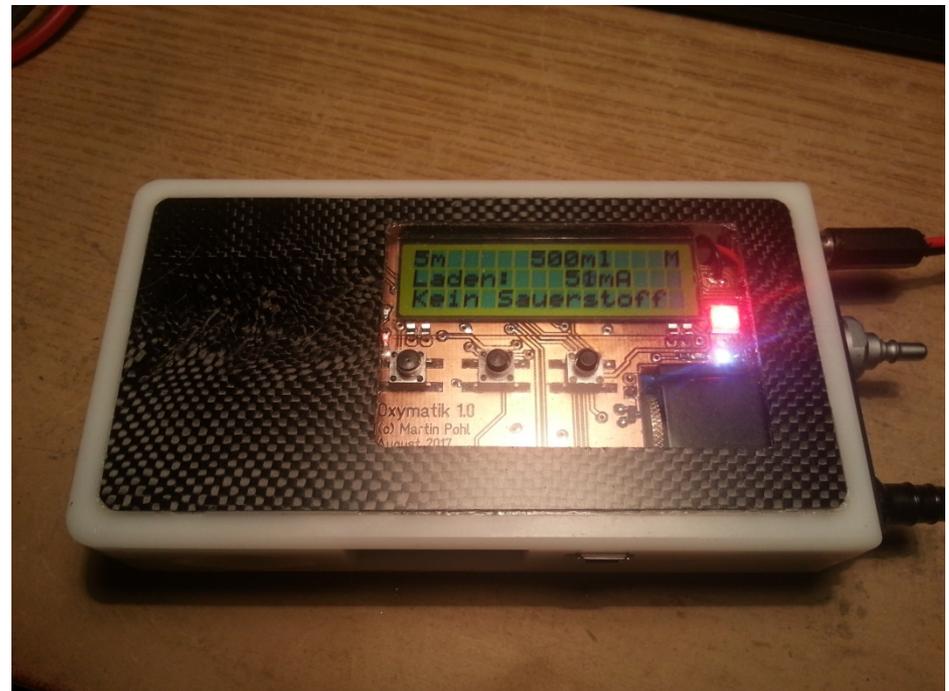




Ein robustes und ausfallsicheres Sauerstoffsystem

Idee, Konzept
und Prototyp

Martin Pohl



Sauerstoffsysteme im Segelflug



Was gibt es so auf dem Markt



- Dauerströmer
+ einfach und preiswert
- Hoher Verbrauch
 - Keine Redundanz



- Dräger Höhenatmer
+ geeignet für große Höhen
- Hoher Verbrauch
 - Teuer
 - Anschaffung und Wartung



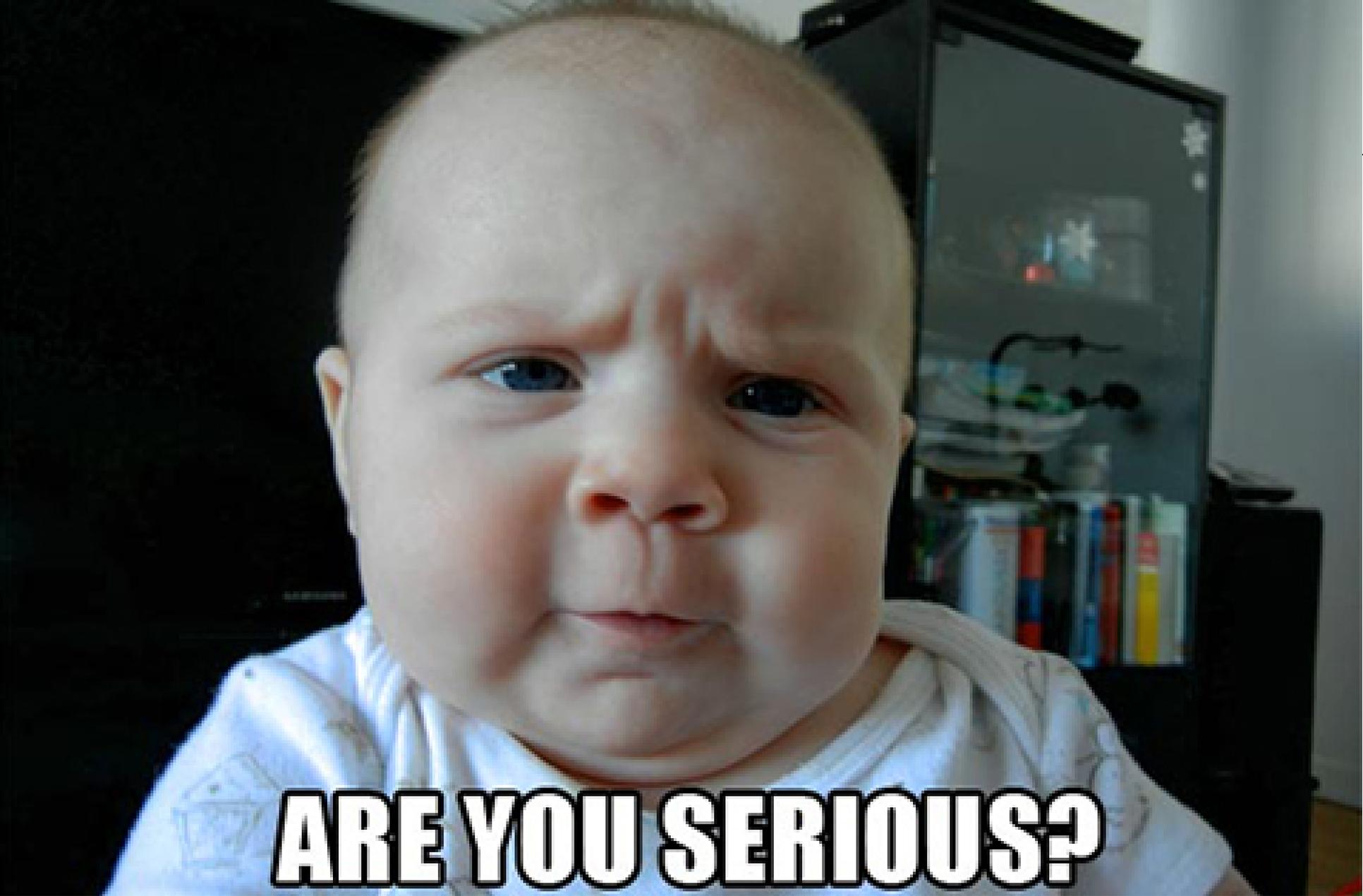
- Medizintechnik
+ preiswert
erhältlich
+ sparsam
- Keine Höhenanpassung



- EDS
+ sparsam
+ Höhenanpassung
- Teuer

**02.11.2017 6750m
über dem Altvatergeb**





Warum etwas eigenes?



Was erwarte ich von einem höhenflugtauglichen Sauerstoffsystem

- Pulse-Demand Sauerstoffgabe zur Verringerung des Verbrauchs
- Automatische Höhenanpassung der Sauerstoffgabe
- Ausfallsicherheit gegen folgende Mechanismen:
 - Stromausfall: leere Batterie, Kälte
 - Kein Sauerstoff: Flasche leer oder Druckminderer zugefroren
- Erweiterbares Design für Zusatzfunktionen

Warum etwas eigenes?



„Aber das kann das EDS doch...“



- Pulse-Demand Sauerstoffgabe zur Verringerung des Verbrauchs
- Automatische Höhenanpassung der Sauerstoffgabe
- Ausfallsicherheit gegen folgende Mechanismen:
 - Stromausfall: leere Batterie, Kälte
 - Kein Sauerstoff: Flasche leer oder Druckminderer zugefroren
- Erweiterbares Design für Zusatzfunktionen

Auswirkungen der Höhe



Time of useful consciousness

- Zeit bei Ausfall des Zusatzsauerstoffs bis zur Handlungsunfähigkeit

Altitude in Flight level	Time of Useful Consciousness	Altitude in meters	Altitude in feet
FL 150	30 min or more	4,572 m	15,000
FL 180	20 to 30 min	5,486 m	18,000
FL 220	5-10 min	6,705 m	22,000
FL 250	3 to 6 min	7,620 m	25,000
FL 280	2.5 to 3 mins	8,534 m	28,000
FL 300	1 to 3 mins	9,144 m	30,000
FL 350	30 sec to 60 sec	10,668 m	35,000
FL 400	15 to 20 sec	12,192 m	40,000
FL 430	9 to 15 sec	13,106 m	43,000
FL 500 and above	6 to 9 sec	15,240 m	50,000

Warum etwas eigenes?



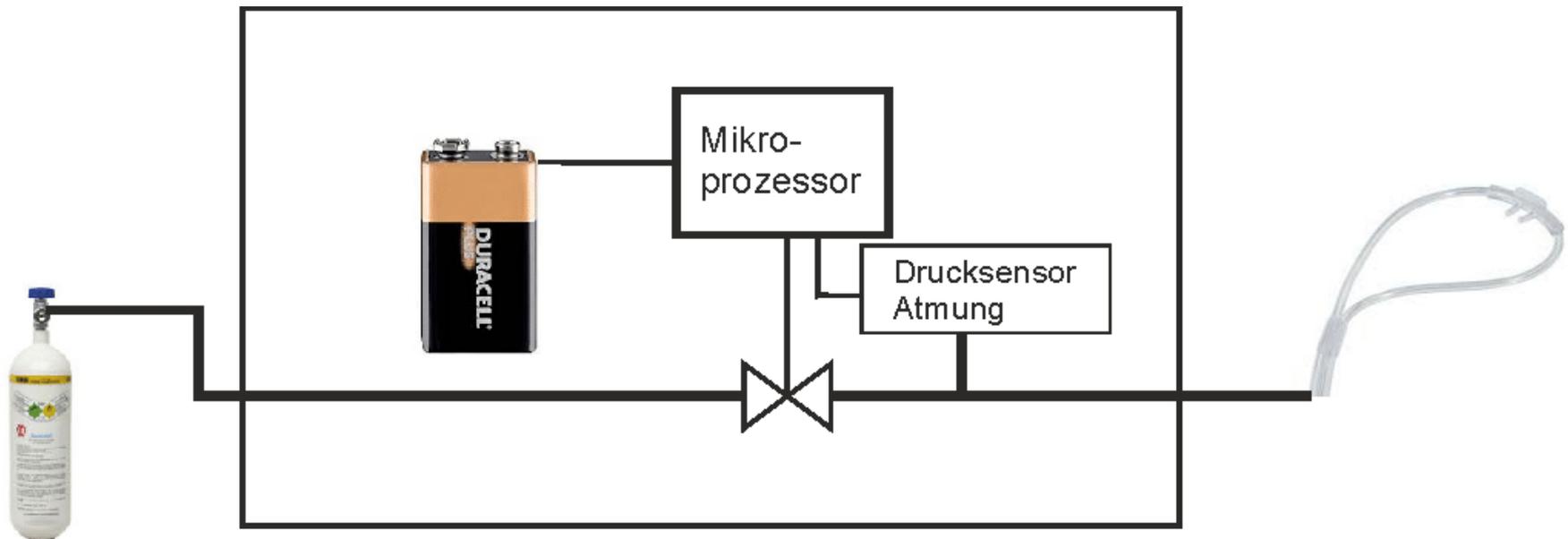
„Aber das kann das EDS doch...“



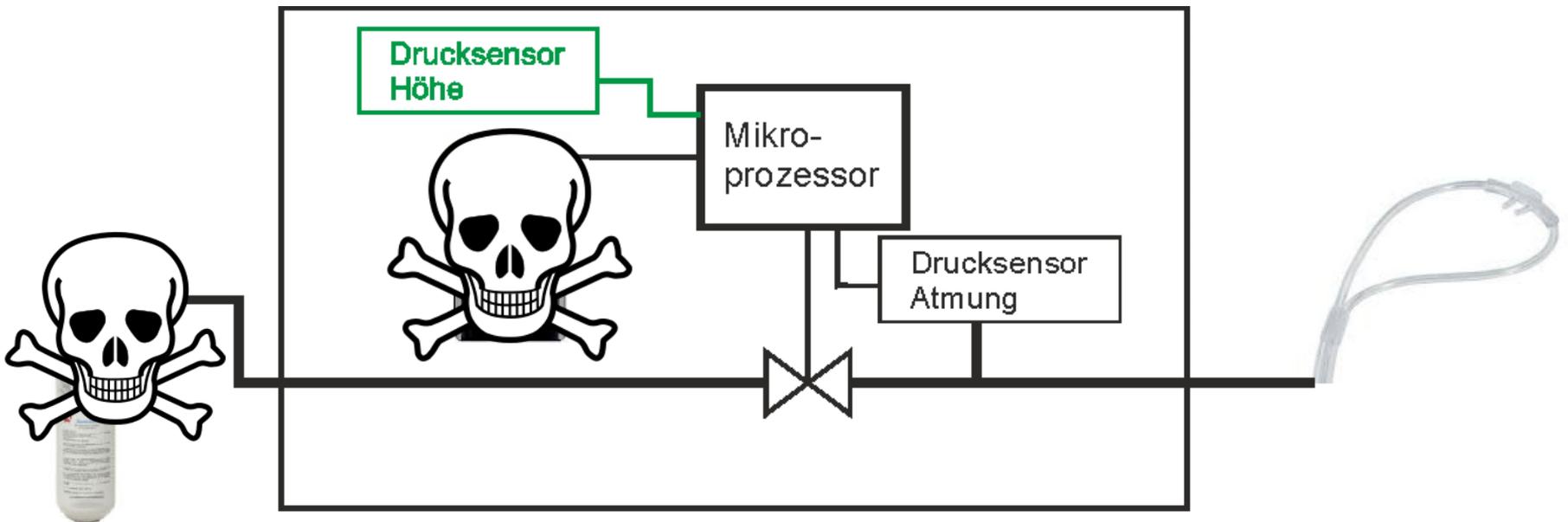
- Pulse-Demand Sauerstoffgabe zur Verringerung des Verbrauchs
- Automatische Höhenanpassung der Sauerstoffgabe
- **Ausfallsicherheit gegen folgende Mechanismen:**
 - **Stromausfall: leere Batterie, Kälte**
 - **Kein Sauerstoff: Flasche leer oder Druckminderer zugefroren**
- **Erweiterbares Design für Zusatzfunktionen**

Naja...

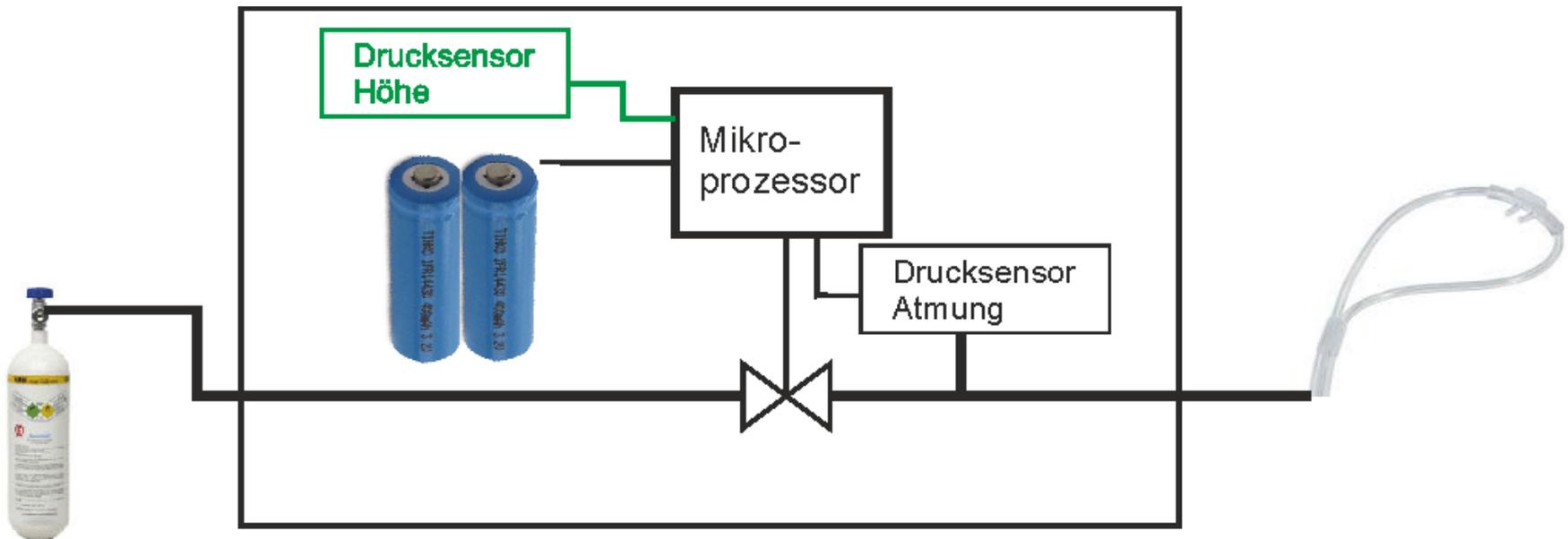
Wie ist so ein medizinisches Dosiergerät aufgebaut?



Was ist am EDS anders?



Verringerung des Stromausfallrisikos



1. Nutzung von kältetauglichen Akkus

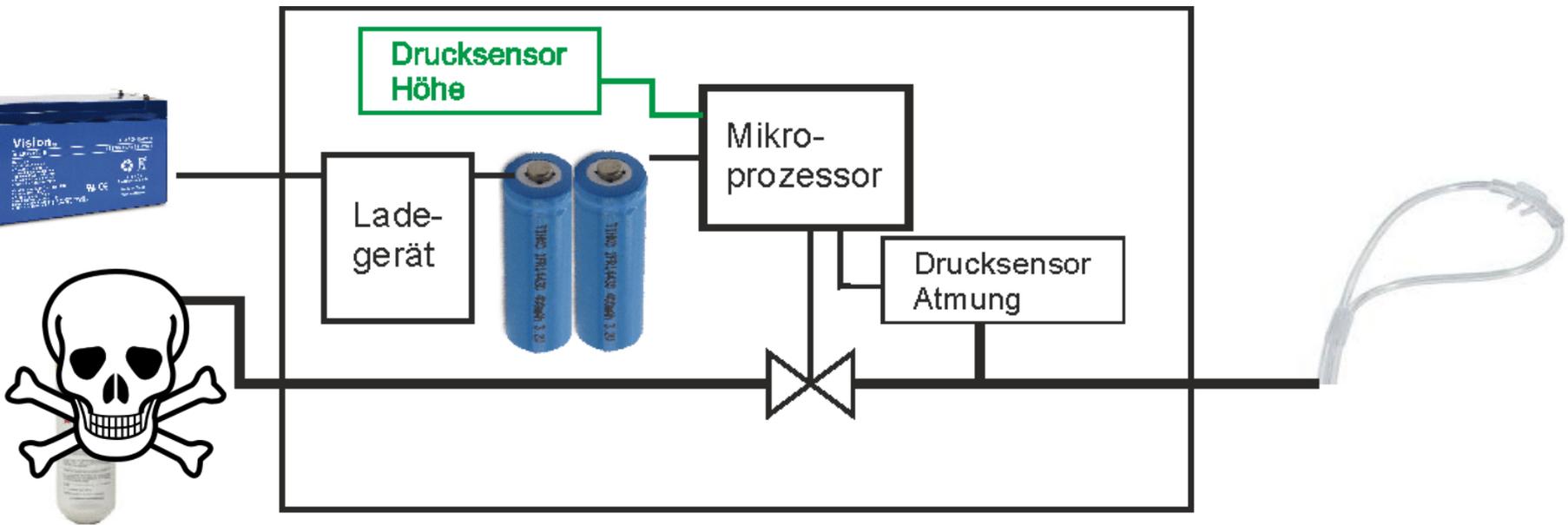
Konzept für Ausfallsicherheit



Verringerung des Stromausfallrisikos



Ausfallrisiko
Elektronik??

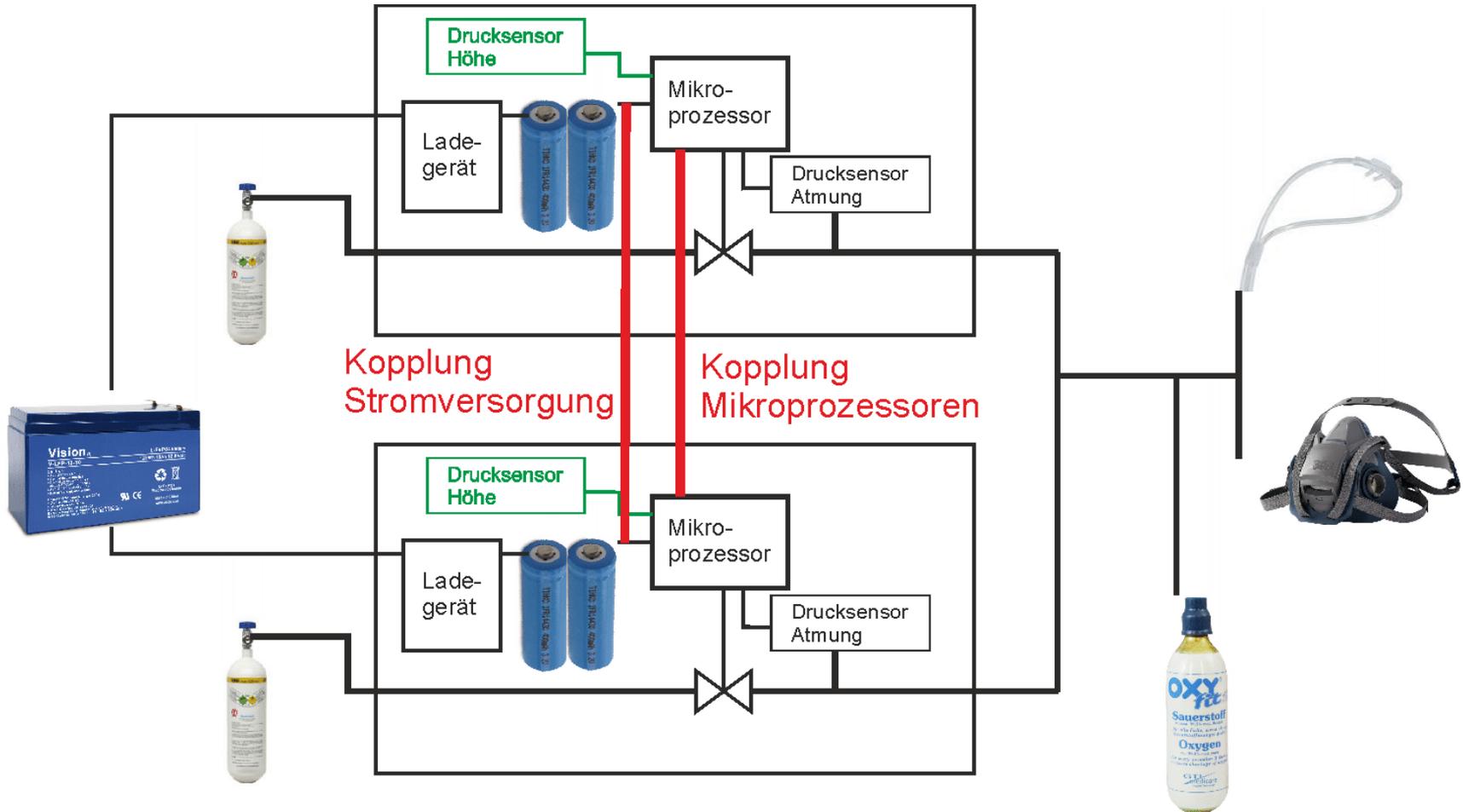


2. Kopplung mit Bordstromversorgung zum Laden

Konzept für Ausfallsicherheit



Verringerung des Sauerstoffausfallrisikos: Redundanz!!



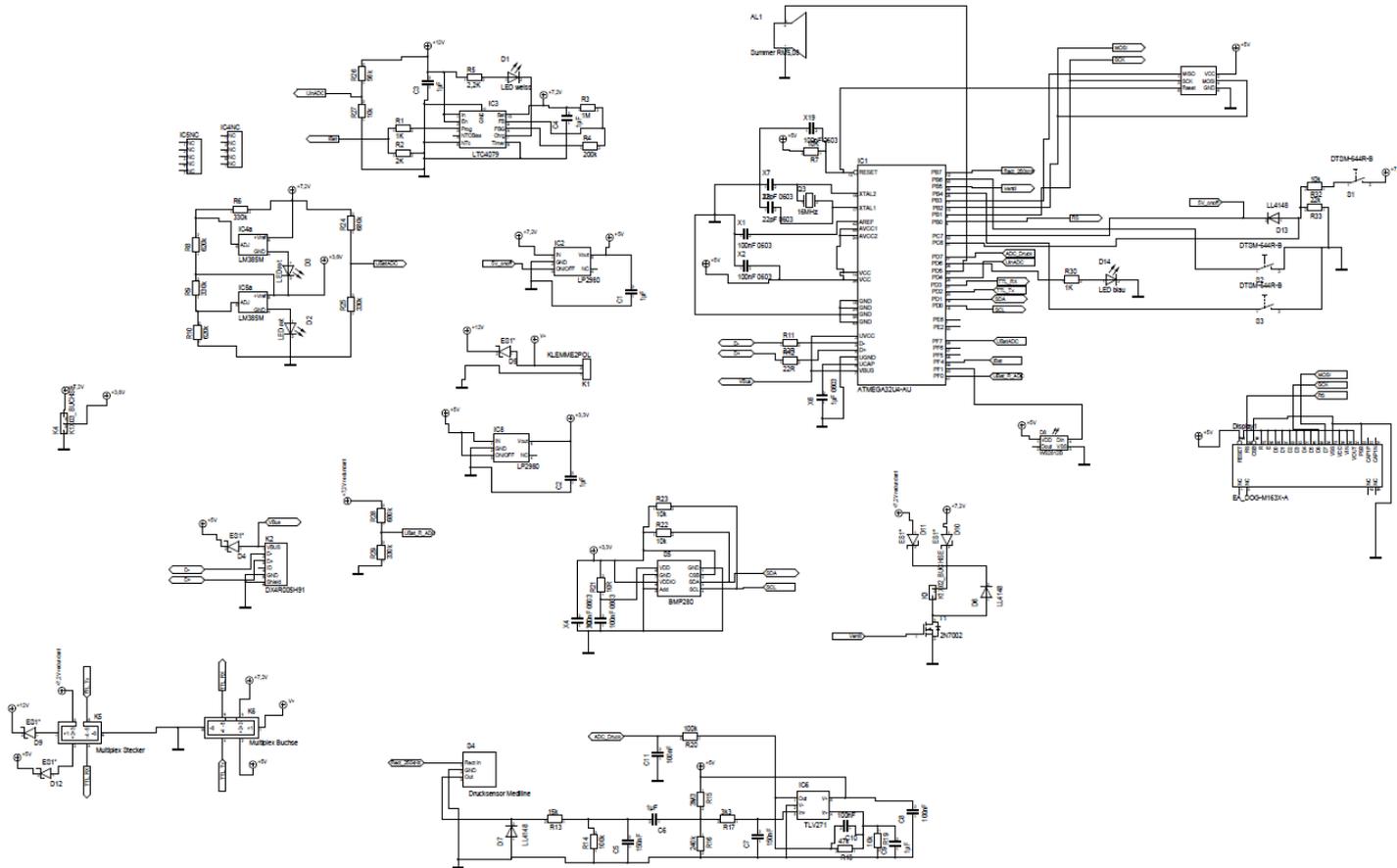
Komponenten für Sauerstoffgerät

- Mikrocontroller ATmega32U4 mit USB Schnittstelle
- Gehäuse, Magnetventil und Einatemsensor aus geschlachtetem GCE Mediline ECO 3000
- Akkus 2x 14400 LiFePO4 mit 400mAh in Reihe (reicht für 10h)
- Barometersensor BMP280
- LCD Display, Anzeige-LED dreifarbig, Schallgeber
- Drei Bedientasten
- Steckverbinder für Kopplung der Geräte und Anbau Zusatztechnik
- USB Programmierschnittstelle – einfaches Programmieren auch unterwegs

Packen wir es an



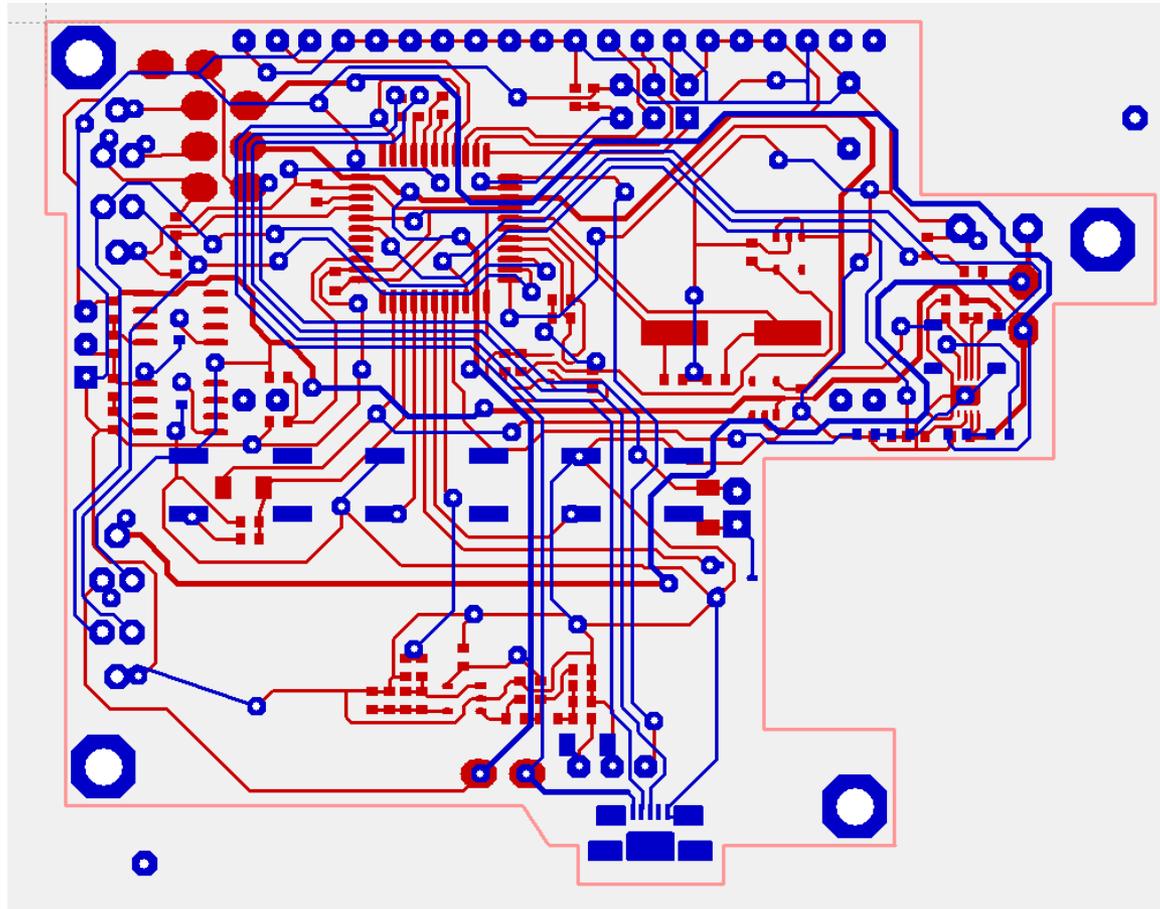
Aufstellen des Schaltplans mit allen Komponenten...



Packen wir es an



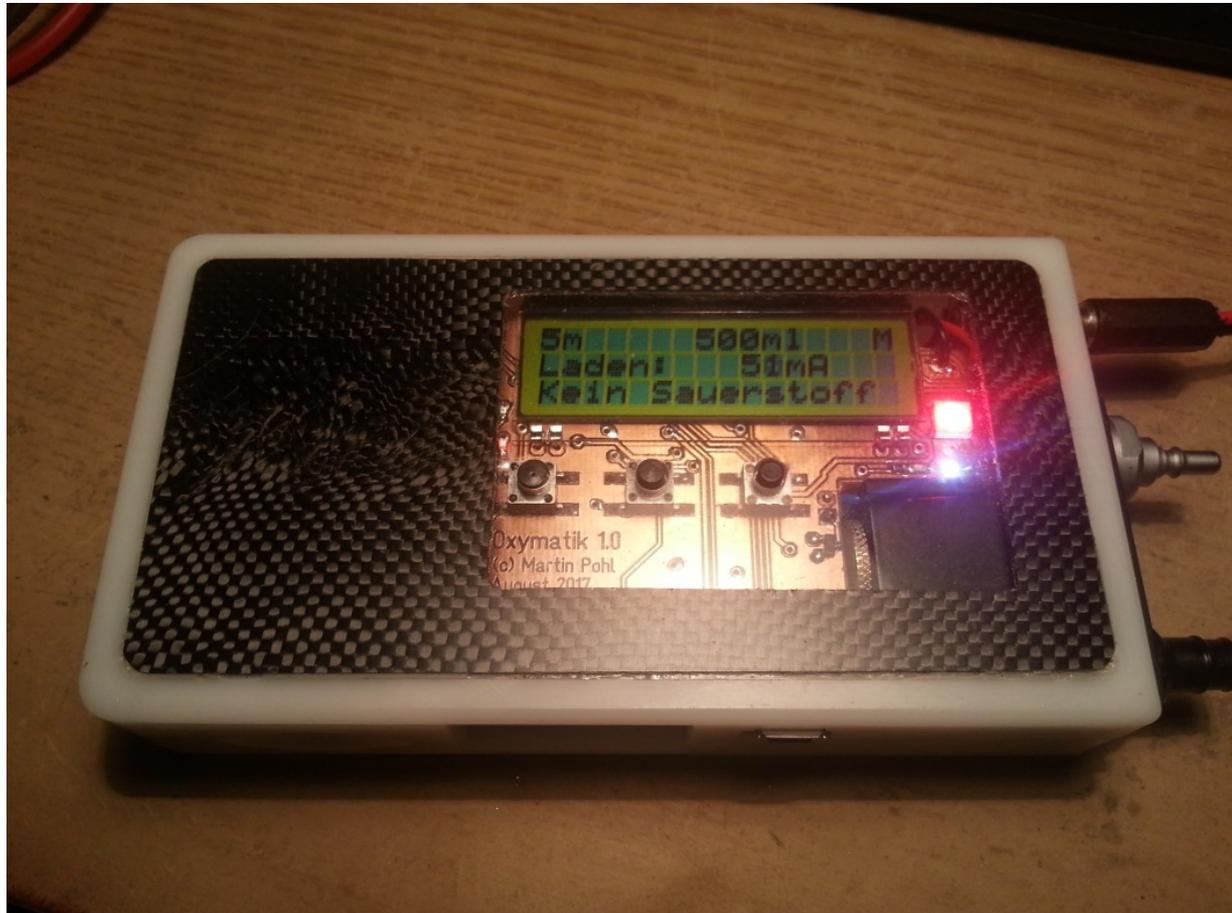
...Platinenauslegung...



Packen wir es an



...Prototypenplatine und fertiges Gerät

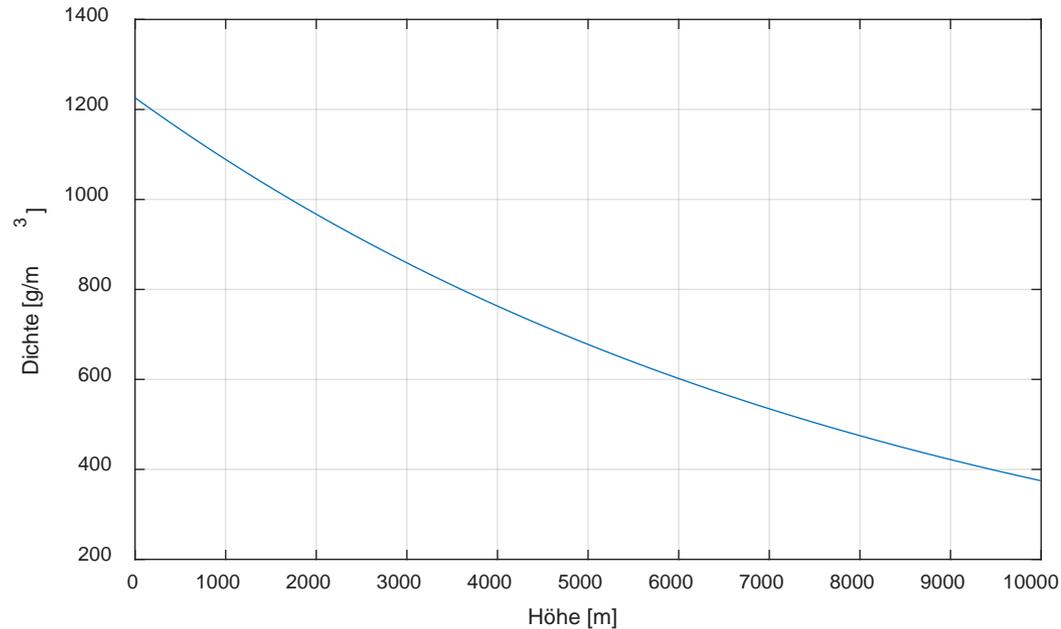


Packen wir es an



Bestimmung der Sauerstoffgabe

- Luftdichte sinkt exponentiell mit der Höhe



Bestimmung der Sauerstoffgabe

- Annahme 1: Konstanthaltung der eingeatmeten Sauerstoffmenge auf Referenzhöhe unabhängig von der tatsächlichen Höhe
- Annahme 2: Konstantes Atemzugvolumen V_A

$$m_{O_2}(h = H_{ref}) = m_{O_2}(h = H)$$

$$0,21 \cdot V_A \cdot \frac{\rho(H_{ref})}{\rho(h = 0)} = 0,21 \cdot V_A \cdot \frac{\rho(H)}{\rho(h = 0)} + \Delta V_{O_2}$$

$$\Delta V_{O_2} = \frac{0,21 \cdot V_A}{\rho(h = 0)} \cdot (\rho(H_{ref}) - \rho(H))$$

Bestimmung der Sauerstoffgabe

- Öffnungszeit des Magnetventils bei bekanntem Volumenstrom des Druckminderers

$$t_{O_2} = \frac{0,21 \cdot V_A}{\rho(h=0) \cdot \dot{V}_{O_2}} \cdot (\rho(H_{ref}) - \rho(H))$$

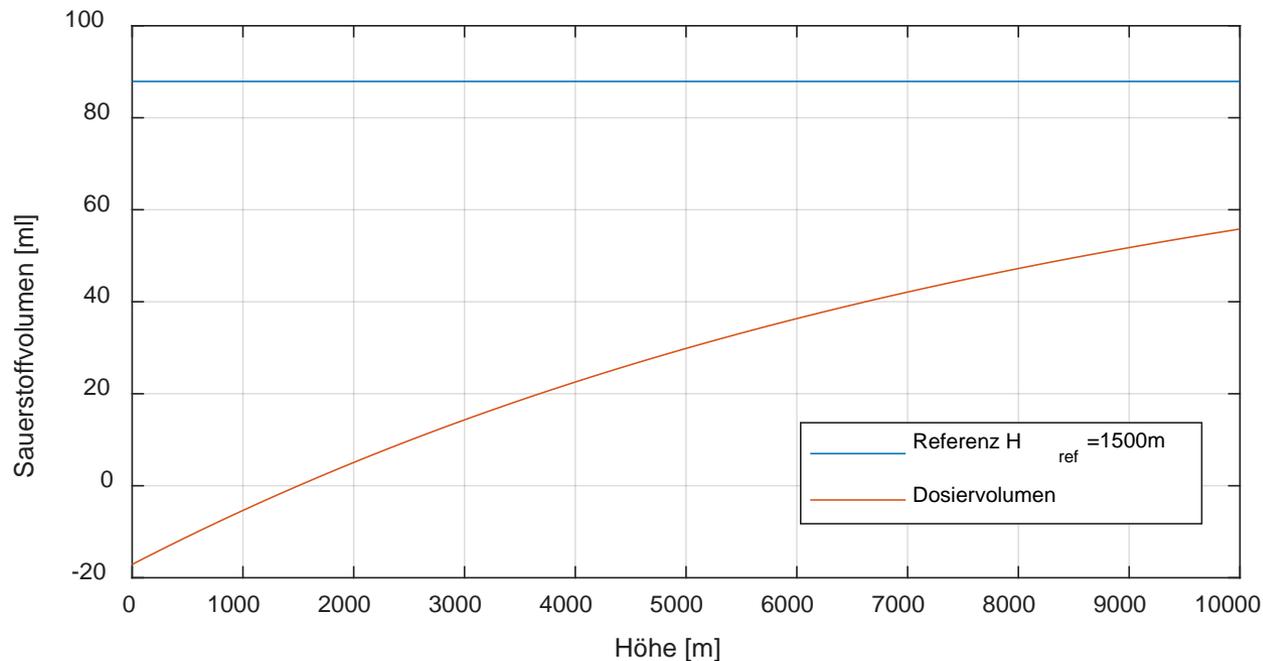
$$\rho(H) = \rho(h=0) \cdot e^{-\frac{H}{H_0}} \quad H_0 = 8435 \text{ m}$$

Packen wir es an



Bestimmung der Sauerstoffgabe

- Öffnungszeit des Magnetventils bei bekanntem Volumenstrom des Druckminderers ($V_A=500\text{ml}$)



Bestimmung der Sauerstoffgabe

- Atemzugvolumen V_A schnell im Flug verstellbar
- Einstellbarkeit der Referenzhöhe über Menü
- Sauerstoffdosierung erfolgt in jeder Höhe bei Vorhandensein eines Atemtriggers
- Ausgabe von Warnungen bei
 - Fehlender Stromversorgung, Akku leer
 - Fehlender Sauerstoff
 - Fehlender Atemtrigger oberhalb einstellbarer Höhe
 - Fehler in den Sensoren
- Über 1000 Zeilen Programmcode...

Welche Funktionen werden noch umgesetzt

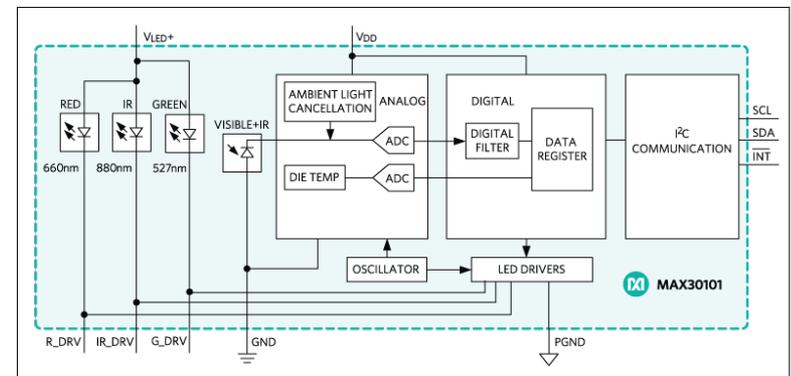
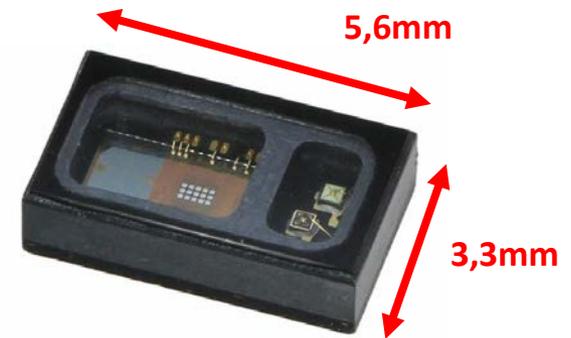
- Master-Slave Modus bei Parallelbetrieb von zwei Geräten
 - Master arbeitet bis einstellbare Schwellhöhe (z.B. 6500m) allein
 - Oberhalb Schwellhöhe: Parallelbetrieb von Master und Slave mit höherer Dosierung, kein sofortiger Totalausfall bei Wegfall eines Systems
 - Unterhalb Schwellhöhe: Slave übernimmt bei kritischem Fehler im Master sofort mit Warnmeldung
 - -> Einführung Kommunikation zwischen Master und Slave
- Automatisch Dauerstrom bei fehlendem Atemtrigger oberhalb Schwellhöhe?

Wünsch Dir was!



Was ich sehr gern noch umgesetzt hätte

- Kopplung der Sauerstoffgeräte mit robustem Pulsoxymeter zur Onlineüberwachung der Sauerstoffsättigung
- Maxim MAX30101: reflektiver Sensor
 - Misst alle benötigten Daten
 - Leider keine Kalibrierinfos vorhanden
- Messung Druck in Sauerstoffzuleitung
- Logging aller anfallenden Daten
 - Höhe, Temperatur
 - SpO2
 - Atemtriggerzeiten



Vielen Dank!!

