



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 21. Juli 2014

Standby von Stellantrieben in Lüftungsklappen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm „Elektrizitätstechnologien und -anwendungen“
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Hochschule für Technik und Wirtschaft
Labor für Energieeffizienz
Ringstrasse 34
7000 Chur,
www.htwchur.ch

Autoren:

Stefan Kammermann, stefan.kammermann@htwchur.ch
Toni Venzin, toni.venzin@htwchur.ch

BFE-Bereichsleiter: Michael Moser
BFE-Programmleiter: Roland Brüniger
BFE-Vertrag Nr.: SI/501055-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Im Rahmen der Erneuerung der Betriebs- und Sicherheitsanlagen des 9.2 km langen Seelisbergtunnels wird nach dem bereits erfolgten Einbau von Abluftklappen in der Südröhre auch die Nordröhre damit ausgerüstet. Basierend auf geschätzten Herstellerangaben werden für diese 191 Abluftklappen im Seelisbergtunnel hochgerechnet ein jährlicher Standby-Verbrauch von etwa 100 MWh angegeben. Da derartige Antriebe in der Schweiz verbreitet sind, und auch im Wasser- und Abwasserbereich eingesetzt werden, dürfte der gesamte Standby-Stromverbrauch für derartige Stellantriebe gesamtschweizerisch ziemlich hoch liegen. Mit Messungen von zwei unterschiedlichen Stellantrieben für derartige Abluftklappen, SCHIEBEL und AUMA, die beide durch den Lieferanten Sirocco zur Verfügung gestellt werden, soll der Verbrauch unterschiedlicher Stellantriebe genau gemessen und ein allfälliges Einsparpotential aufgezeigt werden.

Die Messungen haben ergeben, dass der Standby-Verbrauch je nach Hersteller resp. Produkt zwischen 13W (SCHIEBEL) und 24W (AUMA) beträgt. Innerhalb eines Jahres summiert sich dieser Standby-Verbrauch pro Stellantrieb auf 210.25kWh resp. 113.88kWh. Die im Seelisbergtunnel installierten 191 AUMA-Antriebe für die Abluftklappen verbrauchen damit gemäss den gemessenen Werten pro Jahr über 40,1 MWh. Ersetzt man die AUMA-Antriebe durch SCHIEBEL-Antriebe so reduziert sich dieser Wert auf 21.8 MWh. Die Diskrepanz zu den ursprünglich durch den Hersteller angegebenen 100 MWh röhren einerseits daher, dass damals die Werte nicht genau verfügbar waren und gewisse Annahmen getroffen werden mussten und anderseits durch den Verbrauch von einzelnen Komponenten, die in den Messungen nicht einbezogen worden sind (LWL-Kommunikationsmodul).

So oder so zeigen die Werte auf, dass bei der Auswahl der Produkte nebst den technischen und mechanischen Anforderungen der Standby-Verbrauch miteinbezogen werden muss. Ferner sind Methoden zu entwickeln, die trotz höchster Sicherheitsanforderungen mit minimaler Standby-Leistung auskommen. Es ist wünschenswert, dass die Entwickler dieser Antriebe dem Standby Beachtung schenken und dass das Bundesamt für Strassen (ASTRA) und auch andere Infrastrukturbetreiber entsprechend minimale Verbrauchswerte vorgeben oder allenfalls die monetarisierten Verluste in die Evaluation miteinbeziehen.

Résumé

Dans le cadre de la rénovation des installations et des systèmes de sécurité du tunnel du Seelisberg d'une longueur de 9,2 km, et après installation avec succès des clapets d'évacuation d'air dans la galerie sud, la galerie nord en sera aussi équipée. En nous basant sur les données estimées du fabricant, il faudra compter pour ces 191 clapets dans le tunnel sur une consommation annuelle d'environ 100 MWh en régime standard. De tels moteurs de propulsion sont déjà utilisés en Suisse dans les domaines des eaux propres et des eaux usées, et la consommation d'électricité en régime standard pour ces installations semble très élevée dans tout le pays. Après mesures sur les deux systèmes différents de moteurs SCHIEBEL et AUMA, fournis par la société Sirocco, la consommation du courant électrique des clapets d'évacuation d'air a été précisément établie et une possible économie en énergie est démontrée.

Les mesures ont montré que la consommation d'énergie en régime standard selon les fabricants et leurs produits respectifs s'élève de 13 W (SCHIEBEL) à 24 W (AUMA). En une année, la consommation en régime standard par moteur de propulsion s'élève de 210.25 KWh ou 113.88 KWh. Les 191 propulseurs Auma installés pour les clapets dans le tunnel du Seelisberg utilisent par année 40,1 MWh selon les mesures effectuées. En les remplaçant par des propulseurs Schiebel la consommation serait réduite à 21,8 MWh.



L'écart par rapport aux 100MWh déclarés auparavant par le fournisseur s'explique d'une part parce que les valeurs n'étaient pas disponibles à l'époque de l'étude et que certaines hypothèses de consommation ont dû être prises et d'autre part parce que la consommation de certains composants n'a pas été prise en compte dans les mesures. (Module de communication LWL).

En raison des résultats de mesures la consommation d'énergie en régime standard doit tout aussi être prise en compte que les exigences techniques et mécaniques. A l'avenir, des méthodes sont à développer qui en dépit de hautes exigences de sécurité devront s'accorder d'un niveau minimum de consommation. Il serait souhaitable que les producteurs de ces moteurs de propulsion y prêtent attention et que Office fédéral des routes (OFROU) et les autres opérateurs de ces infrastructures donnent des valeurs minimales d'utilisation ou éventuellement évaluent et incluent les pertes financières.

Abstract

After fitting the exhaust air flaps in the south tube of the 9.2km long Seelisberg tunnel, the same procedure will be applied to the north tube in the course of the replacement of operational facilities and security equipment. Based on manufacturer information an estimation of the standby power consumption for the 191 flaps in this tunnel is given as 100MWh p.a. The usage of such drives not only in traffic tunnels but in Water circuitry is very common in Switzerland. Therefore, the entire standby power consumption of such actuators can be estimated to be quite significant. The real power consumption of two actuator types, SCHIEBEL and AUMA, provided by Sirocco as a distributor, was to be determined to obtain information about potential savings.

The measurements showed a standby power consumption of 13W for the SCHIEBEL actuator and 24W for the product by AUMA. This leads to an annual power consumption of 113.88kWh for the SCHIEBEL actuator and of 210.25kWh for the AUMA Flaps. The operational 191 AUMA actuators in the south tube of the Seelisberg tunnel therefore consume more than 40.1MWh. A replacement of these actuators by the products of SCHIEBEL would reduce the power consumption to 21.8 MWh. The discrepancy to the Values of 100MWh in the first estimation are due to two sources of error. Firstly, precisely measured values were missing and therefore certain presumptions needed to be taken. Secondly the consumption of single components like glass fibre communication modules were not included into the measurements.

These values show that –in addition to technical and mechanical requirements– the standby power consumption needs to be taken into account when selecting appropriate products. Furthermore, products need to be derived able to deliver highest safety according to requirements while still consuming a minimal amount of energy. Engineers should be aware of the power consumption of their developed products. Federal Roads Office (FEDRO) and other infrastructure operators should force minimal power consumption values for actuators or at least take into account the power consumption when selecting this kind of product.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	3
Abstract	4
1. Ausgangslage und Ziele.....	6
2. Grundlagen	6
2.1 Stellantriebe für Lüftungsklappen.....	6
2.2 Beschaffung der Prüflinge	7
3. Messungen.....	8
3.1 Erfassung der Geräte	8
3.2 Testvorbereitung	8
3.4 Herstellerangaben zum Verbrauch	8
4. Messergebnisse	9
4.1 Standby-Betriebsarten.....	9
4.2 Klappen-Betrieb (informativ).....	9
4.3 Messresultate	9
5. Diskussion der Messresultate	10
5.1. Messresultate allgemein.....	10
5.2. Vergleich der beiden Antriebe	11
6. Schlussfolgerungen.....	12
7. Literaturverzeichnis	12

1. Ausgangslage und Ziele

Im Rahmen der Erneuerung der Betriebs- und Sicherheitsanlagen des 9.2 km langen Seelisbergtunnels wird nach dem bereits erfolgten Einbau von Abluftklappen in der Südröhre auch die Nordröhre damit ausgerüstet. Die Nordröhre weist insgesamt 95 Klappen auf und die Südröhre deren 96. Im Rahmen der Realisierung wurde auch die Thematik des Stromverbrauchs angesprochen und im entsprechenden Realisierungspflichtenheft (RPH) des Unternehmers Sirocco wurden konkrete Angaben gemacht. Aus diesen Angaben wird ersichtlich, dass die Abluftklappen nur für den Bereitschaftsdienst (Standby) jährlich über 100 MWh im Seelisbergtunnel verbrauchen. Da derartige Antriebe in der Schweiz verbreitet sind, und auch im Wasser- und Abwasserbereich eingesetzt werden, dürfte der gesamte Stromverbrauch gesamtschweizerisch ziemlich hoch liegen. Mit Messungen von zwei unterschiedlichen Stellantrieben, die beide durch den Lieferanten Sirocco zur Verfügung gestellt werden, soll der Verbrauch unterschiedlicher Stellantriebe gemessen werden.

2. Grundlagen

2.1 Stellantriebe für Lüftungsklappen

Die Richtlinien für Tunnelbelüftungen sind beim Bundesamt für Strassen (ASTRA) einsehbar [1]. Sie beschreiben im Wesentlichen die Aufgaben für:

- Lüftung bei normalem Verkehr (Kap. 2.2)
- Lüftung im Ereignisfall (Kap 2.3)
- Unterstützung bei der Wahl des Lüftungssystems (Kap 6)



In den Empfehlungen werden hauptsächlich die strömungstechnischen Belange festgehalten, die elektrischen Belange werden nur geringfügig gestreift wie z.B.

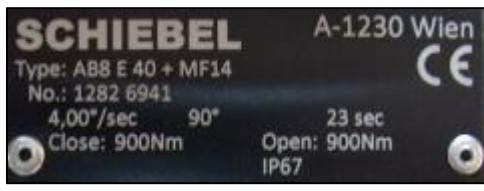
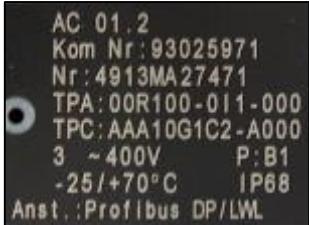
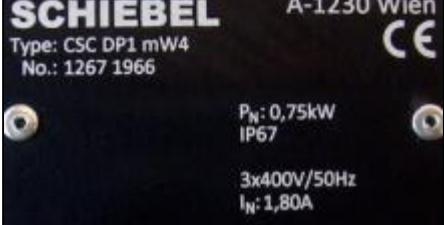
- Sicherheitsrelevante Einrichtungen, wie die Mess - und Detektionseinrichtung sowie die Steuerung, sind bei der Auslegung der USV-Anlage einzubeziehen.
- Stromversorgung redundant oder sternförmig auslegen

Die benötigte elektrische Energie für Ventilatoren und Hilfsantriebe ergibt sich meistens aus den geforderten Leistungen. Eine Effizienzoptimierung ist nicht explizit gefordert.

Wir überprüfen zwei Stellantriebe für Lüftungsklappen auf deren Standby-Verbrauch und versuchen herauszufinden, ob es zwischen den Herstellern Unterschiede gibt.

2.2 Beschaffung der Prüflinge

Die beiden Stellantriebssysteme werden der HTW durch die Firma Sirocco Luft- und Umwelttechnik GmbH angeliefert, es handelt sich um:

Typen-schil- der:	AUMA 	SCHIEBEL 
Stellantrieb	 <p>AUMA Riester GmbH&Co.KG D-79379 Muellheim Germany SA 07 6-F10 Kom Nr: 93025971 Nr: 5013MD44614 n: 45 1/min T zu: 20-60Nm T auf: 20-60Nm Fett: F15 Temp: -25/+70°C</p>	 <p>SCHIEBEL A-1230 Wien Type: AB8 E 40 + MF14 No.: 1282 6941 4,00"/sec 90° 23 sec Close: 900Nm Open: 900Nm IP67</p>
Steuerung	 <p>AC 01.2 Kom Nr: 93025971 Nr: 4913MA27471 TPA: 00R100-011-000 TPC: AAA10G1C2-A000 3 ~ 400V P: B1 -25/+70°C IP68 Anst.: Profibus DP/LWL</p>	 <p>SCHIEBEL A-1230 Wien Type: CSC DP1 mW4 No.: 1267 1966 P_N: 0,75kW IP67 3x400V/50Hz I_N: 1,80A</p>
Motor	 <p>AD00063-4-0-20 Art Nr: 2047.303 Nr: 5013MM99634 3~ 400V 50Hz P: 0.20 kW cosφ: 0.42 In:1.6A S2 - 15 min IP 68 1400 1/min Temp.Schutz:Th Isol.Kl:F</p>	 <p>KONČAR KONČAR - MES d.d. Code 1153501 N° 650534 3 ~Type AZHA 71B-2T 230/Y400 V 50 Hz 3,1/1,8 0,75 kW 0,83 cosφ 2680 rpm TE T150 IC410 IN-5759</p>
Getriebe	 <p>AUMA Riester GmbH&Co.KG D-79379 Muellheim Germany GS 80.3-F14-N Kom Nr: 93025971 Nr: 4813CG75151 i= 53:1 ↗ 100° T Ein:110Nm Vers: RL T Aus:2000Nm Fett: F15 IP68 Temp: -40/+80°C</p>	 <p>MASTERGEAR GMBH PATENT PENDING FULLY LUBRICATED UNIT TYPE MF14-F10-039-F14-ON+OFF SERIAL - NO 222333 - 2 38/12</p>

3. Messungen

3.1 Erfassung der Geräte

Die beiden Prüflinge werden vor Messbeginn in Betrieb genommen und die Betriebsparameter so eingestellt, dass die Messungen vergleichbar werden.

3.2 Testvorbereitung

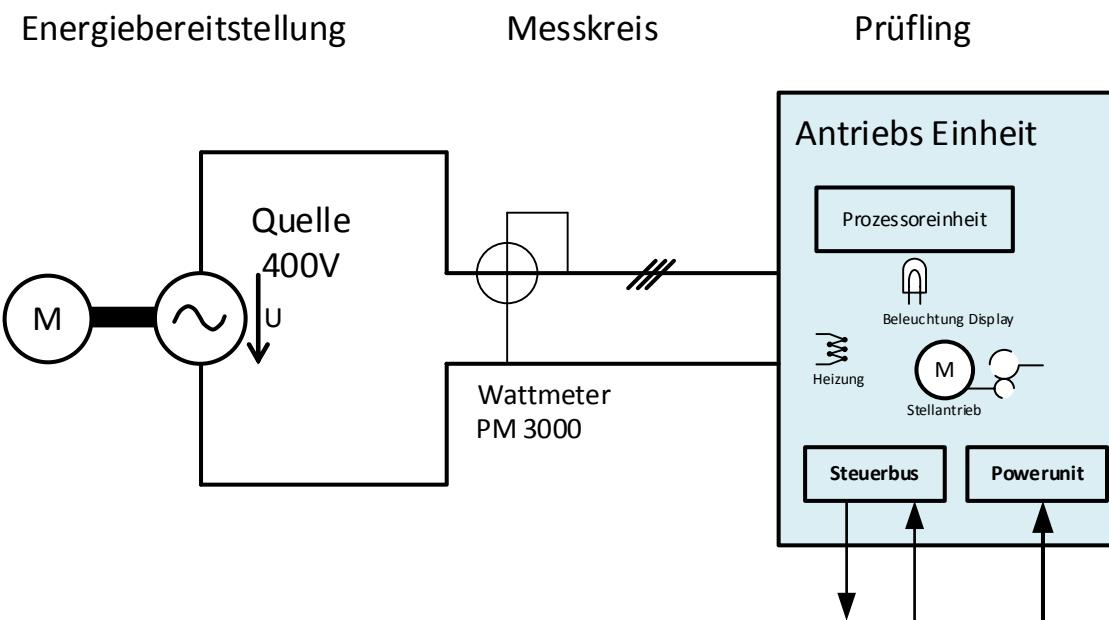
Die zu prüfenden Stellantriebe werden im angelieferten Zustand gemäss den Herstellerangaben (Schaltbildern) 3-phasisch an die 400 VAC Laborstromversorgung angeschlossen [2], [3].

Vor den Messungen werden die Testgeräte im eingeschalteten Zustand während 30 Minuten thermisch stabilisiert. Alle Standby-Messungen erfolgen bei geschlossener Klappenstellung. Um alle Messungen unabhängig von den tageszeitlichen Spannungsschwankungen im Ortsnetz durchzuführen, wird mit einer Motor-Generatorgruppe der Laborstromversorgung ein eigens generiertes 400 VAC / 50 Hz Netz erzeugt. Die Netzspannung am Testgerät variiert so noch maximal um $U_{L-L} = 400 \pm 0.5$ VAC.

3.3 Durchführung der Messungen

Mit dem Power Analyzer PM3000A wird die elektrische Summenleistung mit der 3-Wattmeter-Schaltung erfasst. Alle Messwerte sind Mittelwerte, aufgezeichnet während 15 Minuten. Die Genauigkeit der Messwerte ist kleiner als 1%.

Für die Messungen wurde folgender Messaufbau verwendet (schematisch)



Figur 1 Messaufbau

Quelle: 30 kVA-Motor-Generatorgruppe, 3 phasig / 400 VAC / 50 Hz

Wattmeter: Power Analyzer PM 3000A von Voltech

Prüflinge: Tunnellüftungsklappen-Stellantriebe, Fabrikat: AUMA und SCHIEBEL
(technische Angaben, siehe Typenschilder)

3.4 Herstellerangaben zum Verbrauch

AUMA Steuerung: bei Netzspannung 380 bis 690 VAC = max. 210 mA
Motor: $P_{mech.} = 0.20$ kW; $U_n = 400$ V, $I_n = 1.6$ A, $\cos\varphi = 0.42$
Heizung: im Schaltwerkraum; 5 W, 24 VDC (intern versorgt)

SCHIEBEL Steuerung: bei Netzspannung 380 bis 690 VAC = max. 210 mA
Motor: $P_{mech.} = 0.75$ kW; $U_n = 400$ V, $I_n = 1.8$ A, $\cos\varphi = 0.83$
Heizung: Anti-Kondensat-Heizung; 5 W, 24 VDC (intern versorgt)

4. Messergebnisse

4.1 Standby-Betriebsarten

AUMA 1.1 : mit Backlight ON, ohne fading (Wahlschalter alle 45 Sekunden betätigt)
1.2 : mit Backlight fading nach 1 Minute (Werkseinstellung)
1.3 : mit Backlight fading, ohne Heizung (im Verbindungsgehäuse losgeklemmt)
1.4 : mit Backlight fading, mit Profibus LWL-Verbindung zu d-light DL-485PBR -> **nicht gemessen, da kein passender LWL**

SCHIEBEL 2.1 : mit Backlight ON, ohne Dimmung (Parameter 19.28, Wert 0)
2.2 : mit Backlight OFF, Dimmung nach 2...3 Minuten (Parameter 19.28, Wert 64)
2.3 : mit Backlight OFF, ohne Heizung (im Verbindungsgehäuse ausgesteckt)
2.4 : mit Backlight OFF, mit Profibus verdrahtet auf Kanal 1 (Busabschluss EIN), PtP-Verbindung zu d-light DL-485PBR, Klemmen 3 (B) u. 4 (A)

4.2 Klappen-Betrieb (informativ)

AUMA 1.5 : 5 Schaltzyklen (AUF-ZU) innerhalb 165 Sekunden, Endlagen Werkseinstellung, Wahlschalter Stellung Ortsbetrieb, Backlight ON; Leistungsmittelwert während 165 Sekunden.

SCHIEBEL 2.5 : 5 Schaltzyklen (AUF-ZU) innerhalb 250 Sekunden, Endlagen 10% und 80%, Wahlschalter Stellung ORT, Backlight ON; Leistungsmittelwert während 250 Sekunden.

4.3 Messresultate

Messung	AUMA	P _{mittel} (W)	SCHIEBEL	P _{mittel} (W)
1...4	1.1	24.28	2.1	14.11
	1.2	24.19	2.2	13.25
	1.3	19.03	2.3	8.10
	1.4	-	2.4	13.34
5 ¹⁾	1.5	258.00	2.5	177.00

¹⁾ Diese Messung ist rein informativ, da die Klappen im Normalfall nur einmal im Monat aktiviert werden. Der Klappenbetrieb trägt nur marginal zur Jahres-Energiebilanz bei.

5. Diskussion der Messresultate

5.1. Messresultate allgemein

Beide Stellantriebe wurden unter identischen Laborbedingungen gemessen. An der Gerätekonfiguration-parameter wurde bei beiden Geräten nichts geändert. Einzig die Parameterwerte für die Displaybeleuchtung (Backlight) und die Werte, die den Profi-Busbetrieb betreffen, wurden für den entsprechenden Betriebsmodus angepasst.

Bei der AUMA-Steuerung wird die Display-Hintergrundbeleuchtung nach einer Minute ohne Betätigung der Bedienelemente nur minim reduziert. Die aufgenommene Wirkleistung reduziert sich lediglich um **90 mW**. Bei der Steuerung von SCHIEBEL bewirkt die „Screensaver-Funktion“ nach zwei Minuten eine Wirkleistungseinsparung von **860 mW**. Dabei wird das Display sichtbar mehr gedimmt wie beim AUMA-Display.

Bei beiden Testgeräten werden die Herstellerangaben der permanent eingeschalteten Anti-Kondensat-Heizung im Getriebekörper überprüft. Die Verdrahtung der Heizkreise muss zu diesem Zwecke aufgetrennt werden. Die Angaben bei beiden Antrieben, laut Gerätespezifikation 5 W, stimmt mit den Messungen überein (AUMA: **5.16 W**, SCHIEBEL: **5.15 W**).

Weiter wurde versucht der Einfluss des Busbetriebes zu eruieren. Bei beiden Geräten kommt der Profibus-DP zur Anwendung. Bei der Steuerung von SCHIEBEL wird diese Kommunikationsschnittstelle optional angeboten (beim Testgerät vorhanden), bei AUMA ist sie fixer Bestandteil der Steuerung. Beide Gerätehersteller verwenden den LWL-Koppler d-light DL-485BR von eks. Je nach Bustopologie kommen einer oder mehrere Koppler zum Einsatz. Sie bilden die Schnittstelle zwischen mehreren Stellantrieben, die via LWL passiv als Slaves, und einer Mastersteuerung (SPS), die via RS485 eingebunden ist. Der Master bildet die Verbindung zum übergeordneten Leitsystem. Für die Betrachtungen wurde der Eigenverbrauch des LWL-Kopplers nicht berücksichtigt. Mit der Steuerung von SCHIEBEL konnte eine einkanallige PtP-Zweidrahtverbindung zum LWL-Koppler hergestellt werden. Obwohl ohne Master keine Kommunikation stattfand, wurde mit abgeschlossen Bus am Koppler kein Fehler signalisiert. Der LWL-Koppler, angeschlossen an der Smartcon-Steuerung von SCHIEBEL, verursacht einen Mehrverbrauch von **90 mW**. Mit der AUMA-Steuerung konnte keine Verbindung zum LWL-Koppler aufgebaut werden, da passende Lichtwellenleiter nicht zur Verfügung standen. Mit einem ST-LWL (beidseitig mit Bajonett-Verriegelung) wurde versucht, eine Verbindung herzustellen. Da auf der Kopplerseite nur eine Snap-In-Verriegelung zu Verfügung steht, kam trotz behelfsmässiger Verbindung gemäss den Status-LEDs kein Verbindungsauflauf zustande.

Unabhängig von den Standbymessungen wurde zusätzlich der Verbrauch der Motoren der Klappenantriebe gemessen (Eigenverbrauch der Steuerung + aufgenommen Motorleistung). Es wurden je fünf Schaltzyklen (AUF-ZU) ohne Pausenzeiten gefahren. Als mittlere Wirkleistungsaufnahme ergaben sich Werte von **258 W** beim AUMA- und **177 W** beim SCHIEBEL-Antrieb. Der Hauptgrund für die Unterschiede in der Leistungsaufnahme dürften wahrscheinlich verschiedene Getriebeübersetzungen sein. Der SCHIEBEL-Antrieb benötigt für die gleiche Anzahl Schaltzyklen 85 Sekunden länger. Auf einen einzelne Öffnen- oder Schliessbefehl bezogen, bedeutet dies lediglich eine zirka 8 Sekunden längere Schaltzeit der Klappe von SCHIEBEL. Für die Wirkungsweise der Klappen ist dies nicht von Bedeutung. Beim Vergleich des Energieverbrauchs der beiden Antriebe pro Schaltzyklus (AUF/ZU), unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Leistungsaufnahmen und Schaltzeiten, benötigen beide Antriebe für einen Zyklus gleichviel Energie (2.5 Wh).

5.2. Vergleich der beiden Antriebe

Bei allen Messkonfigurationen liegt der Verbrauch der SCHIEBEL-Steuerung deutlich tiefer als bei der AUMA-Steuerung.

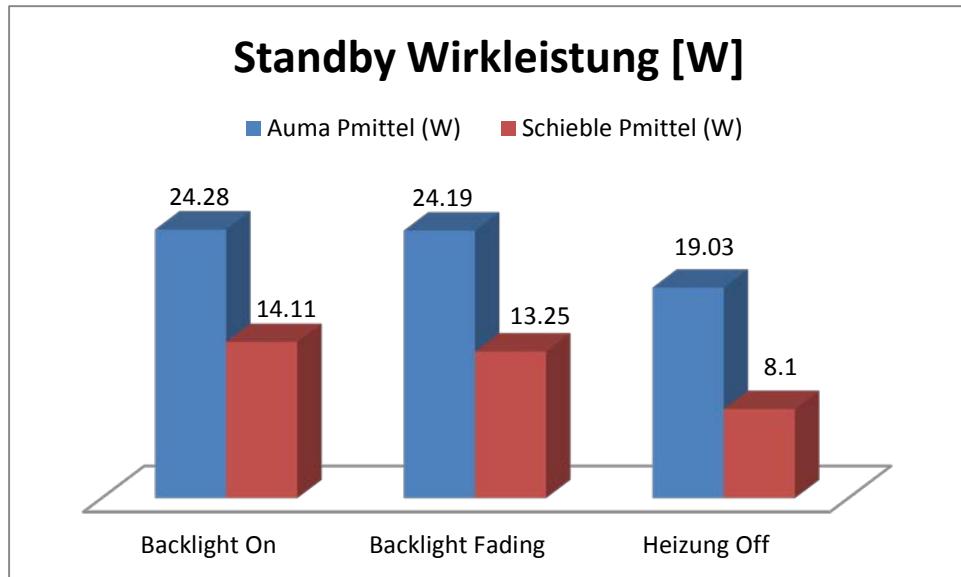


Tabelle 1: Standby Wirkleistungsvergleich

Reduktion Standby Verbrauch bei Verwendung eines SCHIEBEL-Antriebes:

Messung: Backlight On → - 42%
 Backlight Fading → - 45%
 Heizung Off → - 57%

6. Schlussfolgerungen

Es sind grosse Unterschiede im Standby-Verbrauch zwischen den Herstellern feststellbar. Dies liegt einerseits in den nicht klar definierten Anforderungen, anderseits wird dieses Thema noch nicht so ernst genommen.

Da es sich hier um sicherheitsrelevante Einrichtungen handelt, liegen die Anstrengungen der Hersteller auf dem sicheren Funktionieren bei einem eintreffenden Ereignis. Die verwendeten Steuerrechner haben nebst den tatsächlichen Steueraufgaben auch eine Vielzahl von Überwachungsaufgaben zu leisten, die eingesetzten Steuerungsrechner benötigen für diese Aufgaben einen Basisanteil an Energie.

Die Steuerungseinheiten für solche Antriebsfunktionen sind standardisierte Produkte und werden in verschiedenen Anwendungen mit unterschiedlichen Anforderungen eingesetzt. Dadurch kommen Steuerungsrechner zum Einsatz, die für die maximal anfallenden Aufgaben und Umgebungen ausgelegt sind. Für den jeweiligen Anwendungsfall werden die notwendigen Funktionen aktiviert und parametert. Je nach Anwendungsfall finden wir eine überdimensionierte Steuerungseinheit vor, die im Verhältnis zu Einsatzanforderungen überdimensioniert ist und zu viel Energie benötigt. Nicht zu vernachlässigen ist die Betriebsspannungserzeugung für die Steuereinheit, die in der Regel auch für sämtliche möglichen Einsatzgebiete ausgelegt ist und eine Anzahl von externen Sensoren bedienen kann. Ist dies nicht nötig, arbeitet das Betriebsgerät in einem ungünstigen Arbeitsbereich, aktuell bei AUMA haben wir einen Powerfaktor von 0.6, trennen wir die Lichtwellenleiter-Einheit ab, so senkt sich der Standby-Verbrauch auf 22.5W und der Powerfaktor verschlechtert sich auf 0.52.

Diese Messungen zeigen auf, dass für die gleiche Anforderung je nach Hersteller grosse Unterschiede im Standby-Verbrauch feststellbar sind. Dass Optimierungspotenzial vorhanden ist, zeigt die Vergleichsmessung auf.

Die Anforderungen müssen in jedem Fall eingehalten werden:

- Funktion muss innerhalb einer bestimmten Zeit und unter Extrembedingungen gewährt sein
- Sicherheitsrelevantes Gerät, Ausfallüberwachung

Mögliche Reduktionen des Energieverbrauchs:

- Heizung optimieren, Heizen nach Bedarf -> Messung der Temperaturdifferenz oder Feuchtigkeit im Gehäuse
- Display Beleuchtung notwendig, Abschaltbar (rel. kleine Einsparung)
- Geräte nur mit Optionen ausrüsten die explizit vom Kunden verlangt werden
- Effizientes und zweckmäßig ausgelegtes Netzteil

Nicht in die Messung ist der aktive LWL Koppler eingeflossen, dieser Verbrauch müsste an einer funktionierenden Anlage gemessen werden.

7. Literaturverzeichnis

- [1] *Richtlinie Tunnellüftung*. Zumsteg, F. 2007. Zürich Flughafen : s.n., 2007. EMK-Tagung. S. 1-21.
- [2] AUMA. 2012. Stellantriebs-Steuerung SA07.2. Müllheim : s.n., 2012.
- [3] sirocco. 2011. Bestandsdokumentation, A9-Bosrucktunnel. Graz und Linz : s.n., 2011.