



Energetische Feinanalyse  
Antriebsmotoren Bahn Zipper und Rapid

Technischer Bericht

Fläsch, 7.8.2018



**Auftraggeber** Davos Klosters Bergbahnen AG  
Klaus May  
Bereichsleiter Bergbahnen & Infrastruktur  
Brämabüelstrasse 11  
7270 Davos Platz

**Auftragnehmer** energieingenieur.ch GmbH  
Ob der Kirche 5  
7306 Fläsch

Tel.: +41 79 563 25 88  
www.energieingenieur.ch

**Verfasser** Enrico Feurer  
info@energieingenieur.ch

**Verteiler**

Klaus May	DKB AG
Markus Good	DKB AG
Peter Lietha	DKB AG
Jürg Müller	DKB AG
Marcus Gschwend	BBGR
Richard Phillips	Bundesamt für Energie


**Versionen** Version 1.1: 22.8.18

**Freigegeben** Visum



**Bezeichnung** DKB/Analyse Antriebssysteme Zipper und Rapid

**Unterstützung** Mit Unterstützung von



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>5</b>
2.1	Lage .....	5
2.2	Übersicht.....	5
<b>3</b>	<b>Getroffene Annahmen</b> .....	<b>6</b>
3.1	Kosten Elektroenergie .....	6
3.2	Luftdruck / Luftwiderstand .....	6
3.3	Nicht berücksichtigte Faktoren .....	6
3.4	Kostenschätzungen der Massnahmen .....	6
<b>4</b>	<b>Betriebsbedingungen</b> .....	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Analyse Bahn Zipper</b> .....	<b>8</b>
5.1	Messung Bahnmotor Zipper .....	8
5.2	Auswertung Bahnmotor Zipper.....	10
5.3	Auswertung Daten Personentransport vs. Energieverbrauch .....	11
5.4	Energieeffizienzmassnahme Bahn Zipper.....	12
<b>6</b>	<b>Analyse Bahn Rapid</b> .....	<b>14</b>
6.1	Messung Bahnmotor Rapid .....	14
6.2	Auswertung Bahnmotor Rapid.....	16
6.3	Energieeffizienzmassnahme Bahn Rapid .....	18
<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>25</b>
7.1	Leistungsmessungen Zipper .....	25
7.2	Auswertung Zipper.....	27
7.3	Thermografie Aufnahme Zipper.....	28
7.4	Fotos Zipper.....	29
7.5	Leistungsmessungen Rapid .....	30
7.6	Energieverbrauch Rapid .....	33
7.7	Thermografie Aufnahmen Rapid .....	35
7.8	Fotos Rapid .....	36
7.9	Auswertung Rapid .....	38
7.10	Motorenwirkungsgrad Rapid.....	38
7.11	Formel.....	39

## Änderungsverzeichnis

Ver. 1.0	Erste Fassung
Ver 1.1	Div. kleine Korrekturen

## 1 Zusammenfassung

Die Feinanalyse des Antriebssystems Rapid (Gleichstrommaschine) und der neu erstellten Bahn Zipper (Asynchronmaschine) zeigt auf, dass durch einfache betriebliche Massnahmen elektrische Energie eingespart werden kann. Diese Massnahmen zur Energieeinsparung sind jedoch relativ gering im Verhältnis zum Stromverbrauch der ganzen Anlage. Der grösste Energieaufwand einer Sesselbahn sind die Reibungsverluste des Seils an den Rollen, welche proportional zur Fahrgeschwindigkeit sind. Die Hubenergie ist die Energie, welche für die Beförderung von Personen benötigt wird. Diese kann jedoch nicht optimiert werden. Der dritte Energieaufwand ist der Luftwiderstand der Sessel. Die Auswertung zeigt, dass die Luftwiderstandverluste einer neuen Bahn mit Haube etwas tiefer sind als eine ältere Anlage.

Die grösste betriebliche Energieeinsparung liegt in der optimalen Bestückung der Sessel. Am idealsten sind voll belegte Sessel mit der normalen Fahrgeschwindigkeit. Die Fahrgeschwindigkeit wiederum hat einen geringen Einfluss auf den Energieverbrauch.

Die Untersuchung hat auch gezeigt, dass jede Bahn resp. jeder Antrieb mit einer Polynomanalyse untersucht werden sollte. Den nur mit dieser Analyse und deren Auswertung kann festgestellt werden, wie die Bahn am effizientesten betrieben werden kann.

Effizienzmassnahmen an den Antriebssystemen selber sind sehr teuer und lohnen sich in der Regel nicht. Der Ersatz einer Gleichstrommaschine mit einer Asynchronmaschine bringt lediglich einen Effizienzvorteil von 2.6% auf den gesamten Energieverbrauch. Es wird aber betont, dass bei den alten Ward-Leonard Umrichtern ein höhere Einsparpotenzial herrscht als bei Thyristorumrichtern und sich einen Ersatz lohnt.

Die Abwärme der Motoren könnte für die Beheizung der Kommandoräume verwendet werden. Das Grundproblem sind die eher tiefen Betriebszeiten und die Distanz vom Motor zum Gebäude. Eine Abwärmenutzung ist daher nur in wenigen Fällen wirtschaftlich sinnvoll.

## 2 Einführung

### 2.1 Lage

Die untersuchten Bahnmotoren befinden sich im Skigebiet Parsenn in Davos-Klosters.

### 2.2 Übersicht



Bezeichnung: Zipper

Baujahr: 2017

Länge: 1'580m

Förderhöhe: 364m

Sesselanzahl: 68

Sitze pro Sessel: 6

Talstation: 2070 m.ü.M.

Bergstation: 2434 m.ü.M.

Antriebssystem: IE4 Asynchronmaschine mit Frequenzumrichter



Bezeichnung: Parsenn Rapid

Baujahr: 2000

Länge: 1'934m

Förderhöhe: 447m

Sesselanzahl: 100

Sitze pro Sessel: 6

Talstation: 2216 m.ü.M.

Bergstation: 2663 m.ü.M.

Antriebssystem: Gleichstrommaschine mit Thyristor Umrichter

## 3 Getroffene Annahmen

Für die Massnahmenberechnungen wurden gewisse Abschätzungen gemacht oder Erfahrungswerte verwendet. Somit fliessen verschiedene Annahmen in diese Einschätzungen ein. Folgende Annahmen wurden getroffen:

### 3.1 Kosten Elektroenergie

Um die finanziellen Auswirkungen von Energieeinsparungen zu beziffern, muss ein Preis pro kWh Nutzenergie festgelegt werden. Die Stromkosten werden mit CHF 0.23/kWh angenommen. Diese Kosten beinhalten die Leistungskomponente, den Energiepreis, Netzentgelte und Abgaben.

### 3.2 Luftdruck / Luftwiderstand

Der Luftwiderstand der Sessel ist abhängig von der Luftdichte. Ist die Luft dichter, ist der Luftwiderstand höher. Für den Luftdruck wird jeweils die Höhe der Bergstation berechnet. Die Aussentemperatur wird mit  $-5^{\circ}\text{C}$  gerechnet.

### 3.3 Nicht berücksichtigte Faktoren

Nicht berücksichtigte Faktoren ist der Luftwiderstand der Personen, welche sich auf dem Sessel befinden. Zudem wurden alle Messungen mit geschlossenen Hauben durchgeführt. Bei allen Messungen herrschte Windstille. Das Sesselgewicht wurde nicht berücksichtigt, da die Masse wieder von der Gegenseite nach unten gezogen wird.

### 3.4 Kostenschätzungen der Massnahmen

Die angenommenen Kosten für die Umsetzung der Massnahmen beziehen sich auf Richtpreise. Je nach gewählter Ausführung können diese stark abweichen.

## 4 Betriebsbedingungen

Eine Transportbahn befördert Personen von einem Ort zu einem anderen Ort. Die zurückgelegte Distanz und die Förderhöhe ist die Energiemenge, die von einer Person benötigt wird. Um den Transport zu ermöglichen, benötigt es ein Seil, einen Sessel, einen Antriebsmotor und Masten. Alle diese Mittel benötigen zusätzlich Energie wie z.B. Luftwiderstand, Transformationsverluste, Reibungs- und Rollverluste.

Hubenergie: Die Hubenergie ist die Energie, welche benötigt wird, um eine Person von 2070 m.ü.M. Talstation zur 2434 m.ü.M. Bergstation zu transportieren. Dabei gilt folgende physikalische Formel für die Leistung:

---

$$\text{Hubleistung} = \text{Gewicht} \times 9,81 \times \text{Höhe} / 3,6 \times \text{Förderleistung} \times \text{Auslastung}$$

Luftwiderstand: Der Luftwiderstand einer Transportbahn wird hauptsächlich von den Sesseln verursacht. Dieser Widerstand hat diverse Einflüsse wie die Stirnfläche ( $c_w$  Wert), die Fahrgeschwindigkeit und die Luftdichte (Abhängig von Wetter und Temperatur). Der Luftwiderstand verhält sich exponentiell zur Geschwindigkeit.

---

$$\text{Luftwiderstand} = \frac{1}{2} \times c_w \times \text{Luftdichte} \times \text{Fläche} \times \text{Geschwindigkeit}^2$$

Rollreibung: Die Rollreibung ist linear abhängig von der Geschwindigkeit und wird hauptsächlich für die Seilbewegung auf den Rollen (Masten) und den beiden Stationen verursacht. Diese Rollreibung ist zudem der grösste Verbraucher einer Transportbahn und ist ständig vorhanden.

---

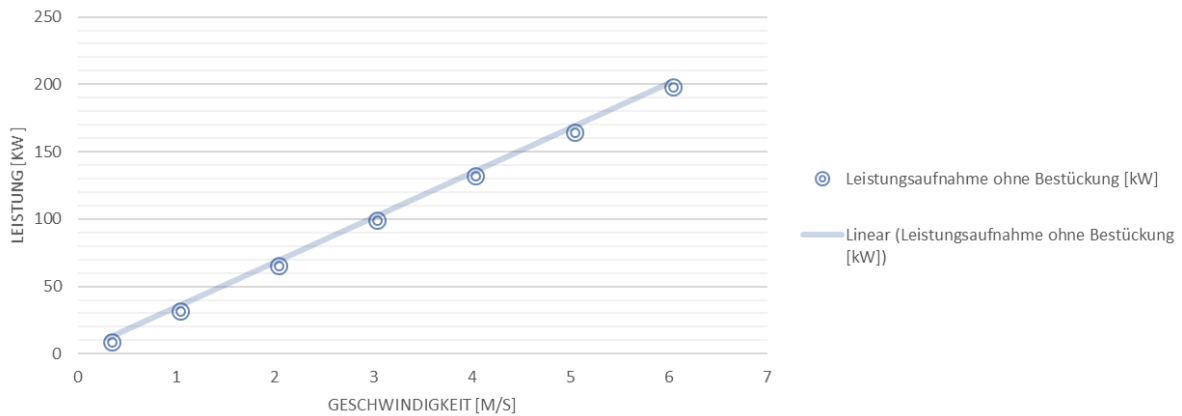
$$\text{Rollreibung} = \mu_R \times \text{Gesamtmasse} \times 9,81$$

## 5 Analyse Bahn Zipper

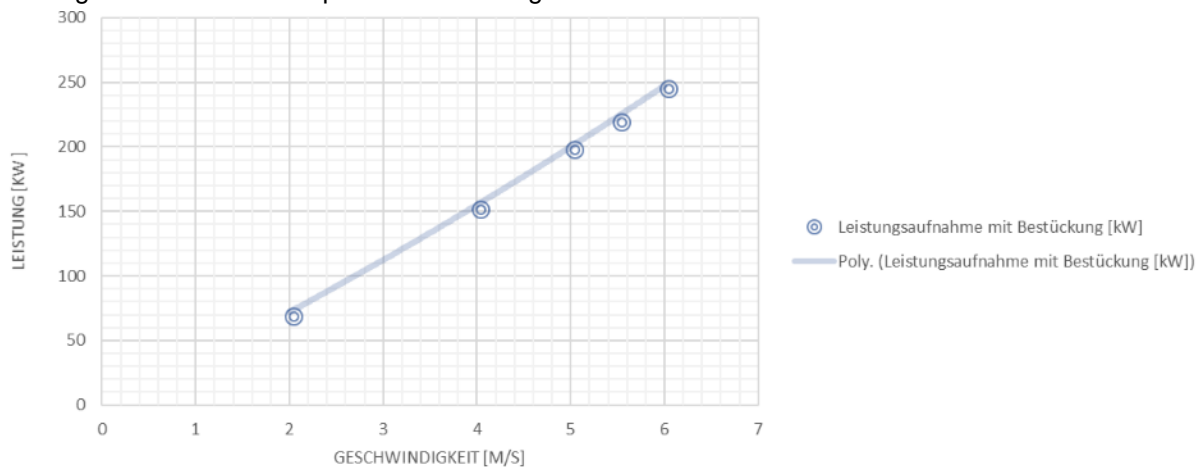
### 5.1 Messung Bahnmotor Zipper

Die Messung wurde in der Wintersaison 17/18 am 1.2.18 und an einigen Tagen im März durchgeführt. Dabei wurde stets darauf geachtet, dass die Rollen die Betriebstemperatur hatten und sich keine Personen auf der Bahn befanden. Sämtliche detaillierten Messresultate sind im Anhang ersichtlich.

#### Leistungsaufnahme ohne Sessel (nur Rollreibung Seil ohne Nebenbetriebe)



#### Leistungsaufnahme mit kompletter Bestückung

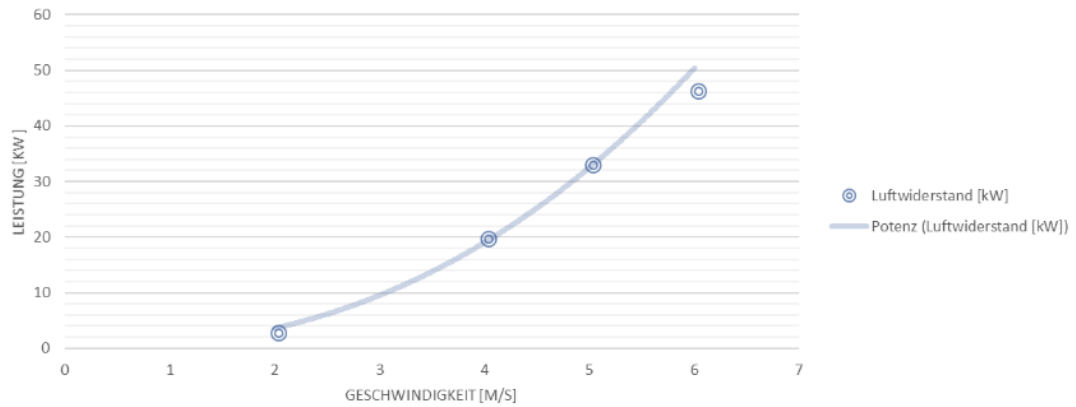


Bemerkung: Eine Messung unter 2m/s konnte aus Gründen der Stabilität und Sicherheit nicht durchgeführt werden.



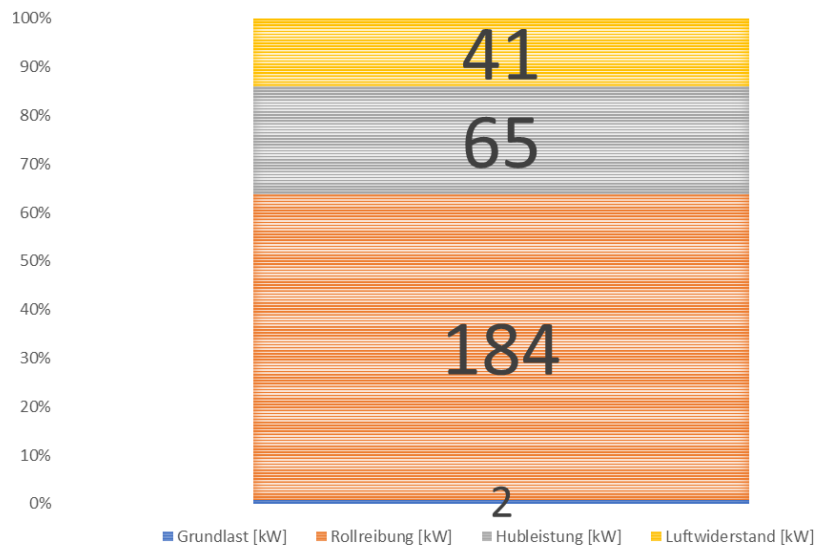
Luftwiderstand:

Der Luftwiderstand in Abhängigkeit der Geschwindigkeit wird von der Messung Bestückung mit/ohne Sesseln subtrahiert. Dieser Widerstand wird von den Sesseln verursacht und ist in zweiter Potenz.



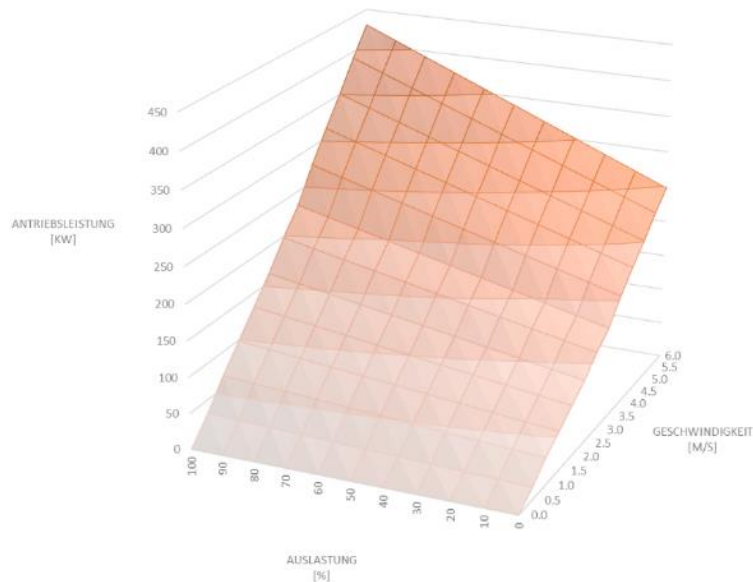
Aus diesen Messresultaten lässt sich nun herauslesen, dass die Rollreibung 63% der gesamten Motorenleistung benötigt. Die Hubleistung und der Luftwiderstand benötigen zusammen die restlichen 37% der Motorenleistung.

Der übliche Betriebspunkt der Bahn liegt bei 5.5m/s und bei einer Förderleistung von 1'000P/h. Bei dieser Betriebsbedingung gelten folgende Verluste:



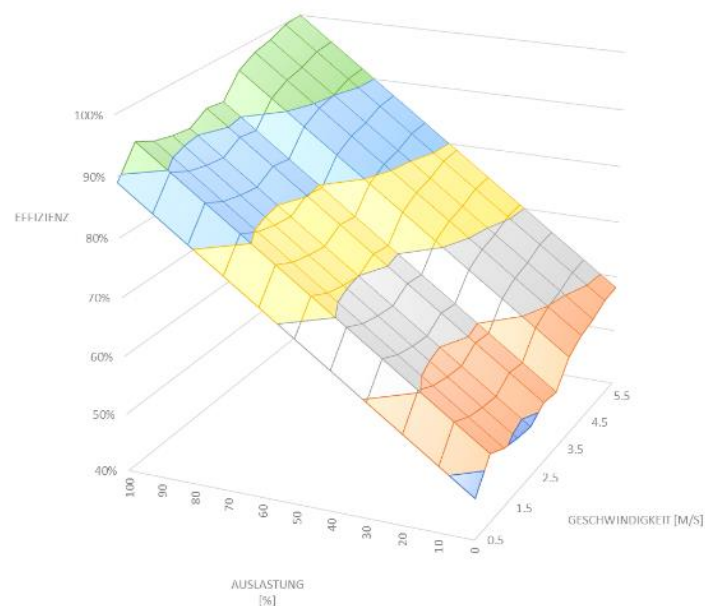
## 5.2 Auswertung Bahnmotor Zipper

Anhand der gemessenen Betriebspunkte kann nun untersucht werden, welcher der ideale Betriebspunkt der Anlage ist. Die Auswertung der Daten ist komplex, daher wurde ein 3D Polynom erstellt. Dabei sind die variablen Daten die Geschwindigkeit [z-Achse] und die Auslastung [x-Achse] resp. Förderleistung in Abhängigkeit der Leistungsaufnahme [y-Achse] der Bahn.



Beispiel: Jeder zweite Sitz pro Sessel ist belegt, dies entspricht einer Auslastung von 50%. Die Fahrgeschwindigkeit liegt bei 5m/s. Im Diagramm entspricht daher die Antriebsleistung ca. 330kW.

In Diagramm oben ist die Antriebsleistung in Abhängigkeit der Förderleistung ersichtlich. Interessant ist der Betriebspunkt, an welchem die Personen am effizientesten befördert werden können. Um dies zu berechnen, wird die Förderleistung von der Geschwindigkeit dividiert. Der höchste Punkt wird mit 100% gewertet.



Das Polynom zeigt eindeutig, dass die höchste Effizienz mit der höchsten Auslastung und der höchsten Förderleistung erzielt werden kann.

Beispiel 1: Jeder zweite Sitz pro Sessel ist belegt, dies entspricht einer Auslastung von 50%. Die Fahrgeschwindigkeit liegt bei 5m/s. Im Diagramm entspricht daher die Effizienz der gesamten Anlage nur ca. 78%.

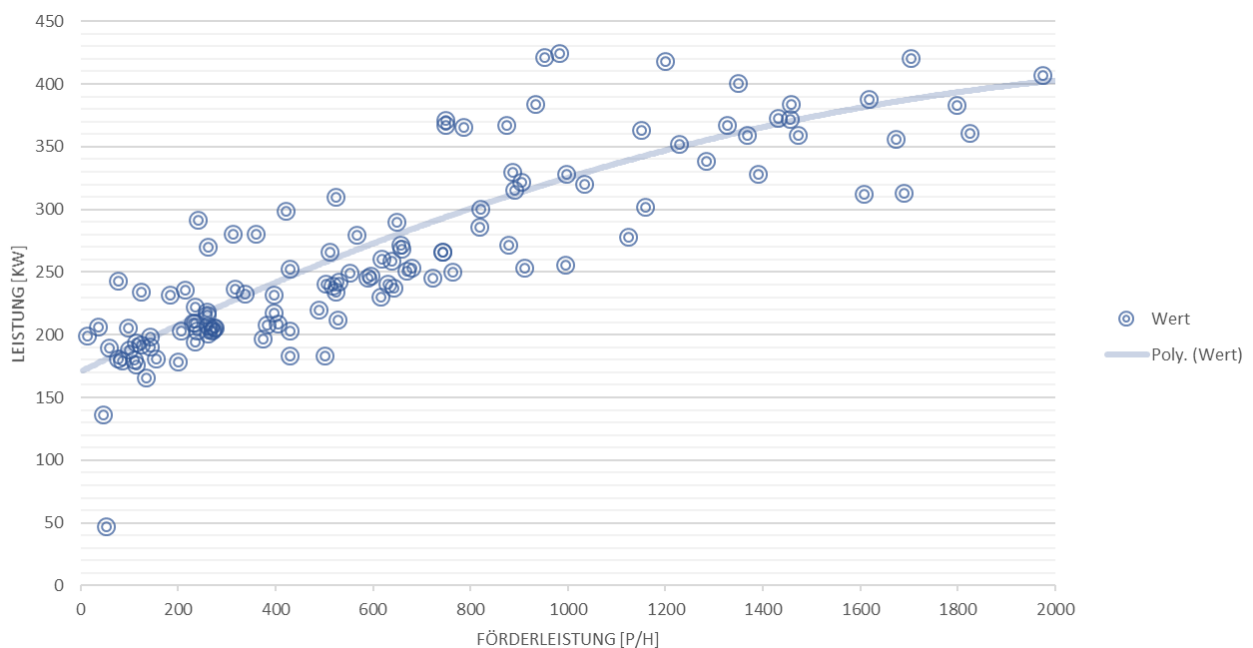
Beispiel 2: Würde theoretisch die Bahn bei gleichem Gästeaufkommen wie in Beispiel 1 mit der halben Geschwindigkeit fahren, wäre die Auslastung bei 100% und die Geschwindigkeit bei 2.5m/s. Im Diagramm entspricht daher die Effizienz der gesamten Anlage ca. 92%.

**Fazit: Die Effizienz des gesamten Antriebes ist stark abhängig von der Auslastung (Belegung pro Sessel).**

Die Fahrgeschwindigkeit (resp. Fahrtwind) hat einen sehr geringen Einfluss auf die Effizienz.

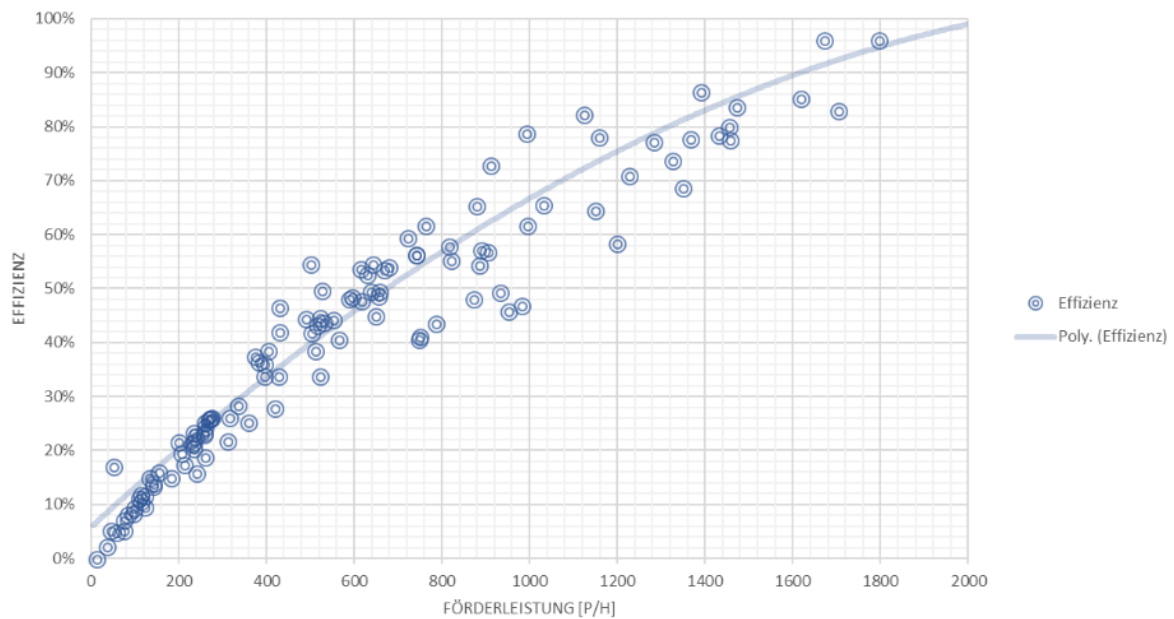
### 5.3 Auswertung Daten Personentransport vs. Energieverbrauch

Die neue Bahn zählt pro Stunde die transportierten Personen. Die Daten wurden aus dem SKIDATA Portal exportiert und mit dem Stromverbrauch des Antriebes ausgewertet.



Die Auswertung zeigt einerseits, dass die häufigste Förderleistung zwischen 200 – 700P/h beträgt, dies entspricht einer Auslastung von 25 – 35%. Die Leistungsaufnahme der Anlage steigt proportional zur Förderleistung an. Zu sehen ist auch, dass die Grundlast ca. 180kW beträgt.

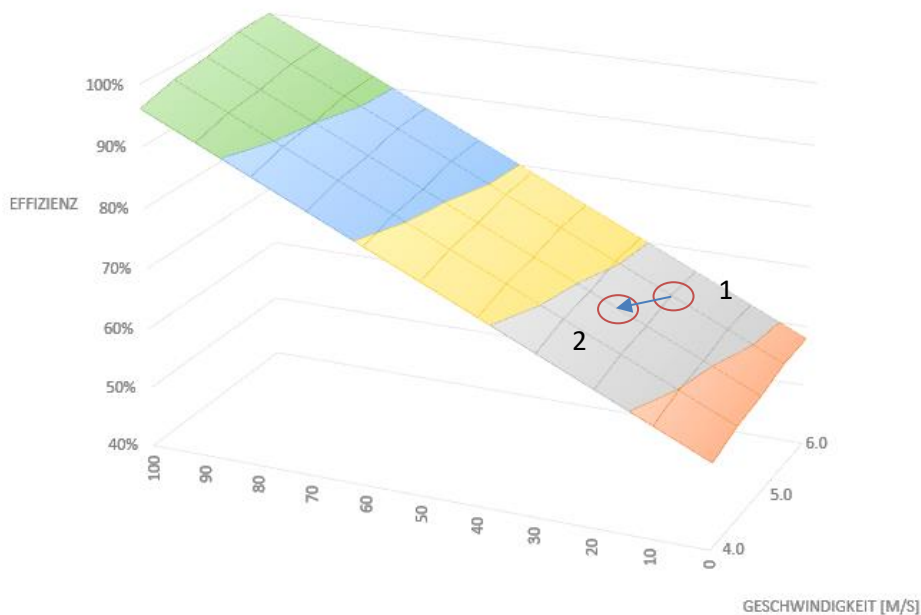
Interessant ist, dass die theoretisch berechneten Werte sehr genau mit den gemessenen Werten übereinstimmt.



## 5.4 Energieeffizienzmassnahme Bahn Zipper

### 5.4.1 Variable Geschwindigkeit

Eine Möglichkeit zur Effizienzsteigerung besteht darin, die Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Gästeaufkommens zu variieren. Erkennt das Kartenkontrollsystem wenig Eintritte, könnte die Geschwindigkeit automatisch auf 4.5m/s reduziert werden. Für die Berechnung wird ein Gästeaufkommen von 20% der Förderleistung angenommen. Bei höheren Gästeaufkommen ergibt die Regulierung wenig Sinn, da die Gäste mit Wartezeiten zu rechnen hätten.



Betriebspunkt 1: 5.5m/s, Auslastung 20% -> Effizienz: 66%  
 Betriebspunkt 2: 4.5m/s, Auslastung 24% -> Effizienz: 69%

Die Betriebsstunden für das Jahr 17/18 waren für die Bahn Zipper 1'250h. Die variable Geschwindigkeit wird auf 40% der Betriebsstunden geschätzt.

Energieeinsparung = 40% von 1250h \* (Betriebspunkt 2 – Betriebspunkt 1) \* Motorenleistung =  $0.4 \cdot 1250h \cdot (69\% - 66\%) \cdot 428kW = \mathbf{6'420kWh/a}$  oder rund **1'600CHF/a**

Bemerkung: Diese Berechnung beruht auf Annahmen und dient als Durchschnitt.

#### 5.4.2 Reduktion Sesselanzahl

Eine weitere Möglichkeit besteht, die Sesselanzahl in Abhängigkeit des Gästeaufkommens zu variieren. Wird ein Tag mit schlechtem Wetter prognostiziert, kann am Morgen mit einer Teilbestückung die Anlage eingefahren werden. Die Teilbestückung limitiert die Förderkapazität den ganzen Tag und kann erst wieder bei Entleerung neu bestückt werden. Daher ist diese Massnahme gut zu planen.

Durch die Reduktion der Sessel steigt die Auslastung an, der Luftwiderstand sinkt und die Geschwindigkeit bleibt identisch.

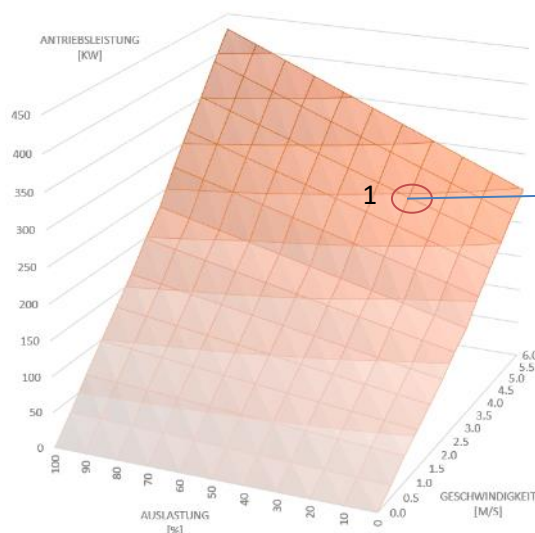


Abbildung 1: Leistung mit 100% Bestückung

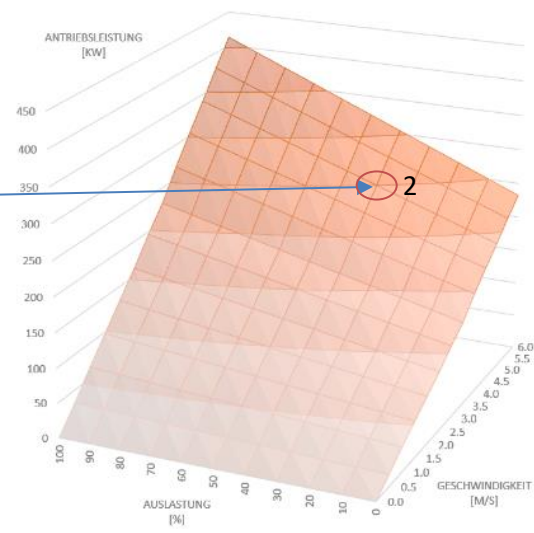


Abbildung 2: Leistung mit 66% Bestückung

Betriebspunkt 1: 5.0m/s, Auslastung 30%, Bestückung 100% -> Leistung: 292kW

Betriebspunkt 2: 5.0m/s, Auslastung 40% Bestückung 66% -> Leistung: 270kW

Für die Berechnung werden 50 Tage mit reduziertem Gästeaufkommen pro Saison für eine Bestückung um 2/3 reduziert berechnet.

Energieeinsparung pro Tag = (Leistung Betriebspunkt 2 - Leistung Betriebspunkt 1) \* Betriebsstunden pro Tag =  $(292kW - 270kW) \cdot 7h = 154kWh/d$

Energieeinsparung pro Saison:  $50d \cdot 154kWh/d = \mathbf{7'700kWh/a}$  oder rund **1'700CHF/a**

#### 5.4.3 Abwärmenutzung Antriebsmotor

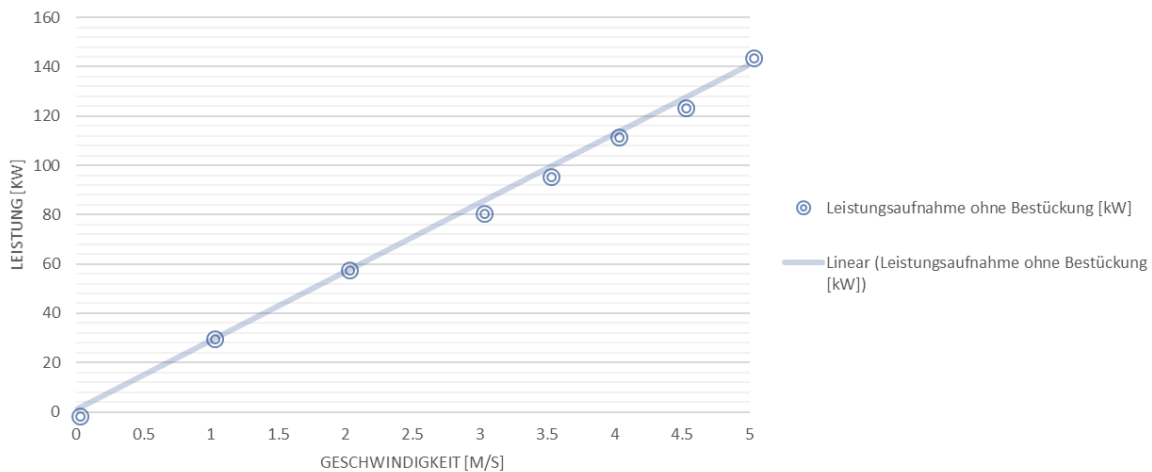
Der Antriebsmotor erzeugt durch die Verluste Abwärme. Diese Wärme könnte abgeführt werden um den Kommandoraum zu beheizen. Da sich neben dem Kommandoraum der Umrichterraum befindet, macht eine Wärmeleitung vom Motor zur Station wenig Sinn. Die Abwärme des Umrichterraumes wird über eine kleine Lüftungsanlage in den Kommandoraum geblasen. Da die Gebäudehülle und die Fenster einen sehr guten energetischen Zustand aufweise, wird sehr wenig Wärme benötigt und der Überschuss nach aussen geführt.

## 6 Analyse Bahn Rapid

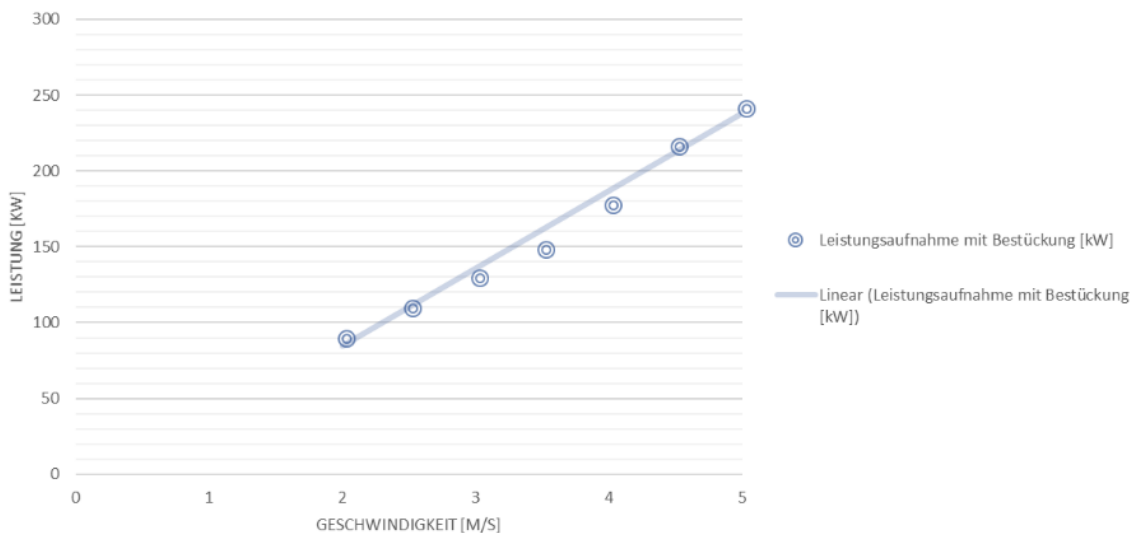
### 6.1 Messung Bahnmotor Rapid

Die Messung wurde in der Wintersaison 17/18 zwischen Februar und März durchgeführt. Dabei wurde geachtet, dass die Rollen die Betriebstemperatur hatten und sich keine Personen auf dem Lift befanden. Sämtliche detaillierten Messresultate sind im Anhang ersichtlich.

#### Leistungsaufnahme ohne Sessel (nur Rollreibung Seil ohne Nebenbetriebe)



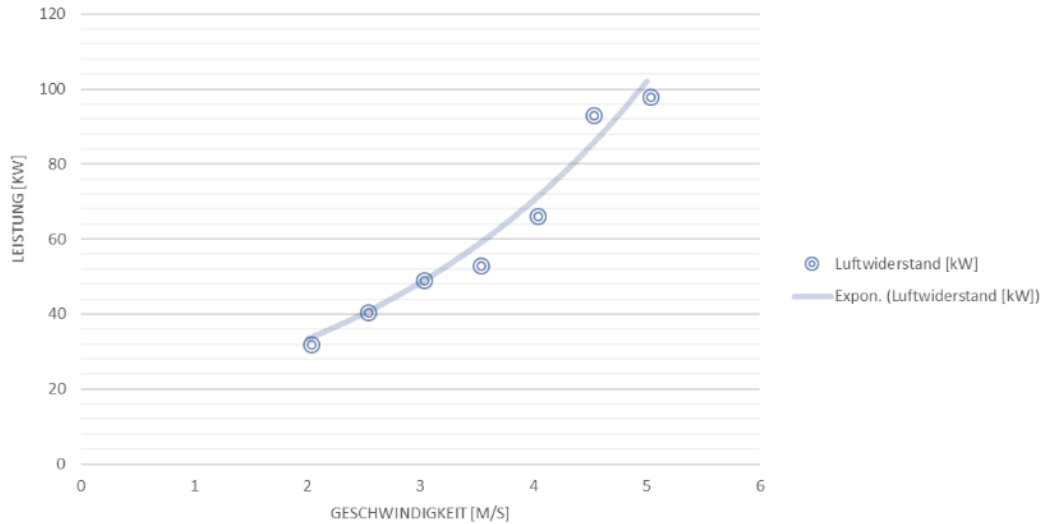
#### Leistungsaufnahme mit kompletter Bestückung



Bemerkung: Eine Messung unter 2m/s konnte aus Gründen der Stabilität und Sicherheit nicht durchgeführt werden.

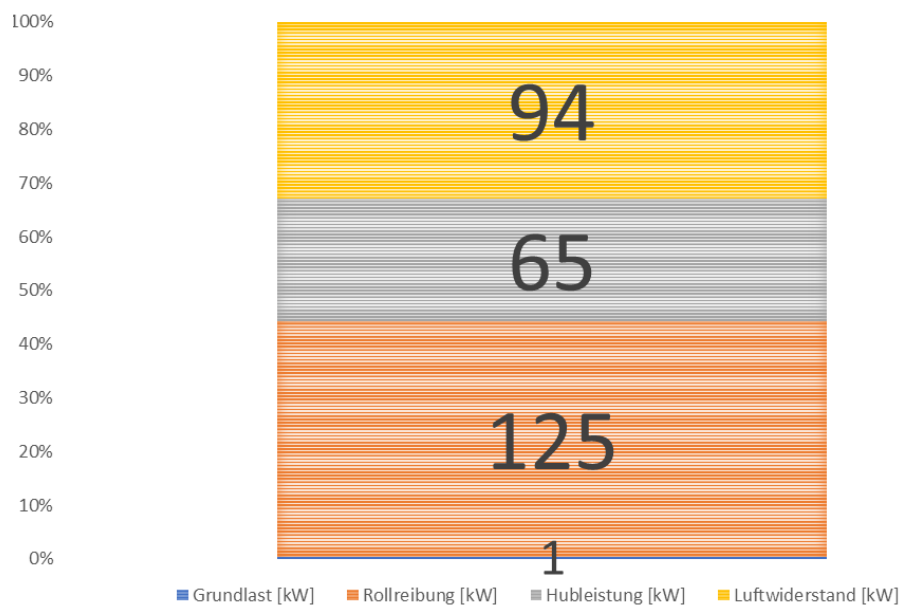
### Luftwiderstand:

Der Luftwiderstand in Abhängigkeit der Geschwindigkeit wird von der Bestückung mit/ohne subtrahiert. Dieser Widerstand wird von den Sesseln verursacht und ist in zweiter Potenz.



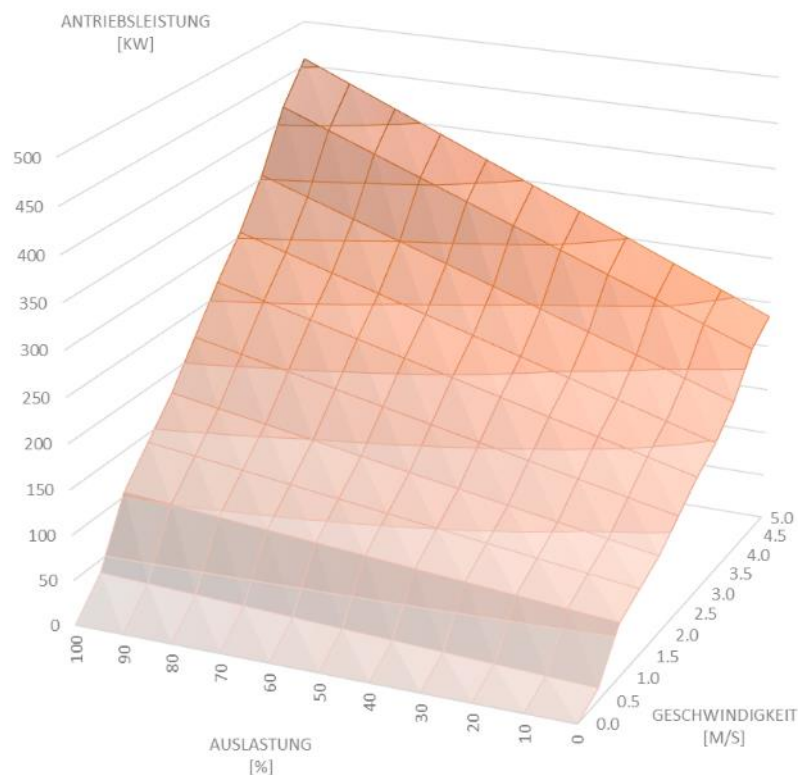
Aus diesen Messresultaten lässt sich nun herauslesen, dass die Rollreibung 47% der gesamten Motorenleistung benötigt. Die Hubleistung und der Luftwiderstand benötigen zusammen die restlichen 53% der Motorenleistung. Im direkten Vergleich zur Bahn Zipper ist diese Bahn effizienter, da die Rollreibung tiefer ist. Zu beachten ist aber, dass der Zipper mit 1m/s schneller fährt.

Der übliche Betriebspunkt der Bahn liegt bei 4.5m/s und bei einer Förderleistung von 1'000P/h. Bei dieser Betriebsbedingung gelten folgende Verluste:



## 6.2 Auswertung Bahnmotor Rapid

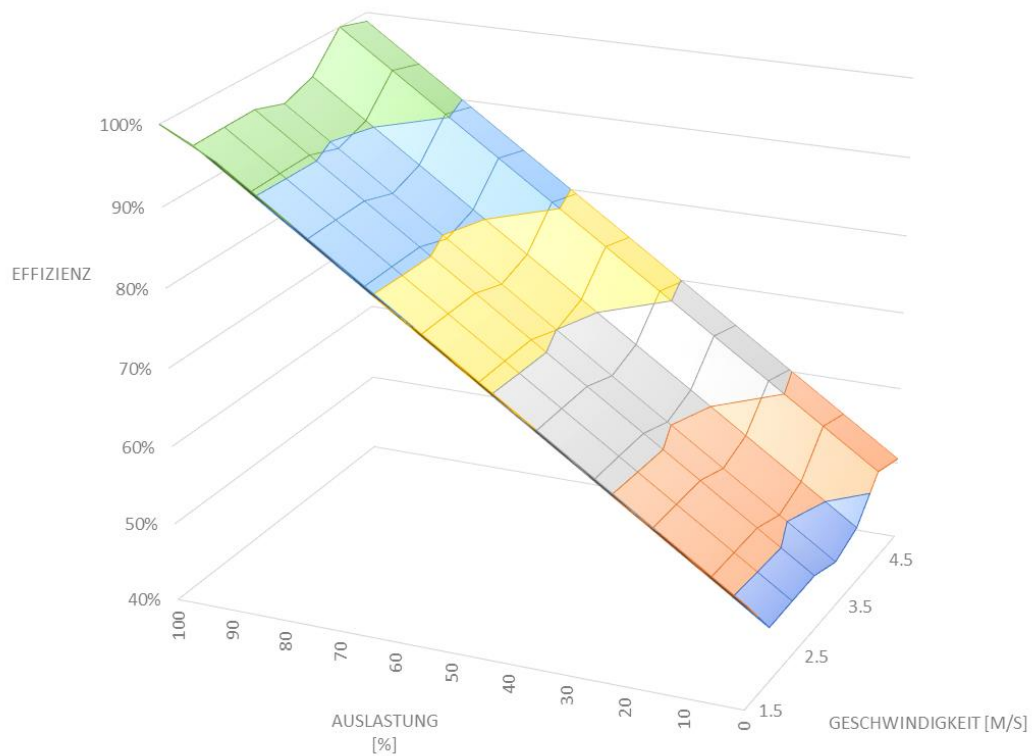
Anhand der gemessenen Betriebspunkte kann nun untersucht werden, welcher der ideale Betriebspunkt der Anlage ist. Die Auswertung der Daten ist komplex, daher wurde ein 3D Polynom erstellt. Dabei sind die variablen Daten die Geschwindigkeit [z-Achse] und die Auslastung [x-Achse] resp. Förderleistung in Abhängigkeit der Leistungsaufnahme [y-Achse] der Bahn.



Beispiel: Jeder zweite Sitz pro Sessel ist belegt, dies entspricht einer Auslastung von 50%. Die Fahrgeschwindigkeit liegt bei 4.5m/s. Im Diagramm entspricht daher die Antriebsleistung ca. 330kW.

In Diagramm oben ist die Antriebsleistung in Abhängigkeit der Förderleistung ersichtlich. Interessant ist der Betriebspunkt, an welchem die Personen am effizientesten befördert werden können. Um dies zu berechnen, wird die Förderleistung von der Geschwindigkeit dividiert. Der höchste Punkt wird mit 100% gewertet.





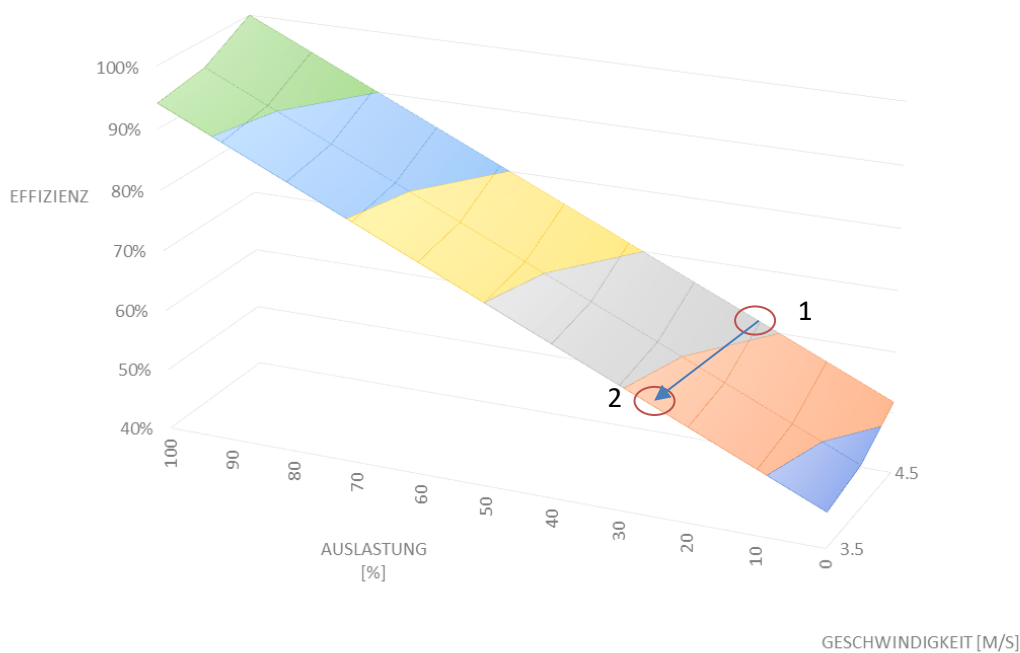
Das Diagramm zeigt eindeutig, dass die höchste Effizienz mit der höchsten Auslastung und der höchsten Förderleistung erzielt werden kann. Im Unterschied zum Zipper ist der Wirkungsgrad erst ab einer Geschwindigkeit ab 4.0m/s höher.

**Fazit: Die Effizienz des Antriebes ist stark abhängig von der Auslastung (Belegung pro Sessel) und der idealen Geschwindigkeit.**

## 6.3 Energieeffizienzmassnahme Bahn Rapid

### 6.3.1 Variable Geschwindigkeit

Eine Möglichkeit zur Effizienzsteigerung besteht darin, die Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Gästeaufkommens zu variieren. Erkennt das Kartenkontrollsystem wenig Eintritte, könnte die Geschwindigkeit automatisch auf 3.5m/s reduziert werden. Für die Berechnung wird ein Gästeaufkommen von 20% der Förderleistung angenommen. Bei höheren Gästeaufkommen ergibt die Regulierung wenig Sinn, da die Gäste mit Wartezeiten zu rechnen hätten.



Betriebspunkt 1: 4.5m/s, Auslastung 20% -> Effizienz: 62%  
 Betriebspunkt 2: 3.5m/s, Auslastung 27% -> Effizienz: 58%

Sehr interessant an dieser Auswertung ist, dass die Effizienz mit der reduzierten Geschwindigkeit und der höheren Auslastungen keinen Minderverbrauch, sondern einen Mehrverbrauch verursacht. Die Tatsache, dass der Wirkungsgrad bei 4.5m/s am höchsten ist und bei tieferer Geschwindigkeit markant fällt, erklärt dieses Resultat.

### 6.3.2 Reduktion Sesselanzahl

Eine weitere Möglichkeit besteht, die Sesselanzahl in Abhängigkeit des Gästeaufkommens zu variieren. Wird ein Tag mit schlechtem Wetter prognostiziert, kann am Morgen mit einer Teilbestückung die Anlage eingefahren werden. Die Teilbestückung limitiert die Förderkapazität den ganzen Tag und kann erst wieder bei Entleerung neu bestückt werden. Daher ist diese Massnahme gut zu planen.

Durch die Reduktion der Sessel steigt die Auslastung an, der Luftwiderstand sinkt und die Geschwindigkeit bleibt identisch.

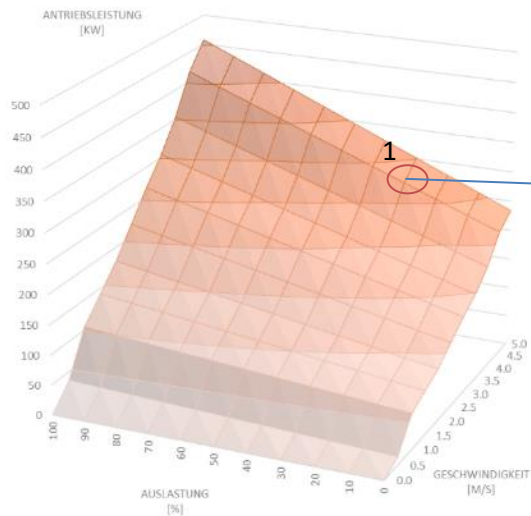


Abbildung 3: Leistung mit 100% Bestückung

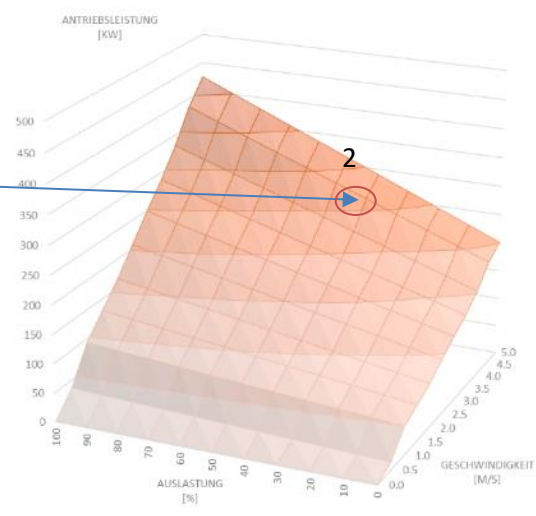


Abbildung 4: Leistung mit 66% Bestückung

Betriebspunkt 1: 4.5m/s, Auslastung 30%, Bestückung 100% -> Leistung: 276kW  
 Betriebspunkt 2: 4.5m/s, Auslastung 40% Bestückung 66% -> Leistung: 262kW

Für die Berechnung werden 50 Tage mit reduziertem Gästeaufkommen pro Saison für eine Bestückung um 2/3 reduziert berechnet.  
 Energieeinsparung pro Tag = (Leistung Betriebspunkt 2 - Leistung Betriebspunkt 1) \* Betriebsstunden pro Tag = (276kW - 262kW) \* 7h = 95kWh/d

Energieeinsparung pro Saison: 50d \* 98kWh/d = **4'900kWh/a oder rund 1'100CHF/a**

### 6.3.3 Motorenersatz

Gleichstrommaschinen haben im Vergleich zu IE4 Asynchronmaschinen einen tieferen Wirkungsgrad. Auch sind diese Maschinen wartungsintensiv und teuer im Unterhalt. Der Wellenwirkungsgrad des aktuellen Motors beträgt gemäss Berechnung im Anhang 94.4%, was einen guten Wert entspricht. Darin ist auch die Erregungsleistung beinhaltet. Würde der Gleichstrommotor mit einem ASM ersetzt, wäre der Energieeffizienzvorteil (97% - 94.4%) = 2.6%. Dies würde bedeuten, dass der Stromverbrauch sich pro Jahr um (295'905kWh/a \* 2.6%) = **7'693kWh** verringern würde und die Stromkosten ca. 1'800CHF reduziert wären.

Die Investitionskosten in einen Motorenersatz würden sich wie folgt zusammensetzen:

Pos.	Bauteil	Kosten [CHF]	Energiekostenanteil [%]	Anrechenbare Kosten [CHF]
1	ASM IE4 Motor	76'000	100	76'000
2	Anpassungsarbeiten Motorenaufnahme	26'000	100	26'000
3	Kabel	17'000	50	8'500
4	Frequenzumrichter	42'000	100	42'000
5	Neue Steuerung	?		
6	Projektierungskosten + Abnahme	32'000	50	16'000
7	Eigenleistungen	25'000	50	12'500
	<b>Total</b>			<b>181'000</b>

Eine wirtschaftliche Amortisation eines Motorenersatzes ist nicht gegeben.

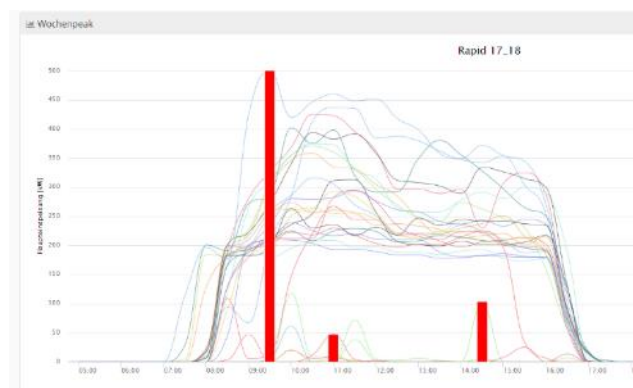
### 6.3.4 Reduktion Leistungsspitzen

Die Leistungsspitzen in Davos sind im Vergleich zu anderen Regionen sehr hoch und werden jährlich abgerechnet. Wird in einer viertel Stunde pro Jahr die maximale Leistung erreicht, wird dieser Betrag mit 80CHF/kW verrechnet. Massnahmen für den Lastabwurf sind daher sehr interessant und schnell in einem wirtschaftlichen Rahmen.

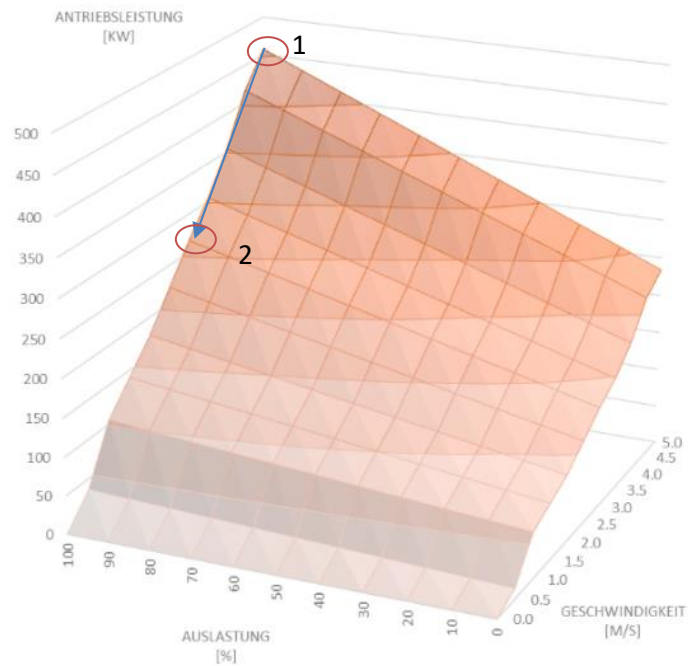
Um das Potenzial zu untersuchen, werden die Lastgangwerte der Bahn Rapid analysiert und ausgewertet. Die gesamten Daten sind im Anhang unter Leistungsspitzen ersichtlich.

1. Leistungsspitze (Kurzzeit): Die höchste Leistungsspitze mit 500kW wurde am 29.12.2017 verursacht. Dieser Tag war der am besten frequentierte Tag der Saison und ist daher mit einer vollen Belegung zu rechnen.

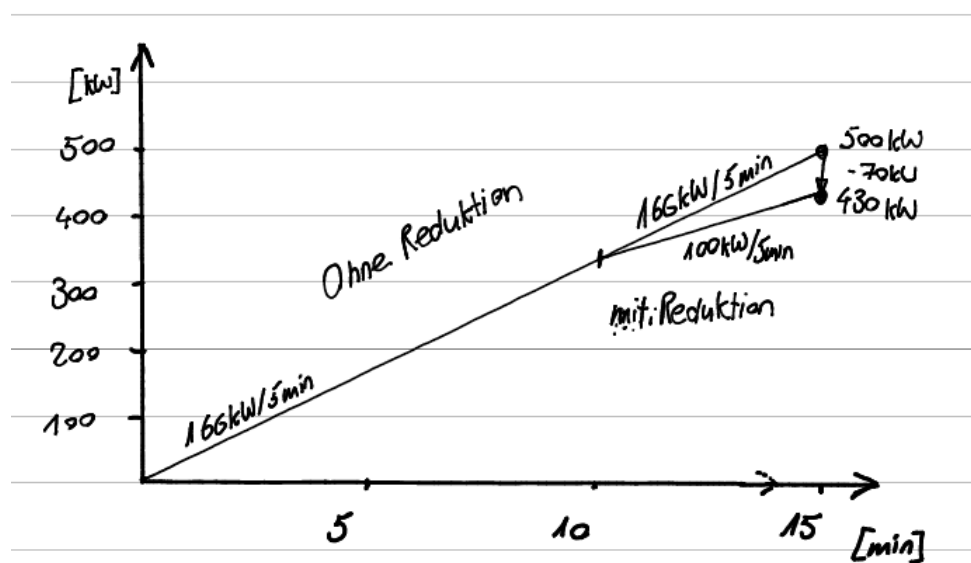
Problematisch ist nicht die Höhe der Leistungsspitze, sondern die kurze Zeit der Spitze. Eine viertel Stunde nach der Spitze sinkt die Leistung wieder um 60kW und sinkt dann kontinuierlich ab.



Um die kurzzeitige Leistungsspitze auf den Durchschnittswert von 430kW zu senken, müsste die Bahn die Geschwindigkeit für eine bestimmte Zeit reduzieren. Sinnvollerweise würde der Eingriff in die Steuerung erst nach dem Erreichen nach 10min der definierten Leistung eingreifen. Danach hätte die Bahn noch 5min Zeit, um den Peak zu reduzieren. Im vorliegenden Fall müsste die Bahn, welche durchschnittlich 166kW/5min benötigt, auf den Wert von 100kW/min sinken. Dies würde gemäss der Polynomanalyse eine Reduktion um 40% ergeben und eine Geschwindigkeit von 3m/s resultieren.

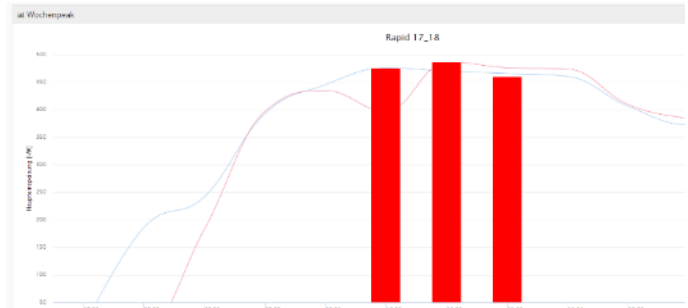


Leistungsverlauf in einer viertel-Stunde:

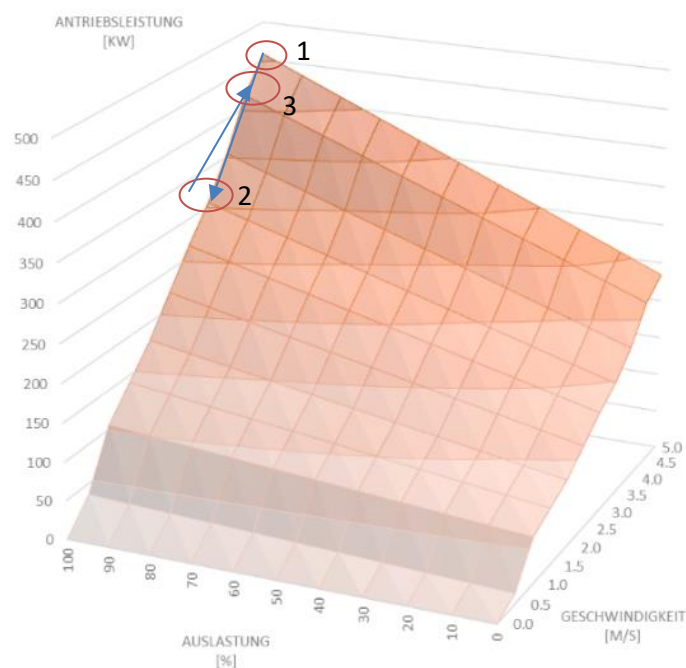


2. Leistungsspitze: Die weiteren und tieferen Leistungsspitzen mit 476kW wurden an einem Wochenende am 18.11.17 verursacht. In dieser Vorsaison Zeit sind nur wenige Lifte offen und an diesem schönen Wochenende war die Belegung bei 100%.

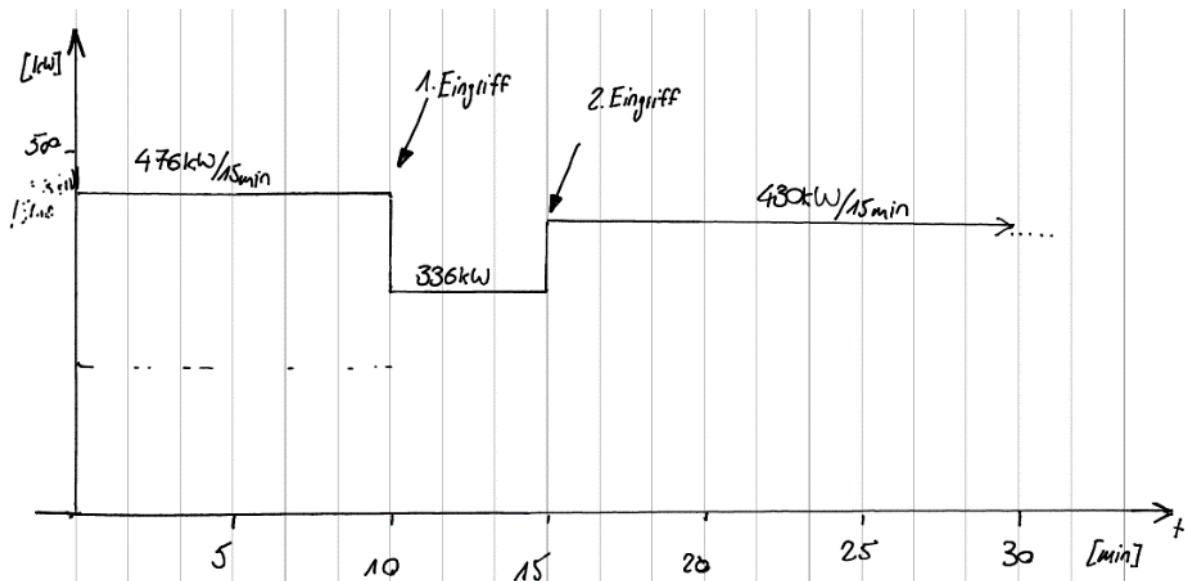
Solche länger andauernden Leistungsüberhöhungen können nicht mit einfachen Massnahmen reduziert werden. Die effektivste Massnahme wäre die Reduktion der Geschwindigkeit (resp. Förderleistung).



Um die langzeitige Leistungsspitze auf den Durchschnittswert von 430kW zu senken, müsste die Bahn die Geschwindigkeit für eine längere Zeit reduzieren. Sinnvollerweise wird der erste Eingriff in die Steuerung erst nach dem Erreichen nach 10min der definierten Leistung eingreifen. Danach wird die Bahn mit einer stärker reduzierten Geschwindigkeit weiterfahren. Nach Erreichen der Viertelstunde kann die Bahn wieder beschleunigen. Im vorliegenden Fall müsste die Bahn, welche durchschnittlich 158kW/5min benötigt, auf den Wert von 112kW/min sinken. Dies würde nach der Polynomanalyse eine Reduktion um 29% ergeben und eine Geschwindigkeit von 3.5m/s resultieren. Danach könnte die Bahn wieder mit ca. 4.7m/s weiterfahren.



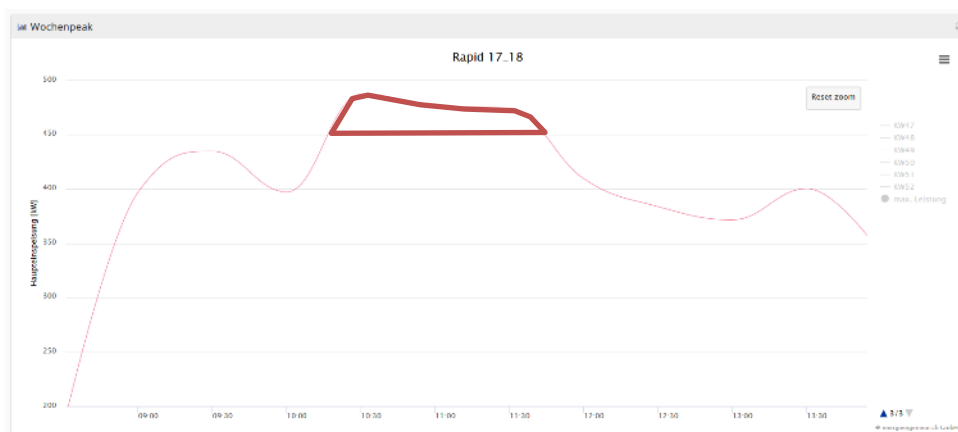
Leistungsverlauf in einer halben-Stunde:



Von dieser Massnahme ist abzuraten, da die Steuerung recht komplex wäre und das Bedienpersonal verunsichern würde, da er nicht weiss, wie die Anlage in der kommenden halben Stunde laufen müsste.

Reduktion mit Batteriespeicher:

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die länger andauernde Leistungsüberhöhung mit einem Batteriespeicher zu reduzieren. Als Ziel wird die maximale Leistungsspitze von 400kW angestrebt. Dabei wäre der Tag am 18.11.17 der Tag, an welchem am meisten Energie vom Speicher benötigt wird. Die Energiemenge, welche über 400kW ist, beträgt 32kWh. Danach könnte der Speicher wieder geladen werden.



Mit einem 35kWh Batteriespeicher könnte die Leistungsspitze von 500kW auf 450kW reduziert werden. Eine weitere höhere Reduktion würde einen grösseren Speicher benötigen. Die Kosteneinsparung wären pro Jahr =  $50\text{kW} * 80\text{CHF/kW/a} = 4'000\text{CHF}$



Ein Batteriespeicher in der Grösse von 35kWh kostet mit der Installation ca. 37'000CHF (Preise 2018). Eine solche Investition würde sich nach ca. 10 Jahren amortisieren. Wichtig zu wissen ist, dass ein Batteriespeicher aktuell nicht über das Netz wieder geladen werden kann. Es müsste eine PV Anlage installiert werden, welche den Batteriespeicher lädt. Diese Kosten wären nochmals ca. 12'000CHF.



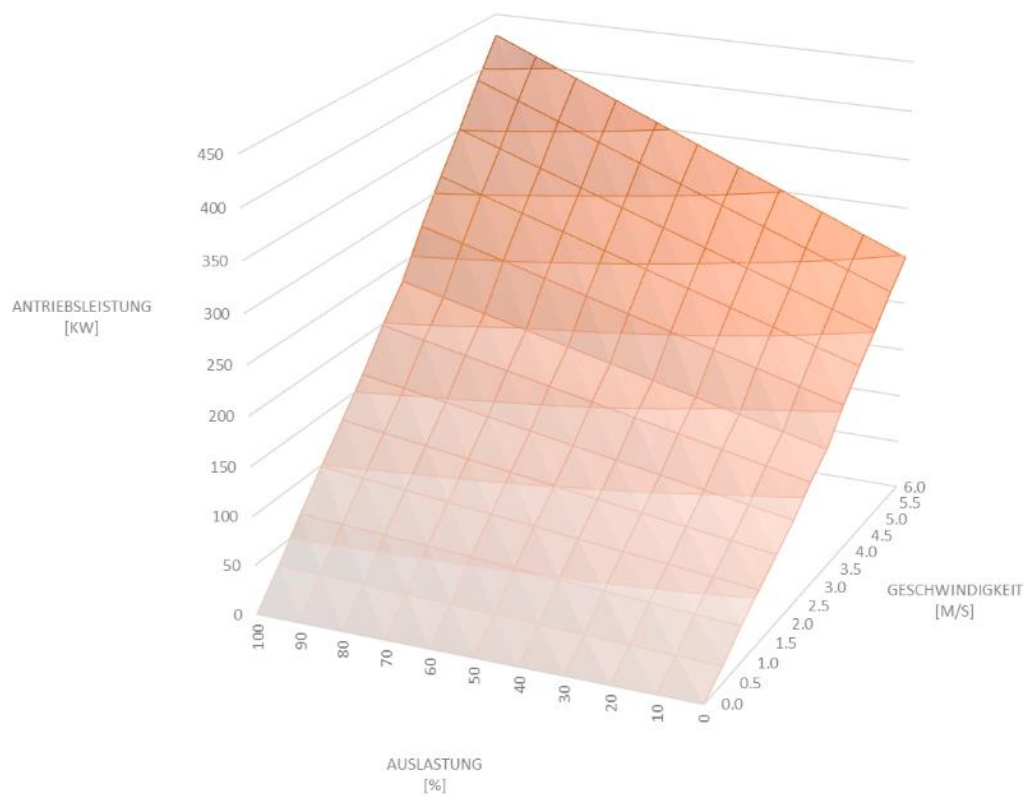
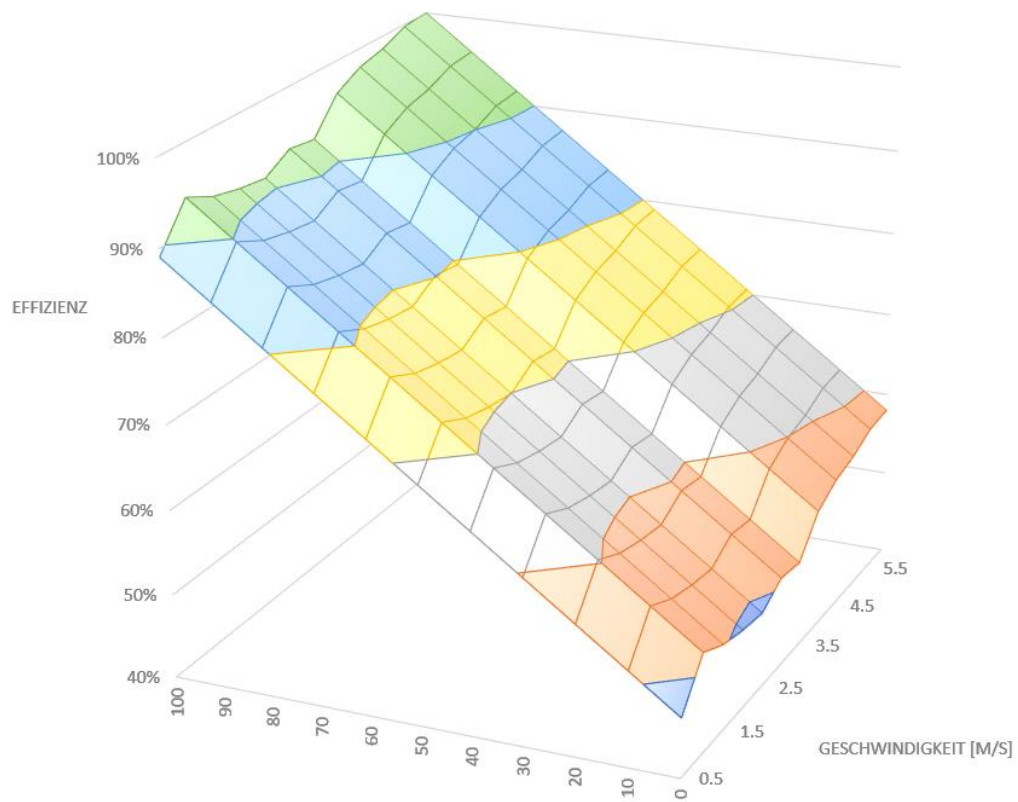
## 7 Anhang

### 7.1 Leistungsmessungen Zipper

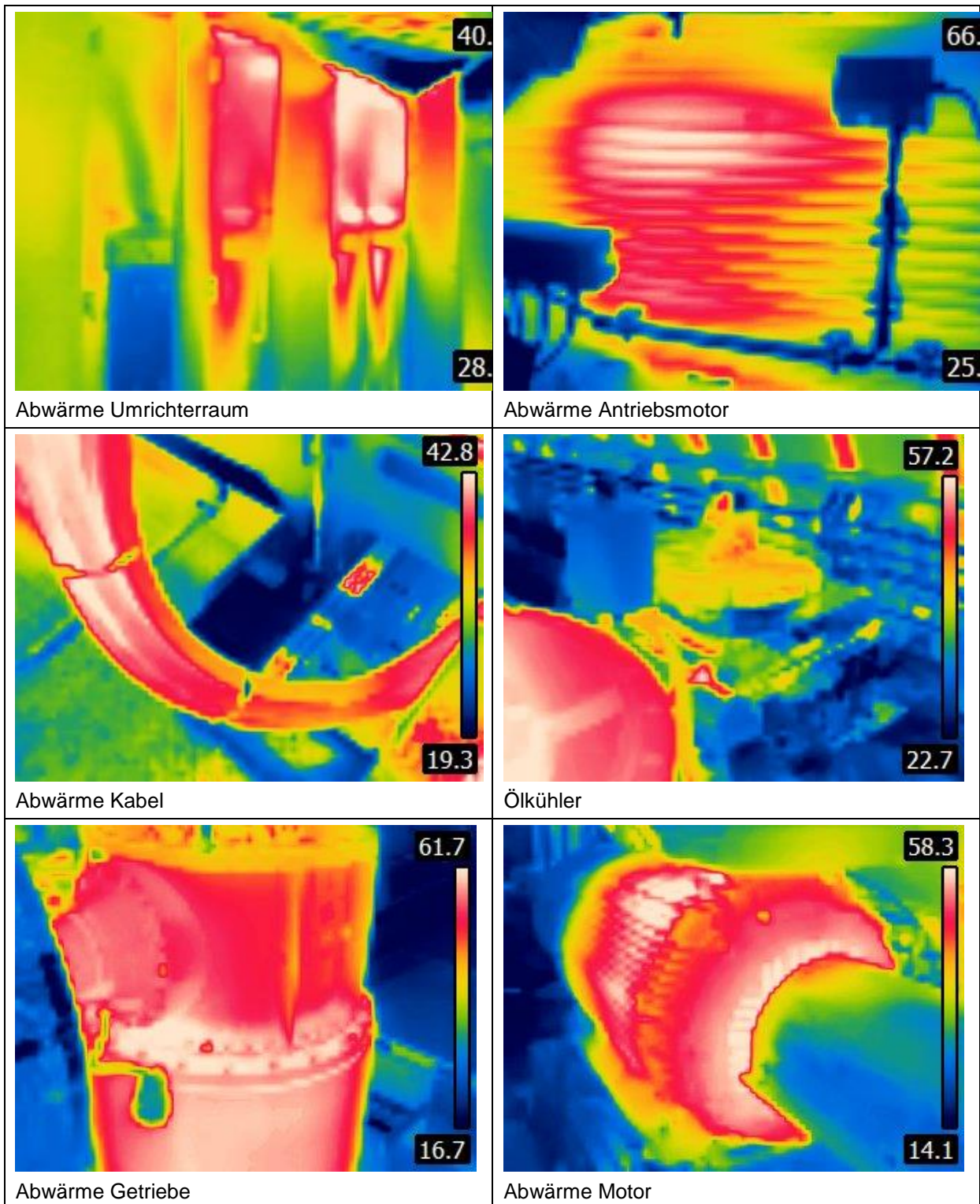
Betriebsbedingung	Geschwindigkeit [m/s]	Aufzeichnung
Keine Bestückung (Messung Grundlast der Nebenbetriebe)	0.0	<p>Leistungsaufnahme = 7kW</p>
Keine Bestückung	0.3	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 19kW – 7kW = 12kW</p>
Keine Bestückung	1.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 42kW – 7kW = 35kW</p>
Keine Bestückung	3.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 109kW – 7kW = 102kW</p>
Keine Bestückung	6.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 208kW – 7kW = 201kW</p>

<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung (keine Personen auf dem Lift)</p>	<p>2.0</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 79kW – 7kW = 72kW</p>
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>4.0</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 162kW – 7kW = 155kW</p>
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>5.0</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 208kW – 7kW = 201kW</p>
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>5.5</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 229kW – 7kW = 222kW</p>
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>6.0</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 255kW – 7kW = 248kW</p>

## 7.2 Auswertung Zipper



7.3 Thermografie Aufnahme Zipper



7.4 Fotos Zipper



Antrieb



Getriebe



Kühler für Hydrauliköl



Sicht nach Tal



Frequenzumrichter



Motorenkühlung

7.5 Leistungsmessungen Rapid

Betriebsbedingung	Geschwindigkeit [m/s]	Aufzeichnung
Keine Bestückung (Messung Grundlast der Nebenbetriebe)	0.0	<p>Leistungsaufnahme = 0kW</p>
Keine Bestückung	1.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 31kW</p>
Keine Bestückung	2.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 59kW</p>
Keine Bestückung	3.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 82kW</p>
Keine Bestückung	3.5	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 97kW</p>
Keine Bestückung	4.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 113kW</p>

Keine Bestückung	4.5	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 125kW</p>
Keine Bestückung	5.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 145kW</p>
Volle Bestückung, keine Hubleistung	2.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 92kW</p>
Volle Bestückung, keine Hubleistung	2.5	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 112kW</p>
Volle Bestückung, keine Hubleistung	3.0	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 132kW</p>

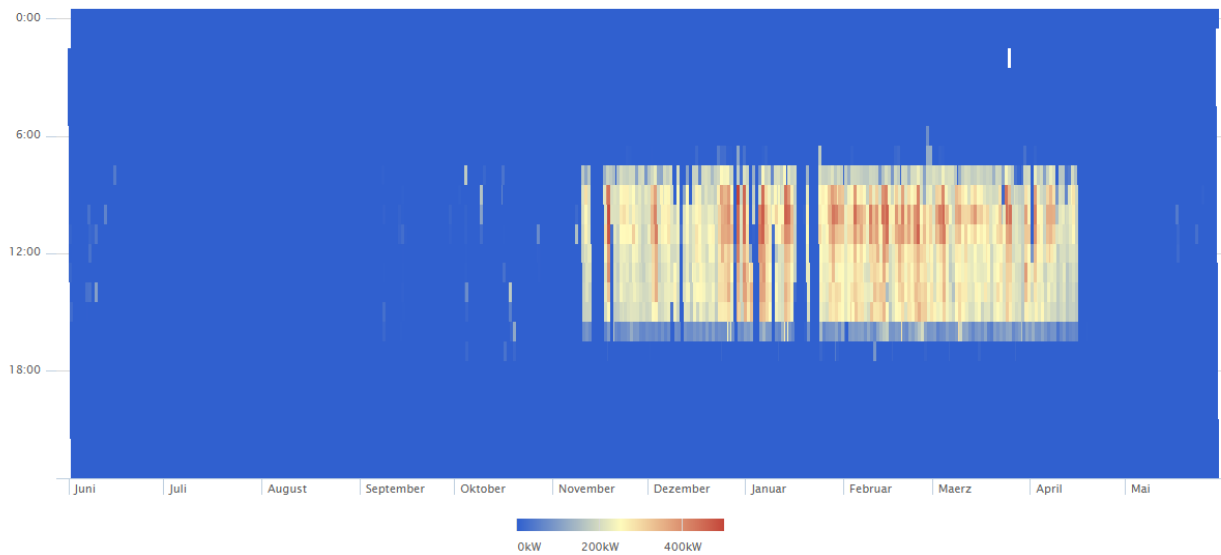
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>3.5</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 151kW</p>
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>4.0</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 180kW</p>
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>4.5</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 219kW</p>
<p>Volle Bestückung, keine Hubleistung</p>	<p>5.0</p>	<p>Leistungsaufnahme Antrieb = 244kW</p>



## 7.6 Energieverbrauch Rapid

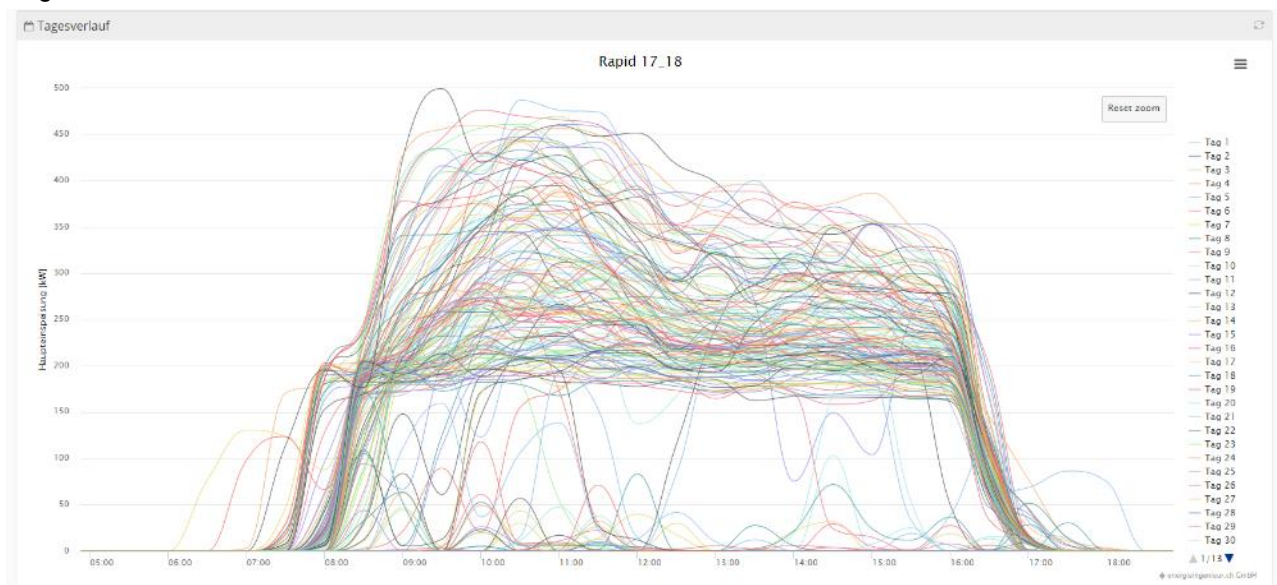
### Heatmap:

Rapid 17\_18

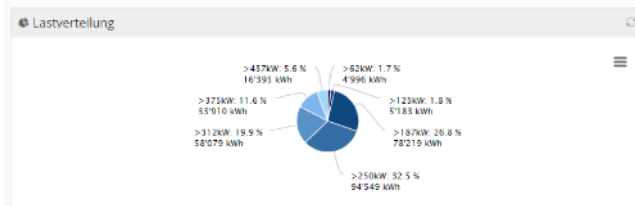
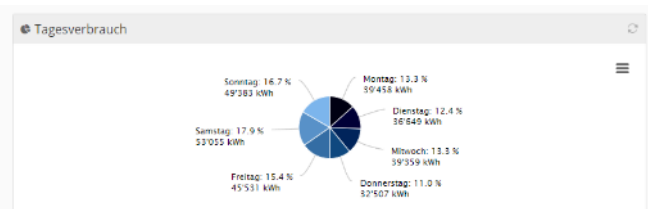
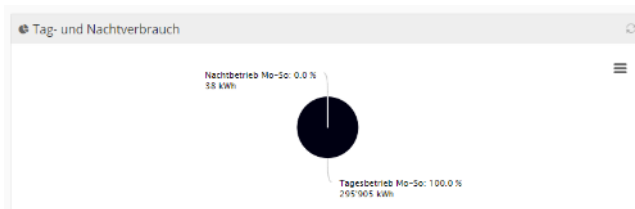
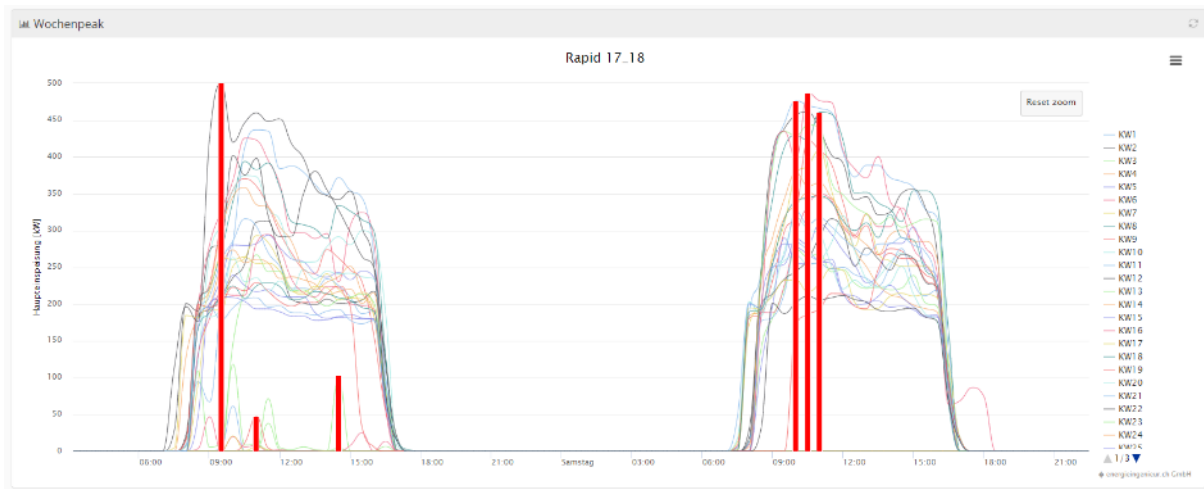


© energieingenieur.ch GmbH

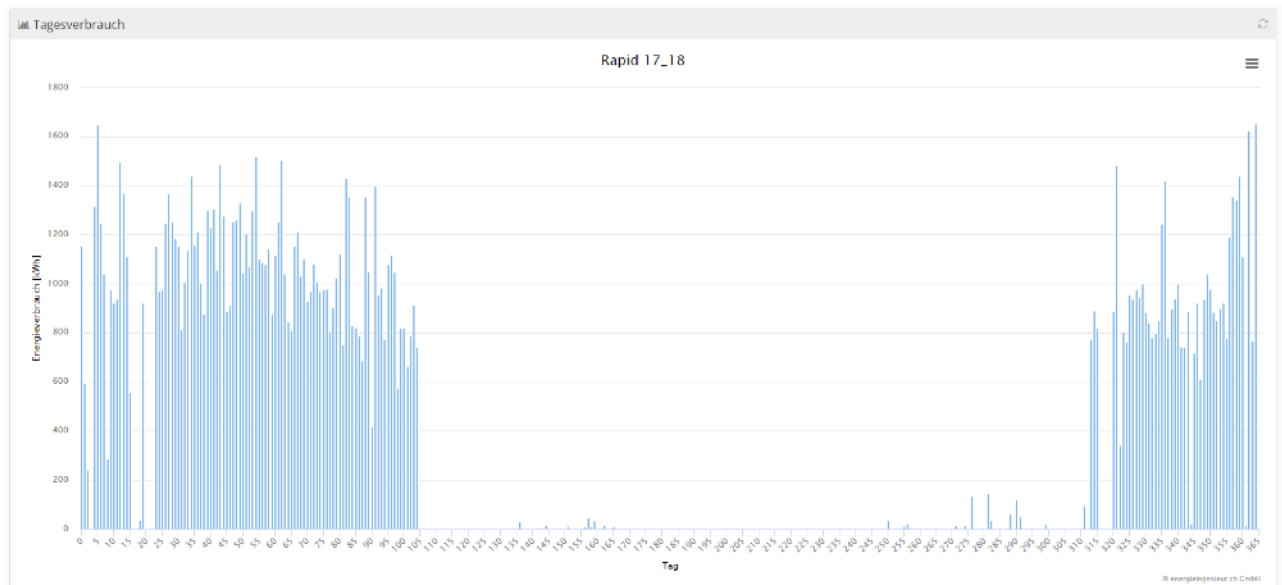
### Tagesverlauf:



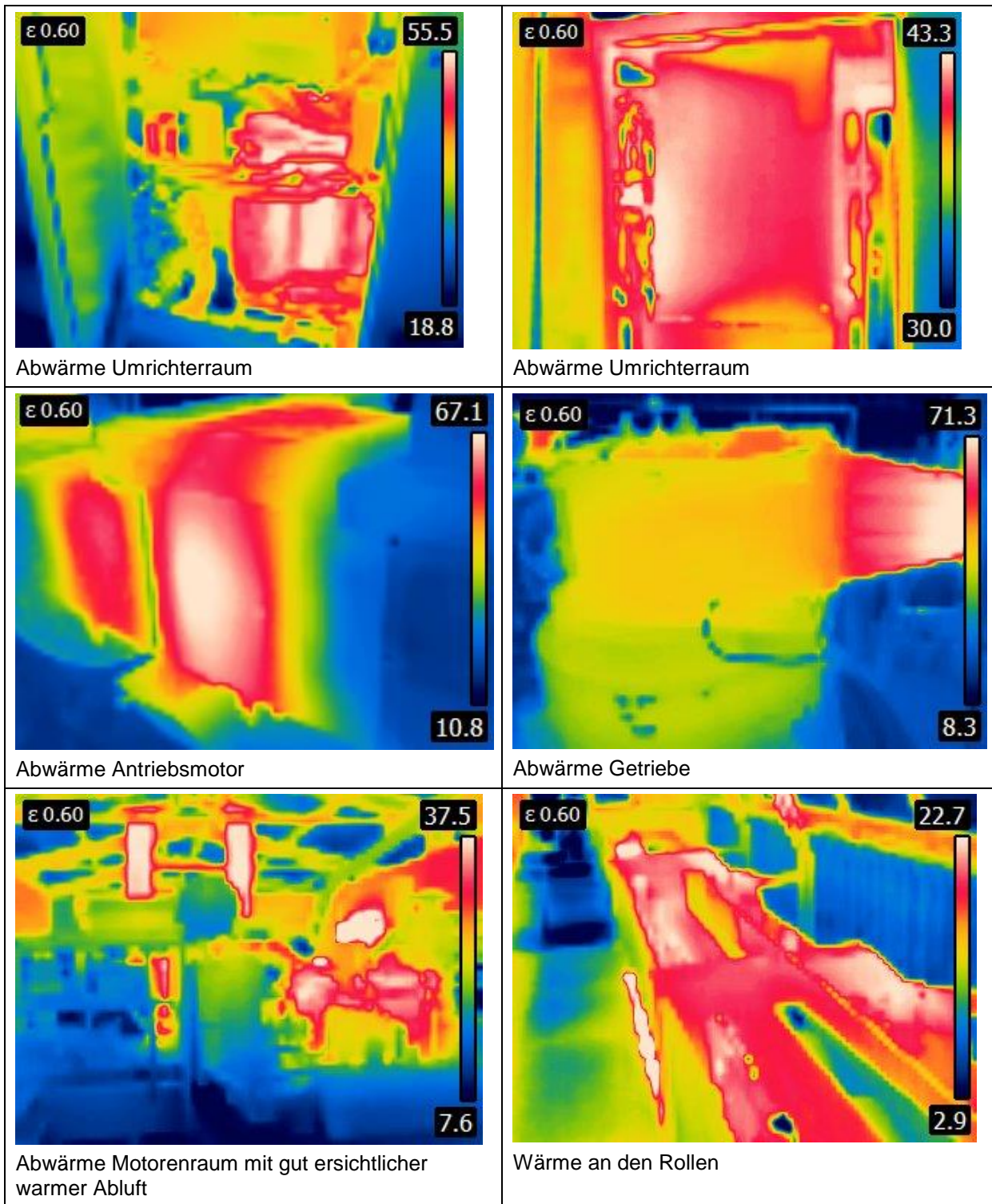
## Leistungsspitzen:

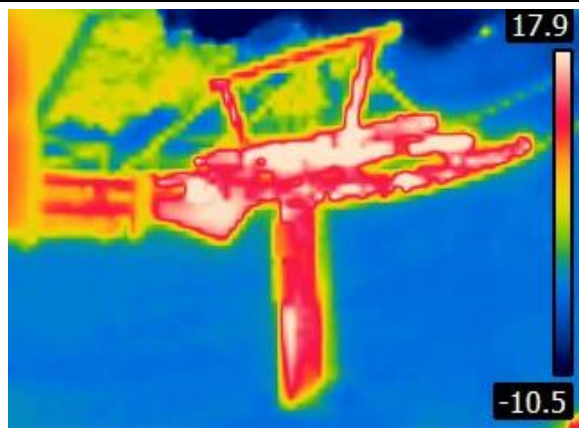


## Verbrauch:

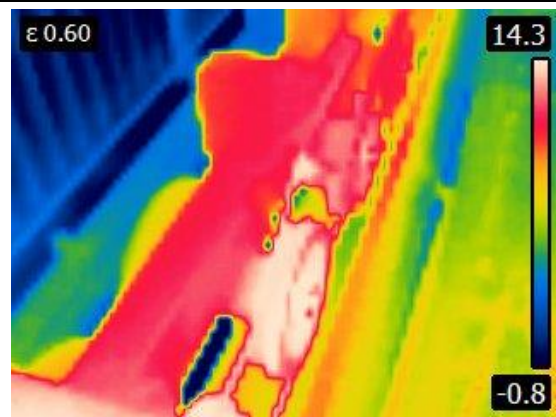


7.7 Thermografie Aufnahmen Rapid





Abwärme Rollen (Reibungsverluste)



Wärme an den Rollen

## 7.8 Fotos Rapid



Antrieb



Getriebe



Antrieb für Lüfter

ABB		GLEICHSTROMMASCHINE MACHINE À COURANT CONTINU DIRECT CURRENT MACHINE			
No.	HM 2352862	2000-07	Typ.	DMA	395557V
P	600	kW	m <sub>rot</sub>	717	kg
n	1457	1/min	J	14,20	kg m <sup>2</sup>
U	497	V	U <sub>e</sub>	260	V
I	1271	A	I <sub>a</sub>	13,9	A
Duty	S1		El.	IEC 34-1	Cl. H / F
	2655 M.N.N.	Δp	18,0	mbar	V1,22
					m <sup>3</sup> /s
					t 28 °C

Datenschild Antriebsmotor



Umrichter Ansicht 1



Umrichter Ansicht 2

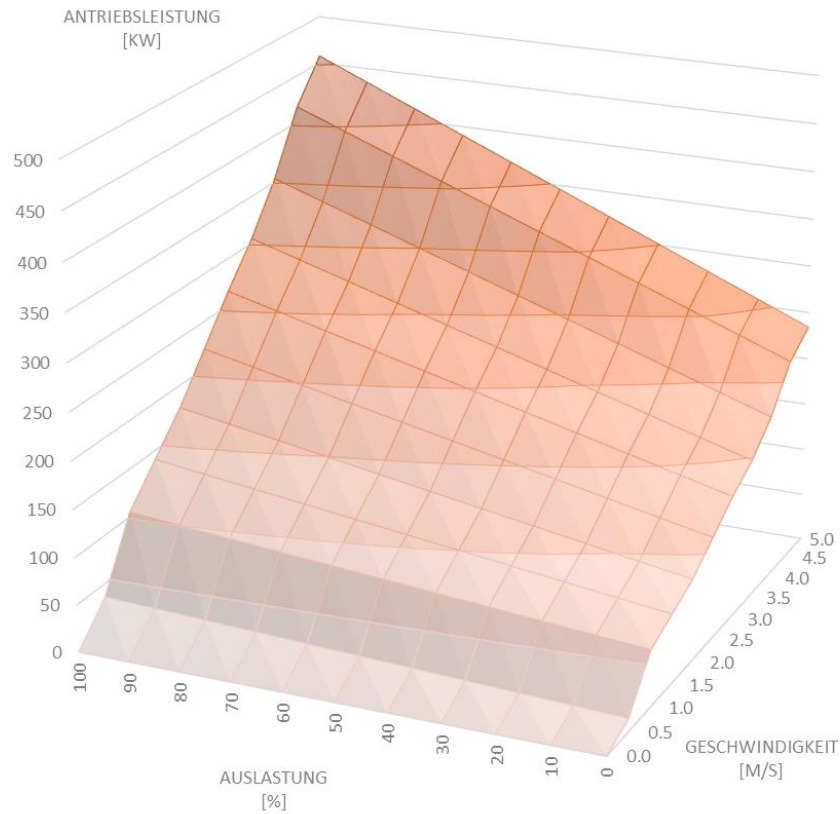


Aussenansicht



Motorenraum

## 7.9 Auswertung Rapid



## 7.10 Motorenwirkungsgrad Rapid

Bestehend		Umrichter	
Motorentyp	Gleichstrom	Typ	Thyristor
Frequenz	- Hz	Wirkungsgrad	97.5 %
Leistung	600 kW	Getriebe	Typ
Stromaufnahme	1271 A		
Spannung	497 V		
Exc.Leistung	3.61 kW		
Aufnahmeleistung	635 kW		
Teillastfaktor	0.7		
Wirkungsgrad	94.4 %		

$$\begin{aligned} \text{Sesselabstand} &= \frac{2 \times \text{Anzahl Länge Bahn}}{\text{Anzahl Sessel}} \\ &= \frac{2 \times 1580\text{m}}{68} = 46\text{m} \end{aligned}$$

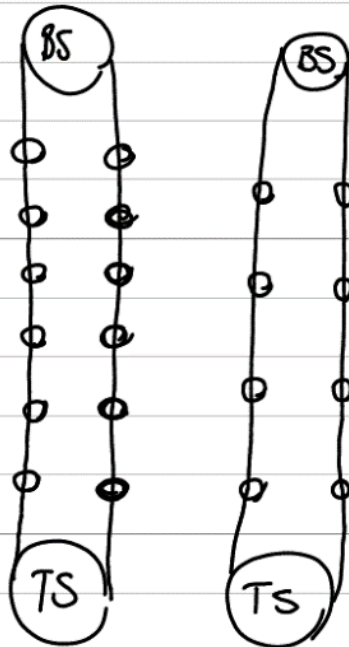
$$\begin{aligned} \text{Abfahrt Sessel bei } 5,5\text{m/s} &= \frac{\text{Sesselabstand}}{v} \\ &= \frac{46\text{m}}{5,5\text{m/s}} = 8,45\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Förderleistung} &= 3600\text{s} \times \text{Anzahl Sitze pro Sessel} / \text{Abfahrt Sessel} \\ &= 3600\text{s} \times 6 / 8,45\text{s} = 2556\text{ P/h @ } 5,5\text{m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hubleistung} &= \text{Gewicht} \times 9,81 \times \text{Höhe} / 3,6 \times \text{Förderleistung} \times \\ &\quad \text{Auslastung} \\ &= 65\text{kg} \times 9,81 \times 364\text{m} / 3,6 \times 2556\text{ P/h} \times 100\% \\ &= 164\text{kW} \end{aligned}$$

### Reduktion Sessel

68 Sessel → 45 Sessel



39%  
Auslastung  
 $v = 5,0\text{m/s}$

40%  
Auslastung  
 $v = 5,0\text{m/s}$