

# Energiesmessbox

## Mobile IoT Station für Strom- und Druckluffterfassung

Die Energiesmessbox ist eine mobile Messstation für Anlagen in Gewerbe- und Industriebetrieben; mit Hilfe dieses Geräts können sowohl der Bezug elektrischer Energie grösserer Maschinen als auch der qualitative Zustand bzw. Druckabfall eines Druckluftsystems erfasst und analysiert werden. Analog zu den kleinen Leistungsmessgeräten für den Privathaushalt wird die Energiesmessbox zwischen Versorgung und Anlage gesteckt. Über eine Netzwerkverbindung können die Messdaten auf einem Webserver in Echtzeit betrachtet und aufgezeichnet werden.

Autoren: David Weder, Kerim Cilasin

26. März 2018

# Energiemessbox

Mobile IoT Station für Strom- und Druckluftefassung  
im industriellen Umfeld

**Eine betriebliche Projektarbeit**

**von**

**David Weder**

**Kerim Cilasin**

**Automatiker EFZ, 2.Lehrjahr**

**libs Industrielle Berufslehren Schweiz**

**Wettbewerbskategorie „Innovationsprojekt“**

**Heerbrugg, den 26. März 2018**

## Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei all jenen ganz herzlich bedanken, die uns bei der Realisierung dieses Projektes tatkräftig unterstützt haben.

Wir danken

unserem Lehrbetrieb „libs Industrielle Berufslehren Schweiz“ für die Möglichkeit, dieses Projekt überhaupt umzusetzen, sowie der grosszügigen finanziellen Unterstützung;

sowie allen hier Ungenannten, welche uns bei der Realisierung unterstützt, beraten, inspiriert und motiviert haben.

Kerim Cilasin, David Weder

## **Kurzreferat**

Die Energiemessbox ist eine mobile Messstation für Anlagen in Gewerbe- und Industriebetrieben; mit Hilfe dieses Geräts können sowohl der Bezug elektrischer Energie grösserer Maschinen als auch der qualitative Zustand bzw. Druckabfall eines Druckluftsystems erfasst und analysiert werden. Analog zu den kleinen Leistungsmessgeräten für den Privathaushalt wird die Energiemessbox zwischen Versorgung und Anlage gesteckt. Über eine Netzwerkverbindung können die Messdaten auf einem Webserver in Echtzeit betrachtet und aufgezeichnet werden.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Motivation</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Projektbeschreibung</b> .....	<b>2</b>
2.1	Definition und Zielsetzung .....	2
2.2	Umsetzbarkeit .....	2
<b>3</b>	<b>Planung</b> .....	<b>3</b>
3.1	Termine, Meilensteine .....	3
3.2	Aufgabenplanung .....	4
<b>4</b>	<b>Funktionsprinzip, Technischer Hintergrund</b> .....	<b>5</b>
4.1	Systemübersicht .....	5
4.1.1	Druckluft .....	5
<b>5</b>	<b>Realisierung</b> .....	<b>6</b>
5.1	Hardwareplanung und Konstruktion .....	6
5.2	Erste Probemessungen, „Proof of Concept“ .....	6
5.3	Bau finaler Prototyp .....	6
5.4	Felderprobung .....	7
5.5	Visualisierung .....	7
<b>6</b>	<b>Berechnung</b> .....	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Reflexion</b> .....	<b>8</b>
7.1	Stand 26.03.18 .....	8
7.2	Erfahrungen und Erfolgsfaktoren .....	8
7.3	Perspektiven .....	9

## Abkürzungsverzeichnis

EN	Europäische Norm
IoT	Internet of Things
KMU	Kleine und mittelgrosse Unternehmen
SN	Schweizerische Norm
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
VA, S	Elektrische Scheinleistung S (Einheit VA)
var, Q	Elektrische Blindleistung Q (Einheit var)
W, P	Elektrische Wirkleistung P (Einheit Watt)
kWh	Kilowattstunde
a	Jahr (annum)
SEV	Electrosuisse (Schweizerischer Elektrotechnischer Verein)
LS	Leitungsschutzschalter
CNC	Computer Numerical Control (Machine)
HMI	Human-Machine Interface
DB	Datenbank / Datenbaustein (Siemens)
WLAN	Wireless Local Area Network
MB	MegaByte



## 2 Projektbeschreibung

### 2.1 Definition und Zielsetzung

Unser Ziel ist es, eine mobile Messstation für das industrielle Umfeld entwickeln, welche Druckluft und elektrischer Energie erfasst und die Daten über einen Webserver bereitstellt.

Das Gerät soll sich vor allem an produzierende KMU's richten, die kein betriebliches Energieerfassungssystem besitzen. Es soll kostengünstig und universell einsetzbar sein und sich einfach und ohne zusätzliche Software bedienen lassen.

Die Messeinheit soll folgende Funktionen bzw. Bedingungen zwingend erfüllen:

- Mobil und einfach einzurichten, sodass das die Maschine nicht geöffnet / umverdrahtet werden muss (Zwischenstecksystem)
- Geeignet für Einphasige und Dreiphasige Messungen, es soll zudem möglich sein, alle gängigen Maschinen bzw. Stecksysteme anzuschliessen
- Es muss möglich sein, Sowohl Standby- wie auch Vollbetrieb genau zu erfassen
- Es müssen sowohl Wirk- wie auch Blindleistung gemessen werden
- Der Druck eines angeschlossenen Druckluftsystems soll erfasst werden
- Die Messwerte sollen via Netzwerk auf einem PC abrufbar sein
- Das Gerät soll für dem produktiven Einsatz entwickelt werden und sich auch für sich für Langzeitüberwachung eignen

Zudem wurden folgende Sekundärziele definiert:

- Messung der Durchflussmenge der Druckluftleitung
- Webseite mit Echtzeitdaten, Übermittlung an andere Anwendungssysteme
- Einsatz für alle CEE 3L+N+PE Steckvorrichtungen (bis 125A Stromstärke)<sup>1</sup>
- Anbindung via WLAN

### 2.2 Umsetzbarkeit

Aufgrund der hohen Anforderungen an die Energiemessbox ist eine systematische und in kleinen Schritten erfolgende Umsetzung essentiell. Zudem muss viel Wissen wie z.B. in

---

<sup>1</sup> CEE-Stecksysteme nach SN EN 60309-2:2013 sind derzeit die in der Industrie gebräuchlichsten Steckvorrichtungen für Drehstromverbraucher.



Wechselstromlehre, SPS-Programmierung, Informations- und Drucklufttechnik oder Normung zuerst erarbeitet bzw. vorgeholt werden.

Eine grosse Problematik stellt der normgerechte Bau des Prototyps dar, damit dieser ausserhalb von Laborbedingungen eingesetzt werden darf.

Die Entwicklung der Energiesmessbox verläuft parallel zu anderen Tätigkeiten (andere Projekte, Überbetriebliche Kurse), es muss deshalb jeweils zeitlich priorisiert werden. Da das Projekt betriebliche Relevanz besitzt, wurde für dessen Umsetzung ein Budget von CHF 1000.- gewährt.

Um den Entwicklungsaufwand bereits am Anfang ein wenig zu reduzieren, beschloss man, sich zuerst auf die am unseren Standort vorhandenen Stecksystemgrössen T25<sup>2</sup> (somit können zusätzlich auch alle üblichen Haushaltsgeräte verbunden werden) und CEE-32A/400V zu konzentrieren. Ebenfalls wurde die Idee eines integrierten Durchflussmessers für die Druckluft gestrichen, da bisher keine praktikable Lösung zu den Problemen Anschlüsse und Dimensionierung gefunden werden konnte – ebenfalls würden die Kosten von ca. CHF 300.- den finanziellen Rahmen sprengen. Jedoch wäre es möglich, einen externen Durchflussmesser an unser System zu koppeln.

## 3 Planung

### 3.1 Termine, Meilensteine

Termin	Datum / Frist
Anmeldung Klimawerkstatt	01.09.17
Projektidee ausgearbeitet	02.10.17
Hardwareplanung fertig	03.11.17
Nachweis „Proof of Concept“	28.11.17
Fertigstellung Prototyp	02.03.18
Fertigstellung Visualisierung	23.03.18
Tag der offenen Tür libs	24.03.18
Abgabetermin Klimawerkstatt	26.03.18

<sup>2</sup> Stecksystem nach SEV 1011:2009

### 3.2 Aufgabenplanung

Da wir nur zu zweit sind, wurden Aufgaben je nach Arbeitslast oft auch spontan zugeteilt bzw. weitergeführt. Es konnte jedoch eine gleichmässig verteilte Arbeitsleistung sichergestellt werden. Eine detaillierte Aufgaben- und Zeitplanung sowie Gantt-Diagramme finden sich zudem im Anhang.

Tätigkeit	Zuordnung
(Messung Druckabfall Sommer mit LOGO! 8)	Kerim; David
Brainstorming Ideen	David; Kerim
Umsetzbarkeit?	David; Kerim
Definition und Analyse Zielgruppe	Kerim
Marktanalyse	David
Morphologischer Kasten	David; Kerim
Projektidee auswählen und festlegen	David; Kerim
Funktionsumfang/-Priorität festlegen	David; Kerim
Zeitplan Realisierung erstellen	Kerim
Schema erstellen	Kerim
Konstruktion, Dimensionierung	David
Stückliste erstellen / bestellen	David
Programmierung	Kerim
Versuchsaufbau	Kerim
Strommessung Laborversuche	Kerim
Optimieren / justieren Messwerterfassung	Kerim
Programmierung	David
Versuchsaufbau	David
Diverse Tagesmessungen Druckluft	David
Nachweis „Proof of Concept“	David; Kerim
Abklären weiteres Vorgehen, Konzeptverbesserungen	David; Kerim
Strommessung in Produktion f. GL / Langzeittest	Kerim
Bau Prototypen	David; Kerim
Änderungen Prototyp	Kerim
Fertigstellung Prototyp	David; Kerim
Fotografieren / bearbeiten	Kerim
Dokumentation	David; Kerim
Final. Dokumentation	David; Kerim
Messungen mit Prototyp	David; Kerim
Software Visualisierung verbessern	David; Kerim
Fertigstellung Visualisierung	David; Kerim

## 4 Funktionsprinzip, Technischer Hintergrund

### 4.1 Systemübersicht

Die Energiesmessbox wird zwischen Maschine und Versorgung gehängt. Dies funktioniert quasi wie bei einem Verlängerungskabel. In der Box wird dann der Strom normal durchgeleitet, ausser das er noch ausgemessen wird. Dies geschieht mit Hilfe von Strommesswandlern welche im Faktor 1:10 ein Strom induziert welcher dann auf das Energymeter der SPS kommt. Das Energymeter misst die Spannung und den Strom. Andere Aufgaben der SPS sind der DataLog, das berechnen und Skalieren von Werten, das Speichern von den Werten und der Webserver. Auf dem Webserver kann man auf den Speicher der SPS zugreifen und so den DataLog herunterladen, die Momentanwerte der Variablen einsehen

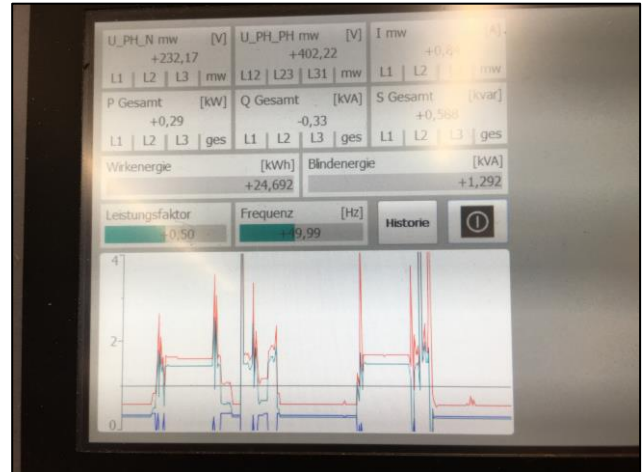


Abbildung 2 Display Übersicht

#### 4.1.1 Druckluft

Über einen Drucksensor kann der aktuelle Druck des Drucksystems in der näheren Umgebung gemessen werden. Dies kann dynamisch im laufenden Betrieb als auch statisch im „Ruhezustand“ erfolgen. Da die Druckluftkompressoren meist im Zweipunktregelbetrieb<sup>3</sup> arbeiten, kann durch die Anzahl und Dauer der steigenden Druckluftflanken mithilfe der gemessenen mittleren Kompressorleistung die Kosten z.B. pro Anlauf errechnet werden. Durch Absperrern der Druckluftzufuhr und anschliessendem Messen ohne Luftverbraucher kann die Leckage des Leitungsabschnitts qualitativ bestimmt werden.

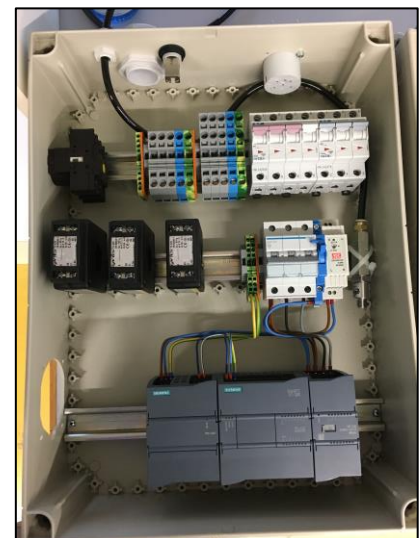


Abbildung 3 Box nicht verdrahtet

## 5 Realisierung

### 5.1 Hardwareplanung und Konstruktion

### 5.2 Erste Probemessungen, „Proof of Concept“

Da von uns bereits erste Messungen seitens der Q-Leitung benötigt wurden, montierten wir den vorhandenen Probeaufbau kurzerhand in den Schaltschrank eines CNC-Drehautomaten. Bei dieser Gelegenheit konnten wir ebenfalls die Parametrierung und Programmierung unseres Prototyps im Feldversuch auf Fehler prüfen. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine funktionierende Datenerfassung verfügbar war, überwachten wir die Messwerte via HMI-Panel<sup>4</sup> sowie direkt aus dem Datensatz der SPS. Wir konnten so bereits elektrische Stand-by und Arbeitsleistung bestimmen.

Weiter konnten wir die z.T. bereits im Sommer durchgeführten Messungen des Druckluftsystems bestätigen und noch fehlende Abschnitte erfassen.

### 5.3 Bau finaler Prototyp

Nach dem erfolgreichen Feldtest der Energiesmessbox sowie dem Eintreffen aller Teile konnte der Bau der eigentlichen Messkiste begonnen werden. Bei der Fertigung der Box tauchten jedoch laufend Fragen auf, v.a. bezüglich der für dieses Gerät zutreffenden Normen. So stand beispielsweise lange die Richtigkeit der Dimensionierung des Leiterquerschnittes nicht fest, da drei unterschiedliche Normen zutreffen könnten. Da uns dieses Wissen gänzlich fehlte und wir nach intensiver Recherche auch nicht klüger waren, haben wir uns bei Elektroinstallateuren, Fachleuten für Normen und anderen Elektrofachleuten kundig gemacht. Wir konnten die Messstation mit Verspätung vollenden.



Abbildung 4 Box verdrahtet

Für Demonstrationszwecke wie bspw. des „Tag der offenen Tür“ fertigten wir eine Acrylglasabdeckung, damit der innere Aufbau auch unter Spannung betrachtet werden kann.

---

<sup>4</sup> Industriedisplay mit Eingabefunktion zur Visualisierung und Kommunikation mit der SPS

## 5.4 Felderprobung

Aufgrund der verspäteten Fertigstellung des Prototyps sowie einer ungünstigen Terminlage konnten wir bis dato nur kleinere Verbraucher wie Laptop-Netzteile oder Gebläse sowie eine CNC-Fräse<sup>5</sup> überwachen.

## 5.5 Visualisierung

Zum Abgabezeitpunkt konnten bisher noch keine funktionierende Anwenderorientierte Webseite programmieren. Aufgrund der Speicherbeschränkung von 2MB der SPS war es leider nicht möglich. Es existiert jedoch ein Webzugriff auf die SPS, wo die wichtigsten Messdaten betrachtet und Datenlogs heruntergeladen werden können. Zudem existieren mehrere HMI-Visualisierungen.

## 6 Berechnung

Eine Beispielrechnung für das Abschalten einer Stand-by Maschine führen wir anhand unserer gemessenen Werte für die CNC-Fräse DMC EcoMill aus; wir rechnen mit 181.5g CO<sub>2</sub>-Äquivalent / kWh und einem Preis von 23Rp./kWh. Bei einem durchschnittlichen Arbeitsjahr von 250 Arbeitstagen und einer vermeidbaren Standbybetrieb von angenommen vier Stunden à 0.16kW erhalten wir

$$\frac{250 * 4h * 0.16kW}{23Rp./kWh} = CHF 695.65$$

und

$$250 * 4h * 0.16kW * 181.5g \frac{CO_2eqv}{kWh} = 29.598kg CO_2eqv$$

Welches sich durch abschalten der Maschine einsparen liesse.

<b>Scheinleistung</b>		
S L1	200.46	VA
S L2	151.84	VA
S L3	158.28	VA
S Total	512.12	VA
<b>Blindleistung</b>		
Q L1	-100.30	var

<sup>5</sup> Messwerte finden sich sowohl im Kapitel 6 „Berechnung“ sowie im Anhang

Q L2	134.08	var
Q L3	-124.82	var
Q Total	-91.07	var
<b>Wirkleistung</b>		
P L1	158.66	W
P L2	-2.04	W
P L3	3.40	W
P Total	160.35	W

## 7 Reflexion

### 7.1 Stand 26.03.18

Zum Abgabezeitpunkt steht ein voll funktionsfähiger Prototyp, welcher die obligatorischen Ziele erfüllt. Noch in Arbeit sind zum einen die Visualisierung der Messwerte auf einer ansprechenden Webseite, die Integration eines WLAN-Moduls sowie

### 7.2 Erfahrungen und Erfolgsfaktoren

Bei diesem Projekt haben wir viele Erfahrungen für das weitere Berufsleben sammeln können. Es fing schon damit an welche Dimensionen diese Box angenommen hat, grosse Kunststoff Gehäuse sind nicht gerade günstig und einfach zu finden. Auch die Positionierung der Komponenten war eine Herausforderung, mit all den Anschlüssen und wird beide hatten in unserer Ausbildung noch nie mit so grossen Kabelquerschnitten zu tun. Im Gegensatz dazu hat sich das zusammen bauen einfach gestaltet. Auch mit Normen haben wir uns herumschlagen müssen. Ein grosser Erfolgsfaktor war sicher das die Box funktioniert hatte bei den ersten Praxis Test und wir das Konzept nicht mehr überarbeiten mussten. Dies verdanken wir unserer guten Anfangsplanung und der schnellen selbständige Einarbeitung in die Thematik.



Abbildung 5 Box Fertig mit PC und HMI

### 7.3 Perspektiven

Als erstes werden wir noch die Box fertigstellen und kleinere Verbesserungen anbringen. Das Projekt ist noch nicht perfekt, für die Zukunft haben wir schon einige weiterführende Ideen mit welchen noch grössere Maschinen und Anlagen ausgemessen werden können. Dabei wird aber das Grundprinzip nicht verändert. Wir beiden wären froh wenn diese Projekt vielleicht auch in Zukunft von unseren Unterstiften weitergeführt und entwickelt wird. Wir hoffen das diese Projekt irgendwann Marktreif ist.

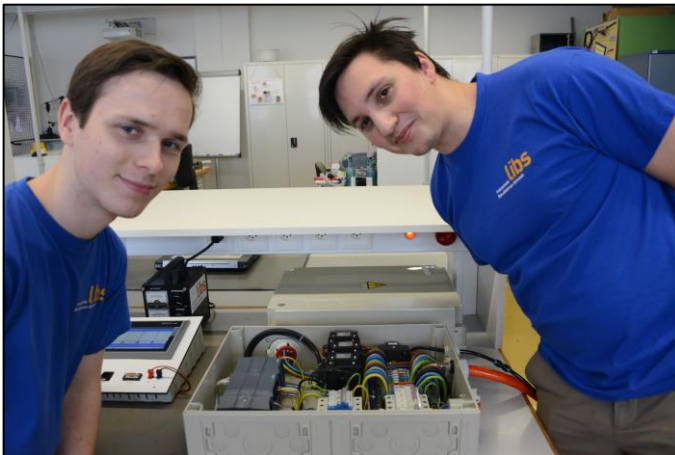


Abbildung 6 David (links) Kerim (rechts) mit Box

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Komponente.....	1
Abbildung 2 Display Übersicht .....	5
Abbildung 3 Box nicht verdrahtet .....	5
Abbildung 4 Box verdrahtet.....	6
Abbildung 5 Box Fertig mit PC und HMI.....	8
Abbildung 6 David (links) Kerim (rechts) mit Box .....	9



## Literaturverzeichnis

„Leicht sinkende Strompreise 2017 für Haushalte“. *admin.ch*, 12. September 2016,  
<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-58616.html>

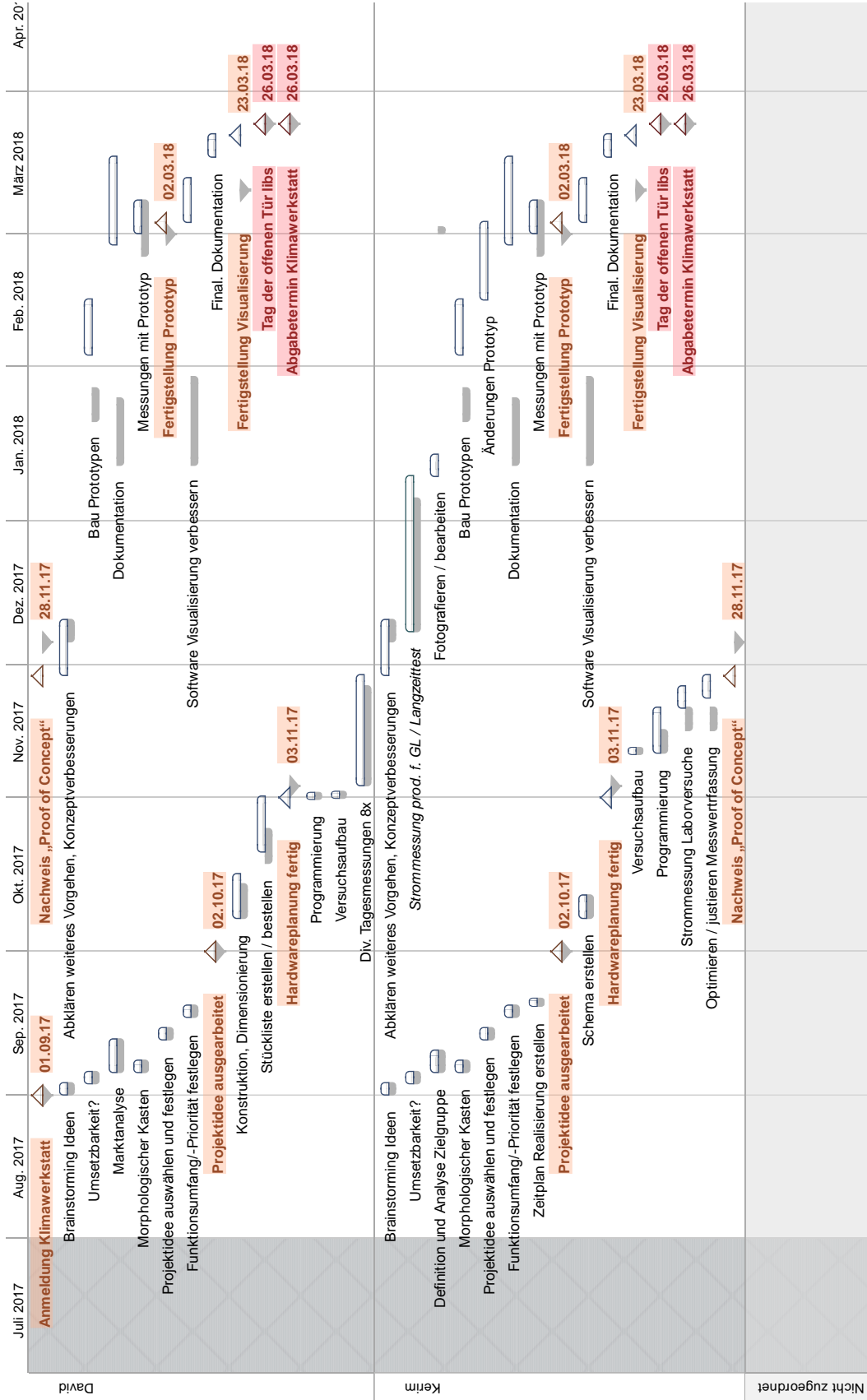
(Zugriff am 23.03.18)

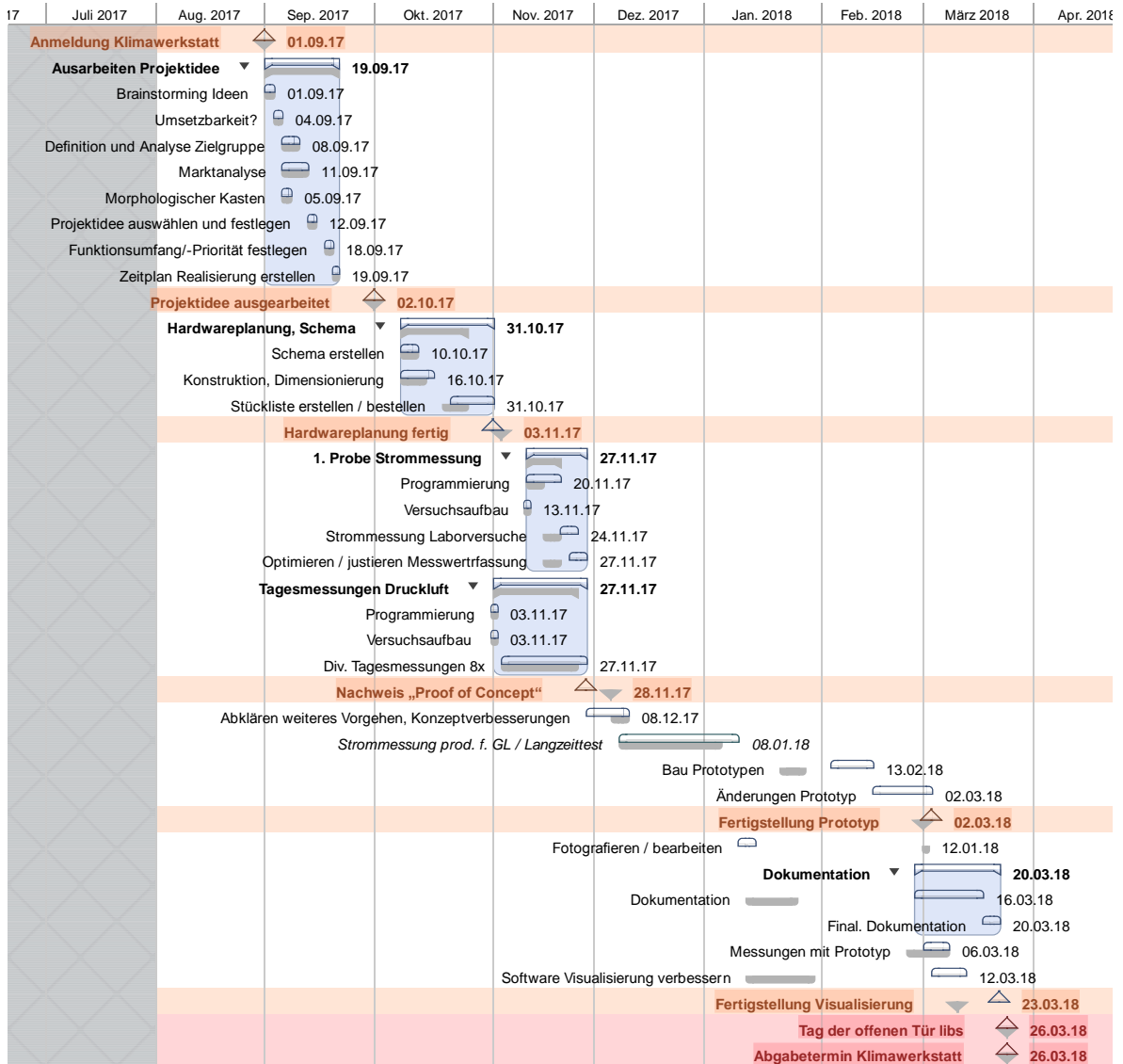
„SEV 1011 Steckdosen und Steckverbinder“. *SEV 1011:2009*.

„Stecker, Steckdosen und Kupplungen für industrielle Anwendungen“. *SN EN 60309:2013*.

Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014. Annika Messmer, Rolf Frischknecht. 07.12.16  
[http://treeze.ch/fileadmin/user\\_upload/downloads/589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3.0.pdf](http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3.0.pdf) (abgerufen am 23.03.18)

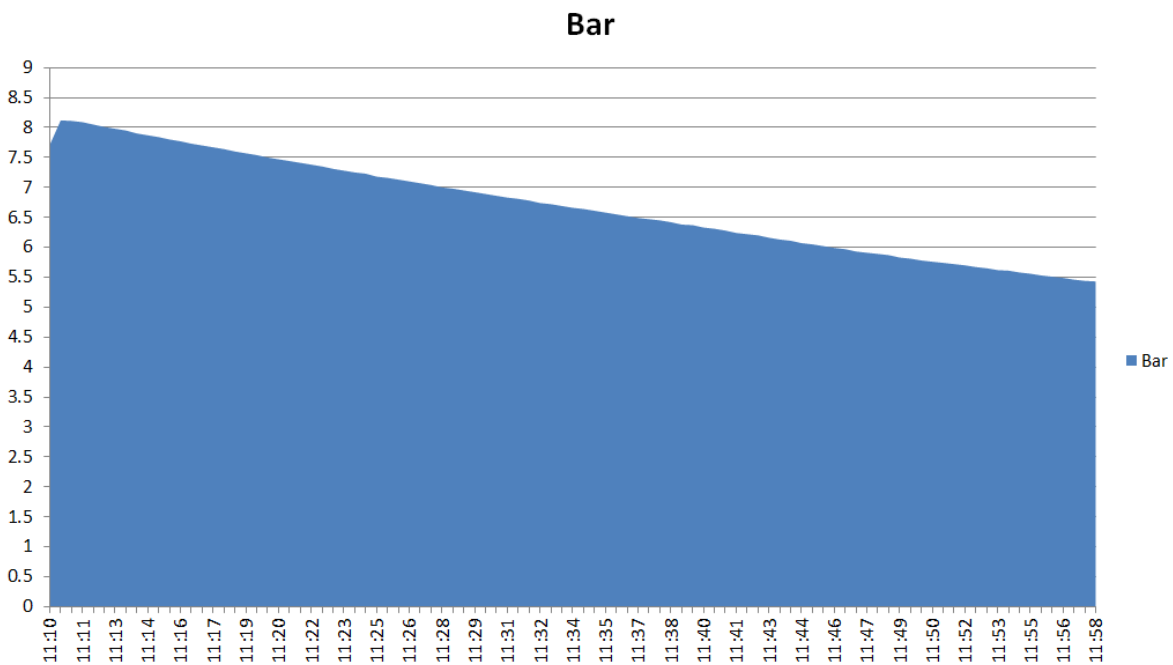
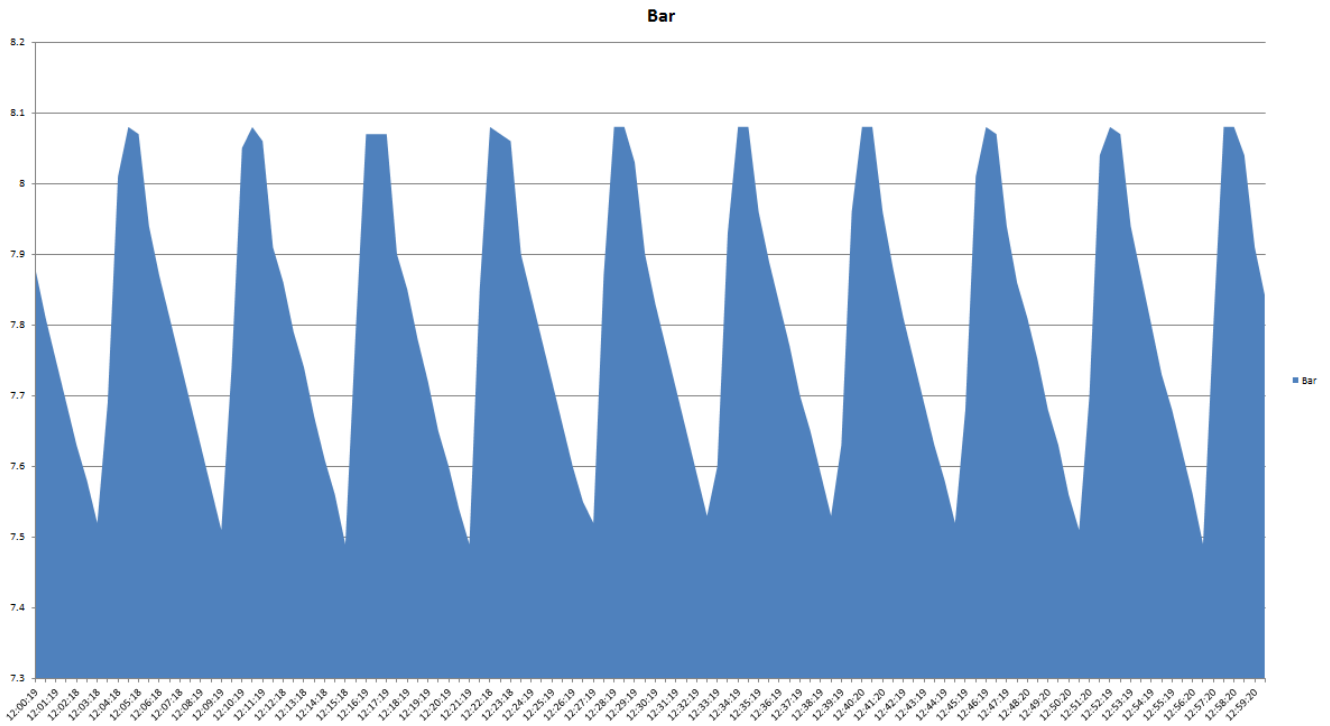
# Anhang A: Projektplanung







## Anhang C: Messergebnisse



## Anhang D: Datenblätter