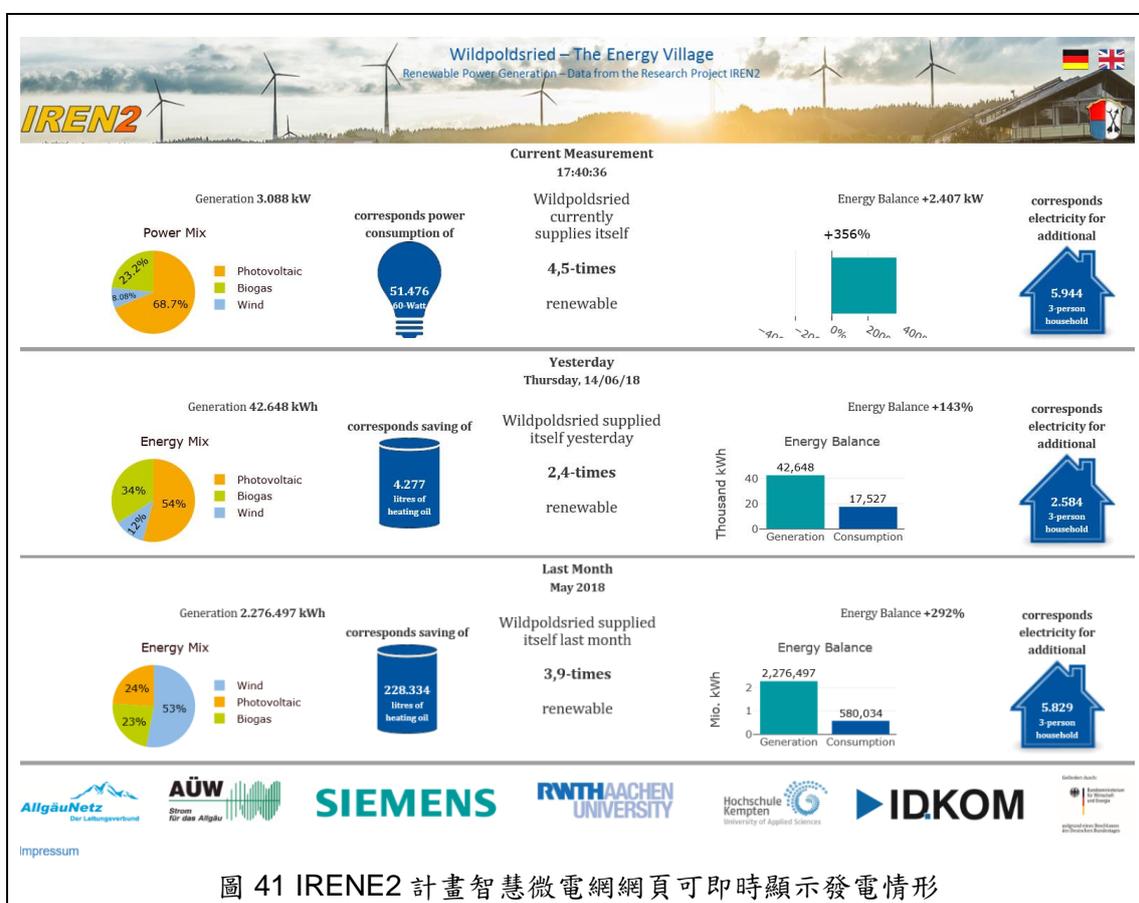


圖 41 IRENE2 計畫智慧微電網網頁可即時顯示發電情形

2000年德國再生能源法最初以FIT保證價格(每度電52歐分)收購太陽能發電20年，因此維爾德波爾茨里德市最初裝設的太陽光電仍有好的價錢(其中10歐分為國家稅收、6歐分為再生能源基金，但扣除後仍遠優於一般購買電價約28~30歐

分)；但其它類別再生能源發電價格逐年降低，且不同時期裝設的設備也適用不同的價錢。因此，維爾德波爾茨里德市會把價格優於購買電價的再生能源發電優先賣出，但價格不好的再生能源發電則儲存起來自己使用，也為德國家庭電池開闢新的市場商機。

由於電池的市場與電價息息相關，像德國售電價高，但再生能源收購價格逐漸降低，尤其是再生能源生產過剩之地方(如維爾德波爾茨里德市)，再生能源儲能電池就更會有市場，而在當地有家專門製造家戶型儲能電池的Sonnen公司。

Sonnen公司推展「Sonnen社區(Sonnen-community)」的概念，此概念係將參與此社區之太陽光電與電池，運用區塊鏈(blockchain)技術聯成網絡，若有過剩之太陽光電者可以比收購價更好的價格賣給社區，而需要電力者亦可以低於電力公司電價之價格從社區買電。副市長舉例說明：他家太陽光電發電量是使用量的4倍，在「Sonnen社區」的概念下，未裝設太陽能板的居民，可以加入Sonnen社區，然後以比一般電價便宜的「在地價」購電，而他也不會以12歐分價格「賤賣」給電力市場，Sonnen社區雙方都獲利，在地發電在地用電造福在地，也避免電力傳輸所需之電網投資與線路損失，而此概念可逐步擴大至區域電網或國家電網甚至整個歐洲電網。

目前維爾德波爾茨里德市實施多項計畫包括：從幼稚園開始教育孩子再生能源的理念，新建校舍則必須符合“能源自足型建築(Energy-plus-house)”，亦即發電量大於使用量的建築。此外，該市也提供再生能源相關技術(如電子、太陽光電、能源與儲能等技術如圖42)及生態教育中心(如圖43)，有來自30個國家、100多個國際團體來參訪，也獲得許多獎項

的肯定。



- Education of
 - electro-technics
 - energy-technics
 - pv-technics
 - storage-technics

- Fundamentals for:
 - small island solutions
 - small businesses

圖 42 維爾德波爾茨里德市提供再生能源相關技術教育



educations and trainings for communities, countries and universities ...



圖 43 維爾德波爾茨里德市生態教育中心(Ecological education centre)

三、sonnen GmbH

德國Sonnen電池公司是最近幾年崛起的創新公司，總部就在維爾德波爾茨里德市，公司願景與成立目的為：「每個人都能擁有乾淨又付得起的能源。」



圖44 總部位於維爾德波爾茨里德市的德國Sonnen電池公司

Sonnen電池公司的概念很簡單，使用太陽光電系統和Sonnen電池技術，一般家庭用戶使用乾淨的自產電能，約可滿足其年度80%的電力需求。因此，大部分電能來自自己屋頂的太陽光電，而不需要使用電力公司昂貴的電能。因此，在電價昂貴的德國，投資Sonnen電池可節省電費，且在短短的幾年內就可以收回成本，另外德國政府通過政策性銀行—德國復興信貸銀行(KfW)，在2013年5月對家用太陽光電電池儲能系統進行補貼，更促進儲能產業蓬勃發展與具潛力的廣大市場。復興銀行的政策在一定程度上推動了家用儲能系統的發展。

德國政府除了低息貸款之外，還有現金補助，額度為購買儲能設備售價的30%。按照太陽光電新裝機容量，最高為每千瓦600歐元；如果是在現有的太陽光電上安裝儲能升級，

補貼上限為每千瓦660歐元，現金補助並不實際發放，只是在償還貸款時可以抵消。截至2015年KfW資料顯示，2013年至2014年，德國太陽光電電池儲能系統裝機數量增加率超過50%，並在2015年4月達到1萬餘套。Sonnen公司的電池產品種類相當多元，可以滿足不同的用戶需求(如圖45)。



圖45 Sonnen電池產品種類相當多元以滿足不同的用戶需求

Sonnen公司電池模組雖委外製造，但最主要的是掌握了核心控制技術，太陽光電與儲能系統的整合控制技術及電池管理技術。



電池管理技術控制盤



太陽光電與儲能系統的整合控制技術

其產品 Sonnen 電池 (SonnenBatterie) 自 2011 年起投入生產，目前是德國最暢銷的電池儲存裝置，現已安裝在超過 3 萬個家庭中，為每個家庭提供自產、自儲與自用電力。Sonnen 電池在 2017 年全球市占率第一，約占 23% (如圖 46)。

sonnen.
Market leader for energy storage systems.

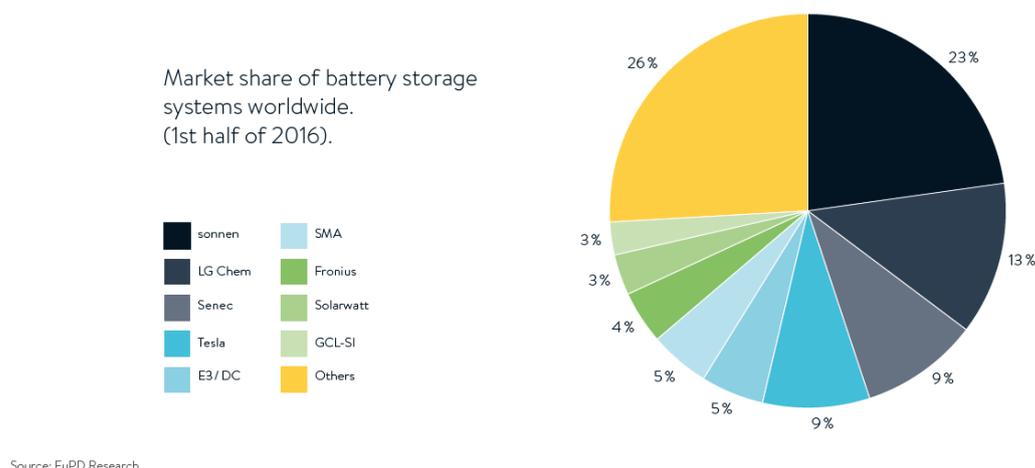


圖 46 Sonnen 電池在 2016 年全球市占率約 23%



Sonnen 電池 Eco



Sonnen 電池 Eco 顯示電能狀況

Sonnen 公司經由銷售儲能設備 (SonnenBatteries)，發掘與積累客戶與資料資源，奠定進入能源產業的基礎。此外，

Sonnen 公司更積極打造 C2C 分散式能源社區(Sonnen 社區, SonnenCommunity)平台，整合分散式發電、電池技術與物聯網平台，並創造出新的購買和銷售電力的商業模式。家庭用戶可以把自家多餘的太陽光電在平台上進行共用，並獲得一定收益(如圖 47)。

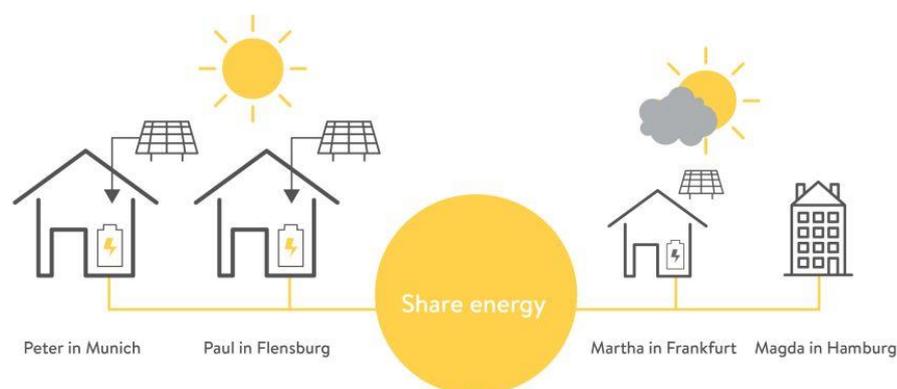


圖47 分散式能源社區(Sonnen社區, SonnenCommunity)

在德國約 2 萬個家庭用戶參加 Sonnen 社區專案，將自己家裡發電的用戶透過區塊鏈(Blockchain)技術概念連結，在此虛擬網路中，參與家庭用戶能以較低的成本，相互購買和出售多餘的電能。

SonnenFlatcity 是 Sonnen 發展戰略的另一創新商業服務模式，為一發電資源整合服務，計畫為德國 2,700 萬家庭用戶提供電力。因為德國大量再生能源主要集中在北部及海上風力發電場，距離實際用電地區距離較遠，所以會發生電力過剩的情況。

SonnenFlatcity 目標是整合過剩的電能，共用給數以萬計的家庭。SonnenFlatcity 終極目標是要讓家庭用戶免費享用 Sonnen 社區電力，而只需支付硬軟體平台費用即可，而 Sonnen 社區代表一個虛擬電廠(VPP)或虛擬電力池，並提供社區需要電力的用戶或輔助服務給能源公司。

四、西門子智慧電網管控系統

下斯特滕(Niederstetten)是德國巴登-符騰堡州的一個市鎮，因應德國能源轉型多元再生能源快速發展，因此下斯特滕是一個傳統電網成功的調適案例。由於愈來愈多的再生能源係經由下斯特滕變壓器變變站併入電網，該電網有兩條主幹線約87公里長，共有84座二次變電站，有時候會超過其負載容量。然而對Netze BW配電公司而言，採用昂貴成本來擴充配電網路非其最佳選項，如何運用成熟的智慧電網自動化軟體以提升現有電網能力，讓現有的電網具備自主調控能力，改善與優化電壓儲存及穩定性，而可節省投資布建中壓電纜線的成本，同時因應未來之需，成為當前重要課題。電網自動化解決方案希望達成下列的目標：

- 建置具備自我療癒(self-healing)功能之智慧自動化軟體，以打造自我療癒電網
- 提升改善電壓穩定性及優化
- 發展自動化二次變電站標準解決方案
- 可靠的故障管理降低系統平均停電時間(SAIDI)

因此Netze BW與西門子公司在下斯特滕進行電網現代化專案，建置與驗證電網自動化解決方案，建置目標係希望經由智慧自動化軟體與自動化技術，以智慧化量測技術與長距離控制有功電壓穩定性，以強化電網監視與故障管理。為達成此目的，選擇其中最重要節點的9座二次變電站，裝設能源自動化技術；另選擇5座終端饋線二次變電站，裝設電壓量測系統，量測資料可被監視與遠端無線傳輸來傳送。

此電網現代化專案最核心元件，就是安裝在變電站的分散式電網區域控制器(Regional Controller)，該控制器係以西門子SICAM能源自動化系統。該系統負責電網電壓控制與故

障管理並提供通訊連結，同時也扮演中央SCADA系統與現場智慧設備連結的角色，也提供分散式電網區域控制器在故障時，無須人工介入即可自動復原受影響區域的能力。同時會安裝二座中壓同相調節器(in-phase regulators)進行長距離電壓控制，電壓控制器將收到來自電網區域控制器的電壓改變狀態資料，該資料係以中壓電網分散式電壓量測為基礎。

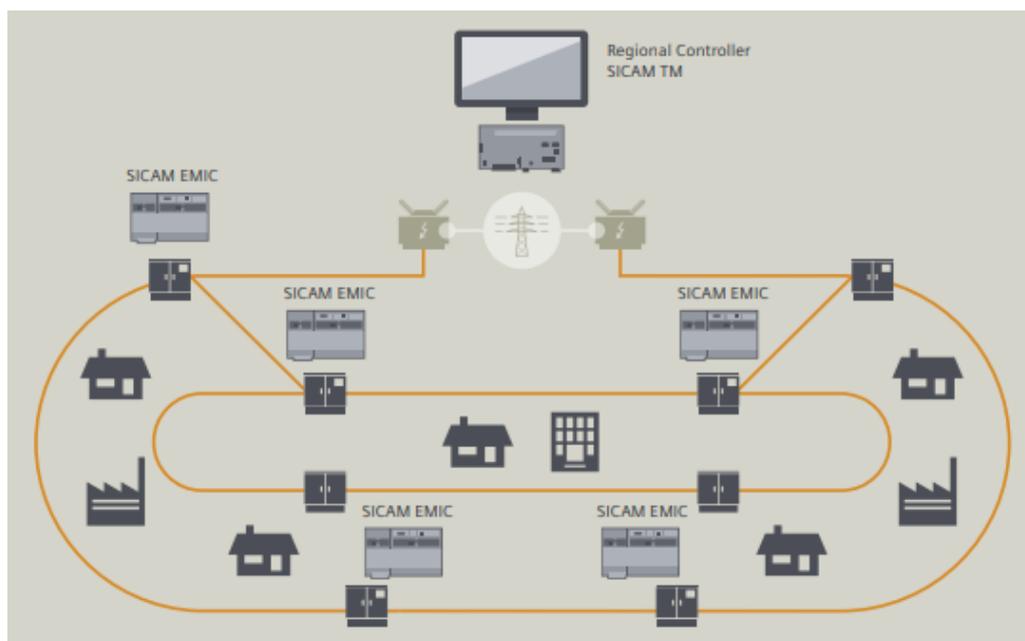
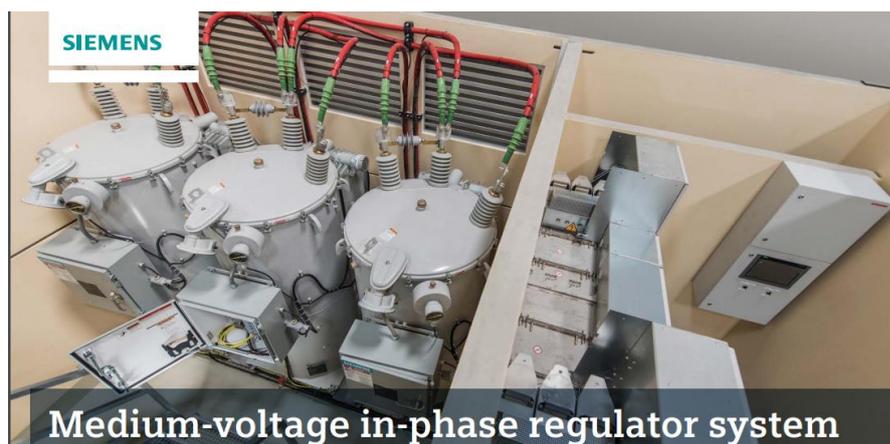


圖48 具備區域控制器自我療癒電網(self-healing grid)系統配置圖

Source :<https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/mam/tag-siemens-com/smdb/energy-management/energy-automation-and-smart-grid/referenzen/stedin,-rotterdam,-niederlande/stedin-referenzflyer-2016-en.pdf>



參訪下斯特滕(Niederstetten)裝設能源自動化技術二次變電站，建置具備自我療癒(self-healing)功能之智慧自動化軟體，以打造自我療癒電網。



西門子智慧自動化控制設備1



西門子智慧自動化控制設備2

另外參訪下斯特滕(Niederstetten)終端饋線二次變電站(如圖49)，該變電站裝設電壓量測系統，量測資料可被監視與使用遠端無線傳輸方式(RF mesh)來傳送。



圖49 下斯特滕(Niederstetten)終端饋線二次變電站

現場請教西門子專家自動化控制設備是否支援 IEC 61850，並有實際應用 IEC 61850 國際資通訊標準之案例，西門子表示 IEC 61850 是國際趨勢，因此其自動化控制設備也朝支援 IEC 61850 方向，但該專案並未實際應用 IEC 61850 國際資通訊標準，主要係因當地處於偏遠地區，布建光纖網路成本相當高，僅有之 RF Mesh 通訊網路，無法符合 IEC 61850 所要求之通訊效能需求，故尚未實際應用 IEC 61850 案例。西門子公司亦表示：目前西門子設備實際應用 IEC 61850 案例，大部分在有良好 AMI 基礎建設環境的美國。



RF Mesh 通訊網路



自動化設備通訊系統



自動化控制設備

西門子公司分享，要維持微電網正常運轉與區域配電網供電之穩定，如何監視與控制微電網將是相當大之挑戰，例如必須具備下列功能項目：

- 電網與其相關資產監視與控制
- 停電偵測、全黑啟動、自動化電網運作模式
- 自動啟動備援發電機
- 發電補償與平衡
- 負載預測與再生能源發電預測
- 備轉容量管理與符合調度要求
- 滿足尖峰需要
- 整合儲能系統與充電狀態管理

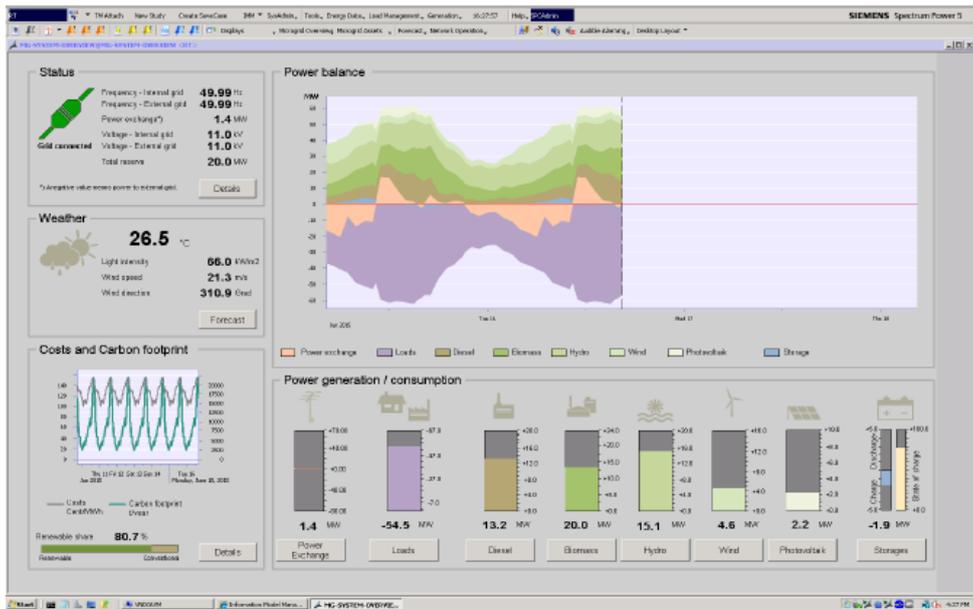


圖50 監視與控制微電網將是相當大之挑戰

五、Energy park Hirschaid

希爾沙伊德能源園區(**Energy park Hirschaid**)原為面積4,000平方米的舊廠房，基於節能和資源有效運用的綠色創新概念，轉型成為綠色的現代化會議中心，園區曾經獲得“2014年綠色建築獎”及“德國2015年能源效率獎(energy efficiency award 2015)”。



圖51 4,000平方米的舊廠房轉型成為綠色的現代化會議中心

希爾沙伊德能源園區是以綠色能源概念打造未來建築的典範，園區的目標是以整體建築創新概念，並結合園區內各部門的功能創新，以智慧化照明與運用在地化資源概念實現節能與永續理念，利用特定類型的燈具：天井燈(High/Low bay Light)、辦公室照明、筒燈與光流LED戶外聚光燈，充分運用舊廠房材料與在地資源(玻璃、木材、水井與地下水等)，既能節能又為會議中心營造出獨特的氛圍(如圖52)。運用在地化資源概念方面，例如:利用原有建築物結構，以在地木材裝飾或原有玻璃材料，保留原有舊建築但創造出新舊相當協

調的現代感。

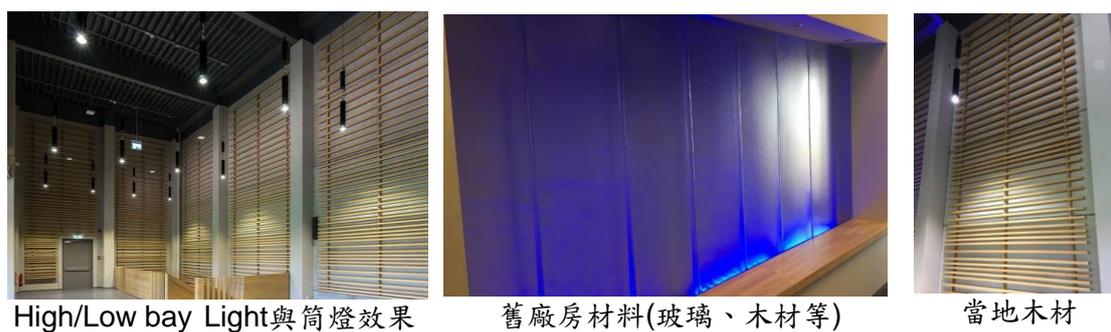


圖52 以智慧化照明理念與運用在地化資源概念實現節能

希爾沙伊德能源園區展示20多種在創新、永續性、區域性與獨特不同的能源科技包含：太陽光電(正面外型美觀的建築物、屋頂型、追日型與車棚等)、充電樁、薄膜技術屋頂設施、室外太陽能照明、小型風機、熱儲存系統(集熱水箱)、地下水熱泵、地下水製冷空調等主題(如圖53~54)。



圖53 希爾沙伊德能源園區展示創新、永續性、區域性與獨特不同的能源科技



圖54 希爾沙伊德能源園區展示二種不同造型的追日型太陽光電



圖55 希爾沙伊德能源園區創辦人Mr Frank Seuling與參訪團合影留念

六、斯圖加特機場 (Airport Stuttgart)

依巴黎國際氣候協議希望將溫室氣體引起的全球變暖限制在 2°C 以下，因機場運營的減碳排放將有助於氣候變遷。因此，斯圖加特機場體認到有責任進一步改善其碳足跡，並將其對環境的影響降至最低。斯圖加特機場正積極加速實現減碳，並有兩個減排目標：到2030年將溫室氣體排放量減少為1990年的50%；到2050年斯圖加特機場的運營將完全保持碳平衡(總釋放碳量為零)。



圖56 斯圖加特機場鳥覽圖

斯圖加特機場為實現2050年碳平衡的目標，規劃在未來30年內引入技術創新，包括：提高太陽光電能源生產效率、提高設施的能源效率、新建築及翻新建築以節省能源、系統化的能源管理、零排放交通(電動車隊)、更好的儲存設施增加能源儲備。

斯圖加特機場擁有2MW電廠，發電量14,000MWh，15,000平方米的太陽光電廠(2,200kWp)生產環保再生能源電力(2,400MWh)，另有緊急發電機9,480kW，斯圖加特機場

自己使用1/3電力，剩下2/3的電力則併入公共供電系統。

德國能源局與能源署建立一個先導計畫，用以展示公司如何經由提供需求端管理服務來支持能源轉型。主要目的是要分析電力市場情境與需求端管理機會，為工業界、聚合商、能源主管機關、電網公司及相關利害關係人營造需求端管理的網絡，透過公開透明的資料溝通平台，以及從市場運作過程中得到實務經驗，提升大量再生能源併網後電網之運轉安全與電力系統之穩定性。

斯圖加特機場為第一家在巴登-符騰堡州需求端管理(Demand Side Management)先導計畫下，推廣靈活具有彈性負載的公司。在該先導計畫的背景下，公司可因應電力系統的波動與要求，彈性調整其電力消費(負載)以獲得補償費，以協助平衡再生能源產生的間歇性波動的電力，提升電網系統更為安全與穩定。當然斯圖加特機場要打造成為德國最具可永續性機場之一，需求端管理變得非常有意義，也可將此最佳驗證所獲得之經驗與實務，推廣到其他機場應用。

斯圖加特機場應用需求端管理系統，根據電力系統的要求因應調整電力消耗，當發電量(供)和負載(需)大幅偏離時，斯圖加特機場會因應減少自己電力的需求，以提高電力系統的穩定性與安全保障。經由靈活有彈性的用電方式獲利，例如在電力市場上銷售平衡能源(Balance control、Balancing Markets)從中受益，輸配電公司利用平衡能源來補償發電與消耗之間的偏差。而在過去年代，係由大多數傳統發電廠來提供平衡能源之輔助服務。但在再生能源的擴展過程中，因為再生能源的間歇性與快速變動特性，這些平衡能源之輔助服務需更快速回應該特性，因此需要新資通訊技術與流程(如需求端管理)取而代之。

斯圖加特機場儲熱系統為80m³(約1.8MWh)，儲冰系統約3.3MWh，以及規劃完善的空調系統，將可提供靈活的空調系統作為平衡能源的方案，空調系統非常適合做需求端管理，因為它們可以在不對冷卻能力產生重大影響的情況下，暫時關閉以提供靈活彈性負載。從此專案中獲得的寶貴實踐經驗，將納入未來需求端管理政策擬訂參考、需求端管理系統進一步發展，並推廣至其他企業或公司實施。



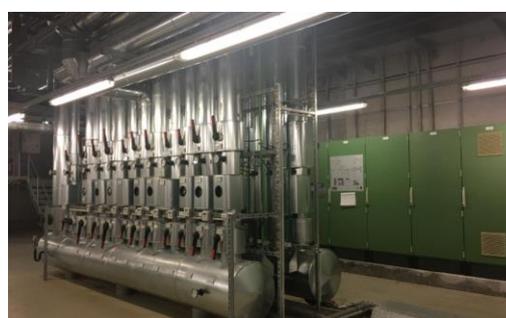
柴油發電機



柴油發電機電廠設備



空調系統冷熱交換設備1



空調系統冷熱交換設備2

斯圖加特機場的另一個特色是積極推動交通電氣化(Traffic Electrification)，到2018年斯圖加特機場已規劃設置共144個電動設備充電站，以供機場的電動客車、行李拖車、電池驅動貨車、貨物拖輪、傳送帶及堆高機等電動裝置使用。2018年也會完全採用幾乎無聲及零排放的電動客車搭載乘客，以及行李拖車來運輸行李。

所有尚未使用電池的車輛都使用合成柴油，與化石柴油相比，合成燃料可減少二氧化碳排放量約 70%，燃燒時排放的空氣污染物更少。



斯圖加特機場設置充電站規劃



斯圖加特機場充電站3種充電插頭樣式

斯圖加特機場充電站共提供3種不一樣規格的充電插頭，分別為AC Type 2、DC CHAdeMO、DC CCS，說明如下：

**AC Type 2 –
Conventional AC
Charging for Europe**



DC CHAdeMO



**DC CCS
(Combined Charging System)**



- **AC Type 2**：歐盟所選擇的充電插頭標準，歐洲大部分充電設施均設置有該種充電插頭，可安全快速充電，最高可達63kW充電，並具有負載管理與付款等智慧化特性。
- **DC CHAdeMO**：日本在2008年發展的充電插頭，係由日產(Nissan)與三菱(Mitsubishi)所主導發展，可在500VDC及125A快速充電，最高可達62.5kW充電。該充電插頭並非歐盟的標準，但因歐洲之前有許多日本製造的電動車，所以配置有該規格充電插頭。
- **DC CCS**：北美 DC 充電插頭標準，係北美市場依 SAE J1772 及 IEC 62196-3 規範所發展出來的充電插頭。

七、Juwi AG

Juwi 為再生能源領域全球領先的公司之一，提供包括太陽能與陸上風能的專案開發、工程總承包服務，以及能源轉型的相關產品與方案、運營管理和維護等多項相關服務。



圖57 Juwi主要業務服務項目

Juwi於1996年在萊茵蘭-普法爾茨成立，目前總部設在Wörrstadt，juwi集團在全球擁有約1,000名員工，並在各大洲設有專案與分支機構。迄今為止，juwi已經完成超過150個地點、約950個風能領域的風力發電廠，發電能力超過2,100兆瓦；在太陽光電領域，有超過1,600個太陽光電系統，總產量約為2,300兆瓦。這些發電廠每年總共發電約77億千瓦小時，相當於德國超過250萬戶家庭每年的電力需求，juwi在過去的20年投資總額約80億歐元。



Flatwater in Nebraska, USA / 60 MW (40 turbines)



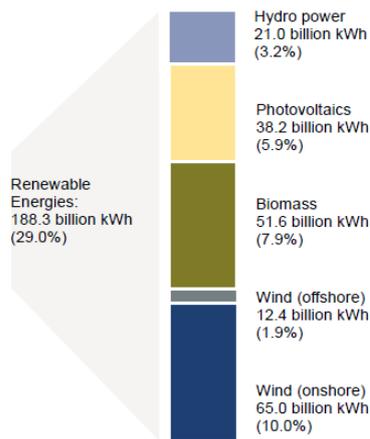
Kirchberg in Germany / 52.9 MW (23 turbines)



Guanacaste in Costa Rica / 49.5 MW (55 turbines)



Oberkochen in Germany / 9.6 MW (4 turbines)



- **Total capacity** : Around 4,400 megawatt (approx. 2,500 systems)
- **Our Vision** : 100% Renewable Energies
- **Our Impetus** : Passionately work together to implement renewable energies economically and reliably.
- **Projects** : Wind Energy 、 Solar Energy 、 on-grid / off-grid 、 Hybrid systems (wind / solar + storage)
- **Operations** : Technical & Commercial 、 Operations & Maintenance
- **Annual energy output** : Approx. 7.7 billion kilowatt-hours, corresponds to the annual power demand of more than 2.5 million households

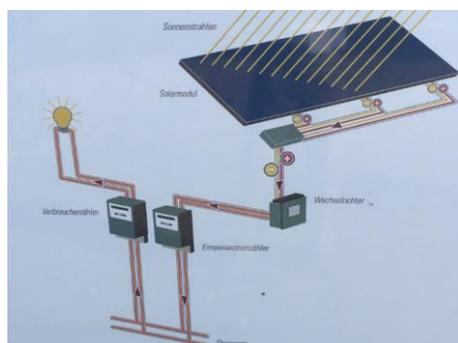
現場考察Juwi位於沃爾施塔特(Wörrstadt)的太陽光電場域，2008年秋季完成，裝置容量為5,593 KW，占地面積約55,360平方公尺。

| Kennzahlen zur Freiflächen-Photovoltaikanlage in Wörrstadt | |
|--|--|
| Leistung | 5.593 Kilowatt |
| Energieertrag | 5,6 Millionen kWh pro Jahr |
| Module | 76.890 First Solar Dünnschichtmodule |
| Modulfläche | 55.360 m ² |
| Unterkonstruktion | 1.590 Modultische der Schletter Leichtmetallbau GmbH |
| Wechselrichter | 7 Stück diverser Hersteller |
| Inbetriebnahme | Herbst 2008 |

圖58 Juwi位於沃爾施塔特(Wörrstadt) 5,593Kw太陽光電場域資料



當天下午約3點鐘沃爾施塔特(Wörrstadt)的太陽光電場域，現場儀錶板顯示實際發電量約2,840KW，總發電量為48,338.7 MWh，減排CO₂為9,112.5噸。



PV系統



實際發電量

另外現場考察Juwi位於沃爾施塔特(Wörrstadt)的風機場域，裝置容量為2,000 KW，風機高度138公尺，葉片轉子82公尺。從儀錶板顯示當時風速為3.8m/s、轉子轉速8.5rpm、發電量91 KW、已運轉65,626小時，總累計發電量34,830Mh。



| Kennzahlen zur Windenergie in Wörrstadt | |
|---|--|
| Leistung pro Anlage | 2.000 / 2.300 Kilowatt |
| Nabenhöhe | 138 Meter |
| Rotordurchmesser | 82 Meter |
| Rotordrehzahl | 6-19,5 Umdrehungen pro Minute |
| Gewicht eines Rotorblattes | ca. 8 Tonnen |
| Gewicht des Rotors (inkl. Blätter) | ca. 49,5 Tonnen |
| Gewicht der Gondel (ohne Rotor) | ca. 60 Tonnen |
| Gewicht des Turmes | ca. 1.700 Tonnen (93% Betonteil, 7% Stahlteil) |
| Größe des Fundamentes | 3,45 Meter tief / 22,30 Meter im Durchmesser |
| Gewicht des Fundamentes | ca. 1.800 Tonnen (davon ca. 50 Tonnen Stahl) |
| Beginn der Stromproduktion | ca. 2,5 Meter pro Sekunde (Windstärke 1-2) |
| Sturmabschaltung | ca. 3,5 Meter pro Sekunde (Windstärke 11-12) |
| Benutzungsstunden | ca. 8.000 Stunden pro Jahr über 97% |



Juwi分享其有關太陽光電經驗，太陽光電發電量與太陽輻射能量或照射量(Irradiation)成正比例之關係如圖59所示，例如：數據顯示當天空的照度為800 W/m²時，其發電量為8MW，但若瞬間天空的照度為200 W/m²時，其發電量僅剩下2MW，瞬間6MW發電量消失無蹤。

因此太陽光電發電量會隨太陽輻射能量起伏不定，會造成電網之不穩定，影響供電之安全與品質，必須要有因應措施，使太陽光電發電量能平滑化。

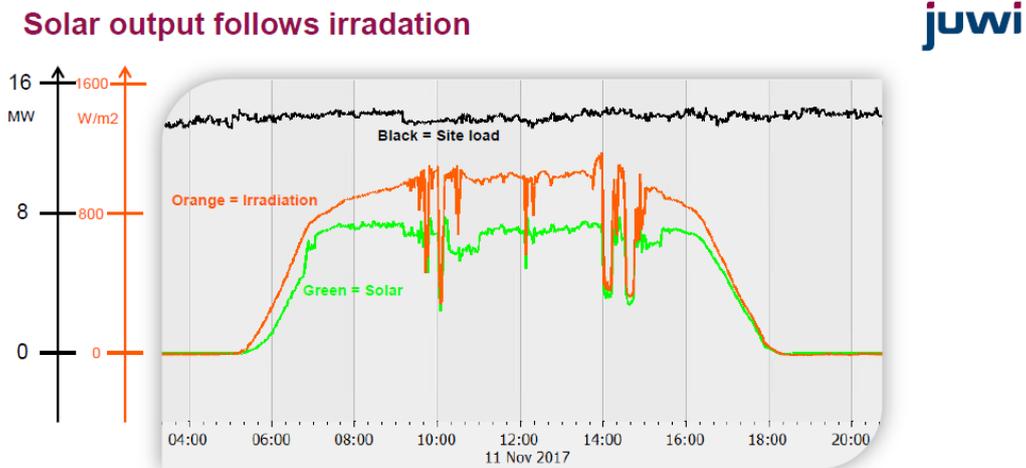


圖59 太陽光電發電量與輻射能量或照射量(Irradiation)成正比例之關係

依據BNEF資料顯示(如圖60)，鋰電池的價格逐年下降，從2010年為\$1,000/kWh逐年下降，降至2016年為\$273/kWh，而鋰電池快速充/放電的特性，正可彌補太陽光電發電量會隨太陽輻射能量起伏不定的缺點，可使太陽光電發電量能平滑化，以提升電網之穩定定，提高供電之安全與品質。

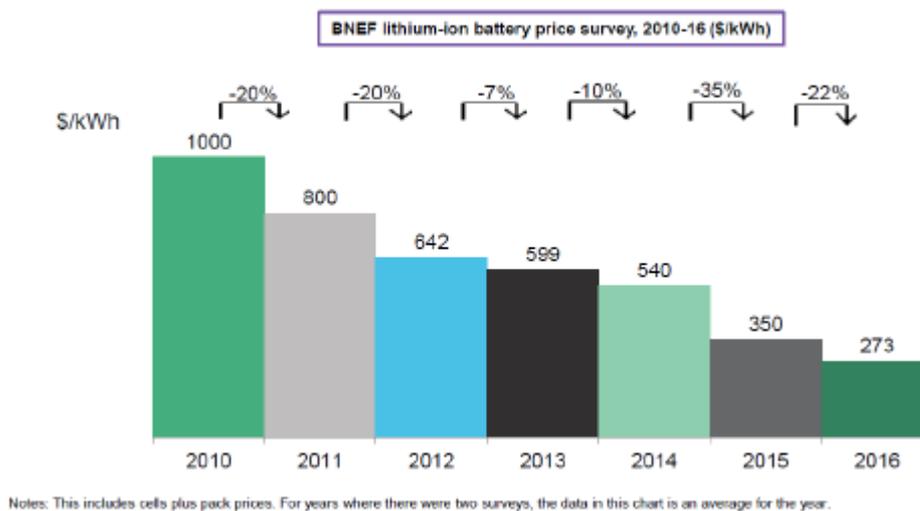


圖60 BNEF鋰電池的價格資料

鋰電池可使太陽光電發電量能平滑化，但如果要用鋰電池完全彌補隨太陽輻射能量起伏不定而喪失的太陽光電發電量，則必須裝置相當大容量的鋰電池，而且鋰電池放電後仍需要一定的時間來完成充電，才能再放電使用(如圖61)。

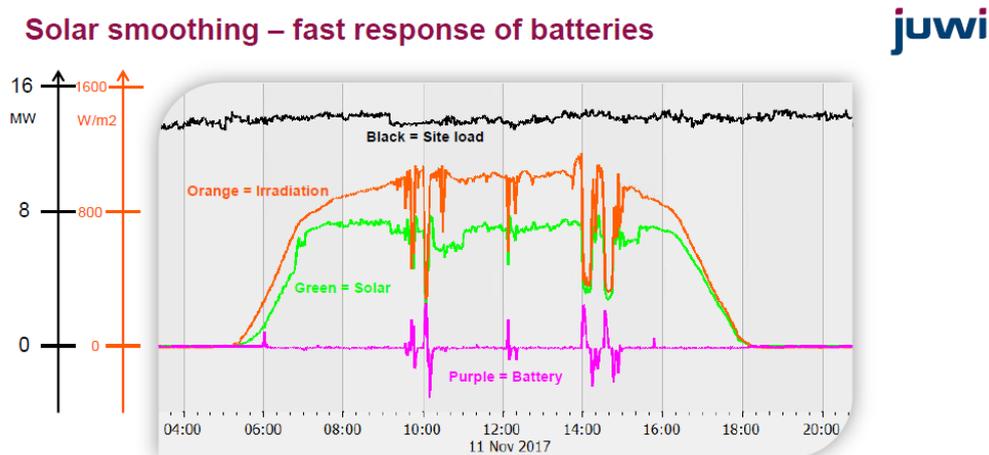


圖61 鋰電池可使太陽光電發電量能平滑化

為解決上述鋰電池放電後仍需要一定的時間來完成充電，才能再放電使用的問題，Juwi係採用柴油發電機來提供額外的熱機備轉容量，兩者可以相輔相成(如圖62)。

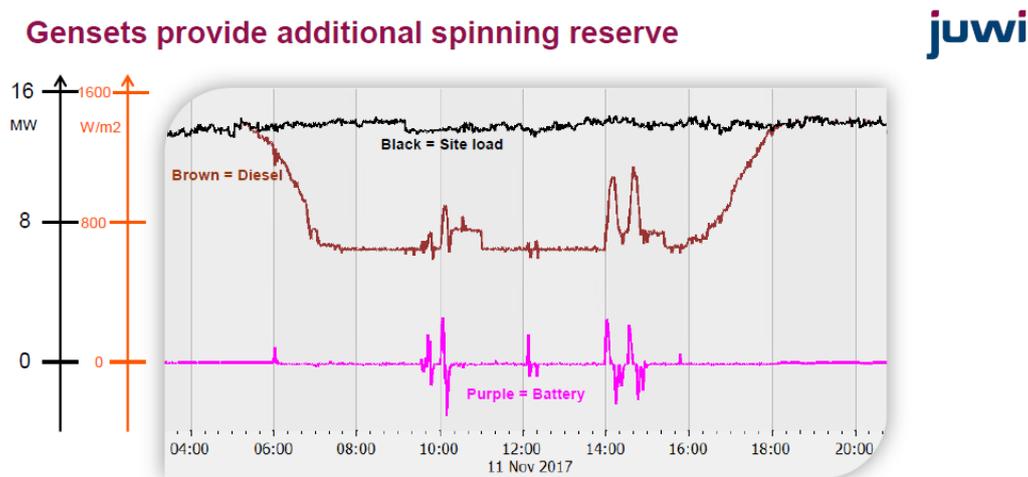


圖 62 Juwi 係採用柴油發電機來提供額外的熱機備轉容量

八、KIT儲能園區 (Karlsruhe Institute of Technology Power Storage Park)

卡爾斯魯爾理工學院(KIT)是德國巴登符登堡州的大學兼國家級的大型研究中心，係由原卡爾斯魯爾大學和原卡爾斯魯爾研究中心合併而成，擁有約9000名雇員及約25,000名學生，年度預算8.6億歐元。卡爾斯魯爾大學創建於1825年，是德國歷史最悠久的理工大學，卡爾斯魯爾研究中心前身則是德國的核物理研究中心，隨著德國逐漸退出核能應用領域，目前研究領域主要集中在核子物理、奈米技術、微系統、氣候、環境、新能源等方面面，屬於國家級的大型研究中心，隸屬於德國亥姆霍茲(Helmholtz)協會，雇員3,800人。



圖63 KIT 多元研究領域與分布地區

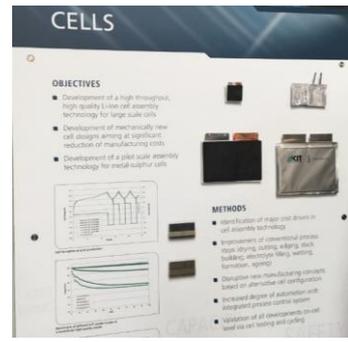
考察主題包括:新式電力儲存系統、智慧電力電子與控制系統、鋰電池研究實驗室(固定式與可攜式應用)等係隸屬在KIT儲能電池技術研究所，其研究內容包括：電池材料、電池、電極材料、電池模組、電池管理系統、再生能源整合調控、電池自動化生產與測試等(如圖64)。



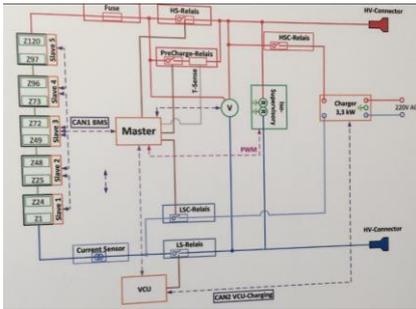
儲能電池技術研究所



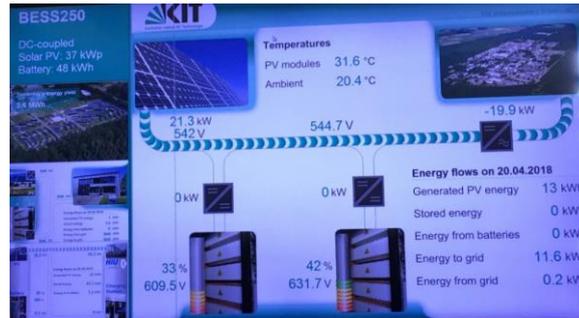
儲能電池材料



儲能電池



儲能電池管理系統(BMS)



太陽光電結合儲能系統整合調控研究

圖 64 KIT 儲能電池技術研究所研究內容說明

同時KIT將打造能源研究室(Energy Lab) 2.0，主要目的是要研究探索2050年未來能源系統現場相關元件間如何互動整合調控等。能源研究室(Energy Lab) 2.0場域將包括：太陽光電園區(1MW)、鋰電池儲能系統(1.3 MWh)、工廠網路(plant Network)、bioliq新技術先導工廠、智慧能源系統模擬及控制中心(Smart Energy System Simulation and Control Center, SEnSSiCC)、3個生活實驗室(Living Lab)如圖65。

能源研究室的生活實驗室(Living Lab)是一種致力於培養以用戶為中心的、以未來的科技創新模式和創新體制的全為導向的新研究開發環境；而能源研究室的核心則為智慧能源系統模擬及控制中心(如圖66)，該中心將收集能源系統中所有各式各樣的資料(如再生能源發電、天氣與溫度、日照、儲能系統狀態、電網設備及負載等)，進行大量高傳輸速度的資料儲存與大數據分析，以各種視覺化呈現，並進行即時模

擬與智慧調控各設備與元件。

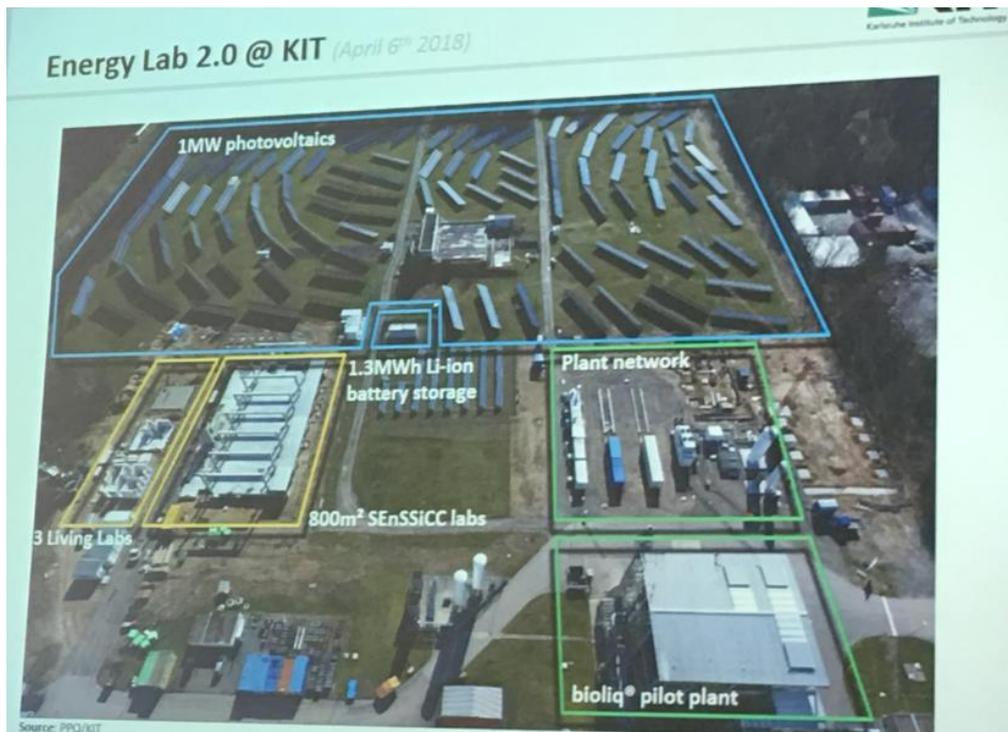


圖 65 KIT 能源實驗室(Energy Lab) 2.0 場域

Energy Lab 2.0 – Components in interaction

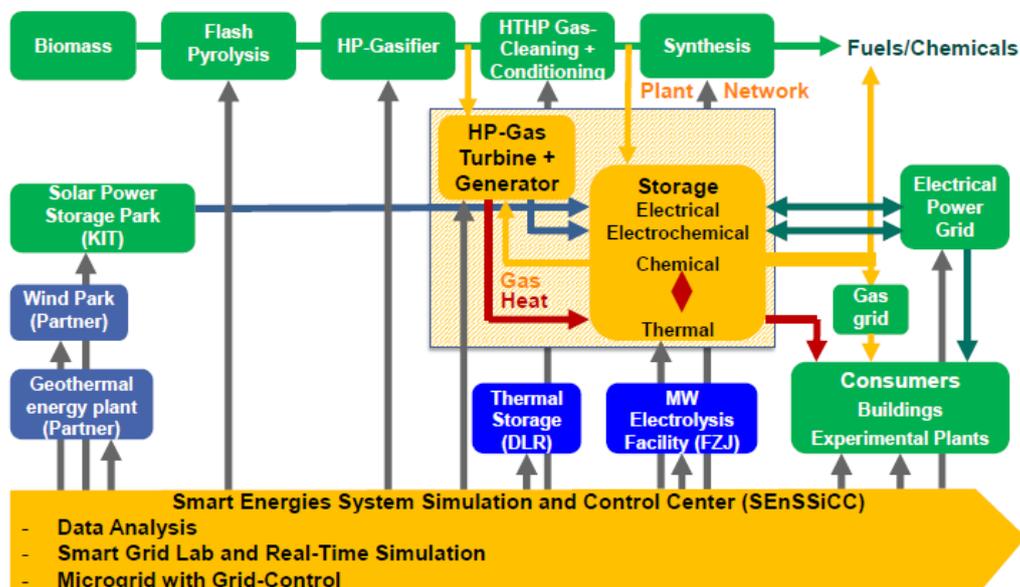


圖 66 KIT 能源實驗室智慧能源系統模擬及控制中心

卡爾斯魯爾理工學院太陽光電場域與其他太陽光電站有一點不一樣的地方，就是以不同之垂直角度與方向配置太陽光電板，俾能進行效能測試研究(如圖 67)。



圖 67 太陽光電場域以不同之垂直角度與方向配置進行測試研究

另外參觀德國卡爾斯魯爾理工學院發展出的 bioliq 新技術先導工廠(如圖 68)，利用廢棄生物質轉化成能量密集的中間(生物泥漿)，隨後轉換合成氣體和最終合成所需產物。目前可利用木材與草梗(麥草/芒草)生質材料生產生質燃料，生產成本是 1 公升約 0.56~1.04 歐元，成本不算太高。



圖 68 KIT Bioliq 先導工廠

全文結束

敬請指教