

Thermal Energy Harvesting – Booster mit 20 mV Eingangsspannung

Juan Gruber, Simon Mathis
InES Institute of Embedded Systems
ZHAW

- **Motivation und Anwendung**
- **Autarker Ventilantrieb**
- **Energiebedarf vs. Energy Harvesting**
- **Booster Design**
- **Analyse des Boosterprototyps**
- **Zusammenfassung**

Motivation

■ Autarker Ventilantrieb

- Energy Harvesting
- Thermoelektrischer Generator (TEG)
- Ultra Low Power Design
- Optimiertes Power Management



[Colourbox.com]

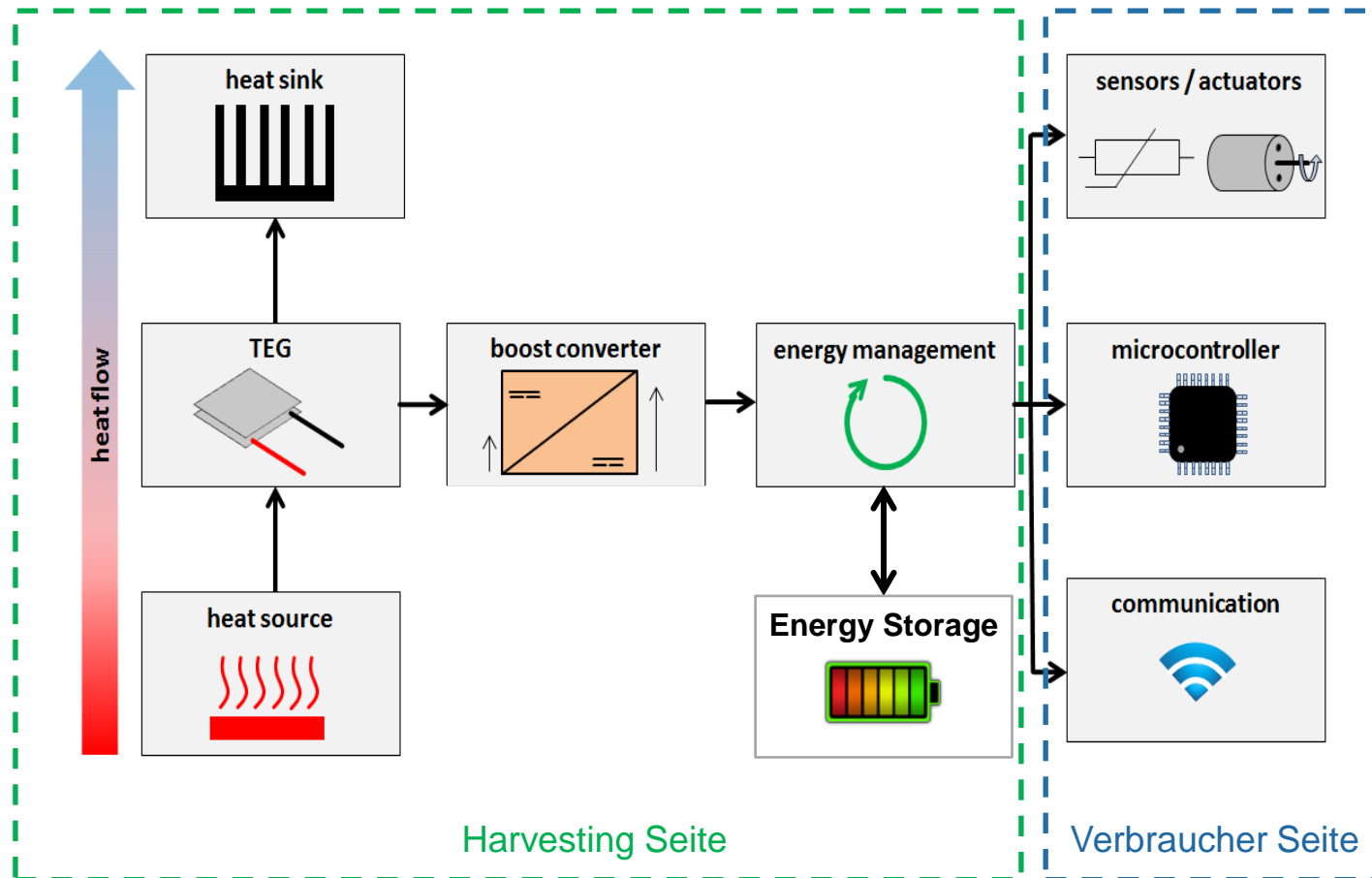
■ Anforderungen

- Genug Energie für Antrieb
- Niedrige Temperaturen (ab ΔT 3 K)
- Vermeidung von Dead-Locks



Autarker Ventiltrieb

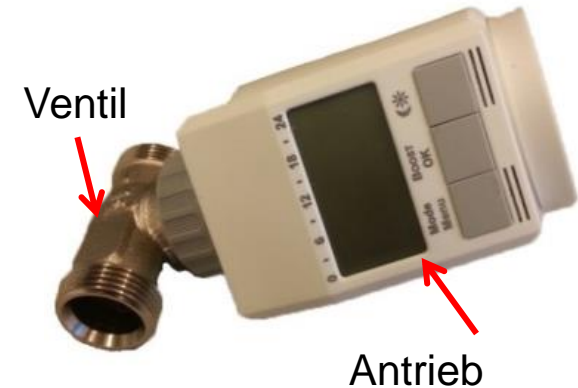
■ Blockschaftbild (vereinfacht)



Benötigte Energie

■ Ventilbewegungen

- Ohne Wasserfluss
- Ventil 100% **schliessen**
 - Zeit: 30 s
 - Energie/Leistung: 1.5 J / 50 mW
- Ventil 100% **öffnen**
 - Zeit: 30 s
 - Energie/Leistung: 1.3 J / 43 mW



■ Ansteuerung und Kommunikation

- Mikrokontroller, Radio, Sensoren
- Leistung im Standby: 5 μ W
- Leistung aktiv: 5 mW

Energy Harvesting

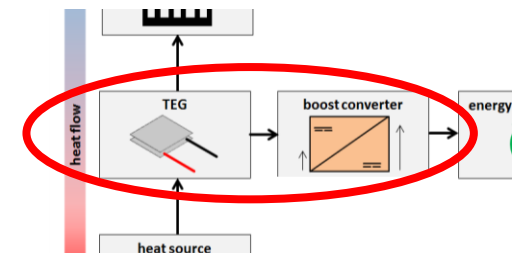
■ Thermisches Energy Harvesting mit TEG

- Basiert auf Seebeck-Effekt
- Halbleiter Pellets zwischen Keramikplatten
- Kalte und warme Seite
- Seebeck-Koeffizient α in V/K
- Ausgangsspannung im Millivolt-Bereich (\rightarrow Booster)



■ Betriebsparameter

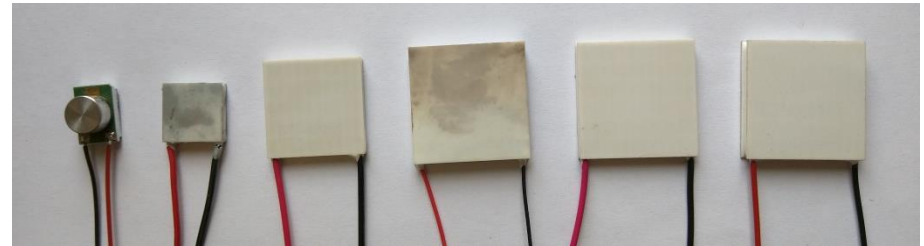
- Erwartetes ΔT am TEG: 3 K
- $V_{\text{out,TEG}}$ im zwei bis dreistelligen mV-Bereich
- Betriebsspannung 3.6 V (Speicher)



Verfügbare TEGs und Booster

■ TEGs

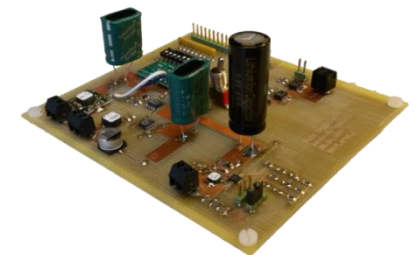
- Grosse Auswahl → Low Cost / kleine TEGs
- Auswahlkriterien
 - Preis
 - Seebeck-Koeffizient
 - Innenwiderstand
 - Dimensionen



v. L n. R. : TGP-651, TEC2L-15-15-5.6, TEG 049-150-30,
TEG 127-200-28, TEG 071-150-22, TEG 071-200-22

■ Booster

- Auswahlkriterien
 - Minimale Eingangsspannung und –bereich ($\Delta T = 3 \text{ K}$)
 - Geringer Versorgungsstrom (I_Q)
 - Anpassung der Impedanz (TEG \leftrightarrow Booster)



Evaluation TEG / Booster Kombination

■ Mögliche Kombinationen für $\Delta T = 3 \text{ K}$

	LTC3108	LTC3109	ECT310	BQ25504	SPV1050	ADP5090
TEG 450-200-45	- Impedanz	- Impedanz	- Impedanz	X Preis: 104	X Preis: 101	X Preis: 103
TEG 241-120-15	X Preis: 61	X Preis: 62	- Impedanz	X Preis: 59	< Vin,min	X Preis: 58
TEG 199-150-2	(X) Preis: 83	(X) Preis: 85	X Preis: 90	X Preis,83	< Vin,min	X Preis: 82
TGP-651	- Impedanz	- Impedanz	- Impedanz	X Preis: ?	< Vin,min	(X) Preis: ?
TEG 127-200-28	X Preis: 49	X Preis: 51	- Impedanz	X Preis: 49	< Vin,min	< Vin,min
TEG 071-200-22	- Impedanz	- Impedanz	X Preis: 28	< Vin,min	< Vin,min	< Vin,min
TEG 071-150-22	- Impedanz	- Impedanz	X Preis: 28	< Vin,min	< Vin,min	< Vin,min
TEG 049-150-30	- Impedanz	- Impedanz	X Preis: 28	< Vin,min	< Vin,min	< Vin,min
TEC2L-15-15- 5.6/73	- Impedanz	- Impedanz	X Preis: 28	< Vin,min	< Vin,min	< Vin,min

Optimierung für Anwendungsfall

■ Erkenntnisse für den Anwendungsfall

- Keine TEG-Booster-Kombination erfüllt **alle** Kriterien für den Anwendungsfall $\Delta T = 3 \text{ K}$
 - Starten direkt von TEG
 - Geregeltte Ausgangsspannung
 - Effizienz
 - Preis

→ Entwicklung eines neuen Boosters

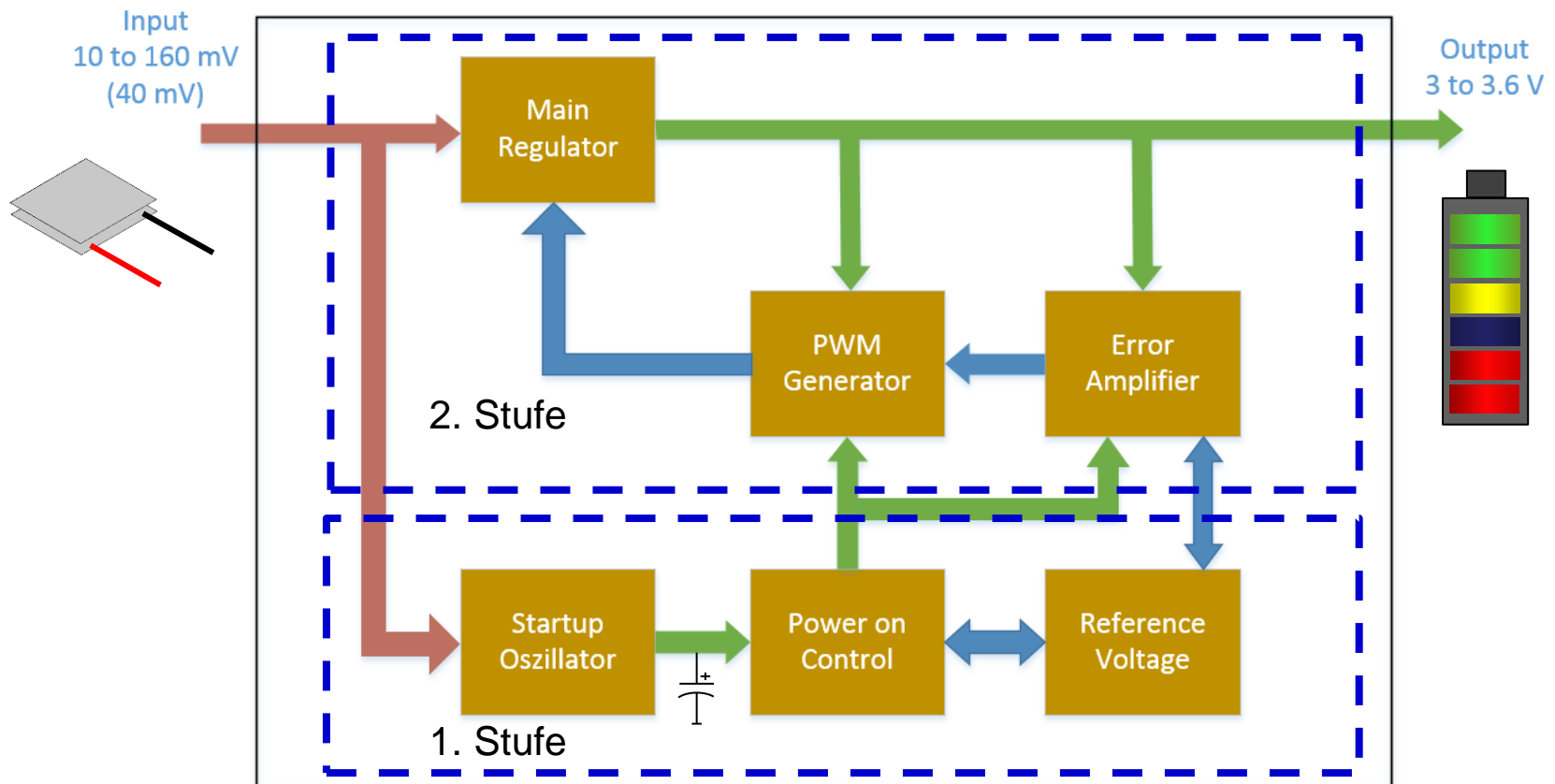
- Für Anwendungsfall optimiert
- Starten ab einigen 10 mV
- Hohe Effizienz bei $\Delta T = 3 \text{ K}$
- Ausgangsspannung 3.6 V, geregelt
- Kompetitiver Preis



TEG-071-150-22
30x30mm

Booster Design

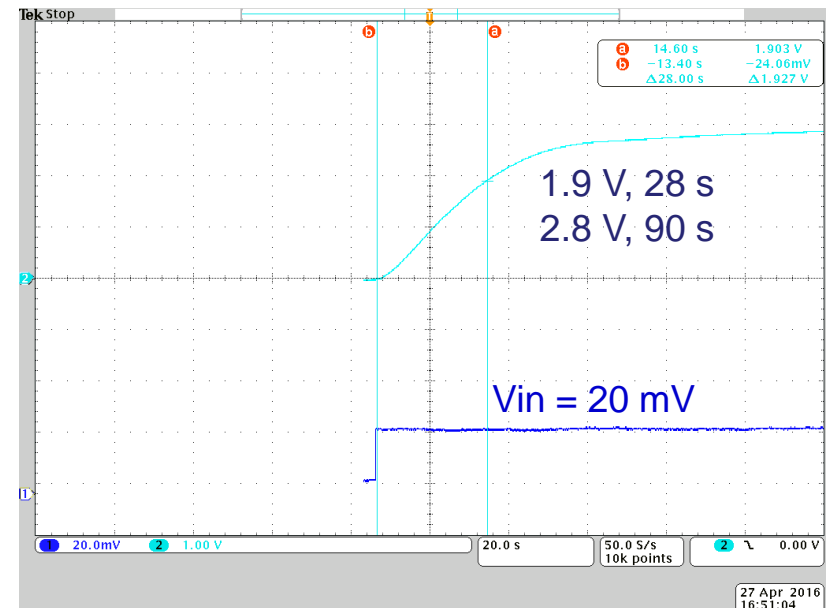
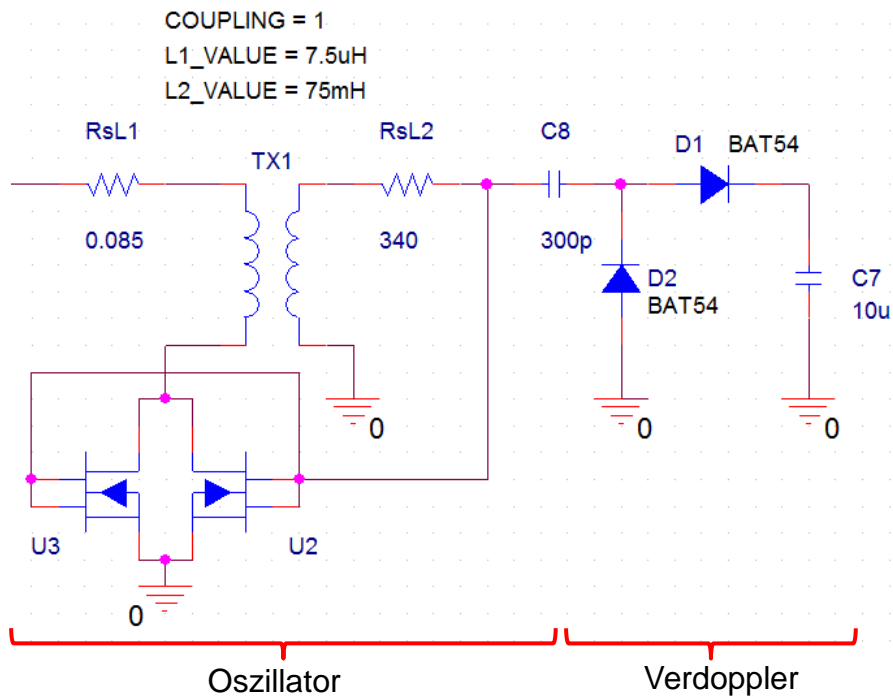
■ Blockschaltbild (vereinfacht)



Booster Design

■ 1. Stufe: Starten ab einigen 10 mV

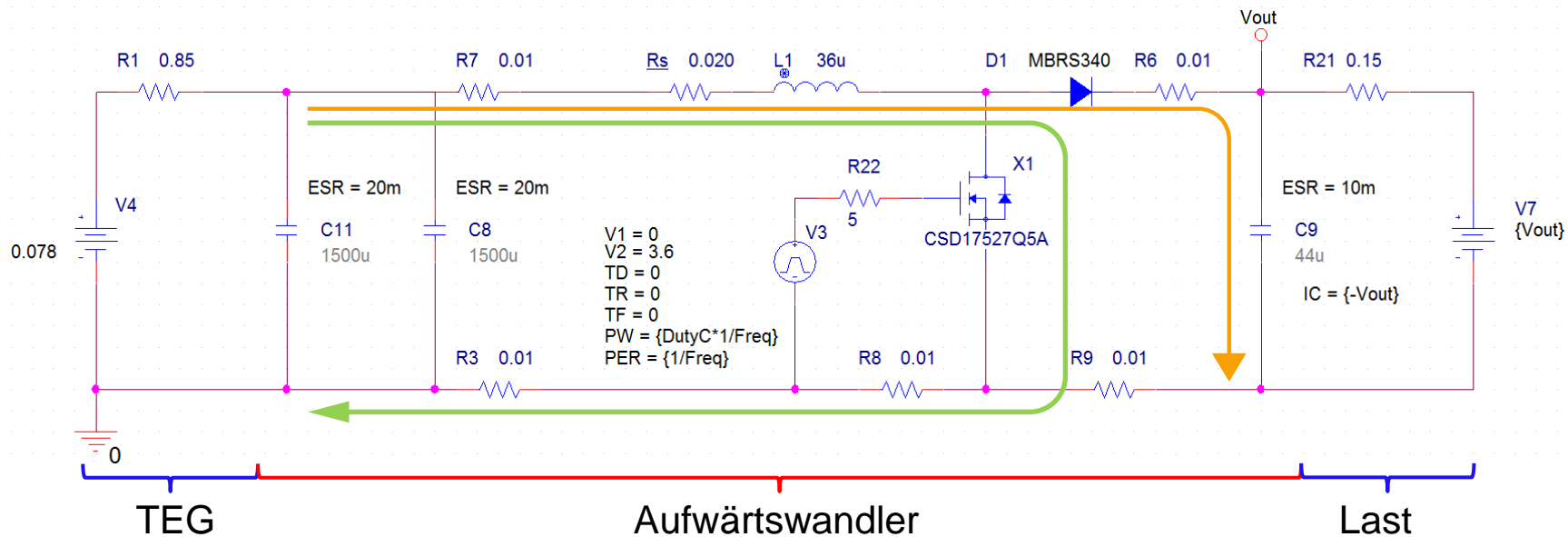
- Selbstschwingender Oszillator mit Transformator
- Transformator TX₁ verstärkt um 100
- Spannungsverdoppler am Ausgang lädt Kondensator C₇



Booster Design

■ 2. Stufe: Hohe Effizienz

- Aufwärtswandler, 3.6 V am Ausgang
- Startet mit Hilfe von 1. Stufe
- Hohe Ströme → Niederohmige Bauteile
- 26 mV / K → 78 mV Leerlaufspannung am TEG

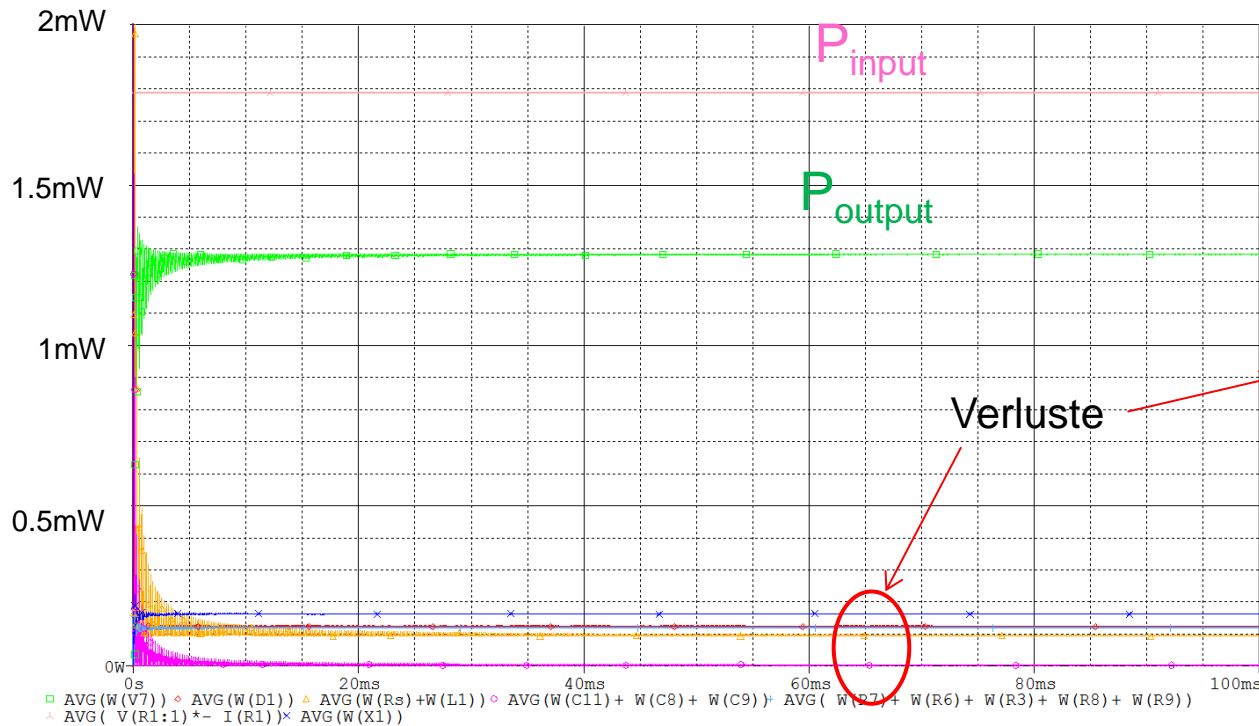


Booster Design

■ Simulation Effizienz (2. Stufe)

- $V_{in} \approx 40 \text{ mV}$ (78 mV Leerlauf), $R_{TEG} = 0.85 \Omega$
- $P_{max,TEG} (78mV) = \frac{U^2}{4 \cdot R_i} = \frac{(0.078V)^2}{4 \cdot 0.85\Omega} = 1789 \mu\text{W}$

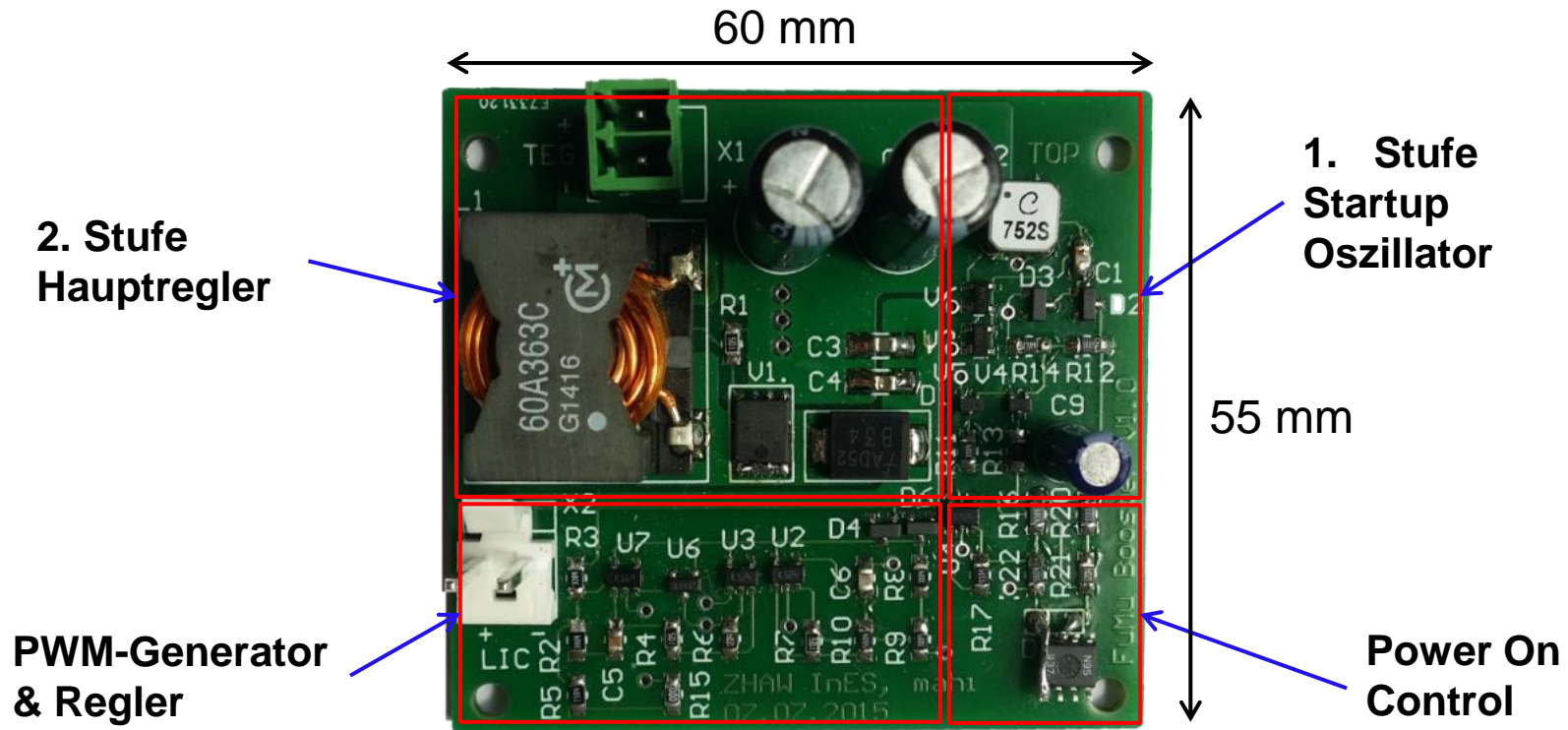
Simulation



Bauteil	P in uW	% von Pin
P_{input}	1787	100%
P_{output}	1283	71%
MOSFET	163	9%
Diode	122	7%
$R_{tot} = 50\text{m}\Omega$	118	7%
Spule (36 μH)	93	5%
Kondensatoren	3.2	1%

Prototyp Booster

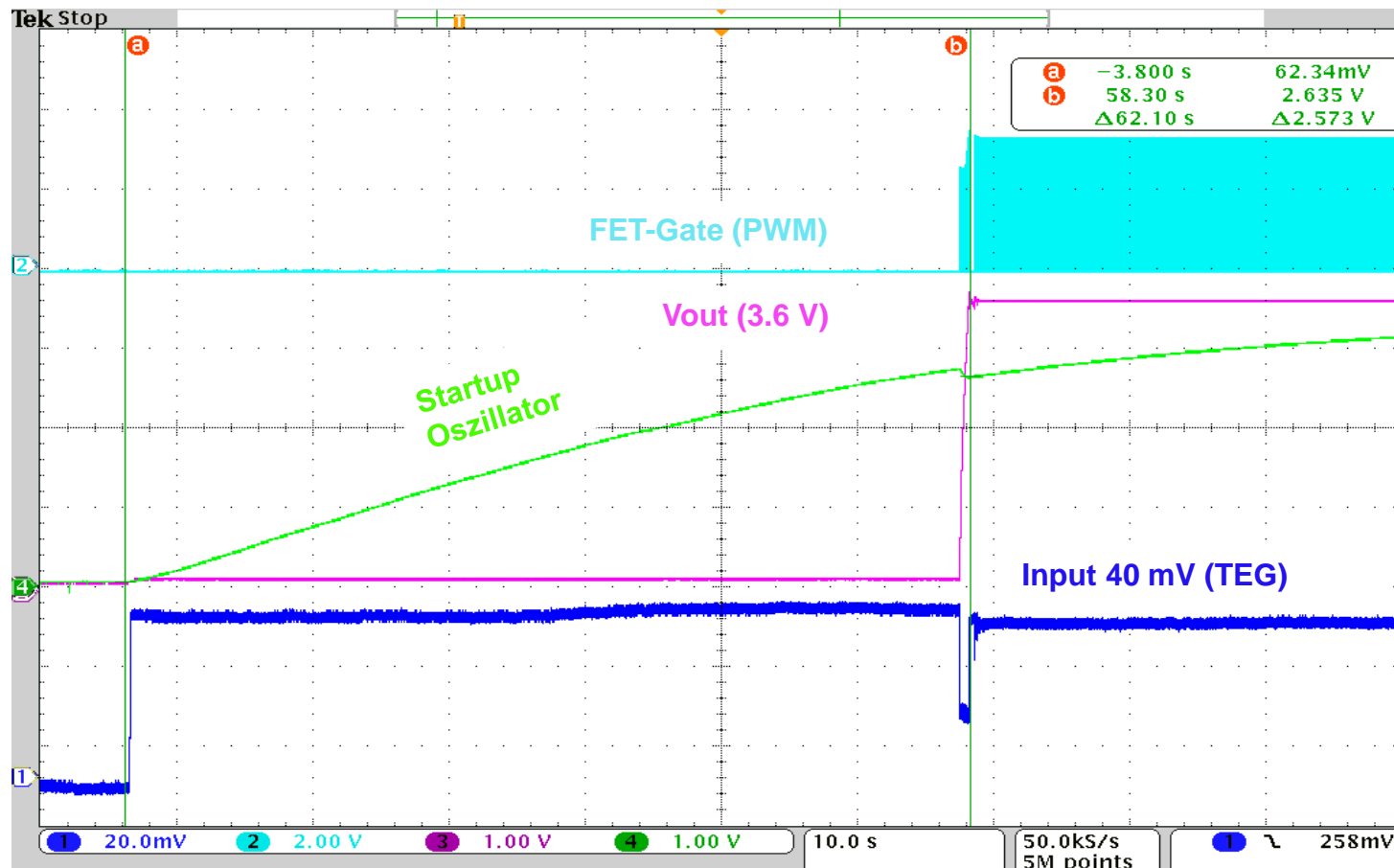
■ Aufbau des InES Boosters



Booster im Betrieb

■ Startphase

- TEG 071-150-22 mit 40 mV Eingangsspannung



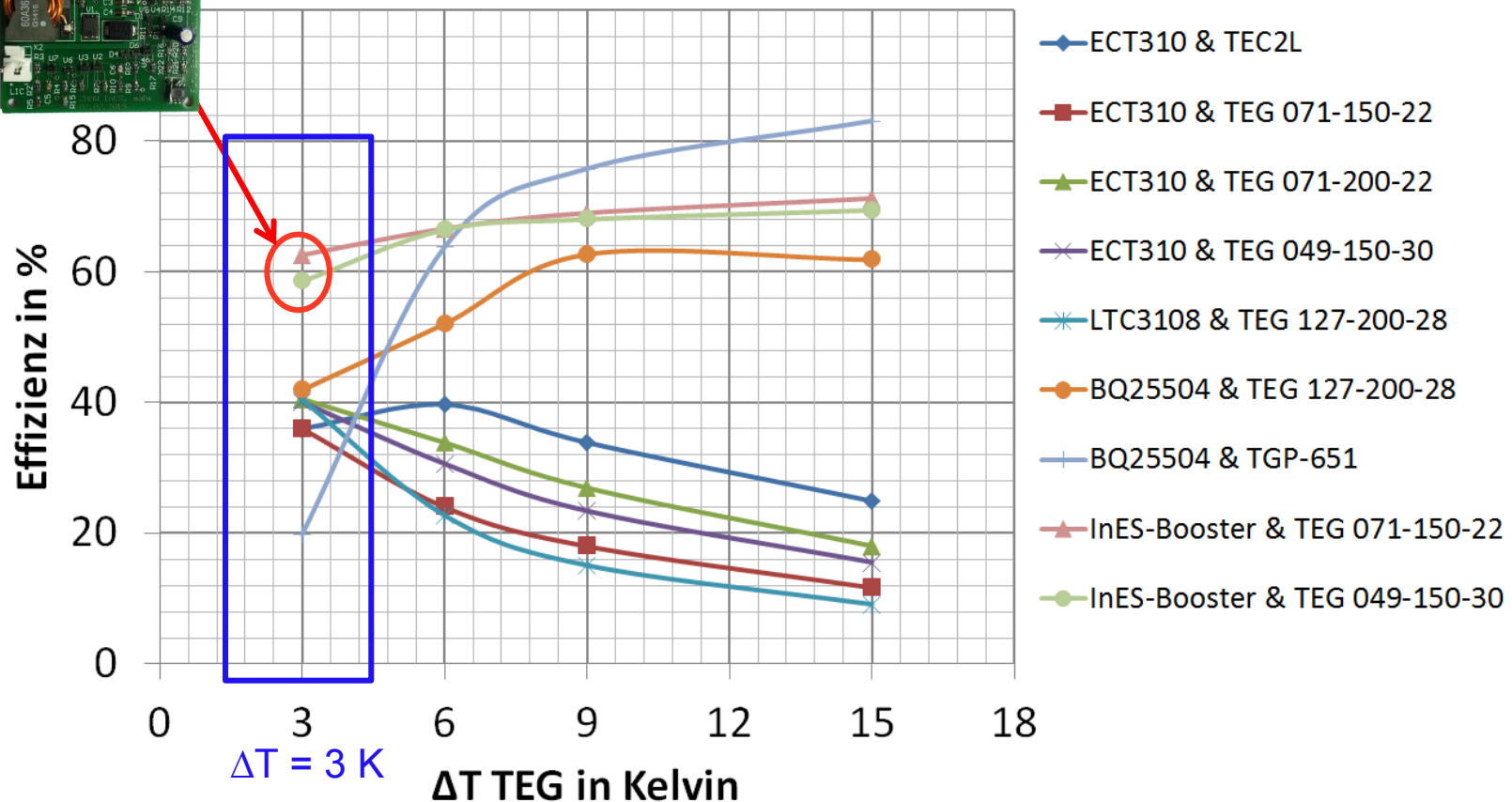
Booster im Betrieb

■ Effizienzvergleich mit anderen Kombinationen

InES-Booster



Effizienz vs. ΔT , je Kombination



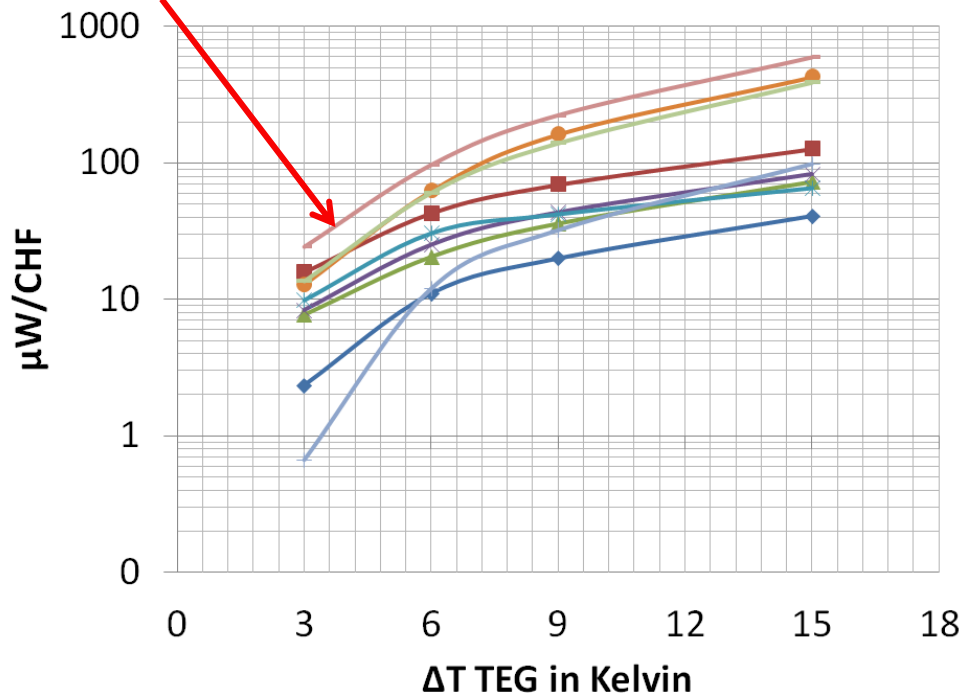
Wirtschaftliche Betrachtung

■ Kostenvergleich der Kombinationen

InES-Booster



$\mu\text{W}/\text{CHF}$ vs. ΔT , je Kombination

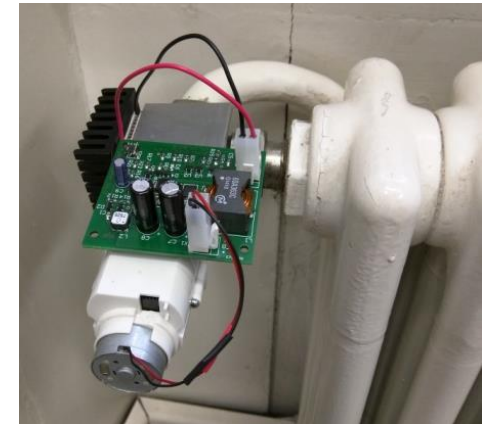


Kombination		Preis CHF	$\mu\text{W}/\text{CHF}$ @ 3 K
◆	ECT310 & TEC2L	28	2.3
■	ECT310 & TEG 071-150-22	28	15.7
▲	ECT310 & TEG 071-200-22	28	7.7
×	ECT310 & TEG 049-150-30	28	8.39
*	LTC3108 & TEG 127-200-28	48	9.8
●	BQ25504 & TEG 127-200-28	49	12.8
+	BQ25504 & TGP-651	N.B.	0.6
—	InES-Booster & TEG 071-150-22	33	24.3
—	InES-Booster & TEG 049-150-30	33	13.5

Zusammenfassung

■ Boosterschaltung

- Starten ab 40 mV
- Nach Kaltstart 16 mV
- Harvesten ab $\Delta T = 3$ K
- Geeignet für Low-Cost TEG



■ Autarker Ventilantrieb

- Drei volle Stellzyklen pro Stunde möglich ($\Delta T = 6$ K)
- Niedertemperatur ($\Delta T = 3$ K): Ein voller Zyklus pro Stunde

■ Weiteres Potential

- Technische Optimierungen (Startvorgang, Effizienz, Grösse)
- Weitere Reduktion der Materialkosten

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Forschungsbereich Autarke Systeme

Institute of Embedded Systems

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW)

Technikumstrasse 20/22

8400 Winterthur

+41 (0) 58 934 72 48

E-Mail: gruj@zhaw.ch

Web: <https://www.zhaw.ch/de/engineering/institute-zentren/ines/autarke-systeme/>