

Zustandsorientierte Säuerung von Tauchkreiselpumpen hydrothormaler Tiefengeothermieanlagen mit hohen Thermalwasservolumenströmen

Matthäus Irl, M. Sc.

Dr.-Ing. Christoph Wieland

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff

Geothermie-Allianz Bayern

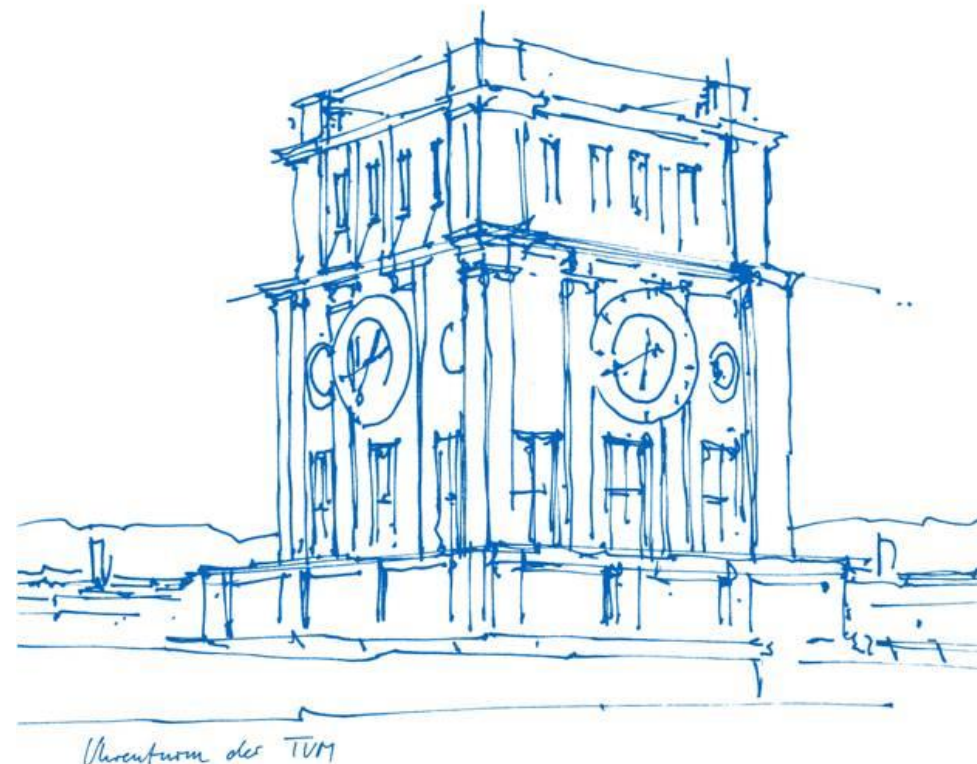
Technische Universität München

Lehrstuhl für Energiesysteme in Kooperation mit

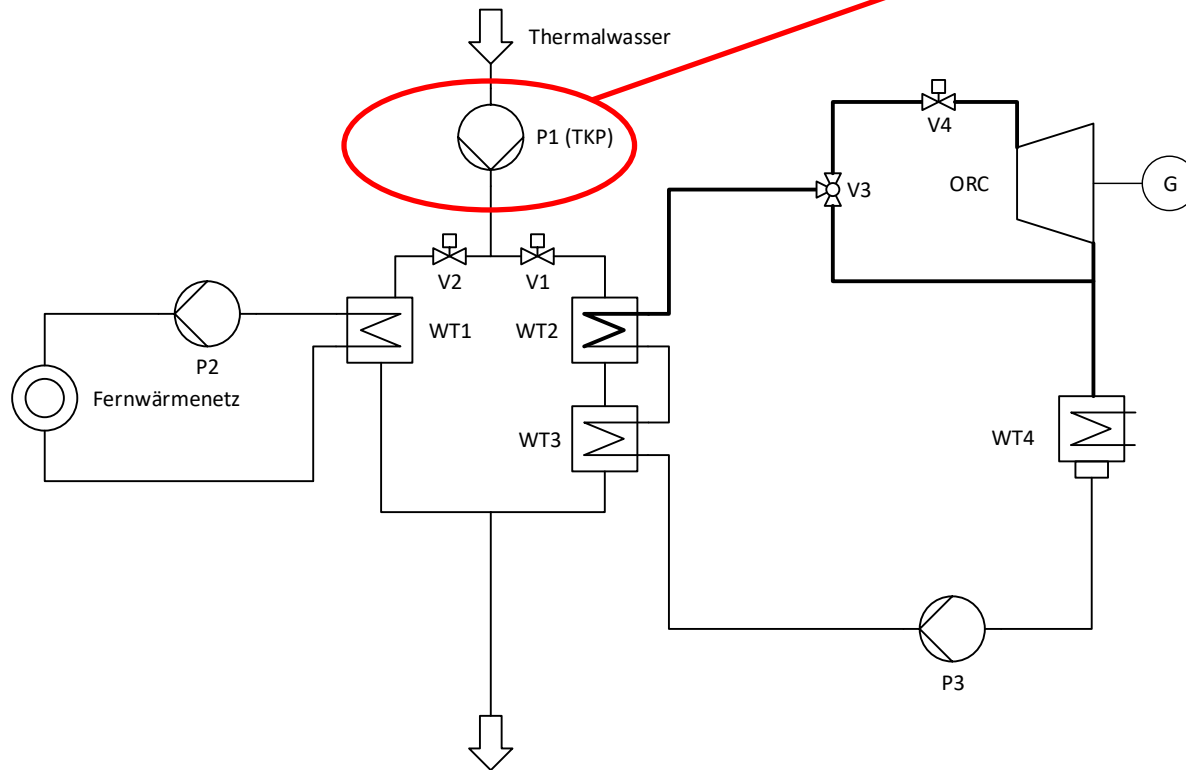


Stadtwerke München

Der Digital Geothermie Kongress 2020, 13. November 2020



Motivation und Hintergrund



Das Betriebsverhalten von Tauchkreiselpumpen hat große Auswirkung auf den operativen und wirtschaftlichen Betrieb von Geothermieanlagen.

Scaling beeinflusst das Betriebsverhalten der Tauchkreiselpumpe maßgeblich.

Forschungsfragen:

- Welchen Einfluss hat eine Säuerung der Tauchkreiselpumpe auf ihre hydraulischen und elektrischen Größen?
- Welche wirtschaftliche Auswirkungen haben Minderleistungen der Tauchkreiselpumpe und wie werden diese durch Säuerungen beeinflusst?
- Wann und wie oft müssen Tauchkreiselpumpen zustandsorientiert für eine bestmögliche Wirtschaftlichkeit gesäuert werden?

Agenda

1. Auswirkungen von Säuerungen auf hydraulischen und elektrischen Kenngrößen von vier untersuchten Tauchkreiselpumpen
2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von Geothermieranlagen mit Kraftwerken durch zustandsorientierte Säuerungen von Tauchkreiselpumpen
3. Softwareanwendung für die optimierte Instandhaltung von Tauchkreiselpumpen geothermischer Kraftwerke mit Wirtschaftlichkeitsberechnung
4. Beispielhafte Ergebnisse einer Optimierungsrechnung
5. Zusammenfassung

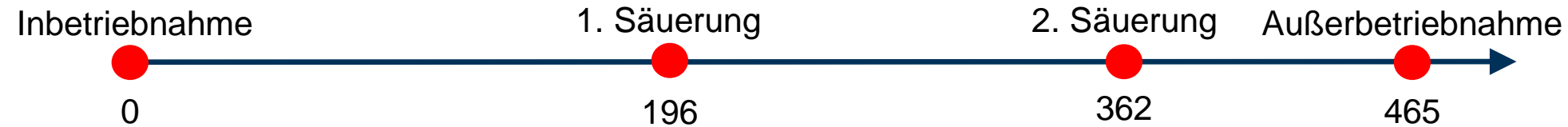
Agenda

1. Auswirkungen von Säuerungen auf hydraulischen und elektrischen Kenngrößen von vier untersuchten Tauchkreiselpumpen
2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von Geothermieranlagen mit Kraftwerken durch zustandsorientierte Säuerungen von Tauchkreiselpumpen
3. Softwareanwendung für die optimierte Instandhaltung von Tauchkreiselpumpen geothermischer Kraftwerke mit Wirtschaftlichkeitsberechnung
4. Beispielhafte Ergebnisse einer Optimierungsrechnung
5. Zusammenfassung

1. Auswirkungen von TKP-Säuerungen auf Kenngrößen

Chronologie der Ereignisse der untersuchten Tauchkreiselpumpen

Geothermieanlage A – TKP 1



Geothermieanlage A – TKP 2



Geothermieanlage B – TKP 1



Geothermieanlage C – TKP 1



Betriebstag

1. Auswirkungen von TKP-Säuerungen auf Kenngrößen

Untersuchte hydraulische und elektrische Kenngrößen

1. Geförderter Thermalwassermassenstrom: $\dot{m}_{TW,TKP} = \dot{V}_{TW,TKP} \cdot \rho_{TW}$

2. Gesamt-Förderhöhe: $H_{TKP,ges} = H_{Geodätisch} + H_{Druck\ am\ Wellhead} + H_{Reibungsverluste}$

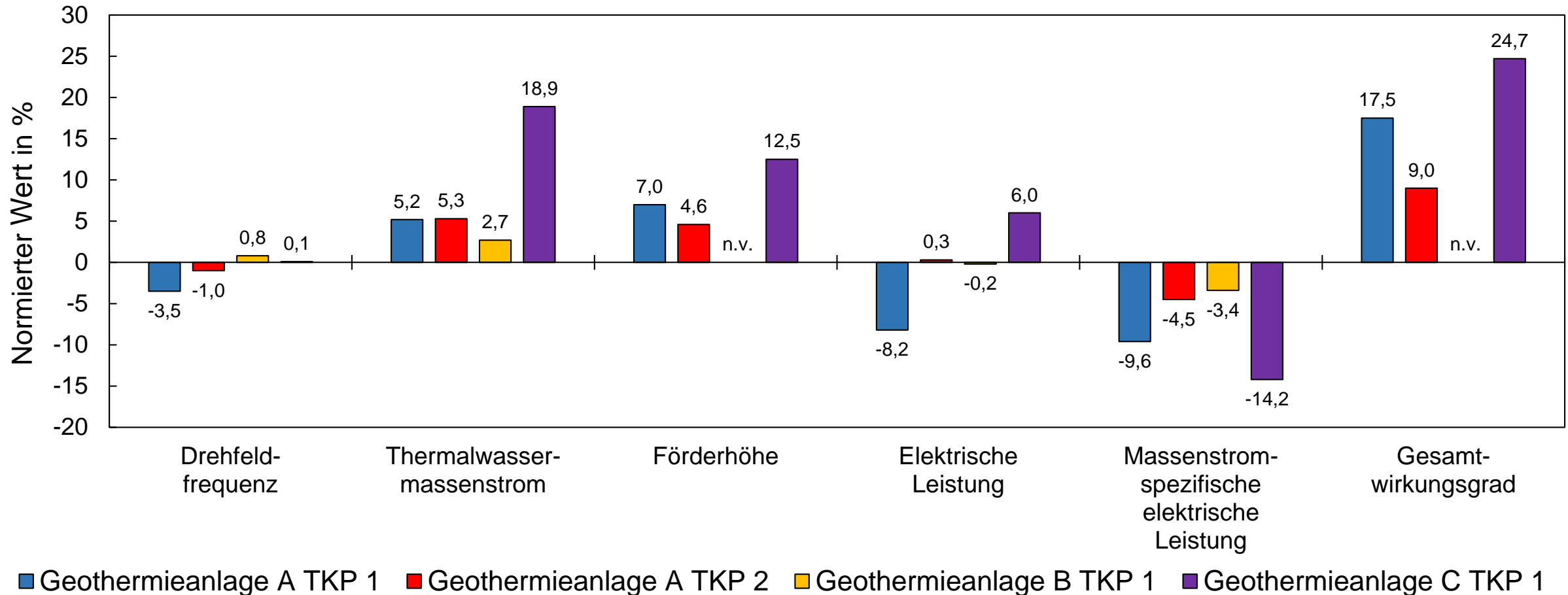
3. Aufgenommene elektrische Leistung: $P_{el,TKP}$

4. Massenstromspezifische elektrische Leistung der TKP: $BSC_{TKP} = \frac{P_{el,TKP}}{\dot{V}_{TW,TKP} \cdot \rho_{TW}}$

5. Gesamtwirkungsgrad der TKP: $\eta_{TKP} = \frac{\dot{V}_{TW} \cdot \rho_{TW} \cdot H_{TKP,ges} \cdot g}{P_{el,TKP}}$

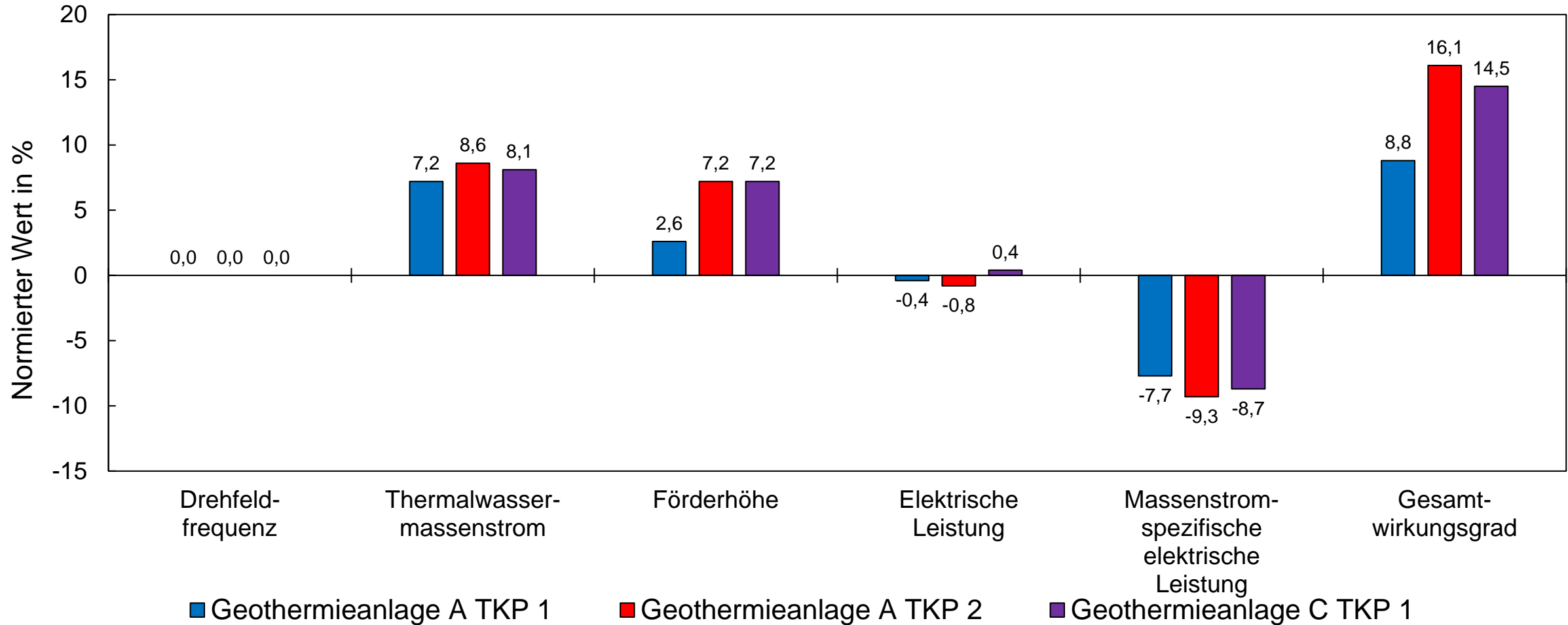
1. Auswirkungen von TKP-Säuerungen auf Kenngrößen

1. Säuerung der untersuchten Tauchkreiselpumpen



1. Auswirkungen von TKP-Säuerungen auf Kenngrößen

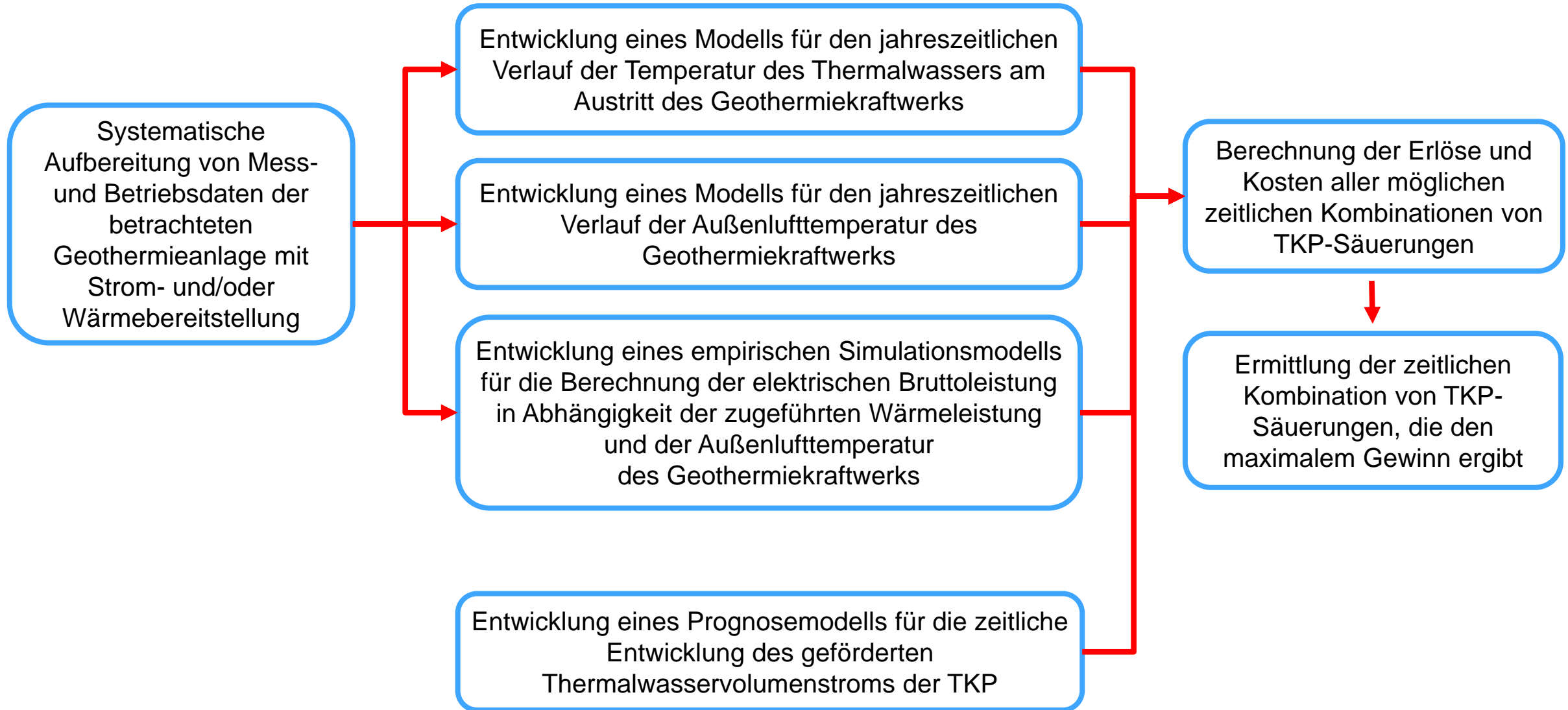
2. Säuerung der untersuchten Tauchkreiselpumpen



Agenda

1. Auswirkungen von Säuerungen auf hydraulischen und elektrischen Kenngrößen von vier untersuchten Tauchkreiselpumpen
2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von Geothermieranlagen mit Kraftwerken durch zustandsorientierte Säuerungen von Tauchkreiselpumpen
3. Softwareanwendung für die optimierte Instandhaltung von Tauchkreiselpumpen geothermischer Kraftwerke mit Wirtschaftlichkeitsberechnung
4. Beispielhafte Ergebnisse einer Optimierungsrechnung
5. Zusammenfassung

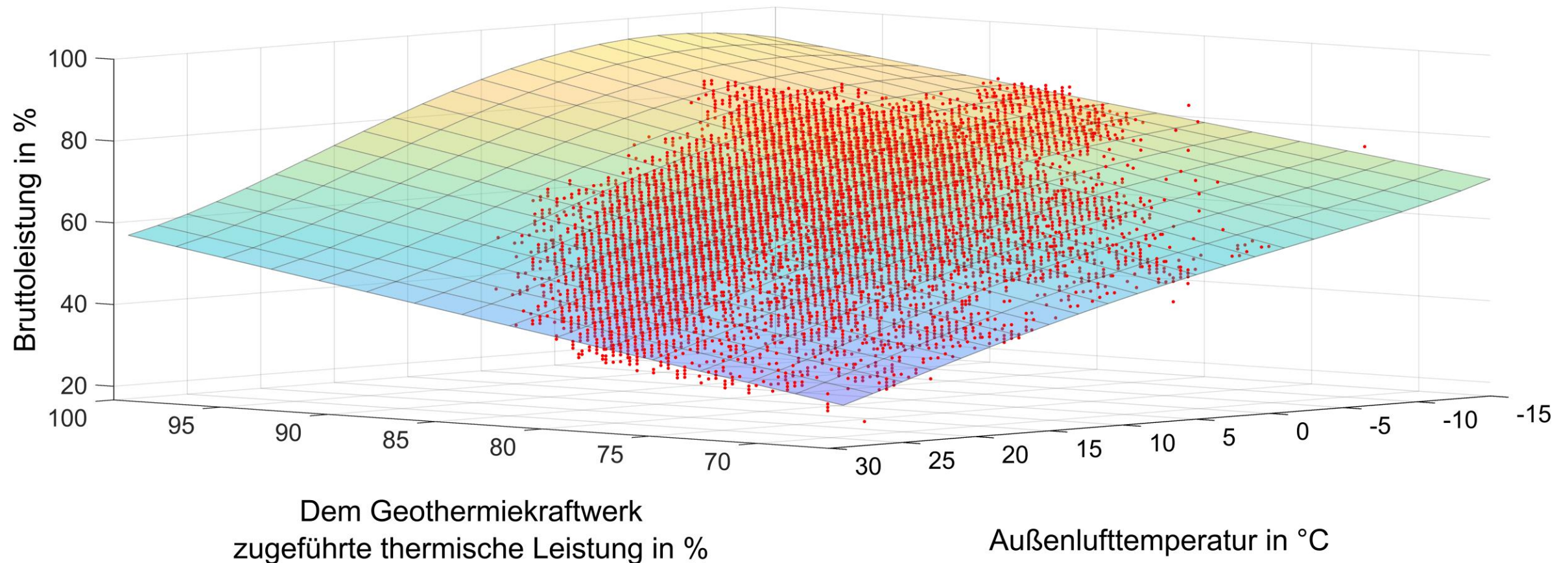
2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von TKPs



2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von TKPs

Empirisches Simulationsmodell für die Berechnung der elektrischen Bruttoleistung des Geothermiekraftwerks (1)

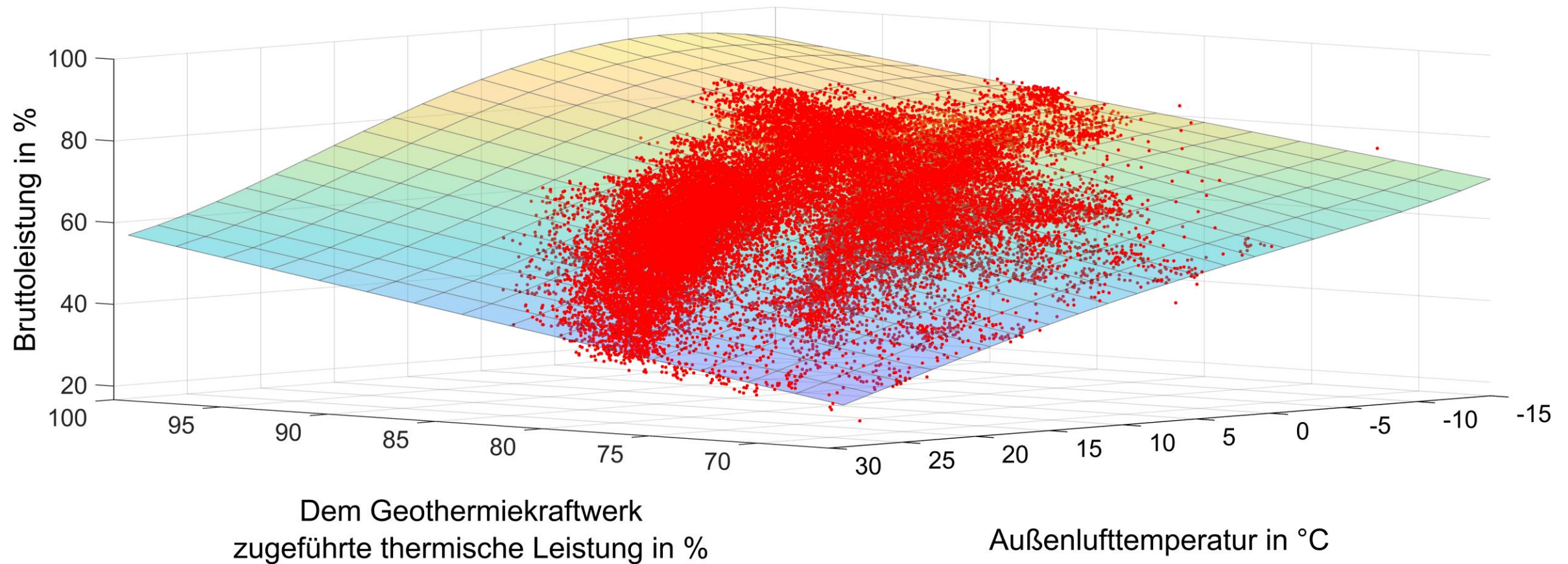
Polynom 14 - Reduzierte Daten - Least Absolute Residuals - Regressionsfunktion mit RMSE = 124.3 kW



2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von TKPs

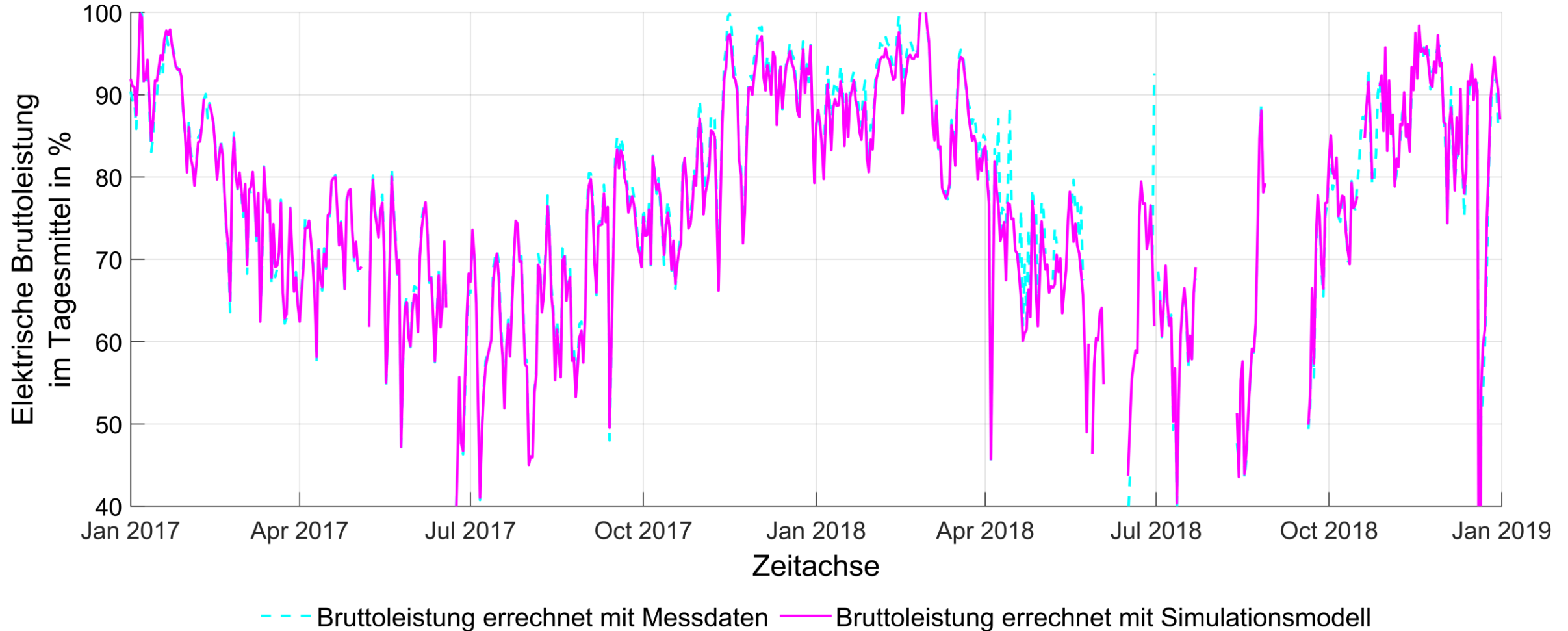
Empirisches Simulationsmodell für die Berechnung der elektrischen Bruttoleistung des Geothermiekraftwerks (2)

Polynom 14 - Least Absolute Residuals - Regressionsfunktion mit RMSE = 77.3 kW



2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von TKPs

Empirisches Simulationsmodell für die Berechnung der elektrischen Bruttoleistung des Geothermiekraftwerks (5)



Agenda

1. Auswirkungen von Säuerungen auf hydraulischen und elektrischen Kenngrößen von vier untersuchten Tauchkreiselpumpen
2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von Geothermieranlagen mit Kraftwerken durch zustandsorientierte Säuerungen von Tauchkreiselpumpen
- 3. Softwareanwendung für die optimierte Instandhaltung von Tauchkreiselpumpen geothermischer Kraftwerke mit Wirtschaftlichkeitsberechnung**
4. Beispielhafte Ergebnisse einer Optimierungsrechnung
5. Zusammenfassung

3. Softwareanwendung für die optimierte Instandhaltung von TKPs

MATLAB App
Optimierte ESP-Säuerung Tab2

Eingabedaten

Datum des ersten Tages im Betrachtungszeitraum (dd.mm.yyyy) Anzahl der Tage des Betrachtungszeitraums

Irreversible Volumenstromverringierung im Betrachtungszeitraum in l/s Kosten einer ESP-Säuerung in Euro

Thermalwassertemperatur am Eintritt des ORC in °C

Polynomfunktion des Thermalwasservolumenstroms des ORC in Abhängigkeit der Anzahl der Tage (n_Tage) ab Beginn des Betrachtungszeitraums:
 Volumenstrom des Thermalwassers in l/s = $1.174 \cdot 10^2 \cdot n_{Tage}^2 + -2.478 \cdot 10^{-1} \cdot n_{Tage}^1 + 6.574 \cdot 10^{-4} \cdot n_{Tage}^2 + -7.023 \cdot 10^{-7} \cdot n_{Tage}^3$

Berechnen von optimierten ESP-Säuerungszeitpunkten mit wirtschaftlichen Kennzahlen

Berechnung aktiv Berechnung beendet

Exportieren der Ergebnisse in Excel-Tabelle

Exportieren der Diagramme als PNG-Dateien

Ergebnisse der Berechnungen

Mehrgewinn mit einer ESP-Säuerung in Euro

Mehrgewinn mit zwei ESP-Säuerungen in Euro

Gewinn keine ESP-Säuerung in Euro

Gewinn eine ESP-Säuerung in Euro

Gewinn zwei ESP-Säuerungen in Euro

Tag der ESP-Säuerung mit frühestem Mehrgewinn

Tag mit frühestem Mehrgewinn durch ESP-Säuerung

Optimaler Tag der einen ESP-Säuerung mit größtem Mehrgewinn

Optimaler Tag der ersten von zwei ESP-Säuerung mit größtem Mehrgewinn

Optimaler Tag der zweiten von zwei ESP-Säuerung mit größtem Mehrgewinn

Zeitliche Entwicklung der Volumenströme
 Mehrgewinn früheste Säuerung
 Mehrgewinn optimale Säuerungszeitpunkte
 Mehrgewinn eine ESP-Säuerung
 Mehrgewinn zwei ESP-Säuerungen

0 Kumulierter Mehrgewinn zwei zusätzlicher ESP-Säuerung für den gesamten Betrachtungszeitraum in Millionen Euro

Eingabedaten

Datum des ersten Tages im Betrachtungszeitraum (dd.mm.yyyy) Anzahl der Tage des Betrachtungszeitraums Irreversible Volumenstromverringierung im Betrachtungszeitraum in l/s Kosten einer ESP-Säuerung in Euro Thermalwassertemperatur am Eintritt des ORC in °C

Polynomfunktion des Thermalwasservolumenstroms des ORC in Abhängigkeit der Anzahl der Tage (n_Tage) ab Beginn des Betrachtungszeitraums:

Volumenstrom des Thermalwassers in l/s = · 10^{^2} + · 10^{^-1} · n_Tage^{^1} + · 10^{^-4} · n_Tage^{^2} + · 10^{^-7} · n_Tage^{^3}

**Berechnen von optimierten
ESP-Säuerungszeitpunkten
mit wirtschaftlichen Kennzahlen**

 Berechnung aktiv Berechnung beendet

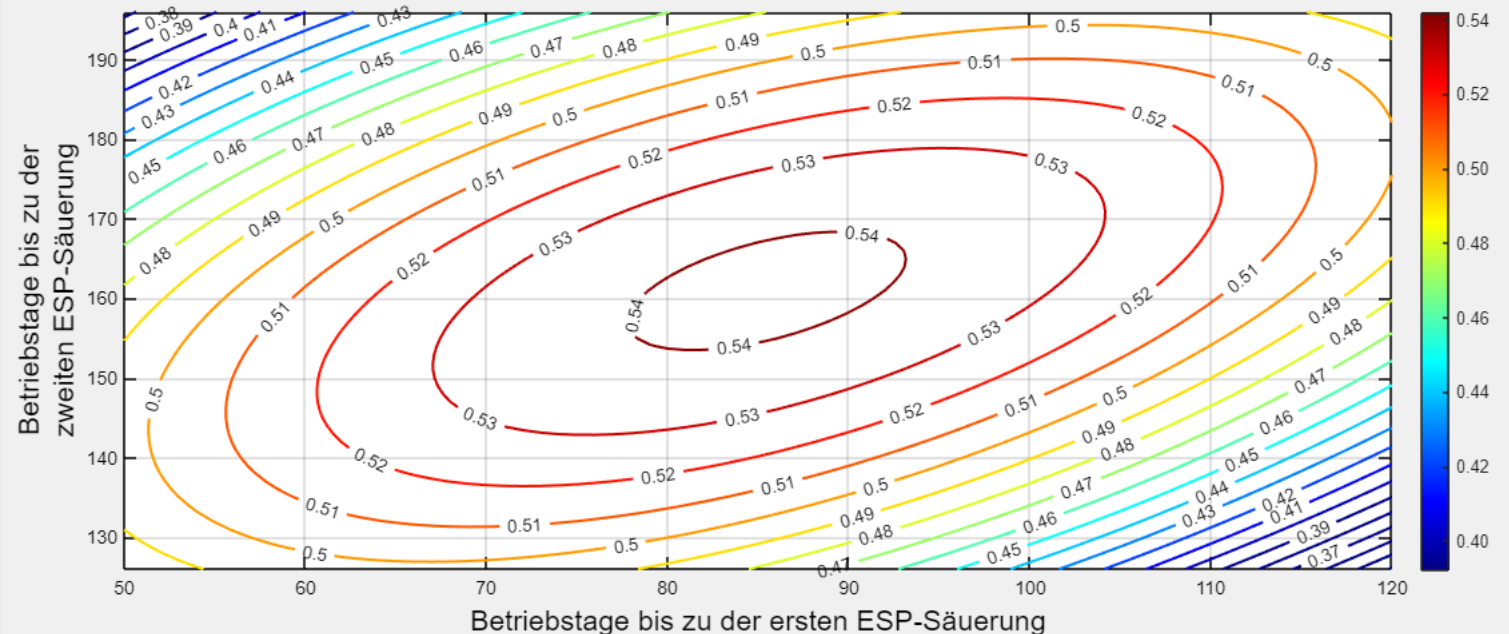
**Exportieren der Ergebnisse
in Excel-Tabelle**

**Exportieren der Diagramme
als PNG-Dateien**

Ergebnisse der Berechnungen

Mehrgewinn mit einer ESP-Säuerung in Euro Mehrgewinn mit zwei ESP-Säuerungen in Euro Gewinn keine ESP-Säuerung in Euro Gewinn eine ESP-Säuerung in Euro Gewinn zwei ESP-Säuerungen in Euro Tag der ESP-Säuerung mit frühestem Mehrgewinn Tag mit frühestem Mehrgewinn durch ESP-Säuerung Optimaler Tag der einen ESP-Säuerung mit größtem Mehrgewinn Optimaler Tag der ersten von zwei ESP-Säuerung mit größtem Mehrgewinn Optimaler Tag der zweiten von zwei ESP-Säuerung mit größtem Mehrgewinn

Zeitliche Entwicklung der Volumenströme | **Mehrgewinn früheste Säuerung** | Mehrgewinn optimale Säuerungszeitpunkte | Mehrgewinn eine ESP-Säuerung | Mehrgewinn zwei ESP-Säuerungen



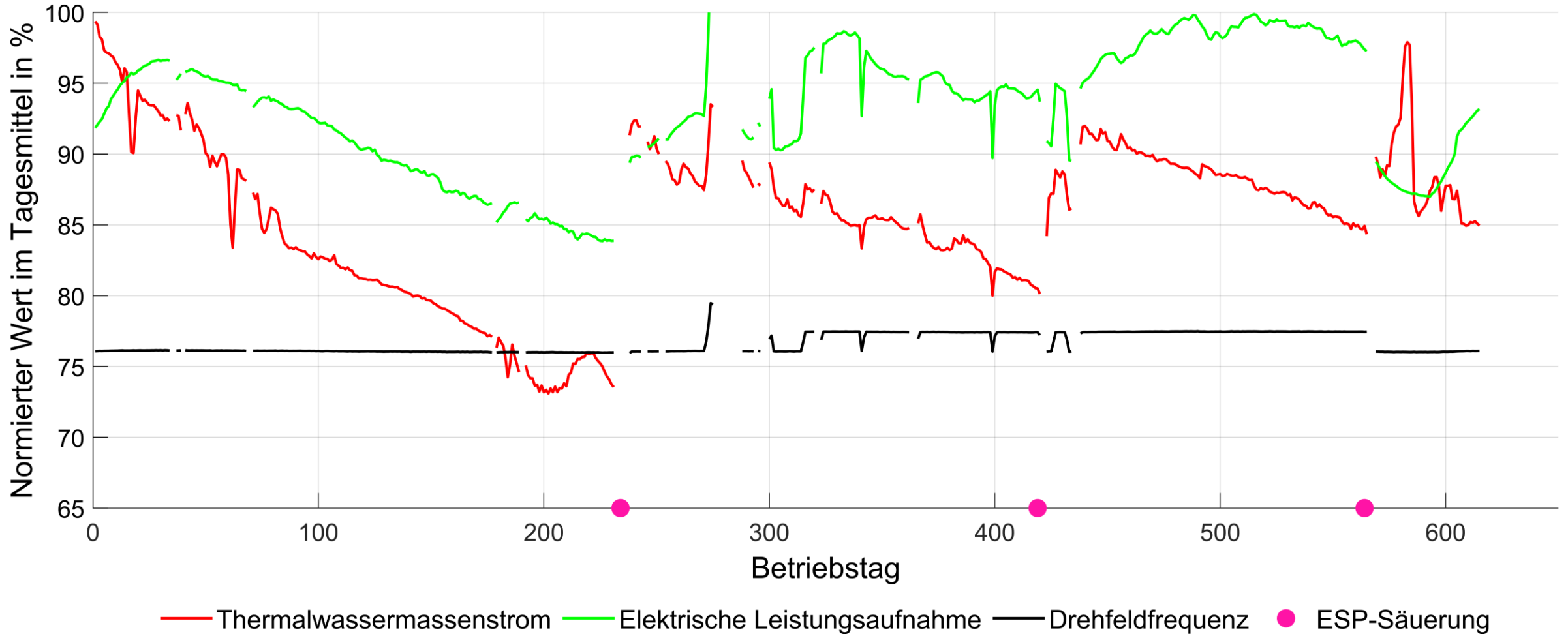
Kumulierter Mehrgewinn zwei zusätzlicher ESP-Säuerung für den gesamten Betrachtungszeitraum in Millionen Euro

Agenda

1. Auswirkungen von Säuerungen auf hydraulischen und elektrischen Kenngrößen von vier untersuchten Tauchkreiselpumpen
2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von Geothermieranlagen mit Kraftwerken durch zustandsorientierte Säuerungen von Tauchkreiselpumpen
3. Softwareanwendung für die optimierte Instandhaltung von Tauchkreiselpumpen geothermischer Kraftwerke mit Wirtschaftlichkeitsberechnung
- 4. Beispielhafte Ergebnisse einer Optimierungsrechnung**
5. Zusammenfassung

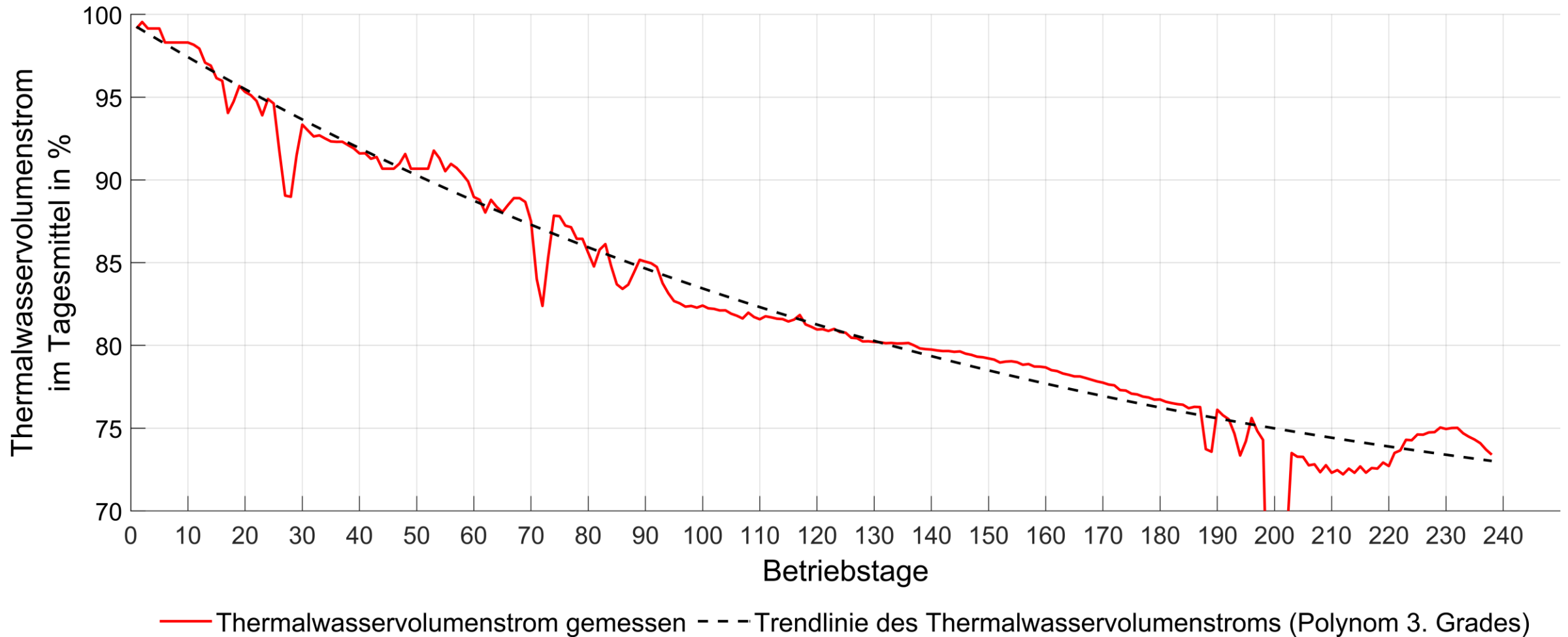
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Zeitliche Entwicklung des Thermalwassermassenstroms und der elektrischen Leistungsaufnahme



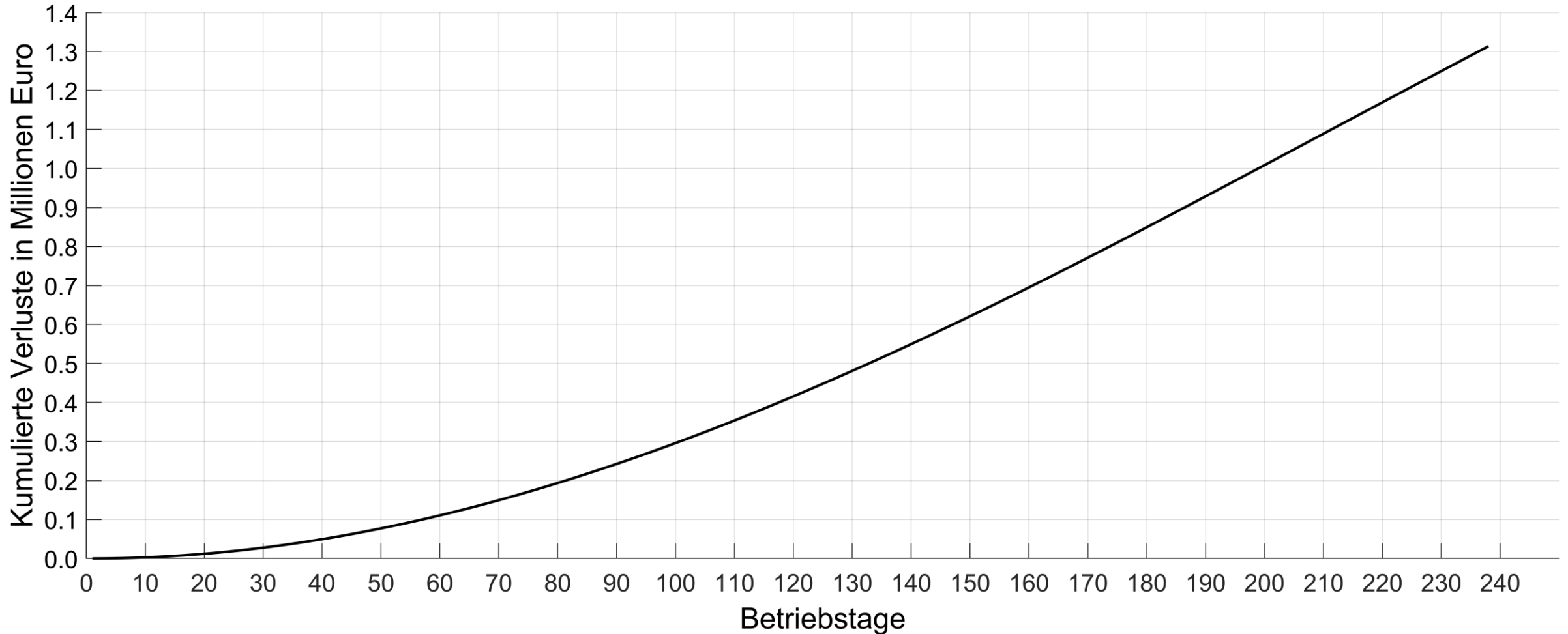
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Prognosemodell der zeitlichen Entwicklung des Thermalwasservolumenstroms



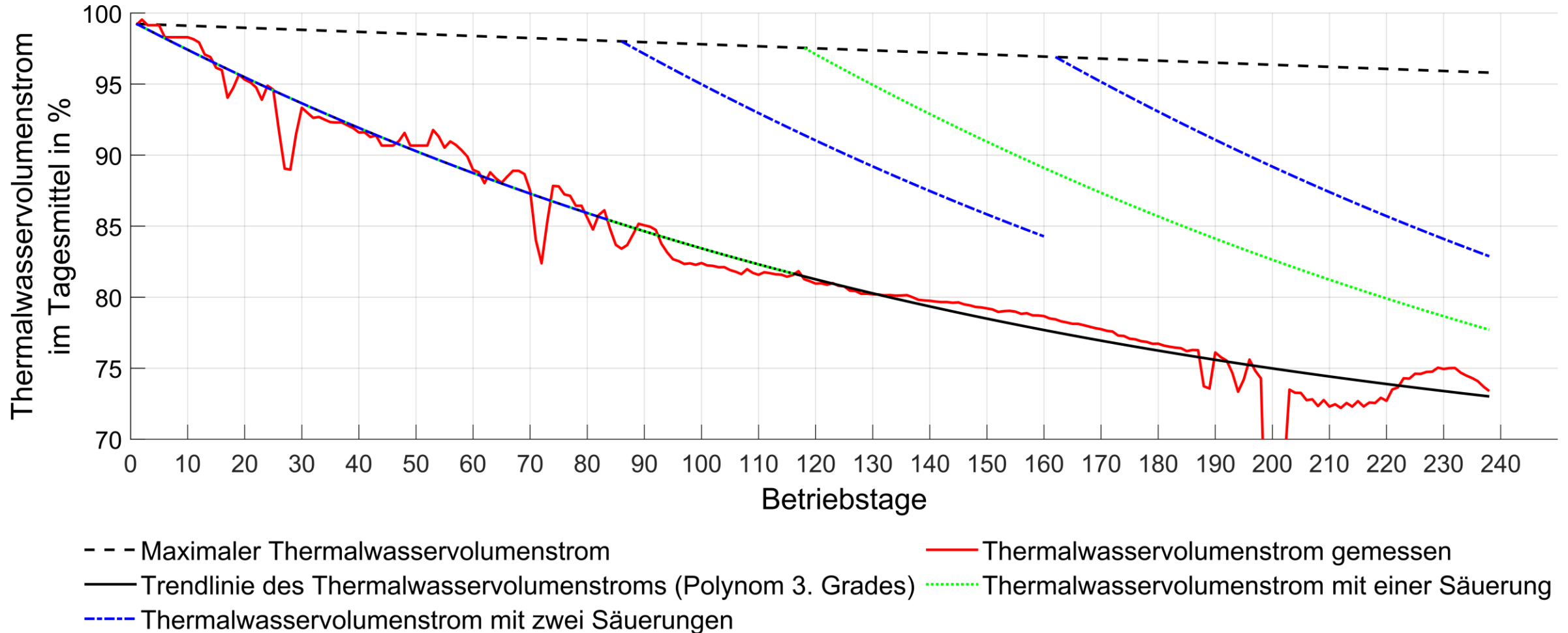
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Kumulierte finanziellen Verluste aufgrund von TKP-Minderleistung im Betrachtungszeitraum



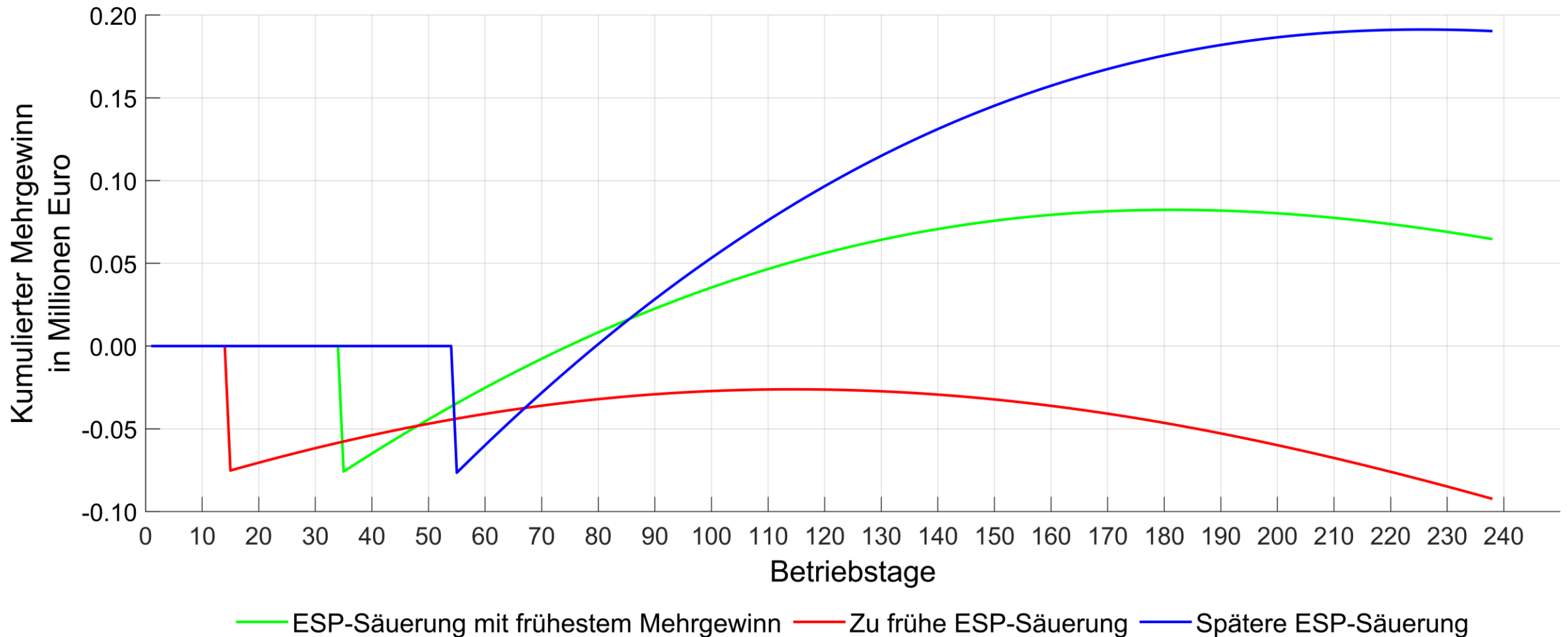
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Zeitliche Entwicklung des Thermalwasservolumenstroms verschiedener Säuerungszenarien



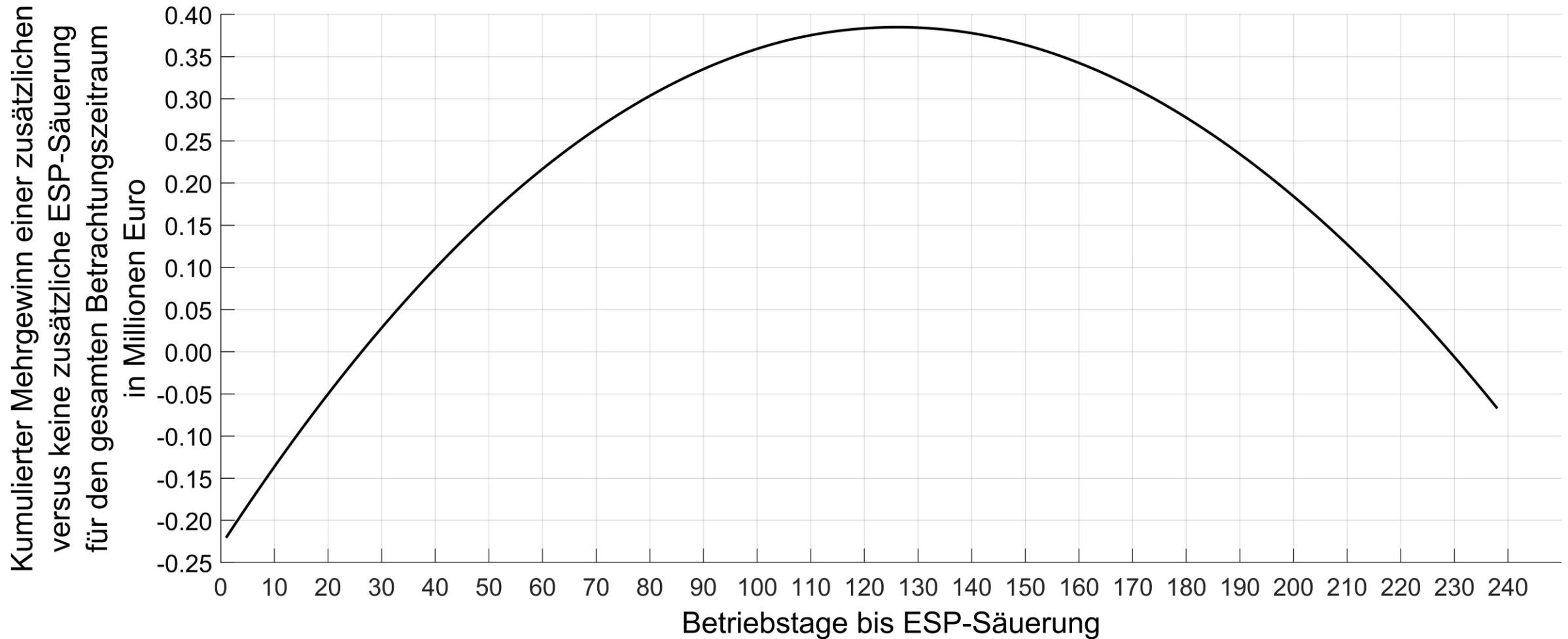
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

TKP-Säuerung mit frühestem Mehrgewinn



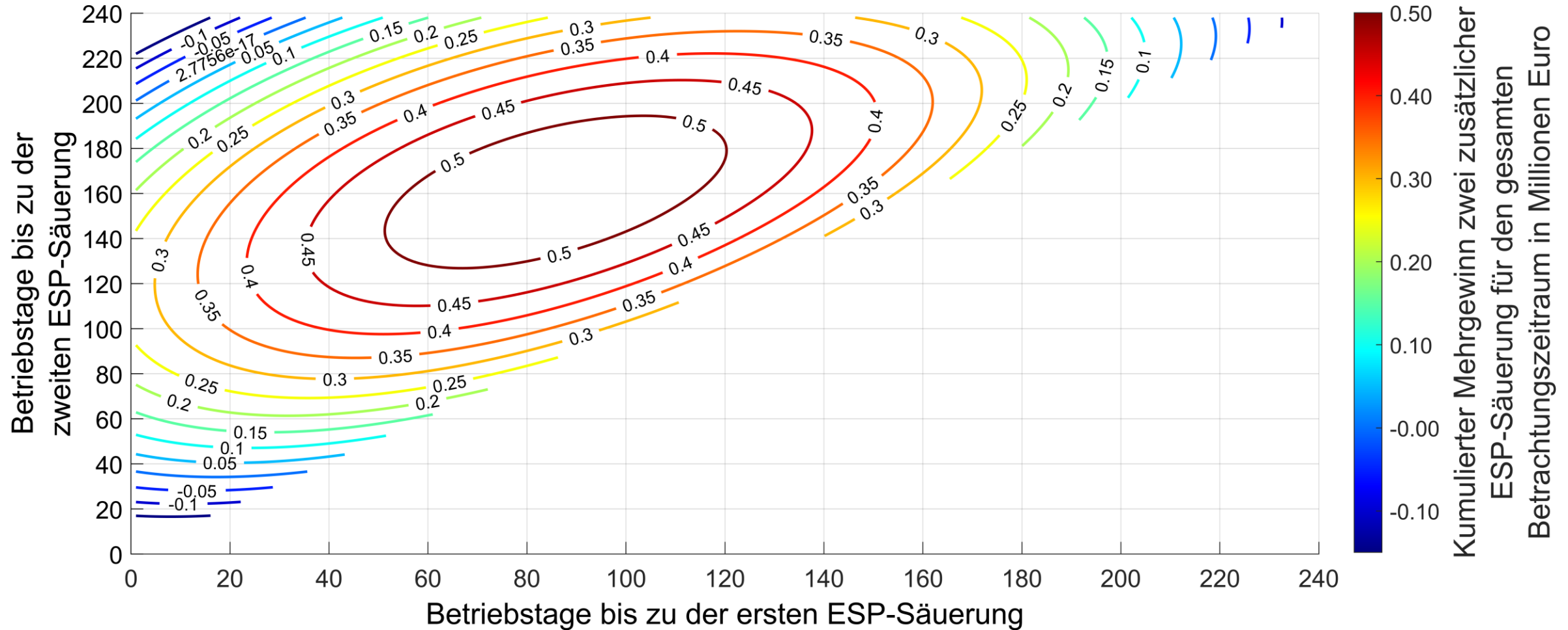
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Kumulierter Mehrgewinn einer zusätzlichen Säuerung



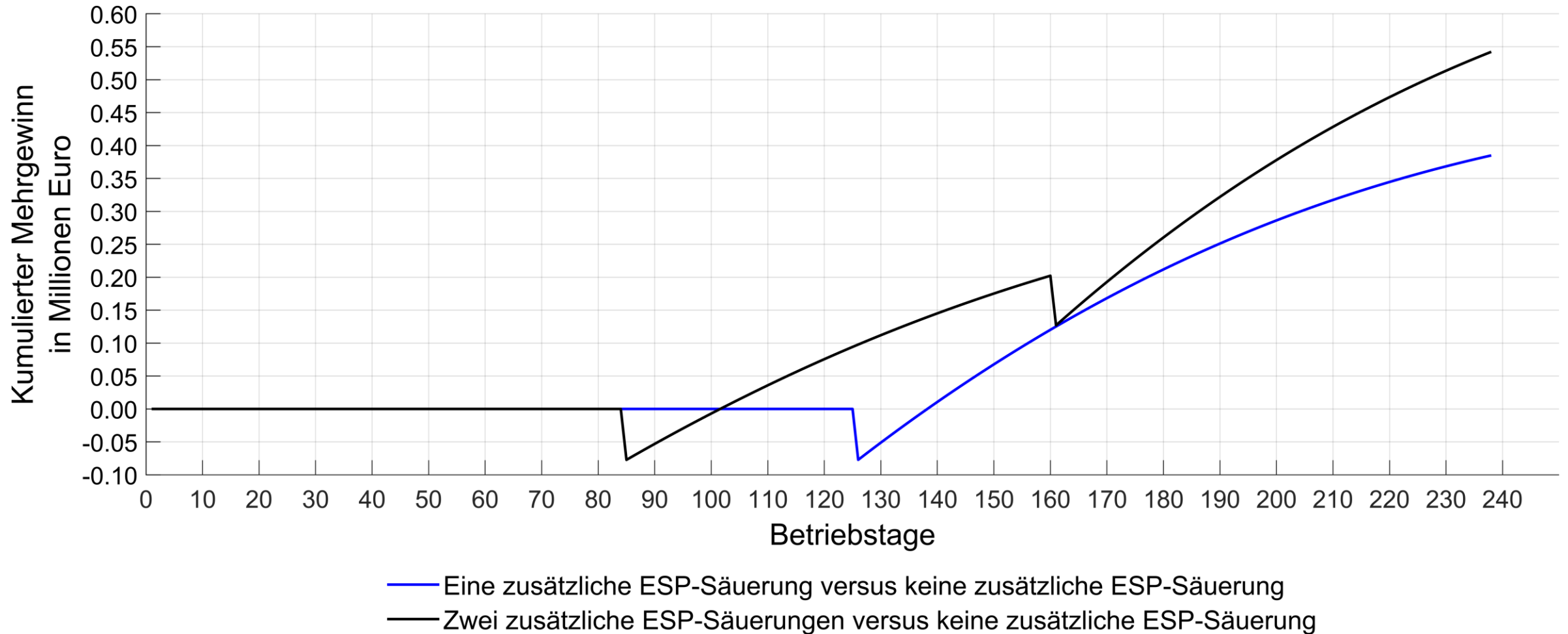
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Kumulierter Mehrgewinn zwei zusätzlicher Säuerungen (1)



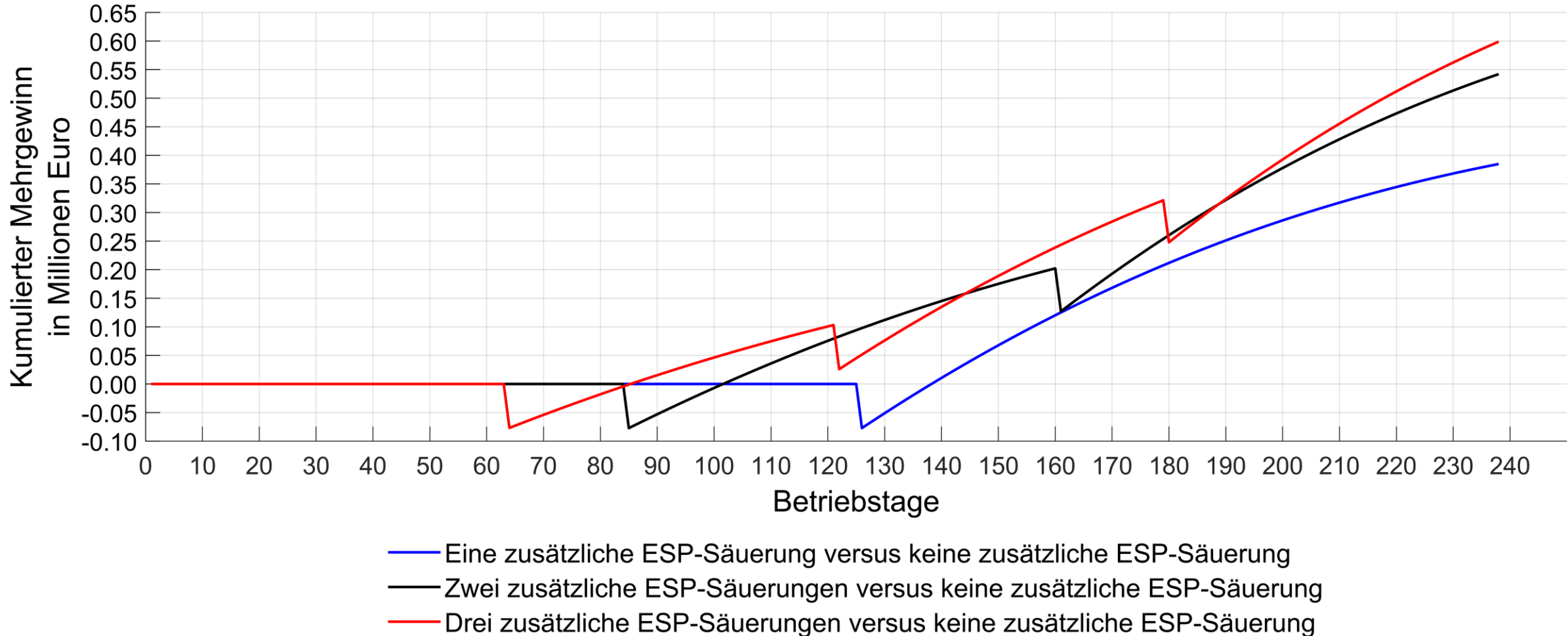
4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Optimaler kumulierter Mehrgewinn verschiedener Säuerungsszenarien (1)



4. Ergebnisse einer Optimierungsrechnung

Optimaler kumulierter Mehrgewinn verschiedener Säuerungsszenarien (2)



Agenda

1. Auswirkungen von Säuerungen auf hydraulischen und elektrischen Kenngrößen von vier untersuchten Tauchkreiselpumpen
2. Methodik der wirtschaftlichen Optimierung des Betriebs von Geothermieranlagen mit Kraftwerken durch zustandsorientierte Säuerungen von Tauchkreiselpumpen
3. Softwareanwendung für die optimierte Instandhaltung von Tauchkreiselpumpen geothermischer Kraftwerke mit Wirtschaftlichkeitsberechnung
4. Beispielhafte Ergebnisse einer Optimierungsrechnung
5. Zusammenfassung

5. Zusammenfassung

Auswirkungen von Säuerungen der Tauchkreiselpumpen auf hydraulische und elektrische Kenngrößen:

- Alle untersuchten Säuerungen zeigten als Auswirkungen
 - einen signifikanten Anstieg von gefördertem Thermalwasservolumenstrom und Förderhöhe,
 - eine signifikante Reduzierung der aufgenommenen elektrischen Leistung und damit auch der massenstromspezifischen elektrischen Leistung und des Gesamtwirkungsgrads.
 - Mit längerer Betriebsdauer zeigten Säuerungen ähnliche relative Anstiege im geförderten Thermalwasservolumenstrom und relative Reduzierungen der massenstromspezifischen aufgenommenen elektrischen Leistung.

Wirtschaftliche Bewertung von TKP-Säuerungen und Optimierung der Säuerungshäufigkeit:

- Eine optimierte Instandhaltung von Tauchkreiselpumpen kann die Wirtschaftlichkeit von Geothermieanlagen verbessern, insbesondere im ersten Betriebsjahr einer Tauchkreiselpumpe.

Das Teilprojekt Monitoring ist Bestandteil des Projekts Geothermie-Allianz Bayern, das mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst gefördert wird.

Bayerisches Staatsministerium für
Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst



Vielen Dank den **SW/M** für die Überlassung von
Betriebsdaten und die gute Kooperation!



Zustandsorientierte Säuerung von Tauchkreiselpumpen hydrothormaler Tiefengeothermieanlagen mit hohen Thermalwasservolumenströmen

Matthäus Irl, M. Sc.

Dr.-Ing. Christoph Wieland

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff

Geothermie-Allianz Bayern

Technische Universität München

Lehrstuhl für Energiesysteme in Kooperation mit



Stadtwerke München

Der Digital Geothermie Kongress 2020, 13. November 2020

