

Schlussbericht zum Teilvorhaben:**„Simulationswerkzeuge zur Prozessführung und Parametrierung sowie Realisierung der gas- und drucktechnischen Anlagensicherheit“****der BTI Technologieagentur Dresden GmbH im Rahmen des innovativen regionalen Wachstumskerns IKON**

Förderkennzeichen: 03WKM01D

Inhalt

1.1.	Aufgaben- und Zielstellungen	2
1.2.	Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens	3
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	5
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand	5
1.4.1.	Verwendete Fachliteratur:.....	6
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
2.	Ergebnisdarstellung	9
2.1.	Erzielte Ergebnisse.....	9
2.1.1.	Modellbildung und Simulation.....	9
2.1.2.	Gasanlage	21
2.1.3.	Messtechnik.....	23
2.1.4.	Gaslösung	24
2.1.5.	Produktsicherheit	24
2.1.6.	Projektmanagement – Controlling	26
2.2.	Voraussichtlicher Nutzen hinsichtlich der Ergebnisverwertung.....	27
2.2.1.	Modellbildung und Simulation.....	28
2.2.2.	Gasanlage	28
2.2.3.	Messtechnik.....	28
3.	Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	29
4.	Geplante Veröffentlichungen	29
5.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	30

1.1. Aufgaben- und Zielstellungen

Gegenstand des Forschungsvorhabens im Innovativen Regionalen Wachstumskerns IKON sowie den angeschlossenen Teilprojekten IKON 1 bis 5 war die Entwicklung einer neuartigen, nichtthermischen Technologie (Druckwechselverfahren) zur Reduzierung mikrobieller Belastungen in flüssigen Matrices, insbesondere im Food- und Pharmabereich.

Im Rahmen dieses Projektes bearbeitete die BTI Technologieagentur Dresden GmbH ein Teilvorhaben, welches sich in die Hauptbereiche:

- Modellierung und Simulation der Prozessführung und Parametrierung der Druckwechseltechnologie (IKON 1)
- Verifizierung geeigneter Messmethoden zur CO₂- und N₂-Gelöstgasbestimmung unter Prozessbedingungen (IKON 3)
- Untersuchungen zur homogenen Verteilung der Gelöstgaskonzentration und der Vermeidung von Gasblasen in die Zuleitung zur Entspannung (IKON 3)
- Untersuchung der sicherheitstechnischen Rahmenbedingungen und Implementierung Sicherheitsregime der Gasanlage und Messtechnik (IKON 3 und 5)

gliederte.

Darüber hinaus nahm die BTI im Rahmen des Gesamtvorhabens IKON den Management-Aufgabenbereich des Projektcontrollings wahr.

Der Aufgabenbereich Modellierung und Simulation war von der Datenerfassung der aus den labor- und kleintechnischen Versuchen gewonnenen Daten, der Beschreibung prozesstechnischer Zusammenhänge für das Druckwechselverfahren mittels Kennzahlen, der Identifikation von äußeren Einflussgrößen und der Bestimmung optimaler, auf die untersuchten Surrogatorganismen und die zu behandelnden Matrices bezogenen Prozessfenster gekennzeichnet.

Die Aufgabenstellungen zur Gas- und Anlagensicherheit beinhalteten Teilaspekte des auf die kleintechnische Anlage bezogenen messtechnischen Systems, des gastechnischen Teilbereiches und der technischen Adaption der gas- und sicherheitstechnischen Anlagenbedingungen auf ein später durchzuführendes Scale up des Anlagenkonzeptes auf großtechnische Erfordernisse. Im Ergebnis hierfür wurde in Zusammenarbeit mit anderen Kooperationspartnern und externen Partnern eine Messtechnikstrategie entwickelt, die den verfahrenstechnischen Erfordernissen

und den Bedingungen für die weitergehenden labortechnischen Untersuchungen entspricht. Die Gasanlage für den Einsatz im großtechnischen Maßstab wurde konzeptionell erstellt. Es wurden Richtlinien zur Anlagenkonstruktion und -optimierung hinsichtlich der Einschränkung bzw. Beseitigung von Rekontaminierungsrisiken für das zu behandelnde Produkt erarbeitet. Weiterhin wurden im Rahmen der Identifikation von verfahrensbedingten Einflussfaktoren auf die Produktsicherheit Probleme des Schäumens komplexer Produkte wie Pflanzensäften usw. und Möglichkeiten zur Entschäumung/Schaumbrechung mittels mechanischer Systeme auf ihre Anwendbarkeit für die Druckwechseltechnologie untersucht.

Die Aufgaben im Rahmen der Untersuchungen zur homogenen Verteilung der Gelöstgaskonzentration und der Vermeidung von Gasblasen in die Zuleitung zur Entspannung wurden in Zusammenarbeit mit der GM Gera GmbH verschiedene technische und konstruktive Lösungsmöglichkeiten anhand von Kriterien wie:

- technischer Aufwand und Risiken
- Wirkungsgrad
- Reinigungsfähigkeit
- Einfluss auf Druckverhältnisse (und damit Lösungsbedingungen für das Gas) im System

diskutiert und eine entsprechende Vorzugsvariante (Kaskadenbleche zur Gas-/Flüssigkeitsmischung) ausgewählt und in der kleintechnischen Anlage umgesetzt.

Schwerpunkte des Projektmanagementbereiches Controlling waren neben der Unterstützung der Kooperationspartner hinsichtlich der Abrechnungsmodalitäten gegenüber dem Projektträger PTJ - TRI u.a die Unterstützung der Projektleitung bei der Organisation und Durchführung von Öffentlichkeitsarbeit (Messen, Internet) und der Ansprache potenzieller Industriepartner und Multiplikatoren.

1.2. Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens

Das Vorhaben wurde unter den Bedingungen der Einbindung in den Arbeitsfortschritt der Wachstumskern-Teilprojekte IKON 1, 3 und 5 durchgeführt. Notwendig hierfür war die Verfügbarkeit der entsprechenden Untersuchungsdaten, mit deren Hilfe die verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen für die Druckwechseltechnologie abgesteckt wurden. Diese Bereiche wurden durch IBN/edecto, INC, SIAB, dem Institut für pharmazeutische Technologie der Universität Leipzig und in

eingeschränktem Umfang dem Institut für Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik der TU Dresden bearbeitet.

Modellbildung:

Für die Modellbildung, die sich ebenso wie die Laboruntersuchungen vorrangig auf die vier Surrogatorganismen *Pseudomonas fluorescense*, *Lactobacillus brevis*, *Saccharomyces cerevisiae* und *Escherichia coli* konzentrierte, waren die verfahrensspezifischen Rahmenbedingungen:

- Behandlungszeit,
- Druckarbeitsbereiche und deren Veränderliche
- Verfahrenstemperaturbereiche
- Eingesetztes Gas
- Entspannungsregime

von Bedeutung.

Weitere Einflussgrößen wie das Alter der Mikroorganismen die Ausbildung eventueller mikrobieller Resistenzen gegenüber der Druckwechselbehandlung sowie die Möglichkeiten einer Gemischtgasbehandlung spielten in Modellierung keine Rolle.

Messtechnik und Gaslösung:

Es bestand verfahrenstechnisch die Notwendigkeit, zeitnah die Menge und das Anreicherungsverhalten von gelöstem Prozessgas in der Flüssigkeit zu bestimmen. Diese Aufgabenstellungen wurden durch folgende Rahmenbedingungen bestimmt:

- Als Prozessgase wurden je nach Anwendungsfall CO₂ und N₂ eingesetzt. Weiterhin wurden Versuche mit Edelgasen wie He und Ar sowie N₂O im Zuge der Parametervariationen des Druckwechselprozesses und der Ergebnisverbesserung im Bereich der erzielbaren Inaktivierungsraten durchgeführt. Im Endeffekt wurde die Erkenntnis gewonnen, dass der Einsatz von Distickstoffmonoxid die besten Ergebnisse hinsichtlich der Mortalität erzielt
- Eine weitere wesentliche Besonderheit bzw. Anforderung an das einzusetzende Messverfahren stellt die Druckbeaufschlagung der Anlage im Verfahren bis 500 bar je nach Anwendungsfall dar.

Gasanlagentechnik:

Die Aufgabenstellungen in diesem Projektbereich umfassten die Integration und Anpassung der Gasperipherie und der Messtechnik an die Demonstrationsanlage, die Untersuchung entsprechender Verfahrensparameter wie Gasverlust, Gaszusammensetzung in Abhängigkeit von der Zeit und die Regelzustände für bestimmte Prozessveränderungen im Betriebszustand.

Produktsicherheit:

Schwerpunkte der Untersuchungen waren die Anforderungen aus der pharmazeutischen Technologie, welche den obersten Forderungsbereich für die verfahrenstechnischen Parameter hinsichtlich der geforderten Produktqualität und der Produktsicherheit beschreiben. Im Mittelpunkt der Arbeiten stand die Suche und Identifikation von Rekontaminationsrisiken.

Schwerpunkte der Arbeit:

- Unsterilisationsrisiken in der Anlage
- Potenzielle Rekontaminationsquellen und deren Vermeidung bzw. Beseitigung
- Gefährdungspotenziale für den mikrobiellen Verderb bei Fruchtsäften
- Veränderungen im Produkt durch die DWT-Behandlung
- Kriterien für eine qualitative Stabilität des behandelten Produktes über einen längeren Zeitraum

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung und Realisierung der einzelnen Aufgabenstellungen hing von den Bearbeitungsfortschritten und erzielten Ergebnissen der entsprechenden Kooperationspartner in den Teilprojekten IKON 1, 3 und 5 ab. Die Arbeiten wurden im Regelfall im Rahmen der Planungszeiträume durchgeführt. Änderungen und Verschiebungen, welche die direkte Arbeitsplanung der BTI betrafen, wurden durch den Ausfall der IBN GmbH und dem damit zusammenhängenden Wechsel der edecto GmbH in Netzwerk und durch eine verzögerte Fertigstellung der kleintechnischen Anlage hervorgerufen. Allerdings konnten diese Änderungen im Rahmen der kooperativen Zusammenarbeit entsprechend kompensiert werden.

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Das Druckwechselverfahren ist ein neu entwickeltes kaltes Verfahren zur Keimabtötung in flüssigen Lebensmitteln. Erste prinzipbezogene Ansätze wurden

durch Hayashi R.: Utilization of pressure in addition to temperature in food science and technology; Eurotext Ltd; 224; 1992; S.185-193 beschrieben. Allerdings beschränkt sich dieser Ansatz auf den Einsatz von CO₂ unter moderatem Druck und einer damit verbundenen Schnellentspannung. Ob eine weitergehende Verfahrensuntersuchung und -adaption wie im Projekt IKON durchgeführt wurde, ist nicht bekannt. Der Ansatzpunkt für die Modellbildung der Inaktivierungskinetik und deren Berechnungsgrundlagen wurde an die Veröffentlichungen von Bliem und Nowak et.al. angelehnt.

1.4.1. Verwendete Fachliteratur:

Verfahrenstechnik:

- Einflussfaktoren auf die Effektivität von Pasteurisations- und Sterilisationsverfahren, Chemie Ingenieur Technik, Kopf, K. K. Pardey, H. P. Schuchmann, Wiley-Verlag 2004
- Abtötung von Mikroorganismen durch verdichtetes Kohlendioxid, Reiner Daiminger. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2005
- Ultraschall-Kombinierte Prozessführung bei der Pasteurisierung und Sterilisierung flüssiger Lebensmittel, Marco Zenker, Dissertation, TU Berlin, 2004
- Literatur- und Internetrecherche zum Thema Schaum, Ingenieurbüro für Angewandte Strömungsmechanik Hans-W. Mindt und Wolfgang Ottow GbR
- Schaum und Schaumzerstörung – ein Überblick. Chem.-Ing.-Tech. 67 Pahl, M.H.; Franke, D.: (1995) Nr. 3, S. 300-312
- Auslegung und Dimensionierung eines mechanischen Schaumzerstörers. Chem.-Ing.-Tech. 56, Zlokarnik, Marko: (1984) Nr. 11, S. 839-844
- Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies, U. S. Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition June 2, 2000
- Hayashi R.: Utilization of pressure in addition to temperature in food science and technology; Eurotext Ltd; 224; 1992; S.185-193

Modellbildung:

- Matlab und Simulink, grundlegende Einführung, Ottmar Beucher, Pearson Studium 2002

- Matlab-Simulink-Stateflow; Grundlagen, Toolboxen, Beispiele; Angermann, Beuschel, Rau, Wohlfarth, Oldenbourg Wissenschaftsverlag 2005
- Stofftransport und Makrokinetik, Prof. Dr. Axel Brehm, Universität Oldenburg
- Numerische Simulation der Inaktivierung von *Bacillus subtilis* α -Amylase durch Hochdruckbehandlung, Abschlussbereich zum Projekt 2238, Hartmann, Özmutlu, Delgado, Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation, TU München,
- Der Systembeobachter, ein Ansatz für komplexe chemisch-/verfahrenstechnische Prozesse, Otmar Lorenz, Dissertation, TU Darmstadt, 2003
- Bliem, R., Nowak., W.G. (2004): Mathematische Beschreibung von keimtötenden Verfahren. Erstellung von Modellen mittels EXCEL. Wiss. Nachr. BM BiWissKu, 126, 29-33.

Messtechnik:

- Relative Dielektrizitätskonstante (DK-Werte) für flüssige und feste Medien, Endress+Hauser Messtechnik GmbH+Co. KG 1999
- Spezielsenoren für die Automation, Füllstandsüberwachung, Prospekt 2005/2006, EGE-Elektronik Spezial-Sensoren GmbH

Anlagentechnik:

- Fluidodynamik in Rührkesseln, Prof. Dr.-Ing. Dietmar C. Hempel, Institut für Bioverfahrenstechnik, TU Braunschweig

Gastechnik:

- BGR 500, Betreiben von Arbeitsmitteln, Teil 2, Kap. 2.31 - Arbeiten an Gasleitungen, Stand Januar 2005
- BGR 500, Betreiben von Arbeitsmitteln, Teil 2, Kap. 2.33, Betreiben von Anlagen für den Umgang mit Gasen
- TRG 100, Technische Regeln Druckgase, VSGA 5/98
- TRG 280, Technische Regeln Druckgase Allgemeine Anforderungen an Druckgasbehälter; Betreiben von Druckgasbehältern 10/1995
- Lehrbuch der Physikalischen Chemie, Gerd Wedler 4. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 1997

Produktsicherheit:

- Sicherheitsbewertung des Hochdruckverfahrens, DFG – Senatskommission zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln
- Mikrobiologie der Lebensmittel – Getränke, Helmut H. Dittrich, B. Behr`s Verlag GmbH & Co., Auflage 1993

Informations- und Dokumentationsdienste:

- Online-Patenrecherchedienst DEPATIS-net
- Fachinformation Technik
- Informationsdienst der Sächsischen Landes- und Universitätsbibliothek SLUB

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und externen Partnern stellt sich wie folgt dar:

Projektpartner:

IBN GmbH/edecto GmbH	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisverwertung der Laborversuche und der kleintechnischen Anlage zur Modellbildung • Anlagenkonzeption • Messtechnische Auslegung • Gastechische Anlagenkonzeption
INC GmbH	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisverwertung der Laborversuche und der kleintechnischen Anlage zur Modellbildung
GM Gera GmbH	<ul style="list-style-type: none"> • Anlagenkonzeption und -anpassung • Messtechnische Auslegung • Gastechische Anlagenkonzeption
TU Leipzig, Institut für pharmazeutische Technologie, später Universität Hamburg Institut für Pharmazie	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsbedingungen für Pharmazeutika

Tabelle 1: Projektkooperationen

Zusammenarbeit mit externen Stellen:

Media-Interface GmbH, Dresden	<ul style="list-style-type: none"> • Modellbildung und Simulationsgrundlagen
SensoTech GmbH	<ul style="list-style-type: none"> • Ultraschall-Messtechnik
Drugema GmbH Drucklufttechnik & Kompressoren	<ul style="list-style-type: none"> • Druckbehälter, Druckerzeugung

Tabelle 2: Externe Kooperationen

2. Ergebnisdarstellung

2.1. Erzielte Ergebnisse

2.1.1. Modellbildung und Simulation

Kernpunkt der Arbeit an der Prozessmodellierung war die Verarbeitung der experimentell bei den Netzwerkpartnern gewonnenen Daten zur Inaktivierung und zu den dazu gehörenden Rahmenbedingungen zur Vorhersage und Gewinnung von Erwartungswerten. Dies war insbesondere ein wichtiger Faktor, da zwar bestimmte Prozessparameter mit Sensoren und angepasster Messtechnik relativ zeitnah gemessen werden konnten, bestimmte Aussagen über Qualitätsmerkmale wie eben die erzielte Inaktivierungsrate nur in Laborversuchen unter entsprechend hohen Aufwendungen und mit den unvermeidbaren Fehlereinflüssen durchgeführt werden konnten.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse haben sich gewisse Vorzugs-Verfahrensbedingungen für die einzelnen zu behandelnden Matrices herauskristallisiert (Temperaturerhöhung auf 40°C bzw. Absenkung auf 10°C, Optimierung des Entspannungsregimes, Prozessgasvariationen usw.).

Einflussfaktoren

Betrachtung für reinen Druckwechselprozess

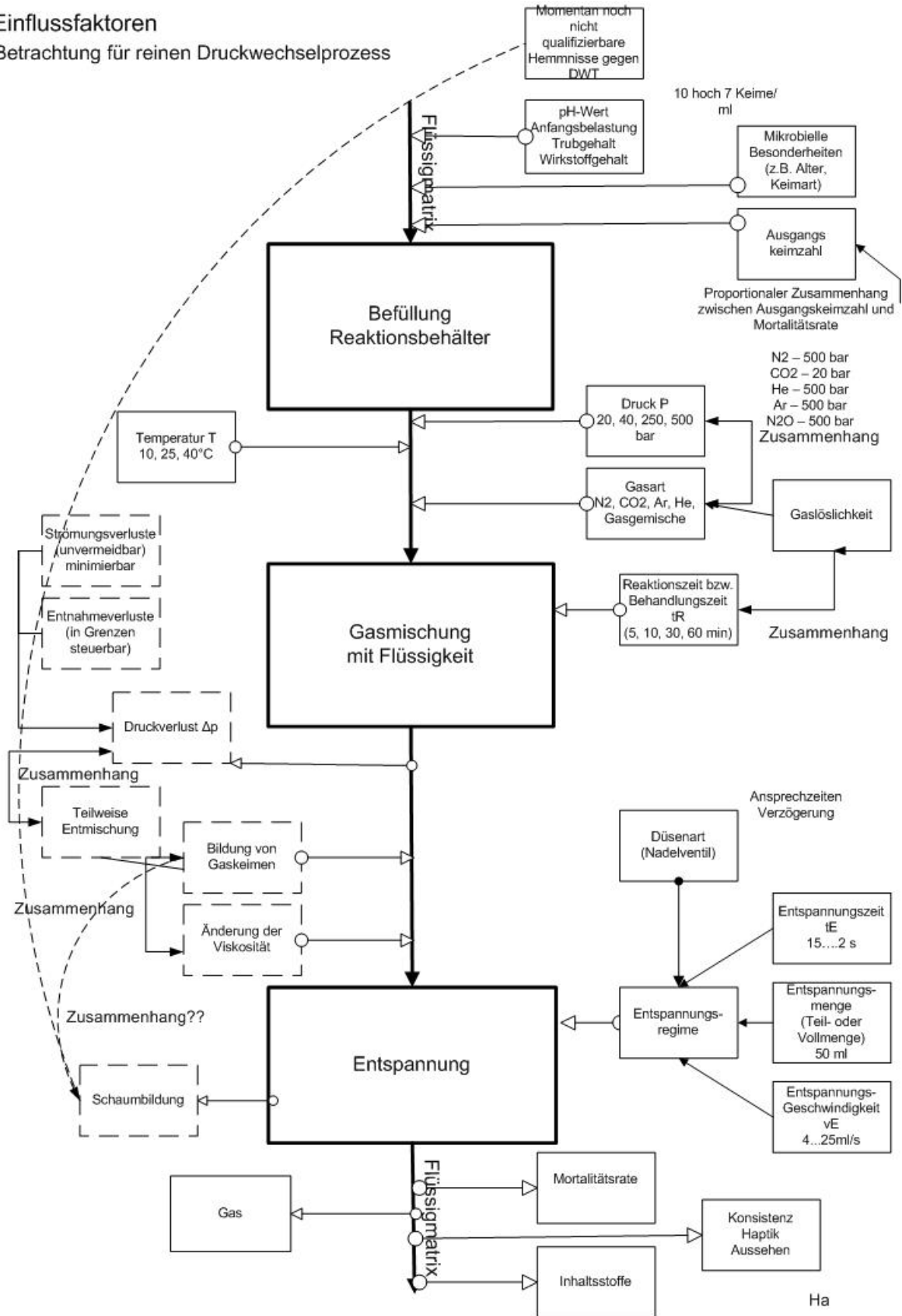


Abbildung 1: verfahrenswirksame Einflussfaktoren auf den Druckwechselprozess

Wichtig für die Prozessmodellierung war die Vorhersage, wie sich die Inaktivierungsraten innerhalb der durch die entsprechenden Laborergebnisse erlangten Eckdaten darstellten. Dazu wurde zuerst eine lineare, stark vereinfachte Beziehung und als nächster Schritt ein nichtlinearer Kurvenverlauf zwischen den Eckpunkten angenommen. Mit Hilfe entsprechender Berechnungsgrundlagen wurden aus diesen Annahmen heraus für die einzelnen, durch Laborwerte untermauerten Inaktivierungsraten entsprechende Zusammenhänge für zu erwartende Zwischenwerte für die Inaktivierungsraten berechnet. Dabei lag die Auswahl der genutzten Parameter auf den verfahrenstechnischen Bedingungen, welche im direkten Vergleich die höchsten Mortalitätsraten erzielen konnten und somit direkt als verfahrenstechnisch relevant einzustufen waren.

	Phosphatpuffer	Apfelsaft	Spitzwegerich- kaltsaft	.Artischocke	Nährbouillion
<i>L. Brevis</i> T = 10...40°C t = 5...60 min p = 500 bar Gas N ₂ /N ₂ O	X	X			
<i>E. Coli</i> T = 10...40°C t = 5...60 min p = 500 bar Gas N ₂ /N ₂ O	X	X			
<i>P. Fluorescence</i> T = 10...40°C t = 5...60 min p = 500 bar Gas N ₂ /N ₂ O	X				
<i>S. Cerevisiae</i> T = 10...40°C t = 5...60 min p = 500 bar Gas N ₂ /N ₂ O	X	X			
GKZ in CFU/ml t = 0...60 min T = 25...40°C p = 500 bar Gas N ₂				X	
GKZ in CFU/ml t = 0...60 min T = 25...40°C p = 250 bar Gas N ₂			X		
GKZ in CFU/ml t = 20...120 min p = 50...500 bar T = 25°C Gas N ₂					X

Tabelle 3: Für variierte Verfahrensbedingungen DWT durchgeführte Berechnungen

Ergebnisse

Alle folgenden Ergebnisse beruhen auf den in den entsprechenden Laborversuchen erzielten Inaktivierungsraten.

Bemerkenswert ist der Umstand, dass *L. Brevis* ein unterschiedliches Verhalten, bezogen auf die Verfahrensparameter, im Vergleich zu den anderen Surrogatorganismen aufweist.

Die Inaktivierungsspitze liegt hier bei 25°C und einer sehr kurzen Behandlungszeit (5 min), während die Inaktivierungsspitzen der anderen 3 Surrogatorganismen in relativ ähnlichem Kurvenverlauf bei 10°C/40°C und einer Behandlungszeit von 60 min liegen.

Diese Herangehensweise war allerdings für eine umfassende Beschreibung der Inaktivierungsvorgänge nur unzureichend geeignet, so dass weitere Modellvertiefungen notwendig wurden.

Beispiel:**Berechnung der linearen und nichtlinearen Beziehungen am Beispiel *L. brevis* (Temperatur-Behandlungszeit-Beziehung)**

Annahme von linear vereinfachten Zwischenwerten:

T/t	5	15	20	30	40	50	60
10	0,300	0,300	0,300	0,300	0,283	0,267	0,250
15	0,467	0,435	0,419	0,387	0,381	0,376	0,370
20	0,633	0,569	0,537	0,473	0,479	0,484	0,490
25	0,800	0,704	0,656	0,560	0,577	0,593	0,610
30	0,700	0,603	0,554	0,457	0,473	0,490	0,507
35	0,600	0,501	0,452	0,353	0,370	0,387	0,403
40	0,500	0,400	0,350	0,250	0,267	0,283	0,300

Nichtlineare Zwischenwerte:

T/t-Diagramm	5,00	6,11	9,37	14,49	21,08	28,59	30	36,41	43,92	50,51	55,63	58,89	60,00
10,00	0,2997	0,3001	0,3002	0,2996	0,3004	0,2997	0,2960	0,2917	0,2835	0,2746	0,2671	0,2581	0,2500
10,61	0,4019	0,3938	0,3857	0,3777	0,3694	0,3534	0,3533	0,3464	0,3394	0,3326	0,3254	0,3186	0,3116
12,38	0,5026	0,4863	0,4701	0,4548	0,4374	0,4064	0,4059	0,4001	0,3943	0,3897	0,3827	0,3782	0,3722
15,18	0,5940	0,5950	0,5699	0,5461	0,5239	0,4979	0,4517	0,4471	0,4422	0,4395	0,4327	0,4302	0,4250
18,77	0,7069	0,7084	0,6741	0,6416	0,6116	0,5757	0,5129	0,5098	0,5063	0,5061	0,4997	0,4998	0,4958
22,87	0,7950	0,7974	0,7545	0,7144	0,6783	0,6331	0,5565	0,5643	0,5715	0,5838	0,5865	0,5994	0,6058
25,00	0,8000	0,7512	0,7029	0,6585	0,6051	0,5621	0,5600	0,5679	0,5752	0,5877	0,5905	0,6035	0,6100
27,13	0,7510	0,7533	0,7098	0,6692	0,6325	0,5867	0,5090	0,5170	0,5242	0,5368	0,5396	0,5526	0,5591
31,23	0,7035	0,7059	0,6619	0,6209	0,5839	0,5376	0,4591	0,4671	0,4745	0,4871	0,4899	0,5030	0,5096
34,82	0,6436	0,6459	0,6022	0,5614	0,5245	0,4785	0,4004	0,4082	0,4153	0,4278	0,4303	0,4432	0,4496
37,62	0,6067	0,6092	0,5645	0,5227	0,4851	0,4380	0,3581	0,3662	0,3736	0,3864	0,3891	0,4024	0,4090
39,39	0,5457	0,5482	0,5037	0,4622	0,4248	0,3780	0,2986	0,3065	0,3136	0,3262	0,3287	0,3417	0,3481
40,00	0,5000	0,4575	0,4155	0,3778	0,3303	0,2522	0,2500	0,2579	0,2652	0,2778	0,2804	0,2935	0,3000

Ergebnisse mit Surrogatorganismen linear (Beispiel):

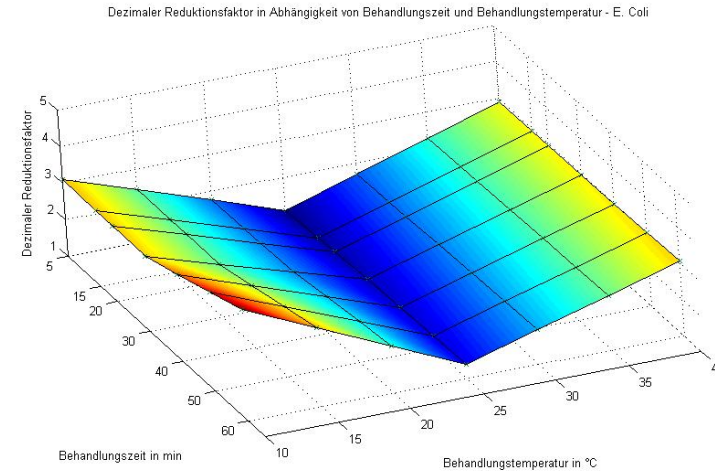
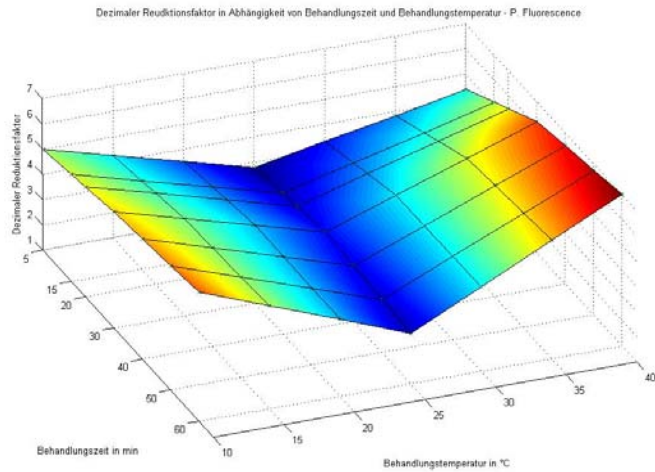


Abbildung 2: Inaktivierungsverhalten P. Fluorescence (500bar, N₂)

Abbildung 4: Inaktivierungsverhalten E. Coli (500 bar, N₂)

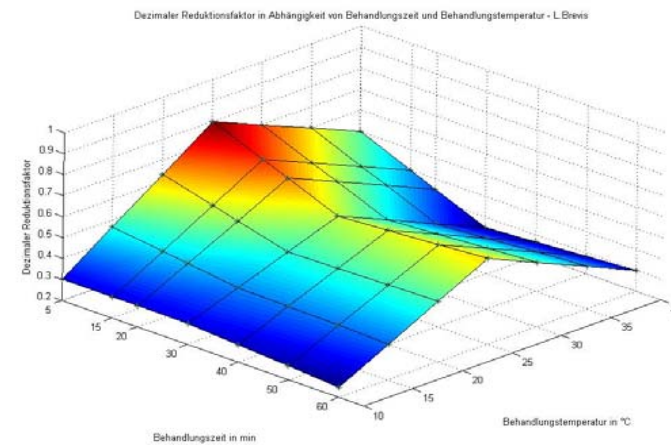
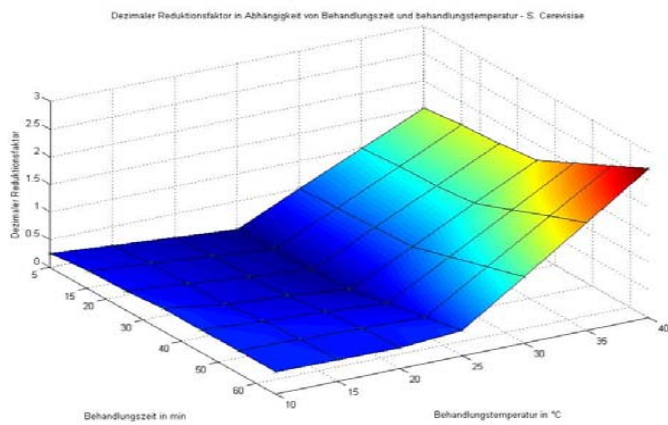


Abbildung 3: Inaktivierungsverhalten S. Cerevisiae (500bar, N₂)

Abbildung 5: Inaktivierungsverhalten L. Brevis (500bar, N₂)

Ansatz zur mathematischen Beschreibung der Inaktivierungskinetik

Eine vertiefende Modellbetrachtung wurde notwendig. Eine erste, vor allem qualitative Annäherung brachte das klassisch mechanistische Modell in Form von Exponentialfunktionen (Modell der chemischen Reaktion erster Ordnung)

$$k = \frac{dn/dt}{n} \text{ mit der exponentiellen Lösungsfunktion } n = e^{-kt}.$$

Anhand vorliegender Labordaten für die Ausgangskeimzahl und Zwischenbestimmungen bei 10/30/60 min Behandlungsdauer konnten mit Hilfe der Exponentialfunktionen für den Zeitverlauf in entsprechenden Intervallen die erwarteten Inaktivierungsraten berechnet werden.

Inaktivierungsmodell mittels Exponentialfunktion			
Beispiel: Spitzwegerichkaltsaft (25°C, 250 bar, N2)			
		$N(t) = N(0)e^{-kt}$	
		$-k = \frac{-1}{t} \times \ln \frac{N(t)}{N(0)}$	
Zeit (min)	N(0) gemessen	k	N(t)
0	279.000		279.000
2		0,2404368	172.490
4		0,2404368	106.641
6		0,2404368	66.930
8		0,2404368	40.761
10	25.200	0,2404368	25.200
15		-0,0035120	26.563
20		-0,0035120	27.034
30	28.000	-0,0035120	28.000
35		-0,0215461	59.520
40		-0,0215461	66.291
45		-0,0215461	73.831
50		-0,0215461	82.229
55		-0,0215461	91.583
60	102.000	-0,0215461	102.000

Abbildung 6: Berechnung des Inaktivierungsmodells mittels Exponentialfunktion anhand von Spitzwegerichkaltsaft (25°C)

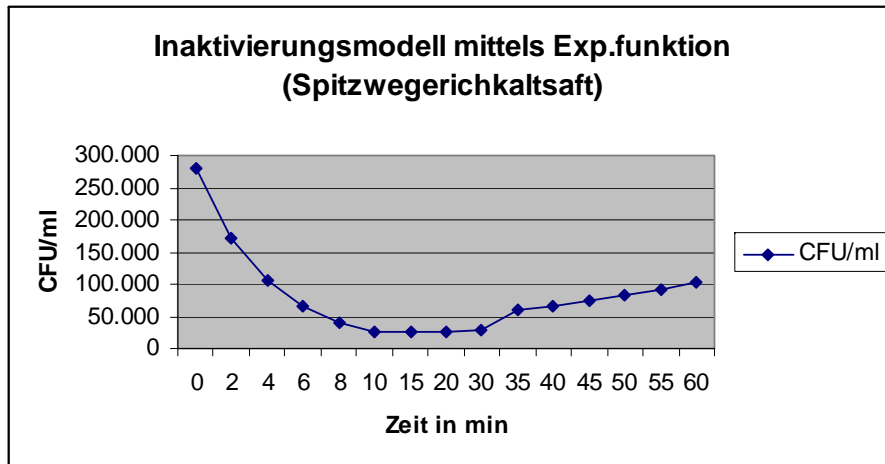


Abbildung 7: grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufes der zu erwartenden MO-Inaktivierung bei Spitzwegerichkaltsaft (25°C)

Beispiel: Spitzwegerichkaltsaft (40°C, 250 bar, N2)			
Zeit (min)	N(0) gemessen	k	N(t)
0	279.000		279.000
2		0,3050995	151.565
4		0,3050995	82.336
6		0,3050995	44.729
8		0,3050995	24.299
10	13.200	0,3050995	13.200
15		0,1719080	1.002
20		0,1719080	424
30	76	0,1719080	76
35		0,0000000	76
40		0,0000000	76
45		0,0000000	76
50		0,0000000	76
55		0,0000000	76
60	76	0,0000000	76

Abbildung 8: Berechnung des Inaktivierungsmodells mittels Exponentialfunktion anhand von Spitzwegerichkaltsaft (40°C)

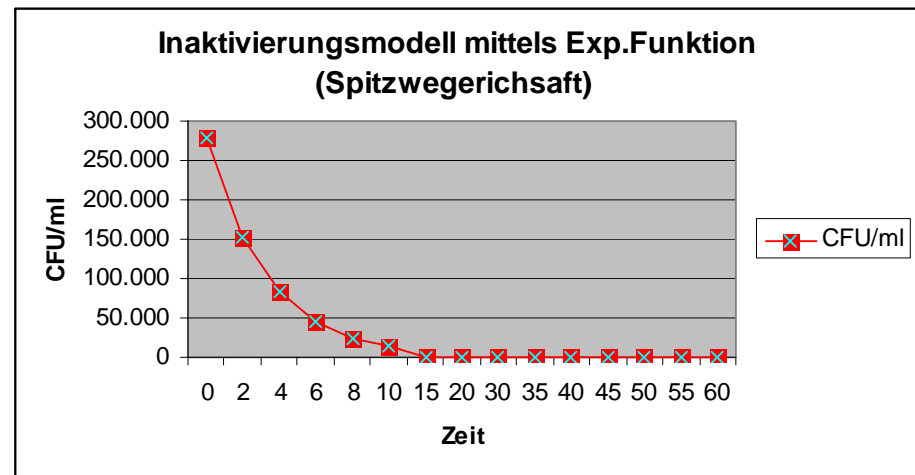


Abbildung 9: grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufes der zu erwartenden MO-Inaktivierung bei Spitzwegerichkaltsaft (40°C)

Da es sich allerdings um ein kombiniertes chemisch/biologisches System handelt, wurden in der Modellbildung weitere Faktoren berücksichtigt. Oben genannte Beschreibung geht von einer gleich bleibenden Reaktionswahrscheinlichkeit der Mikroorganismen auf die Inaktivierungsbehandlung aus (ähnlich des atomaren Zerfalls) und berücksichtigt nicht die Eigenschaften von MO, bestimmten äußeren Einflüssen für einen gewissen Zeitraum zu widerstehen. Aus diesem Grund waren die höchsten Inaktivierungsraten nicht am Anfang der Behandlung, sondern nach einer bestimmten Einwirkdauer (hier von Druck und Temperatur) zu erwarten.

Beispielhaft wurden hier die Arbeiten von Bliem und Nowak (siehe Literaturliste) herangezogen, die sich mit der Modellierung der thermischen Inaktivierung von Mikroorganismen beschäftigten und diesbezüglich in der Modellbeschreibung weitergehende Wege beschritten. Dies ist insofern auch in wesentlichen Teilen auf die Druckwechseltechnologie anwendbar, da trotz ihres schonenden Charakters der Temperatureinfluss eine wichtige Rolle zur Verbesserung der Inaktivierungsergebnisse spielt. Des Weiteren wird die Temperatur in den Berechnungen als konstanter Faktor anzusehen und spielt deshalb im Verlauf eines Verfahrensdurchlaufs als Veränderliche keine Rolle.

In jüngster Zeit wurden hier durch die Universität Karlsruhe und die BOKU Wien entsprechend neue Modellansätze entwickelt, die von dem Grundgedanken ausgehen, die Erteilung der Resistenzzeiten der MO im statistischen Sinn anzugehen. Als geeignete Grundlagen wurden die *Log-Normal*-, die *Weibull*- und die *Gamma*-Verteilung erachtet.

Zu Beschreibung der mittels Druckwechseltechnologie ermittelten Versuchdaten wurden auf der Grundlage der *Gamma* – Verteilung:

$$N_{\Gamma}(t) = N(0)\Gamma_0\left(a, \frac{t}{b}\right)$$

und der so genannten *normierten unvollständigen Gammafunktion*

$$\Gamma_0(a, z) = \int_z^{\infty} w^{a-1} e^{-w} dw \left(\int_0^{\infty} w^{a-1} e^{-w} dw \right)^{-1}$$

unter Zuhilfenahme des Programmpakets Microsoft Excel durchgeführt.

Graph 1: 25°C, 250 bar, N2			
Zeit (min)	CFU/ml	Modellfunktion	Abw.Quadrate
0	2,79E+05	279.000,00	0,00
10	2,52E+04	54.778,04	874.860.405,64
30	2,80E+04	34.220,34	38.692.641,06
60	1,02E+05	21.877,92	6.419.547.008,13
			Summe Abw. Quadrate
			7.333.100.054,83
a	b	c	
0,08695142	196,0784314	2,79E+05	

Abbildung 10: Berechnung des Inaktivierungsmodells von Spitzwegerichkaltsaft mittels Gammaverteilung (25°C)

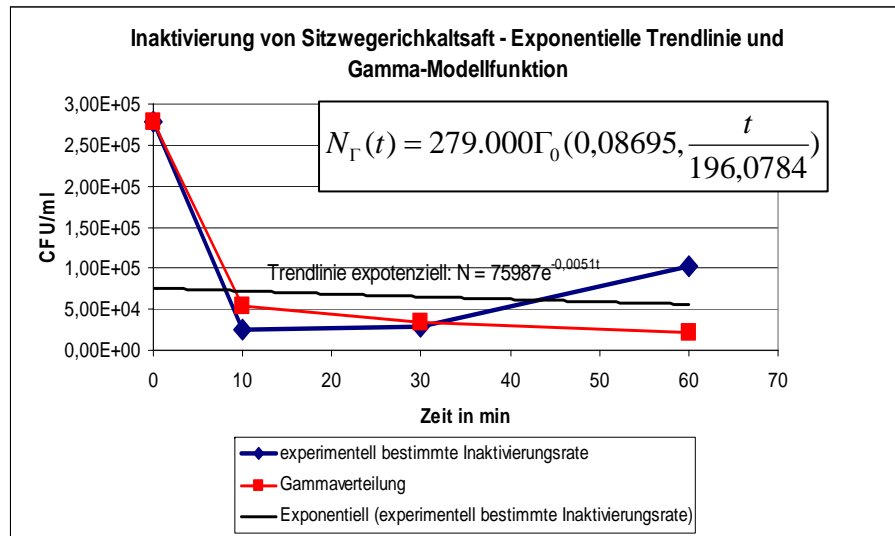


Abbildung 11: Grafischer Verlauf der erwarteten Inaktivierungsrate bei Spitzwegerichkaltsaft (Exponential-Trendlinie und Gammaverteilung) – 25°C

Graph 2: 40°C, 250 bar, N2			
Zeit (min)	CFU/ml	Modellfunktion	Abw.Quadrate
0	2,79E+05	279.000,00	0,00
10	1,32E+04	13.158,02	1.762,26
30	7,60E+01	482,30	165.079,18
60	7,60E+01	5,49	4.971,83
			Summe Abw. Quadrate
			171.813,27
d	e	f	
0,28	7,43	279.000,00	

Abbildung 12: Berechnung des Inaktivierungsmodells von Spitzwegerichkaltsaft mittels Gammaverteilung (40°C)

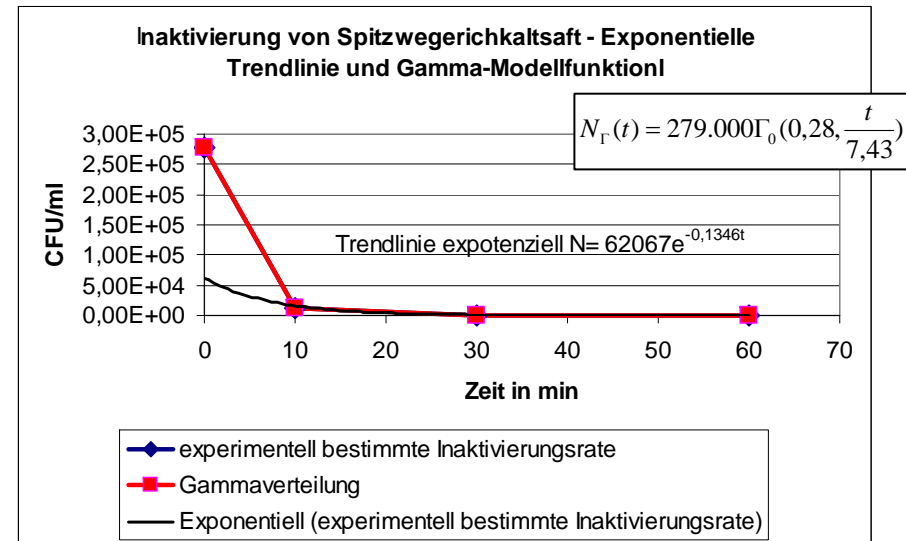


Abbildung 13: Grafischer Verlauf der erwarteten Inaktivierungsrate bei Spitzwegerichkaltsaft (Exponential-Trendlinie und Gammaverteilung) - 40°C

Relevant für die praktische Anwendung war allerdings die Angabe des Zeitraumes, nach der eine „sichere Keimfreiheit“ vorausgesagt werden kann. In der Modellierung bedeutet dies, dass eine besonders kleine Zahl (im Beispiel cfu/ml = 0,01, 0,001, 10⁻⁶, 10⁻¹²) als Inaktivierungsergebnis in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer vorgegeben wird.

Nach der exponentialen Vorgehensweise ergaben sich am Beispiel des Spitzwegerichkaltsaftes folgende Vorhersagen:

(250bar, 25°C, N₂)

$$T_{\epsilon}^{[exp]} = -\frac{1}{0,0051} \ln\left(\frac{\epsilon}{75986}\right)$$

(bei 250bar, 25°C, N ₂)	
ϵ in cfu/ml	T ϵ [exp] in h
0,01	3106,563643
0,001	3558,050916
1,00E-05	4461,025462
1,00E-11	7169,949101

und für (250 bar, 40°C, N₂):

$$T_{\epsilon}^{[exp]} = -\frac{1}{0,1346} \ln\left(\frac{\epsilon}{62067}\right)$$

(bei 250bar, 40°C, N ₂)	
ϵ in cfu/ml	T ϵ [exp] in h
0,01	116,2046056
0,001	133,3114785
1,00E-05	167,5252243
1,00E-11	270,1664617

zum Vergleich mit Gammaverteilung

$$N_{\Gamma}(T) = N_0 \Gamma_0 \left(\hat{a}, \frac{T}{b}\right) = \epsilon$$

ϵ	HG	T ϵ in h
0,01	17,14413725	3361,595539
0,001	19,44672234	3813,082812
1,00E-05	24,05189253	4716,057358
1,00E-11	37,86740308	7424,980997

ϵ	HG	T ϵ in h
0,01	17,14413725	127,3710048
0,001	19,44672234	144,4778777
1,00E-05	24,05189253	178,6916235
1,00E-11	37,86740308	281,3328609

Abbildung 14: Berechnung des Zeitpunktes der "sicheren" Sterilität mittels Exponentialfunktion und Gammaverteilung

Da die Zielwerte bewusst klein gewählt wurden, die realen Ansprüche für den Endkeimgehalt der verschiedenen Matrices niedriger liegen und auch die durch die Laborversuche gelieferten Zahlenwerte nur eine Momentaufnahme bilden und u. U. von verschiedenen Störgrößen beeinflusst sind (z.B. durch die notwendige Wiederherstellung des Prozessdruckes nach jeder Probenahme und der damit einhergehenden diskontinuierlichen Verfahrensführung), ist diese Abschätzung sicherlich bewusst als „theoretisch“ anzusehen. Des Weiteren wurden selbst bei Versuchen mit gleichen bzw. vergleichbaren Voraussetzungen unterschiedliche

Ergebnisse in der Mortalität erzielt, so dass auch die Berechnungen mit den zur Verfügung stehenden Daten voneinander abweichende Resultate zeigen.

Wichtig war allerdings im Hinblick auf die veränderlichen Rahmenbedingungen des Druckwechselperfahrens die Tendenzen hinsichtlich der Wirkungsweise aufzuzeigen.

Im Rahmen dieser Arbeiten sind entsprechende, auf MS-Excel basierte Tools zur Berechnung der oben beschriebenen Erwartungswerte entstanden.

2.1.2. Gasanlage

Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten wurden entsprechende Gaswiederaufbereitungskonzepte auf ihre Verwendbarkeit geprüft und eine darauf aufbauende Anlagenkonzeption entwickelt.

Die sorgfältige und prozesstaugliche Wiederaufbereitung des Prozessgases wird erreicht durch eine aufeinander abgestimmte Stufenfiltration. Bevorzugt wurden bei der Auswahl der Reinigungsprinzipien mechanische und physikalische Verfahren auf Grund der sensiblen Verfahrensumgebung im Bereich der Lebensmittel- und Pharmazieproduktion.

Die erste und zweite Stufe ist die Säuberung des rückgeführten Prozessgases von mitgerissenen Verunreinigungen wie Produktreste, Partikel, Wasser usw., gegebenenfalls unter Einsatz verschiedener Wirkprinzipien. Dazu geeignet sind Auskondensation der mitgerissenen Flüssigkeiten über einen Gaskühler, Filtration der mitgeführten Partikel, Abscheidung mittels Zentrifugalkraft sowie Adsorption. Die Entscheidung über das Einsatzprinzip ist bei der Umsetzung zu treffen. Darüber hinaus sind Verunreinigungen des Prozessgases, beispielsweise durch Luftsauerstoff zu beseitigen.

Die dritte Stufe ist die eigentliche Entkeimungsstufe des Prozessgases entweder durch Dampfsterilisation (Temperaturerhöhung) oder durch Mikrofiltration.

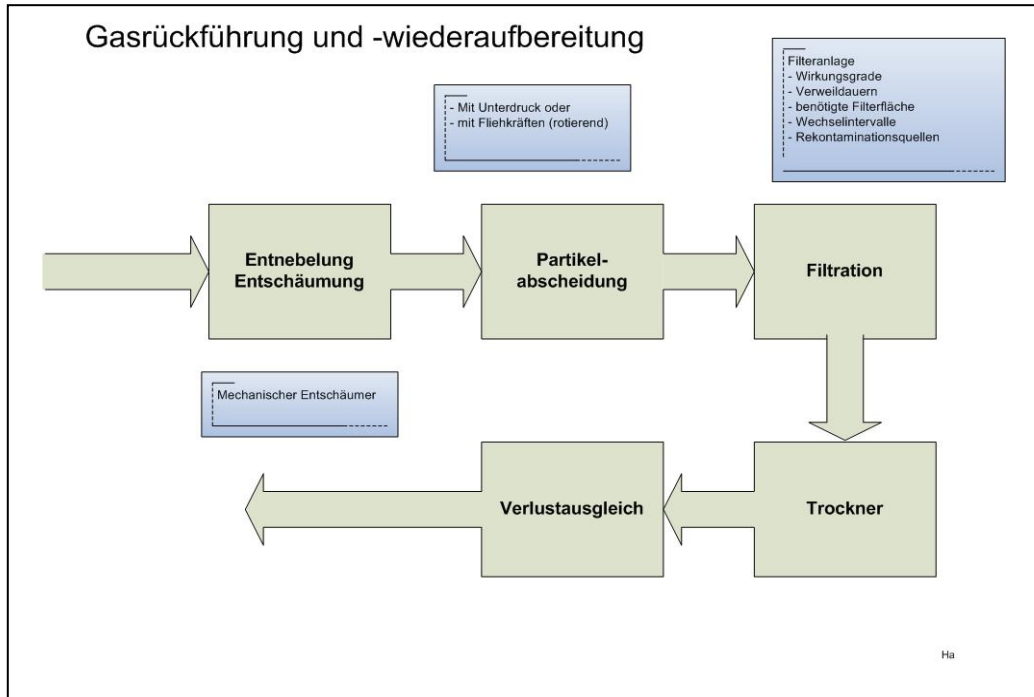


Abbildung 15: Gasrückführungsschema

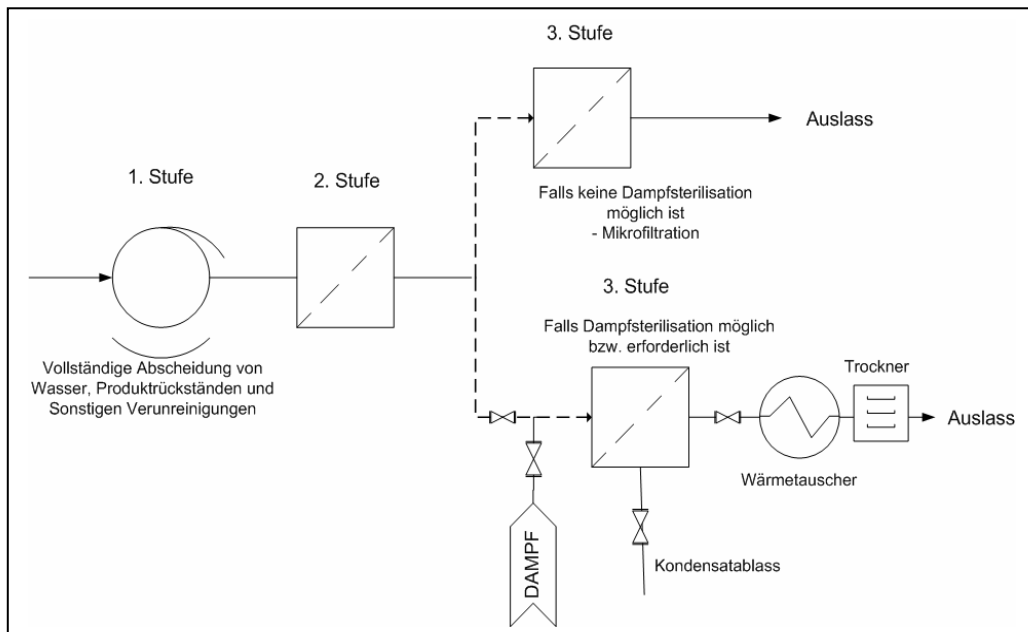


Abbildung 16: Gasreinigungsstationen

Die durch GM Gera realisierte kleintechnische Anlage besitzt eine einfache Gaszuführung mittels Flaschen ohne Wiederaufbereitung, so dass die geplante Realisierung der Gasrückführung nicht durchgeführt wurde. Die konzeptionellen Auslegungen konzentrierten sich aus diesem Grund auf die Auslegung für den großtechnischen Einsatz.

2.1.3. Messtechnik

Schwerpunkt der Arbeiten war hier die messtechnisch relativ schwierige Erfassung des gelösten Gases in situ. Arbeitsbestandteile waren die Untersuchung verschiedener Mess- und Bestimmungsmethoden auf ihre Eignung für den Einsatz in der kleintechnischen Anlage und für einen Übergang der Druckwechseltechnologie in den großtechnischen Bereich. Zu den untersuchten Messkonzepten gehörten:

- Direkt über Leitfähigkeitsmessungen (Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit bei Gelöstgas in Flüssigkeiten)
- Direkt mittels eines Trägergas-Permeationsverfahrens
- Direkt als Ultraschallmessung (Veränderung der Signallaufzeiten bei begasten im Vergleich zu unbegasten Flüssigkeiten)
- Indirekt als Dichtemessung mittels Coriolis-Massedurchflussmesser (Auslegung eines Wegsensors durch veränderlichen Massefluss)

Problembehaftet bei allen untersuchten Messmethoden waren die Tatsachen, dass sie unter Druck bis 500 bar oder in Einzelfällen darüber problemlos funktionieren mussten, die Messergebnisse nicht durch Schweb- und Trubstoffe in der zu behandelnden Flüssigkeit beeinträchtigt wurden, darüber hinaus für die verwendeten Prozessgase geeignet und lebensmittel- (oder im Höchstfall pharmazie-) tauglich sein sollten. Speziell der Druck war für viele Anbieter ein nur schwer zu lösendes Problem, Grenzwert der vorliegenden Erfahrungen war meist der Bereich um 400 bar. Die Funktionalität bis 500 bar konnten alle Anbieter ohne vorherige umfangreiche Untersuchungen und Produktanpassungen nicht garantieren.

Entsprechende Angebote, die im Rahmen der Bearbeitung von einigen Anbietern (u.a. Sensotech GmbH) eingeholt wurden, übertrafen die Erwartungen und Kalkulationen zum Teil in beträchtlichem Umfang, so dass eine dieser Lösungen nach eingehender Diskussion für den Einsatz im (derzeit noch zu konzipierenden) großtechnischen Bereich vorzusehen ist.

Des Weiteren wurde die Problematik Füllstandsmessung für die kleintechnische Anlage in Zusammenarbeit mit der GM Gera GmbH bearbeitet. Gesucht war eine Messmethode, die unbeeinflusst von eventueller (je nach zu behandelnder Matrix unterschiedlicher) Schaumbildung funktioniert und sich problemlos in das vorhandene Anlagenkonzept integrieren lässt. Im Ergebnis wurde das Messprinzip der

kapazitiven Füllstandsmessung als Vorzugsvariante gewählt auf Grund seiner Eignung für das Druckniveau von 500 bar.

2.1.4. Gaslösung

Zur technischen Umsetzung der Lösung des Prozessgases in der zu behandelnden Flüssigkeit sind mehrere konstruktive Varianten hinsichtlich ihrer Funktionalität sowie den Voraussetzungen ihrer technischen Realisierung untersucht worden. Zur Auswahl standen konventionelle Rührwerke und verschiedene Ausführungen von statischen Mischern. Die letztendliche Auswahl fiel auf die Ausführung mit so genannten Kaskadenblechen, wie sie auch zur Karbonisierung von Getränken eingesetzt werden.

2.1.5. Produktsicherheit

Unsterilisationsrisiken in der Anlage und potenzielle Rekontaminationsquellen und deren Vermeidung bzw. Beseitigung

Unsterilisationsrisiken in der Druckwechselanlage werden entweder durch eine nicht angepasste Konstruktion oder Mängel des Anlagenreinigungsregimes hervorgerufen. Sie wirken sich im Regelfall erst nach mehreren Produktionszyklen merkbar aus, nachdem die „Infektionsquelle“ entsprechend Zeit zum Wachstum hatte. Sensibel hierfür sind die u.a. die

- Übergangsbereiche/Schnittstellen von einer Verarbeitungsstation zur nächsten.
- Sämtliche Produktleitungen und Leitungen für Versorgungsmedien
- Einbaustellen für Ventile, Messgeräte, Armaturen usw.
- Schweißnähte

Um mögliche Ursachen schon im Vorfeld zu identifizieren und in der Anlagenrealisierungsphase zu vermeiden, wurden entsprechende Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse in die Konstruktion eingeflossen sind.

Gefährdungspotenziale für den mikrobiellen Verderb bei Fruchtsäften

Die Untersuchungen hierzu konzentrierten sich speziell auf die verfahrenstechnisch erwachsenden Gefährdungspotenziale für den mikrobiellen Verderb und die Möglichkeiten der entsprechenden Einflussnahme vor, während oder nach dem Konservierungsprozess. Die Hauptursachen für das Auftreten dieser Potenziale

hängen sowohl von konstruktiv und hygienisch hervorgerufenen Rekontaminationsquellen als auch von der Art des mikrobiellen Befalls und der entsprechenden Vorbehandlung der Früchte vor ab.

Wichtig und für Druckwechselanlagen beherrschbar zu gestalten sind folgende Aspekte:

- Luftsauerstoff aus dem System fernhalten
- Verunreinigungen der eingesetzten Prozessgase im Vorfeld beseitigen (für den pharmazeutischen Bereich die entsprechenden Lieferqualitäten nutzen)

Veränderungen im Produkt durch die DWT-Behandlung

Wie bei thermischen Konservierungsverfahren die Produkte durch den Temperatureinfluss bestimmte Veränderungen hinsichtlich ihrer sensorischen und inhaltlichen Eigenschaften erfahren, so ist auch im Bezug auf der Druckwechseltechnologie eine Abschätzung des Einflusses bestimmter Verfahrensparameter auf die Produkteigenschaften notwendig. Potenziell einflussnehmende Parameter sind hier der Druck, das Prozessgas, die Temperatur und die Schnellentspannung. Grundlage für die Abschätzung bilden Erkenntnisse und Erfahrungen, die sowohl bei anderen Untersuchungen in der thermischen und Hochdruckbehandlung, als auch durch eigene Untersuchungen der projekteigenen Untersuchungsgruppen gewonnen wurden.

- **Gas:** Die Anhängigkeit eventueller chemischer Veränderungen in Abhängigkeit vom eingesetzten Prozessgas ist noch vollständig zu klären, hierbei speziell beim Einsatz von CO₂. CO₂ bildet in wässrigen Lösungen Kohlensäure (H₂CO₃), die allerdings unbeständig ist. Allerdings verleiht diese den Getränken einen leicht sauren Geschmack. Darüber hinaus können Gasrückstände im Produkt den Eindruck von Hefekontaminationen vermitteln. N₂ und auch N₂O werden als inerte Gase unkritisch betrachtet. N₂ und CO₂ dienen seit Jahrzehnten als Konservierungshilfsmittel in der Getränkeherstellung und stellen auch bei der Getränkelagerung durch ihren Einsatz den Erhalt eines gleich bleibenden getränketyppischen Geschmacks sicher.
- **Druck:** Beschleunigt Reaktionen, deren Reaktions- und Aktivierungsvolumina negativ sind. Dazu gehört u.a. die Bildung von kovalenten Bindungen und von Ionen durch Dissoziation. Wasserlösliche Vitamine wie Vitamin C, Vitamin B1, B2 und B6 und Folsäure scheinen durch Druckbehandlung nicht oder nur

geringfügig beeinflusst zu werden. In Modellsystemen werden eher Veränderungen in der schützenden Produktmatrix festgestellt. Ähnliches Verhalten zeigen fettlösliche Vitamine wie Vitamin A, Vitamin E und Vitamin K sowie Provitamin A. Chlorophyll ist druckstabil bei Raumtemperatur. Kohlenhydrate sind weitgehend unempfindlich gegen Druck. Die Primärstruktur von Proteinen wird durch Druck nicht beeinflusst, hingegen werden durch Druck hydrophobe Wechselwirkungen hervorgerufen, welche die Quartärstruktur beeinflussen, die Tertiärstruktur durch reversibles und die Sekundärstruktur durch irreversibles Entfalten. Bei Enzymen werden durch Druckbehandlung sowohl die Aktivität als auch die Substratspezifität beeinflusst. Ebenso ist eine partielle Inaktivierung möglich. Belegt durch Studien ist, dass das antioxidative und antimutagene Potenzial von Obst- und Gemüsesäften weitestgehend nach einer Druckbehandlung erhalten bleibt, während Wärmeeinwirkung diese Eigenschaften oft zerstört.

- **Temperatur:** Da die gewählten Prozesstemperaturen den Bereich von 40°C nicht überschreiten, werden die durch thermische Einwirkung auftretenden Veränderungen als nicht relevant eingestuft. Temperaturerhöhungen, die durch die Druckbeaufschlagung erzeugt werden, sind zu vernachlässigen, die Richtwerte aus der Hochdruckbehandlung gehen von 3°C Temperaturerhöhung pro 1000 bar aus.
- **Schnellentspannung:** Es existieren diesbezüglich noch keine entsprechenden Daten, die eine direkte Beeinflussung der Inhaltsstoffe durch die Entspannung Rückschlüsse zulassen.

Im Rahmen der inhaltstofflichen Untersuchungen des Projektpartners Bombastus sind hier tiefgehende qualitative und quantitative Untersuchungen des Wirkstoffinhalts anhand von konkreten Pflanzensäften durchgeführt worden.

2.1.6. Projektmanagement – Controlling

Die Ergebnisse im Bereich der Projektkoordination und des Projektmanagements sind im Management-Bericht des Projektkoordinators Herrn Dr. Hans-Jürgen Steiger festgehalten. Im von der BTI Technologieagentur Dresden GmbH verantworteten Teilbereich Controlling sind folgende Resultate zu verzeichnen:

- Erstellung und Veröffentlichung der Wachstumskern-Internetpräsentation unter www.wachstumskern-ikon.de

- Planungs- und Abwicklungsleistungen sowie Mitwirkung bei der Standbetreuung der Netzwerkmessepräsentation auf der ACHEMA vom 15.-19. 05.2006
- Netzwerkmessepräsentationen auf den regionalen Messen „IFM“ (2004), „Transfer-X“ (2005) und „Faszination Technologie“ (2006) in Dresden
- Unterstützung der Projektleitung zu rechtlichen Fragen bei der Verhandlung mit potenziellen strategischen und assoziierten Partnern
- Unterstützung einzelner Partner bei der Mittelplanung und -abrechnung
- Unterstützung des Netzwerkmanagements hinsichtlich des Ausscheidens der IBN GmbH aus dem Wachstumskern und der damit verbundenen Einbindung der edecto GmbH in die Netzwerkarbeit

2.2. Voraussichtlicher Nutzen hinsichtlich der Ergebnisverwertung

Der erreichte Erkenntnisstand und die damit verbundenen Ergebnisse der Projektarbeit sind für die weitere Entwicklungs- und Optimierungsarbeit am Druckwechselerfahren nutzbar. Als sicher ist allerdings auch einzuschätzen, dass es im Hinblick auf die in der weiteren Verfahrensentwicklung noch zu erwartenden Ergebnisse weiterführende Anpassungsarbeiten des vorliegenden Entwicklungsstandes geben muss.

Bezogen auf die während der Projektarbeit gewonnenen Erkenntnisse der BTI Technologieagentur Dresden GmbH hinsichtlich Modellbildung und Simulation sowie zur verfahrenstechnisch angepassten Projektierung ist einzuschätzen, dass sich aus den gewonnenen Ergebnissen auch für die weitere Technologietransfertätigkeit und Unterstützung der Projektpartner, als auch anderer KMU bei innovativen Produkt- und Verfahrensentwicklungen entsprechende Kompetenzen ableiten lassen. Zum einen ist dies im Rahmen des persönlichen Kompetenzgewinns der beteiligten Mitarbeiter festzuschreiben, der sich u.a. in

- besserem Verständnis für komplexe verfahrenstechnische Systeme,
- einer Erweiterung des Dienstleistungsangebotes an Unternehmen
- einem Zuwachs an interdisziplinärem Know-how manifestiert.

Darüber hinaus sind durch die Bearbeitung der einzelnen Schwerpunktthemen einzelne Tools entstanden, die wie folgt für eine weitere Verwertung bedeutsam sind.

Die BTI Technologieagentur Dresden GmbH wird im Rahmen der Fortschreibung des Verwertungsplanes auch in Zukunft in Abstimmung mit den involvierten Partnern themenbezogen weiterführende Projekte begleiten. Weiterhin wird ein wesentlicher Schwerpunkt der zukünftigen Arbeit die Unterstützung der Partnerunternehmen bei der Erschließung weiterer technologiebezogener Anwendungsfelder sein.

2.2.1. Modellbildung und Simulation

Die erworbene Methodenkompetenz im Rahmen der Modellierung von verfahrenstechnischen Abläufen ist mit entsprechenden Modifikationen und Anpassungen auch für andere verfahrenstechnische Abläufe anwendbar, bei denen experimentell gewonnene Daten zur Verfügung stehen und weiterführende Tendenzen hinsichtlich der Ergebnisqualität und der Absteckung eines optimierten Rahmens verschiedener verfahrenstechnischer Einflussgrößen gewonnen werden sollen. Somit steht der BTI Technologieagentur Dresden GmbH eine Erweiterung ihres Dienstleistungsangebotes zur Verfügung.

2.2.2. Gasanlage

Konzeptionell wurde die Gasreinigung und -wiederaufbereitung für die Druckwechseltechnik auf der Grundlage verfahrenstechnisch relevanter Entwicklungsgrundsätze erarbeitet. Das entstandene Know-how, speziell in den Bereichen Pflichtenhefterstellung und Wirkprinzipdarstellung und -variation wird Bestandteil von Machbarkeitsstudien für das Kundenklientel und weiteren verfahrenstechnischen Entwicklungsprojekten, die durch die BTI betreut werden.

2.2.3. Messtechnik

Im messtechnischen Bereich wurde ein Wissenszuwachs hinsichtlich der Auswahlkriterien und Einsatzgebiete verschiedener Messprinzipien erlangt, welcher im weiterführenden Beratungsgeschäft der BTI verwertet werden wird. Speziell die geknüpften Kontakte zu Messgeräteherstellern sind viel versprechend für die weitere Initiierung von Projekten.

3. Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Bezogen auf die im Rahmen des Projektes bearbeiteten Aufgabenbereiche der BTI Technologieagentur Dresden GmbH sind keine, den Projektgegenstand betreffenden Entwicklungsergebnisse von anderen Stellen bekannt geworden.

4. Geplante Veröffentlichungen

Auf Grund der Charakteristik der Arbeiten als Bestandteile komplexerer Teilprojekte und unter Berücksichtigung der aktuellen Diskussion im Kreis der Kooperationspartner bzgl. einer Weiterführung des Projektthemas ist eine Veröffentlichung von Ergebnissen durch die BTI Technologieagentur Dresden GmbH derzeit erst durch Abstimmung mit den anderen Projektpartnern geplant.

Michael Hahn

Verantwortlicher Bearbeiter

5. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: verfahrenswirksame Einflussfaktoren auf den Druckwechselprozess ..	10
Abbildung 2: Inaktivierungsverhalten P. Fluorescence (500bar, N ₂)	14
Abbildung 3: Inaktivierungsverhalten S. Cerevisiae (500bar, N ₂)	14
Abbildung 4: Inaktivierungsverhalten E. Coli (500 bar, N ₂)	14
Abbildung 5: Inaktivierungsverhalten L. Brevis (500bar, N ₂).....	14
Abbildung 6: Berechnung des Inaktivierungsmodells mittels Exponentialfunktion anhand von Spitzwegerichkaltsaft (25°C).....	16
Abbildung 7: grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufes der zu erwartenden MO- Inaktivierung bei Spitzwegerichkaltsaft (25°C)	16
Abbildung 8: Berechnung des Inaktivierungsmodells mittels Exponentialfunktion anhand von Spitzwegerichkaltsaft (40°C).....	16
Abbildung 9: grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufes der zu erwartenden MO- Inaktivierung bei Spitzwegerichkaltsaft (40°C)	16
Abbildung 10: Berechnung des Inaktivierungsmodells von Spitzwegerichkaltsaft mittels Gammaverteilung (25°C)	19
Abbildung 11: Grafischer Verlauf der erwarteten Inaktivierungsrate bei Spitzwegerichkaltsaft (Exponential-Trendlinie und Gammaverteilung) – 25°C...	19
Abbildung 12: Berechnung des Inaktivierungsmodells von Spitzwegerichkaltsaft mittels Gammaverteilung (40°C)	19
Abbildung 13: Grafischer Verlauf der erwarteten Inaktivierungsrate bei Spitzwegerichkaltsaft (Exponential-Trendlinie und Gammaverteilung) - 40°C....	19
Abbildung 14: Berechnung des Zeitpunktes der "sicheren" Sterilität mittels Exponentialfunktion und Gammaverteilung.....	20
Abbildung 15: Gasrückführungsschema.....	22
Abbildung 16: Gasreinigungsstationen	22

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Projektkooperationen	8
Tabelle 2: Externe Kooperationen	9
Tabelle 3: Für variierte Verfahrensbedingungen DWT durchgeführte Berechnungen	11