

**Bericht und Antrag**17-06  
**des Regierungsrates des Kantons Schaffhausen**  
**an den Kantonsrat**  
**zum Postulat betreffend Unterstützung der Power-to-Gas Technologie**

Sehr geehrter Herr Präsident  
Sehr geehrte Damen und Herren

Wir erstatten Ihnen gestützt auf § 72 Abs. 2 i.V.m § 70 Abs. 2 der Geschäftsordnung des Kantonsrates Schaffhausen vom 20. Dezember 1999 (SHR 171.110) Bericht zum Postulat von Kantonsrätin Jeanette Storrer betreffend «Unterstützung der Power-to-Gas Technologie» vom 3. November 2014 mit dem Antrag, das Postulat als erledigt abzuschreiben. Unserem Antrag schicken wir folgende Erläuterungen voraus:

**1. Ausgangslage und Zielsetzung**

Am 12. Januar 2015 hat der Kantonsrat das Postulat 2014/10 von Jeanette Storrer vom 3. November 2014 betreffend «Unterstützung der Power-to-Gas Technologie» behandelt und mit 27:18 Stimmen an die Regierung überwiesen. Das federführende Baudepartement beauftragte daraufhin die Energiefachstelle, die Möglichkeiten zur Unterstützung und Entwicklung von Projekten oder Projektbeteiligungen sowie deren Anwendung im Bereich der Power-to-Gas Technologie zu prüfen und die Ergebnisse in einem Bericht festzuhalten.

Mit dem erheblich erklärten Postulat war der Auftrag zu erfüllen, die Möglichkeiten zur Unterstützung und Entwicklung von Projekten oder Projektbeteiligungen sowie deren Anwendung aufzuzeigen. Die Energiefachstelle beauftragte das Ingenieurbüro eicher+pauli aus Bern, welches hohe Fachkenntnisse im Bereich Energiespeicherung besitzt, mit der Erarbeitung einer Studie. Zudem wurde eine Arbeitsgruppe aus Vertretern der Stadt Schaffhausen und des regionalen Gasversorgers gebildet, deren Fachwissen in den Bericht einfluss. Um die Bedeutung von Power-to-Gas mit anderen Energiespeichern zu vergleichen, wurde der Untersuchungsrahmen auf andere Technologien ausgedehnt. Die Untersuchung fokussiert auf den Kanton Schaffhausen und dessen Bedarf an Energiespeichern sowie geeignete Standorte für die Energiespeicherung. Power-to-Gas und die anderen Energiespeicher-Technologien werden anhand von Wirtschaftlichkeit und Wirkungsgrad beurteilt. Der detaillierte Schlussbericht steht zum Download unter [www.energie.sh.ch](http://www.energie.sh.ch) bereit (bei Bedarf kann der Bericht in gedruckter Form bei der Energiefachstelle bezogen werden).

## 2. Grundlagen

### 2.1 Kategorisierung der Energiespeicher-Technologien

Es wird grundsätzlich zwischen folgenden drei Kategorien unterschieden:

**Energiespeicherung:** Dabei wird Elektrizität in eine andere Energieform umgewandelt und nach einer gewissen Zeit wieder in Elektrizität rückgewandelt. Hier stehen zum Beispiel Pumpspeicherkraftwerke, Batteriespeicher-Systeme und Power-to-Gas-to-Power (Umwandlung von Strom in Wasserstoff oder Methan und spätere Rückverstromung) zur Verfügung.

**Substitutionsspeicherung:** Hier wird Elektrizität aus erneuerbaren Energien in eine andere Energieform umgewandelt und zwischengespeichert, um in einem späteren Zeitpunkt im Wärme- oder Verkehrssektor eingesetzt zu werden. Fossile Energieträger werden damit ersetzt bzw. substituiert. Technologien, die hierfür zur Verfügung stehen, sind Power-to-Gas und Power-to-Heat und die Speicherung von Elektrizität in Batterien für den Antrieb von Elektrofahrzeugen. Eine Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses wird nur erreicht, wenn erneuerbare Energien eingesetzt werden.

**Lastmanagement:** Hierbei werden bestehende elektrische Geräte und Anlagen im Tagesablauf so gesteuert, dass ihr Betrieb besser an die im entsprechenden Netz angebotene Elektrizität angepasst wird. Lastmanagement verändert grundsätzlich die Energieeffizienz nur wenig oder gar nicht. Als Technologien stehen hier die Raumheizung und die Wassererwärmung mit Wärmepumpen im Vordergrund. In Zukunft können auch die Elektrofahrzeuge, deren Bestand heute noch gering ist, für das Lastmanagement genutzt werden.

### 2.2 Auswertung bestehender Studien zum Bedarf von Energiespeichern

Anhand bestehender Untersuchungen von Swissgrid, Bundesamt für Energie (BFE), Schweizerische Akademie der technischen Wissenschaften SATW, Verein Smart Grid Schweiz VSGS und der Elektrizitätswerk des Kantons Schaffhausen AG (EKS) wurde ermittelt, ob für die Umsetzung des Szenariums «Neue Energiepolitik» (NEP) der Energieperspektiven 2050 Probleme im elektrischen Netzbetrieb zu erwarten sind und wie diese am kostengünstigsten zu bewältigen wären. Das Szenarium NEP weist den höchsten Zubau an erneuerbaren Energien bis 2050 auf. Es zeigen sich folgende Ergebnisse:

- Es besteht nur ein geringer Anpassungsbedarf der schweizerischen Elektrizitätsversorgungsstruktur insbesondere im Kanton Schaffhausen. Die Haupttreiber für den zukünftigen Netzausbau sind der Zubau von zentralen Grosskraftwerken und der internationale Stromhandel.
- Die bis 2050 notwendigen Anpassungen konzentrieren sich im Wesentlichen auf die Netzebenen 5 (regionale Verteilnetze), 6 (Transformierung) und 7 (lokale Verteilnetze) in den ländlichen Verteilnetzen.
- Für diese Anpassungen kommen aus Kostengründen überwiegend die Abregelung der Spitzenleistung gegen Vergütung und das Blindleistungsmanagement bei den einspeisenden Energieproduktionsanlagen, Massnahmen am Netz und Lastmanagement in Frage. Diese Massnahmen

führen auch langfristig zu tieferen Kosten als der Einsatz von Power-to-Gas, Batterien oder andern Energiespeichern.

- Batteriespeicher kommen aus Kostengründen nur dann in Frage, falls diese beispielsweise zusätzlich noch für die Erhöhung des Eigenbedarfs bei Solarstrom-Anlagen, für die Bereitstellung von Primärregelleistung oder bei der Elektromobilität eingesetzt werden.
- Das bestehende Pumpspeicherkraftwerk Engewieher in der Stadt Schaffhausen kann nur vermehrt genutzt werden, wenn ein Überangebot an Strom besteht bzw. Speicherbedarf vorhanden ist und die Tariffdifferenz zwischen Einkauf und Verkauf hoch ist.

### 3. Bedarf zur Energiespeicherung im Kanton Schaffhausen

Um den Bedarf zur Speicherung von Energie im Kanton Schaffhausen abschätzen zu können, bedarf es zunächst einer Betrachtung des Energieverbrauchs und dessen zukünftiger Entwicklung. Die Verteilung des Energieverbrauchs der Schweiz und des Kantons Schaffhausen unterscheidet sich vor allem in den beiden Sektoren Haushalt und Industrie. In Schaffhausen hat der Sektor Haushalt einen höheren Anteil und der Sektor Industrie einen tieferen Anteil am Gesamtverbrauch als in der gesamten Schweiz. Damit lässt sich auch der höhere Anteil von Erdgas (Raumwärme/Warmwasser) und der niedrigere Anteil von Elektrizität verstehen.

Relative Verteilung Energieverbrauch nach Nutzung und Energieträger für das Jahr 2005											
Energieträger	Kanton Schaffhausen (Quelle [1])					Schweiz (Quelle: [2])					
	Haushalt	Industrie	Dienstleistung	Verkehr	Total	Haushalt	Industrie	Dienstleistung	Verkehr	Total	Abweichung Total
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Heizöl	20%	3%	3%	0%	<b>26%</b>	15%	5%	6%	0%	<b>25%</b>	<b>1%</b>
Treibstoffe	0%	0%	0%	32%	<b>32%</b>	0%	0%	0%	32%	<b>32%</b>	<b>0%</b>
Erdgas	9%	2%	9%	0%	<b>20%</b>	5%	4%	3%	0%	<b>12%</b>	<b>8%</b>
Elektrizität	7%	9%	3%	0%	<b>19%</b>	7%	8%	7%	1%	<b>23%</b>	<b>-4%</b>
Holz	2%	0%	0%	0%	<b>3%</b>	2%	1%	1%	0%	<b>3%</b>	<b>-1%</b>
Weitere Erneuerbare	0%	0%	0%	0%	<b>1%</b>	1%	3%	1%	0%	<b>5%</b>	<b>-4%</b>
<b>Total</b>	<b>39%</b>	<b>14%</b>	<b>15%</b>	<b>32%</b>	<b>100%</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>	<b>17%</b>	<b>33%</b>	<b>100%</b>	

- Quellen: [1] Grundlagen für die Leitlinien und Massnahmen der kantonalen Energiepolitik 2008 - 2017, Anhang Schlussbericht der Arbeitsgruppen an den Regierungsrat, 13. Februar 2009  
 [2] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2005, Bundesamt für Energie

Insgesamt sind die Abweichungen des Energieverbrauchs im Vergleich Schweiz/Kanton Schaffhausen gering und eine Verbrauchsprognose für den Kanton Schaffhausen kann näherungsweise aus den Szenarien der Schweizerischen Energieverbrauchsentwicklung abgeleitet werden. Die Situation im Kanton Schaffhausen ist deshalb durchaus vergleichbar mit der gesamtschweizerischen Situation.

#### Entwicklung des Energiebedarfs im Kanton Schaffhausen

Anhand des Berichtes «Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050», welcher im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE durch die Beratungsfirma Prognos erstellt wurde, wurde in nachfolgender Tabelle die Entwicklung des Elektrizitätsbedarfes der drei Szenarien Weiter-wie-bisher (WWB), Politisches Massnahmenpaket (POM) und Neue Energiepolitik (NEP) von der Schweiz auf den Kanton Schaffhausen übertragen. Der Bedarf an Elektrizität bleibt im Szenario NEP, welches im Vergleich der drei Szenarien vom höchsten Zubau erneuerbarer Energien ausgeht, bis 2035

gleich und nimmt bis 2050 leicht ab. Die drei Szenarien sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst.

	2009	2035			2050		
	GWh/a	WWB GWh/a	POM GWh/a	NEP GWh/a	WWB GWh/a	POM GWh/a	NEP GWh/a
<b>Elektrizität</b>	525 <sup>(1)</sup>	614	551	525	657	580	505

Quelle (1): Orientierungsvorlage des Regierungsrates des Kantons Schaffhausen an den Kantonsrat betreffend Strategie zum Ausstieg aus der Kernenergie, 30. August 2011

### **Ableitung Energiespeicherbedarf im Kanton Schaffhausen**

Aufgrund dieser Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass das Fazit für den Kanton Schaffhausen ähnlich dem aus den bestehenden Studien zur Energiespeicherung für die gesamte Schweiz ist. Dies bedeutet, dass für die Umsetzung des Szenarios NEP der Energieperspektiven 2050 nur Massnahmen in der Netzebenen 5, 6 und 7, wie zum Beispiel Abregelung von Spitzenleistung und Lastmanagement (siehe Punkt 2.2), notwendig sein werden und weitere Speichermöglichkeiten nicht erforderlich sind.

## **4. Potenzial zur Energiespeicherung im Kanton Schaffhausen**

### **4.1 Power-to-Gas**

SH Power hat den Einsatz von Power-to-Gas bereits eingehend untersucht und die folgenden Standorte analysiert:

- Gasübergabestationen von Erdgasversorgung Ostschweiz (EGO) an SH POWER Fallentor und Paradies sowie die für die Stadt Schaffhausen zugehörigen Druckreduzierstationen Bruderhalde und Lindli
- Die Biomasseanlagen ARA Röti, KBA Hard und eine Biogasanlage in Thayngen
- Das Rheinkraftwerk der KWS AG in Schaffhausen
- Das Lager von SH POWER Ebnat

Die ARA-Standorte Ramsen, Hallau und Klettgau wurden verworfen, weil kein Erdgasanschluss vorhanden ist bzw. die Anlagen zu klein für Power-to-Gas-Anlagen sind.

Die Studie von SH POWER weist ein mögliches Potenzial für das Verfahren Power-to-Gas an den Standorten Bruderhalde, Fallentor, Paradies und Kraftwerk Schaffhausen aus. Bei den drei ersten Standorten würde Wasserstoff erzeugt und in das Erdgasnetz eingespeist. Die gesamte Leistung der Elektrolyse beträgt 800 kW, was bei 5'500 Vollbetriebsstunden ein Potenzial von 4.4 GWh/a ergibt. Das entspricht ca. 1 % des jährlichen Elektrizitätsverbrauchs des Kantons Schaffhausen. Eine weitere Produktion von Wasserstoff als Power-to-Wasserstoff und die Einspeisung in das Erdgasnetz kommt im Kanton Schaffhausen nicht in Frage, weil mit Nutzung des Potenzials an den Standorten Bruderhalde, Fallentor und Paradies die aktuell maximal zulässige Wasserstoffzugabe von 2 % (Volumen) in das Erdgasnetz bereits ausgeschöpft ist.

Beim Kraftwerk Schaffhausen (KWS) könnte hingegen Methan erzeugt werden. Das dafür benötigte CO<sub>2</sub> wird aus dem Klärgas der ARA Röti abgeschieden, welches zu diesem Zweck in einer Leitung

zum KWS geführt wird. Die Leistung der Elektrolyse beträgt ebenfalls 800 kW und das Jahrespotenzial 4.4 GWh/a.

Insgesamt ergibt sich damit ein technisches Potenzial von 8.8 GWh, was knapp 2 % des jährlichen Elektrizitätsverbrauchs des Kantons Schaffhausen ausmacht.

Für Power-to-Methan wären grundsätzlich auch Industrieheizungen geeignet. Ein Erdgas- und Elektroanschluss in ausreichender Grösse wird in den meisten Fällen vorhanden sein und der Wärmeabsatz wäre auch gegeben. Das Hauptproblem ist die aufwendige CO<sub>2</sub>-Gewinnung aus den Abgasen der Feuerungen. Es kommen deshalb nur grosse Industriebetriebe in Frage, welche einen Jahreswärmebedarf von mindestens 30 GWh, entsprechend einer Dauerleistung von 4 MW, aufweisen.

Nachfolgende Tabelle zeigt die vier grössten industriellen Wärme-Verbraucher im Kanton Schaffhausen:

<b>Die vier grössten industriellen Wärmeverbraucher im Kanton Schaffhausen</b>			
	Raumwärme	Warmwasser	Prozesswärme
	GWh/a	GWh/a	GWh/a
Pharmazeutische Erzeugnisse	24'000	4'000	77'000
Nahrungs- und Futtermittel	9'900	1'600	31'000
Pharmazeutische Erzeugnisse	5'700	900	18'000
Chemische Erzeugnisse	4'000	700	13'000

## 4.2 Batterien

### Batterien in Gebäuden für die Speicherung von Solarstrom

Als grobe Dimensionierungsregel für einen Batteriespeicher bei einer Solarstrom-Anlage gilt: Für 1 kWp (Kilowatt Peak) Leistung wird eine Batteriekapazität von 1 kWh installiert. Bei Umsetzung der Energiestrategie 2050 gemäss Szenarium NEP würde die Installation von gesamtschweizerisch ca. 13 GWp Solarstrom-Anlagen eine tägliche Energiespeicherkapazität von 13 GWh nach sich ziehen. Umgerechnet auf den Kanton Schaffhausen (1 % Einwohner im Vergleich mit Gesamt Schweiz) bedeutet dies bei ca. 150 Ladezyklen pro Jahr eine Speicherkapazität von 20 GWh/a.

### Batterien in Motorfahrzeugen

Aktuell sind noch sehr wenige Elektroautos oder Plug-in-Hybridfahrzeuge in Betrieb. Zudem besteht keinerlei Infrastruktur, welche es gestatten könnte, die Batterien von solchen Fahrzeugen als Speicher zu nutzen. Langfristig wird es jedoch erforderlich sein, den Personenverkehr und den regionalen Sachtransportverkehr weitgehend zu elektrifizieren, um die gewünschten CO<sub>2</sub>-Einsparungen realisieren zu können.

Im Kanton Schaffhausen waren Ende 2015 ca. 44'000 Personenwagen und 4'000 Lastkraftwagen in Betrieb. Geht man langfristig von einer durchschnittlichen Batteriekapazität von 50 kWh pro Fahrzeug aus und nimmt man an, 20 % dieser Kapazität stehe täglich in 25 % der Fahrzeuge für Ladung und Entladung aus dem Netz zur Verfügung, so ergibt sich insgesamt eine Speicherkapazität von etwa 40 GWh/a.

### 4.3 Thermische Speicher

**Warmwasser:** Der tägliche Warmwasserverbrauch pro Person beträgt etwa 50 Liter. Das Warmwasser muss von 15 auf 55°C erwärmt werden. Der gesamtschweizerische Wärmebedarf beträgt 8.8 TWh/a für die Bereitstellung von Warmwasser im Wohnbereich. Dazu kommt ein Wärmebedarf für die Bereitstellung von Warmwasser im Dienstleistungsbereich und in der Industrie von ca. 2.5 TWh/a. Die aktuell verfügbare Speicherkapazität elektrisch betriebener Wassererwärmer liegt gesamtschweizerisch bei ca. 2.5 TWh/a. Proportional zur Wohnbevölkerung (1 %) umgelegt auf den Kanton Schaffhausen ergibt dies eine Speicherkapazität ca. 25 GWh/a. Langfristig wird der Anteil der elektrischen Wassererwärmung mit Wärmepumpen stark zunehmen. Der Elektrizitätsverbrauch wird dadurch trotzdem nicht zunehmen, da durch die Wärmepumpen auch die ineffizienten, mit Elektroheizstäben betriebenen Wassererwärmer substituiert werden.

**Raumwärme:** Für die Wärmespeicherung von Strom kommen nur die gut wärmedämmten Gebäude mit Wärmepumpen in Frage. Diese weisen schweizweit eine Energiebezugsfläche von ca. 60 Mio. m<sup>2</sup> auf. Das sind knapp 8 % der aktuellen Energiebezugsfläche. Dies ergibt umgerechnet auf den Kanton Schaffhausen eine Speicherkapazität von 10 GWh pro Jahr.

**Klimakälte:** Bei der Klimakälte kann die thermische Masse des Gebäudes für eine «Kältespeicherung» genutzt werden oder es können Kältespeicher, wie sie bereits heute zur Ausnutzung von Niedertarifen eingesetzt werden, zu einem anderen Tageszeitraum, zum Beispiel über Mittag bei hohen Anteilen von Solarstrom-Strom, geladen werden. Unter der Annahme, dass 1/3 des Stromverbrauchs für Klima, Lüftung und Haustechnik in Industrie und Dienstleistung für Klimakälte verwendet wird, ergibt sich für den Kanton Schaffhausen ein Speicherpotenzial von etwa 3 GWh/a, was im Vergleich zur Wärmespeicherung gering ist. Der Kälteverbrauch entsteht allerdings in derjenigen Zeit, in welcher auch der Solarstrom anfällt und es bietet sich daher die Möglichkeit, einen Anteil der anfallenden Stromproduktion ohne Zeitverschiebung direkt für die Kälteproduktion einzusetzen und damit die lokalen Netze zu entlasten.

### 4.4 Pumpspeicher

Beim Rheinkraftwerk Schaffhausen ist auch das Pumpspeicherwerk (PSW) der SH POWER mit dem 144 m höher gelegenen Engeweiher als Kopfspeicher in Betrieb. Es war beim Bau im Jahr 1907 das erste Speicherkraftwerk der Schweiz. Die Leistung der Francis-Turbine beträgt 5 MW. Der nutzbare Inhalt des Kopfspeichers beträgt 70'000 m<sup>3</sup>. Der Gesamtwirkungsgrad liegt bei 73 %. Die tägliche Speicherkapazität (Strom für eine tägliche Füllung des Engeweiher) beträgt damit etwa 30 MWh, was ca. 12 GWh/Jahr ergibt. In den Jahren 1991 bis 1993 wurde das PSW umfassend erneuert. Die

Speicherkosten bei Pumpspeicherwerken sind mit 5 bis 7 Rp./kWh im Vergleich zu anderen Energiespeichern relativ gering. Umso schwieriger wird es sein, andere Energiespeichertechnologien in den Markt einzuführen. Sollte im Kanton Schaffhausen dereinst auf Netzebene 5 (regionale Verteilnetze) ein Energiespeicherbedarf auftreten, so kann dafür das vorhandene PSW eingesetzt werden.

## 5. Vergleich der potenziellen Speichertechnologien im Kanton Schaffhausen

### 5.1 Energiespeicherung

Unter Stromspeicherung wird in diesem Bericht die Umwandlung von Elektrizität in eine andere Energieform, eine anschliessende Speicherung in dieser Energieform und eine spätere Rückverstromung verstanden. Bei Power-to-Gas bedeutet dies die Erzeugung von Wasserstoff oder Methan, die Rückspeicherung in das Erdgasnetz und eine spätere Stromerzeugung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW). Die Speicherkosten berechnen sich aus den Ausgangskosten des Stroms sowie den gesamten Kosten für die Umwandlung und Speicherung des Stroms. Die Endkosten beinhalten bei Power-to-Gas zusätzlich die gesamten Kosten für die Rückverstromung im BHKW. Dabei wird die nutzbare Abwärme jeweils genutzt und mit 5 Rp./kWh vergütet.

Die folgende Tabelle zeigt das Potenzial im Kanton Schaffhausen sowie die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit der möglichen Technologien:

Stromspeicherung (Strom -> Zwischenspeicher -> Strom)	Ausgangskosten Strom (1)	Speicherpotential	Strom Wirkungsgrad	Speicherkosten heute (3)	Endkosten Strom
	Rp./kWh	GWh/a	%	Rp./kWh	Rp./kWh
<b>Power to Gas</b>					
Produktion von Wasserstoff, Speicherung im Erdgasnetz und Rückverstromung mit BHKW bei je 1500 Betriebsstunden	4	1.2	27%	26.0	72
Produktion von Wasserstoff, Speicherung im Erdgasnetz und Rückverstromung mit BHKW bei je 4000 Betriebsstunden	4	3.2	27%	13.0	31
Produktion von Methan, Speicherung im Erdgasnetz und Rückverstromung mit BHKW bei je 1500 Betriebsstunden	4	1.2	21%	39.0	106
Produktion von Methan, Speicherung im Erdgasnetz und Rückverstromung mit BHKW je 4000 Betriebsstunden	4	3.2	21%	18.0	44
<b>Batterien</b>					
Batterien in PV Anlagen, 150 Speicherzyklen pro Jahr	4	20 (2)	90%	44/20 (5)	44/20 (5)
Batterien in Elektrofahrzeugen	4	40 (2)	90%	(4)	(4)
<b>Pumpspeicher</b>					
Pumpspeicher Engiweiher	4	12	73%	9 bis 11	9 bis 11
(1) Bei der Stromspeicherung wird zugrundegelegt dass kein Netzentgelt fällig wird (Analog Pumpspeicherkraftwerke)					
(2) Langfristiges Potential					
(3) Kosten der Stromspeicherung inkl. Kosten des verwendeten Stromes					
(4) Kosten fallen weitestgehend beim Elektrofahrzeug an					
(5) heute/langfristig					

Es wurden jeweils für die gleichen Anlagenstandorte Berechnungen mit 1'500 und 4'000 Betriebsstunden pro Jahr durchgeführt. Die entsprechenden Potenziale sind dabei nicht kumulativ, es handelt sich um die gleichen Anlagenstandorte.

Das Potential der Stromspeicherung mit Power-to-Gas liegt bei maximal 6.4 GWh/a und beträgt damit etwa die Hälfte des Potentials des bestehenden Pumpspeicherkraftwerkes Engeweiher. Die erreichbaren Wirkungsgrade sind mit 21 % bis 27 % sehr gering. Ein Teil des Verlustes kann bei einem geeigneten Standort der Anlagen in Form von Abwärme genutzt werden. Power-to-Gas-Anlagen mit 1'500 Vollbetriebsstunden pro Jahr sind für die Nutzung eines momentanen Überangebotes, zum Beispiel zu Zeitpunkten mit hoher Sonneneinstrahlung oder hohem Windangebot, konzipiert. Die sich ergebenden Stromendkosten sind jedoch mit 72 respektive 106 Rp./kWh hoch. Bei 4'000 Stunden pro Jahr sind die resultierenden Stromkosten mit 31 bis 44 Rp./kWh bereits deutlich tiefer.

Batterien haben ein grösseres Potenzial und sind sehr effizient, aber die Kosten des Endstroms sind hoch für einen Einsatz als reiner Energiespeicher. Zwar erwarten Experten langfristig eine deutliche Reduktion der Speicherkosten von 40 auf 15 Rp./kWh. Aber auch dann sind Batterien für die reine Speicherung von Elektrizität noch nicht in jedem Fall wirtschaftlich einsetzbar. Die Wirtschaftlichkeit hängt wesentlich von der Differenz zwischen Rückliefer tariff und Strompreis ab. Bei einem Rückliefer tariff für Solarstrom von beispielsweise 10 Rp./kWh und Strombezugskosten (aus dem Netz) von 20 Rp./kWh müssten die Speicherkosten für die Batterie kleiner als 10 Rp./kWh sein, damit die Investition wirtschaftlich ist. Batterien werden trotzdem zunehmend eine wichtigere Rolle spielen, zum Beispiel für die Erhöhung des Eigenstromanteils bei Solarstrom-Anlagen und für den Einsatz in Elektrofahrzeugen. Grosse Netzbatterien könnten zudem zukünftig eine Rolle beim Erbringen von Primärregelleistung spielen.

Deutlich besser sieht die Situation für den Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken aus. Im Kanton Schaffhausen hat das bestehende Pumpspeicherkraftwerk Engeweiher noch Reservekapazitäten, die aus Wirtschaftlichkeitsgründen nur teilweise ausgeschöpft werden. Ein allfälliges regionales Überangebot an Strom kann jedoch auch mittels der bestehenden Übertragungsleitungen in bestehende und noch geplante Schweizer Pumpspeicherkraftwerke geleitet werden.

## **5.2 Substitutionsspeichertechnologien**

Die Umwandlung von Strom in andere Energieformen wird insbesondere für die Wärme- und Warmwassererzeugung in Gebäuden sowie im Verkehrssektor genutzt. Dort führt es zu einer Substitution der vormals verwendeten fossilen Energie. Power-to-Wasserstoff weist einen Wirkungsgrad von 70 %, Power-to-Methan einen Wirkungsgrad von 55 % auf. Power-to-Heat mittels Wärmepumpen führt zu einem Wirkungsgrad von 350 %, da aus 1 kWh Elektrizität 3 bis 5 kWh Wärme erzeugt werden können. Der Einsatz von Elektrizität mittels Batterien in Elektrofahrzeugen hat einen Wirkungsgrad von 300 %, da diese nur ein Drittel des Verbrauchs gegenüber einem vergleichbaren Erdgasfahrzeug aufweisen.

Die folgende Tabelle zeigt die Effizienz in Form des Substitutionsfaktors, das Potenzial und die Kosten der Substitution der untersuchten Technologien:

Substitutionsspeicherung	Ausgangskosten Strom (3)	Strombedarf	Substitutionsfaktor	Substitutionspotential	Kosten Wasserstoff Methan
	Rp./kWh				
<b>Power to Gas</b>					
Produktion von Wasserstoff, Speicherung im Erdgasnetz. 5500 Betriebsstunden	10	4.4	70%	3.1	19
Produktion von Methan, Speicherung im Erdgasnetz. 5500 Betriebsstunden	10	4.4	55%	2.4	26
Produktion von Methan in Industriefeuerungen 5500 h pro Jahr	10	90	55%	49.5	26
<b>Batterien (1)</b>					
Batterien für Elektrofahrzeuge	15	150	300%	450 (4)	(2)
<b>Power to Heat (1)</b>					
Raumheizung und Warmwasser (Wärmepumpen)	15	86	350%	300 (5)	(2)
(1) Grobe Schätzung des langfristigen Potentials					
(2) Substitutionskosten fallen allenfalls bei den Elektrofahrzeugen und bei den Wärmepumpen an					
(3) Da es sich nicht um eine Energiespeicherung mit Rückverstromung handelt, fallen Netzentgelte an					
(4) Langfristig substituierbarer fossiler Treibstoffverbrauch der Personenwagen und leichten Lastkraftwagen bei Antrieb mit Elektrizität					
(5) Langfristig substituierbarer fossiler Brennstoffverbrauch durch Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen					

Neben den Kosten des aus Elektrizität erzeugten Wasserstoffs respektive Methan ist der Substitutionsfaktor von entscheidender Bedeutung. Er gibt an, wie gross der Anteil der substituierten fossilen Energien ist, verglichen mit einem Stromeinsatz von 100 %. Bei Power-to-Gas ist er identisch mit dem Wirkungsgrad des Prozesses. Bei Power-to-Heat kann mit dem Einsatz von 1 kWh Elektrizität mit Hilfe einer Wärmepumpe etwa 3.5 kWh Wärme für Raumheizung und Warmwasser erzeugt werden. Dieses Verhältnis wird in Zukunft durch die Verbesserung der Wärmepumpentechnik noch weiter ansteigen. Power-to-Gas weist bei der Substitution von Erdgas in der Industrie ein bedeutendes Potential auf. Allerdings ist der Substitutionsfaktor mit 55 % zu gering und die Kosten des produzierten Methans sind mit 26 Rp./kWh deutlich zu hoch, um diese Technologie effektiv einsetzen zu können.

### 5.3 Lastmanagement

Das Lastmanagement kommt aktuell vor allem im Bereich der Wassererwärmung (Boiler) und der Raumheizung bzw. Klimakälte mit Wärmepumpen zum Tragen, da es hier bereits viele Anlagen gibt, welche dafür genutzt werden können. In Zukunft können auch Batterien in Elektrofahrzeugen zu diesem Zweck verwendet werden, wie es im vorherigen Abschnitt der Substitutionstechnologien aufgezeigt wurde. Die folgende Tabelle zeigt das Potenzial und die Speicherkosten (ohne Elektrofahrzeuge). Es zeigt sich, dass die Nutzung der Gebäudesubstanz als Energiespeicher mit 1-4Rp./kWh sehr geringe Speicherkosten aufweist.

<b>Netzentlastungsspeicherung (Lastmanagement)</b>	<b>Speicherpotential GWh/a</b>	<b>Speicherkosten (2) Rp./kWh</b>
<b>Power to Heat</b>		
Warmwasser bestehende Anlagen	25	1
Raumheizung (Gebäudemasse) bestehende Anlagen	10 (1)	1 - 2
Raumheizung (Gebäudemasse) und Warmwasser Neuanlagen	100	< 1

(1) Ohne Elektrodirektheizungen  
(2) Nur Kosten für Einführung/Anpassung des Lastmanagements

## 6. Schlussfolgerungen und Handlungsmöglichkeiten

Auch bei starkem Ausbau der erneuerbaren Energien entsprechend dem Szenario NEP der Energiestrategie 2050 sind nur relativ geringe Massnahmen im Stromnetz des Kantons Schaffhausen erforderlich, um die Stabilität des Netzes und somit die Sicherheit der Stromversorgung zu gewährleisten. Kostengünstiger als der Einsatz von Energiespeichern sind Massnahmen wie Abregelung der Spitzenleistung von einspeisenden Energieanlagen gegen Vergütung, Lastmanagement und Nutzung vorhandener, dezentraler Speicher sowie konventionelle Netz-Verstärkungen in den ländlichen Gebieten. Beteiligungen im Bereich der untersuchten Energiespeicher sind deshalb aus heutiger Sicht finanziell wenig attraktiv, haben aber Bedeutung in der Forschung und Entwicklung von Energiespeichern.

Für den Einsatz von Power-to-Gas-to-Power (als Energiespeicher) besteht derzeit und in naher Zukunft im Kanton Schaffhausen auf Grund des geringen Wirkungsgrades von 20-30 % und damit verbundener schlechter Wirtschaftlichkeit kein Bedarf. Wenn der mit Power-to-Gas produzierte Wasserstoff resp. Methan nicht rückverstromt wird, verbleibt dieser im Gasnetz und ersetzt fossile Energieträger im Wärme- oder Verkehrssektor. Eine solche Substitution muss zu einer möglichst hohen Einsparung von fossilen Energieträgern und CO<sub>2</sub> pro eingesetzte Einheit Elektrizität führen. Dies bedeutet, dass einerseits die verwendete Elektrizität aus erneuerbaren Energien stammen muss und der Substitutionsfaktor der eingesetzten Substitutionstechnologie möglichst hoch sein muss. Der Nutzungsgrad beträgt etwa 70 % bei der Erzeugung von Wasserstoff und 55 % bei der Produktion von Methan. Dazu kommen noch Abzüge für Rückspeisung und Transport im Gasnetz. Damit ergeben sich Substitutionsfaktoren von maximal 55 % bis 70 %. Im Vergleich zu den anderen verfügbaren Speichertechnologien hat Power-to-Gas daher kaum Relevanz.

Bei Power-to-Heat ist die Effizienz bedeutend höher. Mittels Wärmepumpen für die Beheizung von Gebäuden und die Bereitstellung von Warmwasser wird eine Substitutionseffizienz von 300 % bis 500 % erreicht. Das bedeutet, dass aus 1 kWh Elektrizität 3 bis 5 kWh Wärme erzeugt werden, also etwa 4- bis 7-mal mehr als mit Power-to-Gas.

Batteriespeicher-Systeme in Gebäuden werden in Zukunft kostengünstiger, falls sich die Elektromobilität durchsetzt. Besitzer von Solarstrom-Anlagen werden dann vermehrt Batteriespeicher installieren, um einen höheren Anteil des Solarstroms für die Deckung des Eigenbedarfs zu nutzen. Diese Batterien könnten gleichzeitig für die Entlastung des Niederspannungsnetzes eingesetzt werden, sofern Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) und Anlagenbetreiber sich über das Lade- und Entladeregime einigen. Der wirtschaftliche Betrieb von grossen Netzbatterien mit Speicherkapazitäten ab ca. 500 kWh erscheint mittelfristig als möglich, insbesondere durch die Bereitstellung von Regelenergie.

Das vorhandene Pumpspeicherkraftwerk Engeweiher kann insbesondere dann zur Energiespeicherung eingesetzt werden, wenn auf Netzebene 5 (regionale Verteilnetze) ein Speicherbedarf besteht und die tageszeitlichen Strompreis-Differenzen einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen.

Der Regierungsrat wird die Weiterentwicklung der Speichertechnologien weiterhin beobachten und bei Bedarf im Rahmen seiner Möglichkeiten aktiv werden oder Dritte motivieren, diese Technologien mit innovativen Produkten nutzbringend einzusetzen. Seitens der EVU gibt es bereits zahlreiche Projekte, welche in Richtung Lastmanagement, Bereitstellung von Regelenergie oder Erhöhung des Eigenverbrauchanteils gehen. Vor dem Hintergrund einer möglichen, vollständigen Strommarktöffnung geht es bei diesen Massnahmen auch um Kundenbindung und Erschliessung von neuen Marktsegmenten.

Handlungsbedarf in Bezug auf die Power-to-Gas-Technologie besteht aus den genannten Gründen nicht. Im Hinblick auf den weiteren Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sind jedoch andere Energiespeicher- und Substitutionstechnologien von Bedeutung. Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Studie seien insbesondere die Batteriespeicher und Power-to-Heat erwähnt. Die Entwicklung der Batteriespeicher wird zukünftig wesentlich durch die Entwicklung der Elektromobilität getrieben. Bei Power-to-Heat besteht noch ein grosses Potenzial beim Ersatz von Öl- und Gasheizungen durch Wärmepumpen. Durch geeignete Massnahmen kann der Kanton in diesen beiden Bereichen Impulse setzen.

*Sehr geehrter Herr Präsident  
Sehr geehrte Damen und Herren*

*Wir ersuchen Sie, auf die Vorlage einzutreten und das Postulat 2014/10 von Jeanette Storrer betreffend «Unterstützung der Power-to-Gas Technologie» vom 3. November 2014 als erledigt abzuschreiben.*

Schaffhausen, 24. Januar 2017

Im Namen des Regierungsrates

Die Präsidentin:

*Rosmarie Widmer Gysel*

Der Staatsschreiber:

*Dr. Stefan Bilger*

## **Glossar:**

### *Abregelung Spitzenleistung*

Bei einem Überangebot von Strom werden Stromproduktionsanlagen, zum Beispiel Windkraftanlagen und grosse Solarstromanlagen, abgeschaltet.

### *Biogasanlage/Blockheizkraftwerk*

In einer Biogasanlage wird durch Vergärung von Biomasse (z.B. Gülle, Mist, Grünschnitt, Erntereste) Biogas erzeugt und in Wärme umgewandelt. In einem Blockheizkraftwerk (BHKW) wird Biogas in Strom und Wärme umgewandelt.

### *Blindleistungsmanagement*

In Stromnetzen fliesst häufig mehr Energie zwischen dem Kraftwerk und einem elektrischen Verbraucher. Durch eine gezielte Steuerung der Blindleistung können unzulässige Spannungserhöhungen vermieden werden.

### *Druckreduzierstation*

Für einen wirtschaftlichen Ferntransport von der Gasförderung bis zum Abnehmer wird Erdgas stark verdichtet. Auf dem Weg bis zum Endkunden wird der Druck stufenweise in Druckreduzierstationen wieder reduziert.

### *Eigenbedarf/Eigenstromanteil*

Der von einer Photovoltaik-Anlage erzeugte Solarstrom wird zeitgleich im Stromnetz des Hauses genutzt. Steht mehr Solarstrom zur Verfügung als verbraucht werden kann, fliesst der Überschuss in das öffentliche Netz.

### *Elektrolyse*

Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mit Hilfe von elektrischem Strom.

### *Energiebezugsfläche*

Summe aller beheizten Grundflächen in einem Gebäude.

### *Energieperspektiven 2050*

Es handelt sich um Wenn-Dann-Analysen zur Energiezukunft der Schweiz. Sie bilden die Grundlage für die Energiestrategie 2050 des Bundes.

### *Gestehungskosten*

Die Gestehungskosten beinhalten die Kapitalkosten sowie die Betriebs- und Unterhaltskosten, die nötig sind, um eine Kilowattstunde Energie zu produzieren.

### *Klimakälte*

Kälteanwendungen (Klimaanlagen), die für die Raumkonditionierung eingesetzt werden.

### *Kopfspeicher*

Oberhalb des Pumpspeicherkraftwerks gelegener Wasserspeicher, in den Wasser gepumpt und aus dem Wasser zur Stromproduktion wieder abgelassen werden kann.

### *Lade-/Entladeregime*

Steuerung von Ladung und Entladung der Batterie, um einen optimalen und dauerhaften Betrieb zu gewährleisten.

### *Netzbatterien*

Netzbatterien sind deutlich grösser als die Klein-Batteriesysteme, wie sie für PV-Anlagen verwendet werden und weisen Leistungen von einem bis mehreren Megawatt (MW) auf.

### *Plug-in-Hybridfahrzeug*

Fahrzeug, dessen Batterie sowohl über den Verbrennungsmotor als auch am Stromnetz geladen werden kann.

### *Power-to-Gas*

Aus Wasser entsteht durch Elektrolyse Wasserstoff. Unter Zugabe von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) kann dieser Wasserstoff zu Methan umgewandelt werden. Methan kann ins Erdgasnetz eingespielen und damit gespeichert werden.

### *Primär-/Tertiärregelleistung*

Ungleichgewichte zwischen Stromangebot und -nachfrage im Netz werden durch Kraftwerke innerhalb festgelegter Fristen ausgeglichen. Die vorgehaltene Reserveleistung muss bei der Primärregelleistung innerhalb von 30 Sekunden, bei der Tertiärregelleistung innerhalb von 15 Minuten abgerufen werden können.

### *Prozesswärme*

Wärme, die für industrielle Prozesse benötigt wird.

### *Pumpspeicherkraftwerk*

Speicherung von elektrischer Energie durch Hinaufpumpen von Wasser in einen See. Bei Bedarf kann dieses Wasser mittels Turbine und Generator Strom erzeugen.

### *Rückverstromung*

Umwandlung von Strom in eine andere Energieform zur Speicherung und anschliessende Umwandlung in Strom.

### *Substitution fossiler Energie*

Ersatz fossiler Energieträger wie Erdöl und Erdgas durch erneuerbare Energien wie Holz, Umweltwärme, Sonne, Wind oder Wasserkraft.

### *Wärmepumpe*

Gerät zur Nutzung der Wärme aus dem Erdreich, dem Grundwasser oder der Luft, um sie für Heizung und Warmwasser zu nutzen.

### *Wirkungsgrad*

Verhältnis der Nutzenergie zur zugeführten Energie.