



Freiburger Verkehrs AG

Gefördert durch den
Innovationsfonds
Klima- und Wasserschutz

badenova

Energie. Tag für Tag

Projekt

Stationärer Energiespeicher Landwasser

Abschlussbericht



erstellt:	23.10.2014	Bereich E, Instandhaltung elektrische Anlagen	Flösch
-----------	------------	---	--------

1. Projektverlauf

25.10.2011	Bewerbung Innovationsfond
23.04.2012	Zusage der Förderung
25.06.2012	Bestellung Energiespeicher Fa. Piller
28.09.2012	Bestellung Fertigteilgebäude Fa. Betonbau
04.10.2012	Antrag auf Zustimmung Technische Aufsichtsbehörde für Bahnen (TAB)
19.12.2012	Anlieferung und Aufstellung Gebäude
13.02.2013	Anlieferung und Aufstellung Energiespeicher
04.03.2013	Zustimmung TAB
08.03.2013	Abnahme und Inbetriebnahme
23.04.2013	Leitwartenprogramm – Beginn Messungen
24.10.2013	Lärm- und Erschütterungsmessung
04.08.2014	Leitwartenprogramm – Spannungsregelung
10.10.2014	Abschlussbericht

2. Ausgangslage

Straßenbahnen werden allgemein bekannt mit Hilfe elektrischer Motoren angetrieben. Diese Motoren dienen zudem als nahezu verschleißfreie Betriebsbremse. Dies geschieht indem der Motor als Generator arbeitet. Hierbei wird die vorhandene kinetische Energie des Fahrzeuges in elektrische Energie umwandelt. Bei den alten Widerstandssteuerungen der ersten Fahrzeuggenerationen wurde die dadurch entstandene Energie direkt auf sogenannte Bremswiderstände geführt und dort in Wärme umgewandelt.

Mit der Entwicklung und dem Voranschreiten der Leistungselektronik konnte der Energiefluss in beide Richtungen erfolgen. D. h. Die Energierichtung von der Fahrstromversorgung zum Fahrzeug konnte nun gedreht werden, so dass ein Energiefluss vom Fahrzeug zurück zur Fahrstromversorgung möglich wurde. Damit konnte die beim Bremsvorgang erzeugte elektrische Energie einem anderen energieaufnehmenden Fahrzeug über die Fahrleitung zur Verfügung gestellt werden. Dieser Rückspeisevorgang wird als Rekuperation bezeichnet.

Die 61 Straßenbahnen der VAG sind zu 100 % rückspeisefähig. Voraussetzung ist jedoch, dass sich in unmittelbarer Nähe ein anfahrendes oder beschleunigendes Fahrzeug befindet. Ist dies nicht der Fall, wird die Energie weiterhin über den mitgeführten Bremswiderstand in Wärme umgewandelt. Dieser Energieverlust tritt vorwiegend an langen Ausläuferstrecken mit geringem Fahrzeugtakt oder fehlender Vermaschung mit anderen Streckenabschnitten auf.

Allein bei der VAG werden jährlich ca. 910.000 kWh in Verlustwärme umgesetzt.

Um diese Verluste weiter zu reduzieren, werden Speicher erforderlich, die die freigesetzte Bremsenergie zwischenspeichern und bei Bedarf ans Netz abgegeben können.

Grundsätzlich wird unterschieden in mobile und stationäre Energiespeicher.

Mobile Energiespeicher werden direkt auf dem Fahrzeug installiert. Als Speichermedium kommen heute im Bahnbereich leistungsstarke Kondensatoren zum Einsatz. Mobile Schwungradspeicher befinden sich in der Entwicklung. Dies bedeutet jedoch ein Ausrüsten aller Bahnen mit einem Speicher, da hiermit nur der eigene Bremsstrom zwischengespeichert werden kann. Aus statischen Gründen ist so eine Nachrüstung nicht bei jedem Fahrzeugtyp möglich und zudem sehr kostenintensiv.

Eine Alternative sind stationäre Speicher, die an ausgewählten Streckenabschnitten installiert und an die Fahrleitungsanlage angeschlossen werden. Somit profitieren alle in diesem Abschnitt befindlichen Fahrzeuge von dieser Speichermöglichkeit. Neben der Kondensatorlösung kommt hier bereits das bekannte Prinzip der Schwungradspeicherung zur Anwendung, für welches wir uns nach einem Abwägungsprozess vor Antragsstellung entschieden haben.

3. Der Schwungradspeicher

3.1. Aufbau und Daten

Das Herzstück des Speichers besteht aus einer 1,9 t schweren Schwungmasse mit ca. 1 m Durchmesser und ca. 0,3 m Dicke. Hinzu kommen Welle und Rotor der Maschine, so dass insgesamt eine Masse von ca. 2,9 t bewegt wird. Mit Hilfe eines Hubmagneten werden die Wälzlager deutlich entlastet.

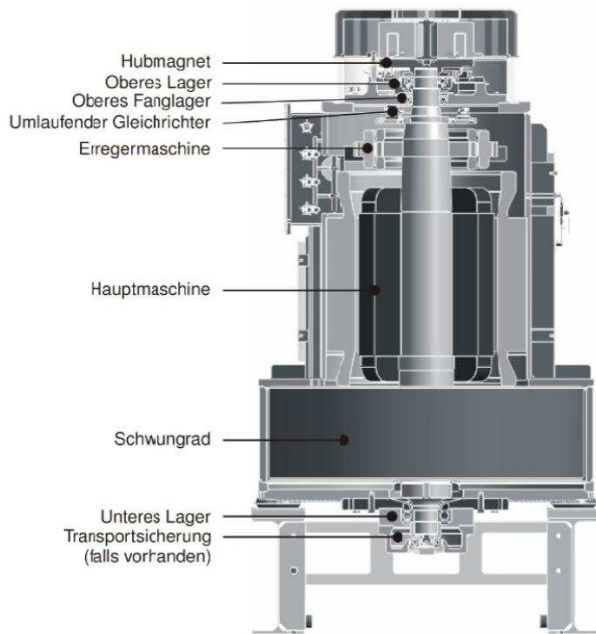


Bild 1: Aufbau Schwungradspeicher (Quelle: Piller)

Bild 2: Ausstellungsstück der Fa. Piller auf der InnoTrans 2004, Berlin (Foto: Flösch)

Neben der Speichereinheit gehört zur Anlage ein Stromrichterschrank, in welchem die Leistungselektronik sowie die gesamte Steuerungs- und Regelungstechnik enthalten sind. Ein weiterer Schrank beinhaltet die Gleichstromanschlüsse. Per Kabelverbindung erfolgt die Anbindung der Anlage an das 750 V DC Oberleitungsnetz.

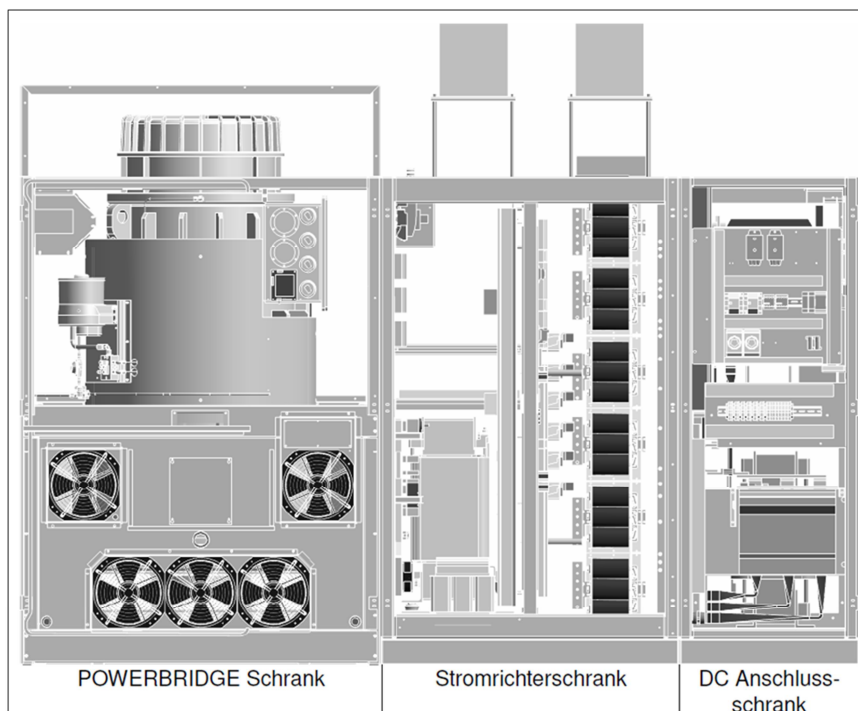


Bild 3: Aufbau Gesamtanlage Schwungradspeicher (Quelle: Piller)

Nachfolgend einige technische Daten zur Anlage:

Typ	PB 1000 – 600 – 0	PB 1000 – 750 – 0
Nennspannung ¹	600 V	750 V
Niedrigste Dauerspannung	400 V	
Höchste Dauerspannung	900 V	
Höchste nicht-permanente Spannung	1000 V	
Nennstrom	1500 A	
Maximalleistung	1 MW	
Absoluter Energieinhalt	7,3 kWh	
Nutzbarer Energieinhalt	5,0 kWh	

Bild 4: Elektrische Daten Schwungradspeicher (Quelle: Piller)

Typ	PB 1000 – 600 – 0 / PB 1000 – 750 – 0
Drehzahlbereich	1800 – 3450 1/min
Zul. Umgebungstemperatur	0° - 40° (Tagesmittelwert ≤ 35 °C)
Rel. Luftfeuchtigkeit	< 85% (nicht kondensierend)
Aufstellhöhe ohne Leistungsbeschränkung	1000 mm über NN
Luftmenge	5000 m³/h
Maximaler Gegendruck	50 Pa
Abmessungen	
Breite	3300 mm
Höhe	2600 mm
Tiefe	1325 mm
Gewicht	10000 kg
Farbe	RAL 5012

Bild 5: Allgemeine Daten Schwungradspeicher (Quelle: Piller)

3.2. Wirkungsweise

Der Schwungradspeicher ist prinzipiell mit einer Straßenbahn vergleichbar. Besteht Energieüberschuss aufgrund eines bremsenden Fahrzeuges nimmt er diese elektrische Energie auf und wandelt sie in kinetische Energie um. Die vorhandene Schwungradmasse wird beschleunigt. Der Speicher nimmt nur dann Energie auf, wenn kein beschleunigendes Fahrzeug in der Nähe ist. In Bild 6 wird dieses Prinzip vereinfacht dargestellt.

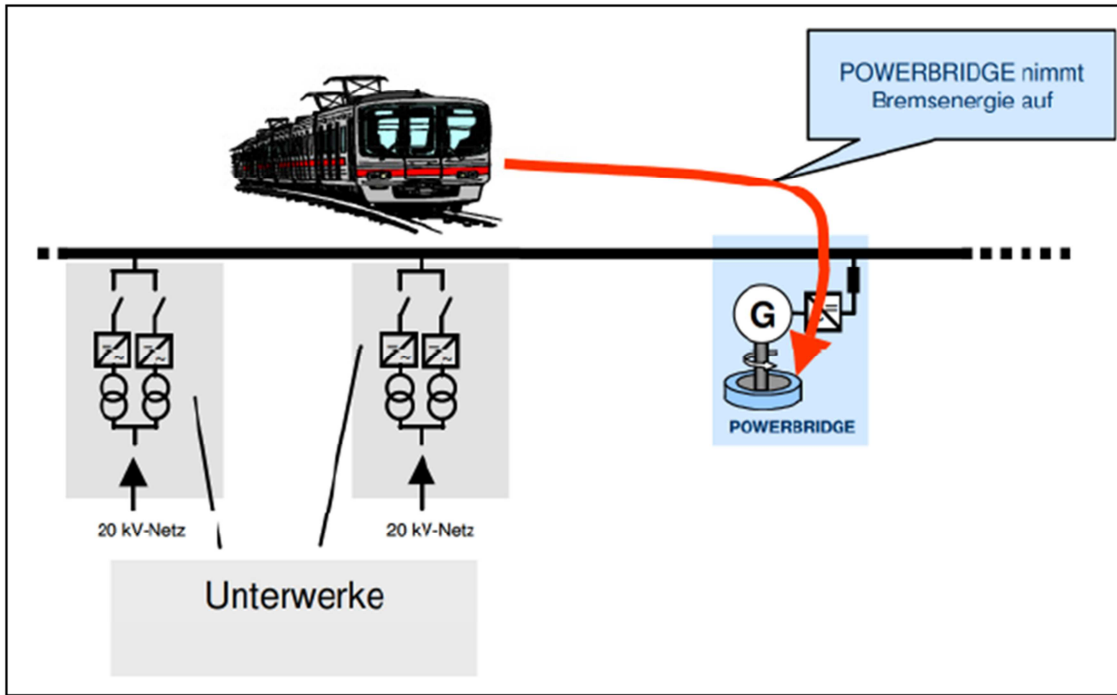


Bild 6: Abbremsvorgang Fahrzeug - Beschleunigungsvorgang Speicher (Quelle: Piller)

Beschleunigt ein Fahrzeug in diesem Abschnitt gibt der Speicher seine aufgenommene Bremsenergie wieder ab. Hierbei treibt die drehende Schwungmasse die nun als Generator arbeitende Maschine an. Dadurch wird elektrische Energie bereitgestellt und kann von dem z. B. anfahrenen Fahrzeug verwendet werden. Nachfolgend das vereinfachte Prinzip dieses Vorgangs.

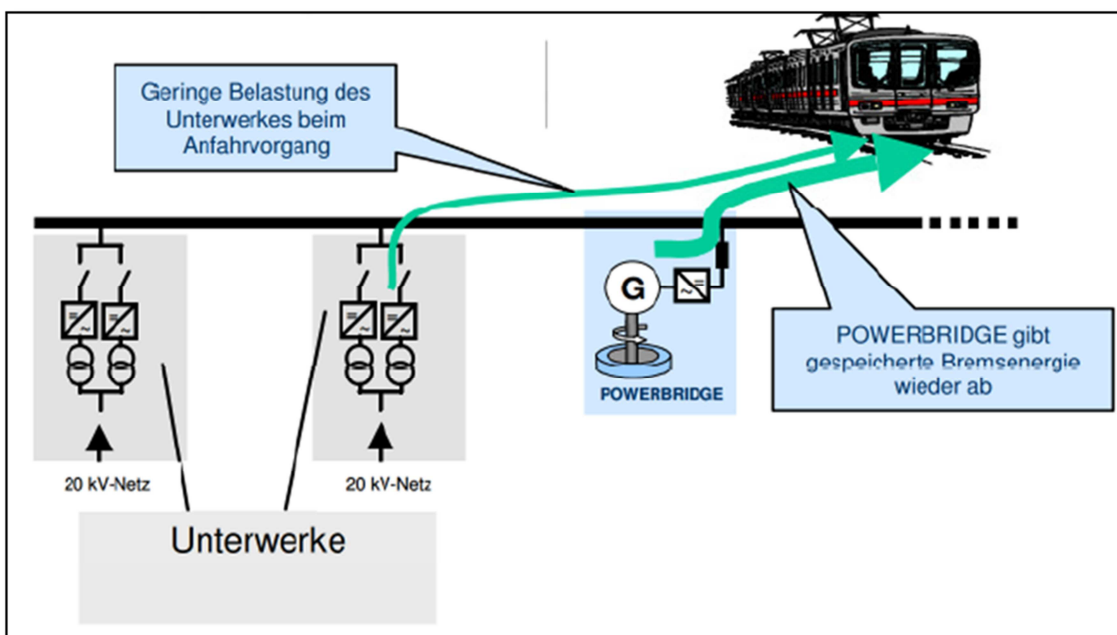


Bild 7: Beschleunigungsvorgang Fahrzeug - Abbremsvorgang Speicher (Quelle: Piller)

Ein anfahrendes Fahrzeug belastet aufgrund seines hohen Energiebedarfes die Stromversorgung. Hierdurch wird die Fahrleitungsspannung abgesenkt (höherer Spannungsabfall an den Widerständen im Stromkreis). Im Gegensatz hierzu hebt die Leistungselektronik eines bremsenden Fahrzeuges die Spannung am Fahrdraht an, um in diesem Fall Bremsenergie ins Fahrleitungsnetz zurückspeisen zu können. Dem Energiespeicher muss nun diese Spannungsschwelle vorgegeben werden damit er erkennen kann, ob Energieüberschuss oder -bedarf besteht. Befindet sich die aktuelle Fahrdrahtspannung unterhalb dieser Spannungsschwelle, nimmt er ein belastetes Netz wahr und gibt seine zwischengespeicherte Energie ab. Steigt die Spannung über den eingestellten Wert, besteht Energieüberschuss und der Speicher nimmt diese auf.

4. Projektbeschreibung

4.1. Standortbestimmung

Zur Standortbestimmung mussten mehrere Kriterien berücksichtigt werden.

Zum einen sollte der Standort ein möglichst hohes Potenzial an überschüssiger Bremsenergie aufweisen. Hierzu wurde bereits 2003 eine Untersuchung des damaligen Streckennetzes in Zusammenarbeit mit der Üstra Hannover und der Fa. Piller durchgeführt. Das Ergebnis dieser Untersuchung ergab als mögliche Standorte die Bereiche Hansjakobstraße, Paduaallee und die Wendeschleife Landwasser. Diese Streckenabschnitte sind bis heute unverändert geblieben.

Neben den „elektrischen Kriterien“ spielen auch die baulichen Gegebenheiten eine wesentliche Rolle bei der Standortfindung. Hierzu gehört die Frage nach freien und nutzbaren Flächen, Anlieferungs- und Aufstellmöglichkeit für Gebäude und Speicher, Nähe und Anbindung an Fahrleitung und Kabelrohrsystem sowie die zulässigen Lärmpegel für den Standort.

Unter Berücksichtigung aller Belange und Abwägung der einzelnen Kriterien zeigte sich die Wendeschleife Landwasser als der geeignetste Standort.

Dieser Standort befindet sich am Streckenende und wird einseitig von einem Gleichrichterwerk in etwa 1,1 km Entfernung eingespeist.



Bild 8: Wendeschleife Landwasser mit Standort Speicher (Quelle: Google Maps)

4.2. Gebäude

Da der Speicher nicht in ein vorhandenes Gebäude integriert werden konnte, musste hierfür ein separates Gebäude geplant werden, das die Aufstellung der Anlage mit dem hohen Gewicht, Luftvolumen sowie Schalldämmung berücksichtigte. Zur Bemessung der Schalldämmung im Rahmen der Gebäudehülle und Lüftungsanlage lagen keine detaillierten Angaben über die Schallemissionen vor. Daher musste die Berechnung und Dimensionierung auf verschiedenen Annahmen aufgebaut werden. Die Projektierung wurde vom Gebäudehersteller Fa. Betonbau durchgeführt.

Der Speicher benötigt zur Kühlung eine Luftmenge von 5.000 m³/h. Während diesem Planungsschritt hat sich gezeigt, dass die vorhandenen Lüfter des Energiespeichers diesen Luftdurchsatz aufgrund der erforderlichen Schalldämmkulissen nicht mehr leisten können. Um in den heißen Sommermonaten dem Luftbedarf gerecht zu werden, wurden zusätzliche zweistufige, temperaturgesteuerte Lüfter erforderlich.

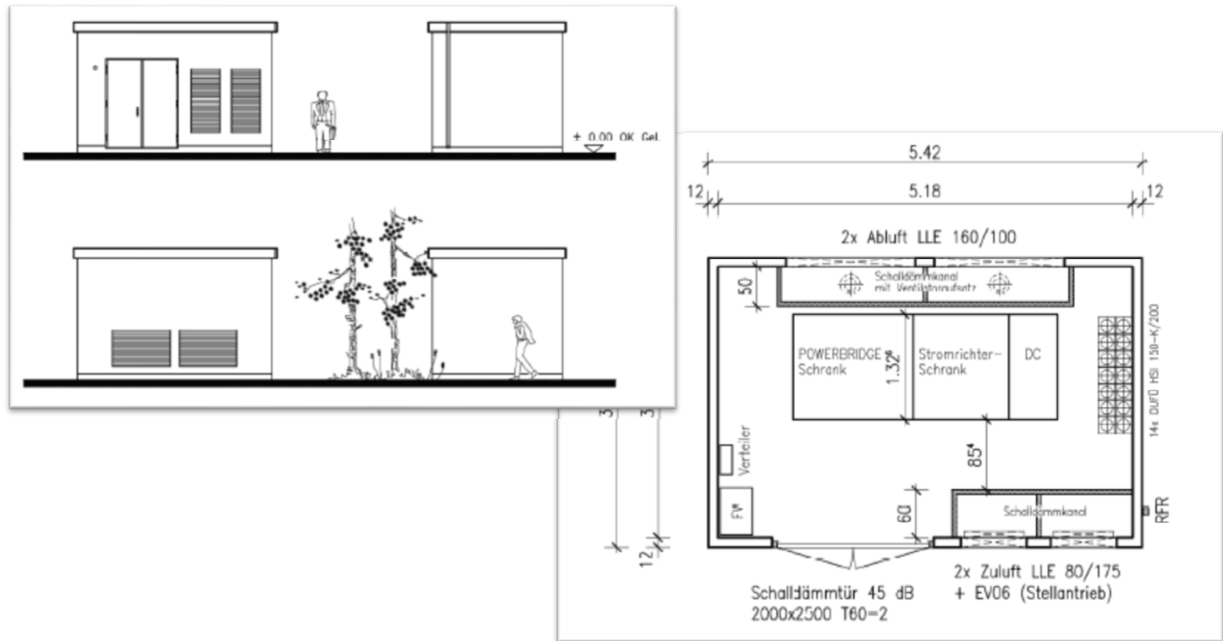


Bild 9, 10: Ansichten und Grundriss Gebäude (Quelle: Ausschnitt Baueingabeplan Fa. Betonbau)

4.3. Aufstellung und Inbetriebnahme der Anlage

Die Aufstellung des Fertigteilgebäudes erfolgte auf das durch die VAG hergestellte Fundament am 19.12.2012.



Bild 11: Aufstellung Gebäude (Foto: Flösch)

Der Energiespeicher wurde am 13.02.2013 angeliefert und in das Gebäude eingebracht.



Bild 12: Einbringung Energiespeicher (Foto: Flösch)

Nach der Aufstellung des Speichers erfolgte die Elektroinstallation des Gebäudes, Anbindung an die Fernwirk- und Brandmeldeanlage, Anschluss an die Fahrleitung und Gleis einschl. Schaltantrieb und Speiseschalter am Fahrleitungsmast sowie der Wiederherstellung der Außenanlagen durch die VAG.

Da es sich hierbei um eine Betriebsanlage nach BOStrab handelt, ist diese Anlage mit der Technischen Aufsichtsbehörde (TAB) abzustimmen. Dies erfordert ein Genehmigungs- und Zustimmungsverfahren zum Bau und zur Inbetriebnahme der Gesamtanlage. Die Zustimmung der TAB erfolgte am 04.03.2013. Somit konnten Prüfung, Inbetriebnahme und die Abnahme der Anlage bis zum 08.03.2013 durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen werden.

4.4. Leitwartenprogramm

Damit der Speicher gesteuert, Messdaten aufgezeichnet und ausgelesen werden können wurde von der Fa. Piller ein Leitwartenprogramm geliefert, welches diese Funktionalitäten ermöglicht. Zudem ist hierüber ein Fernzugriff auf die Anlage gegeben. Dieser erleichtert den Datenaustausch, die Überwachung und Veränderung der Parameter der Anlage erheblich.

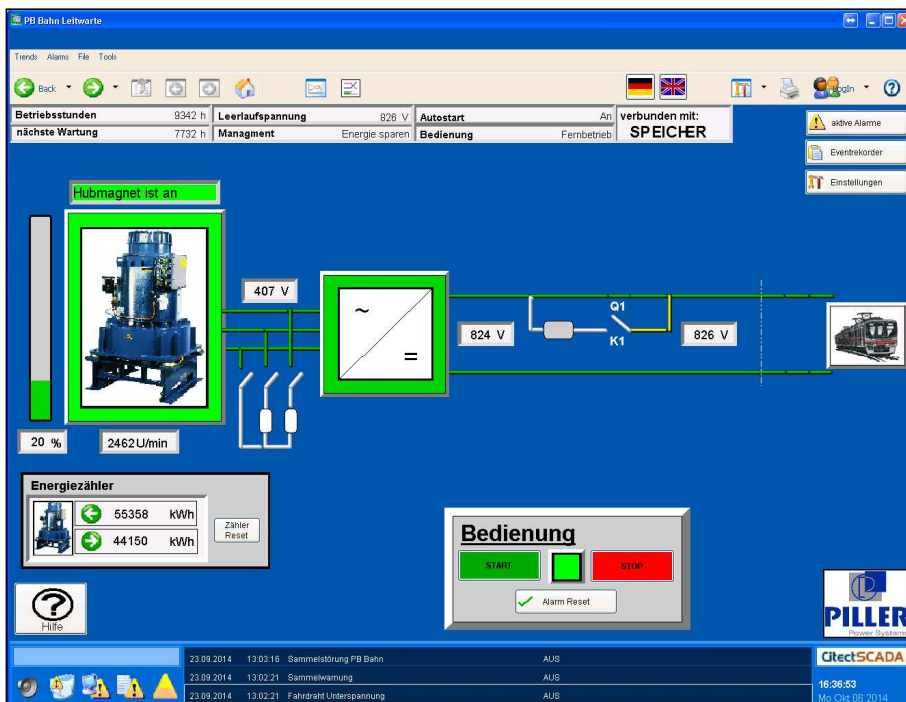


Bild 13: Übersichtseite Leitwartenprogramm

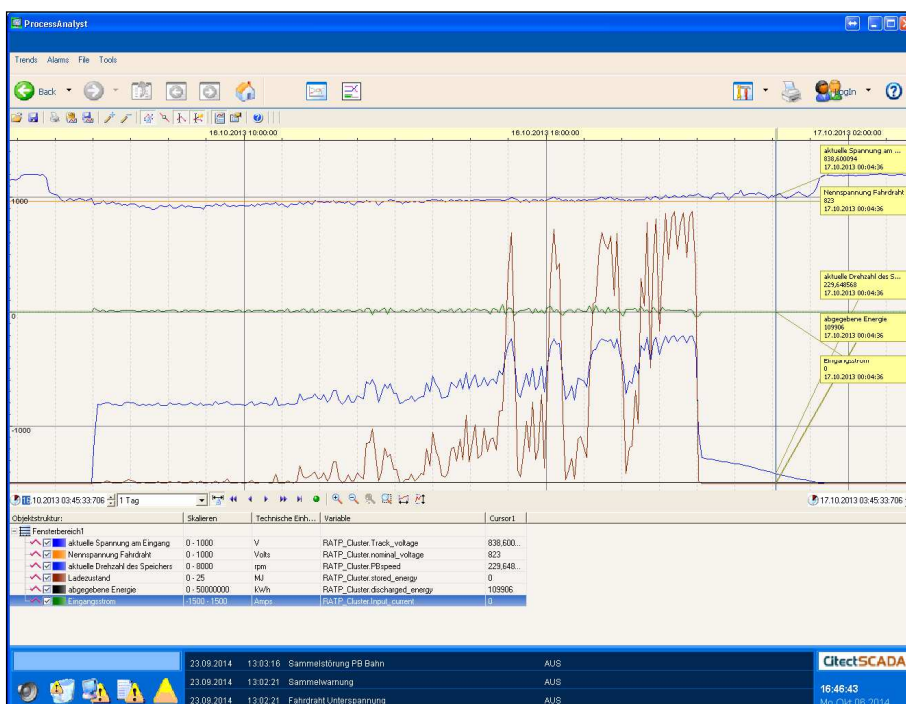


Bild 14: Grafische Darstellung der Messdaten im Leitwartenprogramm

Sämtliche Messdaten werden in einer Datenbank abgelegt und können seit Aufzeichnungsbeginn in sehr hoher Auflösung abgerufen werden.

5. Ergebnisse

5.1. Einsparwerte Energiespeicher

Bei der Antragsstellung wurde von einem Einsparpotenzial von 250.000 kWh/Jahr ausgegangen. Im Vergleich deckt dies den Stromverbrauch von ca. 70 Haushalten. Des Weiteren ergibt sich eine CO₂-Einsparung von 145 t/Jahr.

Mit Beginn der Messdatenaufzeichnung wurden Versuchsreihen gefahren, in denen die Parameter verändert wurden. Ziel war, insbesondere die Einstellung für die unter Punkt 3 beschriebene Spannungsschwelle für einen optimalen Betrieb des Speichers zu ermitteln.

Anfang	Ende	Nennspannung	Zeit für Mittelw	Totzeit [V]	kWh Anfang	kWh Ende	abgegeben	Tages-Ø	Jahreswert
03.05.2013	10.05.2013	820	-	4	23977	27732	3755	536,4	195.796
11.05.2013	18.05.2013	821	-	4	28261	32078	3817	545,3	199.029
22.05.2013	29.05.2013	822	-	4	33815	36878	3063	437,6	159.714
04.06.2013	11.06.2013	823	-	4	39189	42750	3561	508,7	185.681
18.06.2013	25.06.2013	824	-	4	46580	50445	3865	552,1	201.532
27.06.2013	04.07.2013	825	-	4	51586	55410	3824	546,3	199.394
05.07.2013	12.07.2013	821	-	4	56022	59923	3901	557,3	203.409
13.07.2013	20.07.2013	821	-	3	60552	64486	3934	562,0	205.130
27.07.2013	03.08.2013	824	-	3	68525	72252	3727	532,4	194.336
07.08.2013	14.08.2013	824	-	5	74452	78369	3917	559,6	204.244

Bild 15: Ausschnitt aus den Messreihen

Die Wochenergebnisse wurden hierbei auf ein Jahr hochgerechnet, um eine Beurteilung der Einstellwerte zu ermöglichen.

Es zeigte sich recht schnell, dass der prognostizierte Wert von 250.000 kWh/Jahr nicht erreicht werden konnte. Der auf ein Jahr hochgerechnete Maximalwert lag bei ca. 205.000 kWh.

Wie aus Bild 16 ersichtlich, unterliegt die Spannung am Fahrdrabt starken Schwankungen. Die Spannung verändert sich im Tagesverlauf gravierend, so dass die am Energiespeicher fest eingestellte Spannungsschwelle zu keinem Optimum führen konnte. Der Verlauf zeigt vormittags eine deutliche Unterschreitung der Spannungsschwelle. Damit erfolgt nur eine sehr geringe Aufnahme an Bremsenergie. Bis zum Abend verläuft die Spannung in einem recht konstanten Bereich. In den späten Abendstunden steigt die Spannung deutlich über die Schwelle an, so dass der Spei-

cher sich bis zur oberen Grenze befüllt (Bremsstrom und Fahrstrom!) und nicht mehr im optimalen Bereich arbeiten kann, da kaum noch Energieaufnahme möglich ist.

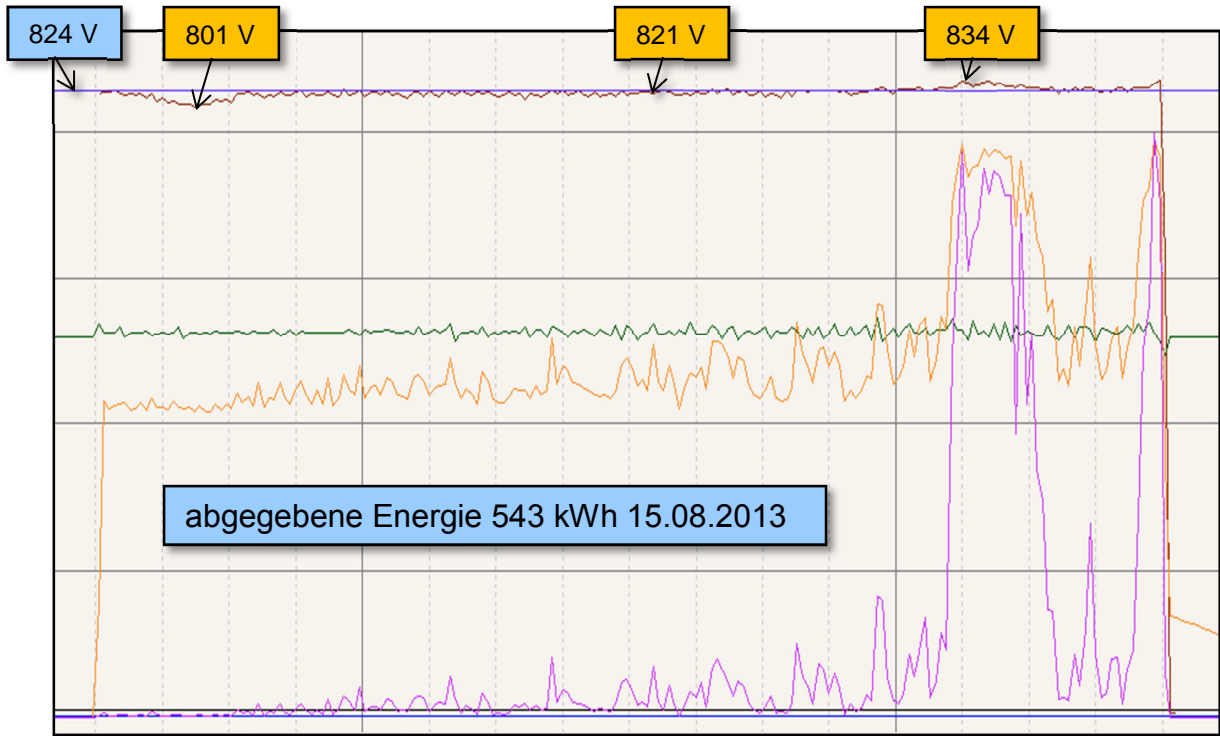


Bild 16: Spannungsverlauf Fahrleitungsspannung und eingestellte Spannungsschwelle (blau)

Um Aussagen zum Spannungsverlauf und zu den erforderlichen Einstellwerten der Spannungsschwelle tätigen zu können, wurden die Stundenmittelwerte der Fahrleitungsspannung über einen festgelegten Zeitraum ermittelt.

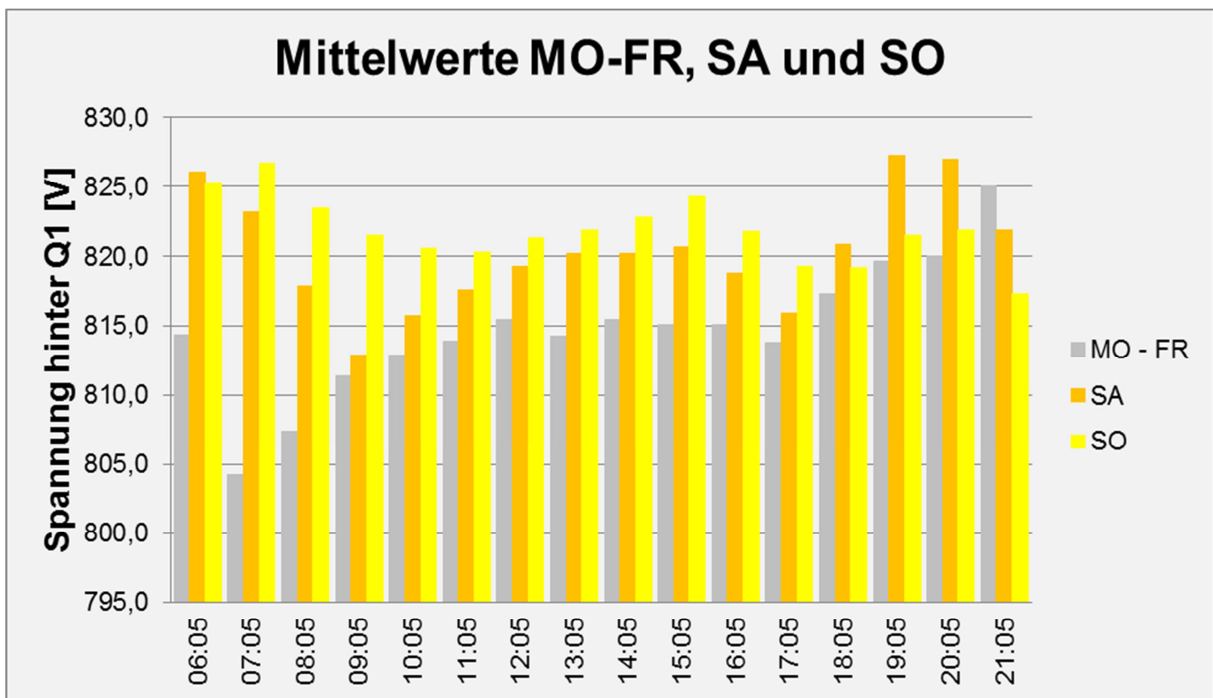


Bild 17: Stundenmittelwerte Fahrleitungsspannung

Aus Bild 17 wird der Spannungsverlauf in Form von Stundenmittelwerten ersichtlich. Die einzelnen Wochentage zeigten einen ganz ähnlichen Tagesverlauf auf, so dass diese zusammengefasst dargestellt werden konnten. Einen ganz anderen Spannungsverlauf ergibt sich an Samstagen und Sonntagen.

Wie oben bereits erwähnt, wirkt sich ein beschleunigendes Fahrzeug belastend auf die Stromversorgung aus. Damit ist die Anzahl der Fahrzeuge, die sich in dem Abschnitt befinden, die wesentliche Ursache für den Spannungsverlauf (Bild 18 und 19).

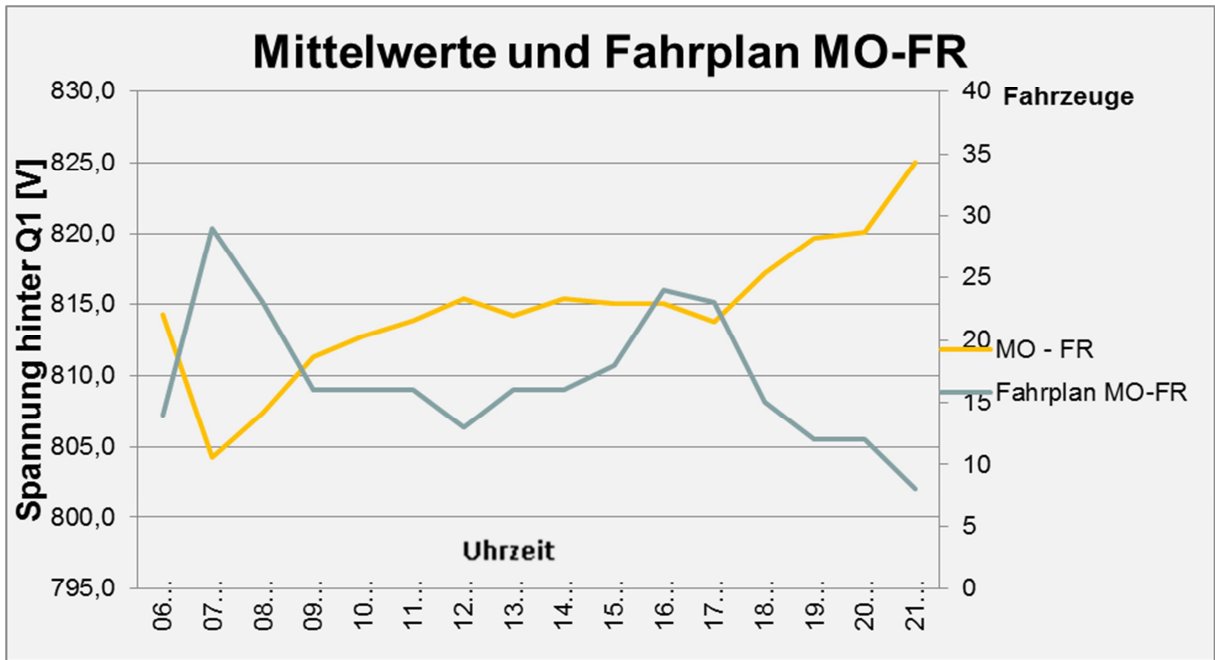


Bild 18: Stundenmittelwerte Fahrleitungsspannung (MO-FR) und Anzahl Fahrzeuge werktags (2013)

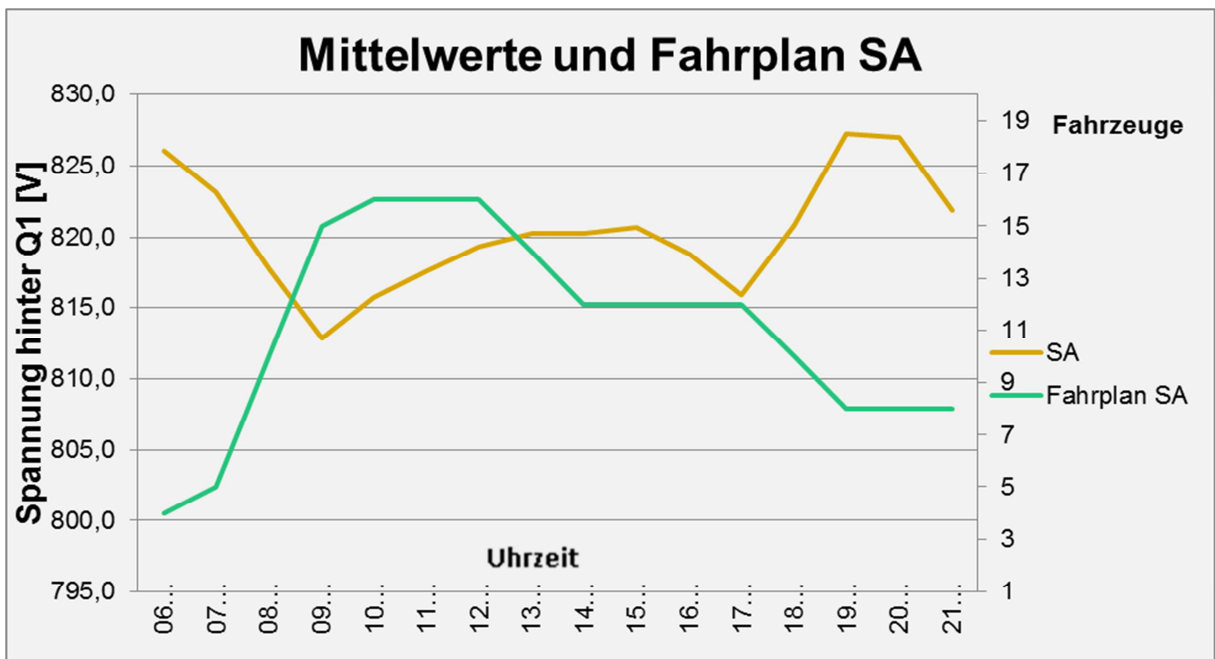


Bild 19: Stundenmittelwerte Fahrleitungsspannung (SA) und Anzahl Fahrzeuge samstags (2013)

Um nun auf diese Veränderungen reagieren zu können, war unser erster Ansatz, eine Art Wochenschaltuhr einzuführen, mit welcher wochentags- und tageszeitabhängig verschiedene Spannungswerte hinterlegt und an den Speicher als jeweils aktuelle Schwellenspannung weitergeben werden können.

Zum Zeitpunkt dieser Überlegungen kam der Wechsel auf den Winterfahrplan sowie fast zeitgleich der Beginn der kalten Jahreszeit. Die veränderten Fahrzeugzahlen sowie die Beheizung der Fahrzeuge wirkten sich so gravierend auf die Mittelwerte aus, so dass wir die Wochenschaltuhr nicht mehr sinnvoll weiter verfolgen konnten.

Die Fahrzeugheizungen werden ebenfalls aus der 750 V DC Fahrstromversorgung gespeist. Diese nehmen sinnvollerweise bereits einen Anteil an Bremsenergie auf. Die hochgerechneten Einsparwerte bewegten sich in der Winterzeit noch zwischen 120.000 kWh und 170.000 kWh pro Jahr.

Die tatsächlich gemessene Einsparung lag im Zeitfenster 03.08.2013 bis 02.08.2014 bei 162.496 kWh.

Das bei Antragsstellung prognostizierte Einsparpotenzial von jährlich 250.000 kWh berücksichtigte diese starken Spannungsschwankungen nicht. Zudem ging es von einer Betriebszeit des Speichers von 5.00 bis 24.00 Uhr aus. Tatsächlich lief der Speicher von 6.00 bis 22.00 Uhr. Aufgrund der starken Abweichungen der Fahrleitungsspannung zur eingestellten Schwellenspannung in den Morgen- und Nachtstunden, machte es keinen Sinn, den Speicher täglich früher und länger in Betrieb zu lassen.

Die aus unserer Sicht einzige Möglichkeit, noch eine Optimierung zu erreichen, lag im nächsten Schritt unter Punkt 5.2.

5.2. Einsparwerte Energiespeicher mit Spannungsregelung

Aufgrund der großen Spannungsschwankungen im Tagesverlauf sowie von Wochentag zu den Samstagen, Sonntagen, Feiertagen und zwischen Sommer und Winter, liegen große Bereiche der Betriebszeiten des Speichers in einem nicht optimalen Abstand zur fest eingestellten Spannungsschwelle. Daher bedarf es bei diesen Gegebenheiten einer kontinuierlichen Regelung der Spannungsvorgabe.

Nach umfangreicher Abstimmung mit der Fa. Piller konnte nun eine Spannungsregelung auf Grundlage der vorhandenen Messdaten entwickelt und vom Softwarelieferanten des Leitwartenprogrammes umgesetzt werden.

Um einen Mittelwert der Fahrleitungsspannung bilden zu können, werden in einem frei wählbaren Zeitintervall die aktuellen Spannungswerte erfasst. Der aus diesen Werten berechnete Mittelwert wird dann dem Speicher als Vorgabe übergeben. Für das Zeitintervall haben wir bisher 14 bzw. 15 min gewählt. Somit wird alle 14/15 min ein neuer Wert an den Speicher übergeben. Damit lässt sich der Spannungsverlauf recht genau nachführen (Bild 20). Der Mittelwert kann manuell um ± 1 V Schritte korrigiert werden.



Bild 20: Aktuelle Fahrdrabtspannung und Spannungsschwelle nach der Softwareerweiterung

Mit der Inbetriebnahme der Softwareänderung am 04.08.2014 begann nun eine neue Messreihe, um Ergebnisse in Abhängigkeit der Einstellungen zu bewerten. In der Ersten Woche wurde die Betriebszeiten zwischen 6.00 und 22.00 Uhr beibehalten. Hierbei erhöhte sich der auf ein Jahr hochgerechnete Einsparwert auf 234.017 kWh.

Anfang	Ende	Nennspannung	Zeit für Mittelw	Totzeit [V]	kWh Anfang	kWh Ende	abgegeben	Tages-Ø	Jahreswert
05.08.2014	12.08.2014	Regelung +0	15	3	505	4993	4488	641,1	234.017

Bild 21: Messergebnis erste Woche nach Softwareänderung mit alten Betriebszeiten

Mit der Regelung der Spannungsvorgabe konnte nun auch die Betriebszeit auf die vorgesehene Zeit von 5.00 bis 24.00 Uhr verlängert werden.

Anfang	Ende	Nennspannung	Zeit für Mittelw	Totzeit [V]	kWh Anfang	kWh Ende	abgegeben	Tages-Ø	Jahreswert
14.08.2014	21.08.2014	Regelung +0	15	3	6691	11573	4882	697,4	254.561
21.08.2014	28.08.2014	Regelung +0	14	3	11573	16698	5125	732,1	267.232
28.08.2014	04.09.2014	Regelung +0	14	3	16698	21679	4981	711,6	259.724
04.09.2014	11.09.2014	Regelung +0	14	3	21679	26581	4902	700,3	255.604
11.09.2014	18.09.2014	Regelung +0	14	3	26581	31444	4863	694,7	253.571
18.09.2014	25.09.2014	Regelung +0	14	4	31444	36093	4649	664,1	242.412
25.09.2014	02.10.2014	Regelung +0	15	3	36093	41046	4953	707,6	258.264

Bild 22: Messergebnisse nach Softwareänderung mit verlängerten Betriebszeiten

Die berechneten Mittelwerte lagen bisher zwischen 805 und 840 V.

Mit der Einführung der Spannungsregelung und den verlängerten Betriebszeiten konnte nun ein auf ein Jahr hochgerechneter Maximalwert von 267.232 kWh erreicht werden. Vom 04.08.2014 bis zum 07.10.2014 konnten wiederum auf ein Jahr hochgerechnet im Durchschnitt 258.000 kWh ermittelt werden.

Es ist davon auszugehen, dass die Einsparwerte in den Wintermonaten ebenfalls zurückgehen werden. In welchem Umfang dies der Fall sein wird, werden wir in zwei bis drei Monaten beurteilen können. Aufgrund der Spannungsnachführung dürfte der Rückgang im Vergleich zu den Ergebnissen des letzten Winters deutlich kleiner ausfallen.

5.3. Wirkungsgrad

Nach der Umstellung der Software und der längeren Betriebszeiten wurden folgende zwei Wirkungsgrade ermittelt:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta 1 = \frac{\text{abgegebene Energie Speicher}}{\text{aufgenommene Energie Speicher}} = 0,80$$

$$\text{Wirkungsgrad } \eta 2 = \frac{\text{abgegebene Energie Speicher}}{\text{aufgenommene Energie Speicher} + \text{Nebenverbraucher}} = 0,78$$

5.4. Lärm- und Erschütterungsmessung

Um Aussagen zu Schall und Erschütterungen machen zu können, wurden entsprechende Messungen vorgenommen. Diese Messung soll als Grundlage für mögliche weitere Standorte eines Energiespeichers dienen, der evtl. in oder in der Nähe eines Wohngebietes aufgestellt werden könnte.

Der Speicher steht in einem Gewerbegebiet. Die Abstände zur Wohnbebauung sind größer 100 m. Der Mindestabstand zur Wohnbebauung, um die dort geltenden Werte einhalten zu können, beträgt ≥ 46 m. Der Prüfbericht bestätigt unter den gegebenen Bedingungen, dass ein Betrieb auch in Nachtstunden möglich ist.

Die Schwinggeschwindigkeit, mit der Erschütterungen gemessen werden, liegt unter 1 mm/s und somit im Grenzbereich der Wahrnehmung.

6. Zusammenfassung

Am 08.03.2013 konnte der Energiespeicher an der Wendeschleife Landwasser in Betrieb genommen werden. Die Anlage, die nach dem Schwungradprinzip arbeitet, speichert überschüssige Bremsenergie und gibt diese bei Bedarf an anfahrende oder beschleunigende Stadtbahnfahrzeuge ab. Der Speicher läuft seit dem störungsfrei.

Für den Standort wurde eine jährliche Einsparung von 250.000 kWh prognostiziert. Das entspricht dem Bedarf an elektrischer Energie von ca. 70 Haushalten und einer jährlichen CO₂-Einsparung von 145 t.

Tatsächlich wurden Einsparungen innerhalb eines Jahres in Höhe von 162.500 kWh erreicht.

Die Ursache hierfür lag an den starken Spannungsschwankungen aufgrund der fahrplanmäßig unterschiedlichen Fahrzeugbelastung am Ende dieser Strecke. Dadurch konnte der Speicher mit seiner vorhandenen Steuerung nicht immer im optimalen Bereich arbeiten.

Auf Grundlage umfangreicher Messergebnisse und deren Auswertung konnte gemeinsam mit dem Speicherhersteller eine kontinuierliche Spannungsregelung entwickelt und Anfang August 2014 installiert werden.

Seit dieser Softwareänderung und einer Verlängerung der Betriebszeit wurde nun eine auf ein Jahr hochgerechnete Einsparung von 258.000 kWh ermittelt.

.

Inhalt

1. Projektverlauf	2
2. Ausgangslage	2
3. Der Schwungradspeicher	3
3.1. Aufbau und Daten	3
3.2. Wirkungsweise	5
4. Projektbeschreibung.....	7
4.1. Standortbestimmung.....	7
4.2. Gebäude	8
4.3. Aufstellung und Inbetriebnahme der Anlage	9
4.4. Leitwartenprogramm	11
5. Ergebnisse	12
5.1. Einsparwerte Energiespeicher	12
5.2. Einsparwerte Energiespeicher mit Spannungsregelung	15
5.3. Wirkungsgrad.....	17
5.4. Lärm- und Erschütterungsmessung	17
6. Zusammenfassung.....	18