

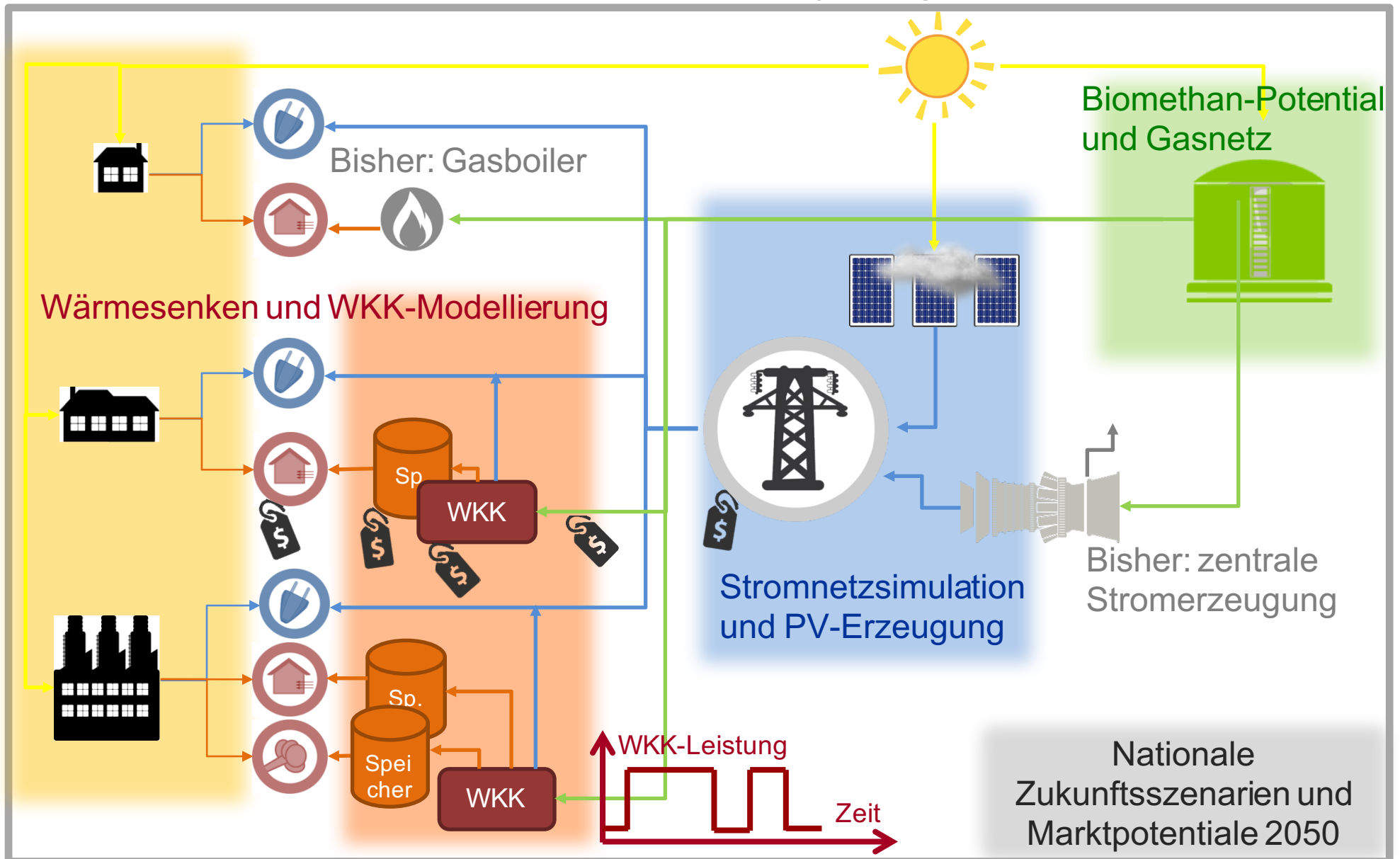
Potentialanalyse eines Schwarms biogener Wärmekraftkoppelungsanlagen zur Kompensation fluktuierender erneuerbaren Stromquellen

Philipp Vögelin,

Gil Georges, Konstantinos Boulouchos

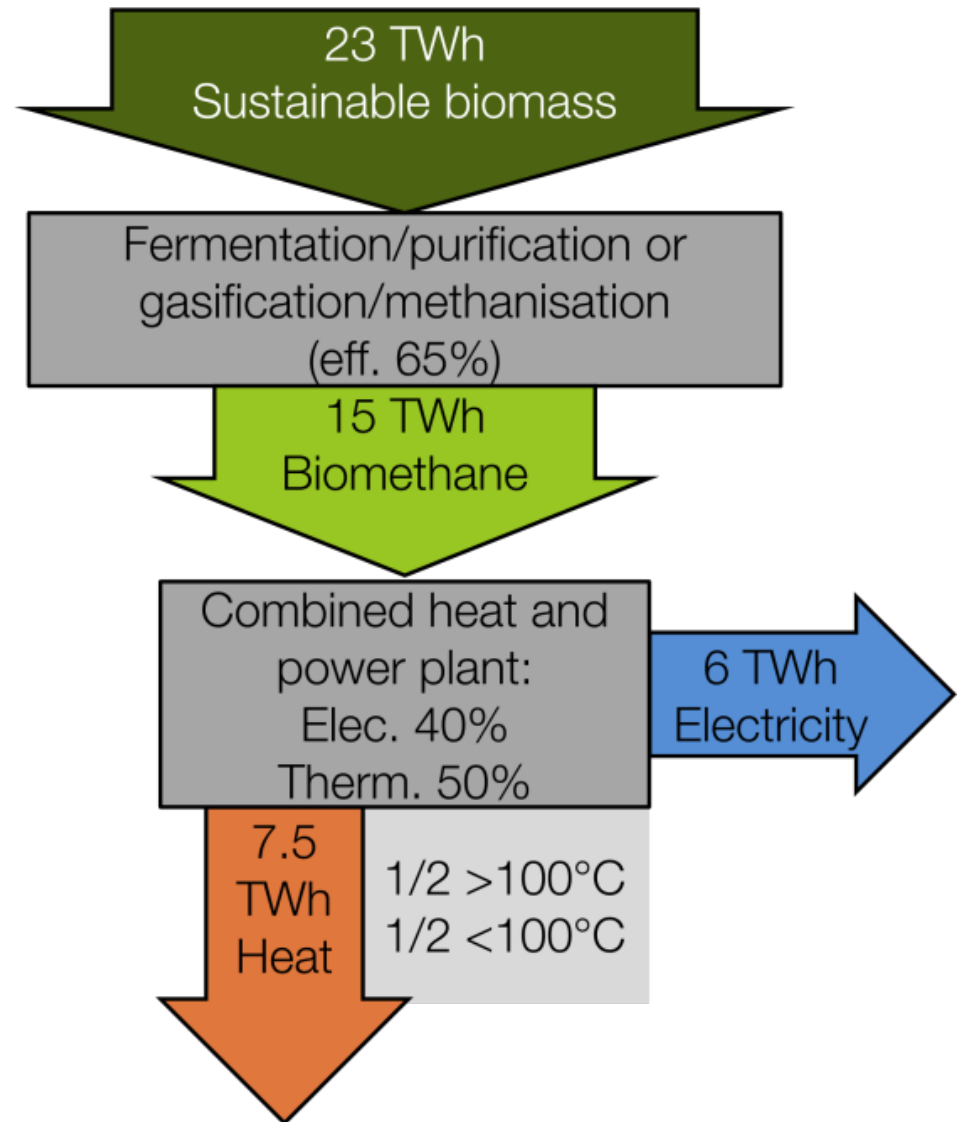
Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme

Konzeptskizze / Projektgruppen



Theoretisches Potential biogener WWK Schweiz

- 23TWh nachhaltiges Biomassepotential Schweiz¹
- ~10% des CH-Strombedarfs²
- ~33% des CH-Spitzenbedarfs bei 3GW Spitzenleistung (2000h/a)²
- ~9% der jährlichen Wärme aus Erdgas²



1) Nach Steubing et. al., "Biogeneity Switzerland", Renew. Energy Reviews, 2010

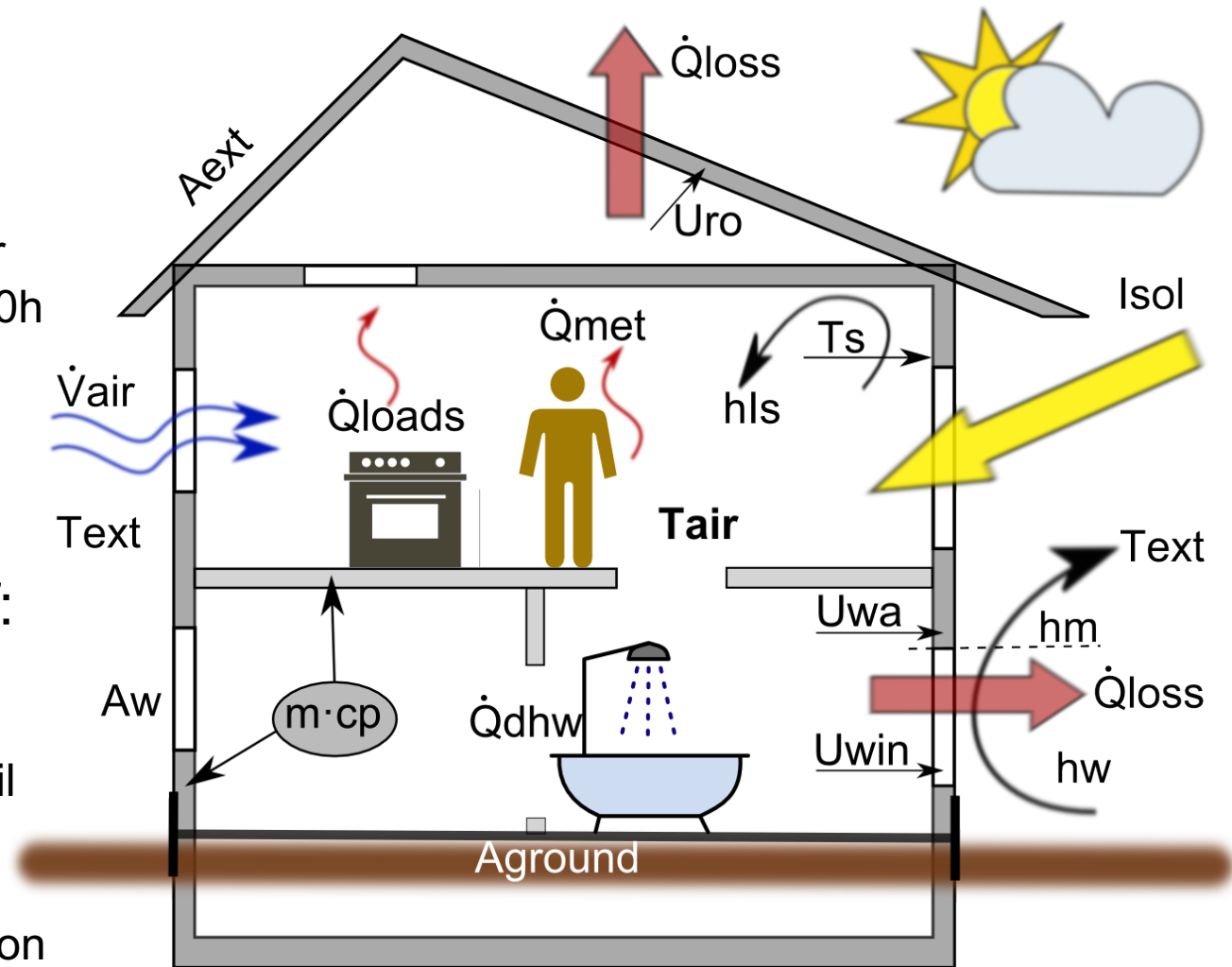
2) <http://www.bfs.admin.ch> Energiestatistik 2014

Wärmesenken = WKK-Installationsorte

- Gebäudemodell
EN ISO norm 13790
 - Eine thermische Masse
 - Minimale Raumtemperatur
 - Ganzjahressimulation 8760h
 - Typisches Wetterjahr
 - Warmwasserbedarf belegungsabhängig

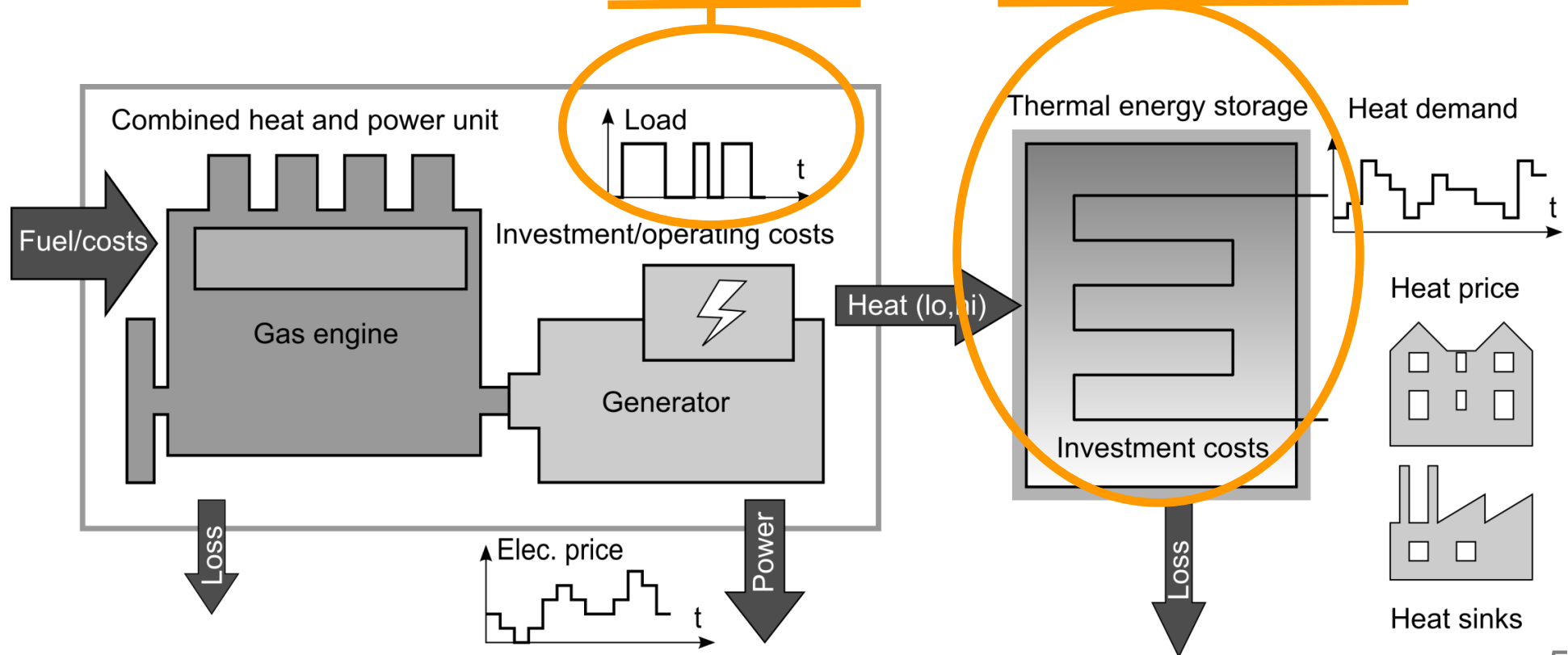
• Industriewärmebedarf:

- Prozesszeitplan / Schichtbetrieb
- Hochtemperaturwärmanteil $>90^{\circ}\text{C}$
- Wärme für Biogasproduktion
- Biogaspreis als -Methan tiefer $\rightarrow$ ökonom. Vorteil



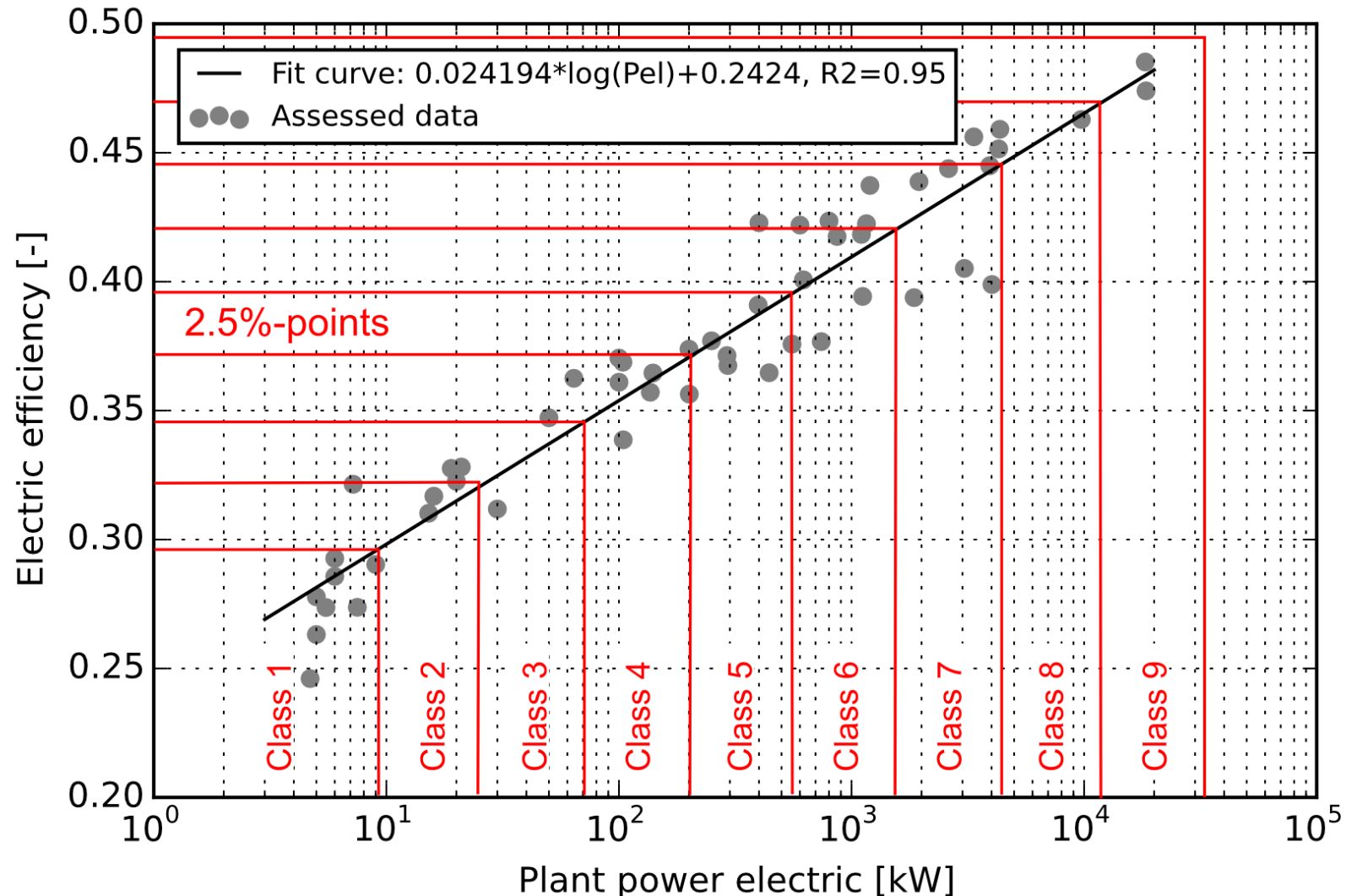
WKK-Modell / Optimierung Einzelanlage

- Mixed-integer linear programming (MILP) über 8760h
 - Zielfunktion: Maximiere Jahreskostenbilanz (Net Present Value)
- Leistung vorgegeben → zu optimieren:
 - Betriebsmuster und Wärmespeicherkapazität



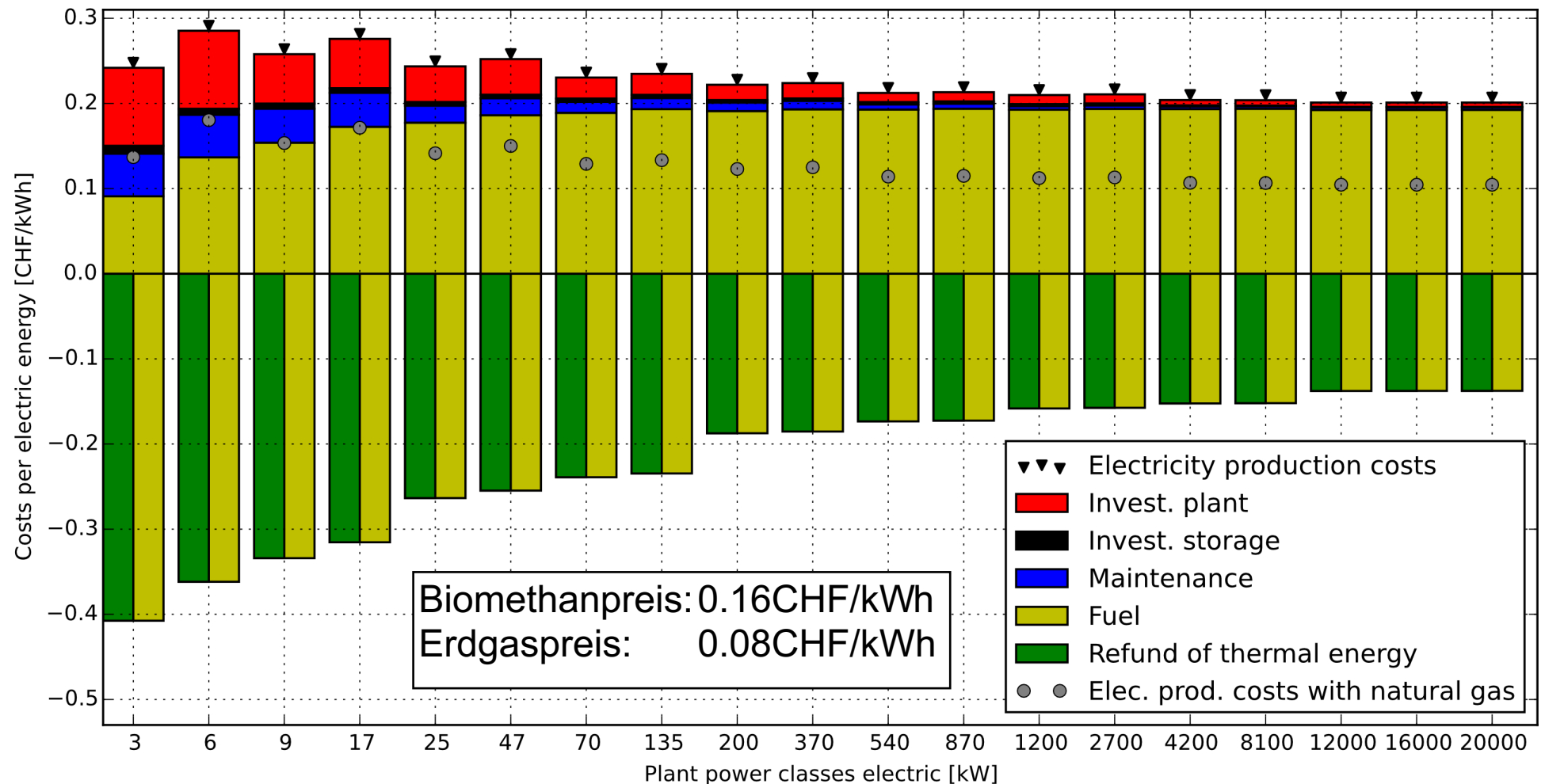
WKK-Gasmotoren 3 - 20'000kWel

- Anlagenspezifikationen: stückweise konstant (nötig für MILP)



Stromerzeugungskosten mit Wärmeverkauf

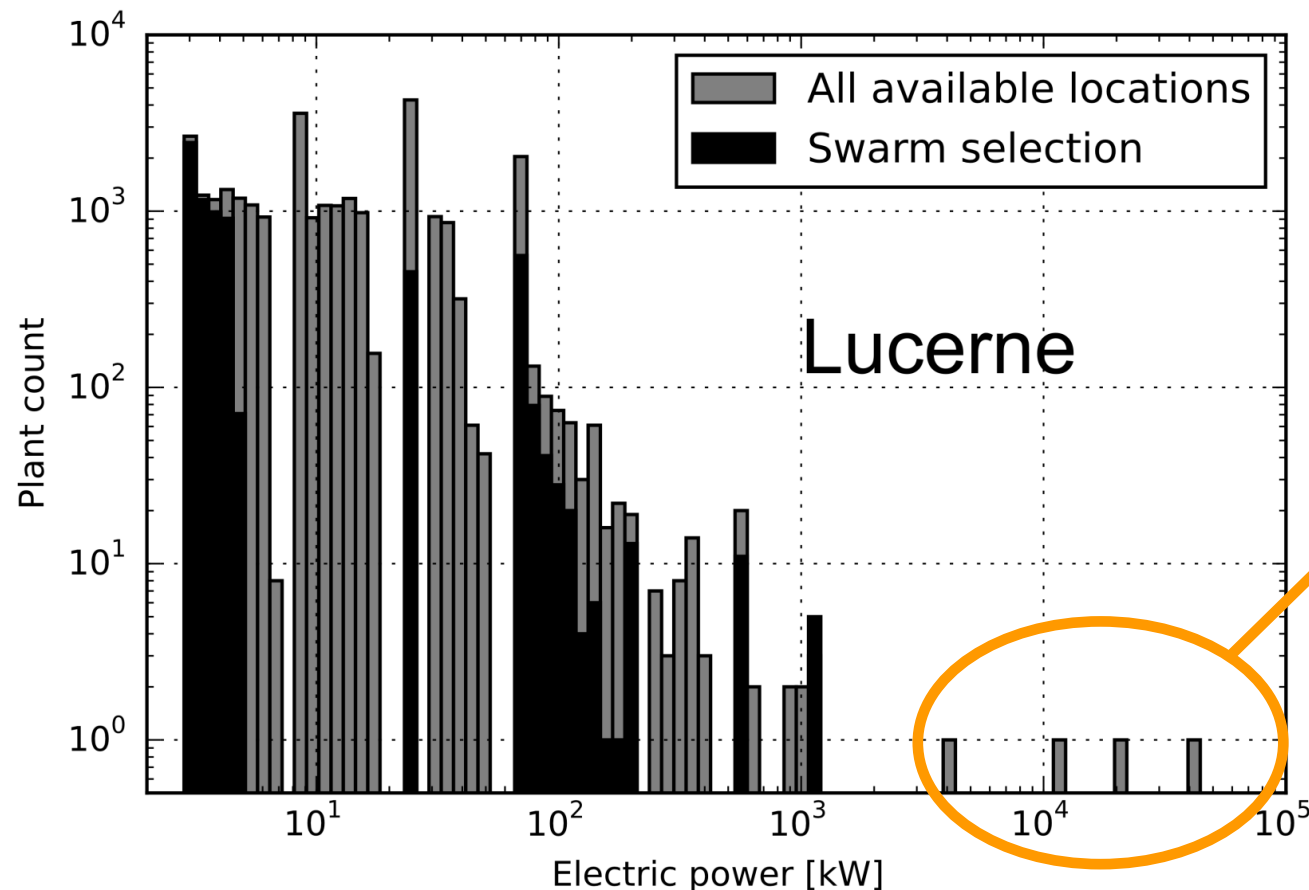
- Wärmepreis äquiv. Gasheizung; 2000h/a; Wärmespeicher $4h \cdot P_{th}$



WKK-Schwarm Anlagenauswahl

- ‘Rucksackproblem’:

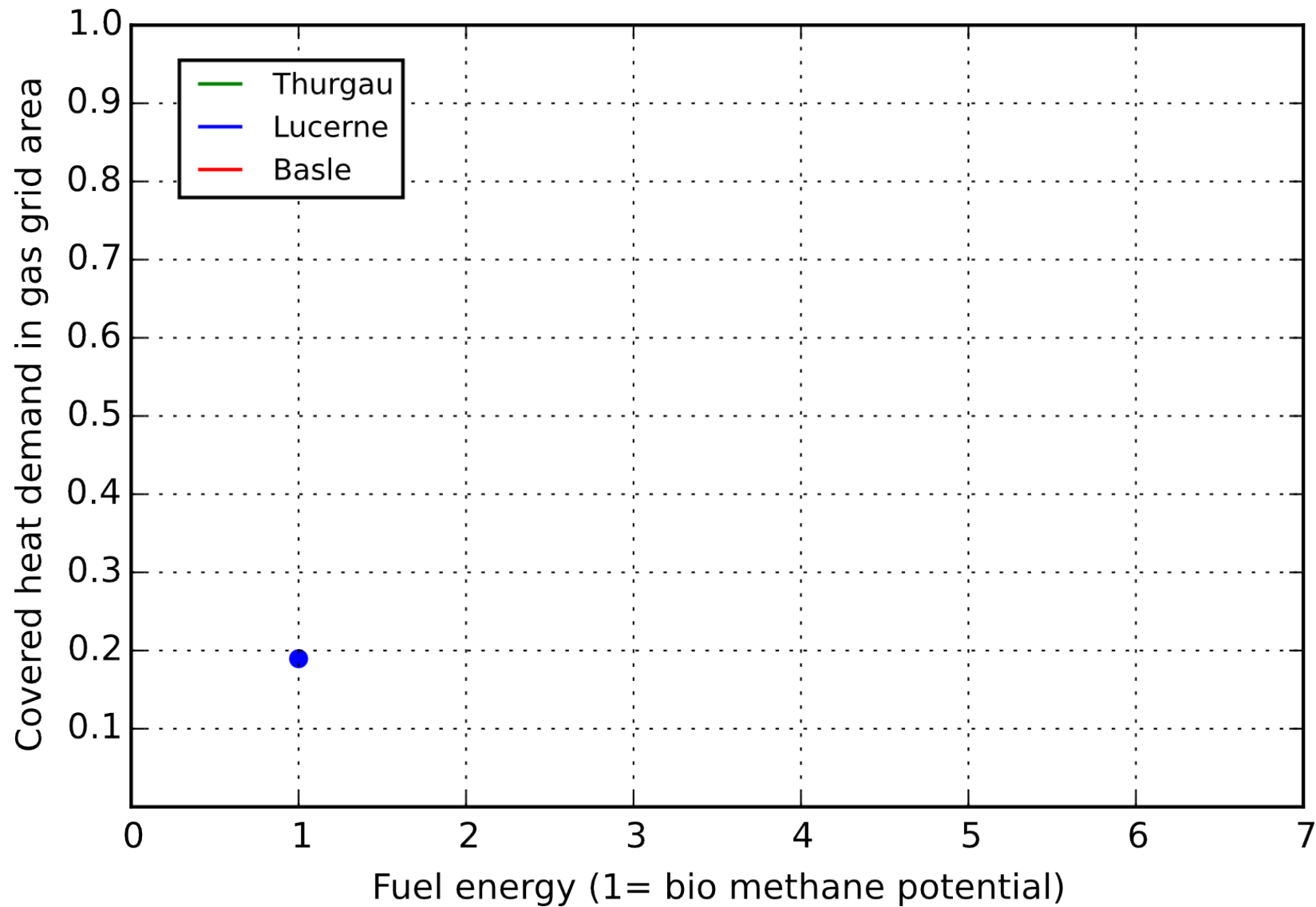
- Gegeben: maximale Biomethan-Menge pro Jahr
- Gesucht: Anlagen mit höchsten Jahresprofit (Net Present Value)
- Randbedingung: Netzkapazität limitiert Anlagen pro Knoten



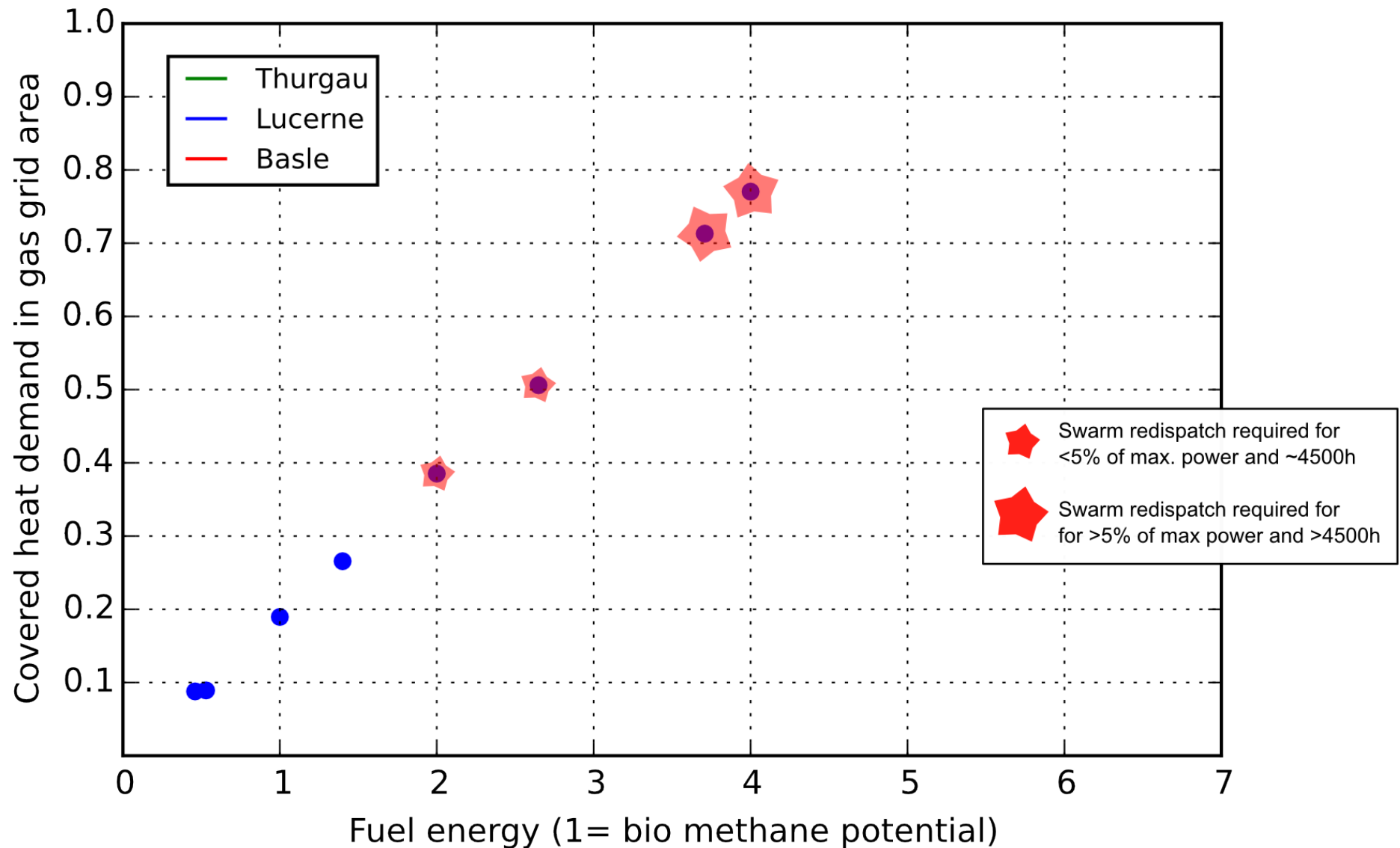
Netzbedingungen!

Elektrischer Gesamtwirkungsgrad des Schwarms: 37%

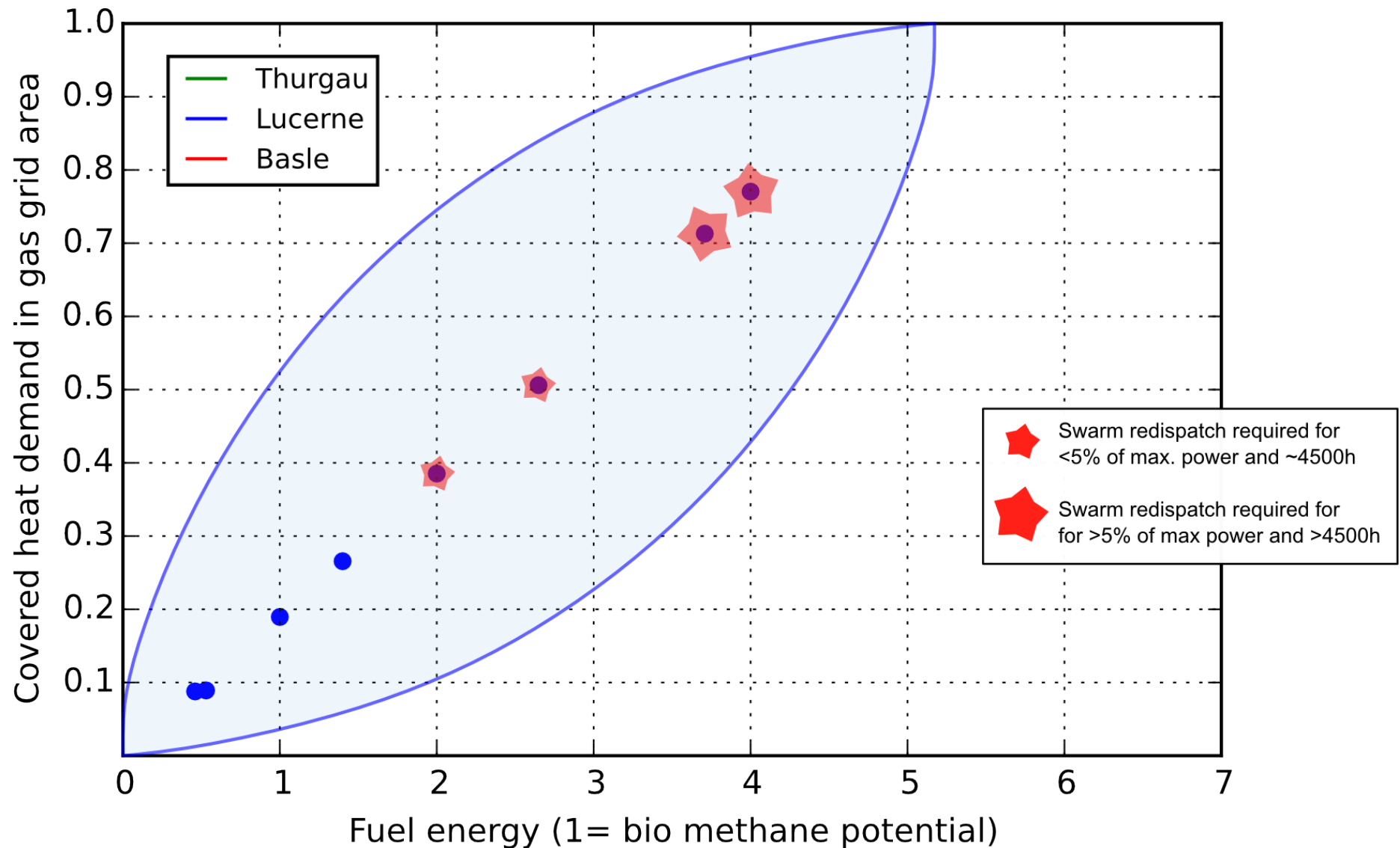
Wärmeabdeckung des Schwarms



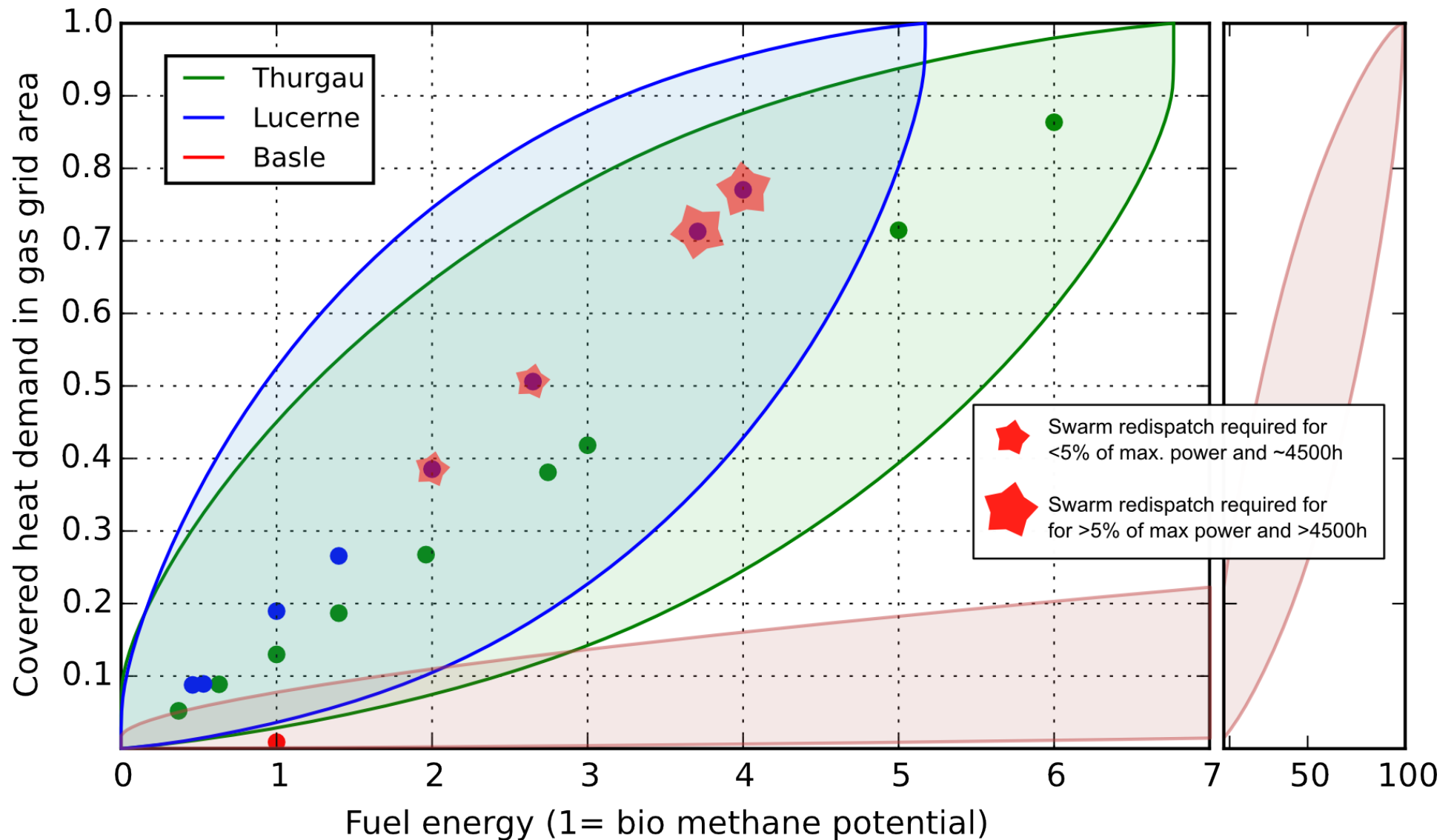
Wärmeabdeckung des Schwarms



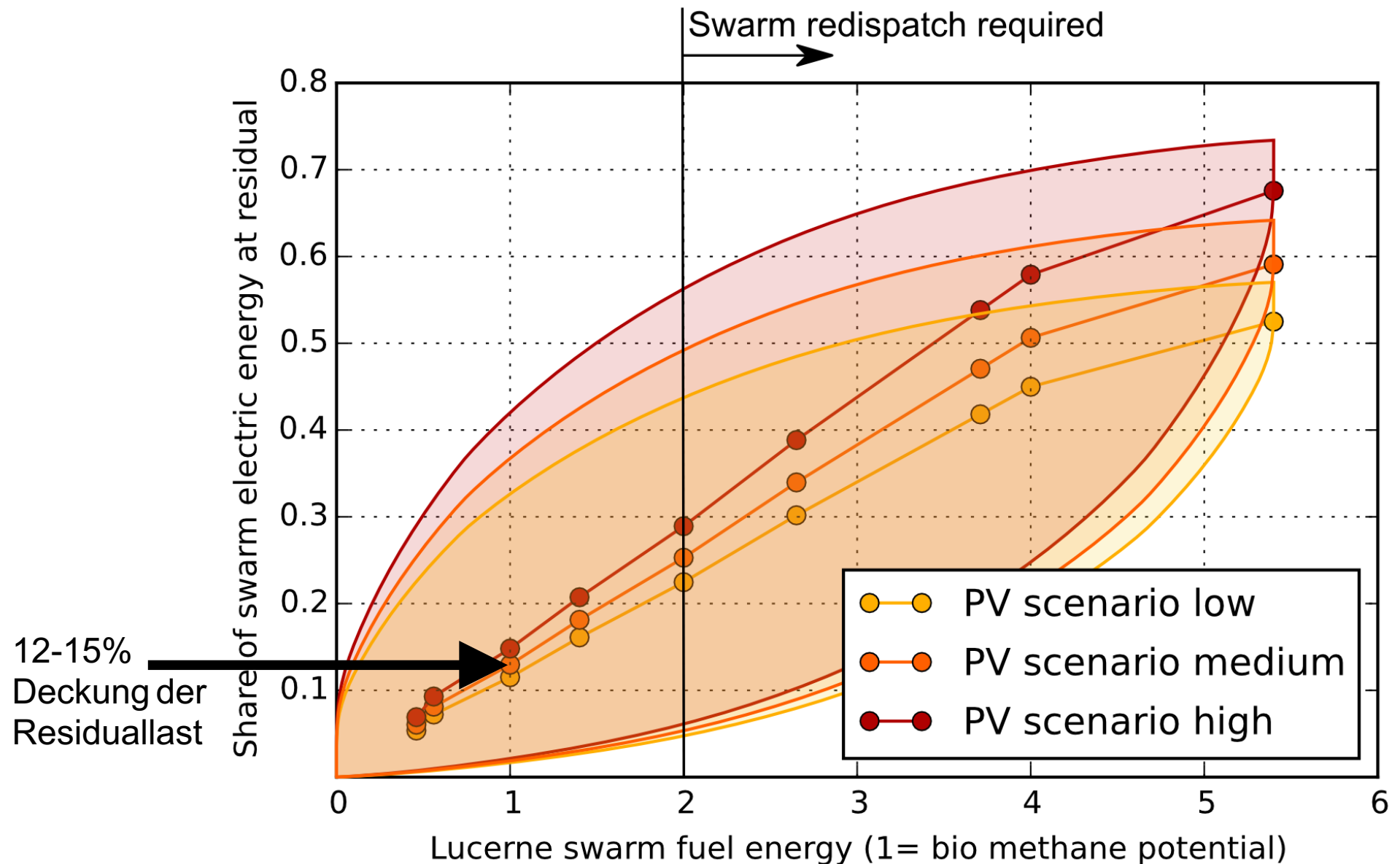
Wärmeabdeckung des Schwarms



Wärmeabdeckung des Schwarms



Schwarmanteil an Residuallast mit PV



Fazit und Ausblick

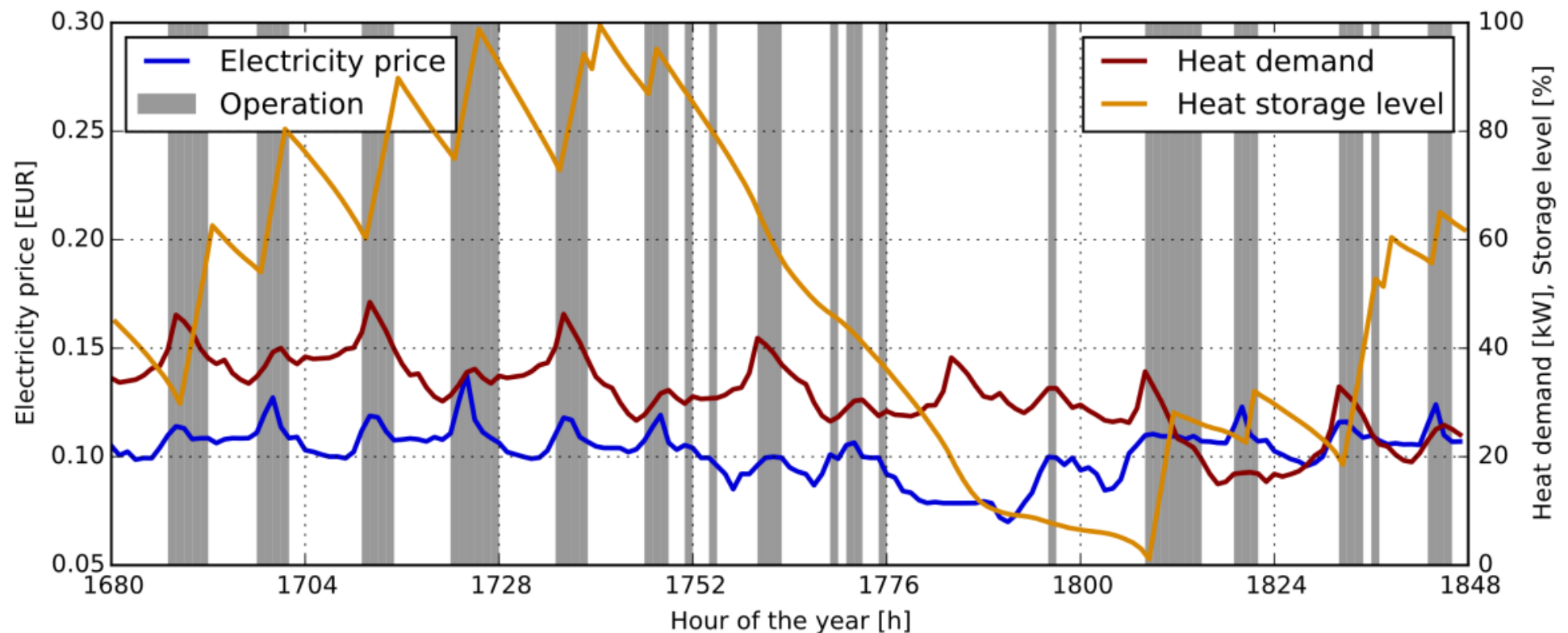
- Technische Machbarkeit:
 - Stromgeführte Strategie + optimierter Wärmespeicher funktioniert ohne Rückkühlung
 - Standorte/Wärmesenken nicht limitierend → Biomethan-Menge
- Potential in typischer Schweizer Region (Luzern, 100MWel):
 - 9.4% Anteil Stromerzeugung
 - bis 15% Deckung der Residuallast
 - Berücksichtigung Stromnetzkapazitäten
 - Ab doppelter Bio-Schwarmgrösse → Betriebskoordination notwendig
- Ausblick:
 - Zusammenarbeit mit Energieversorgern → Geschäftsmodellen
 - Schwarmbetrieb und Stromnetzsimulation koppeln
 - Nutzung von Nahwärmeverbünden
 - Erweiterung mit Wärmepumpen oder Elektrolyseure als Stromsenken
 - Integration der Mobilitätsenergienachfrage (siehe EnInnov Beitrag Kollege Küng, G1)

Danksagung / Fragen

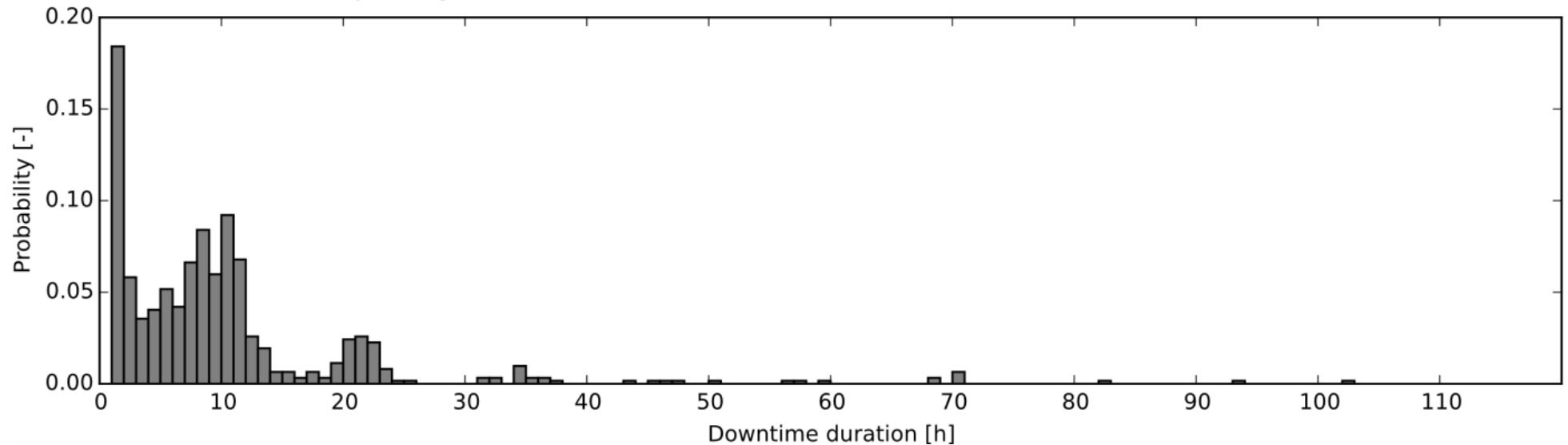
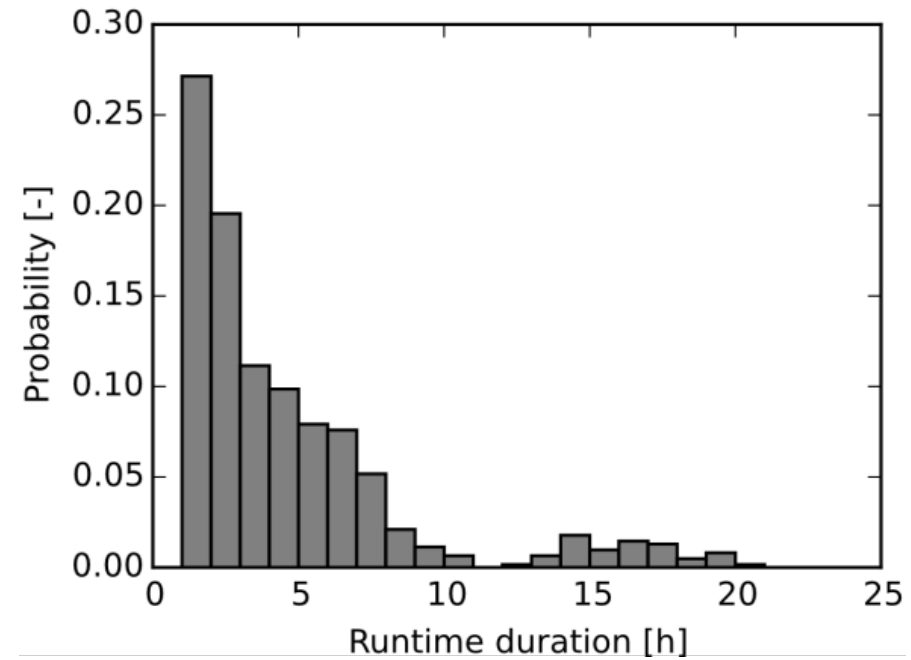
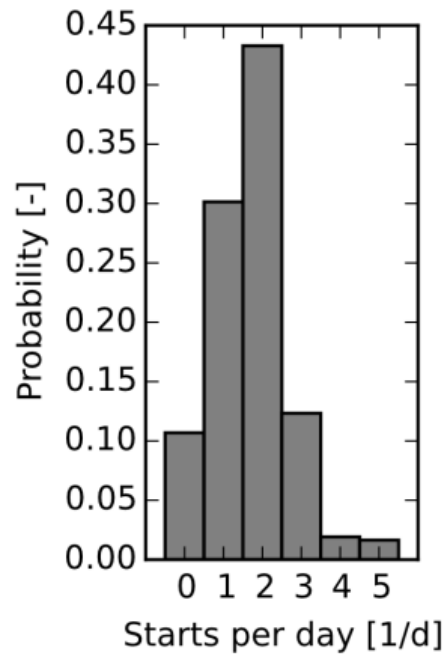
- Unseren Kollegen der Forschungsgruppen:
 - Geo-Engineering, ETH Zürich
 - Forschungsstelle Energienetze, ETH Zürich
 - Energy Economics Group, Paul Scherrer Institute
- Projektfinanzierung 2012-2015:
 - Swisselectric Research (SER)
 - Bundesamt für Energie (BFE)
- Projektbericht mit Modellen und Resultaten aller Gruppen wird auf <http://www.bfe.admin.ch> unter Publikationen veröffentlicht!
- Ich stehe für Fragen gerne zur Verfügung ...

Beispielwoche Gebäudewärme und WKK-Betrieb

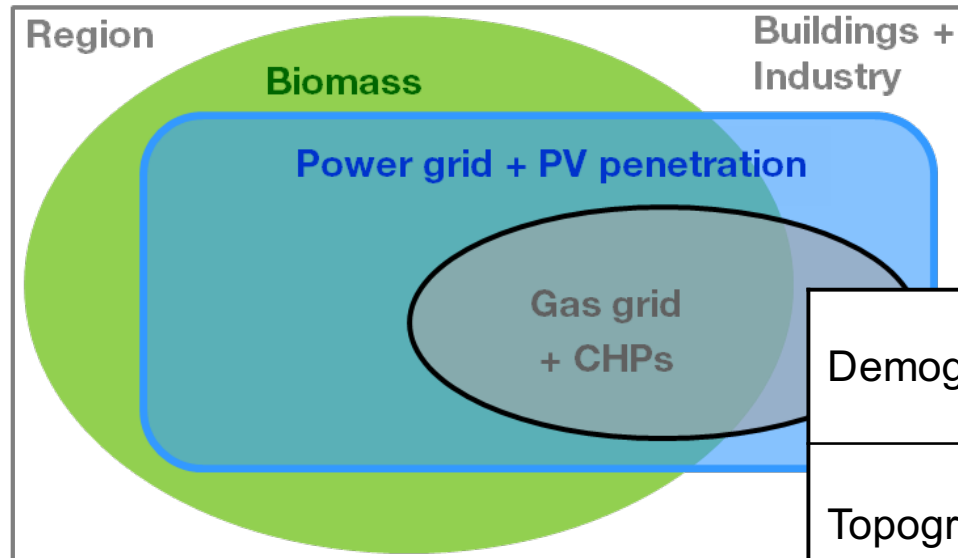
- Kein Betrieb bei tiefen Strompreisen, Wärmespeicher wird geleert



Statistische Auswertung WKK-Betriebsmuster



Auswahl der Fallstudienregionen



Demographie	ländlich	städtisch	gemischt
Topographie	flach	alpin	voralpin
Sonnen-einstrahlung	tief	mittel	hoch
Dominierende Biomasse	Gülle	Kompost	Holz

Thurgau

Luzern

Basel

Resultate-Tabelle regionale Fallstudien

Reference swarm properties	Unit	Thurgau	Lucerne	Basle
Cantonal electricity demand	GWh	1'763	2'713	2'393
Heat demand in gas grid area	GWh	2'588	1'977	1'762
Total biomethane potential	GWh	684	692	30
Bio-CH ₄ from wet biomass	GWh	431	370	30
Bio-CH ₄ from woody biomass	GWh	253	322	0
Number of possible CHP sites	-	45'687	27'585	20'216
Sites effectively in swarm	-	9'676	6'806	509
Building CHPs in swarm	-	9648 (of 45'641)	6'785(of 27'550)	508 (of 20'211)
Industrial CHPs in swarm	-	5 (of 23)	1 (of 15)	0 (of 4)
Biogas plant CHPs in swarm	-	23 (of 23)	20 (of 20)	1 (of 1)
Swarm peak power electric	MW	169	101	5.6
Swarm electricity output	GWh	289	256	11
Swarm covered heat demand	GWh	323	359	15
Swarm overall elec. efficiency	%	42.2	37.1	38.3
PV scenario "low"	GWh	176	248	130
PV scenario "medium"	GWh	350	497	260
PV scenario "high"	GWh	525	745	390