



WORLD ENERGY COUNCIL
Weltenergierat - Deutschland

Potenzial für Demand Side Management der energieintensiven Industrie in Deutschland

**Eine Kostenbetrachtung am Beispiel der
Chlor-Alkali-Elektrolysen**

**von Dr. Frank Holtrup,
Weltenergierat — Deutschland e.V., Berlin 2015**

Abstract

Die Rolle der Industrie in Deutschland für das Demand Side Management (DSM) als Beitrag zur Energiewende wird überschätzt. Während das Grünbuch der Bundesregierung von einem Potenzial von 5 bis 15 GW ausgeht, legen eigene Berechnungen und andere Studien kurz- bis mittelfristig ein Potenzial von nur ca. 3 GW dar. Die Kosten für das DSM werden in den meisten Studien stark vereinfacht und unterschätzt. Für die fixen Kosten werden nur die Kosten für eine Anbindung zum Datenaustausch zugrunde gelegt, für die variablen Kosten nur die Marge der nicht produzierten Produkte. Diese Veröffentlichung schätzt am Beispiel der Chlorherstellung qualitativ ab, welche zusätzlichen Kosten tatsächlich beim DSM anfallen. Um DSM auf eine breitere wettbewerbliche Basis zu stellen und möglichst viele große Konsumenten zur Teilnahme am DSM zu incentivieren, müssen die Vergütungen an technische und wirtschaftliche Parameter der unterschiedlichen Prozesse angepasst werden.

Einführung

Lastregelung, auf Englisch auch Demand Side Management oder Demand Response genannt, bezeichnet die Steuerung des Energieverbrauchs auf der Nachfrageseite, um Regelleistung zur Verfügung zu stellen und dadurch die Stromnetze zu stabilisieren. Wenn die Netzfrequenz abzusinken droht, weil der Strombedarf höher als die Stromerzeugung ist, hat ein Netzbetreiber zwei Möglichkeiten: Er kann ein Kraftwerk hochfahren lassen, um die Erzeugung zu erhöhen, oder er kann Stromlasten abschalten (lassen), um den Strombedarf zu verringern. Der Effekt ist derselbe, man spricht in beiden Fällen von positiver Regelleistung. Das Gegenteil, die negative Regelleistung, erreicht man durch Herunterfahren eines Kraftwerks oder durch verbraucherseitige Erhöhung der Stromlast.

Aus Sicht der Verbraucher unterscheidet man bei der positiven Regelleistung zwischen **Lastverschiebung** und **Lastverzicht**. Bei der Lastverschiebung wird die Stromlast für eine oder mehrere Stunden gedrosselt und zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt. Beim Lastverzicht wird die Last ganz oder teilweise reduziert, ohne dass es eine Nachholmöglichkeit gibt. Die Kostenunterschiede zwischen diesen beiden Varianten werden in einem der nachfolgenden Kapitel betrachtet.

Warum besitzt DSM eine hohe Bedeutung im Rahmen der deutschen Energiewende? Um ein Kraftwerk im Rahmen der Regelleistung einzusetzen, muss es jederzeit verfügbar und sehr flexibel bzw. schnellstartfähig sein. Damit fällt Photovoltaik oder Windkraft aus, da sie vom Sonnenstand bzw. den aktuellen Windverhältnissen abhängig und maximal für negative Regelleistung (durch Abschaltung) brauchbar sind. Speicher oder Batterien zur Zwischenspeicherung und späterem Abruf der erneuerbaren Energien sind derzeit nicht wirtschaftlich bzw. nicht ausreichend vorhanden. Auch Kernkraftwerke und ältere Kohle- und Braunkohlekraftwerke kommen dafür nur sehr eingeschränkt in Frage, da sie nicht flexibel genug sind. Klassischerweise dienen (Pump-)Speicher- und Gaskraftwerke als Regelkraftwerke, aber auch moderne Kohlekraftwerke werden so flexibel gestaltet, dass sie innerhalb von einigen Minuten große Lastwechsel durchführen können.¹

Die Anreizung flexibler Fahrweisen auf der Nachfrageseite bietet auf den ersten Blick mehrere Vorteile: Die Verbraucheranlagen sind in den meisten Fällen bereits existent und müssen nicht neu gebaut werden. Sie dienen in erster Linie dazu, Güter zu produzieren, und die Unterstützung des

¹ Braunkohlekraftwerke der BoA-Klasse können 50% ihrer Kapazität (also rund 500 MW) innerhalb von 30 Minuten herunter- oder herauffahren; mündliche Mitteilung, RWE-Talk, 11.11.2015; vgl. auch <http://www.rwe.com/web/cms/de/12068/rwe-power-ag/energietraeger/braunkohle/standorte/kw-neurath-bo-a-2-3/>, abgerufen am 25.1.2016

Regelenergiemarktes ist ein positiver Nebeneffekt. Bei der energieintensiven Industrie besteht weiterhin der Vorteil, dass man mit wenigen Anlagen große Lasten zu- oder abschalten kann, was die Komplexität der Steuerung gering hält. Und es handelt sich um etablierte und zuverlässige Produktionsprozesse, bei denen der Betreiber über eine große Erfahrung verfügt.

Allerdings ist die Bereitstellung von Flexibilität auch aus bestehenden Anlagen nicht ohne Zusatzkosten möglich. Es müssen organisatorische Maßnahmen (z. B. zur Vermeidung von Lastspitzen) oder auch Investitionsmaßnahmen (z.B. für Schichtbetrieb, Produktzwischenspeicher, Lagerhaltung) getroffen werden, um den gestiegenen Anforderungen an die Flexibilität Rechnung zu tragen.

Im Jahr 2012 wurde die Verordnung zu abschaltbaren Lasten (**AbLaV**) verabschiedet, in der die Betreiber von Übertragungsnetzen zur Kontrahierung von abschaltbaren Lasten (bis zu 3.000 MW) verpflichtet werden. Die Verordnung sieht genaue Werte für Abschaltdauer, -häufigkeiten und -intervalle sowie die Vergütung vor. Die AbLaV scheint an den Betriebsparametern bestimmter Industriezweige ausgerichtet zu sein, die relativ häufig für kurze Zeiten die Energiezufuhr zurücknehmen können. Was diese Bedingungen für einen Einsatz der Chlor-Elektrolysen bedeuten, und wie die Vergütung im Verhältnis zu den Kosten steht, wird in einem der nachfolgenden Kapitel behandelt.

Potenzialabschätzung

Vor dem Hintergrund dieser Argumente ist es verständlich, dass verschiedene Energieexperten und auch die Bundesregierung dem DSM einen großen Stellenwert bei der Umsetzung der Energiewende zuschreiben. Entsprechend geht das BMWi² in seinem Grünbuch (S. 47), gestützt auf Studien von r2b und Frontier, auch davon aus, dass das Potenzial der Deutschen Industrie für Lastverzicht nach konservativen Schätzungen bei **5 bis 15 GW** liegt.

In der nachfolgenden Übersicht (Abb. 1) soll anhand eines Literaturüberblicks betrachtet werden, ob sich diese Größenordnung mit anderen Studien deckt, und ob die in zahlreichen Studien genannten Kosten für DSM einer Plausibilitätsbetrachtung am Beispiel einer Chloralkali-Elektrolyse standhält.

Die durchschnittliche Stromlast in Deutschland beträgt knapp 70 GW. Damit läge die Annahme der Bundesregierung für das DSM-Potential der deutschen Industrie im Bereich von 20% der durchschnittlichen Last in Deutschland.

Am Beispiel der Chlorelektrolysen soll ein Plausibilitätscheck durchgeführt werden: In Deutschland wurde im Jahr 2013 eine Menge von 4.271 kt Chlor hergestellt.³ Die Produktionskapazität betrug 5.078 kt, d. h. die Auslastung in 2013 lag bei 84 %. Unter der Annahme eines Stromverbrauches von ca. 2,5 MWh/t Chlor (europäischer Durchschnittswert für Chlor-Alkali-Elektrolysen), hat die Chlorherstellung in Deutschland 10.680 GWh Strom verbraucht. Bei 8.500 angenommenen Betriebsstunden entspricht das einer Leistung von 1.250 MW. Wenn man aus technischen Gründen, wie weiter unten ausgeführt, 50 % dieses Wertes ansetzt, kommt man auf ein maximales DSM-Potenzial von rund 600 MW für Chloranlagen in Deutschland. Dies ist das technische Potenzial, das wirtschaftlich-unternehmerische ist deutlich geringer. Die Chlorherstellung gehört neben der Herstellung von Aluminium, Kupfer, Stahl, Papier und Zement zu den energieintensiven Industrien, die für DSM in Frage kommen. Führt man analoge Überschlagsrechnungen für die anderen energieintensiven Industrien durch, so liegt das maximale technische Gesamtpotential der energieintensiven Industrien

² BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

³ <http://www.eurochlor.org/facts-figures-glossary/chlorine-production-figures-per-region.aspx> abgerufen am 28.5.2015

bei **3 GW**. Wie hoch das wirtschaftlich-unternehmerische Potential tatsächlich ist, richtet sich nach den Kosten und Erlösen der einzelnen Industrien bzw. Betriebe.

In der Tat gehen alle anderen betrachteten Studien (auch wenn sie unterschiedliche Schwerpunkte haben) von deutlich niedrigeren Werten für das DSM-Potenzial der Industrie aus als das Grünbuch, nämlich von unter **3 GW**.

Quelle	Reduktionspotential Dt. gesamt [GW]	Reduktionspotential Dt. Industrie [GW]	Reduktionspotential Dt. Industrie Energieint. [GW]	Lastverschiebung Dt. gesamt für 1 h [GW]	Lastverschiebung Dt. Industrie für 1 h [GW]	Lastverzicht Dt. Industrie [GW]	Kosten Lastverschiebung	Kosten Lastreduktion	Einnahmen aus Stromhandel für Lastreduktion (Dt. Industrie)	Einnahmen aus Reserveenergiemarkt für Lastreduktion (Dt. Industrie)	Kommentare
EWI 2012	12,5-14 (Winterabend)		2,5-3	3,4 (nach 65 h: 0)	1,7 (2,2 nachts)		Effizienzverluste	entgangene Erlöse der Produktion			
r2b 2014	60% der durchschnittlichen Last (konservativ)	10-15 (konservativ)						hohe var. Kosten, geringe Investkosten			zitiert im Grünbuch S. 47, KWK-DSM derzeit nur 500-700 MW, bis 2050: 5,4 GW
Frontier 2014			5-10 (mifri-lafr)				geringe Kosten				zitiert im Grünbuch S. 47
wik-FHG 2006				4,5	2		k.A.		Min. 1,3-4,3 €/MWh/d	Min. 78 T€/MWh/a	
IHK Bayern 2012					2,5					Ca. 20 T€/MWh/a für Min.res.	Bezug auf FFE 2010
FFE 2010					2,5 (1 GW für 4 h)		System- und Verbraucherkosten				
Agora 2013					1 (in Süddt. BY+BW davon 0,4 bis 0,45 GW Energieintensive, 0,48 GW Querschnittstechnologien)						
dena-Netzstudie II		6,5 (durchschn. pos. DSM); aber nur 1,8 nutzbar	1,8 bzw. 2,1				var. Kosten Chlor: >100 €/MWh; Al bis 1500 €/MWh				
Applied Energy 2011			2,6		660 MW Chlor, 250 MW Papier, 277 MW Alu	314 MW Cement, 1097 MW Steel					CA: Lastverschiebung für bis zu 40% für bis zu 2 h
BET 2015			3,5 (soziotechn.) bis 6 (technisch)				0-100 €/MWh	0-500 €/MWh			aktuell überwiegend nur Lastverschiebung

DSM-Wachstum

Wird das DSM-Potenzial der energieintensiven Industrie in den nächsten Jahren wachsen? In einigen Studien (wie bspw. Applied Energy 2011) wird postuliert, dass die DSM-Kapazitäten bis 2020 noch steigen werden. Jedoch hat die deutsche Industrie seit Ende der 1980er Jahre trotz deutlich gesteigener Produktionsmengen ihren Strombedarf nicht mehr nennenswert expandiert. Dieser stetig sinkende spezifische Energieverbrauch ist ein Resultat der gestiegenen Effizienz, die wiederum durch Anlagenoptimierung und stetige Fahrweise erreicht wurde.

Neue Anlagen werden aufgrund der niedrigeren Energiepreise eher in Nordamerika bzw. aufgrund schneller wachsender Märkte eher in Asien gebaut als in Europa bzw. in Deutschland. Des Weiteren stellen regulatorische Unsicherheiten im deutschen Energiesektor Hemmnisse für neue Investitionen in energieintensive Industrieanlagen dar. Sowohl sinkende spezifische Energieverbräuche als auch fehlende Neuinvestitionen sprechen gegen ein stark wachsendes DSM-Potenzial. Dieses kann deshalb eher über unterschiedlich kostenintensive Maßnahmen zur Erhöhung der Flexibilität von bestehenden Anlagen oder durch die Installation von Speichern realisiert werden.

Kosten

Im folgenden Abschnitt sollen die Kosten von DSM am Beispiel der Chlorelektrolyse eines Chemieunternehmens betrachtet werden. Dabei ist grundsätzlich zwischen Lastverzicht und Lastverschiebung zu unterscheiden.

Variable Kosten

Für die **variablen Kosten** gehen die meisten Studien davon aus, dass bei einem **Lastverzicht (Lastabwurf, Lastreduktion ohne Nachholmöglichkeit, load shedding)** maximal der verlorene Deckungsbeitrag für Chlor anzusetzen ist. Hier liegt ein Irrtum vor. Bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse fallen immer drei Produkte gleichzeitig an: Chlor, Natronlauge und Wasserstoff. Eine objektive Aufteilung der Marge auf die drei Produkte ist nicht möglich, und die Preise der drei Stoffe richten sich nach der Nachfrage. Der Wasserstoff wird gerade in Verbundstandorten aufgrund seiner Reduktionseigenschaften für weitere chemische Reaktionen benötigt, die bei einem Stoppen der Elektrolyse kurze Zeit später ebenfalls heruntergefahren werden müssten. Weiterhin wird Chlor nur zu einem kleinen Bruchteil direkt als solches verbraucht, vielmehr ist es der Startpunkt für viele weitere Reaktionen, deren Produkte eine deutlich höhere Marge erbringen als Chlor selbst. Wenn man also die vereinfachende Annahme treffen möchte, die variablen Kosten an eine Marge zu binden, dann müsste das die Marge der drei Produkte Chlor, Natronlauge und Wasserstoff sowie ihrer Folgeprodukte sein.

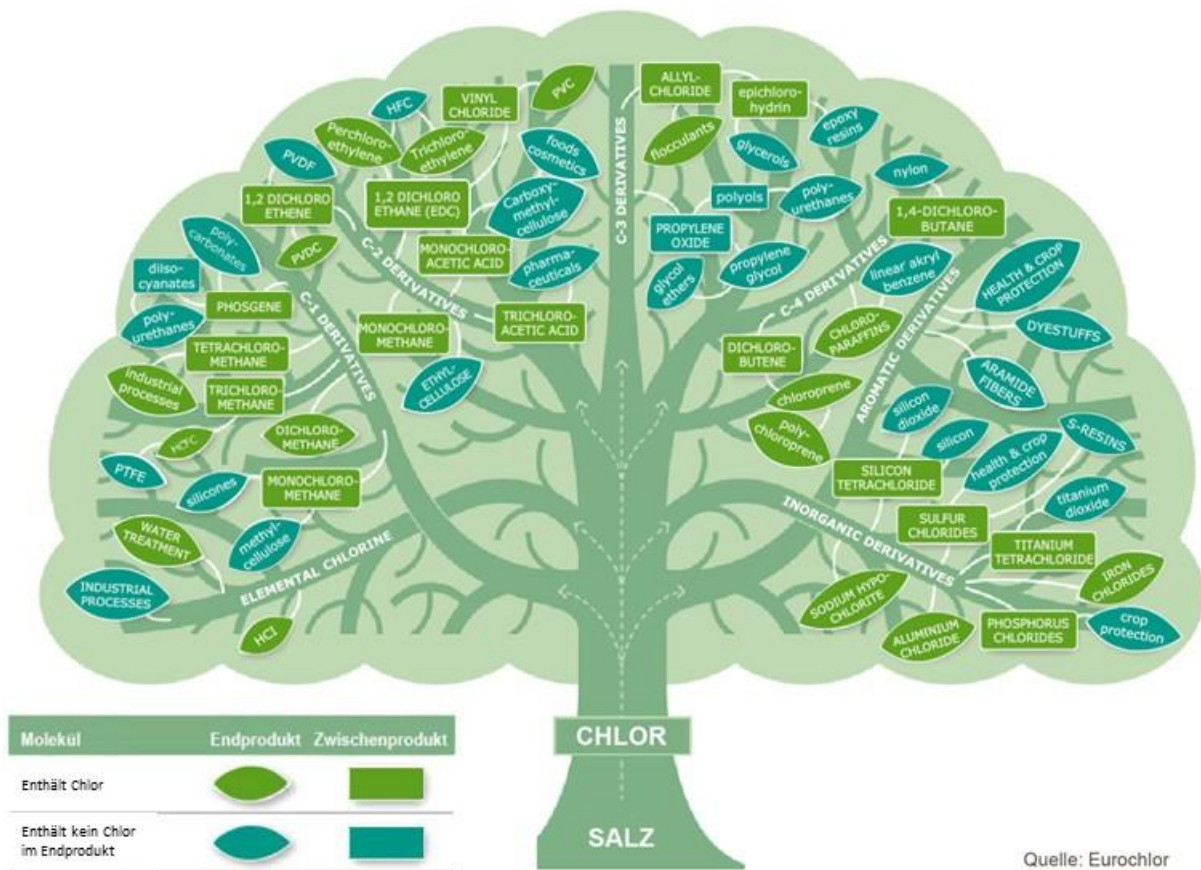


Abb. 2: Bedeutung von Chlor für die chemische Industrie

Noch optimistischer werden in den betrachteten Studien die **variablen Kosten für Lastverschiebung (load shift)**, also das temporäre Drosseln und spätere Nachholen der Produktion, eingeschätzt. Es wird angenommen, dass überhaupt keine Kosten anfallen bzw. die Unternehmen einen Vorteil aus der Beteiligung am DSM ziehen, da sie durch günstigere Spotpreise bzw. Teilnahme am Markt für Sekundäre Regelleistung (SRL) geringere Kosten haben bzw. zusätzliche Erlöse erwirtschaften. Die Erlöspotenziale aus den stündlichen Preisschwankungen am Day Ahead- und Intraday-Markt werden häufig überschätzt. Zum einen sind die Preisunterschiede zwischen Tag (Peak) und Nacht (Offpeak) nicht mehr so groß und stetig wie noch vor einigen Jahren, und die Preisspitze am Mittag ist mittlerweile aufgrund der hohen PV-Einspeisung an vielen Tagen einem Preistal gewichen. Zum anderen können die Produktionsbetriebe aufgrund der kurzen Vorlaufzeit von nur einigen Stunden, aufgrund der Auftragslage oder aufgrund technischer Beschränkungen, häufig nicht auf Preisschwankungen reagieren.

Am Beispiel der Chlor-Alkali-Elektrolysen seien die Kostenannahmen hinterfragt: Jeder Hersteller versucht, seine Anlagen optimal auszulasten, um die Stückkosten möglichst gering zu halten. Bei den Chloranlagen wird eine Auslastung von über 90 % angestrebt (und in den letzten Jahren auch erreicht). Bei einer derart hohen Auslastung ist ein Nachholen der Produktion schwer möglich.⁴ Pro Stunde Produktionsausfall müssten die Anlagen rechnerisch für die nächsten neun Stunden auf 100 % produzieren, und es dürften in dieser Zeit keine technischen Probleme auftreten. Umgekehrt erschwert die hohe Auslastung auch die Erbringung von negativer Regelenergie durch Chloranlagen, da bis zur Vollauslastung nur wenig Raum ist.

⁴ Dies kann sich mit einem Rückgang der Auftragslage aufgrund eines Konjunkturabschwungs oder Verlust von Marktanteilen ändern, was jedoch ein hoher Preis für zusätzliche DSM-Kapazitäten wäre.

Die Anlagen wurden im Laufe der Jahrzehnte so optimiert, dass sie möglichst gut unter konstanten Bedingungen produzieren („Strichfahrweise“). Die Membranen, an denen die Kochsalzlösung in Chlor, Natronlauge und Wasserstoff umgewandelt wird, wurden immer effizienter und dabei auch immer empfindlicher. Es gibt für jedes System ein ideales Betriebsfenster, bei dem der Stromverbrauch pro produzierter Tonne Chlor minimal ist. Dieses Optimum liegt unterhalb des Maximums der Elektrolysekapazität. Würde man nun die **Stromdichte** erhöhen, um Produktion im Rahmen des DSM nachzuholen, würde sich auch der spezifische Stromverbrauch erhöhen und die Effizienz entsprechend verschlechtern. Das ist unwirtschaftlicher und im Rahmen der Effizienzziele unerwünscht (Zielkonflikt zwischen Effizienz und Flexibilität).

Die Empfindlichkeit moderner Zellmembranen zeigt sich auch in der Laständerungsgeschwindigkeit. Da an der Membran gelöste und gasförmige Stoffe im Gleichgewicht stehen, ist ein einfaches Abschalten der Spannung nicht möglich, bzw. mit Schäden an den Membranen und einem längeren Ausfall der Elektrolyse verbunden. Vielmehr kann die Elektrolyse nur kontrolliert im Laufe einiger Minuten reduziert werden. Während die Lastreduktion in fünf bis fünfzehn Minuten durchgeführt werden kann, kann das Hochfahren von der Minderlast auf die Ursprungslast mehrere Minuten bis zu einige Stunden dauern, je nachdem, wie weit die Anlage heruntergefahren wurde. Diese Tatsache spricht gegen einen häufigen Einsatz von Chlorelektrolysen im DSM, zumal während der Dauer der Lasterhöhung der Produktionsrückstand weiter wächst. Langfristige Schäden an den Membranen und Qualitätsprobleme bei der Natronlauge durch eine volatile Fahrweise führen zu weiteren Kosten.

Selbst wenn ein Nachholen der Produktion ohne Kapazitätslimitierung und technische Einschränkungen möglich wäre, würden zusätzliche Kosten durch **höhere Netzentgelte** auf den Produzenten zukommen. Durch eine höhere Last würde eine höhere „Netzspitze“ registriert werden, was höhere fixe Netzentgelte zur Folge hätte. Zusätzlich riskiert der Produzent damit auch noch, dass er die Kriterien für die **Netzentgeltreduktion** nicht erreicht, da durch die höhere „Netzspitze“ bei gleichem Stromverbrauch die Anzahl der Benutzungsstunden (Vollaststunden) sinkt. Sollte er dadurch unter 7.000 Benutzungsstunden fallen, muss er die vollen Netzentgelte bezahlen – ein Kostennachteil, der nicht wieder aufgeholt werden kann. Hier ist der Gesetzgeber gefragt, Bedingungen zu schaffen, dass die im Rahmen von DSM erzielten Netzspitzen nicht zu Kostennachteilen bei den Netzentgelten bzw. der Netzentgeltreduktion führen. Dieser Punkt wird im Weißbuch zwar angesprochen (Maßnahme 8), bedarf aber noch der Umsetzung in die Praxis.

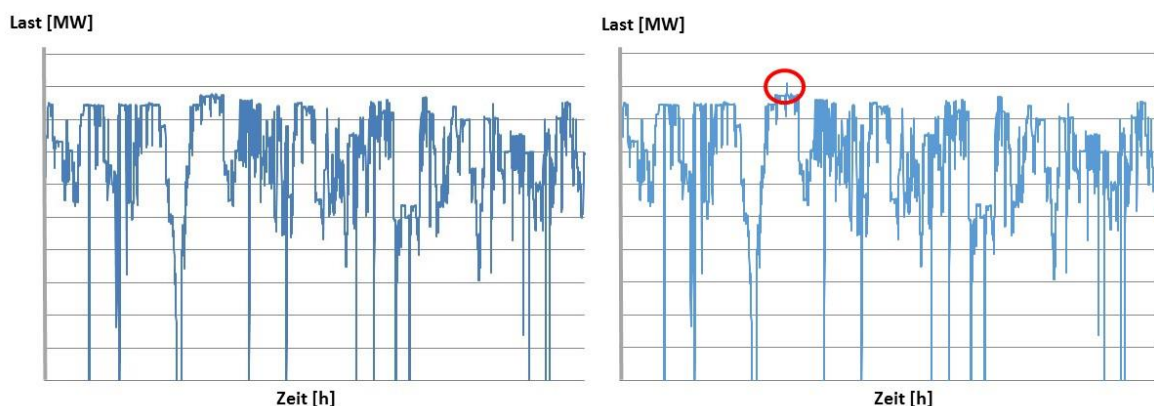


Abb 3: Der linke Graph zeigt den beispielhaften Lastverlauf einer Chlorelektrolyse während eines Jahres. Die Anzahl der Benutzungsstunden errechnet sich durch Division der Jahresarbeit [MWh] durch die maximale Last [MW] während des Jahres. Im linken Graph kommt die Elektrolyse auf rund 7.100 Benutzungsstunden. Im rechten Graph fällt die Benutzungsstundenzahl durch die etwas höhere Lastspitze (siehe roten Kreis) auf unter 7.000 h. Damit verfehlt die Anlage die Kriterien für die Netzentgeltreduktion.

In der Literatur wird auf **Speicher** verwiesen, mit denen man zu vernachlässigbaren Kosten Lastverschiebungen überbrücken könnte. Nun hat Chlor im Gegensatz zu Stahl, Aluminium, Papier, Zement und ähnlichen Produkten den Nachteil, dass man es nicht auf dem Hof in Form von Barren, Rollen oder in Säcken lagern kann. Bei Chlor handelt es sich um ein Gas, das nur unter strengen Sicherheitsvorkehrungen und in begrenzten Mengen in Tanks gelagert wird. Diese Tanks wurden angelegt, um einerseits Produktionsausfälle bei der Chlorherstellung aufgrund von technischen Stillständen zu überbrücken und andererseits, um Ausfälle bei den nachgelagerten Chlorabnehmern zu überbrücken, ohne die Chloranlagen herunterfahren zu müssen. Die Begrenzung der Lagerkapazität ist auf die freiwillige Selbstbeschränkung der chemischen Industrie und die hohen Sicherheitsstandards zurückzuführen. Ein Einsatz als Puffer im Rahmen des DSM war zum Zeitpunkt des Baus der Tanks noch nicht absehbar. Einer Erweiterung der Chlorspeicher stehen neben genehmigungsrechtlichen Schwierigkeiten auch ökonomische und ökologische Nachteile entgegen: Neben den erforderlichen Investitionskosten für Tanks wird zur Verflüssigung von Chlor zusätzlicher Strom für die Kompressoren benötigt, was der Gesamteffizienz des Verfahrens entgegenwirkt.

Etwas anders stellt sich die Lage für die Chlorhersteller dar, die Chlor nicht in elementarer Form speichern (müssen), sondern es anschließend zu Polyvinylchlorid (PVC) weiterverarbeiten, und deshalb auch eine Speicherung der bei Normalbedingungen flüssigen Zwischenstufe Ethylendichlorid (EDC) vornehmen können. Hier fallen nur die Investitionskosten für die Tanklager und die *Cash Flow*-Nachteile eines erhöhten Vorratsvermögens an.

Fixkosten

Bei den **Fixkosten** gehen die meisten Studien nur auf die Kosten für die Anbindung der DSM-Anlagen an eine Leitstelle der ÜNB⁵ zum Datenaustausch ein. Diese Kosten sind mit einigen Tausend Euro pro angebundener Anlage überschaubar. Oft sind energieintensive Anlagen bereits für einen potenziellen Lastabwurf nach dem Fünf-Stufen-Plan⁶ an den ÜNB angeschlossen. Hier wird die gleichmäßig planbare Verfügbarkeit der hohen Last genutzt, um – ohne finanzielle Gegenleistung – eine Netzstabilisierung im Notfall zu erwirken.

Allerdings wird dabei übersehen, dass die Anlagen selbst auch Fixkosten haben, nämlich in Form von Abschreibungen und erhöhtem Personalaufwand. Der „Glücksfall“ für das DSM wäre eine abgeschriebene Anlage, die zu groß geplant worden war und deshalb Kapazitäten für Lastverzicht und Lastverschiebung hat. Die meisten Anlagen in Deutschland haben aber eine sehr hohe Auslastung, so dass sie nur eingeschränkt für DSM in Frage kommen. Die logische Konsequenz ist, zu prüfen, ob es sich lohnt, Anlagen bewusst größer zu planen als nötig, um die deutsche Energiewende durch DSM zu unterstützen.

Für eine neue Chlor-Alkali-Elektrolyse in einem bestehenden Chemiapark kann man mit einer Investitionssumme von ca. 1.100 bis 1.500 Euro pro Jahrestonne Chlor rechnen.⁷ Umgerechnet auf den Stromverbrauch von ca. 2,5 MWh pro Tonne Chlor entspräche das Investitionskosten von 440 bis 600 Euro pro MWh und Jahr. Die übliche Abschreibedauer beträgt 10 Jahre. Damit käme man auf **Abschreibungen** in Höhe von 44 bis 60 €/a, um 1 MWh pro Jahr nachholen zu können. Will man eine

⁵ ÜNB: Übertragungsnetzbetreiber

⁶

[https://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_7B6ERD_NetzCodes_und_Richtlinien/\\$file/TransmissionCode2007.pdf](https://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_7B6ERD_NetzCodes_und_Richtlinien/$file/TransmissionCode2007.pdf) abgerufen am 27.10.2015

⁷ Mündliche Mitteilung B. am 13.11.2015

Kapazität von 1 MW für das ganze Jahr zur Verfügung haben, entspricht das dem 8760-fachen, also 385 bis 525 T€ Abschreibung pro MW und Jahr. Dieser Wert zeigt, wie teuer DSM-Vorhaltung für Chloranlagen bei Einbeziehung der Abschreibung von neuen Anlagen ist. Die Höhe der Abschreibung liegt gleichauf oder sogar oberhalb der von Gaskraftwerken (die allerdings über einen längeren Zeitraum abgeschrieben werden, meistens über rund 20 Jahre). Somit ist der Bau von „zu großen“ Chlor-Anlagen zur Beteiligung am DSM Markt keine wirtschaftliche Option. Eine Erweiterung bestehender Anlagen wäre günstiger, da die Basisinfrastruktur bereits existiert.

Auch an die Mitarbeiter in einem Chlorbetrieb würde DSM zusätzliche Anforderungen hinsichtlich Qualifikation und Erreichbarkeit stellen, die zu zusätzlichen Kosten führen. Man kann hier mit einer zusätzlichen Vollzeitstelle rechnen. DSM ist mitnichten zum Nulltarif zu haben.

Die eingangs erwähnte Verordnung zu abschaltbaren Lasten (**AbLaV**) sieht in der aktuellen Fassung folgende Abschaltdauer, -häufigkeiten und -intervalle vor.

Variante	Dauer pro Abruf	Häufigkeit	Intervall zwischen Abschaltungen
a	mind. 15 min bis zu 1 h pro Tag	mehrmals am Tag, mind. viermal pro Woche	12 h
b	mind. 4 h	einmal alle 7 Tage	48 h
c	mind. 8 h	einmal alle 14 Tage	7 Tage

Abb. 4: Technische Anforderungen an abschaltbare Lasten (AbLaV §5 (1) 3.)

Als Vergütung sieht die AbLaV einen monatlichen Leistungspreis von 2.500 €/MW vor, also 30.000 €/MW und Jahr. Der Arbeitspreis bei Abruf der Abschaltleistung liegt zwischen 100 und 400 €/MWh.

Für neue Chloranlagen bedeutet das, dass der Leistungspreis der AbLaV weniger als ein Zehntel der tatsächlichen Abschreibung beträgt, und weitere fixe Kosten noch gar nicht berücksichtigt sind.

Im Jahr 2013 lag der Strompreis am Spotmarkt in 17 Stunden oberhalb von 100 €/MWh, im Jahr 2014 lag der Strompreis zu keiner Stunde oberhalb von 90 €/MWh, und im Jahr 2015 war keine Stunde teurer als 100 € (teuerste Stunde 99,77 €/MWh am 23.11. von 17-18 Uhr). Zumindest bei den variablen Kosten würde der Anlagenbetreiber für einen Abruf also einen wirtschaftlichen Anreiz haben.

Die AbLaV scheint an die Betriebsparameter von den Industriezweigen ausgerichtet zu sein, die relativ häufig für kurze Zeiten die Energiezufuhr zurücknehmen können. Für die Chlorelektrolysen ist die AbLaV aber nicht praktikabel: Bei Variante a (siehe Abb. 3) sind die Abschaltungen zu häufig, bei Variante b ist der zeitliche Abstand zwischen zwei Abschaltungen mit 48 Stunden zu kurz, um die Produktion nachzuholen, und bei Variante c kommen die Tanklager bei 8 Stunden Produktionswegfall schon an die Grenzen ihrer Kapazität. Weiterhin hinderlich ist, dass eine Bedingung der Anschluss an die 110 kV-Ebene ist, während Chlorelektrolysen häufig an die Mittelspannung angeschlossen sind. Die erforderliche Abschaltleistung von mindestens 50 MW stellt aufgrund der hohen Auslastung der Chloranlagen ein weiteres Hindernis dar. Diese sollte in einer Novelle der AbLaV auf 5 MW reduziert und durch Poolung mehrerer Anlagen erleichtert werden.

Dass die AbLaV in ihrer bisherigen Form wenig attraktiv ist, zeigt ihre geringe Nutzung: Bisher haben nur vier Unternehmen aus der chemischen und Aluminiumindustrie Rahmenverträge mit den

Übertragungsnetzbetreibern abgeschlossen. Die Gesamtablastleistung beträgt nur 465 MW bei den sofort abschaltbaren Lasten (SOL, innerhalb 1 Sekunde) und 979 MW bei den schnell abschaltbaren Lasten (SNL, innerhalb von 15 Minuten). Die mögliche Kontrahierungsmenge wurde damit noch nicht einmal zur Hälfte ausgeschöpft (die ÜNBs können jeweils 1500 MW SOL und SNL ausschreiben).⁸

Wenn der Gesetzgeber möchte, dass möglichst viele Teilnehmer für DSM zur Verfügung stehen, muss er die Kriterien flexibler machen und die wirtschaftlichen Anreize an den realen Kosten orientieren. Beispielsweise können DSM-Maßnahmen aufgrund einer möglichen rampenfreien fokussierten Ab- oder Zuschaltung größerer Leistungen bestimmte Systemzustände stabilisieren, auch wenn sie von den Präqualifikationsanforderungen der etablierten Regelenergieprodukte abweichen. Somit stellen auch im Rahmen der Regelleistung nicht-präqualifizierbare Lastmanagementpotenziale eine energiewirtschaftlich sinnvolle und notwendige Ergänzung zu den etablierten Regelenergieprodukten dar, sofern der Regulierungsrahmen geeignete Vermarktungsprodukte vorsieht.

Über die Frequenzhaltung hinaus können variable Lasten auch zum Redispatch⁹ eingesetzt werden. Hierzu eignen sich insbesondere Lastreduzierungen, die überlastete oder ausfallende Netzbetriebsmittel präventiv oder kurativ entlasten können. Eine weitere Einsatzmöglichkeit abschaltbarer Lasten sind Notmaßnahmen in kritisch unterspeisten Systemzuständen, um eine Umsetzung des sog. Fünf-Stufen-Plans⁶ hinauszuzögern. Diese hätte wirtschaftlich nachteilige Abschaltungen gewerblicher Betriebe zur Folge, bei der die Geschädigten keinerlei Anspruch auf eine energiewirtschaftliche Vergütung haben.

⁸ https://www.bundestag.de/presse/hib/2015_10/-/390262 abgerufen am 30.12.2015

⁹ Redispatch: Eingriffe in die Erzeugungsleistung von Kraftwerken, um Leitungsabschnitte vor einer Überlastung zu schützen

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für die Chlorelektrolysen eine **Lastverschiebung** nur unter entsprechend hohen Aufwendungen praktikabel ist, da einer späteren Produktionsnachholung zahlreiche Faktoren entgegenstehen:

- die hohe Anlagenauslastung von ca. 90 %;
- zusätzliche Kosten durch höhere Netzentgelte;
- das Risiko des Verlustes der Netzentgeltreduktion;
- schlechtere Stromausbeute bei höherer Stromdichte.

Bei **Lastverzicht** fallen bei der Chlorproduktion nicht nur die Kosten für die Datenanbindung und die entgangene Marge für Chlor ins Gewicht, sondern weiterhin folgende Kosten:

- Margen für Natronlauge und Wasserstoff,
- Margen für die Folgeprodukte,
- Kosten für höheren Verschleiß der Membranen und Qualitätsprobleme der Natronlauge;
- Kosten zur Erweiterung der begrenzten Verfügbarkeit von Chlorspeichern;
- Energiekosten für die Einspeicherung von Chlor;
- zusätzlicher Personalaufwand für die Produktionsplanung;
- sowie bei Vollkostenbetrachtung die Abschreibung der Anlagen.

Damit ist DSM für die Chlorelektrolysen derzeit nicht rentabel.

Warum setzt das BMWi das DSM-Potenzial mit 5 bis 15 GW deutlich höher an als die vorliegenden Ausführungen und die meisten anderen Studien (3 GW)? Darüber lässt sich nur spekulieren. Aber ein Beweggrund bietet sich an: Bewusst oder unbewusst wird der zukünftige Verlauf der Energiewende optimistischer dargestellt als er nach derzeitigen Erkenntnissen wohl werden wird. Vielleicht soll der Eindruck erweckt werden, dass durch DSM bestehender Anlagen Investitionen in neue Kraftwerke, Leitungsbau und Speicher vermieden werden können, zumal die Investoren in Energieinfrastruktur im derzeitigen Umfeld von regulatorischer Unsicherheit zögerlich geworden sind. DSM kann mit den vorhandenen Anlagen aber kein strukturelles Kapazitätsdefizit ausgleichen, sondern eher zur Systemunterstützung dienen.

Schlussfolgerungen

- Die energieintensive Industrie möchte die Energiewende durch Bereitstellung von Kapazitäten unterstützen, soweit das wirtschaftlich sinnvoll ist und den operativen Ablauf nicht grundlegend stört.
- Das technische Potenzial für DSM in der energieintensiven deutschen Industrie liegt bei nur rund 3 GW, bedingt durch die hohe Auslastung der Anlagen und die geringen wirtschaftlichen Anreize, und damit deutlich unter den im Grünbuch angegebenen Potenzialen in Höhe von 5 bis 15 GW.
- Die Kosten und der Aufwand für DSM in der energieintensiven Industrie werden in den meisten Studien zu stark vereinfacht und deutlich unterschätzt.
- Um Chloranlagen in den DSM-Markt einzubeziehen, müssen echte Anreize geschaffen werden, die die tatsächlichen Kosten reflektieren.

- Der Gesetzgeber steht hierbei in der Pflicht, Vorgaben zu machen, die sich nach den Fähigkeiten verschiedener industrieller DSM-Teilnehmer richten, um so DSM auf eine breitere wettbewerbliche Basis zu stellen.
- Zwischen Flexibilität und Effizienz besteht ein Zielkonflikt: Je flexibler Industrieprozesse betrieben werden, umso mehr Effizienz geht verloren. Dies gilt analog auch für die Kraft-Wärme-Kopplung und alle konventionellen Erzeugungsanlagen.

Mein Dank für die Durchsicht des Manuskripts und die wertvollen Hinweise, Kommentare und Ergänzungen gilt: Bernhard Bieling (Covestro), Dr. Christina Elberg (EWI), Dr. Uwe Franke (Weltenergierat), Kerim Ben Hamida (Aurubis), Heribert Hauck (Trimet), Nicole Kaim-Albers (Weltenergierat), Markus Kleine-Beck (Covestro), Dr. Alexander Kronimus (VCI), Dr. Ute Müller-Eisen, Karen Perrey (beide Covestro), Dr. Hans-Jörg Preisigke (Currenta), Dennis Rendschmidt (BDI), Dr. Carsten Rolle (Weltenergierat), Norbert Schneider (Covestro).

Literatur:

- | | |
|---------------------|---|
| EWI 2012: | Elberg, Growitsch, Höffler, Richter, (Warmbach), Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign, März 2012 |
| r2b 2014 | Endbericht Leitstudie Strommarkt. Arbeitspaket Funktionsfähigkeit EOM & Impact-Analyse Kapazitätsmechanismen; r2b energy consulting im Auftrag des BMWi |
| Frontier 2014 | Strommarkt in Deutschland – Gewährleistet das derzeitige Marktdesign Versorgungssicherheit? Frontier economics, Formaet Services GmbH im Auftrag des BMWi |
| wik-FhG 2006 | Franz, Wissner, Büllingen, Gries (wik-Consult), Cremer, Klobasa, Sensfuß, Kimpeler, Baier, Lindner (Fraunhofer ISI), Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy) |
| IHK Bayern 2012 | von Roon, Buber (FfE), Energiewende im Strommarkt, November 2012 |
| FfE 2010 | von Roon, Gobmaier (FfE), Demand Response in der Industrie, Status und Potenziale in Deutschland, Dezember 2010 |
| Agora 2013 | Klobasa, Angerer, Lüllmann, Scheich (Fraunhofer System- u. Innovationsforschung), Buber, Gruber, Hünecke, von Roon (FfE), Lastmanagement als Beitrag zur Deckung des Spitzenlastbedarfs in Süddeutschland, August 2013 |
| dena-Netzstudie II | Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025. Hrsg. dena, November 2010 |
| Applied Energy 2011 | Paulus, Borggreffe, The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany, Applied Energy 88 (2011), S. 432-441 |
| BET 2015 | Thomas Langrock, Katja Purr, Bastian Baumgart und Armin Michels: Charakteristik, Potenzial und Kosten regelbarer Lasten in der energieintensiven Industrie, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 65. Jg. (2015), S. 60-63 |