



## Reporting on dissemination activities carried out within the frame of the DESIRE project (WP8)

<b>Name, Affiliation</b>	Peter Ritter, EMD Deutschland
<b>E-mail</b>	pr@emd.dk
<b>Title of dissemination</b>	Flexible KWK-Anlagen können einen Teil der für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien erforderlichen Regelenergie abdecken (Flexible CHP plants can cover a share of the demand for regulating power in the further development of renewable energy)
<b>Type of activity</b>	Article in trade magazine
<b>Title of forum</b>	Sonne Wind und Wärme
<b>Language</b>	German
<b>Date of dissemination</b>	2007
<b>Place of dissemination</b>	Germany
<b>Brief abstract / description of dissemination activity</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Benefit of flexible CHP with thermal stores and DESIRE.</li><li>2. Article with 17700 letters 1 table and 7 figures .</li><li>3. Dissemination of the benefit of flexible CHP</li></ol>
<b>Audience impact assessment</b>	Not available yet
<b>Dissemination</b>	Included after this form

Peter Ritter, EMD Deutschland, Kassel

ü

Durch den geplanten weiteren Ausbau der Energieversorgung mit Erneuerbaren Energien (besonders Windenergie) besteht Bedarf an einer Flexibilisierung der Energieversorgung in Europa. Bisher besteht überwiegend die Auffassung, dass dies nur durch den Ausbau der Regelenergie reserven mit modernen großen Kraftwerken (z.B. Gasturbinen) und durch neue Speicherkraftwerke (z.B. Druckluftspeicher) realisiert werden könne. Im Rahmen des Europäischen Demonstrationsprojekts DESIRE (Dissemination strategy on Electricity balancing for large-Scale Integration of Renewable Energy [www.projekt-desire.org](http://www.projekt-desire.org)) mit Projektpartner aus Dänemark, Deutschland, Großbritannien, Spanien, Polen und Estland wurde aufgezeigt, dass es andere Möglichkeiten und Technologien für den Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch gibt, die gleichzeitig die Energieeffizienz erhöhen und den CO<sub>2</sub> – Ausstoß reduzieren. Einen besonderen Stellenwert erhalten dabei flexible Kraftwärmekopplungs-Anlagen (KWK) mit kurzen Anfahrzeiten und geringen Startkosten in Verbindung mit großen Wärmespeichern. Daher stellen die KWK-Anlagen mit Wärmespeichern neben ihren hohen Energienutzungsgraden eine optimale Ergänzung zu dem Ausbau der Erneuerbaren Energien dar.

Gleichzeitig zeigt sich, dass innerhalb der bestehenden Strukturen des Liberalisierten Strommarkts mit Strombörsen und Regelenergiemärkten auch die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen durch den Einsatz von den Wärmespeichern auch in Deutschland erheblich gesteigert werden kann.

Im Rahmen des Projekts DESIRE wurden an konkreten KWK-Beispielen in Dänemark, Deutschland und Großbritannien die Möglichkeiten für einen wirtschaftlicheren Betrieb aufgezeigt. Dazu wurden die Beispiele mit allen Randbedingungen mit der Software EnergyPro von EMD International A/S nachgebildet und die wirtschaftlichste Größe der Wärmespeicher ermittelt. Weiterhin wurde für den optimalen Betrieb von KWK-Anlagen mit Wärmespeicher im liberalisierten Strommarkt in dem Projekt das Softwaretool EnergyTRADE entwickelt. An zwei der dänischen KWK-Kraftwerke wird EnergyTRADE bereits erfolgreich eingesetzt.

In einem weiteren Schritt des Projekts wurde analysiert, inwiefern durch die Teilnahme der KWK-Anlagen an den anderen Strommärkten, wie dem Regelenergiemarkt (z. B. Minutenreserve) und dem Intraday-Markt eine zusätzliche Gewinnsteigerung möglich ist.

Abgabe für das  
EMD

Derzeit spielt die Windenergie in Europa aufgrund seiner geringen Erzeugungskosten die größte Rolle unter den erneuerbaren Energien und soll daher weiterhin umfangreich ausgebaut werden. Die Windenergieeinspeisung hat jedoch den großen Nachteil, dass die Einspeisung entsprechend dem Windangebot variiert und sich nicht mit den Schwankungen der Stromverbraucher deckt (siehe Abb. 1 blaues Band). Dabei können die Lastprofile (oberste Linie Abb. 1) der Verbraucher unter Berücksichtigung der üblichen Temperaturschwankungen über das Jahr, den Feiertagen und Wochenabläufen gut prognostiziert werden. Die Stromerzeugung aus Wind ist jedoch nur ab ca. 48 Stunden im Vorfeld gut prognostizierbar und wird immer besser je kürzer der Vorhersagedauer wird. Dies hat zur Folge, dass bei Windstille Kraftwerksreserven zur Verfügung stehen müssen die den Verbrauch dann abdecken, aber bei windstarken Zeiten nicht benötigt werden. Derzeit ist der Anteil an Windenergie in Deutschland noch gering und zusätzliche Regelreserven wurden nicht benötigt, da die Schwankungen der Verbraucher über den Wochenablauf

überwiegen.(siehe Abb. 1) und Reserven für einen Großkraftwerksausfall vorgehalten werden müssen. Der Aufruf der Reserven hat jedoch durch die Windenergienutzung zugenommen. Bei dem geplanten weiteren Ausbau, ähnlich wie in Dänemark, wo der Stromverbrauch durch die Windenergie zeitweise mit über 100 % abgedeckt wird, werden neue Anforderungen an das Versorgungssystem gestellt. Entgegen der verbreiteten Auffassung, dass diese Probleme nur mit neuen Reservekraftwerken und Speicherkraftwerken gelöst werden können, wurden die Energieversorgung in Dänemark mit einen Anteil von über 50% aus KWK-Anlagen mit Hilfe der Marktinstrumente Strombörse und Regelenenergiemarkt flexibilisiert.

#### Sind Risiken für die Strom

Die Flexibilisierung der Energieversorgung wurde in Dänemark dadurch erreicht, dass die Wind- und KWK-Anlagenbetreiber ihren Strom an der Strombörse verkaufen. Windenergieanlagen bieten einen Tag im Voraus mit prognostizierten Energiemengen ihren Strom für 0 €/MWh an der Strombörse an und erhalten den an der Strombörse ermittelten Preis. Dadurch beeinflussen die Windenergieanlagen in DK im Gegensatz zu Deutschland den Preis an der Strombörse erheblich. Dies kann dazu führen, dass der Preis sogar bis auf 0 € fällt. Da die KWK-Anlagen, bedingt durch die Treibstoff- und Betriebskosten, ihren Strom nicht so billig wie Windenergieanlagen anbieten, schützt so die Strombörse zum einen vor Übereinspeisung ins Stromnetz und zum anderen wird der KWK-Betreiber seine Energie nur zu Hochpreiszeiten einspeisen, also genau dann wenn der Energiebedarf besteht. Die Strombörse bewährt sich dort als Indikator, wieviel Energie aus Windenergie ins Netz eingespeist und wieviel Energie benötigt wird. So kann Sie als Marktinstrument für die optimale Ausbalancierung des Angebot und der Nachfrage des Stroms bei gleichzeitiger Einspeisung großer Anteile von Erneuerbaren Energien verwendet werden. Leider ist die Strombörse nicht vor Missbrauch geschützt und durch die bestehenden Rahmenbedingungen wie Treibstoffpreise und zu niedrigen Preise für die CO<sub>2</sub>-Zertifikate, können die Strompreise dauerhaft an der Börse unter den Grenzpreis der KWK-Anlagen fallen, wodurch diese dann den Wärmebedarf günstiger mit dem Kessel abdecken müssen. Im Vergleich besteht in Deutschland derzeit nur ein geringerer Zusammenhang zwischen der Energieeinspeisung aus Erneuerbaren Energien und dem Strompreis an der Strombörse (siehe Abb. 2), da die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB: EnBW Transportnetze AG, E.ON Netz GmbH, RWE Transportnetz Strom GmbH, Vattenfall Europe Transmission GmbH) die Energie aus erneuerbaren Energien, die nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG) vergütet werden, zu einem Tagesband (konstanter Betrag für 24h) veredeln. Der zu erwartende Anteil der Windenergie wird dabei von den ÜNB mit Hilfe des Prognosemodells vom Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V. (ISET) zu festen Uhrzeiten bis zu 48 Stunden im Voraus berechnet. Die Beschaffung und Verkauf der Strommengen zur Veredlung der Energie aus den EEG-Anlagen ist derzeit sehr undurchsichtig und wird überwiegend über bilaterale Verträge abgedeckt. Aufgrund des Tagesbands sind in Deutschland die Strompreise an der Börse im Tagesverlauf nur geringfügig von der Einspeisung durch Erneuerbaren Energien abhängig und sind im Wesentlichen von der Nachfrage geprägt.

Jedoch für eine Flexibilisierung der Energieversorgung zu Gunsten der Einspeisung großer Anteile aus Erneuerbaren Energien mit höherer Energieeffizienz und weniger Kraftwerksreserven zum Ausgleich des schwankenden Stromangebots ist ein Indikator wie der Strompreis für die Einspeisung aus Erneuerbaren Energien notwendig, um dynamische Anreize entsprechend dem Angebot und der Nachfrage für die die Marktteilnehmer zu geben. So lassen sich das Angebot und die Nachfrage an Strom besser aufeinander abstimmen und neue Technologien zur Ausbalancierung können sich entwickeln. Eine weiterer richtiger Schritt zur Flexibilisierung des Strommarkts in Deutschland ist der seit September 2006 eingeführte Intraday-Stromhandel in dem Energiemengen derzeit 75 Minuten und später 45 Minuten vor der Lieferung über die Strombörse EEX gehandelt

werden können. Durch den Intraday-Markt kann der Bedarf an Regelenergie für die Windenergieeinspeisung weiter reduziert werden, da der Prognosefehler der Windenergieprognose bei kürzerer Vorhersagedauer wesentlich abnimmt und dann die Energiemengen auf dem Intraday-Markt beschafft bzw. verkauft werden können.

#### **NBWK - Ab**

Viele KWK-Anlagen werden in Deutschland neben den je nach Alter, Typ und Größe festgelegten Zuschlägen mit dem an der Strombörse quartalsweise ermittelten „üblichen“ Preis vergütet (siehe Abb. 3 rote Linie). Wird der übliche Preis mit den Preisen an der Strombörse verglichen (siehe Abb. 3, blaue Linie) zeigt sich für KWK-Anlagen, die nicht permanent betrieben werden, welcher zusätzliche Gewinn erwirtschaftet werden kann, wenn sie nur zu Zeiten mit hohen Strompreisen an der Strombörse ins Stromnetz einspeisen. So wäre zum Beispiel im 1. Quartal 2006 gegenüber dem üblichen Preis eine Ertragssteigerung von 22% für eine KWK-Anlage mit 65% Auslastungsdauer möglich gewesen (siehe Abb. 3, gestrichelte Linie).

Die entscheidende Größe bei KWK-Anlagen für die optimale Vermarktung an der Strombörse ist der Grenzpreis, der für jede KWK-Anlage individuell zu ermitteln ist. Dieser gibt an für welchen Preis der Strom an der Strombörse verkauft werden muss, damit es billiger ist den Wärmebedarf mit der KWK-Anlage gegenüber dem Kessel zu erzeugen. Dazu werden der thermische und elektrische Wirkungsgrad, alle zusätzlichen Kosten, Einnahmen und Vergünstigungen der KWK-Anlage gegenüber dem Kessel berücksichtigt. Der Grenzpreis berechnet sich für die MWh elektrisch erzeugten Strom aus dem KWK-Bonus, der Steuerersparnis bei Gas und Strom sowie den vermiedenen Netznutungsgebühren die den KWK-Anlagen wegen ihrer dezentralen Einspeisung gutgeschrieben werden (siehe Tabelle 1). Bei der Vermarktung des KWK-Stroms an der Strombörse gibt es dann auch Zeiträume, in denen der Betrieb inkl. Brennstoffeinkauf teurer ist als der Erlös aus Strom- und Wärmeverkauf. Ist dann in dem Wärmespeicher keine Energie mehr zur Verfügung, dann ist es wirtschaftlicher die benötigte Wärme mit Kesseln zu erzeugen. Für Dänemark wurde in DESIRE für diese Fälle bei niedrigen Strompreisen weiterführend untersucht, inwiefern Wärmepumpen als Ergänzung zu den KWK-Anlagen die Wärmeerzeugung übernehmen können. So wird das KWK-Kraftwerk noch flexibler und kann neben der Stromerzeugung auch Strom verbrauchen.

Um den Strom flexibel nur zu Zeiten mit hohen Strompreisen in das Netz einspeisen zu können, aber dennoch den Wärmebedarf abdecken zu können, werden die KWK-Anlagen mit großen Wärmespeichern ausgerüstet. Die wirtschaftlichste Größe des Wärmespeichers ist individuell z.B. mit der Software EnergyPRO von EMD International A/S zu ermitteln, liegt aber üblicherweise in der Größenordnung von 6-8 Stunden Wärmespeicherung des normalen Wärmebedarfs. Die Software ermittelt auf Basis von Zeitreihen unter Berücksichtigung der Spotmarkt Preise, des Wärmebedarfs, des Grenzpreis und verschiedenen Anlagensteuerungsstrategie die wirtschaftlichste Speicherkapazität des Wärmespeichers der KWK-Anlage. Für den optimalen Betrieb sind zusätzliche Softwaretools wie EnergyTrade (EMD) notwendig, die unter Berücksichtigung der aktuellen Betriebszustände wie Verfügbarkeit der Anlage, Wärmehalt des Speichers, zu erwartendem Wärmebedarf und prognostiziertem Strompreis vorausschauend für eine Woche die Zeiten und Strommenge für die Angebotsabgabe an der Strombörse ermittelt (siehe Abb.4).

Da KWK-Anlagen meist zu klein sind, um den organisatorischen Aufwand und die Bedingungen für den Handel an der Strombörse zu erfüllen, müssen mehrere Anlagen gebündelt werden. Durch das Bündeln (Pooling) von mehreren Kraftwerken zu „virtuellen“ Kraftwerken können die Voraussetzungen für diese neue Betriebsstrategie für KWK-Anlagen

erfüllt werden (siehe Abb.5). Je nach Größe der Anlagen sind noch elektronische System notwendig, die ein Monitoring und eine Fernbedienbarkeit ermöglichen.

In Dänemark werden im Rahmen von DESIRE das Pooling und der Handel mit Hilfe von EnergyTrade bereits durchgeführt und zeigt sehr gute Erfolge. Der Betrieb kann online im Internet unter [www.emd.dk/desire/skagen](http://www.emd.dk/desire/skagen) und [www.emd.dk/desire/hvidesande](http://www.emd.dk/desire/hvidesande) verfolgt werden (Siehe Abb. 6 und 7). Um die Wirtschaftlichkeit der KWK-Anlagen noch weiterhin zu steigern, werden die Anlagen zusätzlich künftig noch Regelenergie an dem Intraday Markt anbieten. Zeitlich liegt die Angebotsrückmeldung von der Strombörse soweit im Voraus, dass danach noch Energie auf dem Intraday Markt angeboten werden kann. Nach der Rückmeldung ob der Betreiber an der Strombörse gewonnen hat oder nicht, kann er dann entsprechend negative Energiemengen (Einschalten der Anlage) oder positive Energiemengen (Abschalten der Anlage) anbieten.

Eine weitere Einnahmequelle für KWK-Anlagen, die z.B. im Sommer aufgrund des geringen Wärmebedarfs nicht benötigt werden, ist der Regelenergiemarkt mit der Minutenreserve. KWK-Anlagen, die Innerhalb von 15 Minuten für mindestens 4 Stunden betrieben werden können dort Ihre Leistungsreserve vermarkten. Um Minutenreserve anbieten zu können müssen jedoch mehrere KWK Anlagen gebündelt (min. 15MW) werden und über einen zugelassenen Händler täglich angeboten werden Auch hierfür ist eine Bündelung und ein Händler notwendig. Bisher ist in Deutschland der Arbeitspreis für die Minutenreserve so teuer, dass die verantwortlichen ÜNB lieber auf die Sekundäre Regelenergie zurückgreife. Dadurch ist der Abruf der Minutenreserve sehr selten und die Anlagen können nur durch ihre Präsenz zusätzliche Einnahmen generieren.

#### Fa

KWK Anlagen werden durch die Installation von Wärmespeicher flexibler und können die variierende Einspeisung der Erneuerbaren Energien mit ausgleichen. Daher ergänzen sich flexible KWK Anlagen geradezu mit den Erneuerbaren Energien und reduzieren den Regelenergiebedarf. In Dänemark mit hohen Anteilen an Einspeisungen von KWK und Windenergieanlagen wird dies bereits praktiziert. Um die Vorteile der flexiblen KWK-Anlagen zu fördern müssen diese in den Strommarkt integriert werden. Eine Integration kann wie in Dänemark über die Strombörse erfolgen. Der Strompreis arbeitet als Marktinstrument, das neben der Stromnachfrage auch die Einspeisung der Erneuerbaren Energien wieder gibt. Da der umfangreiche Ausbau sowohl der Erneuerbaren Energien als auch der KWK politisch umgesetzt werden soll und in Deutschland bis 2020 rund 40 GW neue Kraftwerke benötigt werden, ist es derzeit der richtige Moment die KWK auch gleich „flexibel“ auszubauen.

Welche Potentiale sich in Deutschland zu den flexiblen KWK-Anlagen ergeben und wie viel an Regelenergiebedarf eingespart werden kann, ist noch genauer zu ermitteln. Bisher erfolgte der Ausbau der KWK nicht wie politisch geplant. Gründe liegen in verschiedenen Hemmnissen und Risiken bei der Investition in die KWK. Um einen ähnlichen Erfolg wie bei den Erneuerbaren Energien zu erreichen, sind Gesetze, Fördermodelle und Richtlinien zu erarbeiten, die den Betrieb und die Investitionen von KWK-Anlagen langfristig absichern. Darüber hinaus sind mit Hinblick auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien Anreize für die Investition in Wärmespeicher zu geben. Gegen flexiblen KWK Derzeit widerspricht jedoch der geforderte Nutzungsgrad von über 70% für Anlagen bis 2MW für die Gassteuererstattung der Flexibilisierung der KWK-Anlagen und sollte daher aufgehoben werden.

Auf Basis unserer Untersuchungen verschiedener KWK-Anlagen in Deutschland sind große Wärmespeicher bei Vermarktung des Stroms an der Strombörse wirtschaftlich zu betreiben. Das Projekt DESIRE zeigt die Notwendigkeit der Flexibilisierung der Stromerzeugung und des Stromsverbrauchs auf und hat den Anspruch die Umsetzung Anzustoßen bzw. weiter voran zu treiben

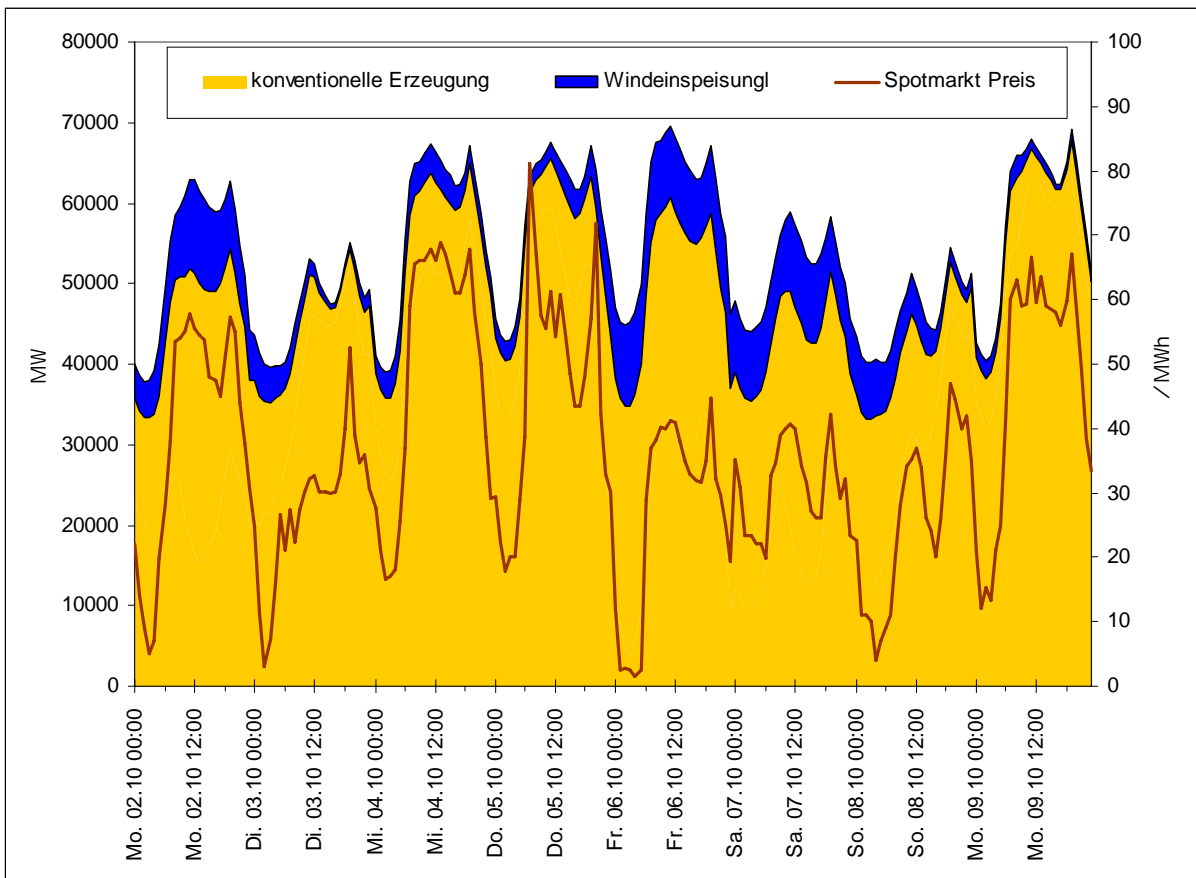


Abb. 1: Beispiel Windeinspeisung und konventionelle Erzeugung sowie Spotmarkt-Preis Anfang Nov. 2006

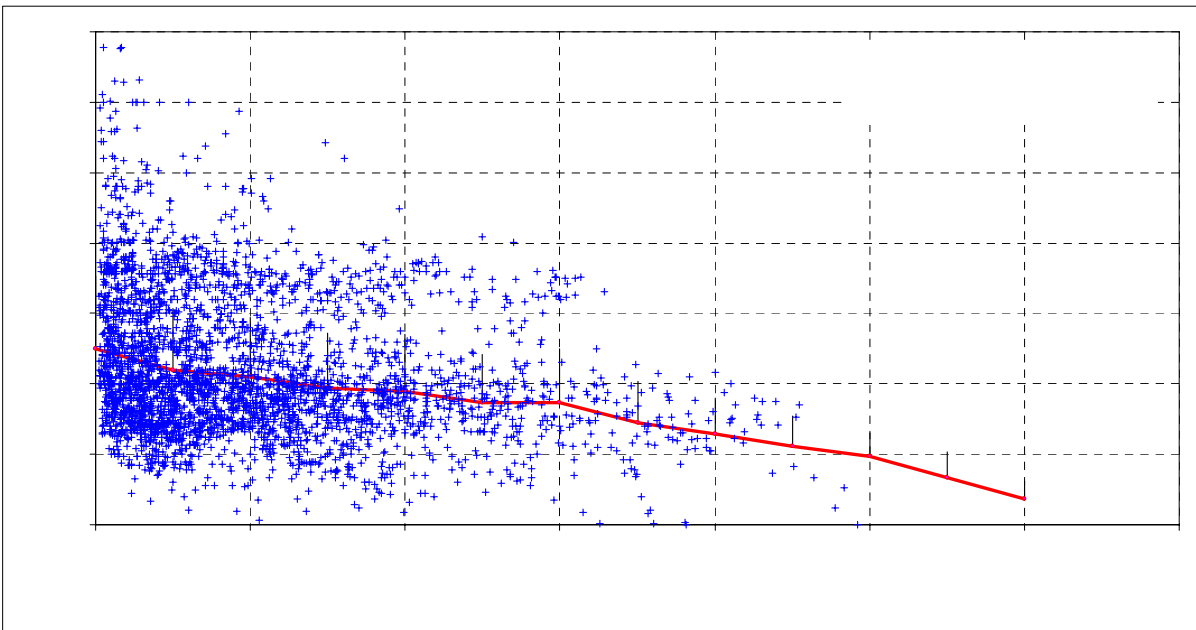
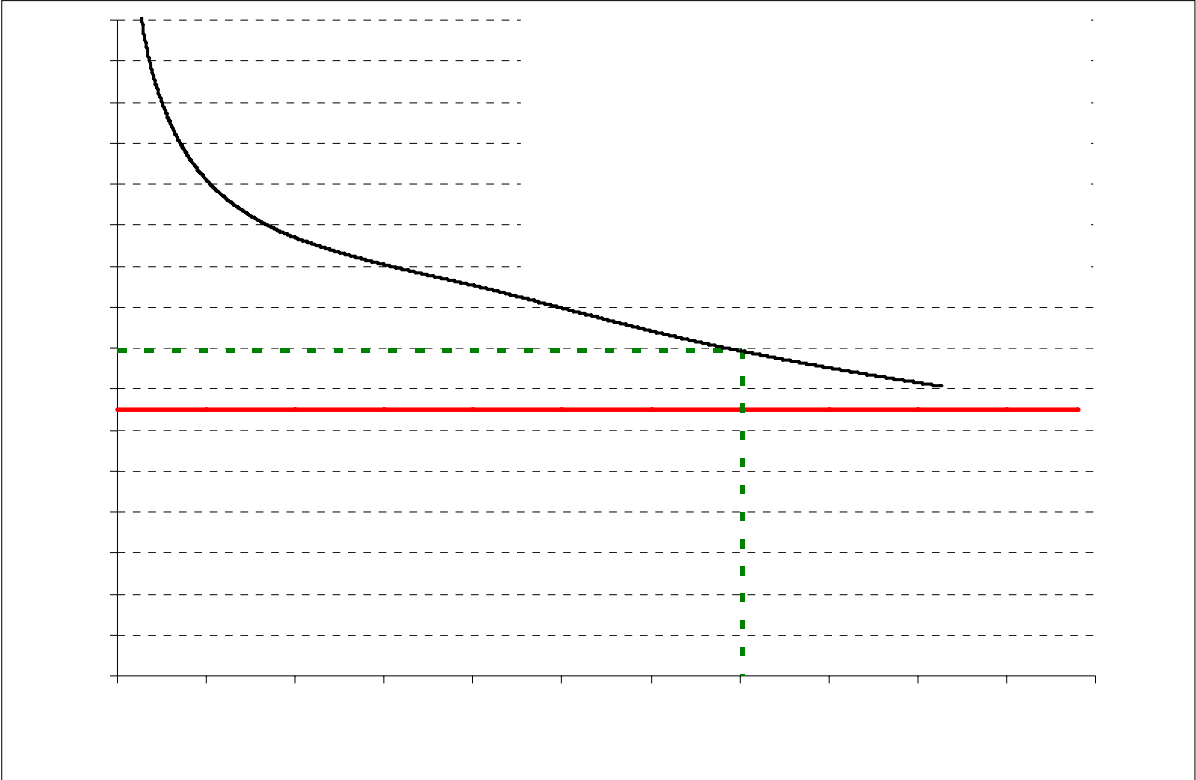


Abb. 2: Spotmarkt Preis in Abhängigkeit des Anteils Windenergieeinspeisung zum Stromverbrauch in 2006 für alle Tage an denen ein Tag im Voraus ein Handel stattgefunden hat (Di.- Sa.).



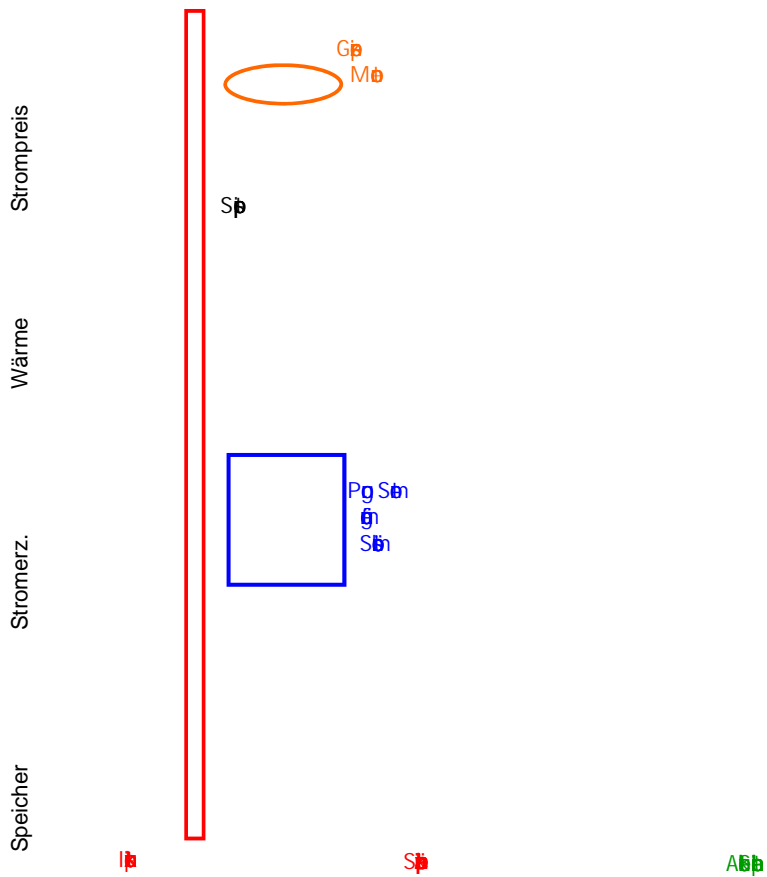


Abb. 4. Bestimmung der Energiemengen für die Angebotsabgabe an der Strombörse für den Folgetag bei optimalem Betrieb und Speicherausnutzung der Anlage mit Hilfe einer 7 Tage Betriebsprognose.

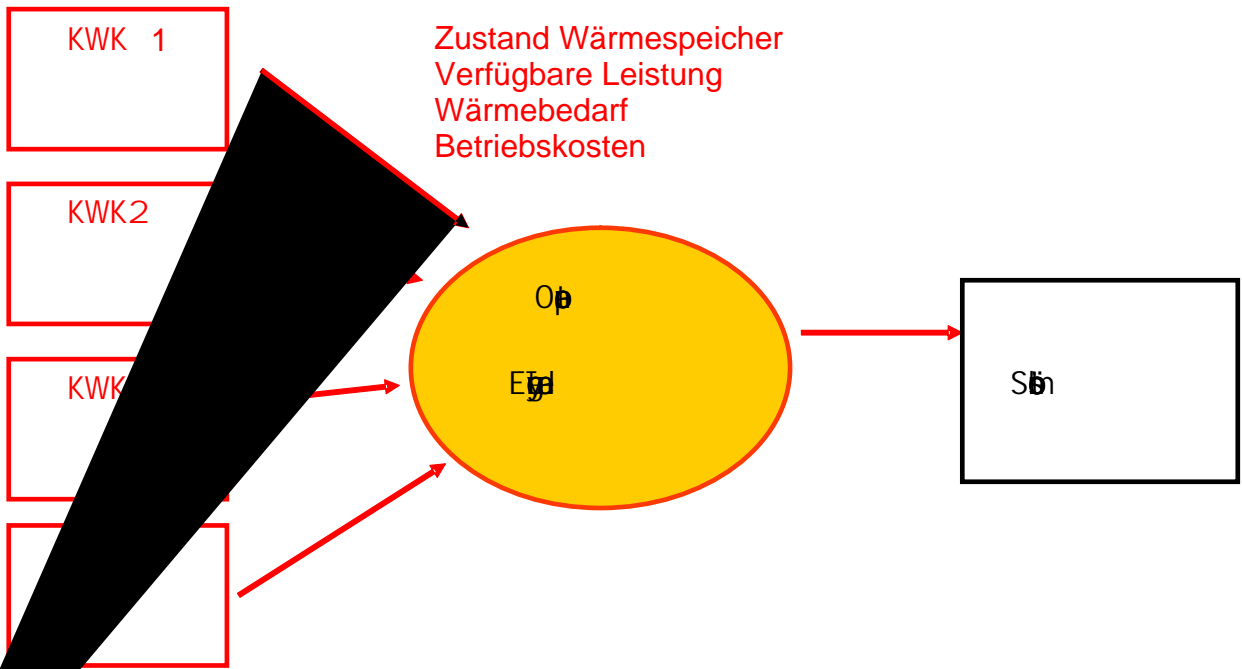


Abb. 5 Pooling und Betrieb von KWK-Anlagen mit großem Wärmespeicher



Abb. 6 Online Darstellung KWK-Anlage Skagen DK

Abb. 7 Online Darstellung KWK-Anlage Skagen DK, Grafiken Speicher und einzelne BHKW über 7 Tage

Maß	K	B
KWK-Bonus /€/MWh <sub>e</sub>	-12,3€/MWh <sub>e</sub>	0-22,5€/MWh <sub>e</sub> je nach Alter und Größe, Bsp. < 2MWe und älter 2002
Gaskosten für 1MWh <sub>e</sub> (entspricht 2,86 MWh Gas, Gaspreis 28€/MWh)	80,0 €/MWh	2006 (ohne Gassteuer wenn <70% Nutzungsgrad
Stromsteuererstattung dezentrale Versorgung	- 12,3 €/MWh <sub>e</sub>	f. Großverbraucher

Vermiedene Netznutzung	- 3,0 €/MWh <sub>e</sub>	20kV Mittelspannungsebene
Zusätzl. Betriebs und Wartungskosten	7,0 €/MWh <sub>e</sub>	
Kosten für Handel an der Strombörse	0,5 €/MWh <sub>e</sub>	z.B. Südwestdeutsche Stromhandelsgesellschaft
Überschüssige CO2-Zertifikate	0	Erst ab 20 MW Feuerungsleistung
Wärmeerzeugungskosten für 1,34MWh <sub>th</sub> und 1 MWh <sub>e</sub> ohne Erlös durch Vermarktung:	59,9 €/MWh <sub>e</sub>	

Wärmeleistung W <sub>th</sub> 1,34MWh	W <sub>e</sub> 1MWh	Wirkungsgrad η <sub>el</sub> 35%	Wirkungsgrad η <sub>th</sub> 42%
Gassteuer 5,5 €/MWh für Kessel	8,6 €		
Betriebskosten 0,5€/MWh <sub>th</sub>	0,78 €		
Wärme Erzeugungskosten Gaskessel (Gaspreis 28€/MWh)	43,6 €		Entspricht der Wärmemenge bei Erzeugung 1MWh elektrisch mit der KWK
Summe Erzeugungskosten Kessel für 1,34 MWh <sub>th</sub>	53,0€		

G <sub>KWK</sub> - B <sub>006</sub>	69 / MWh <sub>e</sub>
G <sub>KWK</sub> - B <sub>0</sub>	19 / MWh <sub>e</sub>

Tabelle 1. Bsp. Ermittlung Grenzkosten einer KWK Anlage mit 35% elektrischen und 42% thermischen Wirkungsgrad für die Erzeugung von 1MWh elektrisch.