



Aus erster Hand: Dr. Michel Piot, swisselectric

## **Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende in Deutschland**

*Im April 2012 erhielt die Prognos AG vom Weltenergieerat Deutschland den Auftrag, die Bedeutung der internationalen Wasserkraftspeicherung für die Energiewende in Deutschland zu untersuchen. Auf Grund der topographischen Gegebenheiten und der damit verbundenen grossen Wasserkraftpotenziale lag der Schwerpunkt der Untersuchung auf den Partnerländern Schweiz, Österreich und Skandinavien. Der Autor hatte die Gelegenheit in dieser Begleitgruppe mitzuarbeiten und gibt nachfolgend einen kurzen Überblick über die Resultate der Studie von Prognos. Dabei wird in diesem Artikel der Fokus auf die Verbindung des deutschen und skandinavischen Marktes gelegt, indem aufgezeigt wird, wie gross das energetische Potenzial von Interkonnektoren zwischen Deutschland und Norwegen ist und wie deren Wirtschaftlichkeit abgeschätzt werden kann.*

### **Ausgangslage und langfristige Ziele Deutschlands**

Deutschland hat in den letzten 20 Jahren grosse Anstrengungen vollzogen, um den Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch zu steigern, so dass dieser heute bei 20 Prozent liegt. Gemäss dem Leitszenario der Bundesregierung soll im Jahr 2050 der Anteil mindestens bei 80 Prozent liegen.

Da die Produktion von Strom aus Windanlagen und Photovoltaik teilweise mit extrem hohen Fluktuationen verbunden ist, stellen sich mit dem weiteren Ausbau grosse Herausforderungen: einerseits müssen genügend Kraftwerks- und Speicherkapazitäten vorhanden sein, um bei wenig Produktion der fluktuierenden erneuerbaren Energien über längere Zeit – man spricht auch von «dunkler Flaute» – die Nachfrage jederzeit decken zu können. Andererseits muss bei zu hoher Produktion das Überangebot abgeführt und zwischengespeichert werden, da man eine Abschaltung der Produktion aus fluktuierenden Quellen vermeiden möchte. Man definiert in diesem Zusammenhang die Residuallast als Differenz zwischen der nachgefragten Leistung und der fluktuierenden Einspeisung aus nicht steuerbaren Kraftwerken. Ist die Residuallast positiv, so muss die restliche Nachfrage mit steuerbaren Kraftwerken gedeckt werden und/oder mittels Demand-Side-Management-Massnahmen reduziert werden. Ist sie negativ, braucht es entweder Speicher, die die Energie aufnehmen kön-

nen und/oder eine Steigerung der Nachfrage.

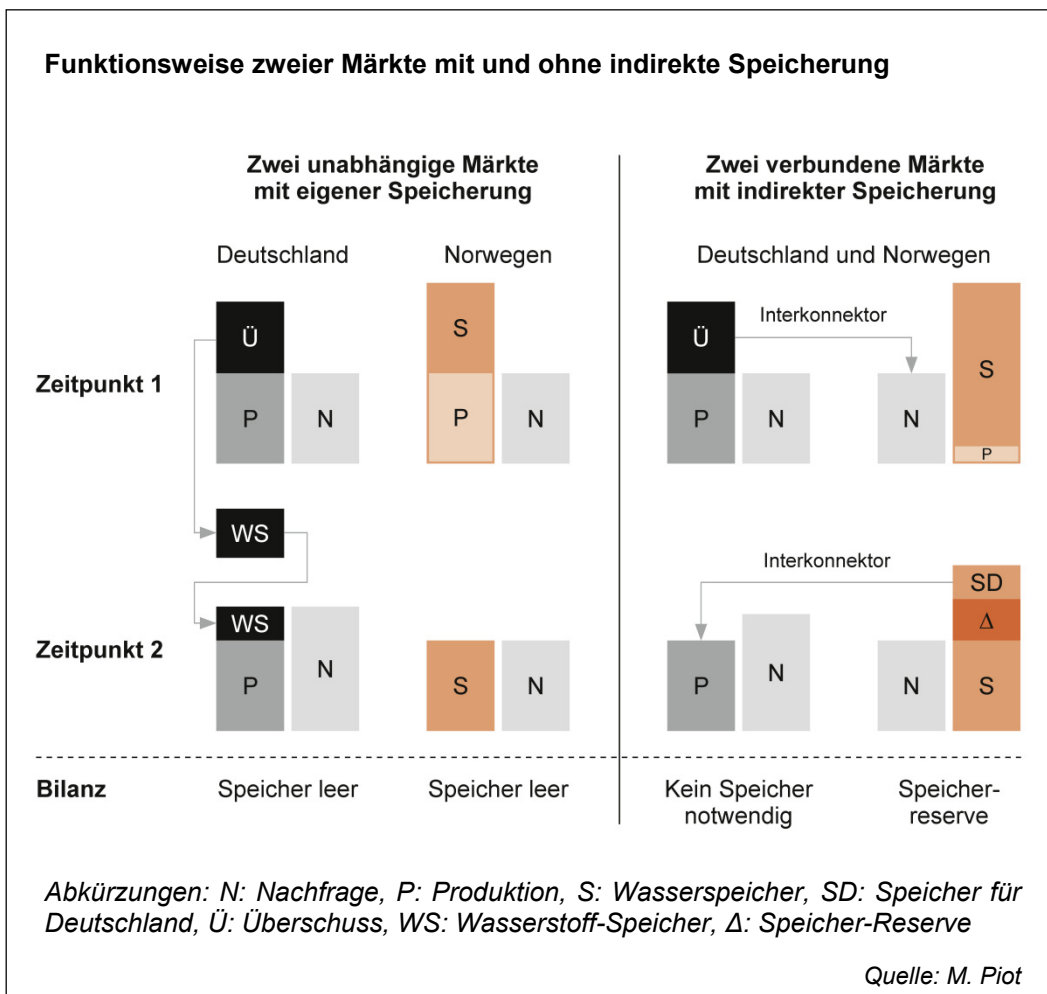
Der starke Zubau von Windanlagen und Photovoltaik in Deutschland dürfte auf der einen Seite dazu führen, dass im Jahr 2030 in rund 1'100 Stunden eine negative Residuallast anfällt, bis 2050 könnten es sogar 2200 Stunden sein (siehe Abbildung auf der gegenüberliegenden Seite 17). Auf der anderen Seite kann es in ganz Europa ungefähr einmal pro Jahrzehnt mehrere Wochen windstill sein. In solchen Fällen muss die Stromversorgung dann mit flexibler Produktion oder mit Langzeitspeichersystemen gesichert werden. Als Speicher kommen nur grosse Wasserspeichersysteme oder die Elektrolyse von Wasser für die Produktion von Wasserstoff und nachgelagert Methan in Betracht. Letztere sind allerdings mit grossen Wirkungsgradverlusten verbunden.

### **Indirekte Speicherung**

Prognos hat in ihrer Studie den Ansatz der indirekten Speicherung untersucht, der die Wirkungsgradverluste als Folge der Zwischenspeicherung zu vermeiden versucht. Das Prinzip wird in der Abbildung auf Seite 18 dargestellt: auf der linken Abbildungshälfte sind Deutschland und Norwegen nicht miteinander verbunden: Zum Zeitpunkt 1 produziert Deutschland einen Überschuss auf Grund guter Witterungsbedingungen bei durchschnittlicher Nachfrage. Dieser wird zum Beispiel in einem Wasserstoff-Speichersystem mit einem Wirkungsgrad von weniger als 40 Prozent

eingelagert. Norwegen deckt seine Nachfrage vollständig mit eigener Wasserkraft ab. Zum Zeitpunkt 2 ist die Nachfrage in Deutschland überdurchschnittlich und die Produktion durchschnittlich, so dass der Speicher eingesetzt werden muss. Norwegen deckt seine Nachfrage wiederum mit Wasserkraft ab. Zieht man Bilanz, so haben beide Länder leere Speicher. Auf der rechten Abbildungshälfte sind Deutschland und Norwegen durch Interkonnektoren miteinander verbunden. Der

Überschuss Deutschlands dient direkt zur Nachfragedeckung Norwegens, so dass Norwegen selber nur noch einen kleinen Teil aus Speichern bereitstellen muss und damit die Speicherreserven hoch halten kann. Zum Zeitpunkt 2 deckt Deutschland seine positive Residuallast mit Speicherkapazitäten aus Norwegen. Zieht man Bilanz, so hat Norwegen einen beachtlichen Teil des Speichers noch gefüllt und Deutschland braucht keinen eigenen Speicher.



Basierend auf diesen Grundüberlegungen ergeben sich zwei Fragestellungen, die den Kern der Studie von Prognos bilden: Wie kann erstens eine untere Grenze für das energetische Potenzial der indirekten Speicherung und zweitens die Wirtschaftlichkeit von Interkonnektoren abgeschätzt werden? Zur ersten Frage ist eine Fallunterscheidung vorzunehmen:

1. Negative Residuallast in Deutschland: Wie viel Überschussleistung können die

Partnerländer mindestens aufnehmen? Dazu ist die Überschussleistung Deutschlands mit der Mindestlast in den Partnerländern zu vergleichen.

2. Positive Residuallast in Deutschland: Wie viel Leistung können die Partnerländer mindestens zur Verfügung stellen? Dazu ist die Residuallast Deutschlands mit der verfügbaren Reserveleistung bei Maximallast in den Partnerländern zu vergleichen.

## Energetisches Potenzial für die indirekte Speicherung

Fall 1: Die Mindestlast in Norwegen betrug im Jahr 2010 gut 8 GW, in Schweden lag sie sogar noch leicht darüber. Damit kann auch unter Berücksichtigung von Must-Run-Kapazitäten – meist konventionelle Kraftwerke, die in Betrieb sein müssen, um Systemdienstleistungen bereitstellen zu können – eine erhebliche Importleistung aufgenommen werden, für Skandinavien schätzt Prognos rund 10-13 GW.

Fall 2: Die Maximallast lag in Norwegen und Schweden im Jahr 2010 bei 49 GW. Bei einer regelbaren installierten Leistung von 65 GW ergibt sich somit eine Differenz von 16 GW die genutzt werden könnte, um Strom nach Deutschland zu exportieren. Unter Berücksichtigung von füllstandsbedingten Einschränkungen der Wasserkraft, Knappheiten im Übertragungsnetz sowie zu erwartenden Kraftwerksausfällen fallen substantielle Men-

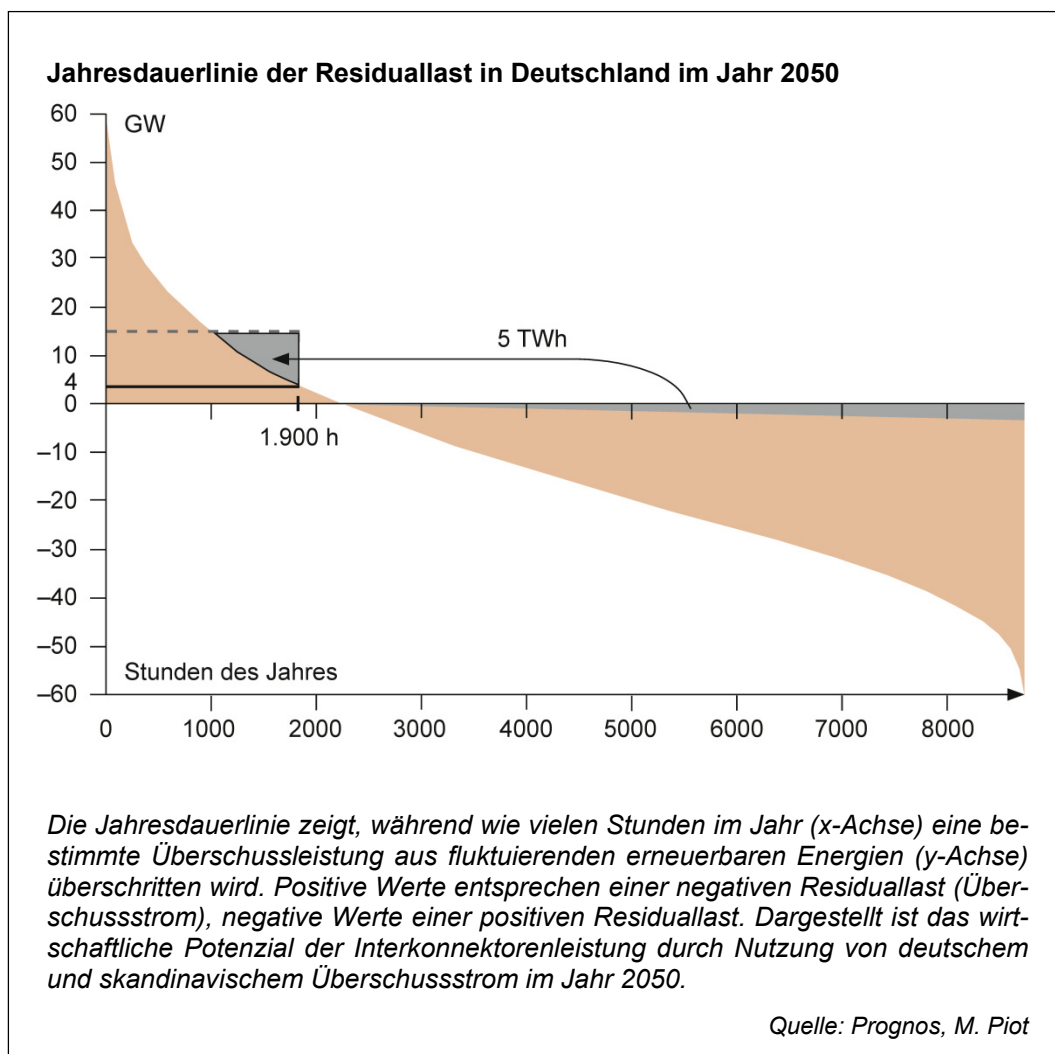
gen weg. Gleichzeitig dürfte durch die Lieferung von Überschussstrom nach Skandinavien die zur Verfügung stehende Reserveleistung in Skandinavien als Folge der höheren Füllstände einzelner Wasserkraftwerke steigen, so dass die nutzbare Leistung höher ist. Prognos erachtet alles in allem eine Leistungsaufnahme von 12 GW als realistisch.

### Wirtschaftlichkeit von Interkonnektoren

Der Bau von Interkonnektoren zwischen Deutschland und Norwegen ist aus unternehmerischer Sicht nur dann wirtschaftlich, wenn die Erlöse aus dem Betrieb der Interkonnektoren die Kosten übersteigen. In der Studie werden zwei Methoden zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit vorgestellt.

#### Methode 1: Marktpreisdifferenzen

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wird von einem Handelskabel ausgegangen. Nimmt man an, dass das Kabel das ganze



Jahr mit voller Leistung genutzt wird, dann müssen sich Erträge von rund 18 Euro pro MWh ergeben, das heisst die Preisdifferenz zwischen dem deutschen und skandinavischen Markt muss 18 Euro pro MWh betragen. Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit nur basierend auf der Entwicklung der Preisunterschiede zwischen den Märkten ist allerdings stark risikobehaftet, da die regulatorischen Rahmenbedingungen heute unsicher sind und eine Zusammenführung der beiden Märkte tendenziell zu einer Reduktion der Preisunterschiede führt, was die Wirtschaftlichkeit dämpft.

### **Methode 2: Investitionskostenvergleiche mit anderen Speichertechnologien**

Die langfristige Wirtschaftlichkeit wird auf dem Umweg über alternative Nutzungsmöglichkeiten des Überschussstromes abgeschätzt, beispielsweise über die Methanisierung mit einem Wirkungsgrad von einem Drittel. Mit diesem Ansatz lässt sich eine Mindestnutzungsdauer des Interkonnektors von 1'900 Stunden pro Jahr abschätzen. Damit könnten mindestens 4 GW (siehe Abbildung auf der gegenüberliegenden Seite 18, schwarze Linie) oder knapp 8 TWh Überschussstrom von Deutschland nach Norwegen abgeführt werden.

In Skandinavien werden die erneuerbaren Energien ebenfalls ausgebaut und der grösste Teil des erwarteten Überschussstromes dürfte nicht zeitgleich mit dem Überschuss in Deutschland anfallen. Damit kann die Nutzung der Interkonnektoren und die Wirtschaftlichkeit weiter verbessert werden. Unterstellt man einen Import nach Deutschland von 5 TWh (siehe Abbildung auf der gegenüberliegenden Seite 18, graue Fläche), dann erhöht sich das Potenzial von Interkonnektoren auf 15 GW (siehe Abbildung auf der gegenüberliegenden

Seite 18, gestrichelte Linie). Zieht man die bereits heute installierte Leistung von 3 GW über Dänemark ab, ergibt sich langfristig ein Ausbaupotenzial von bis zu 12 GW.

### **Zusammenfassung und Bezug zur Schweiz**

Die Verbindung des deutschen und skandinavischen Marktes durch Interkonnektoren kann dazu beitragen, dass ein substanzieller Teil der Überschussenergie Deutschlands direkt und folglich mit geringen Wirkungsgradverlusten genutzt werden kann. Damit kann aber nur ein Teil des Überschussstromes abgenommen werden und die Überschussleistung bleibt in einzelnen Stunden nach wie vor hoch. Somit hat Deutschland nebst indirekter Speicherung weitere Speichertechnologien auch im Kurz- und Mittelzeitbereich zu erschliessen.

Die Schweiz baut momentan ihre Pumpspeicherkapazitäten stark aus. Damit kann sie bereits in wenigen Jahren äusserst flexibel bei der Bewältigung der positiven und negativen Residuallast aus Deutschland einen Beitrag leisten, was angesichts der sehr hohen Fluktuationen der Windenergie und Photovoltaik gerade im Minutenbereich und Stundenbereich eine grosse Chance für die Pumpspeicherbetreiber und damit die Schweizer Wirtschaft ist. ■

-----  
*Sie finden die Prognos-Studie auf der Homepage des Schweizerischen Energieerates [www.worldenergy.ch](http://www.worldenergy.ch) im Dossier «Weltenergieerät» oder unter folgendem Direktlink: [www.worldenergy.ch/file/Publikationen/Aktuell/prognos\\_wec\\_20121009.pdf](http://www.worldenergy.ch/file/Publikationen/Aktuell/prognos_wec_20121009.pdf)*