

Untersuchung der Umströmung 1./2. Zug zur optimalen Gestaltung der ersten beiden Kesselzüge

von

Dipl.-Ing. Martin Weghaus, Weghaus GmbH

Dr. Ing. Ragnar Warnecke, GKS GmbH

Dr. Walter Schäfers, Fisia Babcock Environment GmbH

im

Seminar des VDI-Wissensforums

„Beläge und Korrosion, Verfahrenstechnik und
Konstruktion in Großfeuerungsanlagen“

25.-26. April 2006

in Würzburg



Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Auswahl	5
3	Variationsparameter	5
4	Varianten.....	7
5	Auswertung	8
6	Ergebnisse.....	9
6.1	Ebene 1.....	10
6.2	Ebene 5.....	12
7	Zusammenfassung	13
8	Ausblick	13



1 Einleitung

Eine entscheidende Disziplin in der Entwicklung und Konstruktion einer Großfeuerungsanlage ist die Optimierung der Kesselgeometrie.

Dass die Kesselgeometrie das Strömungsfeld beeinflusst ist offensichtlich, aber auch

- die Verbrennung,
- Reaktionen und Korrosion im Kessel,
- Wärmeauskopplung,
- Staubtransport und –ablagerung oder
- die Verweilzeiten

werden wesentlich bestimmt.

Dabei sind viele Einzelheiten mit unterschiedlichsten Zielen zu beachten. Im Bereich des Feuerraumes bestimmt die Anordnung der Zünddecke die Rückstrahlung auf das Müllbett und somit den Abbrand des Mülls. Der Übergang von Feuerraum in den 1. Zug ist ein viel diskutierter Bereich, der die Stabilität und das Profil der Strömung im 1. Zug bestimmt.

Durch den Einsatz von CFD (=computational fluid dynamics / Strömungssimulation) ist es möglich, Vorhersagen über das Verhalten einer Kesselgeometrie zu machen und so den Optimierungsprozess zu unterstützen. Voraussetzung ist aber die kontinuierliche Validierung der angewandten CFD-Methoden durch Messwerte aus ausgeführten Anlagen (z.B. GKS Schweinfurt, MHKW Würzburg).

In der Praxis zeigen sich 5 Optimierungsschwerpunkte.

- Feuerraum
- Eintritt 1. Zug / Sekundärluft
- Umströmung 1./2. Zug
- Umströmung 2./3. Zug
- Anströmung der Wärmetauscherpakete



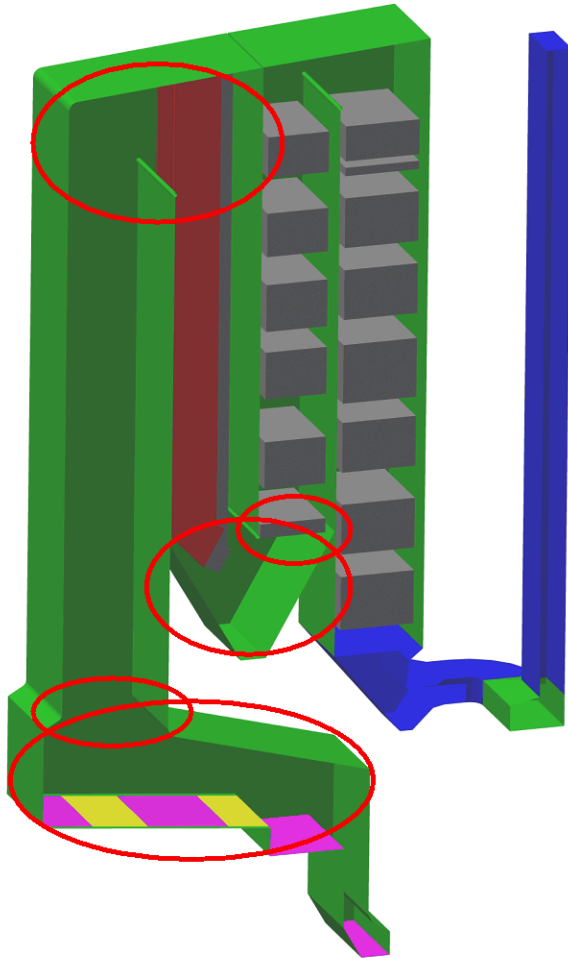


Abbildung 1 / Optimierungsschwerpunkte

Für die Optimierung der Kesselgeometrie ist vor Allem die Erfahrung aus der Praxis notwendig. Strömungsmodelle wie Wasserkasten, 3D-Luftmodell oder eben CFD werden eingesetzt, um die Effekte der Geometrieänderungen bewerten zu können.

Problematisch ist aber, dass jede Änderung neben dem gewünschten Effekt auch an anderen Stellen Veränderungen bewirkt, die eventuell unerwünscht sind. Der Optimierungserfolg basiert auf „Try-and-Error“.

Deswegen wurde das Experiment unternommen, durch eine systematische Variation der Geometrie-Parameter eine optimale Kesselgeometrie zu finden.

Die vorliegende Arbeit zeigt erste Ergebnisse, die die Systematik einer grundsätzlichen Untersuchung zeigen. Die Auswertungen sind noch als vorläufig zu betrachten, da noch Erfahrungen mit der Auswertung der komplexen Einflüsse gewonnen werden müssen.



2 Auswahl

Eine Optimierung des gesamten Kessels ist schon aufgrund der Parametervielzahl unmöglich. Deswegen wurde für ein erstes Experiment der Bereich „Übertritt 1./2. Zug“ ausgewählt.

Dieser Bereich bietet einige Vorteile für ein erstes Experiment:

- die Anzahl der Einflussparameter ist überschaubar,
- die Anströmung ist „beruhig und gleichmäßig“,
- die Abströmung ist nicht behindert.

3 Variationsparameter

Der ausgewählte Bereich wird bestimmt durch:

Geometrische Parameter:

- Deckenwinkel 1. Zug (W_Z1)
- Deckenwinkel 2. Zug (W_Z2)
- Durchtrittshöhe (D_Z1)
- Kröpfung
 - o Winkel (Kr_Z1_W)
 - o Länge (Kr_Z1_L)
- Tiefe 1. Zug (T_Z1)
- Tiefe 2. Zug (T_Z2)



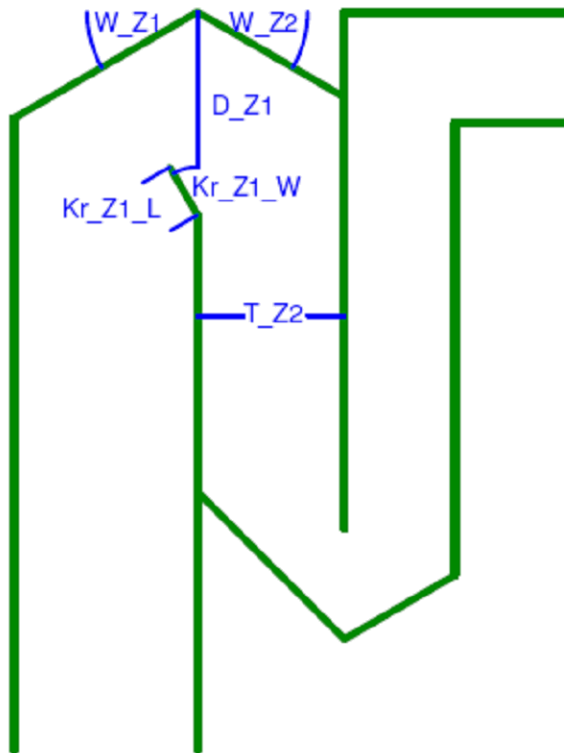


Abbildung 2 / Geometrische Parameter

Verfahrenstechnische Parameter:

- Geschwindigkeitsprofil
- Austritt aus Feuerraum
- Eindüsen
- etc.

Für das Experiment wurden nur die geometrischen Parameter variiert. Die Variation der Verfahrenstechnischen Parameter wurde vorerst zurückgestellt.

Als Verfahrenstechnische Parameter wurden festgelegt:

- gleiche Anströmung am Eintritt 1. Zug
- Volumenstrom und somit die Tiefe des 1. Zuges

Wärmeübergang an die Wände und Strahlungsaustausch wurden berücksichtigt.

Somit verblieben 6 Parameter, die in je 3 Stufen variiert wurden. Dabei ist die mittlere Stufe ein in der Praxis übliches Maß, die beiden weiteren Stufen bilden eine Abweichung nach oben und unten.



Tabelle 1 / Variationsparameter

B_Z1	[m]	6.00		
T_Z1	[m]	4.00		
T_Z2 (relativ zu T_Z1)		0.60	0.40	0.80
Kr_Z1_L	[m]	1.00	2.00	3.00
Kr_Z1_W	[°]	15.00	0.10	30.00
D_Z1	[m]	0.50	0.30	0.70
W_Z1	[°]	20.00	1.00	40.00
W_Z2	[°]	20.00	1.00	40.00

Tabelle 2 / Randbedingungen

T_Z3 :	[m]	3.00
Kr_Z2_L:	[m]	1.00
Kr_Z2_W:	[°]	15.00
D_Z2 :	[m]	3.00
D_Z3 :	[m]	3.00
W_Z3 :	[°]	20.00
W_Z2_B :	[°]	45.00
W_Z3_B :	[°]	45.00
H_Z1 :	[m]	20.00
H_Z2 :	[m]	15.00
H_Z3 :	[m]	15.00

4 Varianten

Aus den 6 Variationsparametern mit je 3 Stufen ergeben sich 729 Varianten.

$$3 \text{ Stufen}^{6 \text{ Parameter}} = 729 \text{ Varianten}$$

Diese sind nicht mit üblichen Arbeitsmethoden zu bewerkstelligen. Die Entwicklung eines parametergesteuerten Netzgenerierers für Vertikalkessel ermöglichte die effiziente Erzeugung der 729 Varianten bei gleichbleibender Netzqualität.

Ebenso wurden Werkzeuge geschaffen, um die Berechnung und Auswertung zu automatisieren.



5 Auswertung

Das Ergebnis der automatischen Auswertung war ein Berg von „bunten“ CFD-Bildern und ein noch größerer Berg an Zahlen. Schnell wurde klar, dass diese Datenflut durch individuelle Auswertung nicht mehr zu bewältigen ist. Deswegen wurde die Statistik bemüht.

Um die statistische Auswertung führen zu können, musste eine Zielgröße definiert werden. Für den untersuchten Bereich sind mehrere Optimierungskriterien möglich, wie z.B.

- gleichförmige Strömung
- Durchmischung/Impuls
- Wärmeübergang
- Staub-Ablagerung / Abrasion
- Verweilzeit

Für die vorliegende Auswertung wurde die „gleichförmige Strömung“ als Kriterium gewählt. Ein gleichmäßig durchströmter Kesselzug wird auch eine bessere Wärmeauskopplung haben als z.B. Bei einer extremen Schiefelage.

Es wurden 5 Messebenen definiert, in denen die Geschwindigkeit mit einer „Netzmesung“ mit Raster 7*7, also je 49 Messpunkten aufgenommen wurde.



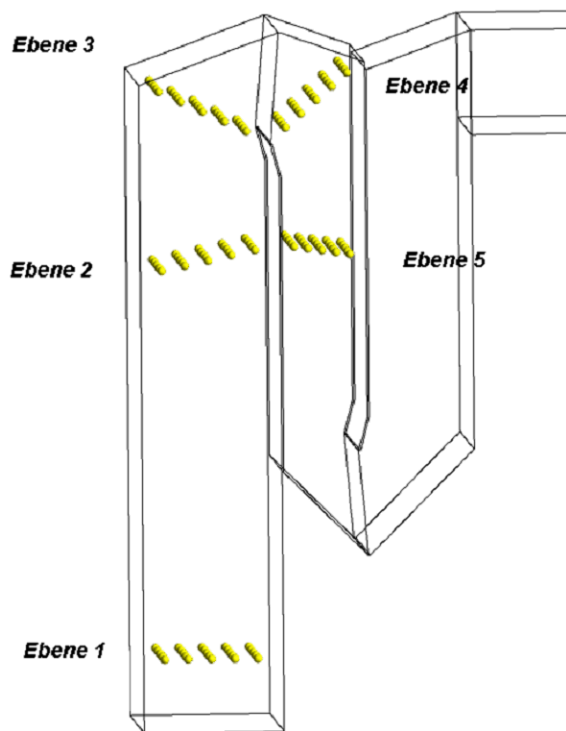


Abbildung 3 /Messebenen

Für die einzelnen Messebenen wurden der Mittelwert, die Standard-Abweichung und die Varianz ermittelt.

6 Ergebnisse

Die so gewonnenen Daten wurden nach mehreren Methoden ausgewertet. Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf einem reduzierten Datensatz. Es wurden Varianten, bei denen Geschwindigkeiten > 15 m/s auftraten, nicht betrachtet, da diese Geschwindigkeiten in der Praxis vermieden werden. Die Auswertung mit dem vollen Datensatz zeigt aber keine wesentlichen Unterschiede.

Wesentlich für die weiteren Betrachtungen ist die Signifikanz der gewonnenen Daten. So wäre es durchaus denkbar, dass die gefundene einer zufälligen Verteilung ähnlich wäre. Somit wäre das Experiment gescheitert. Aber die Auswertung belegt eine „hohe Signifikanz“, so dass die weiteren Auswertungen auch sinnvoll waren.



Eine weitere Frage ist, ob es Vorzugsparameter gibt, die das Ergebnis beeinflussen. Hier konnte ein klares Ranking der Parameter hinsichtlich der einzelnen Ebenen gegeben werden (siehe Tabelle 3). Treten Parameter im Ranking nicht auf, so ist deren Einfluss nicht darstellbar.

Tabelle 3 / Ranking

Ranking	1	2	3	4	5	6
Ebene 1	Kr_Z1_L	Kr_Z1_W	D_Z1	T_Z2	W_Z1	
Ebene 2	Kr_Z1_W	D_Z1	Kr_Z1_L	T_Z2	W_Z1	
Ebene 3	W_Z1	Kr_Z1_W	Kr_Z1_L	D_Z1		
Ebene 4	D_Z1	W_Z2	T_Z2	Kr_Z1_W	W_Z1	
Ebene 5	T_Z2	D_Z1	W_Z1	Kr_Z1_W	Kr_Z1_L	W_Z2

Als letztes wurde die Frage nach der optimalen Geometrie gestellt. Hier konnten hinsichtlich der einzelnen Ebenen Optima angegeben werden.

Nachfolgend werden beispielhaft die Ergebnisse von Messebene 1 und 5 dargestellt. Es ist jeweils die „Empfehlung“ der Statistik und der „worst-case“ dargestellt.

(Die dargestellten Stromlinien sind Projektionen auf die Mittelfläche, weswegen teilweise sehr eckige Verläufe dargestellt sind. Diese kommen von Strömfäden, die schräg in die Mittelfläche ein- oder austreten.)

6.1 Ebene 1

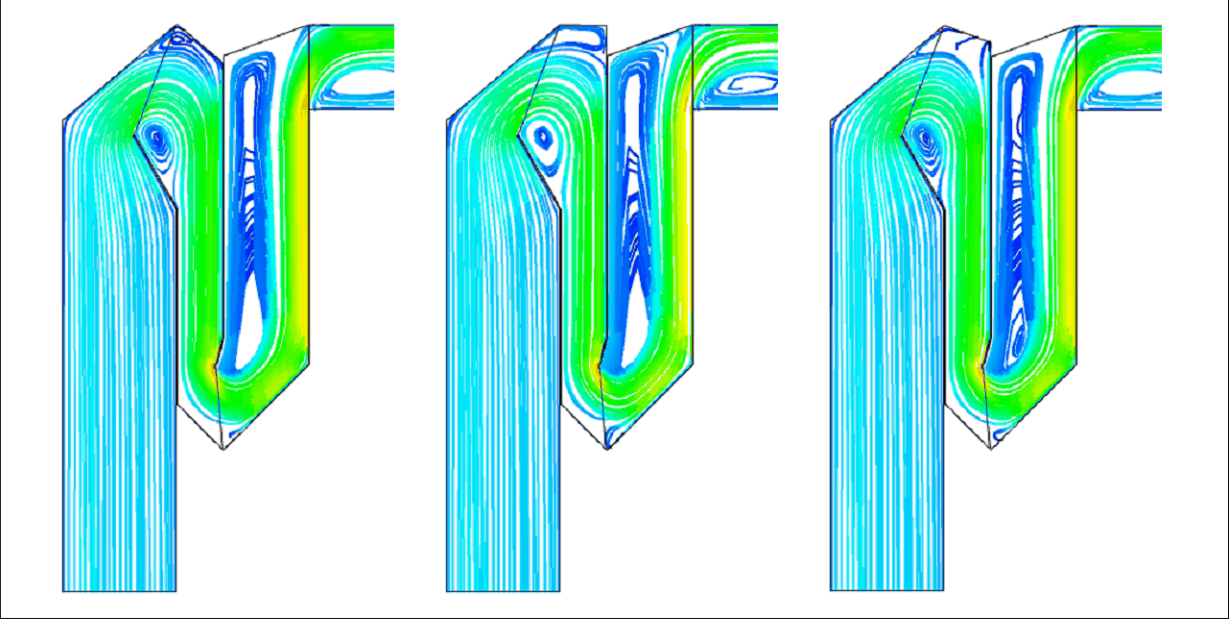
Ebene 1 beschreibt die Strömung kurz nach Eintritt in den 1. Zug.

Der Einfluss der Parameter auf eine Ebene weit vor den Ereignissen wurde zu Beginn des Experiments nicht erwartet. Aber es zeigt sich doch eine erhebliche Beeinflussung.

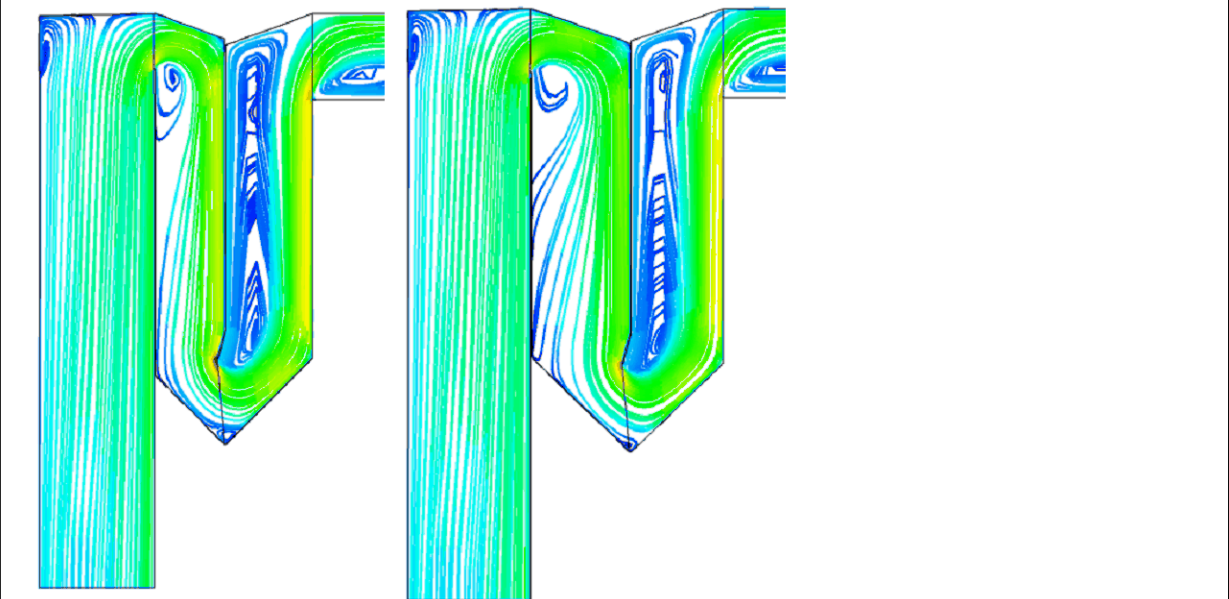


Empfehlung

Ranking : 1. Kr_Z1_L 2. Kr_Z1_W 3. D_Z1 4. T_Z2 5. W_Z1



worst-case



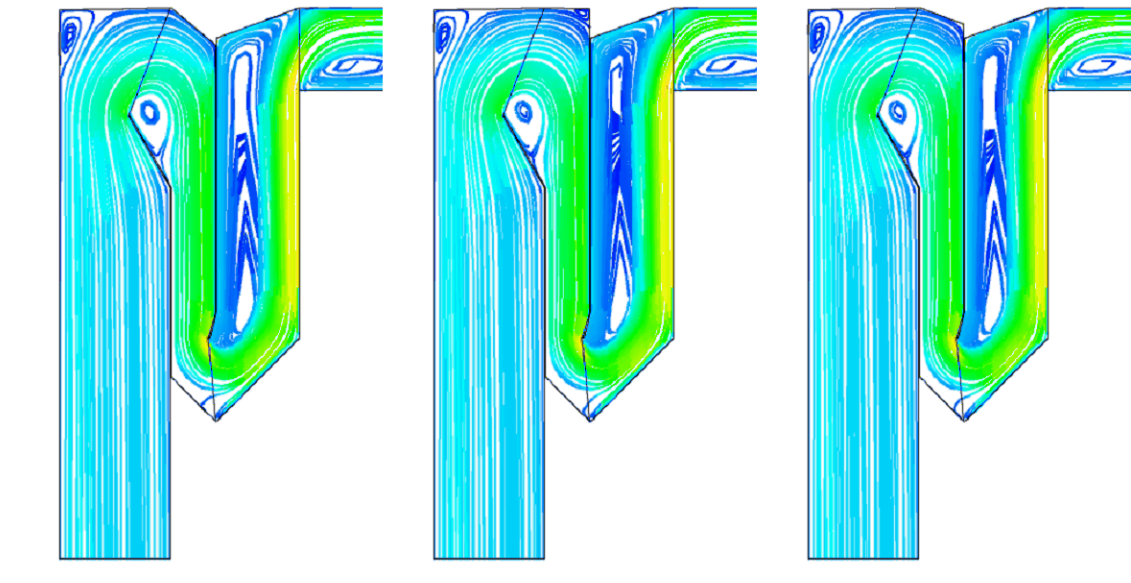
6.2 Ebene 5

Ebene 5 beschreibt die mittlere Strömung im 2. Zug.

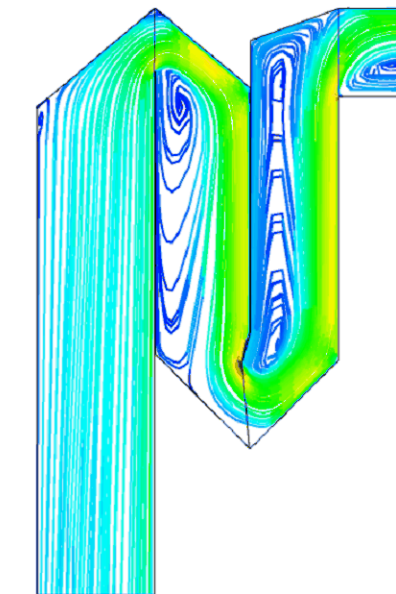
Ebene 5 wird erwartungsgemäß von allen Parametern beeinflusst. Der Einfluss des Deckenwinkels 2. Zug ist aber gering. Der worst-case gibt auch die ingenieurmäßige Einschätzung wieder.

Empfehlung

Ranking : 1. T_Z2 2. D_Z1 3. W_Z1 4. Kr_Z1_W 5. Kr_Z1_L 5. W_Z2



worst-case



7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde bisher nur die Strömung betrachtet. Es gibt aber noch weitere Betrachtungen, die in künftigen Arbeiten behandelt werden.

Die vorliegenden „Empfehlungen“ können nicht direkt in die Praxis umgesetzt werden, da die gewählten Stufen bewusst grob gewählt waren. So ist z.B. die vorgeschlagene Kröpfung im 1. Zug derart nicht realisierbar, da z.B. Befahreinrichtungen nicht mehr einsetzbar wären.

Wesentliches Ergebnis des Experimentes ist das Ranking der Parameter. So kann bei Optimierungen diesen Parametern verstärktes Interesse gegeben werden.

Weiterhin wurde gezeigt, dass ein Vertrimmen einzelner Parameter Einfluss auf den gesamten Kessel hat. Dies kann in der Praxis ein bewussteres Ändern der Geometrie bewirken.

8 Ausblick

Das vorliegende Experiment wurde bisher nur nach einem Hypothesen-Satz ausgewertet. Bei weiteren Auswertungen können z.B. der Einfluss der Messebene oder die Beeinflussung der Wärmeauskopplung berücksichtigt werden.

Als Ergänzung zum vorliegenden Experiment werden zunächst die vorliegenden Geometrien mit modifizierten verfahrenstechnischen Parametern simuliert.

Danach wird sicher eine verfeinerte Abstufung einzelner Parameter sinnvoll sein.

Die Untersuchung weiterer Bereiche ist angedacht.

