

Dissertationen am FB Wirtschaftswissenschaft der Freien Universität Berlin

Pfadabhängigkeit und Hierarchie: Zur Durchsetzungskraft von selbstverstärkenden Effekten in hierarchischen Organisationen

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaft des Fachbereichs
Wirtschaftswissenschaft der Freien Universität Berlin

vorgelegt von Dipl.-Kfm. Arne Petermann

Erstgutachter: Prof. Dr. G. Schreyögg, Freie Universität Berlin

Zweitgutachter: Prof. Dr. K. Troitzsch, Universität Koblenz-Landau

Disputation erfolgte am 12.11.2010

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den Menschen danken, die durch Ihre Unterstützung dazu beigetragen haben, dass diese Arbeit fertig gestellt werden konnte.

Allen voran gilt mein Dank meiner Frau Svenja, die mir trotz großer Entbehrungen ohne Zögern und unermüdlich den Rücken gestärkt, an mich geglaubt und mir immer wieder neue Kraft geschenkt hat. Meinem Vater Joachim Petermann und meinem Meister Mehmet Genc verdanke ich das Selbstbewußtsein, den Durchhaltewillen und die Fähigkeit, zwischen Wichtigem und Unwichtigem zu unterscheiden – ohne die Lektionen, die ich von Euch gelernt habe, wäre mir der jetzige Erfolg nicht möglich gewesen. Ferner möchte ich meinen guten Freunden Robert Koch, Eva Sington-Rosdal und Bernd Bieber sowie meinen Kollegen Simone Ostermann, Stefan Klaußner, Natalie Senf und Anna Kendeva danken, die durch Ihre geistige Mithilfe und ihre Verbesserungsvorschläge maßgeblich zum Erfolg der vorliegenden Arbeit beigetragen und mich in der arbeitsintensivsten Zeit in selbstloser Weise entlastet haben. Meinem guten Freund und Partner Benjamin Michels danke ich dafür, dass er mir während des letzten, schwersten Jahres unter großen persönlichen Opfern den Rücken freigehalten hat.

Abschließend gilt mein besonderer Dank meinen beiden akademischen Lehrern Herrn Prof. Dr. Georg Schreyögg und Herrn Prof. Dr. Klaus G. Troitzsch, die meine Arbeit nicht nur als wohlwollende Mentoren unterstützt, mit konstruktiver Kritik begleitet und mit Ideen bereichert haben, sondern meine Entwicklung wie auch die dieser Arbeit durch Ihren großen persönlichen Einsatz in besonderem Maße gefördert haben.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	10
Abkürzungsverzeichnis.....	13
Variablenverzeichnis.....	14
A. Einleitung.....	17
I. Agenda.....	17
II. Einführung in die Problemstellung.....	18
III. Vorgehen und Aufbau der Arbeit.....	22
B. Theorie der Pfadabhängigkeit technologischer Standards.....	25
I. Ursprung der Theorie der Pfadabhängigkeit in den “Economics of QWERTY”.....	26
II. Frühe pfadtheoretische Modellierung.....	28
1. Ein Multiagentenmodell zur Erklärung technologischer Pfade.....	28
2. Das Urnenmodell.....	32
III. Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse.....	35
1. Historizitätsprinzip.....	38
2. Nichtvorhersagbarkeit.....	40
3. Nonergodizität.....	40
4. Inflexibilität.....	42
5. Potentielle Ineffizienz.....	43
IV. Kernkonzepte der Pfadforschung.....	50
1. Small events.....	50
2. Selbstverstärkende Effekte.....	54
3. Lock-in.....	61
4. Zwischenfazit: Der Pfadabhängigkeitsbegriff in der Marktperspektive.....	63

C.	Theorie der organisationalen Pfadabhängigkeit.....	65
I.	Zum Verständnis von Institutionen.....	67
1.	Abgrenzung des Institutionenbegriffes.....	67
2.	Institutionen in funktionalistischer Perspektive	70
3.	Implizite und explizite Institutionen.....	74
II.	Institutionelle Entwicklung	78
1.	Institutioneller Wandel	79
2.	Der Wettbewerb zwischen Institutionen	81
3.	Selbstverstärkungsmechanismen im institutionellen Wettbewerb	84
III.	Zum Verhältnis von Institution und Organisation.....	91
1.	Bestimmung des Organisationsbegriffes	91
2.	Formale Organisationsstruktur und Hierarchie	95
3.	Zur Abgrenzung von Institution und Organisation	97
IV.	Institutionelle Pfadabhängigkeit in Organisationen	99
1.	Modellierung institutioneller Pfadabhängigkeit.....	99
2.	Modellierung von Pfadabhängigkeit in Organisationen: Das Berliner Modell.....	100
3.	Zur Komplementarität von Institutionen in Organisationen	108
4.	Pfadabhängigkeit und Machtasymmetrie: Auswirkungen von Hierarchie auf den Pfadprozess?	118
D.	Von der Theorie zur Methode	122
I.	Wahl der Methode.....	122
II.	Computersimulation als wissenschaftliche Methode	127
1.	Definition einer wissenschaftlichen Computersimulation.....	128
2.	Verbreitung der Simulationsmethodik und Abgrenzung zum deduktiven Ansatz	129
3.	Theoriebildung mittels Computersimulationen.....	132

4.	„Roadmap“ zur Simulationsforschung	134
E.	Simulation von selbstverstärkenden Effekten in hierarchischen Organisationen	138
I.	Ein einfaches Simulationsmodell institutionellen Wandels	138
1.	Problemstellung	139
2.	Theoretische Basis	140
3.	Formale Modellierung	143
4.	Implementierung	146
5.	Durchführung der Simulation	151
6.	Ergebnisse	152
7.	Robustheitsanalyse	158
8.	Diskussion	169
9.	Zusammenfassung	174
II.	Simulation institutionellen Wandels in Organisationen	175
1.	Problemstellung und Vorgehen	175
2.	Theoretische Basis und formale Modellierung	175
3.	Implementierung	185
4.	Durchführung der Simulation	187
5.	Ergebnisse	188
6.	Robustheitsanalyse	217
F.	Diskussion	225
I.	Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung	225
II.	Validität von Simulationsmodell und Ergebnis	226
III.	Implikationen für Pfadtheorie und Organisationsforschung	229
IV.	Limitationen	234
G.	Zusammenfassung und Ausblick	239
I.	Zusammenfassung	239

II.	Anknüpfungspunkte für weitergehende Forschung.....	240
H.	Referenzen.....	242
I.	Anhang	254
I.	Exkurs zur Pfadbrechung	254
1.	Implikationen für die Länge der lock-in-Phase	254
2.	Praktische Implikationen	261
II.	Netlogo Implementierungen	266
1.	Das einfache Modell institutionellen Wandels M0	266
2.	Das fortgeschrittene Modell institutionellen Wandels M1.....	271
III.	Umfassende Daten der Simulationsergebnisse.....	283
1.	Modell M1 span 2.....	284
2.	Modell M1 span 3.....	289
3.	Modell M1 span 5.....	295
4.	Modell M1 span 10.....	301
5.	Modell M1 span 32.....	306
6.	Robustheitsanalyse von M1	312
IV.	Auswertungen statistischer Tests	316

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Adoptionsverhalten bei increasing returns.....	30
Abbildung 2: Eigenschaften der drei Ertrags-Regime	38
Abbildung 3: Skaleneffekte führen zu sinkenden Stückkosten.....	56
Abbildung 4: Mindestoptimale Betriebsgröße und diseconomies of scale	57
Abbildung 5: Beispielhafte Lernkurve	60
Abbildung 6: Kontinuum möglicher Definitionen von Institutionen.....	69
Abbildung 7: Berliner 3-Phasen-Modell organisationaler Pfadabhängigkeit	101
Abbildung 8: Konzeptionelles Argument institutioneller Komplementarität	111
Abbildung 9: Institutionelles cluster in einer Menge von Institutionen.....	112
Abbildung 10: Konzepte interdependenter Institutionen im Kontinuum der fitness-Relation	117
Abbildung 11: Simulationen in zeitgenössischer Sozialwissenschaftlicher Forschung	129
Abbildung 12: “Roadmap“ zur Theoriebildung durch Simulationen	136
Abbildung 13: Gegenseitige Beeinflussung von Entscheidungsverhalten der Mikroebene und dem Systemverhalten auf der Makroebene in multi-level Problemen	140
Abbildung 14: Das Erwartung-Valenz-Modell nach Vroom	143
Abbildung 15: Rekonzeptionalisierung des Entscheidungsprozesses anhand des Erwartungs-Valenz-Modells von Vroom	146
Abbildung 16: Screenshot des Netlogo-Modells M0.....	152
Abbildung 17: Exemplarische Verlaufskurven des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei konstanten Erträgen	153
Abbildung 18: Interpolierte Wahrscheinlichkeitsdichte des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei konstanten Erträgen	154
Abbildung 19: Interpretation der Wahrscheinlichkeitsdichte	155
Abbildung 20: Exemplarische Verlaufskurven des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei zunehmenden Erträgen	156
Abbildung 21: Interpolierte Wahrscheinlichkeitsdichte des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei zunehmenden Erträgen	157

Abbildung 22: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für Anzahl der Agenten = 100	159
Abbildung 23: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für Anzahl der Agenten = 10,000.....	160
Abbildung 24: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für konstante Erträge und Variation des anfänglichen Verbreitungsgrades (spread = 1.0; 0.6; 0.2).....	161
Abbildung 25: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für zunehmende Erträge und negative Variation des anfänglichen Verbreitungsgrades (spread = -0.04; -0.03; - 0.02; -0.01; 0.00).....	163
Abbildung 26: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für zunehmende Erträge und positive Variation des anfänglichen Verbreitungsgrades (spread = 0.00; +0.01; +0.02; +0.03; +0.04)	164
Abbildung 27: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für die Variation der Misfit- Kostenfunktion durch $g_{M,c}(x)$ für verschiedene return-Regime	168
Abbildung 28: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für die Variation der Misfit- Kostenfunktion durch $h_{M,c}(x)$ für verschiedene return-Regime	169
Abbildung 29: Beispielhafte Verlaufskurve des Modells M0 mit Zuordnung der 3 Phasen des Berliner Modells	171
Abbildung 30: Interaktionsmöglichkeiten bei M1 (oben) und M0 (unten) im Vergleich	179
Abbildung 31: Rekonzeptionalisierung des Entscheidungsproblems im Modell M1 unter Rückgriff auf das EVM von Vroom	183
Abbildung 32: Implementierung der Organisationsstruktur in Netlogo mit Hilfe gerichteter links	186
Abbildung 33: Kombinationen der unabhängigen Variable Kontrollspanne (span) und Führungsmacht (li)	188
Abbildung 34: Einfluss der Kontrollspanne auf den Pfadprozess.....	190
Abbildung 35: Einfluss der Führungsmacht auf den Pfadprozess	193
Abbildung 36: Wahrscheinlichkeit eines lock-in in Abhängigkeit von Führungsmacht und Kontrollspanne	195
Abbildung 37: Der Pfadprozess in einer hierarchischen Organisation	197
Abbildung 38: Netlogo-Implementation des Modells M1 span2.....	200

Abbildung 39: Länge der Pfadformierungsphase in Abhängigkeit der Führungsmacht bei Kontrollspanne 2 im Vergleich zum Prozess ohne Hierarchie	202
Abbildung 40: Länge der Pfadformierungsphase in Abhängigkeit der Kontrollspanne bei konstanter Führungsmacht (für $l_i = 1, 3, 5$) im Vergleich zum Prozess ohne Hierarchie ($l_i=0$).....	204
Abbildung 41: Länge der Pfadformierungsphase in Abhängigkeit von Kontrollspanne und Führungsmacht	206
Abbildung 42: Zusammenfassung der Implikationen für die Pfadformierungsphase.....	207
Abbildung 43: Beispiel für breiten und engen lock-in-Korridor	210
Abbildung 44: Breite des lock-in-Korridors in Abhängigkeit von der Führungsmacht.....	211
Abbildung 45: Auswirkungen von Hierarchie auf die Prägnanz des lock-in.....	214
Abbildung 46: Prägnanz des lock-in in Abhängigkeit von Kontrollspanne und Führungsmacht.....	215
Abbildung 47: Zusammenfassung der Implikationen für die Prägnanz des lock-in	216
Abbildung 48: Beispielhafte Abbildung von Hierarchien verschiedener Konfigurationen mit je 3 Hierarchieebenen bei heterogener Kontrollspanne.....	218
Abbildung 49: Länge der Pfadformierungsphase im Robustheitsmodell M1r1 (oben) im Vergleich zu M1 (unten)	222
Abbildung 50: Prägnanz des lock-in im Robustheitsmodell M1r1 (oben) im Vergleich zu M1 (unten)	223
Abbildung 51: Zusammenfassung der Ergebnisse.....	233
Abbildung 52: Theorieentwicklung im Management und Computersimulationen als Prozess	238
Abbildung 53: Erweiterung von M1 auf Mehrliniensysteme, zum Beispiel die Matrixorganisation	241
Abbildung 54: Auswirkungen unterschiedlicher lock-in-Zeitpunkte auf die Länge der lock-in-Phase bei zeitlich begrenzter Analyse (Simulation endet bei 6,000 ticks).....	255
Abbildung 55: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit der Führungsmacht...	257

Abbildung 56: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit der Hierarchie.....	258
Abbildung 57: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit von Führungsmacht und Kontrollspanne	259
Abbildung 58: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Länge der lock-in-Phase	260
Abbildung 59: Graphische Darstellung der Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r1.....	313
Abbildung 60: Graphische Darstellung der Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r2.....	314
Abbildung 61: Graphische Darstellung der Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r3.....	315

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nutzenfunktionen der Agenten abhängig von Präferenzen und vorherigen Adoptionen.....	30
Tabelle 2: Untersuchte Kontrollspannen und die ihnen zugehörige Zahl der Hierarchieebenen.....	203
Tabelle 3: Konfigurationen der Modelle M1r1, M1r2 und M1r3	219
Tabelle 4: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=2)	284
Tabelle 5: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=2)	286
Tabelle 6: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=2).....	287
Tabelle 7: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=3)	289
Tabelle 8: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=3)	291
Tabelle 9: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=3).....	293
Tabelle 10: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=5)	295
Tabelle 11: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=5)	297
Tabelle 12: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=5).....	299
Tabelle 13: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=10)	301
Tabelle 14: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=10)	303
Tabelle 15: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=10).....	304

Tabelle 16: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=32)	306
Tabelle 17: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=32)	308
Tabelle 18: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=32).....	310
Tabelle 19: Aggregierte Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r1	312
Tabelle 20: Aggregierte Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r2.....	314
Tabelle 21: Aggregierte Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r3.....	315
Tabelle 22: T-Test 001	316
Tabelle 23: T-Test 002	316
Tabelle 24: T-Test 003	316
Tabelle 25: T-Test 004	316
Tabelle 26: T-Test 005	317
Tabelle 27: T-Test 006	317
Tabelle 28: T-Test 007	317
Tabelle 29: T-Test 008	317
Tabelle 30: T-Test 009	318
Tabelle 31: T-Test 010	318
Tabelle 32: T-Test 011	318
Tabelle 33: T-Test 012	318
Tabelle 34: T-Test 013	319
Tabelle 35: T-Test 014.....	319
Tabelle 36: T-Test 015	319
Tabelle 37: T-Test 016.....	319
Tabelle 38: T-Test 017	320
Tabelle 39: T-Test 018.....	320
Tabelle 40: T-Test 019	320
Tabelle 41: T-Test 020	320
Tabelle 42: T-Test 021	321

Tabelle 43: T-Test 022	321
------------------------------	-----

Abkürzungsverzeichnis

EVM	Erwartungs-Valenz-Modell von Vroom
FTA	„force to act“, Handlungsmotivation im EVM von Vroom
M0	einfaches Simulationsmodell institutionellen Wandels
M1	fortgeschrittenes Simulationsmodell institutionellen Wandels in hierarchischen Organisationen
M1r1	1. Simulationsmodell zur Robustheitsanalyse von M1
M1r2	2. Simulationsmodell zur Robustheitsanalyse von M1
M1r3	3. Simulationsmodell zur Robustheitsanalyse von M1
NGO	Nicht-Regierungsorganisation

Variablenverzeichnis

c	Stärke des komplementären feedbacks in den Modellen M0 und M1; Wertebereich: [0, 2]
li	Führungsmacht, unabhängige Variable im Modell M1; Wertebereich: [0, 5]
$mv_{x=x'}$	Abkürzung für „mean value“ (Mittelwert) bei Ausprägung der Variable $x = x'$
p	Wahrscheinlichkeit für das Ablehnen der Hypothese der Ungleichheit der Mittelwerte zweier unverbundener Stichproben im zweiseitigen T-Test mit unbekanntem Varianzen (Welch-Test); Wertebereich: [0, 1]
span	Kontrollspanne, unabhängige Variable im Modell M1; Wertebereich in M1: [2;3;5;10;32]; Wertebereich in M1rx: R^+
T	T-Wert im zweiseitigen Welch-Test
x	Verbreitungsgrad, berechnet sich bei zwei vorliegenden Institutionen A und B als $(\text{Diffusionsgrad von A})^2 - 1$; Wertebereich: [-1, +1]

A. Einleitung

I. Agenda

In der zeitgenössischen Managementtheorie nimmt die Erforschung von Hemmnissen organisatorischen Wandels eine zentrale Stellung ein, da zunehmende Komplexität und Unsicherheit in der organisatorischen Umwelt die Anpassungsfähigkeit von Organisationen zu einem zentralen Aspekt der Wettbewerbsfähigkeit werden lassen.¹ Zu einem der prominentesten Ansätze im aktuellen wissenschaftlichen Diskurs hat sich die Pfadabhängigkeitstheorie (kurz Pfadtheorie) entwickelt, die mit Fokus auf die Logik selbstverstärkender Effekte in Verbindung mit der Historizität und Emergenz organisatorischer Prozesse einen neuartigen Erklärungsansatz für anhaltende institutionelle Persistenz bietet.² Seit dem Aufkommen der Pfadtheorie, ursprünglich als Erklärungsansatz für die Durchsetzung ineffizienter technologischer Standards unter Marktbedingungen Ende der 1980er Jahre³, wird diese in der jüngeren Literatur vermehrt als konzeptioneller Rahmen zur Erklärung von extremen Formen organisatorischer Trägheit, dem sogenannten „lock-in“, herangezogen.⁴ In sämtlichen pfadtheoretischen Studien mit Organisationsbezug wird jedoch missachtet, dass der Schlüsselmechanismus eines Pfadprozesses, die selbstverstärkenden Effekte, auf der Marktlogik dezentraler Entscheidungen gleichberechtigter Akteure basiert⁵ – eine Voraussetzung, die in hierarchisch gestalteten Organisationen grundsätzlich nicht gegeben ist. In hierarchischen Organisationen liegt vielmehr eine von der spezifischen Organisationsstruktur abhängige Zentralisierung von Entscheidungen vor, die durch den Einsatz von Macht durchgesetzt werden kann.⁶ Es stellt sich im

¹ Vgl. Burgelman 2002 S.325; Genschel 1997 S.43; Hannan & Freeman 1984 S.149ff.; Leonard-Barton 1992 S.111; Miller & Chen 1994 S.1; Schiller-Merkens 2008 passim; Tripsas & Gavetti 2000 S.1147

² Vgl. Ackermann 2003 S.225ff.; Altman 2000 S.127ff.; Arthur 1989 S.116ff., 1994 passim; Beyer 2006 passim; Cowan 1990 S.541ff.; Cusumano, Mylonadis & Rosenbloom 1992 S.51ff.; David 1985 S.332ff., 1994 S.205ff.; Garud & Karnøe 2001 S.1ff.; Koch, Eisend & Petermann 2009 S.67ff.; Liebowitz & Margolis 1995 S.205ff.; Mahoney 2000 S.507; North 1990 S.115; Pierson 2000a S.251; Schäcke 2006 passim; Schreyögg & Sydow 2010 passim; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.689ff.; Zukowski 2004 S.955ff.

³ Vgl. Arthur 1989 S.116ff.; David 1985 S.332ff.

⁴ Vgl. Burgelman 2002 S.325; Beyer 2006 S.12; Koch, Eisend & Petermann 2009 S.67; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.694

⁵ Vgl. Arthur 1989 S.116ff., 1994 passim; David 1985 S.332ff., 1994 S.205ff.; Liebowitz & Margolis 1995 S.205ff.

⁶ Vgl. Schreyögg 2008 S.16f.

organisationalen Kontext daher grundsätzlich die Frage nach der Anwendbarkeit pfadtheoretischer Überlegungen: Kann in Organisationen ein Pfad per Hierarchie gesteuert und eine emergente Entwicklung unter dem Einfluss selbstverstärkender Effekte somit verhindert werden? Allgemeiner formuliert besteht beim aktuellen Forschungsstand völlige Unklarheit über das Spannungsverhältnis von Hierarchie und selbstverstärkenden Effekten, insbesondere darüber, ob oder unter welchen Umständen sich selbstverstärkende Effekte gegen hierarchische Strukturen durchsetzen können. Gelingt es der Hierarchie, die selbstverstärkenden Kräfte im Zaum zu halten, so wäre der selbstverstärkende Prozess institutioneller Entwicklung in Organisationen als unproblematisch anzusehen; dies würde den Erklärungswert pfadtheoretischer Konzepte in der Organisationsforschung grundsätzlich in Frage stellen. Aufgrund dieser weitreichenden Implikationen für das Forschungsfeld soll das Konkurrenzverhältnis zwischen Hierarchie und selbstverstärkenden Effekten ins Zentrum der vorliegenden Studie gerückt werden. Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist es, die Durchsetzungskraft von selbstverstärkenden Effekten in hierarchischen Organisationen zu untersuchen.⁷

II. Einführung in die Problemstellung

Innerhalb des organisationssoziologischen Institutionalismus gilt die Hauptaufmerksamkeit in der aktuellen Wandelforschung den Institutionen.⁸ Während der lange Zeit vorherrschende neoklassische Institutionalismus die Fähigkeit von Organisationen zu Wandel und Anpassung an neue Anforderungen proklamiert, und sich hierbei im Kern auf die von Adam Smith vorgetragene wirtschaftsliberale Position der „invisible hand“ beruft⁹, gibt es in der jüngeren Forschung kritische Stimmen, die auf die Wandelresistenz und nachhaltige

⁷ Das Erkenntnisinteresse wird im Laufe der Arbeit durch Forschungsfragen und eine Hypothese konkretisiert.

⁸ So argumentieren zum Beispiel Dacin, Goodstein & Scott 2002 (S.45): “the topic of institutional change has emerged as a central focus for organizational researchers“ oder Schiller-Merkens 2008 (S.1): “Der Wandel von Institutionen (...) ist ein Phänomen, dem gegenwärtig in der organisationswissenschaftlichen Forschung eine hohe Aufmerksamkeit zuteil wird“ oder Krepes 1990 (S.530): „Having a theory about how institutions arise and evolve could be more informative than theories of equilibrium within the context of a given set of institutions.“; siehe auch Ackermann 2001 S.163ff.; DiMaggio & Powell 1983 S.147ff.; Höijer 2008 S.1; March 1994 S.76ff.; March, Schulz & Zhou 2000 S.8-9; Schreyögg 2008 S.8ff.; Scott 2007 S.xi (Vorwort)

⁹ Vgl. Liebowitz & Margolis S.209

Persistenz von organisatorischen Lösungen aufmerksam machen.¹⁰ Diese Persistenz wird insbesondere unter Effizienzgesichtspunkten kritisch beurteilt, da neuere Untersuchungen im Zuge der Pfadforschung zeigen, dass auch ineffiziente institutionelle Lösungen über eine längere Zeit hinweg existieren und die Entwicklung von effizienteren Lösungen blockieren können. Zentrale Aspekte dieses auch als „positive feedback economics“¹¹ bezeichneten theoretischen Ansatzes sind hierbei die oben erwähnten selbstverstärkenden Effekte. Durch ihre Eigenschaft, kleine, unscheinbare Ereignisse massiv zu magnifizieren und ihnen potentiell auch große Wirkungen zuzuschreiben, verleihen sie der Historizität von ökonomischen und institutionellen Prozessen ein völlig neues Gewicht.¹² Im Unterschied zur neoklassisch präferierten Theorie der rationalen Wahl¹³, die grundsätzlich ahistorisch konzipiert ist, wird bei selbstverstärkenden Effekten eine Sensitivität auf Anfangsbedingungen festgestellt, d.h. die Ereignisse zu Beginn des Prozesses können bestimmen, welche Lösung sich schließlich durchsetzt. In den „positive feedback economics“ gilt deshalb: „history matters“¹⁴. Eines der prominentesten Beispiele für eine über lange Zeit persistente Lösung stammt aus dem Bereich der Entwicklung technologischer Standards und wurde von David anhand der QWERTY-Tastatur beschrieben, die trotz nachgewiesener Inferiorität gegenüber alternativen Lösungen über 100 Jahre bis heute ihre praktisch uneingeschränkte Dominanz gegenüber alternativen Lösungen verteidigt. Diese bahnbrechenden Überlegungen bilden den Ausgangspunkt für die Übertragung des Konzepts in die Theorie des organisatorischen Wandels.

Den soeben umrissenen Überlegungen einen wissenschaftlich soliden, theoretischen Rahmen zu geben, ist das Anliegen der Theorie der Pfadabhängigkeit (engl. *path dependence*), einer relativ jungen Forschungsrichtung, deren Entwicklung vor etwa 25 Jahren in der Volkswirtschaftslehre mit den Überlegungen Davids zur QWERTY-Tastatur ihren

¹⁰ Vgl. Ackermann 2003 S.227; Leonard-Barton 1992 passim; Pierson 2000b S.475; Schäcke 2006 passim; Teece, Pisano & Shuen 1997 S.522

¹¹ Arthur 1990 S.99

¹² Vgl. Arthur 1989 passim; David 1975, David 1985 passim; Schäcke 2006 S.36

¹³ Vgl. Kiser 1996 S.249ff.; Weber 1951 S.146ff.; Axelrod 1987 passim

¹⁴ David 1994 S.208

Anfang nahm.¹⁵ Mittlerweile hat sich das Konzept in vielen Forschungsdisziplinen der Sozialwissenschaft wie der Soziologie¹⁶, der Politikwissenschaft¹⁷, der Organisationstheorie¹⁸ und der Strategieforschung¹⁹ zu einem der meistgenutzten Forschungsansätze entwickelt, wenn es um die Erklärung der Persistenz potentiell ineffizienter Technologien, politischer Regime, Institutionen oder Strategien geht.²⁰ In den etablierten Modellen der Pfadabhängigkeitstheorie ist das Konzept der selbstverstärkenden Effekte von zentraler Bedeutung. Für diesen Prozess formuliert die Pfadabhängigkeitstheorie im Kern die These, dass durch eine Abfolge kleiner, ex ante unbedeutend erscheinender Ereignisse, so genannter *small events*, angestoßen und durch *positive Rückkopplungen* verstärkt bei der fokalen Lösung ein emergenter, nonergodischer Prozess in Gang gesetzt wird, der als *Pfad* bezeichnet wird. Dieser kann zur Verdrängung und bis hin zum vollständigen Ausschluss alternativer Lösungen durch die fokale Lösung führen, dem so genannten *lock-in*. Hierbei wird konstatiert, dass ein lock-in einer inferioren Lösung in diesem Prozess keineswegs die Ausnahme bildet, da der Prozess der Auswahl der gelockten Lösung nicht primär Effizienzgesichtspunkten unterliegt, sondern von zufälligen Ereignissen zu Beginn des Prozesses maßgeblich beeinflusst wird; das Erreichen einer pareto-optimalen Gleichgewichtslösung wird damit in einer signifikanten Zahl der Fälle unmöglich; diese Erklärung für die Persistenz ineffizienter Technologien, Strategien oder institutioneller Lösungen impliziert unter dem Regime der selbstverstärkenden Effekte systematisches Marktversagen und stellt so einen klaren Bruch mit den Vorhersagen der neoklassischen Lehre dar.²¹ Dieser Umstand begründet das große Interesse an der Pfadabhängigkeitstheorie. Mit der Übertragung der Argumentation auf den Prozess organisatorischen Wandels und den Vorhersagen über die ungeplante Entstehung und das Beharrungsvermögen ineffizienter institutioneller Arrangements proklamiert die organisationale Theorie der Pfadabhängigkeit eine neue, nicht-lineare Denkweise, die das Potential hat, sich in

¹⁵ Vgl. David 1975, David 1985 passim

¹⁶ Vgl. Mahoney 2000 passim

¹⁷ Vgl. Pierson 2000a passim

¹⁸ Vgl. Ackermann 2003 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 passim; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 passim

¹⁹ Vgl. Koch 2007 S.284-290

²⁰ Vgl. Beyer 2005 S.5

²¹ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.209

kurzer Zeit zu einem neuen Paradigma in der Organisationsforschung zu entwickeln.

In einer aktuellen Publikation der Organisationsforschung wird die in diesem Gebiet bisher eher allgemein vorgetragene Argumentation der Pfadabhängigkeit in einem Prozessmodell organisationaler Pfadabhängigkeit spezifiziert. Mit Hilfe des sogenannten „Berliner Modells“²² bietet sich nun auch in der Organisationsforschung die Möglichkeit, Pfadprozesse gezielt und theoriegeleitet zu untersuchen. Die Übertragung des Konzepts von der Marktlogik auf den organisationalen Kontext ist jedoch nicht unproblematisch. So wird bei Pfadprozessen üblicherweise eine dezentrale, individuelle Entscheidungsfindung unterstellt. In vielen Fällen wird sogar erst durch die Entscheidungen der Akteure auf der Mikroebene ein emergentes Makroverhalten des sozialen Systems erzeugt, das durch Rückkopplungen mit der individuellen Entscheidungsebene die selbstverstärkenden Effekte erst hervorbringt, die dem Pfadprozess in der ökonomischen Analyse zu seiner Sonderstellung und großem Aufmerksamkeit verhelfen. Das in der Marktperspektive unterstellte dezentrale Entscheidungsverhalten ist aber in Organisationen nur bedingt gegeben, da durch die hier vorliegende Hierarchie eine asymmetrische Machtverteilung existiert, und die Entscheidungsprozesse dadurch einen teilweise erheblichen Grad an Zentralisierung aufweisen. Man beachte, dass in der vorliegenden Arbeit auf Machtasymmetrien innerhalb von Organisationen fokussiert und Macht als ein Faktor im intra-organisationalen Entscheidungsprozess konzeptionalisiert wird. Diese Perspektive muss klar von der These von Macht als Pfadtreibendem Mechanismus differenziert werden, wie sie von Beyer vertretend wird.²³ Die Frage, inwiefern die Zentralisierung von Entscheidungsprozessen die Entstehung von Pfaden in Organisationen beeinflusst, ist in der Pfadforschung abgesehen von den erwähnten Arbeiten Beyers bisher nicht untersucht worden. So liegt die Vermutung nahe, dass im Falle zentralistischer Systeme mit stark ausgeprägter Machtasymmetrie die Pfadlogik obsolet wird, weil ein Gegengewicht zu den

²² Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691ff. und Schreyögg & Sydow 2010 S.3-12, siehe auch Abschnitt C.IV.2 dieser Arbeit

²³ Vgl. Beyer 2006 S.48; Beyer stellt bei seiner Argumentation nicht primär auf die Machtasymmetrie zwischen Akteuren einer Organisation ab, sondern auch auf die Ring- und Überkreuzverflechtungen zwischen Unternehmen (S.55)

emergenten selbstverstärkenden Effekten existiert, das deren Effekt konterkariert. Im extremen Fall muss gefragt werden: Kann durch zentralisierte Entscheidung die Entstehung eines ineffizienten Pfades verhindert werden? Falls dies möglich ist, z.B. mittels ausreichend großer Machtpotenziale, was für starke Führungskräfte innerhalb einer Organisation denkbar wäre, wird der Pfadlogik die Brisanz und damit die Berechtigung genommen, die bisherigen Paradigmen des organisationssoziologischen Institutionalismus in Frage zu stellen.

Die vorliegende Forschungsarbeit setzt an dieser Stelle an und stellt den Versuch dar, die aufgezeigte Forschungslücke zu schließen. Hierfür soll, aufbauend auf dem Berliner Modell und den bisherigen Arbeiten zur Pfadforschung ein formales Modell zur Untersuchung selbstverstärkender Effekte in Organisationen entwickelt werden, mit Hilfe dessen der Einfluss von Hierarchie auf den Pfadkonstitutionsprozess untersucht werden kann. Hierfür ist es notwendig, Hierarchie so formal zu modellieren, dass ihre Auswirkungen auf den Pfadprozess nachvollzogen werden können. Es soll ergründet werden, ob es abhängig vom Zentralisierungsgrad der Organisationsstruktur und der Stärke der Einflusspotentiale der Führungskräfte in hierarchischen Organisationen ebenfalls zum (potentiell dysfunktionalen) lock-in kommen kann. Mit diesem Ansatz soll die in weiten Teilen der Pfadtheorie vorgetragene, bisher aber theoretisch nicht fundierte These untersucht werden, dass sich die dezentrale Marktlogik pfadabhängiger Prozesse auch in hierarchischen Organisationen durchsetzen kann.

III. Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Die wissenschaftliche Grundlage dieser Arbeit bildet die Theorie der Pfadabhängigkeit, die im Laufe der Arbeit mit der Organisationstheorie verknüpft und in die Theorie des institutionellen Wandels eingebettet werden soll. Hierfür sollen zunächst die theoretischen Grundlagen, auf die sich diese Arbeit bezieht, aufgearbeitet werden. Der Pfadtheorie, die für die Untersuchung als zentrale Theorie im Mittelpunkt der Betrachtungen steht, fällt hierbei das größte Gewicht zu.

So wird in Kapitel B zunächst auf die Entstehungsgeschichte der Pfadtheorie im Bereich der Evolution technologischer Standards rekuriert, um die relevanten

Konzepte, sowie die Eigenschaften und Entwicklungsstufen pfadabhängiger Prozesse präzise nachzeichnen zu können.

In Kapitel C wird die Übertragung der Pfadtheorie auf den organisationalen Kontext erläutert. Hierbei werden zunächst die relevanten Konzepte der Organisationstheorie und des Institutionalismus erläutert, bevor nach einer Spezifizierung von selbstverstärkenden Effekten institutionellen Wandels auf das Berliner Modell organisationaler Pfadabhängigkeit eingegangen wird. Dieses stellt den aktuellen Stand organisationaler Pfadtheorie dar. Kapitel C endet mit der Herleitung der Notwendigkeit, Hierarchie und Führung in das organisationale Pfadmodell zu integrieren und zeigt so noch einmal dezidiert die Forschungslücke auf, auf die sich die vorliegende Arbeit bezieht.

Der wissenschaftlichen Methode der Simulation, die für die Analyse des in dieser Arbeit zu entwickelnden formalen Modells gewählt wird, widmet sich ausführlich Kapitel D. Dies scheint angebracht, da es sich bei der Simulation um eine in der Organisationstheorie noch wenig verbreitete Forschungsmethode handelt, deren Eignung für die Fragestellung zunächst diskutiert werden sollen. Hierbei ergibt sich, dass die Simulationsmethode Eigenschaften besitzt, die sie für die vorliegende Fragestellung geradezu prädestiniert.

Im Anschluss an die Theorie- und Methodenteile werden in Kapitel E geeignete Konzepte der grundlegenden Theorien zu einem formalen Modell institutionellen Wandels in Organisationen verknüpft, das pfadabhängige Prozesse abbilden kann. Hierbei wird gemäß der roadmap, einer Art Leitfaden für wissenschaftliche Simulation in der Managementtheorie, in zwei Stufen vorgegangen. Zunächst wird in Abschnitt E.I ein einfaches Modell M0 entwickelt, das die wichtigen Mechanismen institutionellen Wandels beinhaltet, ohne jedoch bereits organisationale Hierarchie abzubilden. Durch die Selektivität der implementierten Mechanismen ist es möglich, das formale Modell mit den Ergebnissen anderer Modelle zu validieren, die ebenfalls keine Machtasymmetrie mitdenken.²⁴ Ist das einfache Modell M0 validiert, kann es im folgenden Abschnitt E.II gemäß der

²⁴ Vgl. die agentenbasierte Modellierung in Arthur 1989 S.117ff. sowie die Ausführungen zum allgemeineren Urnenmodell in Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.36ff.

building-block Methode um die relevanten Aspekte hierarchischer Organisationen erweitert werden, insbesondere um Hierarchie und Führungsmacht. Mit Hilfe des so entstandenen neuen Modells M1 können selbstverstärkende Effekte im Prozess institutionellen Wandels in Abhängigkeit von Hierarchie und Führungsmacht untersucht werden. Mit Hilfe von Computersimulationen werden aus den formalen Modellen Schlussfolgerungen gezogen, die geeignet sind, im Ergebnisteil dieses Kapitels die oben vorgetragene These zur Gültigkeit des pfadtheoretischen Paradigmas in der Organisationsforschung mit wissenschaftlichen Methoden zu analysieren.

Auf diese Weise wird versucht, mittels der Formalisierung selbstverstärkender Effekte im Prozess des organisatorischen Wandels die Lücke zwischen Pfadtheorie und Organisationstheorie zu schließen. Der Beitrag der vorliegenden Arbeit hierzu wird in Kapitel F diskutiert. Es wird insbesondere auf die Implikationen eingegangen, die sich aus den Ergebnissen für Pfadforschung und Organisationstheorie ergeben. Abschließend werden die Grenzen der Untersuchung benannt.

Kapitel G fasst schließlich die Ergebnisse der vorliegenden Studie zur Modellierung von selbstverstärkenden Effekten im Prozess organisatorischen Wandels zusammen und gibt einen Ausblick auf weitere Forschungsvorhaben, die sich aus den Ergebnissen dieser Studie ergeben können.

Im Anhang werden im Rahmen eines Exkurses über die Fragestellung hinausgehende Ergebnisse und deren Folgen für organisationale Pfadbrechung diskutiert und es wird speziell auf die Implikationen für die Managementpraxis eingegangen.

B. Theorie der Pfadabhängigkeit technologischer Standards

In diesem Kapitel wird der Stand der Pfadforschung bei der Entwicklung technologischer Standards umfassend aufgearbeitet, die in der Volkswirtschaftslehre ihren Anfang nahm. Die Pfadabhängigkeitstheorie hat dort ihren Ursprung in den wirtschaftshistorischen Beobachtungen Davids²⁵ über die Durchsetzung der Schreibmaschinentastatur QWERTY gegenüber alternativen Schreibmaschinen-Tastaturen gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Bis heute dominiert diese „Tastatur-Technologie“ den Markt für Computertastaturen nahezu vollständig. Bedingt durch eine Folge zunächst unscheinbar wirkender Ereignisse wurde ein Prozess in Gang gesetzt, an dessen Ende die Durchsetzung einer evident inferioren Technologie trotz effizienter, funktionierender Märkte konstatiert wird. Die Behauptung, dass es sich hierbei um eine gängige Form des Marktversagens handelt, das durch einen im Wirtschaftsleben weit verbreiteten Mechanismus und nicht durch eine Singularität bedingt ist, sorgt aufgrund des krassen Widerspruchs zu den Vorhersagen der neoklassischen Wirtschaftstheorie für Aufsehen.²⁶

Das Ziel dieses Kapitels ist, eine tragfähige Grundlage der Theorie der Pfadabhängigkeit darzulegen. Hierzu werden zunächst die frühen Überlegungen von David²⁷ und Arthur²⁸ zur Pfadabhängigkeit vorgestellt, die ausgehend von einem Bündel aus Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse zu einer Abgrenzung der relevanten Konzepte der Pfadabhängigkeit technologischer Standards führen. Sie legen damit die Grundsteine für die Pfadtheorie und ein neues wirtschaftswissenschaftliches Paradigma, das die Effizienzvoraussagen der neoklassischen Wirtschaftstheorie grundsätzlich in Frage stellt.²⁹ Es wird gezeigt, dass diese Überlegungen die Grundlage für Forschungen bilden, die das Pfadmodell weiter ausbauen³⁰, kritisieren³¹ oder dessen Kernargumentation auf

²⁵ Vgl. David 1975, David 1985 passim

²⁶ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 passim

²⁷ Vgl. David 1975, David 1985 passim

²⁸ Vgl. Arthur 1989, Arthur 1994 passim

²⁹ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.205-206

³⁰ Vgl. David 2001 passim; Garud & Karnøe 2001 S.6ff.; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.264

³¹ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 passim

andere Disziplinen übertragen³². Hier wird die historische Entwicklung der Theoriebildung skizziert und die im Zeitablauf immer elaborierteren Konzepte werden erläutert.

Das vorliegende Kapitel bildet somit die Ausgangsbasis für die spätere Übertragung der Theorie der Pfadabhängigkeit auf den institutionellen Kontext in Organisationen, der im Mittelpunkt dieser Forschungsarbeit steht.

I. Ursprung der Theorie der Pfadabhängigkeit in den „Economics of QWERTY“

Paul Davids Überlegungen zur Durchsetzung der QWERTY-Tastatur gegenüber alternativen Tastaturen stehen am Anfang der Entwicklungsgeschichte der Theorie der Pfadabhängigkeit.³³ David betrachtet am Beispiel der historischen Entstehung der Anordnung der Buchstaben auf der heute geläufigen Tastatur, die im englischen in der ersten Reihe die Folge QWERTY zeigt, wie sich die „QWERTY-Technologie“ Ende des 19. Jahrhunderts gegen alle alternativen Technologien³⁴ durchsetzt und den Markt mittlerweile seit über 100 Jahren nahezu konkurrenzlos dominiert. Anhand seiner Beobachtungen entwickelt er die These, dass eine pfadabhängige Sequenz von technologischen Veränderungen auf *„zufallsabhängige, zeitlich weit in der Vergangenheit liegende Ereignisse“*³⁵ zurückgeführt werden kann. Diese historienbezogene Sichtweise, die darauf Wert legt, dass vergangene Ereignisse die Gegenwart beeinflussen, wird auch Historizitätsprinzip genannt. Solche zufälligen und unbedeutend erscheinenden Ereignisse können nämlich, wie im Fall von QWERTY, unter noch näher zu spezifizierenden Umständen nachhaltige positive Rückkopplungsmechanismen in Gang setzen, die in kurzer Zeit zu einer Potenzierung des ursprünglichen Effekts führen. Sind die positiven Rückkopplungen anhaltend, so kann ein Ereignis, dem unmittelbar nur ein vernachlässigbar geringer Effekt zugesprochen werden kann, im Zeitablauf einen Effekt mit ständig und grenzenlos wachsender Stärke

³² Vgl. Ackermann 2001, Pierson 2000a passim; Garud & Karnøe 2001 S.9ff.; Koch 2007 passim; Mahoney 2000 passim; Nooteboom 1997 passim; Pierson 2000a passim; Schäcke 2006 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 passim; Sterman & Wittenberg 1999 passim

³³ Vgl. David 1985, David 1986 passim

³⁴ im Sinne alternativer Buchstabenanordnungen auf der Schreibmaschinen- und später der Computertastatur

³⁵ David 1985 S.332 (eigene Übersetzung)

erzeugen. Ob ein System einem solchen Wirkungsmechanismus unterliegt, und – wenn ja – zu welchem Ergebnis er führt, ist abhängig von Ereignissen in der Vergangenheit, denen zum Zeitpunkt ihres Auftretens keine Bedeutung zugesprochen werden kann, da unklar ist, ob ein spezifisches Ereignis selbstverstärkende Effekte auslöst³⁶. Wenn so zu Beginn des Prozesses nicht vorhersagbar ist, welches von einer gegebenen Menge von möglichen Ergebnissen sich langfristig einstellt, spricht man von Nonergodizität³⁷. Obwohl David diese von ihm als „remote events“ bezeichneten Ereignisse als notwendigen Baustein zur Erklärung des QWERTY-Phänomens verwendet, werden diese noch nicht als eigenständiges Konzept klassifiziert. In den Mittelpunkt seiner qualitativen Betrachtungen stellt David vielmehr die Konzepte Historizität³⁸, Nonergodizität³⁹ und selbstverstärkende Effekte⁴⁰, die sich später als Kernkonzepte der Pfadforschung etablieren werden.⁴¹ Davids Analyse schließt mit der Schlussfolgerung, dass bei Vorliegen von selbstverstärkenden Effekten nicht vorhergesagt werden kann, welches Gleichgewicht aus einer Menge möglicher Gleichgewichte sich schließlich einstellt und dass außerdem – und hierbei handelt es sich um das für Neoklassische Lehre sensationelle Ergebnis – nicht sichergestellt ist, dass sich in einem solchen Prozess die effizienteste Lösung durchsetzt.⁴²

Inhaltlich werden zufällige Ereignisse zu Beginn der Entwicklung mit Historizität, Nonergodizität und selbstverstärkenden Effekten zu einer neuartigen Klasse von Prozessen verknüpft, die scheinbar nicht der neoklassischen Ordnung unterliegen; diese Überlegungen bilden die Kernlogik des Pfadkonstitutionsprozesses. Die

³⁶ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003: „Darunter ist das erstmalige Auftreten eines Ereignisses zu verstehen, das nachhaltige, selbstverstärkende Effekte ausübt, (...) ob, wann und mit welcher Stärke ein solches Ereignis eintritt, ist ex ante nicht bestimmbar, sondern zufällig.“ (S.263)

³⁷ Vgl. Garud & Karnøe 2001 S.3f.

³⁸ Für eine ausführliche Erläuterung des Historizitätsprinzips und der Rolle des Prinzips in der Pfadtheorie siehe auch Abschnitt B.III.1 auf S.36f. dieser Arbeit.

³⁹ Für eine ausführliche Erläuterung der Prozess-Eigenschaft der Nonergodizität und ihrer Bedeutung in der Pfadtheorie siehe auch Abschnitt B.III.3 auf S.38f. dieser Arbeit.

⁴⁰ Man verwendet in der Pfadtheorie in diesem Zusammenhang vornehmlich den Terminus selbstverstärkende Effekte, der mit dem Begriff *positive Rückkopplungen* synonym verwendet werden kann. Für eine ausführliche Erläuterung der Wirkungsweise von selbstverstärkenden Effekten und ihrer Rolle in der Pfadtheorie siehe auch Abschnitt B.IV.2 auf S.52ff. dieser Arbeit.

⁴¹ Vgl. Garud & Karnøe 2001 S.1-6; Pierson 2000a S.253; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.261-271; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691ff.

⁴² Vgl. David 1985 S.332

bisher nur verbal formulierten und zusammengeführten Konzepte wurden von Arthur in der frühen pfadtheoretischen Modellierung formalisiert und konkretisiert.

II. Frühe pfadtheoretische Modellierung

Aufbauend auf den qualitativen, wirtschaftshistorischen Betrachtungen von David entwickelte Arthur ein Multiagentenmodell⁴³, in dem Technologien um die Adoption durch Agenten wetteifern, sowie ein abstrakteres Urnenmodell⁴⁴ zur mathematisch exakten Modellierung von Pfadprozessen. Diese Modelle leisten durch die ihnen inhärente Formalisierung eine weitere Konkretisierung der Pfad-Idee hin zu einem wissenschaftlichen Prozessmodell. Erstmals in der Pfadforschung werden dabei die den Prozess auslösenden „historical small events“⁴⁵ explizit definiert und mit den Prinzipien Historizität, Nonergodizität und increasing returns zu einem spieltheoretischen und einem mathematisch-analytischen Pfadmodell verbunden. Da diese Modelle und ihre Ergebnisse für die Diskussion und Fortentwicklung der Pfadabhängigkeitstheorie von herausragender Bedeutung sind⁴⁶, und zusätzlich die Ergebnisse der formalen Modelle vorzüglich geeignet sind, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Simulationsmodelle zu validieren, sollen diese im Folgenden kurz erläutert werden.

1. Ein Multiagentenmodell zur Erklärung technologischer Pfade

Bereits vor den ersten Studien der Pfadtheorie⁴⁷ gab es Überlegungen zur Dynamik dezentraler Entscheidungen unter Bedingungen selbstverstärkender

⁴³ Vgl. Arthur 1989 S. 117ff., sowie auch die Kritik zu dem von Arthur mitgeprägten Verständnis von Pfadabhängigkeit, lock-in und potentieller Ineffizienz in Liebowitz & Margolis 1995 passim

⁴⁴ Vgl. Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.36-47

⁴⁵ Arthur 1989: „I therefore define ‘historical small events’ to be those events or conditions that are outside the ex ante knowledge of the observer – beyond the resolving power of his ‘model’ or abstraction of the situation.“ (S.118)

⁴⁶ Vgl. den Bezug auf die Modelle Arthurs in den Arbeiten von Ackermann 2003 S.230; David 1994 S.208; Garud & Karnøe 2001 S.4; Liebowitz & Margolis 1995 S.208; Mahoney 2000 S.507; Pierson 2000a S.253-254; Schreyögg & Sydow 2010 S.3; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

⁴⁷ Bezug genommen wird hierbei auf die Studien von David 1985 und Arthur 1989

Effekte und den Versuch, diese formal zu modellieren.⁴⁸ Arthurs Modellierungen⁴⁹ stellen jedoch eine erste Formalisierung der Überlegungen Davids⁵⁰ und damit die explizite Verknüpfung der Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse in einem formalen Modell dar. In dem von Arthur entwickelten Multiagentenmodell wetteifern zwei Technologien A und B um die Annahme⁵¹ durch rationale Agenten des Typs R und S.⁵² Die Agenten stehen bildlich gesprochen „in einer Reihe“ und wählen nacheinander eine der beiden Technologien. Ihre Entscheidung ist jeweils durch eine Nutzenfunktion bestimmt. Hierbei wird angenommen, dass Agenten des Typs R eine natürliche, aber begrenzte Präferenz für Technologie A haben, analog besitzen S-Agenten eine begrenzte Präferenz für B. Für unsere Untersuchung ist vornehmlich der Fall der increasing returns interessant, d.h. eine von einem Agenten einmal gewählte Technologie generiert für spätere potentielle Verwender einen höheren Nutzen; der Nutzen der Technologie für zukünftige Benutzer steigt also mit der Häufigkeit ihrer bisherigen Verwendung.⁵³ Formal bedeute dies, dass der Nutzen der Agenten bei der Wahl von A bzw. B durch die Nutzenfunktionen in Tabelle 1 beschrieben wird, wenn gilt

- (1) $a_R > b_R$ und $a_S < b_S$, da R-Agenten eine natürliche Präferenz für A, S-Agenten eine natürliche Präferenz für B besitzen
- (2) n_A bzw. n_B ist die Anzahl der bisherigen Adoptionen von A bzw. B
- (3) $r, s > 0$, wenn increasing returns vorliegen

⁴⁸ Vgl. die Modellierung von Weidlich & Haag 1983 (S.18ff.), die bereits vor ersten pfadtheoretische Überlegungen formale Modelle dezentraler Entscheidungsfindung und selbstverstärkenden Effekten - vornehmlich unter dem Begriff „self-acceleration“ (vgl. Weidlich & Haag 1983 S.179) - entwickelten und untersuchten

⁴⁹ Vgl. Arthur 1989, 1994

⁵⁰ Vgl. David 1985

⁵¹ auch als „Adoption“ bezeichnet

⁵² Vgl. Arthur 1989 S. 117ff.

⁵³ Die increasing returns werden zunächst durch Skaleneffekte, Netzwerkeffekte und Lerneffekte auf Konsumenten- und Produzentenseite begründet. Vgl. hierzu Katz & Shapiro 1985, Arthur 1989, Arthur 1994; Liebowitz & Margolis 1995 und die detaillierten Ausführungen zu den einzelnen Selbstverstärkungsmechanismen in Kapitel B.IV.2

Tabelle 1: Nutzenfunktionen der Agenten abhängig von Präferenzen und vorherigen Adoptionen

	Technology A	Technology B
R-agent	$a_R + r n_A$	$b_R + r n_B$
S-agent	$a_S + s n_A$	$b_S + s n_B$

Quelle: Arthur 1989 S.118

Durch die zufällige Abfolge der Agenten in der Schlange kann es zu Beginn z.B. zu einer Häufung von S-Agenten kommen, wodurch Technologie B zu Beginn überdurchschnittlich häufig verwendet würde, so dass der für Technologie B generierte Zusatznutzen $r \cdot n_B$ sogar die natürliche Präferenz $(b_R - a_R)$ des Agenten R für Technologie A übersteigen kann. Allgemeiner formuliert werden R-Agenten B wählen, wenn für die Differenz der Adoptionen $d_n := n_A - n_B$ gilt

$$d_n = n_A - n_B < (b_R - a_R) / r .$$

In diesem Falle würden von nun an beide Typen von Agenten immer nur B wählen.⁵⁴ Abbildung 1 zeigt einen möglichen Prozess dieser Art, der zum lock-in in der Technologie B führt.

Abbildung 1: Adoptionsverhalten bei increasing returns

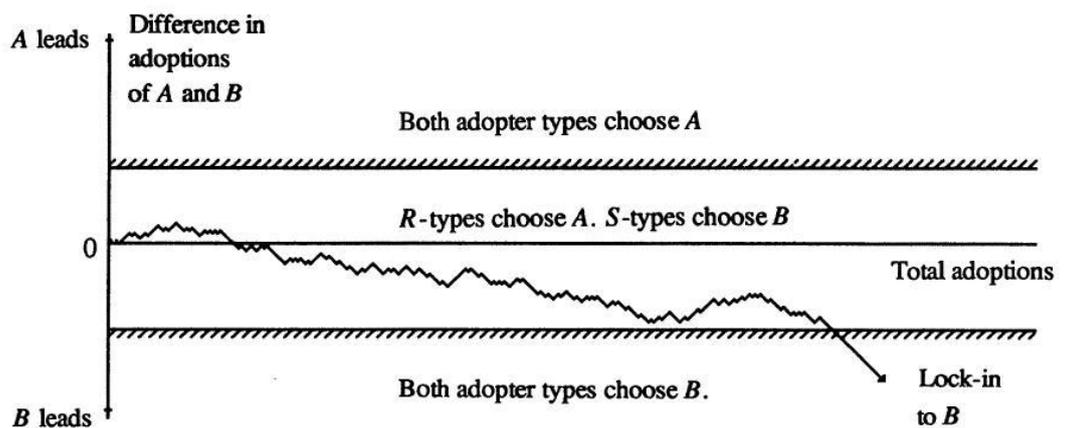


Fig. 1. Increasing returns adoption: a random walk with absorbing barriers

Erläuterung: Die Differenz der Adoptionen d_n im Zeitablauf; Quelle: Arthur 1989 S.120

Dem Historizitätsprinzip entsprechend hängt also die Entscheidung eines jeden Agenten von der „Geschichte“ des Entscheidungsproblems ab. Da

⁵⁴ Analog gilt natürlich: falls $d_n = n_A - n_B < (b_S - a_S) / s$ wählen alle S-Agenten ebenfalls A.

Nutzenfunktionen und die Höhe der increasing returns bekannt sind und ferner die Annahme des no-sponsoring gilt⁵⁵, wird die Reihenfolge der Agenten in der Schlange zum entscheidenden Faktor, was den Ausgang des Prozesses angeht – insbesondere ob und falls ja, welche Technologie sich durchsetzen kann. Die Reihenfolge der Agenten wird randomisiert, um den Prozess nonergodisch zu gestalten. In dieser Zufälligkeit verankert Arthur die “historical small events“. Sie werden als eine Sammlung von Ereignissen und Umweltbedingungen definiert, die von einem Beobachter mit dem von ihm verwendeten Modell nicht vorhersagbar sind. In der Konsequenz kann die Reihenfolge der Agenten für diesen Beobachter als zufällig angesehen werden.⁵⁶

Das Ergebnis des Prozesses ist für diesen Beobachter dann subjektiv nonergodisch. Auch wenn diese Konzeption von small events und Nonergodizität für das Arthursche Modell sinnvoll gewählt sein mag, drängt sich hier in Bezug auf die Natur nonergodischer Prozesse die Frage auf, ob small events und ihre Wirkung nicht mit Hilfe eines elaborierten Prognoseinstruments vorhergesagt werden könnten. Nach Arthur könnte es sich bei small events auch um vorherbestimmte, d.h. deterministische, jedoch lediglich in Ermangelung eines ausgereiften Prognoseinstruments unvorhersagbare Ereignisse handeln. Arthurs Definition ist an dieser Stelle nicht scharf genug, um eine klare Diskriminierung zwischen Unvorhersagbarkeit und Unvorherbestimmtheit für die theoretische Fundierung des Konzepts der small events festzulegen. Für den Beobachter in Arthurs Agentenmodell macht dies freilich keinen Unterschied: Da small events für ihn aus der Konstruktion des Modells heraus unvorhersagbar sind, stellt sich die Frage nach der Vorherbestimmtheit erst gar nicht. Vor dem Hintergrund der wichtigen Rolle von small events in den späteren Modellen der Pfadabhängigkeitstheorie und dem Fakt, dass Nichtvorhersagbarkeit eine zentrale Eigenschaft von pfadabhängigen Prozessen darstellt, ist diese Unschärfe in der

⁵⁵ Diese Annahme besagt, dass es keinem Agenten möglich ist, eine Technologie zu subventionieren und sich die dadurch in der Zukunft generierten Gewinne zu sichern, bzw. einen Teil der durch spätere Verwender der Technologie gewonnenen zusätzlichen Nutzen zu internalisieren; zur no-sponsoring Annahme vgl. Arthur 1989 S.117 sowie die fundamentale Kritik an dieser Annahme in Liebowitz & Margolis 1995 S.216

⁵⁶ Vgl. Arthur 1989 S.118

Arthur'schen Definition von small events, die auch von späteren Autoren übernommen und nicht weiter spezifiziert wird, durchaus erwähnenswert.

In Anlehnung an den Vorschlag Davids⁵⁷ haben sich Arthur et al.⁵⁸ zwecks der Modellierung technologischer Pfadprozesse eingehend mit den stochastischen Eigenschaften des diskreten Urnenmodells in Anlehnung an Polya und Eggenberger⁵⁹ beschäftigt. Diese sollen im Folgenden herausgearbeitet werden.

2. Das Urnenmodell

Bei dem von Arthur und seinen beiden russischen Kollegen⁶⁰ betrachteten Standard Polya Prozess wird aus einer Urne mit zunächst zwei verschieden farbigen Kugeln, rot und weiß, eine zufällig gezogen, zurückgelegt und eine weitere Kugel der soeben gezogenen Farbe ebenfalls in die Urne gegeben. Dieser Vorgang wird beliebig oft wiederholt. Da die Wahrscheinlichkeit, eine Kugel der Farbe Rot zu ziehen, gleich dem Anteil der roten Kugeln in der Urne ist, ist jeder erreichte Systemzustand wieder ein Gleichgewichtszustand. Zu welchem der multiplen Gleichgewichte der Prozess letzten Endes tendiert, hängt von der frühen Phase der Ziehungen ab; das liegt daran, dass die am Anfang zugegebenen Kugeln einen höheren Anteil an der Gesamtmenge und damit eine höhere Wirkung für die nächste Ziehungswahrscheinlichkeit aufweisen, als es bei späteren Ziehungen der Fall ist. Das Historizitätsprinzip greift.⁶¹ Polya⁶² zeigte, dass der Prozess unendlich viele multiple Gleichgewichte aufweist, die als Anteil der ersten Kugelfarbe ausgedrückt auf dem Intervall $[0,1]$ gleichverteilt sind. Nonergodizität⁶³ ist somit gegeben.

Um selbstverstärkende Effekte in das Modell zu integrieren wird der Standard Polya Prozess von Arthur et al.⁶⁴ um eine Urnenfunktion erweitert, die die Wahrscheinlichkeiten für das Hinzufügen neuer Kugeln an den Anteil der jeweiligen Kugeln in der Urne koppelt. Die Fixpunkte der Urnenfunktionen bilden

⁵⁷ Vgl. David 1985 S.335

⁵⁸ Vgl. Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.36ff.

⁵⁹ Vgl. Polya & Eggenberger 1923

⁶⁰ Vgl. Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.36ff.

⁶¹ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.689

⁶² Vgl. Polya 1931

⁶³ Für detailliertere Ausführungen und eine formale Definition von Nonergodizität vgl. Abschnitt B.III.3 auf S.38 dieser Arbeit

⁶⁴ Vgl. Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.38ff.

dann die multiplen Gleichgewichte, von denen eines mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 erreicht wird.⁶⁵ Welches dieser Gleichgewichte sich letztlich einstellt, hängt auch hier nun einzig von den small events ab: die spezifische, zufallsabhängige Sequenz der gezogenen Kugeln bestimmt das tatsächlich realisierte Gleichgewicht. Hierbei kann es sich, in Abhängigkeit von dem Charakter der Fixpunkte der Urnenfunktion, um die Dominanz einer Farbe oder um ein konstantes Verhältnis der Anteile der farbigen Kugeln in der Urne handeln. Nonergodizität ist also gegeben. Dieser so genannte nichtlineare Polya Prozess ist sehr allgemein gehalten und geeignet, eine Vielzahl von diskreten Prozessen positiver Rückkopplung formal präzise abzubilden.⁶⁶

Small events und damit der durch sie ausgelöste Prozess beinhalten in Arthurs Urnenmodell einen stark ausgeprägten regelgeleiteten Aspekt: die Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten small event – die Ziehung einer bestimmten Kugelfarbe – lässt sich zu jedem Zeitpunkt explizit aus dem Zustand der Urne und der Urnenfunktion berechnen. Diese strikte Regelbindung bringt dem Modell die Kritik ein, es ließe keinen Raum für die im Pfadkonstitutionsprozess zentrale Eigenschaft der Emergenz.⁶⁷ Dieser Kritik ist generell zuzustimmen. Zwar lässt sich aufgrund des zufallsgeliteten Aspekts der small events im Falle multipler Gleichgewichte nicht vorhersagen, welches Gleichgewicht sich letztendlich einstellen wird; dennoch ist die Nonergodizität eines Prozesses noch keine hinreichende Bedingung für das Vorliegen eines emergenten Systemverhaltens. Da uns das Phänomen der Emergenz von Prozessen noch intensiv beschäftigen wird, lohnt es, diese Kritik mit einem Exkurs zur Emergenz etwas näher zu beleuchten.

Nach Anderson⁶⁸ ist von Emergenz zu sprechen, wenn sich in einem System durch die Interaktion von vielen regelgeleiteten Elementen auf der Mikroebene ein Makroverhalten ausprägt, das durch die Betrachtung der Elemente auf der Mikroebene grundsätzlich nicht vorhergesagt werden kann, obwohl die

⁶⁵ Für eine mathematische Beweisführung hierzu vgl. Theorem 1. und die mathematische Beweisführung zum Theorem 1 bei Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.42

⁶⁶ Vgl. Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.33

⁶⁷ Vgl. Schreyögg et al. 2003 S.266

⁶⁸ Philipp Anderson, Nobelpreisträger für Physik und einer der Protagonisten am Santa Fe Institute, nach einem wörtlichen Zitat in Waldrop 1992 S.82

Gesetzmäßigkeiten, denen die Elemente auf der Mikroebene gehorchen, hinlänglich bekannt sind.⁶⁹ Hier wird ein grundlegendes Dilemma offenbar, das die Modellierung emergenter Prozesse betrifft: Ein wissenschaftliches Modell versucht stets, abstrahierend Wirkungszusammenhänge zwischen Elementen explizit zu machen, um Erklärungen oder Voraussagen zu ermöglichen. Gerade dies ist bei emergenten Prozessen aber auf rein deduktive Weise nicht vollständig möglich, da Modelle Wirkungszusammenhänge enthalten können, die unbekannt bleiben und sich daher der Modellierung entziehen. Das simple Einbinden von Zufälligkeit in Form von small events in ein sonst von klaren Wirkungszusammenhängen geprägtes Modell löst das Problem der Modellierung von Emergenz daher nicht abschließend.

Wie zufällige Ereignisse als Teil eines emergenten Prozesses im Sinne der oben genannten Definition von Anderson konzeptionalisiert werden können, zeigen erst die hoch elaborierten Modelle der Komplexitätsforschung. In der Chaostheorie, dem Vorläufer der Komplexitätstheorie, wird die Unmöglichkeit der Vorhersage eines deterministischen Prozesses lediglich auf die Unkenntnis der exakten Anfangsbedingungen⁷⁰ in Systemen zurückgeführt, bei denen es bei anfänglich minimalen Abweichungen schon mittelfristig zu einem vollkommen unterschiedlichen Ergebnis kommen kann. Betrachtet man nun einen small event als eine zufällige kleine Veränderung des Zustands eines Systems, so kann schon mit Hilfe der deterministischen Modelle der Chaostheorie gezeigt werden, dass kleine Ereignisse große Wirkungen haben können.⁷¹ Nichtsdestotrotz bleiben die Wirkungen auch langfristig aufgrund des deterministischen Charakters der Modelle prognostizierbar. Emergenz hingegen liegt erst dann vor, wenn eine Bestimmung der Konsequenzen aller Wechselwirkungen zwischen den Elementen eines Systems nicht mehr vorhergesagt werden kann.⁷² In der Komplexitätsforschung werden emergente Phänomene zusätzlich auf die Unkenntnis von Teilen der kausalen Wirkungszusammenhänge, insbesondere der Makroeffekte der nicht-linearen Interaktionsdynamik, zurückgeführt. Die

⁶⁹ Zu diesem Verständnis von Emergenz vgl. auch Holland 1998 S.115-124; sowie Gilbert & Troitzsch 2005 S. 1

⁷⁰ Vgl. Lorenz 1963 S.131

⁷¹ Vgl. Lorenz 1963 S.131

⁷² Vgl. die Definition von Emergenz von Anderson weiter oben

Komplexitätsforschung um Kauffman⁷³ löst das Problem der Modellierung emergenter Prozesse dadurch, dass nicht nur Systemzustände, sondern die kausalen Wirkungsmechaniken auf der Mikroebene selbst randomisiert werden.⁷⁴ Dies ermöglicht die Modellierung der emergenten Entstehung von Makrostrukturen ohne eine explizite Festlegung der Kausalzusammenhänge auf der Mikroebene.⁷⁵

Obwohl Arthurs Urnenmodell in der Literatur auch kritisiert⁷⁶ und in seinem Stellenwert relativiert wird⁷⁷, hat es entscheidend zur Konzeptionalisierung des Pfadprozesses beigetragen und nimmt deshalb an dieser Stelle eine hervorgehobene Stellung ein. Auch wenn das Modell für die Ebene des Marktes entwickelt wurde und deshalb für die Beantwortung der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Forschungsfrage nur sehr bedingt geeignet ist, kann es einen wichtigen Referenzpunkt für die Studie bilden: Gelingt die Übertragung des Konzepts der Pfadabhängigkeit in ein formales Modell für Organisationen, kann durch Abgleich der Ergebnisse mit denen des Arthur'schen Modells festgestellt werden, ob die Mechanismen der Pfadabhängigkeit in Organisationen zu vergleichbaren Ergebnissen führen, wie es für die Marktebene gezeigt werden konnte.

Aus den frühen Überlegungen Davids, den Modellen Arthurs und den darauf aufbauenden Arbeiten⁷⁸ hat sich ein fester Satz an Eigenschaften herausgebildet, die pfadabhängigen Prozessen inhärent sind. Sie sollten die Grundlage jeder neuen pfadtheoretischen Modellierung bilden und seien deshalb im folgenden Abschnitt eingehender erläutert.

III. Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse

Zunächst ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass in der Literatur zwei unterschiedliche Konzeptionen von Pfadabhängigkeit existieren, die sich anhand ihres Grades an Spezifität deutlich voneinander abheben; so kann grundsätzlich

⁷³ Vgl. die ausführlichen Werke von Kauffman 1993, 1995 zur Komplexitätstheorie

⁷⁴ Vgl. Kauffman 1993 S.119ff.

⁷⁵ Vgl. hierzu auch die Modellierung von Weidlich & Haag 1983

⁷⁶ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 passim

⁷⁷ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.266

⁷⁸ Vgl. Ackermann 2003 S.230; David 1994 S.208; Garud & Karnøe 2001 S.4; Liebowitz & Margolis 1995 S.208; Mahoney 2000 S.507; Pierson 2000a S.253-254; Schreyögg & Sydow 2010 S.3; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

zwischen einem engen und einem weiten Verständnis von Pfadabhängigkeit unterschieden werden. In Teilen der Literatur wird dabei ein weites Verständnis von Pfadabhängigkeit vorgetragen, das nur schwer von Historizitätsprinzip zu trennen ist. So konstatiert Mahoney:

„Quite often, path dependence is defined as little more than the vague notion that ‚history matters‘ or that, the past influences the future.“⁷⁹

Dieses Begriffsverständnis hat dazu geführt, dass einige Forscher das Pfadabhängigkeitskonzept in dem Sinne verwenden, dass es sich dabei lediglich um eine Analyse dessen handelt, wie aktuelle Ereignisse auf Ursachen in der Vergangenheit zurückgeführt werden können.⁸⁰ Geht man von der komplexen Verflechtung marktwirtschaftlicher Prozesse aus, müsste somit bei dieser weiten Definition der Pfadabhängigkeit, die das Historizitätsprinzip als hinreichende Bedingung für das Vorliegen eines Pfades anerkennt, nahezu jeder soziale oder ökonomische Prozess als pfadabhängig bezeichnet werden. Das Konzept würde aus theoretischer Sicht durch seine Undifferenziertheit massiv an Aussagekraft verlieren und seine Funktion wäre auf die eines Synonyms für alle Arten von Imprinting Effekten und intertemporalen Kausalketten beschränkt.⁸¹ Ferner werden in dem sehr weiten Verständnis die Implikationen pfadabhängiger Prozesse auf Wandelresistenz und Pfadeffizienz häufig vernachlässigt.⁸²

Aus diesen Gründen soll in der vorliegenden Arbeit ein engeres, distinkteres Verständnis von Pfadabhängigkeit Verwendung finden, das sich auf einen festen Satz noch zu bestimmender Eigenschaften⁸³ und Kernkonzepte⁸⁴ stützt und diese zu konstituierenden Elementen des Pfadabhängigkeitsbegriffs macht. Im Folgenden sollen diese Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse im engeren Sinne genauer erläutert werden, um in einer ersten Annäherung etwas allgemeiner

⁷⁹ Mahoney 2000 S.507

⁸⁰ So zum Beispiel Sewell 1996: „(path dependence means) that what has happened at an earlier point in time will affect the possible outcomes of a sequence of events occurring at a later point in time“ (S.262-263) oder auch Nooteboom 1997: „(organizational evolution) is path-dependent in the usual sense that directions for the future development are foreclosed or inhibited by directions taken in the past development.“ (S.57)

⁸¹ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.689

⁸² Vgl. Mahoney 2000 S.507

⁸³ Vgl. Abschnitt B.III dieser Arbeit

⁸⁴ Vgl. Abschnitt B.IV dieser Arbeit

pfadabhängige von nicht pfadabhängigen Prozessen abgrenzen zu können.⁸⁵ Ferner ist die Auseinandersetzung mit den wichtigsten Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse an dieser Stelle notwendig, da sie die Grundlage für das im Hauptteil dieser Arbeit aufgestellte Simulationsmodell zur Untersuchung von Pfaden organisatorischen Wandels bilden. Nur durch die Abbildung der wichtigsten Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse im Modell kann dieses den Anspruch erheben, den für die Forschung interessanten Prozess in Organisationen so abzubilden, dass den Ergebnissen eine ausreichend hohe Aussagekraft zugesprochen werden kann.⁸⁶

Die Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse werden erstmals von Arthur systematisch erfasst und untersucht.⁸⁷ Er vergleicht, wie oben dargestellt, mit Hilfe seines Multiagentenmodells⁸⁸ die Evolution kompetitiver Technologien in drei verschiedenen return-Regimes. Eine der relevantesten Schlussfolgerungen seiner Arbeit für spätere Autoren ist seine Differenzierung der Merkmale von Prozessen technologischer Evolution in Abhängigkeit von verschiedenen return-Regimen. Arthur kommt hierbei zu dem Schluss, dass die Eigenschaften des Prozesses technologischer Evolution hauptsächlich vom Regime der returns abhängen. Er unterscheidet constant returns, deminishing returns und increasing returns⁸⁹, wobei er sich jeweils auf die Nutzenveränderungen einer Technologie bezieht, die sich durch eine Verwendung der Technologie durch einen früheren Nutzer für einen nach ihm folgenden Nutzer ergibt. Bei constant returns verändert sich der Nutzen einer Technologie durch frühere Adoption für nachfolgende Nutzer nicht; bei diminishing returns nimmt der Nutzen einer Technologie durch frühere Adoption für nachfolgende Nutzer ab und bei increasing returns nimmt der Nutzen einer Technologie durch frühere Adoption für nachfolgende Nutzer zu. Die Ergebnisse der Auswirkungen der drei Regime auf die Eigenschaften des sich daraus ergebenden Pfadprozesses zeigt Abbildung 2. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass nur bei increasing returns Vorhersagbarkeit, Flexibilität und

⁸⁵ Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

⁸⁶ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.482-485

⁸⁷ Vgl. Arthur 1989 S.121

⁸⁸ Vgl. Arthur 1989 S.26

⁸⁹ Zu Deutsch: zunehmende Erträge, gemeint ist damit eine Form der selbstverstärkenden Effekte.

Ergodizität verloren geht, und auch Pfadeffizienz nicht mehr gewährleistet ist⁹⁰; dies unterscheidet das regime der zunehmenden Erträge grundsätzlich von konstanten und abnehmenden Erträgen und hat zur Konsequenz, dass zunehmende Erträge, oder allgemeiner formuliert selbstverstärkende Effekte, eine Grundvoraussetzung für pfadabhängige Prozesse darstellen.

Abbildung 2: Eigenschaften der drei Ertrags-Regime

Properties of the Three Regimes

	Predictable	Flexible	Ergodic	Necessarily path-efficient
Constant returns	Yes	No	Yes	Yes
Diminishing returns	Yes	Yes	Yes	Yes
Increasing returns	No	No	No	No

Quelle: Arthur 1989 S.121

Das Historizitätsprinzip, das schon bei David⁹¹ von zentraler Bedeutung war, und die vier Kerneigenschaften pfadabhängiger Prozesse nach Arthur sollen im Folgenden diskutiert werden; bei der Zusammenfassung wird auf die grundsätzliche Konzeption Arthurs, die sich in weiten Teilen der aktuellen Pfadliteratur wiederfindet⁹², eingegangen. Spätere Erweiterungen und Anpassungen der Konzepte an den institutionellen und organisationalen Kontext liefert später Kapitel C.

1. Historizitätsprinzip

Bei der Historizität handelt es sich nicht im eigentlichen Sinne um eine Eigenschaft pfadabhängiger Prozesse. Die Pfadforscher weisen vielmehr darauf hin, dass ein jedweder Prozess in sozialen Systemen der Historizität unterliegt und diese Tatsache in einigen Disziplinen, insbesondere solchen mit Bezug auf die Theorie der rationalen Wahl, nicht mit angemessenem Gewicht berücksichtigt wird.⁹³

⁹⁰ Für detaillierte Ausführungen zu diesen Ergebnissen vgl. Arthur 1989 S.120ff.

⁹¹ Vgl. David 1985 S.208

⁹² Vgl. Ackermann 2003 S.230; David 1994 S.208; Garud & Karnøe 2001 S.4; Liebowitz & Margolis 1995 S.208; Mahoney 2000 S.507; Pierson 2000a S.253-254; Schreyögg & Sydow 2010 S.3; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

⁹³ Vgl. David 1985 passim; Teece, Pisano & Shuen 1997 S.522; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.690

Das Historizitätsprinzip besagt, dass vergangene Entscheidungen und Ereignisse heutige und zukünftige Entscheidungskalküle bedingen.⁹⁴ Im Kontrast zur ahistorisch konzipierten Theorie der rationalen Wahl⁹⁵ postuliert das Historizitätsprinzip, dass eine vollkommen freie – im Sinne einer historisch unbedingten – Entscheidung generell nicht möglich ist. Die Entscheidungssituation und ihre Einflussfaktoren sind stets gebunden an den Verlauf vorangegangener Ereignisse, die im Gedächtnis der Akteure erhalten bleiben und so zukünftige Entscheidungssituationen beeinflussen können.⁹⁶ Auch ein vollkommen rationaler Entscheider kann sich dem Einfluss der Historie nicht entziehen, da sie die entscheidungsrelevanten Faktoren der Gegenwart hervorgebracht hat. Es handelt sich hier also nicht um eine Frage rationalen oder irrationalen Entscheidungsverhaltens. In einer konkreten Entscheidungssituation ist nicht nur der Status quo, sondern auch die historische Entstehung des aktuellen Entscheidungsumfeldes – im Modell insbesondere die zeitliche Abfolge von vergangenen Ereignissen – entscheidend dafür, wie eine Entscheidung ausfällt. Auf den Punkt gebracht bedeutet dies: history matters.⁹⁷ Das Historizitätsprinzip, das aus diesem Grund auch oft als „history matters“-Argument bezeichnet wird⁹⁸, beinhaltet aus der ex-post-Perspektive einen entscheidenden Aspekt des Konzepts der small events: Kleine, zunächst unbedeutend erscheinende Ereignisse können einen Prozess in Gang setzen, der, wenn auch zur Zeit seines Auftretens noch nicht absehbar, irgendwann in der Zukunft den Entscheidungsspielraum der Akteure einschränken kann. Dies ist eines der zentralen Merkmale von pfadabhängigen Prozessen.⁹⁹

⁹⁴ Besonders prägnant formuliert mit „bygones are rarely bygones“ in Teece, Pisano & Shuen 1997 S.522

⁹⁵ Vgl. die Arbeiten der Vertreter der Theorie der rationalen Wahl, zum Beispiel Weber 1951 S.146ff.; Axelrod 1987 passim; für ein plastisches Modell der rationalen Entscheidung siehe das Erwartung-Valenz-Modell von Vroom 1964 S.15, das später im Laufe der Arbeit noch Verwendung finden soll.

⁹⁶ Vgl. Koch, Eisend & Petermann 2009 S.79f.

⁹⁷ Vgl. David 1994 S.208; Sewell 1996 passim; Nooteboom 1997 S.74

⁹⁸ Vgl. Genschel 1997 S.47; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.261; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.689

⁹⁹ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.261

2. Nichtvorhersagbarkeit

Arthur kann mit Hilfe seines Modelles mathematisch deduktiv zeigen, dass im Fall von constant returns mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 langfristig beide Technologien einen Diffusionsgrad von 50% erreichen werden, im Fall von diminishing returns hängt der sich langfristig einstellende Diffusionsgrad vom Verhältnis der negativen return-Raten der beiden Technologien zueinander ab, in jedem Fall ergibt sich auch hier eine Aufteilung des Marktes zwischen beiden Technologien, mit einem Diffusionsgrad von 50% für den Fall, dass die returns bei beiden Technologien mit derselben Rate fallen; das Ergebnis des Prozesses ist also in diesen beiden Regimen vorhersagbar.

Ganz anders stellt sich das Systemverhalten im Regime der increasing returns dar. In diesem Fall handelt es sich um eine besondere Form des Polya-Urnen-Problems, für das Arthur unter Mitarbeit zweier russischer Mathematiker zeigt, dass in der langfristigen Perspektive mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 für die eine Technologie der Diffusionsgrad gegen 1, für die andere gegen 0 strebt.¹⁰⁰ Dies bedeutet, dass die Technologien in diesem Fall nicht koexistieren können, die Existenz der einen schließt die Existenz der anderen im Zeitablauf zwingend aus. Welche der Technologien sich durchsetzt, hängt einzig von den small events zu Beginn des Prozesses ab, es ist also nicht möglich vorherzusagen, welche Technologie die andere dominiert und vom Markt verdrängt. Für den Fall der increasing returns liegt also Nicht-Vorhersagbarkeit vor; sie stellt eine Kerneigenschaft pfadabhängiger Prozesse dar.¹⁰¹

3. Nonergodizität

Die Pfadforscher begnügen sich jedoch nicht mit der Eigenschaft der Nicht-Vorhersagbarkeit von Pfadprozessen, denn würde man Nicht-Vorhersagbarkeit als hinreichendes Kriterium definieren, wäre in der Konsequenz jeder komplexe soziale Prozess als pfadabhängig zu bezeichnen, was dazu führte, dass das Konzept der Pfadabhängigkeit allumfassend und aussagelos würde. Deshalb soll an dieser Stelle eine weitere Präzisierung vorgenommen werden. Der

¹⁰⁰ Vgl. Arthur 1983; 1989 S.121; Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.39

¹⁰¹ So auch Pierson 2000a S.253

technologische Evolutionsprozess wird schon von David¹⁰² mit der stochastischen Eigenschaft der Nonergodizität qualifiziert, was von Arthur¹⁰³ bestätigt und in den späteren Arbeiten¹⁰⁴ zur Theorie der Pfadabhängigkeit aufgenommen wird. Nonergodizität ist gleichzusetzen mit der Existenz multipler Gleichgewichte eines nicht determinierten Prozesses¹⁰⁵ und kann nach Arthur¹⁰⁶ mathematisch wie folgt definiert werden: Ein Allokationsprozess ist nonergodisch, wenn für zwei unterschiedliche Ketten historischer Ereignisse $\{t_i\}$ und $\{t_i^c\}$ mit den dazugehörigen Allokationen $\{x_n\}$ und $\{x_n^c\}$ mit einer Wahrscheinlichkeit $p \neq 0$ gilt: Wenn $n \rightarrow \infty$ dann $|x_n^c - x_n| \neq 0$.

Es handelt sich bei nonergodischen Prozessen also um eine bestimmte Klasse von Prozessen, die innerhalb der umfassenderen Menge der nicht-vorhersagbaren Prozesse eine Teilmenge bildet¹⁰⁷. Welches Gleichgewicht sich am Ende einstellt, kann bei nonergodischen Prozessen von der zeitlichen Reihenfolge abhängig sein, in der die Ereignisse geschehen.¹⁰⁸ Eine profunde Kenntnis des Prozesses kann die Vorhersage ermöglichen, *dass* eines unter mehreren möglichen Gleichgewichten erreicht wird, ohne jedoch näher spezifizieren zu können, *welches* Gleichgewicht sich letztendlich einstellen wird¹⁰⁹. Die small events erhalten so einen dualen Charakter: Auf der einen Seite sind sie als „historical accidents“¹¹⁰ im Allgemeinen relevant für den Verlauf des Prozesses, denn ihre Abfolge bestimmt das eine Gleichgewicht, das unter den vielen Möglichen tatsächlich realisiert wird. Auf der anderen Seite kann ex ante nicht sicher bestimmt werden, ob ein spezifischer small event das Ergebnis des Prozesses tatsächlich beeinflussen kann, oder ob er in der Makroperspektive folgenlos bleibt und von der Geschichte „vergessen“ wird. Das Nonergodizitätsprinzip definiert mit diesem dualen Charakter den Kernaspekt des frühen pfadtheoretischen Konzepts der small events

¹⁰² Vgl. David 1985 S.332, David 1994 S.208

¹⁰³ Vgl. Arthur 1989 S.122; Arthur 1994 S.35

¹⁰⁴ Vgl. Ackermann 2001 S.9f.; Pierson 2000a S.253; Schäcke 2006 S.28; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S. 261; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

¹⁰⁵ Vgl. Ackermann 2003 S.229

¹⁰⁶ Vgl. Arthur 1989 S.128

¹⁰⁷ Als andere Beispiele für Klassen nicht-vorhersagbarer Prozesse können Prozesse mit Sensitivität auf Anfangsbedingungen genannt werden, die keinem Gleichgewicht, sondern einem seltsamen Attraktor zustreben. Vgl. Lorenz 1963 S.135ff.

¹⁰⁸ Vgl. Arthur 1989 S.119

¹⁰⁹ Vgl. Troitzsch 1997 S.41ff.

¹¹⁰ David 1985 S.335

als zum Teil regelgeleitetes, zum Teil chaotisches Element, das dem Pfadprozess eine Mittelposition zwischen Gleichgewichtsstreben und Chaos zuweist.

4. Inflexibilität

Durch selbstverstärkende Prozesse kann der Handlungsspielraum der Akteure eingeschränkt werden, was im Zeitablauf zu zunehmender Inflexibilität führt.¹¹¹ Für den Fall von increasing returns zeigt Arthur¹¹² einen besonders extremen Fall der Inflexibilität: Während in den beiden anderen return-Regimen ein staatlicher Einflussversuch (wie z.B. eine konstante Steuer auf eine der beiden Technologien, die den Nutzen einer Anwendung entsprechend senkt) sich stets auf das Ergebnis des Prozesses auswirken kann, sie somit flexibel sind, wächst im Fall von increasing returns die Größe der Finanzmittel, die für eine erfolgreiche Intervention – ein Verlassen der Pfades – aufgebracht werden müssten, im Zeitablauf unbeschränkt an. Das bedeutet, dass selbst mit einer beliebig hohen, aber fixen Menge an Finanzmitteln es immer nur in der Anfangsphase des Prozesses noch möglich ist, diesen zu beeinflussen und bei increasing returns stets ein Zeitpunkt vorliegt, an dem die Flexibilität vollkommen verloren geht. Diese Situation, in der Akteure in den Folgen der Handlungen der Vergangenheit gefangen sind und jeglicher Handlungsspielraum verloren gegangen ist, wird als lock-in bezeichnet. Im Zeitablauf zunehmende Inflexibilität stellt somit eine weitere Kerneigenschaft pfadabhängiger Prozesse dar.

Sydow et al.¹¹³ weisen darauf hin, dass Inflexibilität nicht während des gesamten Pfadkonstitutionsprozesses zu den hervorstechenden Eigenschaften gehört, denn ganz im Gegenteil zeigt sich der Prozess zu Beginn als extrem flexibel, so flexibel, dass selbst kleinste Ereignisse (i. S. v. small events) ihm eine andere Richtung geben können. Sie weisen folgerichtig darauf hin, dass Inflexibilität erst in den späteren Phasen des Pfadprozesses zu seinen Kerneigenschaften gezählt werden kann. Der Pfadprozess scheint also in verschiedenen Entwicklungsphasen durchaus verschiedene Eigenschaften zu besitzen. Diese Argumentation soll auf

¹¹¹ Vgl. Ackermann 2003 S.225; Arthur 1989 S.121f.; David 1985 S.334, David 2001 S.21ff.; Koch 2007 S.283-285; Leonard-Barton 1992 S.118ff.; Pierson 2000a S.253; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

¹¹² Arthur 1989 S.121-122

¹¹³ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

S.100 wieder aufgenommen und in Form des Phasenmodells von Sydow, Schreyögg & Koch¹¹⁴ umfassend thematisiert werden.

5. Potentielle Ineffizienz

Die Frage nach der potentiellen Ineffizienz von Pfaden ist zentral und wird kontrovers diskutiert¹¹⁵. Hierin liegt die brisanteste Schlussfolgerung der Pfadtheorie, weshalb es angebracht erscheint, die Argumente hierzu detaillierter zu behandeln.

Die Behauptung, beim Vorliegen von increasing returns könnten sich ineffiziente Technologien bzw. Institutionen durchsetzen und die effizienteren vom Markt verdrängen, ist gleichzusetzen mit der Prognose systematischen Marktversagens und sorgte so für Aufmerksamkeit in der neoklassischen Wirtschaftstheorie.¹¹⁶

Die neoklassische Lehre geht grundsätzlich davon aus, dass Märkte in der Art funktionieren, als dass ineffiziente Technologien – wenn überhaupt – nur temporär begrenzte Übergangsphänomene darstellen, die während einer Entwicklung hin zu einem neuen, effizienten Gleichgewicht keinen dauerhaften Bestand haben können.¹¹⁷ Zusammenfassend geht die Argumentation dahin, dass rational handelnde Akteure, genügend Freiraum für ihre eigene Nutzenmaximierung vorausgesetzt, von allein und ohne eine zentrale Lenkungsinstanz effizientere Technologien anwenden werden und die ineffizienten Lösungen so automatisch verdrängt würden.¹¹⁸ Dieses Prinzip beansprucht Allgemeingültigkeit, auch unabhängig von return-Regimen, gegeben die Annahmen des neoklassischen Modells. Hierbei sollte der Tatsache Beachtung geschenkt werden, dass auch Arthur davon ausgeht, dass die Entscheidung eines einzelnen Akteurs zu Beginn eines Pfadkonstitutionsprozesses zunächst sehr wohl als effizient angesehen werden kann¹¹⁹; betrachtet man aber den Prozess aus der Makroperspektive, so stellt die Tatsache, dass sich im Zeitablauf effizientere

¹¹⁴ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 passim

¹¹⁵ Vgl. Ackermann 2003 S.225, 227ff.; Altman 2000 S.127ff.; Arthur 1989 S.122, 126-128; Bassanini & Dosi 2001 S.63; Beyer 2005 S.7ff.; David 1985 S.336; Liebowitz & Margolis 1995 passim; Pierson 2000a S.253; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.265

¹¹⁶ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 passim

¹¹⁷ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 passim; North 1990 S.107ff.

¹¹⁸ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.210ff.

¹¹⁹ Vgl. Arthur 1994 S.116

Möglichkeiten aufzutun, die aber aufgrund der lock-in Situation für die Entscheider nicht mehr verfügbar sind, als eine Quelle potentieller Ineffizienz dar.¹²⁰

Arthurs Argumentation betrifft aber noch einen zweiten, für die neoklassische Lehre viel erschreckenderen Fall: selbst wenn eine effizientere Technologie von Anfang an verfügbar ist, kann das dezentrale, individuelle Entscheidungsverhalten trotz vollständiger Information auf dem Makrolevel zum Ausschluss der effizienteren Alternative führen; diese Argumentation baut darauf auf, dass die Verwender einer Technologie nur ihren eigenen Nutzen beachten und die Wohlfahrtsverluste, die spätere Verwender durch ihre Entscheidung unter Umständen erleiden, nicht internalisieren können.¹²¹ Die Behauptung von Arthur und David, trotz freier Entscheidung und individueller Nutzenmaximierung käme es im Fall von increasing returns zu systematischem Marktversagen, ist kontrovers diskutiert worden.¹²²

Eine Vorreiterrolle der Kritiker der Theorie der Pfadabhängigkeit nehmen hierbei Liebowitz und Margolis mit ihrem Aufsatz von 1995¹²³ ein, in dem sie zu widerlegen versuchen, dass durch small events ausgelöste increasing returns zu Marktversagen führen können. Für sie steht weniger die Frage der Persistenz von technologischen Standards im Mittelpunkt der Betrachtungen, als vielmehr die Frage nach der Effizienz von durch den Marktmechanismus entstehenden persistenten Standards.¹²⁴ Sie schlagen für ihre Argumentation zunächst eine Einteilung der Pfadabhängigkeit in drei Schweregrade vor.

Unter Grad-1-Pfadabhängigkeit subsummieren sie alle Prozesse, in denen das Historizitätsprinzip¹²⁵ gilt, die aber dennoch zu einem effizienten Ergebnis¹²⁶

¹²⁰ Vgl. Ackermann 2003 S.225; North 1990 S.83; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

¹²¹ Vgl. Arthur 1989 S.117-123; vgl. auch die Ausführungen über die non-sponsoring Annahme des Multiagentenmodells von Arthur 1989 auf S.26f. dieser Arbeit; vgl. auch Regibeau 1995 S.33-39

¹²² Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 passim; Pierson 2000a S.253

¹²³ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 passim

¹²⁴ Vgl. hierzu und zur Systematisierung in 3 Grade der Pfadabhängigkeit Liebowitz & Margolis 1995 S.206-207

¹²⁵ Die Autoren definieren das Vorliegen von Historizität als intertemporale Eigenschaft von Allokationsprozessen, in denen eine Handlung a_0 aus einer Menge von möglichen Handlungen A_0 zum Zeitpunkt t_0 spätere mögliche Handlungen A_n zum Zeitpunkt t_n beeinflusst. (vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.210)

führen. Die Autoren weisen darauf hin, dass jede bestehende Volkswirtschaft, die wenigstens einige beständige Elemente aufweist, diese Form der Pfadabhängigkeit erlebt.

Grad-2-Pfadabhängigkeit soll vorliegen, wenn keine vollständige Information herrscht und es daher möglich ist, dass Entscheidungen (gegeben die Informationen zum Zeitpunkt der Entscheidung) zunächst effizient sind, sich aber, wenn im Zeitablauf zusätzliche Informationen verfügbar geworden sind, ex post als suboptimal herausstellen. Die Unterlegenheit des Pfades konnte zum Zeitpunkt seines Einschlagens jedoch nicht erkannt werden und erst später stellt sich heraus, dass ein alternativer Pfad zu größerer Wohlfahrt geführt hätte. Das Risiko einer solchen Entwicklung besteht immer, wenn Entscheidungen unter unvollständiger Information getroffen werden müssen; besonders bedrohlich wirkt dieses Szenario jedoch, wenn Sensitivität auf Anfangsbedingungen vorliegt und schon kleinste Entscheidungen zu Beginn eines Prozesses, wenn kaum Informationen verfügbar sind, in der Zukunft große Auswirkungen haben können. In dieser Situation empfinden Entscheider später Bedauern über die getroffenen Entscheidungen und es ist häufig teuer, den eingeschlagenen Pfad wieder zu verlassen. Die Autoren räumen sogar die Möglichkeit ein, dass diese „Korrekturkosten“ so hoch sein können, dass Akteure darauf verzichten, den eingeschlagenen Pfad zugunsten der makroskopisch vorteilhafteren Alternative zu verlassen.¹²⁷

Grad-3-Pfadabhängigkeit ist der schwerwiegendste aller Fälle. Er soll vorliegen, wenn ein Pfad ex ante aus makroökonomischer Perspektive als ineffizient identifiziert werden kann, aber die individuell nutzenmaximierenden Akteure sich dennoch dafür entscheiden, diesen Pfad zu beschreiten.¹²⁸

¹²⁶ Auch die Frage nach der Effizienz wird präzise formalisiert: Eine Handlung a_0 kann pfad-effizient genannt werden, wenn keine alternative Handlung $a_1 \in A_0$ existiert, so dass der diskontierte Barwert des Nettowohlfahrtsgewinns der Handlung a_1 größer ist als der von a_0 . (vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.210)

¹²⁷ Sie nehmen an dieser Stelle Bezug auf Williamson 1994 der argumentiert, dass bei institutionellen Lösungen politisch motivierter Umverteilungen die neue Lösung von Akteuren oft absichtlich so konstruiert wird, dass die Kosten, die einer Partei entstehen würden, würden sie die Lösung später in Frage stellen oder ändern wollen, enorm hoch sind. Das Ziel ist es, die politischen Parteien stärker an das Ergebnis einer Verhandlung zu binden.

¹²⁸ Genau wird definiert: Grad-3-Pfadabhängigkeit liegt vor, wenn zu einem Zeitpunkt t_0 eine alternative Handlung a_1 existiert, deren diskontierter Nettowohlfahrtsgewinn geringer ist als der von Handlung a_0 , aber dennoch a_1 realisiert wird. In diesem Fall treffen die Agenten unbedeutende

Liebowitz und Margolis argumentieren nun, dass Pfadabhängigkeit der Grade 1 und 2 kein problematisches Marktversagen implizieren kann: Im Falle von Grad-1-Pfadabhängigkeit ist Pfad-Effizienz nach Definition gegeben; bei Grad-2-Pfadabhängigkeit liegt ex ante Pfad-Effizienz vor, die Wahl stellt sich ex-post als suboptimal heraus. Liebowitz und Margolis schenken diesem Fall wenig Beachtung, da er ihrer Meinung nach nicht vermeidbar ist: Wenn Informationsdefizite bestehen, sind Entscheidungen immer mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit fehlerhaft und es müssen unter Umständen später Ressourcen aufgewendet werden, die negativen Auswirkungen der Fehler zu beheben. Dennoch sei dies kein Fall von Marktversagen, da der optimale Pfad ex ante nicht zu erkennen war und daher nicht als Maßstab für die Beurteilung der Effizienz des eingeschlagenen Pfades herangezogen werden dürfe.¹²⁹ Die Verfügbarkeit eines effizienteren Pfades ist ihrer Meinung nach keine hinreichende Bedingung für das Vorliegen eines ineffizienten Pfades, solange dieser nicht ex ante von den Akteuren als ineffizient erkannt werden kann. Durch diese Subjektivierung der Sichtweise allein kann jedoch die Ineffizienz eines Pfades nicht negiert werden. Bezogen auf den QWERTY-Fall würde dies bedeuten, dass der QWERTY-Pfad und der lock-in auf diese Technologie trotz der Existenz evidentermaßen überlegener Technologien (wie zum Beispiel der DSK-Keyboards¹³⁰) heute als effizient beurteilt werden und nicht als Marktversagen qualifiziert werden darf, weil die frühen Entscheidungen für diese Tastatur in den 1890er Jahren – gegeben den damaligen Wissensstand – als effizient angesehen werden können. Diese Argumentation ist wenig überzeugend, denn die Gefahr solch gewaltiger Wohlfahrtsverluste ist und bleibt ein ernst zu nehmendes Problem, das im Fall der persistenten Dominanz von QWERTY, und der damit einhergehenden Verdrängung der effizienteren DSK-Technologie, durch Marktmechanismen allein offensichtlich nicht behoben werden kann.

Die Argumentation von Arthur, der sich zur Messung der Effizienz des Standpunktes eines hypothetischen objektiven Beobachters bedient, der über

Einzelentscheidungen, die aber einen großen makroökonomischen Effekt haben. (vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.211)

¹²⁹ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.211

¹³⁰ Vgl. David 1985 S.332

vollständige Information verfügt, kann in diesem Fall weit mehr überzeugen. Liebowitz und Margolis lehnen diese Sichtweise jedoch vehement ab. Sie argumentieren, der Standpunkt des objektiven Beobachters sei unerheblich, da es zur Zeit der Entscheidung niemanden mit dem vollständigen Wissensstand des objektiven Beobachters gibt. Dies wird als Grund dafür angeführt, den objektiven allwissenden Beobachter als Referenzpunkt einer Effizienzbetrachtung völlig aufzugeben; diese Argumentation kann deshalb nicht überzeugen, da es durchaus möglich ist, dass sich ein Beobachter außerhalb des pfadabhängigen Systems eine objektive Sicht der Dinge bewahren und dann gezielt intervenieren kann.¹³¹

Beim Phänomen der Grad-3-Pfadabhängigkeit bestreiten Liebowitz und Margolis hingegen nicht, dass diese Marktversagen impliziert; stattdessen argumentieren sie, dass dieser Fall auf unrealistische Annahmen des Modells zurückzuführen ist und daher in der Realität nicht zu erwarten ist.¹³² Insbesondere heben sie hervor, dass spätere Verwender einer Technologie bei increasing returns immer einen höheren Nutzen haben als frühere und ohne einen intertemporalen Markt zum Ausgleich dieser Wohlfahrtsdifferenz bei der Adoption keine Motivation besteht, als erster eine neuartige Technologie zu verwenden; wieso dies in der Realität dennoch ständig geschieht, würde in Arthurs Modell nicht erklärt. Auf einem intertemporalen Markt könnten Agenten miteinander Verträge schließen, die die Aufteilung der später höheren Wohlfahrtsgewinne zwischen frühen und späten Verwendern der Technologie regeln, so dass auch frühe Verwender motiviert wären, eine Technologie mit geringem aktuellen Nutzen, aber hohem increasing returns zu wählen, die für die gesamte Gesellschaft die effizientere wäre. Desweiteren bemängeln sie, dass der payoff, den einzelne Agenten durch die Adoption von Technologien realisieren, lediglich von der bisherigen Zahl der Adoptionen und nicht von der Zahl der insgesamt zu erwartenden Adoptionen abhängt; Argumente für die Annahme, dass Verwender allein dadurch einen höheren Nutzen generieren, wenn zukünftige Verwender sich ebenfalls für dieselbe Technologie entscheiden, begründen sie mit Agglomerationseffekten und Netzwerkeffekten: Der eigene Nutzen eines Standorts hängt nicht nur davon ab,

¹³¹ Vgl. die Ausführungen zum Pfad-monitoring durch System-externe Beobachter in Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.278-279

¹³² Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.216-217

wie viele andere Firmen sich für denselben Standort in der Vergangenheit entschieden haben, sondern auch entscheidend davon, wie viele Firmen sich in Zukunft am selben Standort niederlassen. All diese Argumente zielen auf die Ablehnung der no-sponsoring Annahme von Arthur ab. Wird sie abgelehnt, müssen die Ergebnisse der Arthur'schen Modelle in Zweifel gezogen werden.

Zusätzlich bemühen die beiden Autoren die Erwartungen der Akteure für die Argumentation gegen das tatsächliche Auftreten von Pfad-3-Abhängigkeit. Konkret wird wie folgt argumentiert: Gegeben sei eine Situation, in der Technologie A einen größeren Nutzen generiert als B, B aber durch stärker ansteigende increasing returns langfristig eine größere kumulierte, diskontierte Wohlfahrt generieren könnte. Rationale Akteure erkennen nun, dass B eine höhere Gesamtwohlfahrt generieren könnte als die zum aktuellen Zeitpunkt im Vergleich zu B vorteilhaftere Technologie A, weshalb sie erwarten, dass sich Technologie B durchsetzt. In diesem Falle würden die Erwartungen der rationalen, langfristig orientierten Akteure zusätzlich dazu beitragen, dass B gewählt wird, weil der Nutzen einer Technologie allein dadurch steigt, dass sich Erwartung durchsetzt, diese Technologie würde in dem Wettbewerb als Sieger hervorgehen. Auch diese Argumentation ist jedoch nur schlüssig, nimmt man von der no-sponsoring Annahme Abstand: Nur wenn die aktuell handelnden Akteure an den zukünftigen, teilweise oder vollständig von anderen Akteuren genossenen Wohlfahrtsgewinnen teilhaben können, ist es denkbar, dass sie sich gegen die aktuell vorteilhafte und für die langfristig effizientere Technologie entscheiden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Argumente von Liebowitz und Margolis auf der Ablehnung der von Arthur vorgeschlagenen objektiven Perspektive und der no-sponsoring Annahme beruhen; Argumente für und gegen die Annahmen konnten beleuchtet werden. Auf das nächste Kapitel vorgehend kann an dieser Stelle argumentiert werden, dass bei der Übertragung der Pfadlogik auf den organisationalen Kontext die Kritik von Liebowitz und Margolis zusätzlich an Überzeugungskraft verliert: So nimmt der Beobachter in der Organisationstheorie häufig einen Referenzpunkt außerhalb des beobachteten Systems ein; ihm wird auf diese Weise eine objektive Sichtweise möglich, die nicht durch systeminterne Mechanismen wie z.B. Unternehmenskultur,

Gruppendenken, kognitive Muster etc. beschränkt wird. Die Annahme eines objektiven Beobachters als Referenzpunkt für die Beurteilung der Effizienz eines Systems ist in der Organisationstheorie daher eine deutlich weniger strittige Herangehensweise als in Teilen der neoklassischen Volkswirtschaftslehre. Gleiches gilt für Ablehnung der no-sponsoring Annahme: Übertragen auf den organisationalen Kontext ist diese gleichbedeutend mit der Aussage, dass es den Akteuren möglich ist, in vollem Umfang an zukünftigen kumulierten, diskontierten Wohlfahrtsgewinnen des gesamten Systems zu partizipieren. Gerade dies ist in Organisationen jedoch oft nicht der Fall, wie die Prinzipal-Agenten-Theorie überzeugend darlegen kann¹³³: Mitglieder in Organisationen tendieren vielmehr dazu, ihren persönlichen Nutzen auf Kosten der Nutzengenerierung der anderen Organisationsmitglieder und des Gesamtsystems zu maximieren, anstatt durch ein ausgefeiltes Vertragssystem zum Wohle aller die Gesamtwohlfahrt zu maximieren.¹³⁴ Zu einem hierzu konsistenten Ergebnis die Ineffizienz von Pfaden betreffend kommen auch Studien zur Erforschung formeller Regeln in Organisationen: so konstatieren zum Beispiel March et al., dass die Entwicklung kodifizierter Regeln pfadabhängig ist und damit stets eine historische, potentiell ineffiziente Entwicklung einhergeht: „...the development of rules reflects an inefficient history.“¹³⁵

Diese Überlegungen führen zu dem Schluss, dass die an manchen Stellen ohnehin fragwürdige Argumentation von Liebowitz und Margolis bei der Übertragung der Pfadtheorie auf den organisationalen Kontext weiter an Stringenz und Überzeugungskraft verliert. Hinzu kommt, dass ein lock-in, selbst wenn er für eine gewisse Zeit eine effiziente Lösung darstellte, für Organisationen aus strategischer Perspektive grundsätzlich problematisch ist, da hierdurch der zukünftige Handlungsspielraum auf eine Teilmenge der verfügbaren Strategien beschränkt wird. Da diese Beschränkung einem nonergodischen Prozess unterliegt, kann nie sichergestellt werden, dass sich die optimale Strategie noch

¹³³ Vgl. Grossmann & Hart 1983 S.7ff; Leblebici & Fiegenbaum 1986 S.485ff.

¹³⁴ Vgl. hierzu insb. die Kritik zur Argumentation von Liebowitz & Margolis in Regibeau 1995 S.33-39

¹³⁵ March, Schulz & Zhou 2000 S.4

innerhalb des möglichen Handlungsfeldes befindet; aus strategischer Perspektive stellt sich ein lock-in somit stets als *potentiell ineffizient* dar.

Nach dieser Darstellung und Diskussion der Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse sollen im folgenden Abschnitt die in der Literatur vorherrschenden Kernkonzepte der Pfadabhängigkeitstheorie erläutert werden.

IV. Kernkonzepte der Pfadforschung

Im Folgenden werden die Kernkonzepte der technologischen Pfadforschung herausgearbeitet, die später ebenfalls in der Übertragung auf den institutionellen Kontext Anwendung finden und so zentrale Elemente in den Modellen institutioneller Pfadabhängigkeit bilden. Dies sind *small events*, selbstverstärkende Effekte und der lock-in. Aufbauend auf der Charakterisierung der Kernkonzepte der Pfadforschung soll in diesem Abschnitt abschließend der Pfadabhängigkeitsbegriff im engeren Sinne gegen ein weitläufiges Verständnis abgegrenzt und diese Abgrenzung begründet werden.

1. Small events

Obwohl *small events* die zentrale Rolle in der frühen Phase der Konstitution von Pfaden zufällt, fehlt es abgesehen von einer sehr weiten Definition¹³⁶ und einer Fülle von Beispielen¹³⁷ innerhalb der Pfadabhängigkeitstheorie an einer präzisen Beschreibung und wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Konzept der *small events* und deren Auswirkungen auf die Konstitution von Pfaden. Die Pfadabhängigkeitstheorie begnügt sich mit Hinweis auf die Nonergodizität des Prozesses mit der Feststellung, dass *small events* selbstverstärkende Effekte auslösen können – dies aber nicht zwangsläufig der Fall sein muss. Während im ersten Fall *small events* zur Konstitution eines Pfades führen können, verpuffen sie im zweiten Fall folgenlos in Raum und Zeit. Bei *small events* kommt es also nicht auf die tatsächliche, sondern auf die potentielle Reichweite an.

¹³⁶ Vgl. Arthur 1989 S.118

¹³⁷ Vgl. die Erfindung des „touch typing“ als *small event*, der die Pfadkonstitution auslöste, die schließlich zum lock-in von QWERTY führte (in David 1985 S.334); vgl. auch die für die Atomkrafttechnologie folgenschwere Entscheidung der US-Regierung zum Bau des ersten Leichtwasserreaktors aufgrund der aktuellen politischen Lage und des Erfolgs eines Prototypen für U-Boote der US Navy in Cowan 1990; siehe auch Waldrop 1992 S.41f.

Da der Ursprung und die historische Entwicklung des Konzepts der small events in der frühen Chaos- und Komplexitätsforschung zu finden sind, wird zunächst kurz erläutert, wie das Konzept dort entstanden ist, wie es verstanden und im Rahmen der Modellierung dynamischer Prozesse verwendet wird. Es wird hierbei der Vermutung nachgegangen, dass die Komplexitätstheoretischen Modelle zur Konkretisierung von small events in der Pfadabhängigkeitstheorie sowie zu einem besseren Verständnis ihres Wirkens bei der Konstitution von Pfaden beitragen können.

Lorenz entdeckte in den 60er Jahren eher zufällig, dass minimale Abweichungen bei den Anfangsbedingungen in seinem computergesteuerten, vereinfachten Konvektionsmodell zur Wettervorhersage in mittelfristiger Perspektive drastische Veränderungen der gesamten Wetterlage zur Folge haben konnten. Wie Lorenz bald erkannte, wurden schon kleinste Veränderungen der Anfangsbedingungen durch den nicht-linearen, exponentiellen Charakter des Modells so verstärkt, dass sie bereits mittelfristig einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis haben konnten:

„Indeed, in dissipative systems governed by a finite set of linear equations, a constant forcing leads ultimately to a constant response (...). The reasoning leading to this conclusion is not applicable when the governing equations are nonlinear. (...In this case) a constant force can lead to a variable response.“¹³⁸

Seine Erkenntnisse die Sensitivität auf Anfangsbedingungen in nichtlinearen Modellen betreffend, verdeutlicht die von ihm geprägte Metapher des *butterfly effect*: „Der Flügelschlag eines Schmetterlings in Brasilien kann einen Tornado in Texas auslösen.“¹³⁹

Wenn ein kleines Ereignis – wie der Flügelschlag eines Schmetterlings – die Anfangsbedingungen eines chaotischen Systems nur in sehr geringem Maße verändert, so kann dies zu signifikanten Konsequenzen für das gesamte System führen, bis hin zur Veränderung seiner charakteristischen Strukturen. Die Idee des small event war geboren.

¹³⁸ Lorenz 1963 S.131

¹³⁹ Der butterfly effect wurde von Lorenz erstmalig im Dezember 1972 auf dem Treffen der American Association for the Advancement of Science in Washington, D.C. beschrieben. Auf der Grundlage seiner Arbeiten von 1963 hielt er dort einen Vortrag mit dem Titel "Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil set off a Tornado in Texas?"

Ohne explizite Bezugnahme auf das von Lorenz entwickelte Konzept der Sensitivität auf Anfangsbedingungen in nicht-linearen Systemen wird dieses von David übernommen und in seiner früheren Arbeit als „remote event“¹⁴⁰ bezeichnet. Auch in seiner zweiten bekannten Veröffentlichung zur Pfadtheorie wird deutlich, dass sich David auf die von Lorenz entwickelte chaostheoretische Logik bezieht: Systeme, die pfadabhängigen Prozessen unterliegen, seien dadurch gekennzeichnet, dass sie „past events“ nicht einfach abschütteln können; dies bedeutet, dass die zeitbezogene Trajektorie im Zustandsraum pfadabhängiger Systeme durch small events in die Umgebung eines von mehreren möglichen Attraktoren gedrängt werden und sich dort stabilisieren kann.¹⁴¹ Trotz dieser präzisen Beschreibung der Wirkungsweise von small events in nonergodischen Systemen fehlt bei David eine klare Definition von small events. Es scheint eher, dass das Konzept absichtlich wenig distinkt verwendet wird, um es weiterhin auch metaphorisch einsetzen zu können.¹⁴²

Arthur ist durch die Anforderungen seiner Zielsetzung, der mathematisch präzisen Formalisierung des Pfadprozesses, gezwungen, exakt zu definieren. So findet sich bei ihm die erste und in der Pfadliteratur bisher einzige trennscharfe Definition, die (historical) small events definiert und den Rahmen des Konzepts für die Pfadliteratur der folgenden Jahre¹⁴³ gibt:

„(Small events are) those events or conditions that are outside of the ex ante knowledge of the observer – beyond the resolving power of his ‘model’ or abstraction of the situation.“¹⁴⁴

In sehr ähnlicher Weise, auch mit dem Fokus auf nicht Nicht-Vorhersagbarkeit von historical small events, wird das Konzept von Mahoney eingeführt und verwendet:

„early historical events are contingent occurrences that cannot be explained on the basis of prior events or ‘initial conditions’“¹⁴⁵

¹⁴⁰ David 1985 S.332

¹⁴¹ Vgl. David 1994 S.208

¹⁴² Gegen diese Form der nicht distinkten, inhaltlosen Begriffsverwendung in der wissenschaftlichen Literatur wenden sich zum Beispiel Sokal & Bricmont 1998 (S.4) mit ihrer Kritik des „postmodernism“.

¹⁴³ Vgl. David 1994 S.208; Liebowitz & Margolis 1995 S.205; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.263; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

¹⁴⁴ Arthur 1989 S.118

Grundsätzlich unterscheidet sich die Konzeption von Mahoney hingegen in der Wirkung von small events. Während die Mehrzahl der Pfadforscher small events als Auslöser von selbstverstärkenden Effekten problematisieren¹⁴⁶, steht bei Mahoney das Auslösen von reaktiven Sequenzen im Vordergrund.¹⁴⁷ Small events an sich sind bei Mahoney also zunächst ähnlich konzeptionalisiert wie bei Arthur, sie unterscheiden sich aber deutlich anhand der Wirkungsmechanismen, deren Auslösung ihnen zugesprochen wird.

In Übereinstimmung mit diesen Definitionen sollen im Folgenden unter small events die Ereignisse verstanden werden, die der Prognosefähigkeit nicht zugänglich sind. Es sei darauf hingewiesen, dass es hierbei nicht auf den Grund der Nicht-Vorhersagbarkeit der Ereignisse ankommt. So können unvollständige Information, Unsicherheit oder Komplexität für das Auftreten von small events ursächlich sein.

Small events in diesem Sinne können in nonergodischen Systemen selbstverstärkende Effekte auslösen. Obwohl die Pfadabhängigkeitstheorie verschiedene Wirkungsmechanismen für das Auslösen von increasing returns durch small events aufzeigen kann¹⁴⁸, lassen viele Darstellungen die Auseinandersetzung mit der allgemeineren Frage vermissen, welche Voraussetzungen ein System im Allgemeinen erfüllen muss, damit small events über selbstverstärkende Effekte einen Pfad auslösen können. In welchen Systemen ist dies möglich oder unmöglich, in welchen sogar zwingend der Fall? Gibt es allgemeine Gesetzmäßigkeiten, die das Wirken von small events in bestimmten Systemen betreffen? Oder sind Umstände denkbar, in denen ohne das Wirken von increasing returns allein durch small events Pfade entstehen können?¹⁴⁹ Auch wenn einige dieser Fragen noch nicht abschließend beantwortet werden können, bemüht sich der nächste Abschnitt um eine Bestandsaufnahme des aktuellen

¹⁴⁵ Mahoney 2000 S.511

¹⁴⁶ Vgl. David 1985 S.334; Arthur 1989 S.116, S.123; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.698-701

¹⁴⁷ Vgl. Mahoney 2000 S.526ff.

¹⁴⁸ Vgl. David 1985 S.334; Arthur 1989 S.116, S.123; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.698-701

¹⁴⁹ Diese, mit den Modellen der Pfadabhängigkeitstheorie bisher unbeantwortete Frage werfen auch Schreyögg, Sydow & Koch 2003 auf S.266 auf.

Forschungsstandes zur Verknüpfung von small events und selbstverstärkenden Effekten.

2. Selbstverstärkende Effekte

Selbstverstärkende Effekte, die mit äquivalentem Bedeutungsgehalt auch positive feedback-Zirkel genannt werden, bezeichnen im weitesten Sinne Prozesse, bei denen der Zuwachs einer Variablen einen Mechanismus auslöst, der zu einem weiteren Zuwachs derselben Variable führt.¹⁵⁰ Bei increasing returns handelt es sich um einen Spezialfall von selbstverstärkenden Effekten, bei denen der payoff¹⁵¹, den ein Akteur realisieren kann, die sich selbstverstärkende Variable darstellt; der Mechanismus ist hierbei üblicherweise so aufgebaut, dass eine bestimmte Handlung direkt oder indirekt den (erwarteten) payoff eines Akteurs steigert, was dazu führt, dass diese Handlung vom Akteur oder von anderen Akteuren, die den gleichen erhöhten payoff realisieren können, häufiger ausgeführt wird, wodurch der payoff weiter steigt. Hiervon unbedingt klar zu unterscheiden sind Regime mit konstanten returns, bei deren Vorliegen die Handlungen eines Akteurs den payoff der anderen Akteure nicht beeinflusst; der payoff bleibt konstant. Deshalb entsteht nur durch increasing returns ein positiver feedback-Zirkel mit selbstverstärkender Wirkung. In der Pfadabhängigkeitstheorie wird davon ausgegangen, dass small events solche positiven feedback-Zirkel in Gang setzen können.

Im Fall von QWERTY führt David das erstmalige Auftreten von selbstverstärkenden Effekten in der Form von Netzwerkeffekten und Skaleneffekten ex post auf einen spezifischen small event zurück: die Erfindung des „touch-typing“¹⁵². Ende der 80er Jahre des 19. Jahrhunderts wurde diese neuartige, überlegene Technik bei Schreibmaschinen mit QWERTY-Tastenanordnung gekoppelt angewendet. In der Folge erlernten immer mehr Schreibkräfte den Umgang mit QWERTY, wodurch für einen Arbeitgeber aufgrund einer größeren Menge an qualifizierten Schreibkräften der erwartete

¹⁵⁰Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262

¹⁵¹ Payoff kann hier in einem weiten Sinn verstanden werden, nicht nur als monetäre Gewinnmöglichkeit, sondern auch im Sinne von Nutzenzuwachs, der zum Beispiel aus einer Aktion (vgl. Arthur 1989 S. 118), aus einer Transaktion (vgl. David 1985 S.335) oder einer Koordination (vgl. North 1990 S.23) besteht.

¹⁵² David 1985 S.334

Nutzen einer angeschafften QWERTY-Schreibmaschine stieg. Durch die daraus folgende Zunahme an QWERTY-Schreibmaschinen auf dem Markt entschlossen sich immer mehr Schreibkräfte für eine Schulung in QWERTY, bald bekannt als „the Universal“¹⁵³. Durch höhere Absatzzahlen konnte von den Herstellern von QWERTY-Schreibmaschinen eine signifikante Kostenreduktion durchgeführt werden, wodurch die Kosten-Nutzen-Relation für Arbeitgeber weiter gesteigert werden und der Absatz weiter verbessert werden konnte.¹⁵⁴

In der Literatur werden verschiedene Formen von selbstverstärkenden Effekten unterschieden, denen unterschiedliche kausale Wirkungsketten zu Grunde liegen. Verschiedene selbstverstärkende Effekte können einzeln oder auch gemeinsam auftreten, wobei sich im letzteren Fall die selbstverstärkende Wirkung noch verschärft. Die bekannten Formen selbstverstärkender Effekte bei der Evolution technologischer Standards sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

a) Skaleneffekte

Bei Skaleneffekten¹⁵⁵, auch *economies of scale* genannt, handelt es sich um einen positiven feedback-Zirkel, der in der technologischen Entwicklung begründet liegt, wenn eine Produktion im Umfang ausgeweitet werden kann. Skaleneffekte beziehen sich hierbei auf den kostensenkenden Effekt einer größeren Produktionsmenge: Kann die Absatzmenge deutlich erhöht werden, können durch günstigere Einkaufs- und Finanzierungsbedingungen, bessere Ausnutzung von Unteilbarkeiten und die Investition in Produktionsanlagen mit höherer Kapazität (Rationalisierungsinvestition) die Grenzkosten deutlich gesenkt werden.¹⁵⁶ Die durchschnittlichen Stückkosten sinken bei Vorliegen von positiven Skaleneffekten daher mit steigender Ausbringungsmenge, wie in Abbildung 3 dargestellt wird.

¹⁵³ David 1985 S. 334

¹⁵⁴ Vgl. David 1985 S.332-334

¹⁵⁵ Vgl. David 1985 S.334; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262

¹⁵⁶ Vgl. Altman 2000 S.129f.

Abbildung 3: Skaleneffekte führen zu sinkenden Stückkosten

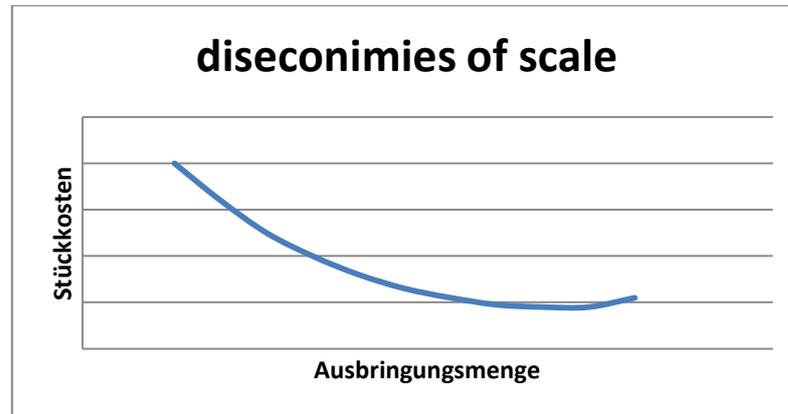


Quelle: Eigene Darstellung

Diese Logik beeinflusst die Entwicklung von Technologien dann, wenn ein Produkt, das Skaleneffekte erfährt, als Träger einer Technologie eng mit dieser Technologie verknüpft ist, so dass eine höhere Produktionsmenge mit einem höheren Diffusionsgrad der korrespondierenden Technologie einher geht. Als Beispiel können hier Mobilfunkgeräte (als Produkt) für bestimmte Arten der kabellosen Datenübertragung (als Technologien, z.B. GPRS oder UMTS) genannt werden oder die schon vielzitierte Schreibmaschine als Träger der QWERTY-Technologie.

Ein selbstverstärkender Mechanismus fügt sich zusammen, wenn man die Konsequenzen der Kostensenkung durch Skaleneffekte am Markt berücksichtigt: Können durch geringere Stückkosten die Absatzpreise gesenkt werden, führt dies in der Regel zu höherer Nachfrage und dies wiederum zu weiter steigendem Absatz. Die positive feedback-Spirale setzt sich auf diese Weise fort. Man beachte allerdings, dass Skaleneffekte nicht unbegrenzt auftreten, sondern üblicherweise irgendwann ein Produktionsniveau erreicht wird, bei dem die Stückkosten nicht weiter sinken. Aufgrund dieser Eigenschaft wird diese Produktionsmenge auch *Mindestoptimale Betriebsgröße* genannt. Wird die Produktion über diesen Punkt hin weiter ausgeweitet, bleiben die Stückkosten zunächst konstant, können jedoch auch wieder steigen und sich zu sogenannten *diseconomies of scale* entwickeln, wie in Abbildung 4 anschaulich dargestellt wird.

Abbildung 4: Mindestoptimale Betriebsgröße und diseconomies of scale



Quelle: Eigene Darstellung

b) Netzexternalitäten

Netzexternalitäten¹⁵⁷, manchmal auch als Netzwerkeffekte bezeichnet, bilden die zweite Form häufig anzutreffender selbstverstärkender Effekte bei der technologischen Entwicklung. Auch bei dieser Form handelt es sich um eine nachfragegesteuerte Erklärung selbstverstärkender Effekte, wobei in direkte und indirekte Netzexternalitäten unterschieden werden kann.¹⁵⁸

Direkte Netzexternalitäten liegen vor, wenn der Nutzen der Technologie für Nachfrager dadurch steigt, dass andere Nachfrager dem Netzwerk beitreten und ebenfalls diese Technologie verwenden. Beispielhaft hierfür steht das Telefonnetz, dessen Nutzen für den einzelnen Nutzer in direktem Verhältnis dazu steht, wie viele andere Personen ebenfalls ein Telefon besitzen und für ihn somit erreichbar sind.¹⁵⁹ Aktuelle Beispiele für Netzwerke, die starke direkte Netzexternalitäten erfahren, sind virtuelle Netzwerke wie studiVZ (8 Mio. Nutzer in Deutschland), facebook (260 Mio. Nutzer weltweit) oder Twitter, deren Nutzen für jeden einzelnen Nutzer direkt mit der Anzahl der Netzwerkteilnehmer steigt, da der Nutzen direkt von der Fähigkeit des Netzwerks abhängt, viele relevante Kontakte zu geringen Kosten erreichen zu können. Ohne eine große Zahl anderer Teilnehmer am Netzwerk generieren facebook und Twitter keinen Nutzen für

¹⁵⁷ Vgl. David 1985 S.334-335; Katz & Shapiro 1985 S.424ff.; Regibeau 1995 S.33-39; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262

¹⁵⁸ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262

¹⁵⁹ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262

einen einzelnen Anwender – genauso wie es keinen Nutzen generieren würde, wäre man weltweit der einzige Besitzer eines Telefons.

Indirekte Netzexternalitäten liegen hingegen dann vor, wenn ein Netzwerk durch seine Kompatibilität mit relevanten Kontextfaktoren wie zum Beispiel der zugehörigen Infrastruktur oder ihrer Verbesserung einen steigenden Nutzen für die Teilnehmer des Netzwerkes generieren kann. In diesem Fall hätte ein Anbieter einer Technologie einen Vorteil, der die höchste Kompatibilität mit den relevanten Kontextfaktoren erreicht. Als Beispiel kann hier die technische Ausführung der neusten Generation von Mobilfunkgeräten genannt werden, die eine spezielle Funktion zur vereinfachten Verwendung von facebook über das mobile Internet integriert haben, so dass das Hoch- oder Herunterladen von Bildern, Videos u.ä. deutlich erleichtert wird. Es ist daher zu erwarten, dass die Kompatibilität der facebook-Technologie zur System- und Softwarearchitektur der großen Mobilfunkhersteller als indirekte Netzexternalität die Verbreitung von facebook gegenüber alternativen virtuellen Netzwerken noch weiter beschleunigen wird.

c) *Lerneffekte*

Lerneffekte gehören zu den in der Literatur meistgenannten Formen selbstverstärkender Effekte.¹⁶⁰ Hierbei wird bei der Entwicklung technologischer Standards häufig auf das Lernen auf Konsumentenseite Bezug genommen.¹⁶¹ Die Argumentation kann mit ihren Kernaussagen wie folgt zusammengefasst werden: Es wird davon ausgegangen, dass allein durch die Verwendung einer Technologie Lerneffekte bei den Verwendern auftreten, so dass eine abermalige Verwendung der Technologie einen noch größeren Nutzen für den zukünftigen Verwender generiert. Ferner steigt mit der Verwendung einer Technologie auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Technologie Innovationen erfährt und weiterentwickelt wird:

¹⁶⁰ Vgl. Ackermann 2001 S.140-153; Arthur 1989 S.116; Cowan 1990 S.541ff.; David 1985 S.336; Katz & Shapiro 1985 S.426ff.; Schäcke 2006 S.58ff.; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.700

¹⁶¹ Vgl. Arthur 1989 S.116; Cowan 1990 S.541ff.; David 1985 S.336; Katz & Shapiro 1985 S.426ff.; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262

„With repetition, individuals learn how to use products more effectively, and their experiences are likely to spur further innovations in the product or in related activities.“¹⁶²

Die Argumentation ist jedoch nicht ausschließlich nachfragegesteuert. Lerneffekte können bei Technologien auch auf Anbieterseite auftreten¹⁶³, wie zum Beispiel von Cowan für die Kernenergietechnologie ausgeführt wird: Unter starkem Druck der amerikanischen Politik, innerhalb kürzester Zeit ein erstes ziviles Atomkraftwerk in Betrieb zu nehmen, wurde aus mehreren möglichen Technologien die Leichtwassertechnik gewählt, weil hierfür in der Vergangenheit für militärische Anwendungen bei U-Boot-Antrieben schon die meisten Erfahrungen und Lerneffekte generiert werden konnten. In der Folge wurde der erste zivile Nuklearreaktor als Leichtwasserreaktor gebaut, was dazu führte, dass dieser zum Zentrum der zivilen Atomforschung avancierte und so hauptsächlich im Leichtwasserbereich weitere Forschung betrieben wurde. In der Folge konnte die Leichtwassertechnik so weit verbessert werden, dass sie weltweit alternative Technologien wie Schwerwasser oder Gaskühlung praktisch verdrängt hat, und einen Marktanteil von über 95% einnimmt, obwohl mittlerweile starke Zweifel aufgekommen sind, ob es sich bei der Leichtwassertechnik tatsächlich um die effizienteste Technologie handelt.¹⁶⁴

Ähnlich zu Skaleneffekten, wenn auch wie oben dargestellt inhaltlich ganz anders begründet, ergeben sich so für Technologien im Zeitablauf sogenannte Lernkurven, die die Verbesserung der durchschnittlichen Kosten einer Technologie im Zeitablauf beschreiben und die beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt wird.¹⁶⁵

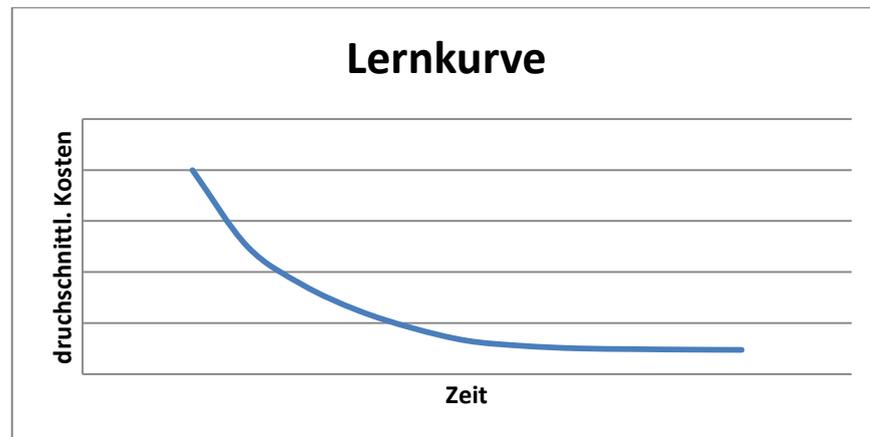
¹⁶² Pierson 2000a S.254

¹⁶³ Vgl. Arthur 1994 S.3

¹⁶⁴ Vgl. Cowan 1990 S.541ff.

¹⁶⁵ Vgl. Altman 2000 S.130

Abbildung 5: Beispielhafte Lernkurve



Quelle: Eigene Darstellung

d) Adaptive Erwartungen

Auf die Rolle von adaptiven Erwartungen als selbstverstärkende Effekte wird bereits in den frühen Arbeiten von David¹⁶⁶ und Arthur¹⁶⁷ hingewiesen, auch wenn dieser Mechanismus hier noch nicht im Mittelpunkt der Argumentation für increasing returns steht. Adaptive Erwartungen rücken in der jüngeren Pfadliteratur bei der Analyse selbstverstärkender Effekte verstärkt in den Vordergrund.¹⁶⁸ Im Fall technologischer Standards wird die Rolle von adaptiven Erwartungen so begründet, dass es für Entscheider von erheblicher Bedeutung ist, ob spätere Entscheider sich in der Mehrzahl für denselben Standard entscheiden, da sich der erwartete Nutzen einer heutigen Entscheidung für eine Technologie schon dann erhöht, wenn angenommen werden kann, dass sich die Technologie in der Zukunft als Standard etablieren wird. So führt Arthur aus:

„Perhaps the most interesting extension is the expectation case where agents' returns are affected by the choices of future agents. This happens for example with standards, where it matters greatly whether later users fall in with one's own choice.“¹⁶⁹

Auf diese Weise können Erwartungen die Durchsetzung eines fokalen Standards betreffend die aktuellen Entscheidungen zu Gunsten dieses Standards positiv beeinflussen, was aufgrund des perzipierten Nutzenzuwachses zu einer verstärkten

¹⁶⁶ Vgl. David 1985 S.335

¹⁶⁷ Vgl. Arthur 1989 S.123

¹⁶⁸ Vgl. David 1994; Liebowitz & Margolis 1995 S.215f.; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 2003 S.262; vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.700

¹⁶⁹ Arthur 1989 S.123

Adoption führt – wodurch sich die Erwartung der erfolgreichen Durchsetzung dieses Standards weiter erhöhen. Die so entstehende positive Feedback-Schleife stellt einen selbstverstärkenden Prozess dar. Dieser kann aufgrund seiner Eigenschaft, dass durch die Erwartung die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Erwartungen weiter erhöht wird, prägnant als „self-fulfilling prophecy“¹⁷⁰ bezeichnet werden.

Die vier aufgezeigten Selbstverstärkungsmechanismen Skaleneffekte, Netzexternalitäten, Lerneffekte und adaptive Erwartungen können einzeln oder auch gemeinsam auftreten, wodurch sich die selbstverstärkende Wirkung noch erhöhen kann. So können im Falle von QWERTY der Entwicklung des 10-Finger-Blind-Systems Lerneffekte auf individueller Basis zugerechnet werden; mit der Institutionalisierung des 10-Finger-Blind-Systems in Ausbildungseinrichtungen für Typistinnen wirken indirekte Netzexternalitäten, gleichzeitig kann davon ausgegangen werden, dass hierdurch eine Veränderung der Erwartungen in der Art stattfand, als dass die Durchsetzung von QWERTY für immer wahrscheinlicher gehalten wurde. Man erkennt hier, dass die analytische Differenzierung der Selbstverstärkungsmechanismen leichter fällt, als die Mechanismen und ihre Wirkungen in der Praxis sauber voneinander zu trennen.

Adaptive Erwartungen spielen wie die oben vorgestellten Lerneffekte ebenfalls eine Rolle im Prozess institutionellen Wandels und werden daher später in Abschnitt C.II.3.d) in dieser neuen Perspektive noch ausführlich behandelt. Wie im QWERTY Beispiel konkret an einem Fall und im Urnenmodell theoretisch gezeigt wurde, können selbstverstärkende Effekte schließlich zu einer extremen Form der Persistenz führen, der dauerhaften Beschränkung des Handlungsspielraums auf nur eine Option. Mit diesem Zustand des sogenannten „lock-in“ beschäftigt sich der nächste Abschnitt.

3. Lock-in

Die Dynamik selbstverstärkender Effekte kann letztlich zur Dominanz einer (nicht zwangsweise effizienten) Technologie führen. So konstatiert David im Fall von QWERTY den lock-in: „(increasing returns) drove the industry prematurely into

¹⁷⁰ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.700

standardization *on the wrong system*, where decentralized decision making subsequently has sufficed to hold it.”¹⁷¹ Gemeint ist hierbei die Dominanz der QWERTY-Technologie, die seit über 100 Jahren den Markt von Tastatur-Anordnungen praktisch konkurrenzlos beherrscht. Obwohl die Idee des lock-in relativ eingängig ist, bleibt die Konzeption bei David sehr vage.¹⁷²

Präziser wird das Konzept des lock-in – ebenso wie das der small events – bei Arthur gefasst, auch hier ist dieser Umstand vermutlich dem höheren Formalisierungsgrad der Arthur’schen Studien geschuldet; so spricht Arthur davon, dass eine Technologie „den Markt einnimmt“¹⁷³ und sich die „langfristige Dominanz einer Technologie einstellt“¹⁷⁴. Mit Hilfe seines formalen Modells kann Arthur den lock-in aber noch deutlich präziser fassen: Wie in Abschnitt B.II.1, insbesondere in Abbildung 1, für das Agentenmodell Arthurs gezeigt wurde, führt das Adoptionsverhalten der Agenten im increasing returns Fall dazu, dass der Marktanteil der Technologie A langfristig entweder 0 oder 1 ist.¹⁷⁵ Dies bedeutet, dass die zwei konkurrierenden Technologien auf Dauer nicht koexistieren können, früher oder später muss eine die andere ausschließen.¹⁷⁶ An dieser Stelle sei angemerkt, dass alternative Modellierungen selbstverstärkender Effekte durchaus zu differenzierteren Ergebnissen die Marktaufteilung betreffend kommen.¹⁷⁷

Dieses Verständnis des lock-in wird später in der institutionellen Pfadabhängigkeitstheorie übernommen. So bezeichnet zum Beispiel Ackermann den lock-in von Institutionen als einen Zustand, in dem Regeln „ein großes Beharrungsvermögen aufweisen, so dass der spontane Prozess der Regelevolution den ‚Fehler‘ nicht selbst korrigieren kann.“¹⁷⁸ An dieser Stelle sei bereits darauf verwiesen, dass der strenge lock-in Begriff, der in der Perspektive technologischer

¹⁷¹ David 1985 S.336

¹⁷² Vgl. David 1985 S.336; David 1994 S.214

¹⁷³ Wörtlich schreibt Arthur (1989): „The end result ist that A corners the market, and B is excluded“ (S. 119)

¹⁷⁴ Wörtlich schreibt Arthur (1989): „long run dominance by a single technology“ (S.126)

¹⁷⁵ Dies liegt darin begründet, dass der random walk d_n (Differenz der Anzahl der bisherigen Adoptionen der Technologien A und B) eine der absorbierenden Barrieren mit Wahrscheinlichkeit von 1 überschreitet. Vgl. Arthur 1989 S.121

¹⁷⁶ Vgl. Arthur 1989 S.121

¹⁷⁷ Vgl. an dieser Stelle die über die Zeit hinweg weiterhin existierenden Meinungen der Minderheiten im Opinion-Formation-Model von Weidlich & Haag 1983 S. 46ff., später ökonomisch interpretiert auch bezeichnet als Nische der unterlegenen Konkurrenzprodukte

¹⁷⁸ Ackermann 2003 S.225

Standards geprägt wurde, im institutionellen Kontext wieder etwas gelockert werden muss.¹⁷⁹ Diese Argumentation im Detail nachzuvollziehen ist an dieser Stelle jedoch verfrüht und daher nicht zweckmäßig. Dies wird bei der Übertragung der Pfadtheorie auf den institutionellen Kontext in Abschnitt C.IV.2.d) ausführlich behandelt, wenn auch die Argumente für die Relativierung des lock-in Begriffes in institutioneller Perspektive nachvollziehbar werden.

Abschließend sei in Ergänzung zu den Ausführungen in Abschnitt B.III.5 (Potentielle Ineffizienz) noch darauf hingewiesen, dass es sich beim lock-in um die extremste Form von Inflexibilität handelt, die der Pfadprozess kennt und hier die Argumentation zur potentiellen Ineffizienz¹⁸⁰ von Pfaden besonders zum Tragen kommt:

„under increasing returns (...) development of an inferior option can result.“¹⁸¹

Auf der Basis der drei vorgestellten Kernkonzepte small events, increasing returns und lock-in kann nun im Folgenden der Pfadabhängigkeitsbegriff näher bestimmt werden.

4. Zwischenfazit: Der Pfadabhängigkeitsbegriff in der Marktperspektive

Nachdem nun der Ursprung, die frühen Modellierungen, die Eigenschaften und die Kernkonzepte der Pfadabhängigkeitstheorie vorgestellt wurden, kann der Pfadabhängigkeitsbegriff, wie er in der Marktperspektive verstanden wird, prägnant im Rahmen eines Zwischenfazits erfasst werden. In Übereinstimmung mit der Konzeption von Pfadabhängigkeit im engeren Sinne, die sich in weiten Teilen der Pfadliteratur durchgesetzt hat¹⁸², soll im Rahmen dieser Arbeit von nun an das folgende Begriffsverständnis von Pfadabhängigkeit gelten:

¹⁷⁹ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.694-696

¹⁸⁰ Vgl. hierzu die ausführliche Diskussion für und wider die Annahme potentieller Ineffizienz von Pfaden in Abschnitt B.III.5 dieser Arbeit, sowie Arthur 1989 S.119; Liebowitz & Margolis 1995 S.210ff.; Ackermann 2003 S.225; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.273-274; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

¹⁸¹ Vgl. Arthur 1989 S.122

¹⁸² So ist das folgende Begriffsverständnis grundsätzlich vereinbar mit der Verwendung des Pfadabhängigkeitsbegriffes bei Ackermann 2001, 2003; Arthur 1989, 1994; Beyer 2005, David 1985 S.5; David 1985, 1994; Garud & Karnøe 2001 S.3-5; Koch 2007; Koch, Eisend & Petermann 2009; Pierson 2000a, 2004; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.259-273; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 passim; Tripsas & Gavetti 2000; Windeler 2003 S.298-302

Ein Prozess ist als pfadabhängig zu charakterisieren, wenn er durch von small events ausgelösten, selbstverstärkenden Wirkungsmechanismen geprägt ist, die den Handlungsspielraum der Akteure im Zeitablauf einschränken und zum lock-in führen können; während zu Beginn des Prozesses Flexibilität und Nicht-Vorhersagbarkeit in Form von Nonergodizität herrschen, ist der Pfadprozess im Zeitablauf von zunehmender Inflexibilität gekennzeichnet. Im Falle des lock-in herrscht eine extreme Form der Persistenz, die von den Akteuren innerhalb des Systems nicht ohne weiteres überwunden werden kann und quasi-deterministisch zur Replikation des persistenten Handlungsmusters zwingt.

Nachdem nun die Pfadabhängigkeitstheorie in der Marktperspektive ausführlich beleuchtet wurde, wenden wir uns der Übertragung der Theorie auf den organisationalen Kontext zu. Hierbei muss der Blickwinkel verändert werden und während Technologien in den Hintergrund treten, steht im Folgenden der für Organisationen höchst relevante Wandel von Institutionen im Mittelpunkt der Betrachtungen.

C. Theorie der organisationalen Pfadabhängigkeit

Nachdem die Grundlagen der Theorie der Pfadabhängigkeit detailliert dargelegt wurden, wird die in der Marktperspektive entwickelte Logik für die Entwicklung technologischer Standards nun auf den organisationalen Kontext übertragen. Bei dieser Übertragung der ursprünglichen Theorie sind von Pfadforschern zwei grundsätzliche Transferleistungen zu erbringen:

Erstens treten in Organisationen Institutionen an die Stelle technologischer Standards; sie sind die organisationalen „carriers of history“¹⁸³. Die Ausführungen über den Wandel von technologischen Standards müssen also auf ihre Eignung und ihren Erklärungswert hinsichtlich des institutionellen Wandels untersucht werden, damit die Theorie transferiert werden kann. Zweitens muss den grundsätzlichen Unterschieden zwischen dezentraler Entscheidungsfindung auf Märkten und zentralisierten Entscheidungen in Organisationen Rechnung getragen werden, was den Ablauf von pfadabhängigen Prozessen anbelangt; der markanteste Unterschied liegt hierbei in der Machtverteilung zwischen den Akteuren: In der Marktperspektive wird im Allgemeinen von machtfreien Entscheidungsprozessen ausgegangen, die durch Wettbewerb und das Vertragsmodell gewährleistet werden¹⁸⁴, und die beim Vorliegen von selbstverstärkenden Effekten emergent entstehende, potentiell ineffiziente Pfade zur Folge haben können. Auf der anderen Seite herrscht jedoch in nahezu allen Organisationen, insbesondere solchen mit wirtschaftlichem Hintergrund, in Gestalt der Hierarchie eine natürliche Form der Machtasymmetrie zwischen den Akteuren vor¹⁸⁵, die zu einer – in einem gewissen Maße – zentralisierten Steuerung von Entscheidungsprozessen führt. Die durch Arbeitsverträge zu Gehorsam verpflichteten Organisationsmitglieder können per hierarchischer Anordnung oder generellen Regelung zu einem Verhalten bewegt werden, welches ein von der Organisationsleitung intendiertes Ergebnis herbeiführt. In dieser Perspektive wäre der emergente Wandel von Organisationen hin zu einer ineffizienten institutionellen Lösung, die von der Organisationsleitung nicht gewünscht wird, schwer denkbar. Aufgrund dieses bisher nicht betrachteten

¹⁸³ David 1994 S.205

¹⁸⁴ Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.92f.

¹⁸⁵ Vgl. Kaysen 1961 S.27ff.

Konkurrenzverhältnisses zwischen dezentraler Marktlogik auf der einen und hierarchisch kontrollierter Entscheidung auf der anderen Seite muss untersucht werden, ob sich die Marktlogik selbstverstärkender Prozesse gegen Steuerungsversuche der Hierarchie durchsetzen kann.

Die erste Frage nach der Übertragung der Logik technologischer Evolution auf institutionelle Fragestellungen ist in der Literatur ausführlich adressiert¹⁸⁶ und die Ergebnisse können hier zusammen getragen werden. Die zweite Frage nach der Durchsetzungskraft selbstverstärkender Effekte in hierarchischen Organisationen hingegen ist bisher nicht tiefergehender bearbeitet und stellt eine erhebliche Forschungslücke bei der Übertragung der Pfadtheorie auf den organisationalen Kontext dar. Diese Lücke zu schließen ist das erklärte Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit; hierfür wird in Kapitel D die Methode abgeleitet und in Kapitel E folgt die Untersuchung der Forschungslücke mit Hilfe eines geeigneten Modells.

Das vorliegende Kapitel schafft die theoretische Grundlage der Untersuchung und gliedert sich im Weiteren wie folgt: Zunächst wird unter Rückgriff auf die Neue Institutionenökonomie das Verständnis von Institutionen (Abschnitt C.I) und ihrer Entwicklung (Abschnitt C.II) beleuchtet, dies geschieht zunächst unabhängig von der Beschaffenheit des betrachteten sozialen Systems. Anschließend wird die Perspektive auf den organisationalen Kontext verengt und das Verhältnis von Institution und Organisation betrachtet (Abschnitt C.III), das in der zeitgenössischen Literatur der Organisationstheorie durchaus kontrovers diskutiert wird. Nach dieser Vorarbeit rückt der aktuelle Forschungsstand zur Übertragung der Pfadtheorie technologischer Standards auf die Entwicklung von institutionellen Lösungen in Organisationen in den Mittelpunkt der Betrachtungen (Abschnitt C.IV). Unter Bezugnahme auf organisationstheoretische Erkenntnisse werden Überlegungen für die Ableitung eines Modells organisationaler Pfadabhängigkeit aufgestellt; diese finden ihren vorläufigen Abschluss im 3-Phasen-Modell organisationaler Pfadabhängigkeit von Sydow, Schreyögg & Koch¹⁸⁷, das nach dem Forschungsstandort der Autoren auch unter dem Namen

¹⁸⁶ Vgl. Ackermann 2001 passim; North 1990 S.92ff.; David 1994 passim; Schäcke 2006 passim

¹⁸⁷ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.272, Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.692ff.

„Berliner Modell“ bekannt ist. Dieses Modell bildet im Folgenden die Grundlage der formalen Modellierung von Pfaden institutionellen Wandels in Organisationen.

I. Zum Verständnis von Institutionen

Angesichts der Tatsache, dass der Institutionenbegriff alles andere als wohldefiniert ist, wird in Abschnitt C.I.1 zunächst ein Überblick über mögliche Begriffsinhalte gegeben und unter diesen eine Festlegung getroffen. Darauf folgen Ausführungen darüber, wie der institutionelle Wettbewerb im Vergleich zum Wettbewerb technologischer Standards konzeptionalisiert werden kann (Abschnitt C.II.); in den Mittelpunkt der Betrachtungen gelangen hierbei Selbstverstärkungsmechanismen, im Besonderen der Mechanismus der institutionellen Komplementarität. Nach einer Abgrenzung von Institution und Organisation (Abschnitt C.III) wird der Blickwinkel auf den pfadabhängigen Prozess institutionellen Wandels gelenkt und der Stand der aktuellen Forschung zusammengefasst. Hieraus ergibt sich weiterer Forschungsbedarf und mit ihm die spezifischen Fragestellungen, die diese Arbeit motivieren.

1. Abgrenzung des Institutionenbegriffes

Institutionen stellen in vielen Disziplinen der Sozialwissenschaft ein vieldiskutiertes und zentrales Konstrukt dar.¹⁸⁸ Eine prägnant formulierte Begründung hierfür liefert North:

“institutions (are) the determinant of economic performance.”¹⁸⁹

So wird das Konzept in der Ökonomie¹⁹⁰, der Soziologie¹⁹¹, der Politikwissenschaft¹⁹² und der Organisationsforschung¹⁹³ ein wichtiger

¹⁸⁸ Die Ausweitung des internationalen Handels und die Globalisierung haben zu erhöhter Aufmerksamkeit für Institutionen, institutionellen Wandel und den Wettbewerb zwischen Institutionen geführt. (Vgl. Höijer 2008 S.1; siehe auch March & Olsen 1989 S.1). In seinem klassischen Werk verweist North darauf, dass die Rolle von institutionellem Wandel in sozialwissenschaftlichen und insbesondere in wirtschaftswissenschaftlichen Analysen kaum überschätzt werden kann: “Institutional change shapes the way societies evolve through time and hence is the key to understanding of historical change. That institutions affect the performance of economies is hardly controversial. (...) institutions (are) the determinant of economic performance.” (North 1990 S.3, S.7);

¹⁸⁹ North 1990 S.3, S.7

¹⁹⁰ Vgl. Aoki 1994; Deeg 2007 S.612

¹⁹¹ Vgl. DiMaggio & Powell 1983 S.147ff.

¹⁹² Vgl. Amable 2000, Amable 2009 passim

Bestandteil im jeweiligen Theoriegebäude.¹⁹⁴ Im weiten Feld der Erforschung von Institutionen gibt es jedoch grundlegende Unterschiede, was das Verständnis von Institutionen betrifft.¹⁹⁵ Eine Durchsicht der Literatur der neuen Institutionenökonomie kommt zu dem Ergebnis, dass Institutionen nicht einheitlich definiert werden.¹⁹⁶ Insbesondere fällt auf, dass sich die Konzeptionalisierungen inhaltlich durch ihren Grad an Spezifität unterscheiden.

So findet sich die sehr weitläufige Definition einer Institution, die diese allgemein als eine im Gleichgewicht befindliche Menge an Handlungen oder Verhaltensweisen beschreibt.¹⁹⁷ In der aktuellen Literatur der Spieltheorie wird hingegen vorgeschlagen, Institutionen entweder als Akteure zu verstehen, die ein Spiel spielen, oder aber als die Regeln des Spiels selbst oder als die Verhaltensweise, die sich im Laufe des Spiels als Gleichgewichtszustand etablieren kann.¹⁹⁸ Scott hingegen schlägt eher eine funktionalistisch orientierte Definition von Institutionen vor:

„Institutions are social structures that have attained a high degree of resilience (and are) composed of cultural-cognitive, normative, and regulative elements that, together with associated activities and resources, provide stability and meaning to social life.“¹⁹⁹

Kürzer formulieren Kasper und Streit, die auf Regeln und Akteure fokussieren:

„(institutions are) man-made rules which constrain possible arbitrary and opportunistic behavior in human interaction“²⁰⁰

Ellickson erweitert diesen Fokus um Sanktionen:

„a system of social control will be defined of consisting of rules of normatively appropriate human behaviour. These rules are enforced through sanctions...“²⁰¹.

¹⁹³ Vgl. Barley & Tolbert 1997 S.96; Burns & Scapens 2000 S.6

¹⁹⁴ vgl. auch Sjöstrand 1993 S.7-8; Powell & DiMaggio 1991 S.3

¹⁹⁵ Für Definitionen von Institutionen, denen jeweils ein elaboriertes, aber teils stark abweichendes Verständnis zu Grunde liegt, vgl. beispielsweise Barley & Tolbert 1997 S.96; North 1990 S.3; Schäcke 2006 S.46; Schiller-Merkens 2008 S.35; Schotter 1981 S.109; Scott 2001 S.48; Sjöstrand 1993 S.10; Türk 2004 S.924

¹⁹⁶ Vgl. Campbell 2004; Hall & Soskice 2001; Nee 2005; North 1990; Ostrom 1990; Peters 1999; Picot & Schuller 2004 S.514ff.; Scott 2001 S.48

¹⁹⁷ Vgl. Höijer 2008 S.3-6

¹⁹⁸ Vgl. Aoki 2001 S.5-7

¹⁹⁹ Scott 2001 S.48

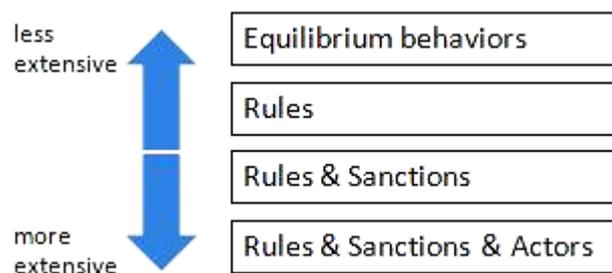
²⁰⁰ Kasper & Streit 1998 S.28

²⁰¹ Ellickson 1991S.121

Dieser extrem heterogene und teils diffuse Katalog an möglichen Definitionen ohne eine Festlegung auf hinreichende Bedingungen²⁰² für das Vorliegen einer Institution ist jedoch für einen pfadtheoretischen Ausbau der institutionellen Theorie wenig hilfreich, insbesondere wenn mathematische Formalisierung eine präzise Festlegung des Konstrukts zwingend erforderlich macht. Eine systematische Herangehensweise an den Institutionenbegriff ist hier erforderlich.

Den aktuellen Stand in der neuen Institutionenökonomie zusammenfassend konstatiert Höijer ein Kontinuum von Definitionen, das von einem sehr weiten hin zu einem sehr engen Institutionenverständnis reicht.²⁰³ Während im weiten Verständnis allgemein von (Gleichgewichts-) Verhalten als Hauptmerkmal von Institutionen gesprochen wird, werden auf dem Weg zur engeren Konzeption sukzessive Regeln, Sanktionen und Akteure in das Begriffsverständnis mit einbezogen²⁰⁴; die Definition der Institution gewinnt auf diesem Weg an Spezifität. Das Kontinuum möglicher Definitionen wird anschaulich in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6: Kontinuum möglicher Definitionen von Institutionen



Quelle: nach Höijer (2008) S.13

Das Ziel dieser Arbeit, die formale Modellierung organisatorischen Wandels, verlangt nach einer spezifischen Definition von Institutionen, die eine präzise Formalisierung ermöglicht. Je allgemeiner und unspezifischer die zu Grunde gelegten Konstrukte eines formalen Modells sind, desto weniger kann dieses eine

²⁰² Schiller-Merkens 2008 spricht an dieser Stelle von der „Pluralität des Bedeutungsgehaltes von Institutionen“ (S.32)

²⁰³ Vgl. Höijer 2008 S.13

²⁰⁴ Bemerkung: Gegen diese grundsätzliche Perspektive auf Institutionen wenden sich, unabhängig vom Grad der Spezifität der Definition, Vertreter der Theorie der rationalen Wahl, die Institutionen als Verhaltensstandards verstehen, die sich erst kausal aus bestimmten Regeln, die auf einer höheren Ebene fest verortet sind, ergeben. Vgl. hierzu z.B. Schotter 1981 S.151

überzeugende Abbildung der Realität leisten.²⁰⁵ Für das Ziel dieser Arbeit ist also eine möglichst enge, spezifische Definition zweckmäßig: Die Definition im Kontinuum von Höijer mit der höchsten Spezifität lässt sich widerspruchsfrei mit dem Verständnis von North verknüpfen, weshalb seine Definition dieser Arbeit zu Grunde gelegt werden soll. North definiert Institutionen kurz und prägnant als „von Menschen erschaffene Beschränkungen menschlicher Interaktion“²⁰⁶, wobei die *Erschaffung von Beschränkungen* intentional gesteuert sein kann (z.B. Gesetze), oder aber sich auch emergent aus den Handlungen von Menschen im Rahmen eines komplexen sozialen Systems ergeben kann (z.B. Symbole und Normen als Bestandteil einer Kultur). Diese Definition lässt sich in der Systematisierung von Höijer auf der untersten, spezifischen Ebene verorten, da sie sowohl Regeln („Beschränkungen“) als auch Akteure („von Menschen erschaffen“, „menschliche Interaktion“) beinhaltet.²⁰⁷ Sanktionen halten die Handlungsbeschränkungen im Hintergrund aufrecht; sie sind in dieser Definition daher implizit mitgedacht.

Nach dieser Festlegung auf den Bedeutungsgehalt des Institutionenbegriffs soll mittels einer geeigneten Klassifizierung ein Überblick über die Fülle von Institutionen gegeben werden, die unter der gewählten Begrifflichkeit subsummiert werden können.

2. Institutionen in funktionalistischer Perspektive

Nach der oben abgeleiteten Definition von Institutionen als Beschränkung menschlicher Interaktion²⁰⁸ stellt sich aus rationalistischer Sicht zunächst die grundsätzliche Frage, warum eine Einschränkung der Handlungsfreiheit überhaupt vorteilhaft sein sollte – und warum sich viele Menschen in einem sozialen System oft einer gleichartigen Beschränkung ihres Handlungsspielraums unterwerfen.²⁰⁹ Für einen rationalen Akteur, der nach der neoklassischen Prämissenwelt über

²⁰⁵ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.483-485

²⁰⁶ North 1990 S.3: „more formally, (institutions) are the humanly devised constraints that shape human interactions“

²⁰⁷ Vgl. Höijer 2008 S.13

²⁰⁸ Vgl. North 1990 S.3

²⁰⁹ Vgl. North 1991 S.97: „Throughout history, institutions have been devised by human beings to create order and reduce uncertainty in exchange. Together with the standard constraints of economics they define the choice set (of actors) (...)“; auf supra-organisationaler Ebene untersuchen DiMaggio & Powell 1983 (S.147ff.) institutionellen Isomorphismus

vollständige Information verfügt und mit unbeschränkter Rechenkapazität ausgestattet ist²¹⁰, bedeutet die Einschränkung des Handlungsspielraums zunächst eine Schlechterstellung gegenüber dem uneingeschränkten Möglichkeitenraum; besteht bei einer Einschränkung doch stets die Möglichkeit, dass die Handlung, die den größten Nutzen generieren kann, außerhalb der beschränkten Menge verfügbarer Handlungen liegt. Der funktionale Nutzen von Institutionen erschließt sich erst, hebt man durch die Akzeptanz unvollständiger Information und Beschränkung menschlicher Rechenkapazität einige grundlegende Annahmen der neoklassischen Wirtschaftstheorie auf.²¹¹ Diese Entwicklung wird von Scott zusammengefasst:

„Institutions matter again! After decades of denial, oversight and misspecification – under labels varying from behaviorism to individualism to neoclassical economics (...) – social scientists have rediscovered the pivotal role played by institutions in social life.“²¹²

Es entstehen nun durch Unsicherheit und Komplexität auf Austauschmärkten völlig neuartige Abstimmungsprobleme: Nicht nur die Nutzenmaximierung des individuellen Akteurs – vorher nicht mehr als die triviale Bildung einer transitiven Rangfolge von Nutzenwerten verschiedener Güter- und Dienstleistungsbündel – wird angesichts der neuen Umstände zu einer herausfordernden Aufgabe:

„In a world of uncertainty, no one knows the correct answer to the problems we confront and no one therefore can, in effect, maximize profits.“²¹³

Noch schwieriger gestaltet sich unter diesen Umständen die Vorhersage der Handlungen der anderen am Austauschprozess beteiligten Akteure – in den spieltheoretischen Modellen eine notwendige Voraussetzung für Stabilität und die Wahl der eigenen, optimalen Strategie. Handlungen für die eigene Nutzenmaximierung können nun ineffizient sein oder eine sinnhafte Entscheidung

²¹⁰ Vgl. die Arbeiten der Vertreter der Theorie der rationalen Wahl, zum Beispiel Weber 1951 S.146ff.; Axelrod 1987 passim

²¹¹ So bei North 1990 S.25: „The computational limitations of the individual are determined by the capacity of the mind to process, organize, and utilize information...The consequent institutional framework, by structuring human interaction, limits the choice of actors.“; vgl. auch die Entwicklung der Prämissenwelt der in der Managementforschung vom klassischen hin zum modernen Management-Prozess z.B. bei Mintzberg, Raisinghani & Théorêt 1976 S.146ff.

²¹² Scott 2007 S.viii (Prefactory chapter)

²¹³ North 1990 S. 81

für eine Handlungsalternative wird sogar vollkommen unmöglich.²¹⁴ Aus dieser Perspektive kann nun die Funktion von Institutionen erschlossen und der Mehrwert erfasst werden, den diese für die Interaktionspartner bieten können: Institutionen reduzieren Unsicherheit und Komplexität und machen so die Handlungen der Interaktionspartner erwartbar, indem sie aus der theoretisch verfügbaren Menge an Handlungen einige systematisch ausschließen²¹⁵; sie ähneln in ihrer Funktion daher dem „relief-effect“²¹⁶; die ihnen inhärente Selektionsfunktion senkt die Transaktionskosten und schafft eine stabile Struktur für menschliche Interaktion.²¹⁷ Auf diese Weise kann von einer Funktion von Institutionen gesprochen werden, die sich sehr wohl vorteilhaft auf die Wohlfahrt von sozialen Systemen auswirken kann.

North weist auch darauf hin, dass nicht alle Institutionen diese Funktion in gleichem Umfang erfüllen. Vielmehr lassen sich Institutionen, oder besser Institutionengefüge danach differenzieren, ob sie für das soziale System, in dem sie ihre Wirkung entfalten, eine Steigerung der Gesamtwohlfahrt bewirken. Als Beispiel hierfür zieht North einen Vergleich der Institutionengefüge von verschiedenen Volkswirtschaften heran. Er argumentiert, dass die Ausgestaltung des Institutionengefüges maßgeblich dafür verantwortlich ist, ob es im individuellen Nutzenkalkül generell vorteilhafter ist, sich wertschaffend zu betätigen oder sich lediglich um Wertumverteilung zu bemühen. Metaphorisch kann dies mit der Frage gleichgestellt werden, ob es vorteilhafter ist, sich als Bauer (wertschaffend) oder als Räuber (wertumverteilend) zu betätigen. Volkswirtschaften, in denen das Institutionengefüge die wertschaffende Tätigkeit von Bauern gegenüber den wertumverteilenden Aktivitäten von Räubern vorteilhafter ist, werden ein höheres Einkommen und damit ein höheres Wohlstandslevel erreichen als solche, bei denen es für viele individuell

²¹⁴ Beispielhaft sei an dieser Stelle das Gefangenendilemma angeführt: Ohne die Kenntnis der Nutzenwerte der Handlungsalternativen des ersten Gefangenen kann der zweite Gefangene nicht die Nutzenwerte der ihm zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen bewerten, da diese Nutzenwerte von der Handlung des ersten Gefangenen abhängen. Ohne die Information über die Nutzenwerte der Handlungsalternativen seines gegenüber ist eine rationale Entscheidung nicht möglich. In dieser Situation wäre eine vollkommen willkürliche Entscheidung die einzige Möglichkeit, überhaupt handlungsfähig zu bleiben.

²¹⁵ Vgl. Knight & Sened 1998 S.9ff.

²¹⁶ Zukowski 2004 S.958

²¹⁷ Vgl. North 1990 S.25; Scott 2001 S.48

vorteilhafter ist, sich als Räuber zu betätigen. Auf diese Weise werden von North dauerhafte Unterschiede in der Wertschöpfung und der Wachstumsrate der Wertschöpfung zwischen westlichen Industrienationen und einigen Dritte Welt Ländern erklärt.²¹⁸

Eine detailliertere Einteilung in funktionalistischer Sichtweise bietet Scott in einer seiner jüngsten Publikationen; er differenziert die Funktion von Institutionen betreffend drei Dimensionen: die regulative, die normative und die kulturell-kognitive.²¹⁹ Die regulative Dimension der Funktion bezieht sich auf den Prozess des Schaffens von Regeln, ihrer Überprüfung und der Sanktionierung von Regelverletzungen. Sie ist konsistent mit der Darstellung von North, der die Funktion von Institutionen am Beispiel der Regeln eines Mannschaftssportes expliziert.²²⁰ Scott bemängelt zu Recht, dass die funktionalistische Perspektive von Institutionen allzu oft lediglich auf die regulative Dimension beschränkt wird. Mit der normativen Dimension wird die Funktion von Institutionen beschrieben, Werte²²¹ und Normen²²² zu erschaffen. Durch Werte und Normen werden Rechte und Pflichten von Akteuren definiert und Grenzen des Verhaltens gezogen. Sie spezifizieren die Rolle jedes Akteurs, und somit das Bündel von Erwartungen, das an ihn gerichtet wird.²²³ Auf diese Weise trägt die normative wie schon die regulative Dimension dazu bei, dass Erwartungen bezüglich des Verhaltens synchronisiert und stabilisiert werden können. Die kulturell-kognitive Dimension fokussiert schließlich auf die Wahrnehmung der Akteure und bezieht sich auf sichtbare Symbolik; sie fokussiert damit in der Systematik von Schein auf die oberste Ebene im organisationalen Kulturmodell²²⁴. Selektive Wahrnehmung, die in groben Kategorien Symbole oder Rituale klassifiziert, kann in dieser Weise zur Sinnbildung beitragen, besonders wenn der Kontext komplex und diffus ist. Die

²¹⁸ Vgl. North 1990 S.107ff.

²¹⁹ Vgl. Scott 2008 S.50ff.

²²⁰ Vgl. North 1990 S.4

²²¹ Scott (2008) rechnet Werte ebenfalls zu den Konstrukten, die aus Institutionen entstehen und gleichzeitig Institutionen hervorbringen können: „Values are conceptions of the preferred and desirable, together with the construction of standards to which existing structures or behaviors can be compared and assessed“ (S.54)

²²² „Norms specify how things should be done; they define legitimate means to pursue valued ends“ Scott 2008 S.54

²²³ Diese geläufige Definition der Rolle geht zurück auf Dahrendorf 1965 S.27f.; siehe auch Steinmann & Schreyögg 2005 S.612f.

²²⁴ Vgl. Schein 1984 S.252

Stärke der Institutionalisierung der sichtbaren Kulturelemente kann von Kultur zu Kultur durchaus variieren.²²⁵

3. Implizite und explizite Institutionen

Institutionen im Sinne von North²²⁶ können eine Vielzahl verschiedener Gestalten annehmen, so dass eine der detaillierteren Analyse vorausgehende Klassifizierung nützlich erscheint. Grundsätzlich lässt sich differenzieren zwischen formellen Institutionen und informellen Institutionen.²²⁷ Erstere werden synonym auch als formale Institutionen bezeichnet und können explizit kommuniziert und kodifiziert werden²²⁸; man spricht in diesem Zusammenhang deshalb auch von expliziten Institutionen. Beispielfähig können auf nationalstaatlicher Ebene insbesondere die Gesetze angeführt werden, sofern sie, wie in rechtsstaatlichen Systemen üblich, schriftlich in Form von Gesetzbüchern verfasst sind. In Organisationen werden explizite Institutionen meist durch die höhere Hierarchieebene vorgegeben und treten zum Beispiel in Form von generellen Anweisungen²²⁹ auf.

Auf der andern Seite existieren in sozialen Systemen auch stets Institutionen, die aufgrund ihres informellen Charakters, man spricht synonym hier auch von informellen Institutionen, nicht ohne weiteres greifbar und beobachtbar sind, wie es bei expliziten Institutionen üblicherweise der Fall ist.²³⁰ Sie werden implizite Institutionen genannt; diese zeichnen sich durch eine ganz oder teilweise emergente Entstehung und Ambiguität aus, die einer vollständigen Explizierung grundsätzlich entgegen stehen. Beispielfähig kann auf Gesellschaftsebene die Kultur angeführt werden, die trotz intensiver Bemühungen der Wissenschaft nicht

²²⁵ Vgl. Scott 2008 S.54ff.

²²⁶ Vgl. North 1990 S.65ff.

²²⁷ Vgl. Ackermann 2003 S.225; Barney 1997 S.13ff.; Koch 2007 S.283; March, Schulz & Zhou 2000 S.1.; North 1990 (S.67): „The institutional constraints are a complex of formal and informal constraints. They make up an interconnected web that in various combinations shapes choice sets in various contexts.“; North 1991 S.97: “Institutions are the humanly devised constraints that structure political, economic and social interaction. They consist of both informal constraints (sanctions, taboos, customs, traditions, and codes of conduct), and formal rules (constitutions, laws, property rights).”

²²⁸ Vgl. March, Schulz & Zhou 2000 S.1

²²⁹ Vgl. Kosiol 1976 S.28

²³⁰ Vgl. North 1990 S.36, S.83

vollständig explizierbar zu machen ist.²³¹ Analog kann auf der Organisationsebene die Unternehmenskultur mit größtenteils implizitem Charakter angeführt werden; so wird im 3-Ebenen Modell von Schein²³² argumentiert, dass nur die Elemente auf einer von drei Kulturebenen sichtbar und vollständig explizierbar sind, nämlich jene auf der obersten, der Symbol-Ebene. Gemeint sind hier Rituale und Symbole, die in einer Kultur einheitlich verwendet werden und leicht beobachtbar sind. Ihre Bedeutung erschließt sich aber erst, wenn die auf der zweiten Ebene liegenden Normen und Standards analysiert werden, die nicht ohne Weiteres erfassbar sind. Die ihnen zu Grunde liegende Logik wiederum folgt aus den Basisannahmen über Umwelt, Natur des Menschen, Zeit etc., die auf der untersten und implizitesten Ebene im Kulturmodell verortet werden. Diese so weit wie möglich zu erfassen ist daher eine der größten Herausforderungen der Unternehmenskulturforschung.²³³

Das Differenzierungskriterium dieser weitläufigen Kategorisierung von Institutionen ist also der Formalisierungsgrad. Eine eindeutige Zuordnung von Institutionen zu einer der beiden Kategorien ist jedoch eine herausfordernde Aufgabe angesichts der Tatsache, dass sich in der jüngeren Zeit untersuchte Institutionen eher auf einem Kontinuum zwischen formal kodifizierter Handlungsbeschränkungen und undurchsichtigen und schwer fassbaren Normen und Standards verorten lassen, und nicht nur an den jeweiligen Extrempunkten des Kontinuums anzutreffen sind.²³⁴ Ferner ist anzumerken, dass der Formalisierungsgrad noch nichts darüber aussagt, welche handlungsleitende Stärke eine Institution zu entfalten vermag.²³⁵ Entscheidend ist vielmehr, wie formale und informale Institutionen zusammenspielen und ein komplexes Werk an Beschränkungen schaffen, denen die Akteure eines sozialen Systems unterworfen sind.²³⁶ So ist keine der beiden Kategorien der anderen in genereller Art und Weise vorgeordnet: Informelle Institutionen können als Erweiterungen,

²³¹ Vgl. die Bemühung von Hofstede 1993 passim, Kultur mittels fünf Dimensionen greifbar zu machen; siehe auch das Drei-Ebenen Modell von Schein 1984 S.252, dass grundsätzliche Probleme einer Explizierung der gesamten Kultur, insbesondere der unteren Ebenen, aufzeigt.

²³² Vgl. Schein 1984 S.6ff.

²³³ Vgl. Hofstede 1993 passim; Schein 1984 S.252

²³⁴ Vgl. North 1990 S.67

²³⁵ Vgl. Hasse & Krücken 2009 S.237

²³⁶ Vgl. North 1990 S.83

Verfeinerungen oder Abänderungen formaler Regeln entstehen und durch Repetition institutionalisiert und stabilisiert werden; formale Institutionen hingegen werden üblicherweise intentional installiert, z.B. um unerwünschte informale Handlungsweisen zu beschränken oder zu ändern. Diese sehr allgemeinen Ausführungen lassen bereits erkennen, dass sich einzelne Institutionen nicht separat voneinander entwickeln, sondern ihre Entwicklung in co-evolutionärer Perspektive betrachtet werden sollte.²³⁷

In der Literatur wird bei diesen Betrachtungen oft die Frage vernachlässigt, ob es sich bei kognitiven Mustern wie mental maps oder Heuristiken, denen in jüngerer Forschung vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt wird²³⁸, und die stabile, zu erwartende Handlungen hervorbringen, selbst um Institutionen handelt. Dieser Frage widmet sich der folgende Abschnitt.

Unter kognitiven Mustern sollen mental maps²³⁹, Heuristiken²⁴⁰, Rationalisierungen²⁴¹, Basisannahmen²⁴² und andere Formen von Denkmustern verstanden werden, die den individuellen Entscheidungsprozess vorstrukturieren und individuellen Akteuren helfen, auch in komplexen und unsicheren Umwelten Entscheidungen zu treffen. Kognitive Muster haben meist impliziten Charakter, es kann aber auch zu einer expliziten Ausprägung kommen, wenn z.B. Heuristiken in codes of ethics oder Verfahrenshandbüchern in kodifizierter Form vorliegen. Da sie stets eine Beschränkung des Handlungsraums²⁴³ und oft eine Stabilisierung der Handlungen im Zeitablauf²⁴⁴ bewirken, stellt sich die Frage, ob kognitive Muster selbst als Institutionen klassifiziert werden können oder ob es sich hierbei um Konstrukte handelt, die als zu Grunde liegende kausale Fundierung Institutionen lediglich hervorbringen und nicht selbst als Institutionen betrachtet werden können.

²³⁷ Vgl. zur interdependenten Entwicklung von Institutionen Abschnitt C.II.3.b) dieser Arbeit; zur Theorie der co-evolutionären Entwicklung vgl. Kauffman 1993

²³⁸ Vgl. Gigerenzer, Todd & Group 1999 S.3ff.; Gigerenzer & Brighton 2009 S.107ff.; Goldstein & Gigerenzer 2002 S.75-78

²³⁹ Vgl. Lehner 1996 S.184-185

²⁴⁰ Vgl. Gigerenzer, Todd & Group 1999 S.3-5; Gigerenzer & Brighton 2009 S.107ff.

²⁴¹ Vgl. Koch 2007 S.287

²⁴² Vgl. Schein 1984 S.251f.

²⁴³ Vgl. Koch 2007 S.286-287

²⁴⁴ Vgl. Koch, Eisend & Petermann 2009 S.72

Beispielhaft soll dieser Frage anhand der Theorie X von McGregor²⁴⁵ sowie dem dieser Arbeit zu Grunde liegenden Institutionenverständnis von Höijer und North nachgegangen werden. Eine Basisannahme über die Natur des Menschen²⁴⁶ führt bei der Theorie X zu einer problematischen Beschränkung menschlichen Handelns auf Seiten der Führungskraft (exzessive Kontrolle der Mitarbeiter, aufgrund der Annahme, dass die Geführten faul sind und sich vor der Arbeit drücken wollen), die dann auf Seiten der Geführten ebenfalls eine Handlung bewirkt (zunehmende Frustration und Demotivation, zu strikte Kontrolle und Bevormundung führt bei den Geführten zu dem vom Vorgesetzten erwarteten Verhalten). Dies wiederum bestätigt die ursprüngliche Rationalisierung der Führungskraft und stabilisiert diese sukzessiv; es handelt sich um eine klassische *self-fulfilling prophecy*. Implizite Institutionen, hier in Form der Verhaltensbeschränkungen von Führungskraft und Geführten, beeinflussen sich wechselseitig, die Beziehungen zwischen ihnen sind dabei oft weder trivial noch oder kausal einseitig gerichtet. Kann aber das kognitive Muster selbst als Institution aufgefasst werden? Auf Grundlage der spezifischen Definition von Höijer²⁴⁷ erscheint dies fraglich. Selbst wenn man Denkmuster als Regeln (Kriterium 1) des Denkens begreifen würde, die von Akteuren (Kriterium 2) angewandt werden, stößt man auf das Problem, dass sich kognitive Muster schwer sanktionieren lassen (Kriterium 3) – lediglich die Handlungen treten auf einer sichtbaren Ebene in Erscheinung und sind einer Sanktionierung zugänglich; selbst wenn durch Sanktionierung eine Verhaltensänderung erzwungen werden kann, bleibt fraglich, ob diese tatsächlich auf eine Veränderung der kognitiven Muster oder zum Beispiel auf Opportunismus zurückzuführen ist, und die kognitiven Muster unverändert bleiben. Im Falle der Theorie X ist eine Sanktionierung der kognitiven Muster von innerhalb des Führer-Geführtem Systems nicht denkbar; möglich wäre lediglich eine Intervention von außerhalb dieses Systems, z.B. durch einen Coach oder den Vorgesetzten der nächsthöheren Hierarchiestufe, der die pathologischen Denkmuster erkennen und dann intervenieren könnte. Diese Art der Sanktion erfüllt jedoch nicht das Kriterium im Sinne von Höijer, da sie

²⁴⁵ Vgl. McGregor 1960 S.33ff.

²⁴⁶ Im Sinne von Schein 1984 S.251f.

²⁴⁷ Vgl. Höijer 2008 S.13f.

nicht geeignet ist, die Regel durchzusetzen und zu stabilisieren, sondern im Gegenteil darauf ausgerichtet ist, ein Abweichen von der Regel zu erreichen.

Eine Prüfung von kognitiven Mustern anhand des Institutionenverständnisses von North kommt zum selben Ergebnis, da North ganz gezielt auf Beschränkungen in der menschlichen Interaktion abstellt.²⁴⁸ Eine Beschränkung auf eine Teilmenge aller möglichen kognitiven Muster hat jedoch noch keinen Interaktionscharakter.

Es erscheint somit sinnvoll, Institutionen eindeutig nur auf der materiellen Handlungsebene zu verorten und auf diese Weise klar von kognitiven Mustern und mentalen Prozessen abzugrenzen. Diese sollten zur Erklärung von Institutionen und institutionellem Wandel herangezogen werden, stellen jedoch selbst keine Institutionen dar.

Nachdem ein einheitliches Verständnis von Institutionen und ihren verschiedenen Ausprägungen entwickelt wurde, wird im folgenden Abschnitt der Wandel von Institutionen behandelt und die in der Forschung vorherrschenden Perspektiven erläutert. Insbesondere wird auf den *Wettbewerb zwischen Institutionen* eingegangen, wie ihn die Pfadtheorie betrachtet.

II. Institutionelle Entwicklung

In den frühen Arbeiten der Pfadtheorie steht in erster Linie die Entwicklung technologischer Standards im Mittelpunkt der Betrachtungen.²⁴⁹ Schon beim oben vorgestellten QWERTY-Beispiel wird jedoch deutlich, dass in sozialen Systemen die Evolution von technologischen Standards und institutionalisierten menschlichen Verhaltensweisen nicht losgelöst voneinander betrachtet werden können. So wird der Selbstverstärkungsmechanismus im QWERTY-Fall auch unter Zuhilfenahme institutionalisierten Lernverhaltens erklärt: Eine Erhöhung des Verbreitungsgrades der QWERTY-Technologie führt zu einer Veränderung des Lernverhaltens der Typistinnen, und diese wirkt sich wiederum positiv auf den Verbreitungsgrad der Technologie aus, was die Lernverhaltensänderung der Typistinnen stabilisiert.²⁵⁰ Selbstverstärkungsmechanismen treiben hier sowohl

²⁴⁸ Vgl. North 1990 S.3

²⁴⁹ Vgl. David 1985 passim, Arthur 1989 passim

²⁵⁰ Vgl. David 1985 S.334

die Entwicklung technologischer Standards (Verbreitung der QWERTY Technologie) als auch die Institutionalisierung menschlichen Verhaltens (das Lernverhalten der Typistinnen) an. Bevor ein umfassendes Pfadmodell institutionellen Wandels entwickelt werden kann, ist es daher notwendig, die Unterschiede institutioneller Entwicklung und technologischer Entwicklung aufzuzeigen. Hierzu ist zunächst zu beleuchten, wie der Wandel von Institutionen von statten geht, inwiefern der Wettbewerb zwischen institutionellen Lösungen dem Wettbewerb technologischer Standards gleicht und wie sich die prozessualen Unterschiede in einer Theorie institutioneller Pfadabhängigkeit – insbesondere bei den selbstverstärkenden Effekten – niederschlagen.

1. Institutioneller Wandel

Die Hauptaufmerksamkeit in der zeitgenössischen Organisationsforschung gilt Institutionen²⁵¹, die als Regelsysteme das Handeln von Organisationsmitgliedern maßgeblich bestimmen und ihnen gleichzeitig enge Grenzen vorgeben²⁵²; der Wandel von Institutionen stellt so einen kritischen Faktor dar, der über Erfolg oder Misserfolg einer Organisation entscheidet.²⁵³

Bei der Institutionalismusforschung im Rahmen der Organisationstheorie wird der Schwerpunkt in der aktuellen Forschung daher auf die Untersuchung der Dynamik von Institutionen gelegt.²⁵⁴ Hierbei wird institutioneller Wandel häufig mit dem Entstehen von Institutionen im Prozess der sogenannten Institutionalisierung und der Auflösung von Institutionen, der sogenannten Deinstitutionalisierung, gleichgesetzt.²⁵⁵ Nach der prominenten Arbeit von Berger & Luckmann

²⁵¹ So zum Beispiel Scott 2001 (S.vii-viii): "I have also labored to provide an overview of (...) recent methodological developments and empirical research on institutional processes as they relate to organizations. It is no exaggeration to say that, beginning around 1990, there has been an explosion (...) in this area." oder auch Schreyögg 2008 (S.10): „Diese Einsicht (...) hat immer mehr den institutionellen Begriff zu dem (für Organisationen) gebräuchlichen gemacht.“; siehe auch Ackermann 2001 S.163ff.; Höjjer 2008 S.1; March 1994 S.76ff.; March, Schulz & Zhou 2000 S.8-9; Schiller-Merkens 2006 S.1; Schreyögg 2008 S.8ff.; Scott 2007 S.xi (Vorwort)

²⁵² Vgl. Barley & Tolbert 1997 S.96; North 1990 S.3; Schäcke 2006 S.46; Schiller-Merkens 2008 S.35; Schotter 1981 S.109; Scott 2001 S.48; Sjöstrand 1993 S.10; Türk 2004 S.924;

²⁵³ Vgl. Ackermann 2003 S.227; North 1990 S.3; Schreyögg 2008 S.403

²⁵⁴ Vgl. Schiller-Merkens 2008 (S.1): "Der Wandel von Institutionen (...) ist ein Phänomen, dem gegenwärtig in der organisationswissenschaftlichen Forschung eine hohe Aufmerksamkeit zuteil wird"; so auch Dacin, Goodstein & Scott 2002 in der Einleitung der Sonderausgabe des *Academy of Management Journal* zu diesem Thema; siehe auch zum Wandel formeller Institutionen March, Schulz & Zhou 2000 S.1ff.

²⁵⁵ Vgl. Schiller-Merkens 2008 S.73

kennzeichnet Institutionalisierung den Prozess, in dem subjektiv sinnhafte soziale Phänomene den Charakter objektiver Faktizität erlangen²⁵⁶; erst dann kann von einer Institution im Sinne der in dieser Arbeit verwendeten Definition von North²⁵⁷ und Höijer²⁵⁸ gesprochen werden. Deinstitutionalisierung hingegen bezieht sich auf den sozialen Prozess, in dem Institutionen die sie konstituierenden Eigenschaften²⁵⁹ verlieren oder sogar ganz von der Bildfläche verschwinden.²⁶⁰

Es stellt keine Schwierigkeit dar, über den Prozess der Institutionalisierung und/oder den der Deinstitutionalisierung allein ganze Bücher zu verfassen²⁶¹; eine intensive Beschäftigung hiermit dies würde jedoch den Fokus dieser Arbeit, der auf der Modellierung selbstverstärkender Effekte in hierarchischen Organisationen liegt, aus dem Blick geraten lassen. Es erscheint daher sinnvoll, es bezüglich dieser beiden wichtigen Phänomene bei dem Verweis auf die oben genannte einschlägige Literatur zu belassen, und für die folgenden Überlegungen die Entstehung im Rahmen von Institutionalisierungsprozessen nach Berger & Luckmann²⁶² und die Auflösung von Institutionen nach Scott²⁶³ als gegeben hinzunehmen. Dies ermöglicht die Perspektive vom Wettbewerb zwischen Institutionen, die darum wetteifern, sich durchzusetzen (d.h. institutionalisiert zu werden) und dabei andere Institutionen zu verdrängen (d.h. zu deren Deinstitutionalisierung beizutragen), so wie sie in weiten Teilen der institutionellen Pfadliteratur eingenommen wird.²⁶⁴ Im Folgenden wird der theoretische Fokus daher weiter auf den Wettbewerb zwischen Institutionen verengt.

²⁵⁶ Vgl. Berger & Luckmann 1969 S.20

²⁵⁷ Vgl. North 1990 S.3

²⁵⁸ Vgl. Höijer 2008 S.13

²⁵⁹ Siehe die konstituierenden Eigenschaften der spezifischen Definition einer Institution von Höijer 2008 S.13

²⁶⁰ Vgl. Scott 2001 S.182

²⁶¹ Vgl. Schiller-Merkens 2008 passim;

²⁶² Vgl. Berger & Luckmann 1969 S.20ff.

²⁶³ Vgl. Scott 2001 S.182ff.

²⁶⁴ Vgl. Ackermann 2003 S.228; Garud & Karnøe 2001 S.5; Pierson 2000b S.492; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.693f.

2. Der Wettbewerb zwischen Institutionen

In der jüngeren Literatur zum institutionellen Wandel spielt der Wettbewerb zwischen Institutionen eine bedeutende Rolle.²⁶⁵ So weist North darauf hin, dass die Ursache für Wohlstandsunterschiede zwischen den Volkswirtschaften in erster Linie auf miteinander im Wettbewerb stehende Institutionengefüge in den verschiedenen Ländern zurückzuführen ist.²⁶⁶ Aufgrund der Tatsache, dass die Evolution von Institutionen nicht der klassischen Marktlogik unterworfen sind, da sie nicht auf Märkten mit Preismechanismen im Wettbewerb zueinander stehen, scheint es nötig, den Wettbewerb von Institutionen zunächst konzeptionell zu erfassen. Einen ersten Eindruck, was unter dem „Wettbewerb von Institutionen“ verstanden werden könnte, vermittelt das oben bereits erwähnte Beispiel der Bildung von Verkehrsregeln: Zwei Regeln können miteinander im Wettbewerb um die Adoption durch Akteure stehen, zum Beispiel Rechts- gegen Linksverkehr. Aufgrund des fehlenden Preismechanismus ist es erforderlich, den Wert von miteinander im Wettbewerb stehenden Institutionen auf andere Art zu bestimmen und es sollte spezifiziert werden, wie institutioneller Wettbewerb sich von anderen Arten des Wettbewerbs unterscheidet.²⁶⁷

Versteht man Institutionen wie in dieser Arbeit als *Regeln menschlichen Verhaltens* im Sinne des Abschnittes C.I, so ist es möglich, den Wert einer Institution zu beziffern. So argumentiert Williamson, dass der wirtschaftliche Wert einer Institution daran gemessen werden kann, wie erfolgreich sie die zwei grundsätzlichen Herausforderungen von Transaktionsmärkten bewältigen kann:

1. Das Problem der Entscheidung unter unvollständiger Information, das durch die eingeschränkte Rationalität²⁶⁸ der Akteure begründet und durch das Vorliegen von Unsicherheit verschärft wird.

²⁶⁵ Vgl. Ackermann 2003 S.227f.; Bergh & Höijer 2008 passim; Hämläinen & Heiskala 2007 passim; March, Schulz & Zhou 2000 passim; North 1990 S.73-106; Pierson 2000a S.258; Sjöstrand 1993 passim

²⁶⁶ Vgl. North 1990 S.107ff.

²⁶⁷ Vgl. hierfür und für die nun folgende Argumentationskette Höijer 2008 S.13ff.

²⁶⁸ Eingeschränkte Rationalität impliziert, dass Akteure nicht allwissend sind. (Vgl. Simon 1955 S.99ff.) Selbst wenn sie theoretisch auf sämtliche zur Entscheidungsfindung notwendigen Informationen zugreifen könnten, verfügten sie über eine eingeschränkte Aufnahme- und Verarbeitungsfähigkeit von Informationen (vgl. North 1990 S.25; Koch, Eisend & Petermann 2009 S.71). Zusätzlich liegen über relevante Informationen oft keine sicheren Daten, sondern nur geschätzte Wahrscheinlichkeiten vor. Unterliegen die zu spezifizierenden Variablen gar einem

2. Das Problem von free-riding und Opportunismus²⁶⁹, das sich beim Vorliegen von unvollständigen Märkten mit wenigen Teilnehmern ebenfalls verschärft.²⁷⁰

Folgt man der Ausführungen von North, so koordiniert eine Institution die Handlungen von Akteuren und löst das Informationsproblem der Akteure dahingehend, als dass die Menge der von eingeschränkt rationalen Akteuren zu berücksichtigen Handlungsalternativen von vornherein begrenzt wird.²⁷¹ Der Wert einer Institution kann dann anhand ihrer Fähigkeit bestimmt werden, auf diese Weise die Interaktionskosten zwischen den Akteuren zu reduzieren. So kommt North zu dem Schluss:

„Under conditions of limited information and limited computational ability, constraints reduce the costs of human interaction as compared to a world of no institutions.“²⁷²

In Übereinstimmung mit dieser Äußerung von North konstatiert Höijer, dass Institutionen die ökonomische Funktion der Koordination der Handlungen verschiedener Akteure erfüllen können, um beiderseitige Vorteile zu ermöglichen.²⁷³ Institutionen können also daran gemessen werden, inwiefern sie zur Wohlfahrtsgenerierung beitragen und sie können anhand dieses Kriteriums

chaotischen (Vgl. Lorenz 1963) oder komplexen (Vgl. Kauffman 1993, 1995) Prozess, kann sogar die Berechnung von zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeiten eine fordernde Aufgabe sein, die im Zweifel von einem individuellen Akteur ohne die dafür notwendigen Messinstrumente, das Wissen darum und die Fähigkeit, dieses Wissen anzuwenden nicht geleistet werden kann.

²⁶⁹ Opportunismus ist immer dann möglich, wenn keine geeigneten Mechanismen vorhanden sind, die sicherstellen, dass jeder der an einer Transaktion beteiligten Akteure seinen Verpflichtungen auch gerecht wird. Stattdessen können Akteure häufig ihre eigene Position auf Kosten anderer Akteure am Markt verbessern, indem sie ihre Verpflichtungen vernachlässigen. Williamson argumentiert an dieser Stelle, dass der Spielraum für opportunistisches Verhalten besonders groß ist, wenn die Anzahl der Marktteilnehmer gering ist, da es nur in Abwesenheit von perfektem Wettbewerb möglich ist, das sich einstellende Marktgleichgewicht durch opportunistisches Verhalten zu beeinflussen. (Vgl. Williamson 1975 S.7-10)

²⁷⁰ Vgl. Williamson 1975 S.7-10

²⁷¹ Vgl. North 1990 S. 17, 22; „The computational limitations of the individual are determined by the capacity of the mind to process, organize, and utilize information...The consequent institutional framework, by structuring human interaction, limits the choice of actors.“ North 1990 S.25

²⁷² North 1990 S.36

²⁷³ Vgl. Höijer 2008 S.15; vgl. auch Knight & Sened 1998 S.1-14; Höijer verweist aber auf die in der Literatur ebenfalls vorhandene, von dieser Argumentation abweichende Sichtweise, nach der Institutionen auch Konsequenzen zu Gunsten einiger Akteure und auf Kosten anderer Akteure generieren können. Auch wenn diese Sichtweise von ihm nicht vollständig zurückgewiesen wird, verweist er darauf, dass sich diese Perspektive für die Analyse des institutionellen Wettbewerbs als wenig geeignet erweist. (Vgl. Höijer 2008 S.26)

genauso miteinander in den Wettbewerb treten, wie es in Kapitel 0 für miteinander im Wettbewerb befindliche Technologien gezeigt wurde.

Zusammenfassend kann also gesagt werden: Institutionen können grundsätzlich – wie technologische Standards – miteinander in Wettbewerb um die Adoption der Akteure des sozialen Systems stehen. Auch wenn die Argumentation selten so tiefgreifend ausgeführt wird, liegt dieses Grundverständnis der Funktion einer Institution auch bei den maßgeblichen Autoren der Pfadtheorie zu Grunde.²⁷⁴ Die Pfadtheorie interessiert sich dabei hauptsächlich für den Ablauf und die möglichen Ergebnisse des Prozesses institutionellen Wettbewerbs. Ausgehend von den Erkenntnissen, die bei der pfadabhängigen Evolution technologischer Standards gewonnen werden konnten²⁷⁵, gehen die Autoren davon aus, dass ein Wettbewerb zwischen Institutionen innerhalb eines sozialen Systems mit der Verdrängung der unterlegenen Institution enden kann. So geht Ackermann in seinen Überlegungen zur institutionellen Evolution davon aus, dass institutionelle Lösungen miteinander im Wettstreit stehen und sich gegenseitig verdrängen können.²⁷⁶ In seiner Analyse der Wandelfähigkeit politischer Institutionen argumentiert Pierson, dass sich bei politischen Entscheidungen noch stärker als bei ökonomischen Entscheidungen die stärkere institutionelle Lösung nach dem Wettstreit den politischen Markt dominiert: Eine Wiederwahl gelingt oder sie gelingt nicht, ein Putsch kann nur erfolgreich sein oder fehlschlagen, ein Gesetz kann nur ratifiziert werden oder scheitern; in der Politik ist nicht viel Bedarf für zweitbeste Lösungen: „...unlike in economic markets, (...) in politics finishing second may not count much.“²⁷⁷

Die Frage, die nun erwächst, ist, welche Mechanismen im institutionellen Wettbewerb wirken. Für pfadtheoretische Fragestellungen sind hierbei Selbstverstärkungsmechanismen von zentraler Bedeutung.²⁷⁸ Es ist aber offensichtlich, dass einige der klassischen Selbstverstärkungsmechanismen, die im Prozess der Entwicklung technologischer Standards identifiziert werden

²⁷⁴ Vgl. Ackermann 2003 S.227ff.; David 1994 S.205f.; Pierson 2000b S.475; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.699f.

²⁷⁵ Vgl. David 1985 S.335, Arthur 1989 S.119

²⁷⁶ Vgl. Ackermann 2003 S.227f.

²⁷⁷ Vgl. Pierson 2000a S.258

²⁷⁸ Vgl. Schreyögg & Sydow 2010 S.5

konnten²⁷⁹, nicht sinnvoll auf den Wettbewerb zwischen Institutionen übertragen werden können. So haben Institutionen zum Beispiel keine „Produktionsstückkosten“, die das Vorliegen klassischer Skalenerträge begründen könnten. Der folgende Abschnitt befasst sich daher mit einer differenzierten Betrachtung der Selbstverstärkungseffekte im institutionellen Wettbewerb und arbeitet die wichtigsten Mechanismen heraus.

3. Selbstverstärkungsmechanismen im institutionellen Wettbewerb

Sich selbst verstärkende Mechanismen bilden das Herzstück der Pfadtheorie.²⁸⁰ Unter der Vielzahl der in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur genannten Selbstverstärkungsmechanismen nehmen vier Mechanismen in der organisationalen Pfadabhängigkeitstheorie eine hervorgehobene Stellung ein, in dem Sinne, als dass sie die bei organisationalen Pfadprozessen wesentlichen selbstverstärkenden Wirkungsmechanismen umfassen: Koordinationseffekte, Komplementaritätseffekte, Lerneffekte und adaptive Erwartungen.²⁸¹ Diese sollen im Folgenden eingehend erläutert werden.

a) Koordinationseffekte

Koordinationseffekte beruhen auf dem Umstand, dass sich der Mehrwert einer Institution für Akteure eines sozialen Systems allein dadurch erhöhen kann, dass der Verbreitungsgrad der Institution ansteigt²⁸²; gemeint ist eine Steigerung des Anteils der Akteure, die die handlungsbeschränkende Wirkung der Institution für ihr eigenes Verhalten erwählen. Diese Argumentation ergibt sich direkt aus der dieser Arbeit zugrundeliegenden Definition einer Institution als handlungsbeschränkende Regel, die Unsicherheit und Transaktionskosten reduziert: Je mehr Akteure sich einer bestimmten Institution unterwerfen, umso besser kann dem einzelnen Akteur die Antizipation von Verhalten und Reaktion

²⁷⁹ Vgl. Abschnitt B.IV.2 dieser Arbeit.

²⁸⁰ Vgl. David 1985 S.335; Ackermann 2003 S.225; David 1994 S.217; Koch 2007 S.285; Pierson 2000a S.252-257; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S. 693

²⁸¹ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.698

²⁸² Vgl. Pierson 2000a S.254; Koordinationseffekte wirken somit im institutionellen Kontext vergleichbar zu direkten Netzeffekten im Diffusionsprozess technologischer Standards

der anderen Akteure im System gelingen.²⁸³ Der nutzenstiftende Beitrag der Institution, die in der Reduzierung von Unsicherheit und Transaktionskosten liegt, erhöht sich somit üblicherweise mit dem Verbreitungsgrad einer institutionellen Lösung. In diesem Koordinationseffekt liegt die selbstverstärkende Wirkung begründet. Die Argumentation mittels Koordinationseffekten wurde zuerst im Theorierahmen der Institutionenökonomik entwickelt²⁸⁴, kann jedoch ohne Schwierigkeiten im organisationalen Kontext Anwendung finden²⁸⁵.

Konkrete Koordinationseffekte betreffend verweisen Sydow et al.²⁸⁶ auf das sehr allgemeine, aber leicht eingängige Beispiel von North bzw. Ackermann zur Bildung von Verkehrsregeln; so kann mittels eines Gedankenexperiments schnell gezeigt werden, dass in einer zunächst chaotischen Welt ohne Verkehrsregeln sich entweder das „rechts Fahren“ oder das „links Fahren“ relativ schnell durchsetzen wird, sobald eine (und sei es eine noch so geringe) Mehrheit die eine oder andere Regel bevorzugt.²⁸⁷ Der Grund ist hierbei in der koordinativen Wirkung der Regel zu suchen, der für diejenigen, die die weiter verbreitete Regel befolgen, einen höheren Nutzen in Form einer geringeren Unfallwahrscheinlichkeit generiert.

In einen aktuellen Fall zeigt Tripsas in dem von ihr untersuchten Fall von Linco, das die durch den neuen CEO initiierten Impulse die Entstehung einer auf „digital photography“ fokussierten Unternehmensidentität bewirkte, die durch zunehmendes Einschwenken von Akteuren innerhalb (Marketing, F&E) wie außerhalb des Unternehmens (Verkauf von Linco-Produkten im Fotografie-Bereich, nicht länger im Computerzubehör-Bereich) auf die neue Identität nachhaltige selbstverstärkende Effekte auslöste, die zu einer Verfestigung der Identität führten.²⁸⁸ In einer anderen aktuellen Studie zeigt Koch einen komplexen Mechanismus selbstverstärkender Effekte, der zur Verfestigung von strategischen Entscheidungsmustern bei deutschen Qualitätszeitungen führt; hierbei stellt er auf die Sogwirkung von Handlungskoordinationen ab und konstatiert, dass die

²⁸³ Vgl. die Ausführungen über den funktionalistischen Institutionenbegriff in Abschnitt C.I.2 dieser Arbeit

²⁸⁴ Vgl. North 1990 S.23; Pierson 2000a S.254

²⁸⁵ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.699

²⁸⁶ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.699

²⁸⁷ Vgl. North 1990 S.23; Ackermann 2003 S.236-237

²⁸⁸ Vgl. Tripsas 2009 S.448-451

strategische Pfadabhängigkeit auf die im Zeitablauf immer stärker gekoppelten Zusammenhänge zwischen historisch entwickeltem Qualitätsjournalismus, Produktkonzept und der damit erreichten Leserschaft zurückzuführen ist.²⁸⁹

An dieser Stelle bietet sich auch eine interessante Verknüpfung von selbstverstärkenden Koordinationseffekten zur interkulturellen Managementforschung an. Stellt man die nutzenstiftende Wirkung von Institutionen betreffend vornehmlich auf die Reduktion von Unsicherheit ab, so bietet sich der Blick in die Kulturforschung von Hofstede an, der als eine von fünf Dimensionen kultureller Unterschiede „Ungewissheitsvermeidung“ nennt. Seiner Untersuchung in über 50 Länderabteilungen von IBM nach können Kulturen maßgeblich über die Einstellung ihrer Mitglieder zu Unsicherheit differenziert werden.²⁹⁰ So gibt es auf der einen Seite Kulturen mit geringer Ungewissheitsvermeidung, in denen Unsicherheit und die Folgen von Entscheidungen unter Unsicherheit sehr pragmatisch als unvermeidlich akzeptiert werden und der Umgang mit Unsicherheit als „rules of the game“ betrachtet werden (hierzu können nach der Studie von Hofstede²⁹¹ vornehmlich die westlich orientierten, englischsprachigen Länder gezählt werden). Auf der anderen Seite existieren Kulturen, in denen Unsicherheit mit großem Unbehagen begegnet wird und in denen viel Zeit und Ressourcen aufgewendet werden, Unsicherheiten und Risiken so weit wie möglich zu vermeiden bzw. zu kompensieren. Unsichere Situationen werden als unangenehm quälend wahrgenommen (typische Vertreter sind ostasiatische Länder wie Japan oder Südkorea).²⁹² Es ist also anzunehmen, dass in Kulturen mit hoher Ungewissheitsvermeidung Koordinationseffekte eine noch stärkere Wirkung haben, da die Reduktion von Unsicherheit in individuellen wie kollektiven Präferenzrahmen eine größere Rolle spielt, und ihr folgerichtig im individuellen Kalkül ein größerer Nutzen zugerechnet wird. Ist die Pfadtheorie an dieser Stelle korrekt, sollten Koordinationseffekte hier um so stärker wirken und man müsste in der Folge in diesen Kulturen auch dominanter Institutionen vorfinden, d.h. Verhaltensweisen, die sowohl in ihrem Verbreitungsgrad als auch

²⁸⁹ Vgl. Koch 2008 S. 289

²⁹⁰ Vgl. Hofstede 1993 S.132-133

²⁹¹ Vgl. Hofstede 1993 S. 134-136

²⁹² Vgl. Hofstede 1993 S. 134-136

in der Stabilität über die Zeit persistenter sind als ihre Äquivalente in Kulturen, die eine deutlich geringere Unsicherheitsvermeidung aufweisen. Hierfür lassen sich beispielsweise in der verbalen Kommunikation oder auch in ritualisierten Handlungsformen zahlreiche Belege für die stärker disziplinierende Wirkung von Koordinationseffekten in Kulturen finden, denen eine hohe Ungewissheitsvermeidung zugerechnet werden kann.²⁹³

b) Komplementaritätseffekte

Während die Argumentation bei Koordinationseffekten²⁹⁴ auf die Durchdringung eines sozialen Systems mit einer institutionellen Lösung abzielt, werden unter dem Begriff Komplementaritätseffekte²⁹⁵ nutzensteigernde Wirkungen betrachtet, die sich aus der Interdependenz mehrerer zeitgleich wirkender Institutionen ergeben. Diese Idee ist aus der Produktion entlehnt und schließt an die Idee der „economies of scope“ an, die auch als Synergieeffekte bezeichnet werden können. Diese benennen einen Zustand, in dem es kostengünstiger ist, zwei oder mehr Produkte oder Dienstleistungen gemeinsam zu produzieren, im Vergleich zur separaten Produktion.²⁹⁶ Wird diese Logik auf den institutionellen Kontext übertragen, so kann sich der Fall ergeben, dass sich einige Institutionen eines Institutionengefüges, das die gesamte Spannbreite institutioneller Formen von Routinen, Kompetenzen, Normen, Praktiken usw. beinhalten kann, gegenseitig derart ergänzen können, dass durch das gleichzeitige Auftreten ein zusätzlicher

²⁹³ Beispielhaft können hier die verbalen und nonverbalen institutionellen Regeln der Begrüßung genannt werden: sowohl in Japan als auch in Korea gibt es einen stark ausdifferenzierten Katalog von Sprachregelungen und Gesten, insb. die Tiefe der Verbeugung bei der Begrüßung, der in Abhängigkeit der relativen sozialen Stellung der Interaktionspartner genau die Anrede und Art der Geste regelt. Während in westlichen, insb. angelsächsischen Kulturkreisen, die verbale und nonverbale Form der Begrüßung oft vom Anlass (geschäftlich, privat, Trauerfeier, etc.) und auch von individuellen Kommunikationsformen abhängt, gilt in Japan und Süd-Korea der ausdifferenzierte Verhaltenskatalog in nahezu allen Situationen und wird von nahezu allen Mitgliedern der Kultur exakt angewendet. Abweichungen von der Norm, die in westlichen Kulturen Selbstbewusstsein und Stärke ausdrücken können, werden in Kulturen mit hoher Ungewissheitsvermeidung als extrem störend empfunden und vehement abgelehnt. Eine mögliche Erklärung dieser prägnanteren Form institutionalisierter Begrüßungsformen können Koordinationseffekte sein, die eine umso stärkere Wirkung entfalten, je höher der Nutzen der unsicherheitsreduzierenden Wirkung von Institutionen in der betreffenden Kultur eingeschätzt wird. (vgl. Coulmas 1981; Silverstein 1993 S.126-144)

²⁹⁴ Vgl. David 1994 S.213-215.

²⁹⁵ Aus dem lateinischen von „complementum“ (Komplettierung, Ergänzung, Vervollständigung)

²⁹⁶ Vgl. Panzar & Willig 1981 S.268ff.

Nutzen entsteht.²⁹⁷ In diesem Fall gilt dann für zwei Institutionen A und B eine Nutzenfunktion U

$$U(A + B) > U(A) + U(B)$$

d.h. die Institutionen A und B generieren bei gleichzeitigem Auftreten einen zusätzlichen Nutzen, der die Summe der einzeln erzeugten Nutzenwerte übersteigt.²⁹⁸

Komplementaritätseffekten fällt unter den organisatorischen Selbstverstärkungseffekten eine hervorgehobene Stellung zu, denn sie bilden einen zentralen Mechanismus im Prozess institutionellen Wandels²⁹⁹:

„The concept of complementarity has rapidly gained significance within institutionalist theory“³⁰⁰

Im Rahmen der Vorbereitung für die formale Modellierung folgt daher an späterer Stelle³⁰¹ eine detaillierte Auseinandersetzung mit der Logik von Komplementaritätseffekten und der Abgrenzung zu verwandten Konstrukten. Für einen Überblick über die Selbstverstärkungsmechanismen institutionellen Wandels sollen deshalb an dieser Stelle die bisherigen eher allgemeinen Ausführungen zu Komplementaritätseffekten genügen.

c) Lerneffekte

Wie oben im Abschnitt zur Pfadabhängigkeit technologischer Standards bereits diskutiert wurde³⁰² können Lerneffekte einen selbstverstärkenden Mechanismus darstellen. Lernen beeinflusst jedoch nicht nur die technische Forschung und Entwicklung, sondern wird auch in der institutionellen Literatur durchgehend als relevanter Faktor eingestuft, was den institutionellen und im Speziellen den

²⁹⁷ Vgl. Ackermann 2001 S.121

²⁹⁸ So auch Deeg 2007 S.611: „The core idea of complementarity is that the co-existence (within a given system) of two or more institutions mutually enhances the performance contribution of each individual institution – in essence, that the whole is more than the sum of its parts.“

²⁹⁹ Vgl. Ackermann 2003 S.239ff.; David 1994 S.213-215; North 1990 passim

³⁰⁰ Deeg 2007 S.611

³⁰¹ Vgl. Abschnitt C.IV.3

³⁰² Vgl. Abschnitt B.IV.2.c) dieser Arbeit; vgl. auch Arthur 1989 S. 126; Cowan 1990 S.541-551; David 1985 S.334;

organisatorischen Wandel betrifft.³⁰³ Dabei wird zunächst eine vergleichbare Logik bemüht; so führt Pierson aus:

„Knowledge gained in the operation of complex systems also leads to higher returns from continuing use.“³⁰⁴

Man beachte, dass in der Konzeption organisationalen Lernens von Argyris & Schön lediglich das single-loop learning betrachtet wird³⁰⁵. Es gibt jedoch grundsätzliche Unterschiede zwischen technologiebasierten und institutionsbezogenen Lerneffekten. Da es beim Prozess der Institutionalisierung üblicherweise keine Anbieter und Nachfrager von institutionellen Lösungen gibt, ist dieses Kriterium zur Unterscheidung von institutionellen Lerneffekten wenig geeignet – institutionelles Lernen kann vielmehr nur auf Verwender-Seite stattfinden. Zielführender ist hier eine allgemeinere Beschreibung des Prozesses der Generierung von Lerneffekten: Je öfter eine Handlung ausgeführt wird, desto effizienter kann sie üblicherweise ausgeführt werden. Es entstehen Fähigkeiten, die sich in einer schnelleren, verlässlicheren und mit weniger Fehlern behafteten Ausführung widerspiegeln; je mehr diese Fähigkeiten sich ausprägen, desto stärker sinken die Durchschnittskosten der jeweiligen Handlung. Die Wahrscheinlichkeit steigt, dass an der bisher praktizierten Handlung festgehalten wird, da eine neue Herangehensweise mit dem langwierigen und kostspieligen Aufbau neuer Fähigkeiten und zunächst sehr hohen Durchschnittskosten verbunden ist und daher zunehmend unattraktiver wird.³⁰⁶

Das Verhältnis zwischen Institution und institutionellem Lernen ist dabei ein selbstreferenzielles: „Rules in organizations can be seen both as products of learning and as carriers of knowledge“³⁰⁷ – andererseits bilden Institutionen den Rahmen, in dem weiteres Lernen (insb. beim single-loop learning i.S.v. Argyris³⁰⁸) stattfindet. Institutionen sind somit sowohl die Arena, in der gelernt

³⁰³ Vgl. Ackermann 2003 S.239ff.; David 1994 S.208; North 1990 S.73-82; Vgl. Pierson 2000a S.254; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.269; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.700

³⁰⁴ Vgl. Pierson 2000a S.254

³⁰⁵ Vgl. Argyris & Schön 1996 S.18ff.

³⁰⁶ Vgl. Argote 1999; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.700

³⁰⁷ March, Schulz & Zhou 2000 S.4

³⁰⁸ Argyris & Schön 1996 S.18ff.

wird und bestehen dabei gleichzeitig selbst aus den Ergebnissen vergangener Lernprozesse.

d) Adaptive Erwartungen

Adaptive Erwartungen werden quer durch die Pfadliteratur als wichtiger selbstverstärkender Mechanismus genannt.³⁰⁹ Wie bei Lerneffekten wird hier zunächst ähnlich zur Evolution technologischer Standards argumentiert, wenn die institutionelle Entwicklung im Mittelpunkt der Betrachtungen steht. Die individuellen Präferenzen der Akteure werden, im Gegensatz zu einer üblichen Annahme der neoklassischen Wirtschaftstheorie, nicht als fix angesehen, sondern können durch Erwartungen über die zukünftigen Handlungen der anderen Akteure maßgeblich beeinflusst werden. Für die Aufhebung der Annahme fixer Präferenzen argumentiert Pierson:

„If options that fail to win broad acceptance will have drawbacks later on, then individuals may feel a need to ‚pick the right horse‘. Although the dynamic here is related to coordination effects, it derives from the self-fulfilling character of expectations. Projections about future aggregate use patterns lead individuals to adapt their actions in ways that help make those expectations come true.“³¹⁰

Ein plastisches Beispiel für die selbstverstärkende Wirkung von adaptiven Erwartungen auf die Entwicklung von Institutionen in Organisationen stellt die informelle Diffusion von best practices dar: Die Mitglieder einer Organisation sind eher bereit, best practices zu adoptieren, wenn sie erwarten, dass andere dies auch tun werden und so am Ende des Diffusionsprozesses ihr Verhalten konform mit dem Verhalten der Mehrheit ist. Dieses Konformitätsstreben kann mit dem Bedürfnis nach Zugehörigkeit oder Legitimation für die eigenen Handlungen begründet werden.³¹¹

Nach diesen grundlegenden Ausführungen zum Stand der Institutionenforschung soll nun der Blick auf die Organisation gelenkt werden, die die Arena für die im Mittelpunkt dieser Arbeit stehenden Fragen darstellt.

³⁰⁹ Vgl. Arthur 1989 S.123; David 1994 S.209-210; Katz & Shapiro 1985 S.424ff.; Pierson 2000a S.254; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.700

³¹⁰ Pierson 2000a S.254

³¹¹ Vgl. Szulanski 1996 S.27ff.; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.700

III. Zum Verhältnis von Institution und Organisation

Bevor das Verhältnis von Institution und Organisation bestimmt werden kann, ist zunächst der Organisationsbegriff zu spezifizieren und es sind die wichtigsten Merkmale einer Organisation zu benennen. Erst im Anschluss daran kann sinnhaft über den Wandel von Institutionen im organisationalen Kontext gesprochen werden.

1. Bestimmung des Organisationsbegriffes

„Organisation“ und „Organisieren“ sind heutzutage Begriffe des täglichen Lebens, sie werden umgangssprachlich verwendet und oft wird dabei begrifflich nicht zwischen den inhaltlich grundsätzlich unterschiedlichen Bedeutungen differenziert, die wir der „Organisation“ zuschreiben. Dies wird an den Beispielen deutlich, dass man ein „Organisationstalent“ sein möchte, es im Beruflichen wie im Privaten immer häufiger auf „gute Organisation“ ankommt, man aber einer „Organisation“ auch als Mitglied angehören kann. Für den wissenschaftlichen Diskurs ist daher zunächst eine präzise Abgrenzung des Organisationsbegriffes von Nöten. Hierfür hat es sich als hilfreich erwiesen, grundsätzlich zwischen dem instrumentellen und dem institutionellen Organisationsverständnis zu differenzieren.³¹² Der expliziteste Ausdruck der Organisation findet sich in der formalen Organisationsstruktur, welche darauf folgend behandelt wird. So wird es möglich, abschließend Institutionen gegen Organisationen abzugrenzen.

a) Das instrumentelle Organisationsverständnis

Das instrumentelle Organisationsverständnis war in der Betriebswirtschaftslehre lange Zeit vorherrschend.³¹³ Im Mittelpunkt des Interesses stand hierbei die Bemühung, Regelungen zur effizienten Erledigung von Arbeitsabläufen in oftmals stark arbeitsteiligen Produktionsbetrieben abzufassen, die für alle Organisationsmitglieder verbindlich gelten. Die Organisation wird hier als planbares Gerüst von Regeln verstanden, die exakt auf die Ziele der Organisation hin ausgerichtet werden und innerhalb derer sich die Organisationsmitglieder bewegen. Aufgrund dieser Funktion von Organisation wird häufig auch synonym

³¹² Vgl. hierzu und zu den folgenden Ausführungen in den Abschnitten Schreyögg 2008 S.4ff.

³¹³ Vgl. Fayol 1918 S.21, Fayol 1929 S.18ff.; Gutenberg 1983 S.1-10, S.235-236; Kosiol 1976 S.20ff.; Nordsieck 1934; Schnutenhaus 1951 S.20ff.

vom *funktionalen* Organisationsbegriff gesprochen. Ausgehend von den Prämissen des klassischen Managementprozesses³¹⁴ ist der Zielerreichung am besten gedient, wenn keine Störungen in Form von Regelabweichungen auftreten. Innerhalb des instrumentellen Organisationsverständnisses unterscheidet Schreyögg³¹⁵ zwischen dem funktionalen Organisationsbegriff nach Fayol³¹⁶ und Gutenberg³¹⁷ und dem konfigurativen Organisationsbegriff nach Kosiol³¹⁸.

Beim funktionalen Organisationsbegriff wird Organisation als Managementfunktion aufgefasst, die im klassischen Managementprozess lediglich eine der Planung nachgelagerte Ausführungsfunktion darstellt; die Organisation bildet hierbei die Menge aller Regeln, die der Planumsetzung dienen; sie ist so auszugestalten, dass die im Plan festgelegten Ziele erreicht werden.³¹⁹ Die Menge der Regeln umfasst nach Gutenberg sowohl generelle als auch fallweise Regelungen.³²⁰

In Bezug auf den Umfang des formalen Regelwerkes, das unter dem Organisationsbegriff subsumiert wird, hebt sich der konfigurative Organisationsbegriff deutlich vom funktionalen ab. Der Schwerpunkt der Betrachtung wird hier auf die Dauerhaftigkeit der erlassenen Regelungen gelegt³²¹, so dass in der Perspektive des konfigurativen Ansatzes Satzungen, Unternehmensverfassungen³²², die Aufbauorganisation³²³, Programme und

³¹⁴ Ausgegangen wird hierbei von Determinismus und der problemlosen Umsetzung perfekter Pläne vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.44-55

³¹⁵ Vgl. Schreyögg 2008 S.5-8

³¹⁶ Vgl. Fayol 1918 S.21, Fayol 1929 S.18ff.

³¹⁷ Vgl. Gutenberg 1983 S.235ff.

³¹⁸ Vgl. Kosiol 1976 S.20ff.

³¹⁹ Vgl. Koontz & O'Donnell 1955; so auch Gutenberg 1983: „Während Planung den Entwurf einer Ordnung bedeutet, nach der sich der gesamtbetriebliche Prozess vollziehen soll, stellt Organisation den Vollzug, die Realisierung dieser Ordnung dar“ (S.235)

³²⁰ Vgl. Gutenberg 1983 S.239f.

³²¹ Vgl. Kosiol 1976 S.20ff

³²² Viele Organisationen, seien es politische Parteien, Vereine, NGO's oder private Unternehmen, haben eine Satzung bzw. Unternehmensverfassung. Hier ist meist die Zielsetzung der Organisation in der allgemeinsten Formulierung zu finden, zum Beispiel der Schutz der Umwelt beim Verein Greenpeace oder die gewinnbringende Produktion und der Verlauf von Automobilen bei der Daimler AG. Satzungen legen häufig auch die Rechte der Organe (Vorsitz, Vorstand, etc.) fest oder spezifizieren gesetzliche Rahmenbedingungen hierzu. Damit werden in Satzungen oder Unternehmensverfassungen in vielen Fällen die Grundsteine für die Organisationsstruktur gelegt.

³²³ Vgl. Laux & Liermann 2005 S.181

Pläne³²⁴ sowie formelle Routinen³²⁵ in den Mittelpunkt der Betrachtung rücken. Der Organisationsbegriff wird also enger gefasst und es herrscht ein Verständnis von Organisation vor, das stärker auf Stabilität und Konsistenz ausgerichtet ist. Durch diesen Ausschluss der fallweisen Regelungen wird die Organisation den laufenden Dispositionen vorgeordnet; „sie schafft den Rahmen, innerhalb dessen dann die dispositiven Anordnungen getroffen werden können.“³²⁶

In der Praxis ist jedoch zu beobachten, dass die im Rahmen der Organisationsstruktur festgelegten Regeln von Organisationsmitgliedern nicht selten missachtet werden; dies kann verschiedene Gründe haben. Auf Grund der dynamischen Umwelt können feste Regelungen ihren ursprünglichen Sinn verlieren, für die Organisation sogar schädlich oder unerfüllbar werden. In diesem Fall wird das Abweichen von den Regeln als *brauchbare Illegalität* bezeichnet und kann für die Organisation sogar vorteilhaft sein.³²⁷ Der instrumentelle Organisationsbegriff sieht sich deshalb der Kritik ausgesetzt, dass er ausschließlich auf die formellen Regeln eines sozialen Systems fokussiert und dadurch relevante Teile des Ordnung-schaffenden Rahmens zwangsweise ausgeblendet werden. Eine Erweiterung der Perspektive über die formale Ordnung hinaus auf das soziale System Organisation wird unter dem Begriff des institutionellen Organisationsbegriffs vollzogen.

b) Das institutionelle Organisationsverständnis

Im institutionellen Organisationsverständnis wird die Menge der formellen Regeln, auf die beim instrumentellen Organisationsbegriff fokussiert wird, um die Menge der informellen, ungeplanten und spontan entstehenden Regeln in Organisationen ergänzt. Diese können jedoch nur durch ein vorheriges, von den formellen Regeln deviantes Verhalten entstehen, das im Zeitablauf

³²⁴ Die Organisationsstruktur wird durch Programme und Pläne ergänzt, die das häufigste zusätzliche Integrationsinstrument darstellen (vgl. Schreyögg 2008 S.139ff.). Es handelt sich hierbei um verbindliche Verfahrensrichtlinien, die ohne Bindung an eine bestimmte Instanz im Sinne einer generellen Regelung Abstimmungsprobleme vorwegnehmen sollen. (vgl. March & Simon 1958 S.159)

³²⁵ Im Sinne des instrumentellen Ansatzes erscheinen formale Routinen als strukturgebende Konstrukte einer intendierten Ordnung und als Resultat eines rationalen Planungsprozesses. (vgl. Schreyögg & Werder 2004 S.967)

³²⁶ Schreyögg 2008 S.7; vergleiche auch die Definition von Organisation von Kosiol 1976 „als endgültig gedachte Strukturierung, die in der Regel auf längere Zeit gelten soll“ (S.28)

³²⁷ Vgl. Küpper & Felsch 2000 S.201; Ortmann 2003 S.254ff.

institutionalisiert wird.³²⁸ Diese Entwicklung ist umso überraschender, als dass jedes von den formellen Regeln abweichende Verhalten im instrumentellen Sinne zunächst als unerwünschte Störung der geplanten Ordnung identifiziert wurde, die es grundsätzlich zu vermeiden gilt.³²⁹ Diese Sichtweise konnte sich jedoch nicht lange gegen die Stimmen behaupten, die darauf drängten, die Funktionalität von informellen Regeln zuzulassen und den Organisationsbegriff um diese Elemente zu erweitern. So konnte in der Gruppen-³³⁰, Motivations-³³¹ und Führungsforschung³³² gezeigt werden, dass informelle Regeln in vielerlei Hinsicht handlungsleitende Wirkung entfalten, auch wenn sie mit formellen organisationalen Regeln im Widerspruch stehen. Informelle Regeln können sich als Normen und Standards³³³, Teil der Unternehmenskultur³³⁴ oder in Form von Praktiken³³⁵ bilden. Auf diese Weise entfalten sie ein so beachtliches handlungsleitendes Potenzial, dass das „Ordnungsmonopol“³³⁶ des formellen Organisationsbegriffes nachhaltig erschüttert wurde; ferner wird darauf hingewiesen, dass informellen Regeln innerhalb von Organisationen eine Kompensationsfunktion zukommen kann und sie so maßgeblich zum Organisationserfolg beitragen können.³³⁷ So werden in der neueren Organisationstheorie informelle Regeln und die Wechselbeziehungen zwischen formaler und informaler Organisation „vorbehaltlos in ihrem funktionalen Beitrag zum Gelingen des Leistungsprozesses“³³⁸ untersucht. Dieser Perspektivwechsel

³²⁸ Vgl. Berger & Luckmann 1969 S.20; Schiller-Merkens 2008 S.32ff.

³²⁹ Vgl. Gutenberg 1983 S.292

³³⁰ Vgl. Feldman 1984 S.47ff.

³³¹ Hier kann z.B. das Erwartungs-Valenz-Modell von Vroom angeführt werden, indem präzise aufgezeigt wird wie Individualziele, auch bei Unverträglichkeit mit den formellen Regeln der Organisation, die Entscheidung über Handlungsalternativen der Individuen beeinflussen. Vgl. Vroom 1964 S.15 sowie die ausführliche Erläuterung des Modells im Rahmen der theoretischen Basis des formalen Simulationsmodells ins Abschnitt E.II.2 dieser Arbeit.

³³² Hier kann exemplarisch das Einflussprozessmodell von Steinmann & Schreyögg angeführt werden, indem der Adressat eines Einflussversuches sich u.a. aufgrund seiner individuellen Ziele und Wertvorstellungen dazu entschließen kann, sich dem Einflussversuch zu widersetzen, selbst wenn dieser durch formale Legitimität abgesichert ist. Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.686ff.

³³³ Vgl. Scott 2008 S.54

³³⁴ Vgl. Schein 1984 S.3ff.

³³⁵ Vgl. Geiger & Koch 2008 S.693ff.

³³⁶ Luhmann 1995 S.30

³³⁷ Vgl. Luhmann 1995 S.284f.

³³⁸ Schreyögg 2008 S.13

impliziert in der Konsequenz ein alternatives Wissenschaftsprogramm für die Betriebswirtschaftslehre.³³⁹

2. Formale Organisationsstruktur und Hierarchie

Auch wenn nach diesen Ausführungen die Relevanz informeller Strukturen in Organisationen nicht länger bestritten werden kann, stellt die formale Organisationsstruktur weiter einen wesentlichen Teil der Organisation dar.³⁴⁰ Als Teil der Organisationsstruktur wird in der Aufbauorganisation die Gestaltung einer langfristig angelegten Struktur beschrieben, hierbei werden Rechte und Pflichten der Entscheidungsträger in Form von Abteilungen und Stellen spezifiziert und logisch miteinander verknüpft.³⁴¹ Üblicherweise wird die Aufbauorganisation als Organigramm dargestellt³⁴², in dem Über- und Unterordnungsverhältnisse gleichzeitig die Weisungsbefugnis und damit Machtverteilung zwischen den Stellen und Abteilungen festlegen³⁴³. Wird die Organisationsstruktur auf diese Weise mit einem Autoritätssystem verbunden, um die Befolgung der durch sie festgelegten Verhaltensweisen sicher zu stellen³⁴⁴, spricht man von Hierarchie. Hierarchie ist hierbei stets als mehrgliedriger Instanzenzug zu verstehen. Sie erfüllt die Koordinations- und Integrationsfunktionen zwischen den einzelnen Stellen und Abteilungen und leistet eine Komplexitätsreduktion der Umwelt, in dem sie Informationen filtert und verdichtet.³⁴⁵

Die klassische und in den meisten Organisationen vorherrschende Hierarchieform ist das Einliniensystem nach Fayol³⁴⁶, das jeden Mitarbeiter genau einer Instanz unterstellt und so die Einheit der Auftragserteilung sicherstellt. Hierarchische Organisationen, die nach dem Einliniensystem organisiert sind, haben die Gestalt einer Pyramide und lassen sich bezüglich der Kontrollspanne (Anzahl der einer

³³⁹ Vgl. Schreyögg 2008 S.14 sowie die Ausführung zur Differenzierung von formellen und informellen Institutionen und die Auswirkungen der konzeptionellen Trennung für die Organisationstheorie in Abschnitt C.I.3 dieser Arbeit.

³⁴⁰ Vgl. Schreyögg 2008 S.9

³⁴¹ Vgl. Laux & Liermann 2005 S.181

³⁴² Vgl. Kosiol 1976 S.32

³⁴³ Vgl. Grieger 1997 S.66ff.

³⁴⁴ Vgl. Schreyögg 2008 S.16f.

³⁴⁵ Vgl. Schreyögg 2008 S.70, S.131

³⁴⁶ Vgl. Fayol 1929 S.21

Instanz nachgelagerten Stellen) und der Anzahl der Hierarchie-Ebenen differenzieren³⁴⁷, wobei sich die Anzahl der Hierarchieebene stets als redundante Information aus der homogenen Kontrollspanne und der Anzahl der Stellen der Organisation (entspricht der Anzahl der Organisationsmitglieder) ermitteln lässt. Dieser Zusammenhang kann wie folgt formalisiert werden:

$$N = \sum_{i=1}^L K^{i-1}$$

wobei N die Anzahl der Organisationsmitglieder, K die homogene Kontrollspanne und L die Anzahl der Hierarchieebenen darstellt.

Die Wahl der optimalen Kontrollspanne ist ein klassisches Thema der Organisationsforschung³⁴⁸ und bearbeitet das Spannungsfeld zwischen kleinen Kontrollspannen, die den Vorgesetzten eine gute Übersicht und Kontrolle ermöglichen, aber zwangsweise zu mehr Hierarchieebenen und damit verbundenen zu langwierigen Kommunikations- und Entscheidungsprozessen führen, und großen Kontrollspannen, die weniger Kontrolle des einzelnen Mitarbeiters zulassen, damit aber auch höhere Selbstverantwortung und Eigeninitiative ermöglichen und die Kommunikationswege durch die geringere Anzahl an Hierarchieebenen kurz halten.

Um die Konfiguration einer Hierarchie in Abhängigkeit von der Hierarchietiefe beschreiben zu können, wird in der Literatur der Konfigurationsindex³⁴⁹ verwendet:

$$S = \sqrt[L]{N}$$

wobei N die Anzahl der Organisationsmitglieder, L die homogene Kontrollspanne und S der Konfigurationsindex ist. Man beachte, dass die Kontrollspanne nicht in die Formel eingeht, bei fester Anzahl der Organisationsmitglieder aber implizit durch den Zusammenhang $N = \sum_{i=1}^L K^{i-1}$ mitgedacht wird.

³⁴⁷ Vgl. die Ausführungen zum Konfigurationsindex in Schreyögg 2008 S.134

³⁴⁸ Vgl. Blau & Scott 1962 S.167f.

³⁴⁹ Vgl. Blau & Scott 1962 S.167; Schreyögg 2008 S.134

Wie man sinnvoll zwischen den typischen Regeln, die eine Organisation ausmachen, und Institutionen im Allgemeinen differenzieren kann, soll Inhalt der folgenden Abgrenzung sein.

3. Zur Abgrenzung von Institution und Organisation

Für das Ziel der Arbeit, die Untersuchung des Konkurrenzverhältnisses von Hierarchie und selbstverstärkenden Effekten, ist eine Modellierung institutionellen Wandels in hierarchischen Organisationen notwendig. Dies impliziert bereits, dass eine Gleichsetzung von Institution und Organisation, wie sie teilweise vorgetragen wird³⁵⁰, im Rahmen dieser Arbeit nicht zweckmäßig sein kann. Die im vorherigen Abschnitt dargebotene konzeptionelle Trennung von instrumentellem und institutionellem Organisationsbegriff ermöglicht hier die notwendige Differenzierung. Es wird deutlich, dass es letztendlich von der eingenommenen Perspektive abhängt, ob man ein Regelsystem als Organisation oder Institution begreifen kann³⁵¹ und auch, ob eine Differenzierung zwischen Institution und Organisation überhaupt sinnvoll geleistet werden kann. Dies soll im Folgenden näher ausgeführt werden.

Legt man den Institutionenbegriff dieser Arbeit zu Grunde, der Institutionen als Regelsysteme beschreibt, scheint eine Abgrenzung zum institutionellen Organisationsbegriff, der ja mit formellen und informellen Regeln die Gesamtheit der Regeln einer Organisation einschließt, auf den ersten Blick wenig zielführend. Doch lassen sich Organisationen Eigenschaften zuweisen, die für Institutionen im Allgemeinen nicht gelten und anhand derer Regelsysteme einer Organisation von beliebigen anderen Regelsystemen differenziert werden können. So gehört „zu den wesentlichen Definitionsmerkmalen einer Organisation (...), dass sie eine Organisationsstruktur hat.“³⁵² Das heißt Organisationen können als Regelsysteme betrachtet werden, in denen bestimmte Regeln zwingend vorhanden sein müssen,

³⁵⁰ Umgangssprachlich werden Organisationen, Unternehmen, NGO's und sogar ganze Staaten als Institutionen bezeichnet. Jedoch auch in der wissenschaftlichen Literatur sind die Begriffe Institution und Organisation nicht klar abgegrenzt, werden teilweise synonym oder im Falle einer Differenzierung häufig nicht trennscharf verwendet. (Vgl. Schäcke 2006 S.46; Streek & Thelen 2005 S.12; Zucker 1983 S.1f.) Ein Grund hierfür kann darin ausgemacht werden, dass sich die beiden wissenschaftlichen Konstrukte stark überdecken und eine Abgrenzung daher keinesfalls eine triviale Aufgabe darstellt.

³⁵¹ Vgl. Schäcke 2006 S.65

³⁵² Vgl. Schreyögg 2008 S.9

wie zum Beispiel diejenigen, die Organisationsstruktur und Weisungsbefugnis regeln, und damit die Gestalt der Hierarchie festlegen, die in einer Organisation gilt. Während in den meisten sozialen Systemen die Durchsetzung der Regeln durch eine vom Kollektiv der Akteure ausgeübte soziale Kontrolle³⁵³ geschieht, zeichnen sich Organisationen dadurch aus, dass ihre formellen Regeln stets eng mit Autorität verbunden sind³⁵⁴. Auch wenn man den institutionellen Organisationsbegriff zu Grunde legt, lässt sich so zwischen Organisation und Institution differenzieren, da die Organisation dann ein Spezialfall eines Regelsystems darstellt, mit den genannten Eigenschaften.

Seit dem Aufkommen der Systemtheorie³⁵⁵ spielt außerdem der Bezug zwischen Organisation und Umwelt in der Organisationstheorie eine bedeutende Rolle und die Perspektive hat sich zu einem führenden Paradigma in der modernen Organisationsforschung entwickelt.³⁵⁶ Innerhalb der Organisationstheorie war es lange Zeit ein kontroverses Thema, sinnvolle Kriterien für eine Grenzziehung zwischen Organisation und Umwelt festzulegen.³⁵⁷ Aus Gründen der Fokussierung auf die Fragestellung der vorliegenden Arbeit muss darauf verzichtet werden, diesen interessanten Diskurs an dieser Stelle detailliert zu verfolgen. Stattdessen sei auf die ausführliche Diskussion bei Schreyögg³⁵⁸ verwiesen; er kommt zu dem Ergebnis, dass der systemtheoretische Ansatz zu selbstreferenziellen Systemen³⁵⁹ zweckmäßig ist, um die Grenzziehung zwischen Organisation und Umwelt zu erfassen. Demnach sind die Grenzen einer Organisation nicht extern zu bestimmen, Organisationen schaffen sich vielmehr ihre eigenen Grenzen, indem sie eine Differenz zwischen sich und der relevanten Umwelt bilden. Diese Differenz lässt sich als Komplexitätsgefälle beschreiben, wobei das Innenverhältnis ein weniger komplexes ist als das Außenverhältnis.

³⁵³ Vgl. die Ausführungen von Berger & Luckmann 1969, die argumentieren, dass soziale Kontrolle nicht auf den direkten Einsatz von Kontroll- und Zwangsmaßnahmen beschränkt ist.

³⁵⁴ Vgl. Schreyögg 2008 S.16

³⁵⁵ Vgl. Habermas & Luhmann 1971; Talcott 2003; Luhmann 1995 S.25ff.

³⁵⁶ Vgl. Marr 1993 S.47ff.; Schreyögg 2008 S.253

³⁵⁷ Vgl. hierzu die Zusammenfassung der verschiedenen Abgrenzungsversuche bei Schreyögg 2008 S.253ff., der den empirisch-physischen Ansatz in Analogie zur Biologie (Stefanic-Allmayer 1950), den Versuch, die organisatorischen Grenzen an Personen festzumachen (Schreyögg 2008 S.254) sowie den Ansatz, dass die Grenzen der Organisation dort liegen, wo ihr Einfluss auf das Verhalten endet (Pfeffer & Salancik 1978 S.29ff.) beschreibt.

³⁵⁸ Vgl. Schreyögg 2008 S.253-257

³⁵⁹ Vgl. Luhmann 1984 S.31

Organisationen reduzieren Komplexität und machen so Handlungen und Handlungsmuster erwartbar – wo dies geschieht, kann als „innerhalb“ der Organisation aufgefasst werden. Schreyögg konstatiert, dass der Nutzen der Organisationsbildung somit die Reduktion, und nicht die Abbildung, der Umweltkomplexität ist.³⁶⁰ Es sei an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen, dass für die im Rahmen der Arbeit zu leistende Modellierung eine stark vereinfachte Grenzziehung zwischen Organisation und Umwelt vorgenommen wird.³⁶¹

Mit Hilfe der hier vorgetragenen Abgrenzung von Organisationen und Institutionen im Allgemeinen ist es nun möglich, die pfadabhängige Entwicklung einzelner organisatorischer Regeln, die Institutionen im Sinne der hier geltenden Definition sind, *innerhalb* einer Organisation zu betrachten.

IV. Institutionelle Pfadabhängigkeit in Organisationen

1. Modellierung institutioneller Pfadabhängigkeit

Wie im ersten Teil dieses Kapitels (Abschnitte C.I bis C.III) dargestellt wurde, lässt sich die Argumentation einer pfadabhängigen Entwicklung technologischer Standards grundsätzlich auf die Entwicklung von Institutionen in Organisationen übertragen. Bisher ungelöst ist jedoch das Problem, dass die Auswirkungen der organisationalen Hierarchie nicht berücksichtigt werden. Es existieren bereits verschiedene formale Modelle, die die Logik der Pfadabhängigkeit auf den allgemeinen institutionellen Kontext übertragen, ohne dass hierbei das Konkurrenzverhältnis von organisationaler Hierarchie und selbstverstärkenden Effekte adressiert wurde. So entwickelten Katz & Shapiro ein elaboriertes, aber deterministisches agentenbasiertes Modell zur Untersuchung von Konsumentenverhalten unter dem Einfluss von Netzexternalitäten und Erwartungen und es gelang ihnen mithilfe deduktiver Beweisführung, einige interessante Voraussagen über pfadabhängige Prozesse zu treffen³⁶²; Sterman & Wittenberg untersuchen mittels eines stochastischen Simulationsmodells die

³⁶⁰ Vgl. Schreyögg 2008 S.256

³⁶¹ Vgl. Abschnitt E.II.2 dieser Arbeit, in der die formale Modellierung der hierarchischen Organisation an den Stellen und den hierarchischen Beziehungen zwischen den Stellen festgemacht wird (vgl. Vgl. Grieger 1997 S.66ff.; Laux & Liermann 2005 S.181; Laux & Liermann 2005 S.181; Schreyögg 2008 S.16f.)

³⁶² Vgl. Katz & Shapiro 1985 passim

Diffusion von wissenschaftlichen Paradigmen³⁶³; mindestens so bekannt geworden ist die Arbeit von Mahoney, der in einem regelbasierten Modell reaktiver Sequenzen mittels theoretischer Deduktion pfadabhängige Prozesse in sozialen Systemen untersucht³⁶⁴. Keine dieser Forschungsarbeiten befasst sich jedoch spezifisch mit der der Modellierung *organisationaler* Pfadabhängigkeit.

Wenden wir uns daher dem jüngsten pfadtheoretischen Modell zu, das den Besonderheiten organisatorischen Wandels gerecht wird, und insbesondere auf die vier relevanten organisatorischen Selbstverstärkungsmechanismen abstellt, die in Abschnitt C.II.3 intensiv diskutiert wurden. Es kann so den Anspruch erheben, die „blackbox“³⁶⁵ organisationaler Pfadabhängigkeit zu öffnen und die in Organisationen vorliegenden Pfadtreiber und Mechanismen in ein einheitliches Modell zu überführen.

2. Modellierung von Pfadabhängigkeit in Organisationen: Das Berliner Modell

a) Konzeption und Reichweite des Modells

Es wird nun mit dem Berliner Modell³⁶⁶ abschließend ein zeitgenössisches Modell organisationaler Pfadabhängigkeit vorgestellt. Der Pfadprozess wird dabei in grundsätzlich verschiedene Phasen eingeteilt, die jeweils unterschiedlichen Wirkungsmechanismen unterworfen sind. Hierbei werden die bisher postulierten Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse unter organisationalen Gesichtspunkten erneut geprüft und den Anforderungen des neuen Kontexts entsprechend in eine logische Abfolge gebracht. Die vorgestellten Kernkonzepte der Pfadtheorie³⁶⁷ werden im zeitlichen Ablauf des Modellprozesses verortet und einzelnen Entwicklungsphasen zugeordnet. Dies ist notwendig, da einige der für Pfadprozesse typischen Eigenschaften nicht während des gesamten Prozessverlaufes realisiert werden: So gilt im frühen Stadium des Prozesses

³⁶³ Vgl. Stermann & Wittenberg 1999 passim

³⁶⁴ Vgl. Mahoney 2000 passim

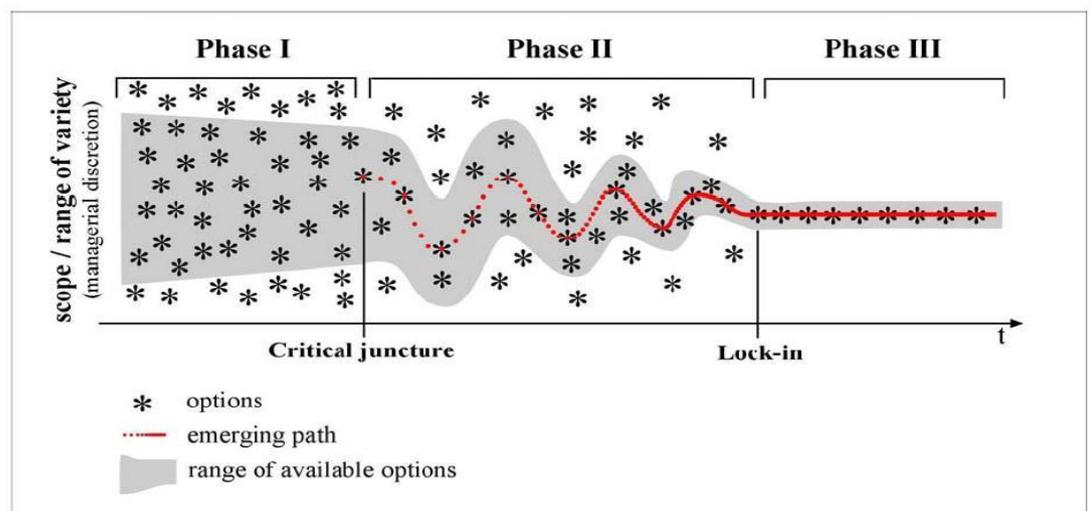
³⁶⁵ Vgl. die Formulierung des Titels von Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.689

³⁶⁶ Eine frühe Variante des Berliner Modells findet sich bei Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S. 263ff., die aktuelle, elaboriertere Version, die hier im Folgenden ohne weitere durchgehende Verweise vorgestellt wird, findet sich bei Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691ff.

³⁶⁷ Insb. Historizität, Nonergodizität, Inflexibilität, potentielle Ineffizienz und selbstverstärkende Effekte (vgl. hierzu auch Abschnitt B.III und B.IV.2 dieser Arbeit).

zweifelsohne Ergebnisoffenheit in Form von Nonergodizität und Nicht-Vorhersagbarkeit – von Inflexibilität und der mit ihr kausal verbundenen potentiellen Ineffizienz kann jedoch in der frühen Phase der Pfadkonstitution nicht die Rede sein. Andersherum gilt in der Endphase des Pfadprozesses, wenn eine Lösung sich endgültig durchgesetzt hat, Quasi-Determinismus und somit kann der Prozess zu diesem Zeitpunkt nicht länger als nonergodisch oder nichtvorhersagbar charakterisiert werden. Dafür nehmen bei zeitlichem Fortschritt des Pfadprozesses üblicherweise die Eigenschaften Inflexibilität und potentielle Ineffizienz einen immer größeren Raum ein, bis sie sich im lock-in mit ihrer vollen Kraft entfalten. Es scheint also sinnvoll zu sein, den Prozess in verschiedene Phase einzuteilen, in denen jeweils bestimmte Eigenschaften den Prozess bestimmen. Das Ergebnis dieser Überlegungen ist ein allgemein gültiges Drei-Phasen-Modell pfadabhängiger Prozesse in Organisationen, das unabhängig von der Natur des im Einzelfall vorliegenden Selbstverstärkungsmechanismus und den Spezifika eines konkreten organisationalen Kontexts Gültigkeit beansprucht. Der Prozessverlauf des 3-Phasen-Modells ist in Abbildung 7 graphisch dargestellt; die drei Phasen, die sie bestimmenden Regime und die diesen Regimen inhärenten Wirkungsmechanismen sollen im Folgenden eingehend erläutert werden.

Abbildung 7: Berliner 3-Phasen-Modell organisationaler Pfadabhängigkeit



Quelle: Sydow et al. (2009) S.692

b) Preformation Phase (Phase 1)

In der Vorphase des Pfadprozesses herrscht ein relativ unbeschränkter Handlungsspielraum, insbesondere existiert eine Vielzahl von Entscheidungsalternativen, aus denen gewählt werden kann. Bereits die Vorphase des organisationalen Pfadprozesses wird in der jüngsten Literatur als grundsätzlich historisch konzipiert, im Gegensatz zu den Darstellungen der technologieorientierten Pfadtheorie, in der die Anfangssituation meist als unbeschränkt angenommen wird.³⁶⁸ So wird der Tatsache Rechnung getragen, dass auch ohne das Wirken von selbstverstärkenden Effekten Entscheidungen in Organisationen immer durch die in der Organisation bereits bestehenden institutionellen Regeln beschränkt sind. Dies wird durch den breiten, den Handlungsspielraum bereits in der ersten Phase einschränkenden, grau schattierten Korridor in Abbildung 7 dargestellt; Optionen außerhalb des Korridors sind für die Organisation aufgrund ihrer historischen Vorprägung, z.B. durch Imprinting³⁶⁹, nicht verfügbar oder werden als nicht verfügbar wahrgenommen. Die Vorstellung eines unbeschränkten, ahistorischen Möglichkeitsraumes, wie sie in der Theorie der rationalen Wahl suggeriert wird³⁷⁰, muss für Entscheidungen in Organisationen daher grundsätzlich abgelehnt werden.

Die Wahrnehmung und Wahl von Handlungsoptionen in dieser Phase kann von small events bestimmt werden. Dies ist per Definitionem der Fall, wenn die Vorhersage ihrer konkreten Realisation ex ante von innerhalb des Systems nicht

³⁶⁸ Vgl. hierzu die in der Pfadtheorie technologischer Standards ahistorische Konzipierung der frühen Verlaufsphase und die relativierende Kritik der Autoren hierzu in Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.266. Die Autoren weisen insbesondere auch darauf hin, dass die Annahme von Ahistorizität zu Beginn des Prozesses deshalb problematisch ist, da das Historizitätsprinzip einen allgemeinen Gültigkeitsanspruch hat, so ist jede Entscheidungssituation von vergangenen Geschehnissen beeinflusst, der Entscheidungsspielraum stets durch die bisherige Entwicklung eingeschränkt: „Einen unbedingten Möglichkeitsraum kann es somit nach Voraussetzung nicht geben.“ (Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.266) Diese Kritik hält in der aktuellen Version des Modells Einzug, hier wird bereits in der Vorphase das history-matters Argument zugelassen (vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.692). Als Folgeüberlegung werfen die Autoren die Frage auf, „ob die historischen Vorprägungen (...) auch ohne increasing returns zur einer Art Pfadbildung führen können“ (Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.266), diese Überlegungen werden jedoch mit der jüngsten Veröffentlichung zur Pfadtheorie fallen gelassen, in der Selbstverstärkungseffekte als notwendiges konstituierendes Element von Pfadprozessen charakterisiert werden. (Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.693-694)

³⁶⁹ Vgl. Koch 2007 S.286

³⁷⁰ Vgl. die Arbeiten der Vertreter der Theorie der rationalen Wahl, zum Beispiel Weber 1951 S.146ff.; Axelrod 1987 passim

möglich ist. Ob oder inwieweit sich small events in dieser Phase auf die spätere Pfadkonstitution auswirken, bleibt in dem Modell zunächst unbestimmt: Small events können selbstverstärkende Effekte auslösen – ob jedoch ein spezifischer small event eine solche positive Feedback-Spirale in Gang setzt, kann zum Zeitpunkt seines Auftretens nicht bestimmt werden, auch dies ergibt sich aus der Natur des small event³⁷¹. Eine Aufdeckung der kausalen Beziehung ist, wenn die Komplexität des sozialen Systems dies überhaupt zulässt, wiederum nur in der ex post Betrachtung möglich. Werden zum ersten Mal nachhaltige, selbstverstärkende Effekte ausgelöst, so wird der Zeitpunkt in Anlehnung an Collier & Collier³⁷² als *critical juncture* bezeichnet. Ein critical juncture beendet die Phase I und leitet mit Phase II die sogenannte Pfadformierungsphase ein.

c) Formation Phase (Phase II)

In der Pfadformierungsphase bestimmen vornehmlich die selbstverstärkenden Effekte den Prozessverlauf. Durch die Existenz selbstverstärkender Effekte besteht nun plötzlich eine extreme Sensitivität auf Anfangsbedingungen³⁷³, d.h. auch kleinste Ereignisse zu Beginn dieser Phase können dem Prozess eine grundsätzlich andere Richtung geben, in dem Sinne, als dass die Menge der möglichen multiplen Gleichgewichte³⁷⁴ des Prozesses verändert werden kann. Der critical juncture markiert insofern eine Bifurkation, als dass er den Zeitpunkt markiert, ab dem sich das Systemverhalten und die das Systemverhalten hervorbringenden Mechanismen grundsätzlich verändern. Die Sensitivität auf Anfangsbedingungen hat auch zur Folge, dass dem Historizitätsprinzip, das

³⁷¹ Vgl. die Definition von small events nach Arthur 1989 im Abschnitt B.IV.1 dieser Arbeit postuliert die Nichtvorhersagbarkeit von small events. Wenn ein Ereignis nicht vorhergesagt werden kann, und auch der weitere Prozess von Ereignissen dieser Art beeinflusst wird, kann logisch geschlossen werden, dass eine eindeutige Ableitung von kausalen Wirkungsketten, die auf einen small event folgen, nicht möglich sein kann.

³⁷² Vgl. Collier & Collier 1991 S.27

³⁷³ Bezug genommen wird hierbei auf das chaostheoretische Konzept der „sensitivity on initial conditions“, das auf Lorenz 1963 S.131ff. zurückgeht: Zwei seiner Wetter-Simulationen lieferten auf mittlere Sicht völlig unterschiedliche Ergebnisse, obwohl die Anfangsbedingungen bei beiden eigentlich gleich sein sollten. Lorenz erkannte auf der Suche nach dem Fehler, dass der Unterschied im einen Fall durch ein Abrunden der vierten Nachkommastelle eines wenig relevanten Parameters zu Beginn der Simulation zu Stande kam (Lorenz hatte ihn abgerundet, um Rechenzeit zu sparen), während in der anderen Simulation mit allen Nachkommastellen dieses Parameters gerechnet wurde. Als Grund hierfür erkannte Lorenz schließlich nicht-lineare, selbstverstärkende Effekte, welche die minimalen Abweichungen in den Anfangsbedingungen im Zeitablauf zu einer dermaßen kritischen Größe anwachsen ließen, dass die Ergebnisse grundsätzlich von ihnen abhingen.

³⁷⁴ Vgl. die Ausführungen zu Nonergodizität in Abschnitt B.III.3

weiterhin gilt, nun eine viel größere Bedeutung zukommt: Durch die selbstverstärkenden Effekte wird der Handlungsspielraum der Akteure im Zeitablauf mehr und mehr eingeschränkt und ein Abweichen vom sich im Zeitablauf verfestigenden Verhaltensmuster wird zunehmend schwieriger. Das history-matters Argument wird somit relevanter und entfaltet nun seine volle Wirkung. Die zweite zentrale Eigenschaft pfadabhängiger Prozesse wird an dieser Stelle sichtbar: die im Zeitablauf zunehmende Inflexibilität. Auf diese Weise bildet sich ein Pfad aus. Dennoch herrscht in dieser Phase noch immer Nicht-Vorhersagbarkeit in Form von Nonergodizität, d.h. ob und wenn ja welche Lösung sich im System durchsetzt kann noch nicht mit Sicherheit gesagt werden.

Im Bezug auf die Wirkungsweise der small events liegt das Hauptaugenmerk auf dem critical juncture; hier tritt ein small event auf, der erstmalig nachhaltige selbstverstärkende Effekte auslöst und unter Umständen zu einem Pfad führen kann. Betrachtet man das Modell vor dem Hintergrund des bisher erarbeiteten Konzepts von small events aber im Detail, so müssen small events wenigstens während der gesamten Phase II auftreten können, da Kontingenz in dieser Phase sonst nicht möglich wäre: Nur das ständige Auftreten von small events mit unvorhersehbaren Folgen macht es unmöglich, vor dem lock-in zu bestimmen, ob die selbstverstärkenden Effekte der Phase II in den lock-in führen oder nicht. So wäre es im letzteren Falle beispielsweise denkbar, dass während der Pfadausbildung in Phase II durch einen small event der Selbstverstärkungsmechanismus gebrochen wird und die increasing returns für die fokale Lösung abbrechen – oder aber für eine alternative institutionelle Lösung viel stärkere selbstverstärkende Effekte ausgelöst werden, so dass der Handlungsspielraum sich zunächst wieder verbreitert und der bisher konstituierte Pfad sich (eventuell zugunsten eines anderen sich verengenden Pfades) wieder auflöst. Es ist wichtig an dieser Stelle festzuhalten, dass small events nicht nur selbstverstärkende Effekte auslösen, sondern vielmehr den gesamten Pfadkonstitutionsprozess der Phase II begleiten und beeinflussen können.

Führen die selbstverstärkenden Effekte zur Durchsetzung einer Lösung, die im Folgenden das Systemverhalten deterministisch bestimmt, spricht man vom lock-

in, der dritten Phase, in der nahezu jedweder Handlungsspielraum verloren gegangen ist.

d) Lock-in-Phase (Phase III)

Der Phasenübergang von der Formationsphase zur lock-in-Phase markiert den zweiten kritischen Entwicklungspunkt im organisationalen Pfadprozess. Eine institutionelle Lösung hat sich soweit verfestigt, dass ihre Replikation und ihr Fortbestand in der Organisation quasi-deterministischen Charakter annehmen. An dieser Stelle sollte jedoch auf einen wesentlichen Unterschied zur Pfadtheorie technologischer Standards hingewiesen werden: Beim Wettbewerb technologischer Standards kann sich der lock-in durch die nahezu vollständige Verdrängung des alternativen Standards manifestieren, was zur weitgehenden Einstellung der Verwendung des unterlegenen Standards führen kann, wie am Fall der konkurrierenden Videoformate VHS vs. Betamax illustriert werden kann.³⁷⁵ Nach der Durchsetzung von VHS war für den Verbraucher in Videotheken nur noch das VHS-Format verfügbar, andere Formate wurden nicht angeboten und so war der Verbraucher in seiner Entscheidung absolut determiniert. Er wurde gezwungen, das VHS-Format zu verwenden, wollte er sich Videofilme ausleihen. Bei der Durchsetzung institutioneller Lösungen muss das Verständnis des lock-in an dieser Stelle jedoch angepasst werden, da eine unreflektierte Übernahme des radikalen Verständnisses aus der Marktperspektive aus verschiedenen Gründen nicht sinnvoll erscheint.

Zunächst einmal ist eine institutionelle Lösung nicht in der Form wohldefiniert wie ein technologischer Standard, sie lässt vielmehr immer in Auslegung und Umsetzung einen Spielraum zu, und sei dieser wie im Falle eines lock-in auch sehr gering. Ein Vergleich soll diesen Unterschied deutlich machen: Eine Videokassette hat das VHS-Format oder sie hat dieses Format nicht, es gibt diese Eigenschaft betreffend nur genau zwei Ausprägungen. Betrachtet man hingegen den institutionellen lock-in beispielhaft anhand der Analyse strategischer Pfade im deutschen Qualitätsjournalismus³⁷⁶, wird dieser Unterschied offensichtlich: Koch identifiziert bei den untersuchten großen überregionalen deutschen

³⁷⁵ Vgl. Cusumano, Mylonadis & Rosenbloom 1992 S.51ff.; Liebowitz & Margolis 1995 S.208f.

³⁷⁶ Vgl. Koch 2007 S.283-291

Qualitätszeitungen eine extreme Einengung des strategischen Handlungsspielraums, bedingt durch das vorherrschende Selbstverständnis „was täglich produzierter Qualitätsjournalismus zu sein hat“³⁷⁷ und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen für die Gestaltung einer Tageszeitung in Aufbau, Form, Inhalt und Periodizität. Es wird konstatiert, dass keine der untersuchten Zeitungen diesen strategischen Pfad verlassen kann, obwohl er seit 2001 mit rückläufigen Umsätzen und sinkenden Gewinnen einhergeht. Obwohl kleinere Anpassungen vorgenommen werden, wie z.B. die Einführung des Tabloid-Formates bei der „Frankfurter Rundschau“ oder die Führung der Matrixorganisation bei der „Welt“, scheint es den Unternehmen nicht möglich, den Pfad von sich aus zu verlassen.³⁷⁸ Das Beispiel zeigt, dass in der institutionellen Betrachtung vom lock-in eines Pfades gesprochen wird, auch wenn in sehr begrenztem Sinne noch Handlungsspielraum besteht, dieser Handlungsspielraum jedoch nicht geeignet ist, ein angemessenes Gegengewicht zu den selbstverstärkenden Mechanismen zu bilden, die die Organisation auf dem Pfad gefangen halten.

Diese empirischen Beispiele verdeutlichen, dass im organisationalen Kontext die lock-in-Phase nicht mit absolutem Determinismus gleichgesetzt werden kann. Es besteht vielmehr auch im lock-in noch ein sehr begrenzter Handlungsspielraum, jedoch nur *im Rahmen* der eingelockten institutionellen Lösung, d.h. z.B. wie die Lösung in konkreten Situationen angewandt wird. Der Handlungsspielraum besteht also nicht mehr in der Wahl der Lösung, sondern in der inhaltlichen Ausgestaltung der gelockten Lösung. Dies soll in Abbildung 7 durch den grauen Korridor in Phase III dargestellt werden.

Es wird in der Pfadliteratur darauf hingewiesen, dass der lock-in nicht für alle Zeit Bestand haben muss, insbesondere ist eine emergente *Pfadauflösung*³⁷⁹ oder auch eine intentionale *Pfadbrechung*³⁸⁰ denkbar. Letztere kann jedoch, nach der hier vorgestellten Konzeption des lock-in, nur von außerhalb des Systems initiiert werden, da die Unmöglichkeit, einen Pfad von innerhalb des pfadabhängigen

³⁷⁷ Koch 2007 S.290

³⁷⁸ Vgl. Koch 2007 S.289f.

³⁷⁹ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.274

³⁸⁰ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.278ff.

Systems zu brechen, eine konstituierende Eigenschaft des lock-in darstellt.³⁸¹ Eine emergente Pfadauflösung ist hingegen denkbar, wenn die selbstverstärkenden Effekte zum Beispiel durch einen exogenen Einfluss abbrechen, oder durch noch stärkere selbstverstärkende Effekte für eine alternative Lösung abgelöst werden.³⁸² Auf die Möglichkeiten der intendierten *Pfadkreation*³⁸³ wird im Rahmen eines Exkurses Im Anhang dieser Arbeit separat eingegangen und es werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit der bisherigen Forschung zu Pfadauflösung, Pfadbruch und Pfadkreation verknüpft.³⁸⁴

e) Reichweite des Modells

Das Berliner Modell erhebt nun Anspruch auf die Abbildung von organisationalen Pfadprozessen, unabhängig von Kontext und dem (bzw. den im Falle von mehreren gleichzeitig wirkenden) konkreten Selbstverstärkungsmechanismus bzw. Selbstverstärkungsmechanismen. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass die vier in Abschnitt C.II.3 dargestellten Mechanismen die für die organisationale Pfadabhängigkeit wesentlichen Wirkungszusammenhänge abzubilden vermögen.

In Bezug auf die Kontextfaktoren wird vermutet, dass ein höherer Grad an Komplexität, Unsicherheit und Ambiguität der Umwelt einen verstärkenden Einfluss auf den Pfadprozess hat.³⁸⁵ So argumentierte zuerst Pierson, der die Pfadtheorie auf formale politische Institutionen anwendet, dass es sich hier um ein „far, far murkier environment“³⁸⁶ handele und aufgrund von – im Vergleich zu Märkten - schwächer ausgeprägten Korrektivkräften die Pfadabhängigkeit hier ein noch schwerwiegenderes Problem darstellen dürfte. In ihrer experimentellen Studie zur Wirkung von Komplexität auf die Pfadabhängigkeit individueller Entscheidungsheuristiken kommen Koch, Eisend & Petermann zu dem Ergebnis, dass die Gefahr eines ineffizienten lock-in mit steigender Komplexität der Umwelt zunimmt.³⁸⁷ Dennoch liefern die Überlegungen Piersons und die eben zitierte experimentelle Studie nur erste Anhaltspunkte zum Einfluss relevanter

³⁸¹ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.278

³⁸² Vgl. Burgelman 1994 S.24ff.

³⁸³ Vgl. Garud & Karnøe 2001 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.282ff.

³⁸⁴ Vgl. Abschnitt I.I.2 dieser Arbeit

³⁸⁵ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.701

³⁸⁶ Pierson 2000a S.260

³⁸⁷ Vgl. Koch, Eisend & Petermann 2009 S.437f.

Kontextfaktoren auf den Pfadprozess. Weitere Studien sind nötig, um die Art und Stärke des Einflusses von Kontextfaktoren zu verstehen und diese in die Theorie der Pfadabhängigkeit einordnen zu können. In jedem Fall sollte aber klar zwischen selbstverstärkenden Effekten im Sinne des Abschnittes C.II.3, die organisationale Pfadprozesse auslösen können, und den sie im Sinne einer moderierenden Variablen³⁸⁸ beeinflussenden Kontextfaktoren differenziert werden.³⁸⁹

Das Berliner Modell beansprucht Gültigkeit für eine Vielzahl relevanter Selbstverstärkungsmechanismen und Prozesse in Organisationen. Es kann jedoch die in dieser Arbeit zentrale Frage nicht beantworten, ob selbstverstärkende Effekte sich gegen Hierarchie in Organisationen durchsetzen können – oder ob durch die hierarchische Entscheidungscentralisierung die pfadbildende Wirkung selbstverstärkender Effekte aufgehoben werden kann. Für diese Kernfrage der vorliegenden Arbeit ist nun eine formale Modellierung des organisationalen Pfadprozesses nötig, das heißt insbesondere, dass ein konkreter Selbstverstärkungsmechanismus ausgewählt und mathematisch präzise gefasst werden muss. Die Auswahl wird im Folgenden begründet und die dafür nötigen formalen Spezifikationen werden vorgenommen.

3. Zur Komplementarität von Institutionen in Organisationen

Komplementaritätseffekte stellen einen Schlüsselmechanismus im Prozess institutionellen Wandels dar und sind daher prädestiniert für die im Rahmen dieser Arbeit zu leistende formale Modellierung selbstverstärkender Prozesse.³⁹⁰ Der Mechanismus wird hierfür zunächst ergänzend zu den allgemeinen Ausführungen in Abschnitt C.II.3.b) eingehender erläutert und seine Wirkungsweise in Organisationen konkretisiert. Das konzeptionelle Argument der institutionellen Komplementarität wird geschärft, bevor der Mechanismus gegen verwandte Konstrukte abgegrenzt werden kann.

³⁸⁸ Vgl. den empirischen Nachweis der moderierenden Wirkung der Variablen Komplexität bei Koch, Eisend & Petermann 2009 S.77

³⁸⁹ Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.701

³⁹⁰ Vgl. Ackermann 2003 S.239ff.; David 1994 S.213-215; Deeg 2007 S.611; North 1990 passim;

a) *Konzeptionelles Argument*

Das konzeptionelle Argument der Komplementarität von Institutionen im organisationalen Kontext soll nun auf der Grundlage der Arbeiten von David³⁹¹, North³⁹² und Ackermann³⁹³ zusammengefasst werden. Den Ausgangspunkt der Überlegungen bildet hierbei der Umstand, dass in Organisationen ständig neue Abstimmungsprobleme auftauchen, die einer Lösung bedürfen. Dies kann zum Beispiel durch Veränderungen in der Umwelt geschehen, so argumentieren March et al. regelbezogen:

„Changes in the external environment affect rules by creating problems and offering exemplars of possible rules.“³⁹⁴

Um neuartige Probleme effizient und sowohl für Akteure inner- wie außerhalb der Organisation erwartbar bearbeiten zu können, ist häufig eine institutionelle Lösung erforderlich; sie stellt eine grundsätzliche Verhaltensregel dar, erleichtert Kommunikation und Zusammenarbeit innerhalb der Organisation und kann so die Transaktionskosten erheblich senken.³⁹⁵ Betrachten wir nun den abstrakten Prozess der Findung einer solchen institutionellen Lösung genauer.

Bei der Wahl der institutionellen Lösung für ein neuartiges Abstimmungsproblem werden grundsätzlich solche Lösungen bevorzugt, die mit dem in der Organisation bereits vorhandenen Regelwerk – oder allgemeiner, mit dem vorhandenen Institutionengefüge – gut in Einklang zu bringen sind, das heißt, dass sie „gut zusammen passen“³⁹⁶. Man spricht in diesem Zusammenhang dann vom *fit* zwischen Institutionen bzw. vom *misfit* zwischen Institutionen, wenn diese nicht gut zusammenpassen. Das Argument an dieser Stelle lautet, dass die Wahl einer mit den bestehenden Institutionen schwerer verträglichen Lösung zu hohen Kosten in der Abstimmungen und Konfliktbewältigung führen würde; je höher der *misfit*, desto höher die damit verbundenen *misfit*-Kosten der Integration und Aufrechterhaltung der neuen Lösung innerhalb des vorhandenen

³⁹¹ Vgl. David 1994 S.213-215

³⁹² Vgl. North 1990 passim

³⁹³ Vgl. Ackermann 2003 S.239-242

³⁹⁴ March, Schulz & Zhou 2000 S.2

³⁹⁵ Vgl. Abschnitt C.I.2 dieser Arbeit zur funktionalistischen Perspektive der Institution und die dort genannte Literatur

³⁹⁶ Vgl. David 1994 S.213: „Some solutions, however, fit together with others more logically...“

Institutionengefüges.³⁹⁷ Positiv formuliert hat ein Kandidat für eine institutionelle Lösung bessere Aussichten adoptiert zu werden, wenn er mit den schon vorhandenen Institutionen komplementär in dem Sinn ist, dass die Adoption einer Institution durch deren Interdependenz mit anderen Institutionen attraktiver wird.³⁹⁸ An dieser Stelle sei noch einmal auf die Analogie zum Konzept der „economies of scope“ verwiesen, die für Produktionstechnologien einen vergleichbaren Zusammenhang beschreiben.³⁹⁹

Durch die Priorisierung von Lösungen, die gut zu den bereits etablierten Institutionen passen, wird dem Set von Institutionen, die untereinander einen hohen fit aufweisen, mit hoher Wahrscheinlichkeit eine weitere Institution hinzugefügt, die zu den Institutionen des Sets ebenfalls einen hohen fit aufweist. Man spricht dann von einem „institutionellen cluster“⁴⁰⁰, das sich mit jeder hinzukommenden Institution, die einen hohen fit aufweist, weiter verdichtet. In der Folge steigen bei zukünftigen neuen Problemen, die eine neuartige institutionelle Lösung erfordern, die misfit-Kosten für Lösungen weiter an, die nicht mit dem institutionellen cluster in Übereinstimmung stehen. Dies führt zu einem Anstieg der Wahrscheinlichkeit, dass auch zukünftige Lösungen in Übereinstimmung mit dem cluster gewählt werden und sich diese in der Folge weiter verdichtet.⁴⁰¹ An dieser Stelle schließt sich der positive Feedback-Zirkel institutioneller Komplementarität⁴⁰², dessen Kernlogik in Abbildung 8 zusammenfassend dargestellt wird.

³⁹⁷ Vgl. David 1994 S.213

³⁹⁸ Vgl. Ackermann 2003 S.240

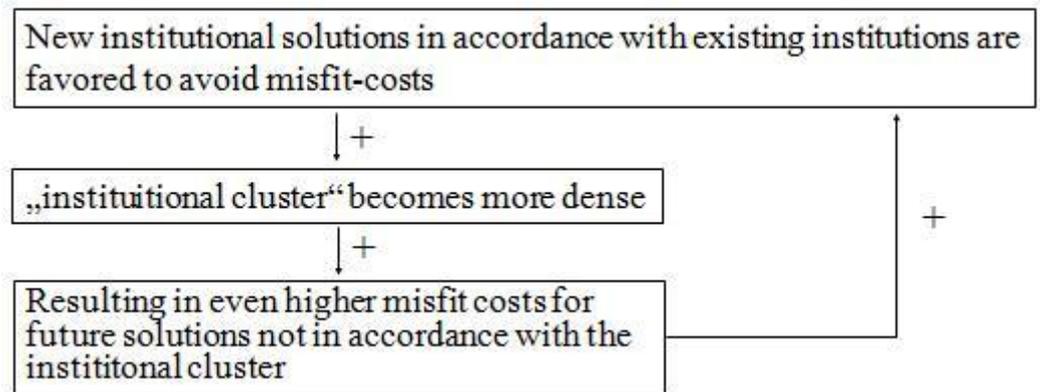
³⁹⁹ Vgl. Haasis 2008 S.93

⁴⁰⁰ David 1994 S.214

⁴⁰¹ So argumentieren zum Beispiel March, Schulz & Zhou 2000 für formelle Regeln in Organisationen: „The density of written rules affects both their mutual autonomy and the possibility of new rules.“ (S.2)

⁴⁰² Vgl. David 1994 S.214

Abbildung 8: Konzeptionelles Argument institutioneller Komplementarität



Quelle: Petermann, Klaußner, & Senf (2010) S.7

Diese Form der selbstverstärkenden Effekte kann durch den oben detailliert erläuterten Prozess organisationaler Pfadabhängigkeit dazu führen, dass einzelne Institutionen als Teil eines sich selbstverstärkenden clusters über die Zeit bestehen bleiben, selbst wenn ihre ursprüngliche nutzenstiftende Wirkung längst entfallen ist; das Ergebnis des Prozesses kann somit als stets potentiell ineffizient betrachtet werden.⁴⁰³ Die Frage ist nun: Gilt dieses konzeptionelle Argument nur innerhalb des Rahmens der Marktlogik oder wirkt dieser Mechanismus auch in hierarchischen Organisationen, in denen Verhaltensregeln maßgeblich von der Organisationsstruktur beeinflusst werden können? Das konzeptionelle Argument institutioneller Komplementarität und die Frage nach seiner Gültigkeit in hierarchischen Organisationen soll anhand eines kurzen Beispiels illustriert werden; dies geschieht in Anlehnung an ein Beispiel von David, das um den Aspekt der organisationalen Hierarchie ergänzt wird.⁴⁰⁴

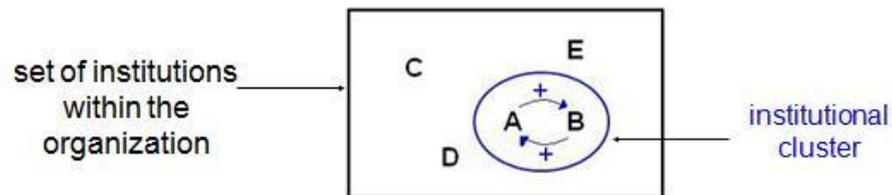
Betrachtet werden soll hierfür eine Menge $M = \{A, B, C, D, E\}$ von bereits existierenden Institutionen in einer Organisation. Hierbei sei A die (formelle oder informelle) Regel, dass bei Personaleinstellungen vornehmlich die Herkunft der Kandidaten für die Beurteilung herangezogen werde und B die Konvention, dass Beförderungen regelmäßig in Abhängigkeit des sozialen Status⁴ vorgenommen werden. Die Institutionen A und B passen offenbar gut zusammen, es ist intuitiv

⁴⁰³ Vgl. David 1994: „(An institution that was) once highly functional, at some point became purely customary and persists even though the original function is no longer important.“ (S.205); so auch Deeg 2007 S.611; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.695

⁴⁰⁴ In Anlehnung an David 1994 S.214

verständlich, dass die Akzeptanz und weitgehende Verbreitung der einen Regel die der anderen fördert. Sie bilden als Teilmenge N von M mit $N = \{A, B\}$ ein institutionelles cluster, siehe Abbildung 9.

Abbildung 9: Institutionelles cluster in einer Menge von Institutionen



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Petermann & Klaußner (2009)

Würde nun innerhalb der Organisation eine grundsätzliche Lösung für die Festsetzung von Gehältern gesucht und stünden die zwei alternativen Lösungen

F_1 : „Festsetzung von Gehältern anhand objektiver Leistungsmessung“

F_2 : „Festsetzung von Gehältern anhand des sozialen Status“

zur Auswahl, so ist einleuchtend, dass F_2 einen relativ hohen fit zum institutionellen cluster aufweist, da es durch den hohen Stellenwert des sozialen Status‘ mit den geltenden Institutionen A und B gut harmoniert - während F_1 wegen des krassen Gegensatzes zu den in A und B enthaltenen Wertvorstellungen eher in einem misfit-Verhältnis zum aus A und B bestehenden cluster steht. Der Marktlogik entsprechend stünden also die Chancen für eine Adoption von F_2 deutlich besser als für F_1 , vorausgesetzt, die originäre Funktionalität der beiden Lösungen für die Organisation sei in etwa vergleichbar. Je dichter das institutionelle cluster, desto eher stünde zu erwarten, dass sich F_2 durchsetzt – wodurch das cluster weiter an Dichte gewinnen würde. Erweitert man dieses Beispiel nun um den Gedanken organisationaler Hierarchie, so liegt die Vermutung nahe, dass der Prozess wenigstens zu Beginn, wenn noch kein stark verdichtetes institutionelles cluster vorliegt, durch hierarchische Anweisung gesteuert wird und die Bildung eines Pfades im Sinne einer weiteren Verdichtung institutioneller cluster verhindert werden könnte, indem die Anwendung von F_1 angeordnet und innerhalb der Organisationsstruktur verankert würde. Das Beispiel offenbart hier ganz deutlich das Konkurrenzverhältnis von Selbstverstärkung

durch dezentrale Entscheidung und zentralisierte Entscheidung durch hierarchische Strukturen. Die wissenschaftliche Bearbeitung dieser Frage verlangt eine präzise Formalisierung von Komplementarität; es erscheint daher sinnvoll, verschiedene Grade institutioneller Komplementarität zu differenzieren und das Konstrukt präzise von ähnlichen Konstrukten abzugrenzen.

b) Grade institutioneller Komplementarität

An dieser Stelle soll zunächst der Ansatz von Deeg diskutiert werden, der vorschlägt, institutionelle Komplementaritäten grundsätzlich nach supplementärem und synergetischem Charakter zu differenzieren.⁴⁰⁵ Supplementäre Komplementaritäten sollen demnach dann vorliegen, wenn eine Institution A geeignet ist, die Schwäche einer anderen Institution B auszugleichen bzw. im Sinne einer „fehlenden Zutat“ nutzbringend zu ergänzen – ohne dass jedoch auch B in reziproker Weise dieselbe Funktion für A erfüllt. Eine Adoption von A führt also in der Regel zu einer Verstärkung von B, diese wirkt jedoch weder positiv noch negativ auf A zurück. Nur im Fall synergetischer Komplementaritäten liegen beiderseitige verstärkende Effekte vor, so dass A den Nutzen der zu ihr komplementären Institution B erhöht und vice versa. Aus dieser Festlegung ergibt sich, dass bei Deegs supplementären Komplementaritäten nur Verstärkungs- aber keine *Selbstverstärkungsmechanismen* vorliegen, während im Fall synergetischer Komplementaritäten echte Selbstverstärkungsmechanismen konstatiert werden können. Die Unterscheidung kann daher als analytisch grundsätzlich sinnvoll betrachtet werden, aus pfadtheoretischer Sicht sind zunächst allein die synergetischen Komplementaritäten relevant, da supplementäre Komplementaritäten keine selbstverstärkende Wirkung aufweisen. Supplementäre Komplementaritäten können aus pfadtheoretischer Sicht nur in dem besonderen Fall eine Rolle spielen, wenn nämlich mehrere supplementäre Komplementaritäten wieder einen geschlossenen feedback-Zirkel bilden. Ist zum Beispiel A supplementär komplementär zu B, B supplementär komplementär zu C und C wiederum supplementär komplementär zu A schließt sich ein indirekter positiver feedback-Zirkel. In diesem speziellen Fall wäre wieder eine selbstverstärkende Wirkung gegeben.

⁴⁰⁵ Vgl. hierzu und zu den folgenden Ausführungen dieses Absatzes Deeg 2007 S.613

Um die Ausführungen zur Komplementarität abzuschließen, soll das Konzept im Folgenden gegen verwandte und teils synonym verwendete Konstrukte abgegrenzt werden.

c) *Abgrenzung zu verwandten Konstrukten*

Ungeachtet eines zufriedenstellenden Maßes an Wohldefiniertheit von Komplementaritäten in der Literatur der Pfadabhängigkeit⁴⁰⁶ soll das Konzept aufgrund der Konfusion mit anderen Konzepten in Teilen der ökonomischen Literatur⁴⁰⁷ gegen umfassendere, engere, ähnliche und sich inhaltlich teils überdeckende Konstrukte abgegrenzt werden. Den Ausführungen von Deeg folgend sollte institutionelle Komplementarität insbesondere gegen die oft nicht trennscharf zu ihr verwendeten Konstrukte Kompatibilität, Kohärenz und clustering abgegrenzt werden.⁴⁰⁸ Boyer verortet diese Konstrukte und zusätzlich engere Eingrenzungen von Komplementarität in Form von Supermodularität auf einem Kontinuum, das von einem sehr weiten bis hin zu einem sehr engen Verständnis von Interdependenz von Institutionen aufgespannt ist; die einzelnen Klassen institutioneller Interdependenz sollen im Folgenden beschrieben und dann nach Boyer miteinander in Beziehung gesetzt werden.⁴⁰⁹ Bei den folgenden Erläuterungen geht es deshalb in erster Linie darum, Begriffe zu klären, die wie Komplementarität einen bestimmten Grad an Interdependenz zweier Institutionen beschreiben.

(i) Kompatibilität

Unter der Kompatibilität von Institutionen kann grundsätzlich ein neutraler Zusammenhang zweier in einem System koexistierender Institutionen verstanden werden, die sich ihren funktionalen Beitrag betreffend weder negativ noch positiv beeinflussen⁴¹⁰; der Begriff der Kompatibilität stellt vielmehr darauf ab, dass einer Koexistenz nichts im Wege steht und die Institutionen ein wenigstens prinzipiell

⁴⁰⁶ Vgl. die deckungsgleiche Definition und Verwendung des Konzepts institutioneller Komplementarität bei David 1994 S.113-115; Ackermann 2003 S.240; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.699-700.

⁴⁰⁷ Vgl. Franzese 2001; Milgrom & Roberts 1995 S.184; Aoki 2001; Höpner 2005 S.332; Amable, Ernst & Palombarini 2005 S. 316

⁴⁰⁸ Vgl. Deeg 2007 S.613

⁴⁰⁹ Vgl. Boyer 2005 S.49

⁴¹⁰ Vgl. Deeg 2007 S.613

konsistentes Bild ergeben.⁴¹¹ Man könnte in diesem Sinne solche Institutionen auch als *nicht interdependent* bezeichnen, da sie unabhängig voneinander wirken und existieren. Im Kontinuum von Boyer wird Kompatibilität deshalb als schwächste Ausprägung des fits von Institutionen zueinander eingestuft.⁴¹²

(ii) Kohärenz

Kohärenz von Institutionen beschreibt die Fälle, in denen Institutionen sich auf ähnliche oder gleiche Prinzipien berufen, wodurch eine höhere Interaktionshäufigkeit von Akteuren erklärt werden kann, die ihnen unterworfen sind.⁴¹³ Eine kohärente Beziehung zwischen Institutionen bedingt dabei noch keine gegenseitige Beeinflussung ihrer Funktionalität. Kohärenz kann auf das Vorliegen von Komplementarität hindeuten, ohne dass diese zwischen kohärenten Institutionen zwangsweise gegeben sein muss⁴¹⁴; so ist Kohärenz weder eine notwendige Bedingung für Komplementarität noch schließt jede komplementäre Beziehung die Kohärenz der betreffenden Institutionen mit ein.⁴¹⁵ Abgestellt wird vielmehr auf die nicht näher spezifizierte gemeinsame Grundlage der Handlungsbeschränkung, wie sie zum Beispiel in der Unternehmenskulturanalyse in Form von gleichen Werten oder Basisannahmen bestehen können.⁴¹⁶

(iii) Clustering

„Clustering von Institutionen“ nach Boyer⁴¹⁷ muss unbedingt vom Konzept der *institutionellen cluster* unterschieden werden, wie es von David⁴¹⁸ eingeführt und von Sydow et al.⁴¹⁹ im Berliner 3-Phasen-Modell übernommen wird. Clustering ist in dem Sinne ein viel schwächeres Konzept, als dass es lediglich deskriptiv eine Aussage über die relativ hohe Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens spezifischer Institutionen trifft; clustering impliziert daher weder eine funktionelle Interdependenz, wie es bei komplementären Institutionen eines *institutionellen clusters* der Fall ist, noch erfordert es eine gemeinsame logische Basis der

⁴¹¹ Vgl. David 1994 S.214

⁴¹² Vgl. Boyer 2005 S.49f.

⁴¹³ Vgl. Deeg 2007 S.613

⁴¹⁴ Vgl. Amable 2003 S.6-7

⁴¹⁵ Vgl. Deeg 2007 S.613

⁴¹⁶ Vgl. Schein 1984 S.252

⁴¹⁷ Vgl. Boyer 2005 S.49f.

⁴¹⁸ Vgl. David 1994 S.214

⁴¹⁹ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.699

betreffenden Institutionen, wie es bei Kohärenz der Fall ist.⁴²⁰ Clustering kann somit, was die Stärke der Verbindung bzw. des fits zwischen den betreffenden Institutionen angeht, zwischen Kompatibilität und Kohärenz verortet werden.

(iv) Supermodularität

Bei der Supermodularität handelt es sich hingegen um eine Konstellation, die von starken Komplementaritäten gekennzeichnet ist, die zusätzlich zur Selbstverstärkung eine weitere, besondere Qualität aufweisen: Über die Erzielung von funktionalen Synergien zwischen zwei Institutionen A und B (formal: $U(A + B) > U(A) + U(B)$ wenn $U(X)$ die funktionale Nutzenfunktion der Institution X ist) hinaus wird bei Supermodularität zusätzlich verlangt, dass keine andere Kombination von Institutionen einen höheren Nutzen generieren kann als das als supermodular eingestufte Institutionengefüge, d.h. formal muss gelten

$U(A, B) > U(A, X)$ für alle $X \neq B$ und $U(A, B) > U(Y, B)$ für alle $Y \neq A$.

Supermodularität ist daher ein Spezialfall von Komplementarität und wird von Boyer treffend auch als *Komplementarität im engeren Sinne* bezeichnet.⁴²¹ Ein supermodulares Institutionengefüge bezeichnet also das globale Optimum aller möglichen Mengen von Kombinationen von Institutionen, was in der Konzeption Kauffmans dem globalen Höhepunkt der fitness-Landschaft entspricht, die über dem Zustandsraum der Mengen der Kombinationen der Institutionen aufgespannt ist.⁴²²

(v) Kausale Beziehung

Unter einer kausalen (oder auch hierarchischen) Beziehung zwischen Institutionen versteht man eine besonders enge kausale Kopplung von Institutionen in dem Sinne, als dass eine oder mehrere Institutionen zwingend vorhanden sein müssen, damit eine andere Institution existieren kann. Die Menge der Institutionen, die die Existenz der fokalen Institution erst ermöglicht, wird hierbei als hierarchisch vorgelagert angesehen; sie bildet den Rahmen, in dem sich die nachgelagerte

⁴²⁰ Vgl. Boyer 2005 S.49f.

⁴²¹ Vgl. Boyer 2005 S.48

⁴²² Vgl. Kauffman 1993 S.33ff.

Institution erst entfalten kann.⁴²³ Ein plastisches Beispiel einer hierarchischen Beziehung zwischen Institutionen liefert Schäcke, der ausführt, dass Gesetze als nachgelagerte Institutionen ohne die ihnen zugrunde liegende, hierarchisch vorgelagerte Verfassung nicht existieren können.⁴²⁴ Obwohl eine hierarchische Beziehung zwischen Institutionen zwingend impliziert, dass sich die vorgelagerte(n) Institution(en) auf den funktionalen Beitrag der fokalen Institution auswirkt (auswirken), und sei es in der Form, dass sie einen funktionalen Beitrag dieser überhaupt erst ermöglicht, kann diese nicht als hinreichende Bedingung für das Vorliegen von Selbstverstärkung angesehen werden. Hierfür fehlt der Charakter der positiven Rückkopplung: Es wird schließlich nichts darüber ausgesagt, ob oder inwiefern sich die nachgelagerte Institution wiederum auf die ihr vorgelagerte auswirkt. Es handelt sich bei hierarchischen Beziehungen zwischen Institutionen also stets um supplementäre, aber nicht zwingend um synergetische Komplementarität.⁴²⁵

(vi) Relation der Konzepte

Die dargestellten Konzepte können nun in Anlehnung an Boyer anhand der dem jeweiligen Konzept inhärenten fitness-Relation der Institutionen in einem Kontinuum verortet werden.

Abbildung 10: Konzepte interdependenter Institutionen im Kontinuum der fitness-Relation



Erläuterung: Ordnung der Konzepte von links nach rechts mit steigendem fit der Institutionen zueinander; Abbildung in Anlehnung an Boyer (2005) S.49.

Hierbei ist zu beachten, dass nur die synergetische Komplementarität (Komplementarität i.w.S.) und die Supermodularität (Komplementarität i.e.S.) die für die Pfadtheorie interessante Eigenschaft der Selbstverstärkung erfüllen.

⁴²³ So auch Amable 2000 S.660f.

⁴²⁴ Vgl. Schäcke 2006 S.46; Bemerkung: „Existenz von Institutionen“ zielt hierbei auf das funktionale Entfaltungspotential ab, dass dem funktionalen Institutionenverständnis inhärent ist.

⁴²⁵ Vgl. Deeg 2007 S.613

Nachdem nun der Selbstverstärkungsmechanismus der Komplementarität für die formale Modellierung theoretisch ausreichend präzise gefasst und abgegrenzt wurde, beschäftigt sich der folgende Abschnitt mit der theoretischen Grundlage der in dieser Arbeit vorzunehmenden Erweiterung des Modells organisationaler Pfadabhängigkeit um Hierarchie.

4. Pfadabhängigkeit und Machtasymmetrie: Auswirkungen von Hierarchie auf den Pfadprozess?

Die formalen Modelle der Pfadtheorie zur Untersuchung von selbstverstärkenden Effekten gehen grundsätzlich von Machtfreiheit und dezentraler Entscheidungsfindung aus.⁴²⁶ Es stellt sich für organisationale Perspektive der Pfadtheorie daher grundsätzlich die Frage, ob die aus der Marktlogik heraus entwickelte entlehnte Entscheidungslogik⁴²⁷ auch für soziale Systeme gilt, die von Hierarchie geprägt sind und damit unterschiedliche Grade an Zentralisierung von Entscheidungsprozessen aufweisen. Mit Verweis auf die Vertreter der Bürokratietheorie könnte gar behauptet werden, dass in hierarchischen Organisationen Handlungen grundsätzlich durch Anweisungen, seien diese fallweiser oder genereller Natur, wie es bei Organisationstruktur als eine Form der geronnenen Anweisung der Fall ist, gesteuert werden können.⁴²⁸ Somit wäre auch der durch Zusammenwirken vieler dezentraler Individualentscheidungen entstehende emergente Pfad nicht länger problematisch: Via Hierarchie könnte die Organisationsleitung ein bestimmtes Verhalten (generell oder fallweise) anweisen. In Systemen, in denen eine Zentralisierung von Entscheidungen in dieser Form existierte, wäre daher anzunehmen, dass die Entstehung eines Pfades grundsätzlich steuerbar würde. Eine auf diese Weise intentional gesteuerte Pfadentstehung ermöglichte es, die Entstehung von ineffizienten Pfaden zu verhindern. Es käme somit nicht mehr zu einem ineffizienten lock-in im Sinne einer extremen Form der potentiell ineffizienten Persistenz, der von innerhalb des Systems nicht verhindert oder wieder gewandelt werden kann.

⁴²⁶ Vgl. Arthur 1989, 1994 passim; David 1985: „(positive feedback) drove the industry prematurely into standardization (...), where decentralized decision making subsequently has sufficed to hold it.“ (S.336)

⁴²⁷ Vgl. Arthur 1989, 1994 passim; David 1985 passim

⁴²⁸ Vgl. Weber 1976 S.542

Dieser Argumentation zum Trotz wird in weiten Teilen der zeitgenössischen Organisationsforschung eine Argumentation vorgetragen, die durch selbstverstärkende Effekte hervorgerufene Pfadprozesse weiterhin auch für hierarchische Organisationen als hoch problematisch einstuft⁴²⁹, ohne jedoch das zentrale Konkurrenzverhältnis von Selbstverstärkung und Hierarchie zu problematisieren. So gehen die meisten Autoren mittlerweile von einem modernen Führungsverständnis aus, das die Tatsache antizipiert, dass Geführte Anweisungen ihrer Vorgesetzten oder den in der Organisationsstruktur verankerten Regeln nicht stets blind befolgen, die Steuerung institutioneller Entwicklung via Anweisung bzw. Struktur also *nicht* ohne Weiteres möglich ist – und Institutionen somit wieder relevant werden.⁴³⁰ Vielmehr bietet die moderne Führungs- und Gruppenforschung verschiedene Erklärungen, warum Anweisungen von Geführten offen oder verdeckt missachtet oder sogar konterkariert werden.⁴³¹ Ein Beispiel des nicht-Befolgens einer via Hierarchie erteilten Anweisung soll am Beispiel hoch kohäsiver Gruppen gegeben werden. Wenn die Anweisung mit Gruppennormen einer Gruppe kollidiert, zu der der Anweisungsadressat zugehörig ist, kann dies in hoch kohäsiven Gruppen ein massives Problem darstellen, da Mitglieder solcher Gruppen der Gruppenzugehörigkeit einen so hohen Stellenwert beimessen, dass sie ihre Gruppennormen auch mittels Verweigerung oder sogar einer konzertierten Aktion gegen Gefahr verteidigen.⁴³² Beim Vorliegen von selbstverstärkenden Effekten nimmt die Wandelproblematik zusätzlich neue Dimension an: Die Wandelresistenz steigt im Zeitablauf immer weiter an und macht es so unmöglich, mit einer bestimmten, aber fixen Menge an Ressourcen den Wandel durchzusetzen, weil unabhängig von der Höhe der eingesetzten Ressourcen ein

⁴²⁹ Vgl. Ackermann 2003 passim; Nooteboom 1997 passim; Schäcke 2006 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 passim; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 passim; so auch Leonard-Barton 1992 passim oder Teece, Pisano & Shuen 1997 passim

⁴³⁰ Vgl. Scott 2007: „Institutions matter again!“ (S.viii prefactory chapter)

⁴³¹ Vergleiche Erklärungsansätze für das Scheitern von Führung in der Identitätstheorie der Führung (Vgl. Hogg & Terry 2000 S.121ff.) oder dem Führungsverständnis als sozialer Einflussversuch zum Beispiel im Rahmen des Einfluss-Prozess-Modells (Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.686ff.); für moderne Ansätze der Gruppenforschung vgl. Arrow & McGrath 1995 S.373ff. sowie Lipman-Blumen & Leavitt 1999 passim

⁴³² Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.626-627

Zeitpunkt kommt, zu dem diese nicht mehr ausreichen, den Wandel zu initiieren.⁴³³

Wenn Hierarchie die Problematik von Pfadprozessen in Organisationen nicht grundsätzlich obsolet werden lässt, muss sich die Organisationstheorie mit institutionellen Pfaden beschäftigen - und die Pfadtheorie muss die spezifischen Charakteristika von Organisationen in die Prozesslogik mit einbeziehen. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn es der hierarchischen Organisationsstruktur nicht gelingt, die Wirkung selbstverstärkender Effekt zu unterdrücken. Die Organisationsforscher in der Pfadliteratur gehen davon aus, dass die Pfadlogik grundsätzlich auch in hierarchischen Organisationen erhalten bleibt⁴³⁴, ohne dass es für die Integration von Hierarchie in den Pfadprozess bisher ein adäquates Modell gibt. Die in dieser Arbeit durchzuführende formale Modellierung des Pfadprozesses in hierarchischen Organisationen kann daher die folgende, implizit häufig verwendete, bisher aber theoretisch nicht fundierte Hypothese prüfen.

Hypothese H1: In hierarchischen Organisationen kommt es beim Vorliegen von selbstverstärkenden Effekten zu pfadabhängigen Prozessen, die zum lock-in führen können.

Die explizite Adressierung des Konkurrenzverhältnis von Hierarchie und selbstverstärkenden Effekten wirft außerdem eine Reihe weitere Fragen auf, deren Beantwortung für den Ausbau der organisationalen Pfadtheorie hilfreich wäre: Da Hierarchie in den formalen Modellen der Pfadtheorie bisher nicht explizit mitgedacht wird, ist die Frage, welchen Einfluss verschiedene Formen von organisationaler Hierarchie auf den institutionellen Pfadprozess in Organisationen haben, zur jetzigen Zeit noch völlig offen. Anknüpfend an die in der Organisationsforschung viel diskutierte Frage des optimalen organizational design ist daher nicht nur interessant, *ob* die Ausgestaltung der organisationalen Hierarchie eine signifikante Auswirkung auf die Konstitution von Pfaden hat,

⁴³³ Analog argumentiert Arthur im Regime der increasing returns für den technologischen Wandel: „Under increasing returns however, (...) the subsidy or tax-adjustment necessary to shift the barriers enough to influence choices (a precise index of the degree to which a system is ‚locked-in‘) increases without bound.“ (Arthur 1989 S.122)

⁴³⁴ Vgl. Ackermann 2003 passim; David 1994 S.214; Garud & Karnøe 2001 S.5; Koch 2007 S.287ff.; Schäcke 2006 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.259ff.; Schreyögg & Sydow 2010 S.35-112

sondern auch *wie* sich verschiedene Ausprägungen von Hierarchie, die zum Beispiel in Form flacher oder steiler Hierarchie vorliegen können, auf den Pfadprozess auswirken. Gibt es Organisationsstrukturen, die Pfadprozesse begünstigen oder ihre Konstitution erschweren?

Ferner muss beachtet werden, dass die Hierarchie, die sich als ein Element der Organisationsstruktur zum Zwecke einer geregelten Arbeitsteilung ebenfalls in Erwartungs- und Regelungsmustern ausdrückt⁴³⁵, der Beziehung zwischen Führungskraft und Geführten im Sinne einer allgemeinen Regelung⁴³⁶ einen festen Rahmen gibt, der sich allerdings nicht ohne Führung im engeren Sinne denken lässt. Eine Modellierung von Hierarchie erfordert also zwingend auch eine irgendwie geartete Modellierung von Führung und die Auseinandersetzung mit der Frage, wovon es abhängt, ob Organisationsmitglieder die via Hierarchie an sie übermittelten Anweisungen, Regelungen und Erwartungen befolgen. Will man sich nicht auf den heute veralteten Eigenschaftsansatz berufen, der im Widerspruch zur Realität unterstellt, dass Anweisungen von Personen grundsätzlich Folge geleistet wird, die bestimmte Eigenschaften aufweisen⁴³⁷, ist auf modernere Ansätze abzustellen. Die moderne Führungstheorie unterstellt vielmehr, dass es bei der Frage nach Erfolg oder Misserfolg von Führung auf die Einflusspotentiale der Führungskraft ankommt, die sich aus der Interaktion zwischen Führer und Geführtem ergeben.⁴³⁸ Es ist daher ebenfalls von Interesse zu untersuchen, welche Auswirkung die Einflusspotentiale der Führungskräfte in hierarchischen Organisationen auf die Konstitution von Pfaden ausüben.

Diese Forschungsfragen stellen Verfeinerungen der zentralen Hypothese H1 dar und spezifizieren das von ihr ausgedrückte Erkenntnisinteresse dieser Forschungsarbeit. Die Ergebnisse können zu einer weiteren Ausdifferenzierung der organisationalen Pfadtheorie beitragen. Bevor nun eine für die Forschungsziele geeignete Formalisierung vorgeschlagen werden kann, soll zunächst die Methode der Wahl begründet und diese erläutert werden.

⁴³⁵ Vgl. Schreyögg 2008 S.9

⁴³⁶ Vgl. Kosiol 1976 S.28

⁴³⁷ Vgl. die empirische Widerlegung der „great man theory“ bei Stogdill 1948 S.35ff.

⁴³⁸ Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.686ff.

D. Von der Theorie zur Methode

In der Pfadtheorie bildet die von Arthur angewandte analytische Methodik⁴³⁹ den Ausgangspunkt für spätere Modellierungsansätze pfadabhängiger Prozesse.⁴⁴⁰ Die analytische Untersuchung der dem Pfadkonstitutionsprozess zu Grunde liegenden Logik gestaltet sich jedoch auf Grund der Komplexität sozialer Systeme, die nun durch die Integration von Hierarchie weiter erhöht wird, und der dem Pfadprozess inhärenten nicht-linearen Dynamik als schwierige Aufgabe.⁴⁴¹ Im vorliegenden Kapitel soll die wissenschaftliche Methode erläutert werden, die verwendet wird, um das in der Modellierung anspruchsvolle Konkurrenzverhältnis von selbstverstärkenden Effekten und organisationaler Hierarchie der Analyse zugänglich zu machen und so die Hypothese H1 auf ihre Gültigkeit hin zu testen. Hierfür soll zunächst diskutiert werden, welche Anforderungen bei der vorliegenden Fragestellung an das formale Modell und die Forschungsmethode gestellt werden müssen. Im Anschluss soll die Wahl der Methode begründet und ihre wissenschaftliche Basis, Vorgehensweise und Kernbestandteile näher beleuchtet werden. So soll sichergestellt werden, dass die gewählte Methode im folgenden Kapitel E wissenschaftlich fundiert und nachvollziehbar angewendet werden kann.

I. Wahl der Methode

Die Wahl der Forschungsmethode sollte sich primär danach richten, ob sie geeignet ist, das vorliegende wissenschaftliche Problem vor dem Hintergrund der verwendeten Theorie zu lösen.⁴⁴² In den frühen Veröffentlichungen zur Theorie der Pfadabhängigkeit werden vor allem analytische Methoden⁴⁴³ verwendet, die

⁴³⁹ Vgl. Arthur 1983, Arthur 1988, Arthur 1989, Arthur 1994

⁴⁴⁰ Vgl. Katz & Shapiro 1985, die ein elaboriertes aber deterministisches, agentenbasiertes Modell zur Untersuchung von Konsumentenverhalten unter dem Einfluss von Netzexternalitäten und Erwartungen vorstellen und mit Hilfe deduktiver Beweisführung Voraussagen treffen können; vgl. Sterman & Wittenberg 1999, die mit Hilfe eines stochastischen Simulationsmodells die Diffusion von wissenschaftlichen Paradigmen untersuchen; vgl. die Modelle der strategischen Pfade in Koch 2007 und Schreyögg, Sydow & Koch 2003

⁴⁴¹ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691

⁴⁴² Vgl. Law & Kelton 1991 S.1

⁴⁴³ Vgl. Arthur 1983, Arthur 1988, Arthur 1989, Arthur 1994; vgl. Auch Katz & Shapiro 1985, die ein elaboriertes aber deterministisches, agentenbasiertes Modell zur Untersuchung von Konsumentenverhalten unter dem Einfluss von Netzexternalitäten und Erwartungen vorstellen und mit Hilfe deduktiver Beweisführung Voraussagen treffen können.

durch qualitative Fallstudien⁴⁴⁴ untermauert werden. Ein formales Modell, das durch qualitative Empirie gestützt wird, wird hierbei mittels deduktiver Beweisführung nutzbar gemacht. Im Folgenden soll zunächst diskutiert werden, ob diese klassische Methode der Pfadforschung für die Bearbeitung der hier vorliegenden Fragestellung geeignet ist.

Beim analytischen Ansatz wird eine Menge von Annahmen postuliert, aus denen unter Verwendung logischer Deduktion Ergebnisse abgeleitet werden; die Annahmen basieren auf Beobachtungen der Realität und werden als logisch eindeutige Beziehungen dargestellt, aus denen dann mittels Ableitungen und mathematischen Beweisen Schlussfolgerungen gezogen werden können.⁴⁴⁵ Diese Strategie hat in vielen Disziplinen, insbesondere in den Naturwissenschaften, zu außerordentlichen Erfolgen geführt.⁴⁴⁶ Probleme der Sozialwissenschaften fallen aufgrund der Komplexität sozialer Systeme und der stochastischen, interdependenten Natur sozialer Prozesse aber oft in eine Kategorie von Problemen⁴⁴⁷, für die eine deduktive Lösung nicht möglich ist:

„If the relationships that compose the model are simple enough, it may be possible to use mathematical methods (such as algebra, calculus, or probability theory) to obtain exact information on questions of interest; this is called an *analytic* solution. However, most real world problems are too complex to allow realistic models to be evaluated analytically.“⁴⁴⁸

Diese Argumentation greift insbesondere bei der Modellierung von selbstverstärkenden Effekten in Hierarchien, da es sich um einen nicht-linearen multi-level-Prozess im Zeitablauf handelt, dessen Komplexität durch die

⁴⁴⁴ Vgl. David 1985 passim; Cowan 1990 passim; Cusumano, Mylonadis & Rosenbloom 1992 passim; Koch 2008 passim

⁴⁴⁵ Vgl. Lave & March 1975 S.4

⁴⁴⁶ Als eines der prominenteren Beispiele kann hier die Relativitätstheorie genannt werden, mithilfe derer Albert Einstein Vorhersagen möglich wurden, Jahrzehnte bevor die Möglichkeit bestand, die Vorhersagen durch Beobachtungen zu bestätigen oder empirisch zu untersuchen; in der Mathematik kann das Teilgebiet der Analysis mit ihren Differentialrechnungen angeführt werden, deren deduktiv generierte Ergebnisse Voraussetzungen für viele moderne, technische Errungenschaften sind.

⁴⁴⁷ Der Grund dafür, dass keine mathematische Lösung abgeleitet werden kann, liegt entweder darin, dass adäquate mathematische Mittel (noch) nicht zur Verfügung stehen, das Problem für eine mathematische Lösung nicht eindeutig genug formuliert ist oder dass das Problem zu der Menge von Problemen gehört, die keine mathematische Lösung besitzen und für die der Beweis geführt wurde, dass eine mathematische Lösung des Problems nicht existiert (vgl. für die verschiedenen Klassen nichtlösbarer mathematischer Probleme z.B. die *Hilbertschen Probleme*, die von dem deutschen Mathematiker David Hilbert 1900 in Paris vorgestellt wurden).

⁴⁴⁸ Law & Kelton 1991 S.1

Verknüpfungen der Akteure via Hierarchie um eine zusätzliche Dimension erhöht wird:

„Traditional approaches to theory development are limited in their ability to analyze multiple interdependent processes operating simultaneously.“⁴⁴⁹

Eine analytische Vorgehensweise, wie in der Studie von Arthur⁴⁵⁰, ist für die Untersuchung des Konkurrenzverhältnisses von Hierarchie und Selbstverstärkung daher nicht erfolgversprechend.⁴⁵¹

Die Eigenschaften des formalen Modells sind also dafür verantwortlich, dass eine deduktive Analyse sich in unserem Fall als nicht zielführend erweist. Betrachten wir auf der Suche nach einem alternativen Ansatz zunächst diese Eigenschaften und Beziehungen genauer, die das Modell aufweisen muss, um dem Anspruch auf adäquate Abbildung organisatorischer Wandelprozess in hierarchischen Organisationen gerecht zu werden:

- (1) Small events⁴⁵² müssen derart in das Modell integriert sein, dass diese zufälligen Charakter haben, im gesamtem Prozessverlauf auftreten, aber am Anfang des Prozesses eine größere Wahrscheinlichkeit besteht, den

⁴⁴⁹ Harrison et al. 2007 S.1229

⁴⁵⁰ Arthur 1989 S.117ff.

⁴⁵¹ Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Wert eines analytischen Modelles oft anhand der Güte oder überhaupt am Vorhandensein einer deduktiven Lösung festgemacht wird (vgl. Law & Kelton 1991 S.4). Dies führt im Umkehrschluss dazu, dass Forscher ihre Annahmen gezwungenermaßen auf Basis ihrer Eignung für das Ziehen von Schlussfolgerungen wählen (vgl. die Ausführungen von Law & Kelton 1991 (S.4): „It is necessary to devise models that yield significant derivations...“) und dabei Gefahr laufen, essentielle Merkmale und Wirkungsmechanismen von sozialen Systemen zu ignorieren (vgl. Harrison et al. 2007 S. 1230). So geht Arthur 1989 (S.117ff.) in seinem Multiagentenmodell und in dem daraus entwickelten Urnenmodell davon aus, dass (1) Akteure vollkommen rational agieren und ihren Nutzen maximieren, (2) vollständige Information herrscht, (3) vollständige Machtfreiheit herrscht, (4) die Erwartungen der Akteure über die Zukunft (trotz vollständiger Information, auch über zukünftige Entwicklungen!) keine Rolle bei den Entscheidungen spielen und (5) eine Koordination mehrerer Akteure⁴⁵¹ zum sponsoring zukünftig lukrativer Technologien in deren Anfangsphase nicht möglich ist (vgl. hierzu den Ansatz von Axelrod 1997, der die Möglichkeit der Koordination von Akteuren mit einbezieht und somit die Grenzen eines deduktiv lösbaren Modells verlässt und sich einer numerischen Lösung zuwendet). Dies sind extrem restriktive Annahmen, durch die das Modell zwar analytischen Methoden zugänglich gemacht wird, die es aber auch zunehmend realitätsfern werden lassen. Der Erkenntnisgewinn der Modellierungen Arthurs kann hierdurch gemindert oder sogar grundsätzlich in Frage gestellt werden (vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.217), die mit ihrer Kritik hauptsächlich an den restriktiven Annahmen der Modellierung von Arthur ansetzen).

⁴⁵² Vgl. Abschnitt B.IV.1 dieser Arbeit

Prozessverlauf nachhaltig zu beeinflussen, als zu späteren Zeitpunkten.⁴⁵³ Es soll die Möglichkeit bestehen, dass ein small event nachhaltige selbstverstärkende Effekte⁴⁵⁴ auslöst, dies muss aber nicht bei jedem small event der Fall sein.⁴⁵⁵

- (2) Die Mitglieder der abgebildeten Organisation sollen zwischen mehreren institutionellen Lösungen wählen können. Die Wahl eines Akteurs soll die Wahl der anderen Akteure durch zwei mögliche Mechanismen beeinflussen:
 - a. Im einfachen Modell beeinflusst die Wahl eines Akteurs die Entscheidung der anderen dadurch, dass die institutionelle Lösung, für die sich der erste Agent entschieden hat, nun durch seine Entscheidung einen marginal größeren Diffusionsgrad erreicht hat – das zugehörige institutionelle cluster also dichter geworden ist.⁴⁵⁶
 - b. Im fortgeschrittenen Modell beeinflusst die Wahl eines Akteurs (unabhängig von der indirekten Wirkung wie in a.) zusätzlich direkt diejenigen Akteure, die er explizit durch einen intendierten sozialen Einflussversuch⁴⁵⁷ oder durch die Organisationsstruktur als Form geronnener Anweisungen beeinflussen kann; diesem Einfluss ausgesetzt sind alle Akteure, die ihm in der Hierarchie der Organisation als Mitarbeiter unterstellt sind.

Im fortgeschrittenen Modell werden beide Mechanismen a. und b. gleichzeitig wirken und es wird zu Rückkopplungen zwischen den beiden Mechanismen kommen.

- (3) Die Konstitution eines Pfades⁴⁵⁸, der Zustand des lock-in⁴⁵⁹ wie auch institutioneller Wandel im Allgemeinen⁴⁶⁰ sind nur im Zeitablauf zu

⁴⁵³ Vgl. das Ziehen eine Kugel in Arthurs (1994) Urnenmodell, siehe Abschnitt B.II.2 dieser Arbeit

⁴⁵⁴ Vgl. Abschnitt B.IV.2 dieser Arbeit

⁴⁵⁵ Vgl. die Ausführungen über small events in der Theorie der Pfadabhängigkeit in den Abschnitten B.IV.1 und B.IV.2 dieser Arbeit

⁴⁵⁶ Vgl. die Ausführungen zum konzeptionellen Argument institutioneller Komplementarität in Abschnitt C.IV.3.a)

⁴⁵⁷ Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.684

⁴⁵⁸ Vgl. Abschnitt C.IV.2 dieser Arbeit

beobachten. Das Modell muss also Schlussfolgerungen über die Entwicklung des Systemzustandes über einen langen Zeitraum hinweg ermöglichen.

Auf der Suche nach der geeigneten Methode lässt sich feststellen, dass spätestens mit der Integration von Hierarchie in das formale Modell eine deduktive Lösung an ihre Grenzen stößt. Zur Begründung: Liegt in einem einfachen Modell nur der im vorherigen Abschnitt erläuterte Mechanismus a. vor, so ließe sich vermutlich eine Mastergleichung aufstellen, die in Form eines Systems von Differentialgleichungen in Abhängigkeit vom Systemzustand zum Zeitpunkt t die Eintrittswahrscheinlichkeiten für mögliche Systemzustände zum Zeitpunkt $t+1$ bestimmen kann. Man könnte versuchen, diese Gleichung deduktiv zu lösen, um mithilfe von Dichtefunktionen das Systemverhalten im Zeitablauf zu beschreiben, wie Weidlich & Haag es für einen sehr ähnlichen Fall gezeigt haben.⁴⁶¹ Durch die Integration von Hierarchie scheidet dieser Lösungsweg jedoch aus, da nun für jeden Agenten, abhängig von seiner Position innerhalb der Hierarchie, eine andere Handlungswahrscheinlichkeit besteht⁴⁶², und dadurch eine Aggregation über alle Agenten wie bei Weidlich & Haag nicht mehr möglich ist.

Ebenfalls problematisch stellt sich die Überprüfung des Konkurrenzverhältnisses von Hierarchie und Selbstverstärkung mit dem empirischen Ansatz dar. So müssten, um den Einfluss von Hierarchie auf den Pfadprozess systematisch ergründen zu können, hierfür Organisationen mit idealtypischen Hierarchien gefunden werden, die z.B. auf dem Kontinuum zwischen steiler und flacher Hierarchie gleichmäßig verteilt sind, und in diesen müsste über einen längeren Zeitraum hinweg der Wettkampf zwischen mehreren konkurrierenden institutionellen Lösungen unter dem Einfluss selbstverstärkender Effekte beobachtet werden. Wenige qualitative Untersuchungen wären möglich, unter

⁴⁵⁹ Vgl. Abschnitt B.IV.3 dieser Arbeit

⁴⁶⁰ Vgl. Abschnitt C.II dieser Arbeit

⁴⁶¹ Vgl. bei Weidlich & Haag 1983 (S.18-53) die Darstellung des Systemverhaltens im Opinion Formation Modell durch Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen im Zeitablauf, die auf die numerische Lösung der Mastergleichung zurückgeht, welche hier in Form eines Systems von Differentialgleichungen vorliegt; vgl. auch Gilbert & Troitzsch 2005 S.103-105

⁴⁶² Man beachte hierbei, dass die Handlungen des Agenten nun (auch) von seiner Positionierung in der Hierarchie abhängig sind, sowie vom Verhalten des ihnen hierarchisch übergeordneten Agenten. Welcher Agent dem fokalen Entscheider übergeordnet ist, hängt wiederum von der Gestaltung der Hierarchie (z.B. große vs. kleine Kontrollspanne) ab.

Umständen aber nicht geeignet, systematisch kausale Zusammenhänge zwischen Hierarchie und Pfadabhängigkeit abzuleiten:

„...path-dependent processes are evolutionary and contingent, path analysis is often retrograde and provides an ex-post explanation only. (...). This is especially problematic for empirical studies based on a single or just a few cases.“⁴⁶³

Davis et al. schlagen in solchen Situationen vor, sich der Fragestellung mittels der numerischen Lösung durch Computersimulationen zu nähern. Diese Methode hat sich insbesondere in solchen Fällen als nützlich erwiesen, in denen nicht-lineare Prozesse über längere Zeit hinweg betrachtet werden müssen:

„Simulation is particularly useful when the theoretical focus is longitudinal, nonlinear, or processual, or when empirical data are challenging to obtain.“⁴⁶⁴

Mit Hilfe von Computersimulationen, die auf bereits verifizierter Theorie und Empirie basieren, auf die in diesem Verfahren keineswegs verzichtet werden kann⁴⁶⁵, kann eine Formalisierung und Analyse von Prozessen organisatorischen Wandels in Hierarchien geleistet werden. Mittels Simulationen können so mögliche Zusammenhänge zwischen Variablen erkundet werden, um erste numerische Belege das Systemverhalten betreffend zu erhalten und die Fragestellung für empirische Folgestudien weiter konkretisieren zu können.

II. Computersimulation als wissenschaftliche Methode

In der zeitgenössischen sozialwissenschaftlichen Forschung wird immer häufiger zunächst auf Computersimulationen zurückgegriffen⁴⁶⁶, die geeignet sind, sich Lösungsansätzen zu Fragestellungen zu nähern, bei denen die oben genannten Schwierigkeiten stark ausgeprägt sind.⁴⁶⁷ Es sei jedoch klar gesagt, dass Simulationen nicht als Ersatz für die analytische bzw. empirische Forschung im Sinne eines „entweder oder“ angesehen werden sollten. Sie stellen vielmehr eine alternative Herangehensweise zum analytischen Ansatz dar und können durch Modellbildung insofern zum Erkenntnisgewinn beitragen, als dass ihre Ergebnisse

⁴⁶³ Koch, Eisend & Petermann 2009 S.68

⁴⁶⁴ Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.481

⁴⁶⁵ Vgl. Vgl. Gilbert & Troitzsch 2005 S.23; Lave & March 1975 S.52 ; Sokal & Bricmont 1998 S.190

⁴⁶⁶ Vgl. zur Häufigkeit der Anwendung der Methode Simulation in den führenden Journalen der Management- und Sozialwissenschaft Abbildung 11 dieser Arbeit.

⁴⁶⁷ Vgl. Axelrod 1997 passim; Harrison et al. 2007 S. 1232; Taber & Timpone 1996 passim

eine empirische Herangehensweise an das Problem erleichtern oder erst ermöglichen⁴⁶⁸:

„computer simulations (...) should be viewed as a medium through which theoretical propositions can be articulated and predictions can be generated.“⁴⁶⁹

Insbesondere ist es mit Hilfe der Simulationen möglich, komplexe, interdependente und andere nicht-lineare Dynamiken, die sich im Zeitablauf entfalten, in ausreichendem Umfang abzubilden und so der Analyse zugänglich zu machen.⁴⁷⁰ Die Methode der Simulation, die für diese Arbeit daher als wissenschaftliche Herangehensweise zur Analyse der Forschungsfragen und zur Überprüfung der Hypothese Verwendung findet, wird in den folgenden Abschnitten daher eingehender erläutert.

1. Definition einer wissenschaftlichen Computersimulation

Für diese Arbeit soll die Definition von Davis, Eisenhardt & Bingham verwendet werden: Unter Computersimulation (im Laufe dieser Arbeit ohne eine inhaltliche Unterscheidung auch kurz Simulation genannt) ist eine Methode der Benutzung von Computersoftware zu verstehen, die die Funktionsweise von Prozessen, Systemen oder Ereignissen aus der realen Welt modelliert.⁴⁷¹ Diese Definition ist vorteilhaft, da sie die wichtigsten Charakteristika von Computersimulationen in der Sozialwissenschaft beinhaltet und widerspruchsfrei mit anderen Definitionen verwendet werden kann, die Simulationen als virtuelle Experimente⁴⁷² oder vereinfachte Computermodelle der realen Welt bezeichnen, die einige, aber nicht alle Eigenschaften der realen Welt aufweisen⁴⁷³.

⁴⁶⁸ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.494f.; Gilbert & Troitzsch 2005 S.16f.; Harrison et al. 2007 S.1241

⁴⁶⁹ Ostrom 1988 S.381

⁴⁷⁰ Vgl. Repenning 2002

⁴⁷¹ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S. 481

⁴⁷² Vgl. Carley 2001 S.69ff.

⁴⁷³ Vgl. Gilbert & Troitzsch 2005 S.2; so auch allgemeiner über formale Modellierung Lave & March 1975 S.3

2. Verbreitung der Simulationsmethodik und Abgrenzung zum deduktiven Ansatz

Die Computersimulation wird in der Sozialwissenschaft mittlerweile als numerische Methode wissenschaftlichen Arbeitens weitgehend anerkannt.⁴⁷⁴ Sie ist in den Naturwissenschaften schon seit Jahrzehnten fest etabliert und findet in jüngster Zeit auch in der Strategie- und Organisationsforschung zunehmend Anwendung⁴⁷⁵. Obwohl eine Vielzahl simulationsbasierter Forschungsarbeiten in den 80er-Jahren in Management-Journalen und Monographien publiziert wurden⁴⁷⁶, ist in den frühen 90er-Jahren ein leichter Rückgang bei der Verwendung dieser Methode zu verzeichnen. Ab der Mitte der 90er-Jahre zeigt sich hingegen ein sprunghaft wachsendes Interesse an der Computersimulation in den führenden Management- und Sozialwissenschaftlichen Journalen, wie eine aktuelle Studie bestätigt, deren Ergebnisse in Abbildung 11 dargestellt sind.

Abbildung 11: Simulationen in zeitgenössischer Sozialwissenschaftlicher Forschung

TABLE 1
Proportions of Simulation Articles in Social
Science Journals, 1994–2003

Discipline	Journal	Proportion of Simulation Articles ^a
Management	<i>Academy of Management Journal</i>	.003
	<i>Administrative Science Quarterly</i>	.022
	<i>Management Science</i>	.236
	<i>Organization Science</i>	.037
	<i>Strategic Management Journal</i>	.010
Sociology	<i>American Journal of Sociology</i>	.024
	<i>American Sociological Review</i>	.024
Psychology	<i>Psychological Bulletin</i>	.034
	<i>Psychological Review</i>	.378
Economics	<i>American Economic Review</i>	.073
	<i>Journal of Political Economy</i>	.074
Political science	<i>American Journal of Political Science</i>	.065
	<i>American Political Science Review</i>	.047
Total		.079

^a These numbers are ten-year averages.

⁴⁷⁴ Vgl. Axelrod 1997; Gilbert & Troitzsch 2005 S.6-9; Harrison et al. 2007 S.1232; Ostrom 1988 S.391

⁴⁷⁵ Vgl. zum Beispiel die Studien von Lant & Mezias 1992 passim; Serman & Wittenberg 1999 passim; Repenning 2002 passim; Rivkin & Siggelkow 2003 passim; Zott 2003 passim

⁴⁷⁶ Vgl. zum Beispiel die Studien von Burton & Obel 1980 passim; Malone 1987 passim; Masuch & LaPotin 1989 passim; Padgett 1980 passim; Nelson & Winter 1982 passim

Quelle: Harrison et al. (2007) S.1232

Eine Erklärung hierfür bieten die Autoren, indem sie auf die Gemeinsamkeiten, als auch auf drei grundlegende Unterschiede zwischen Computersimulation und dem deduktiven Ansatz rekurren⁴⁷⁷, die sich bei bestimmten Problemstellungen als Vorteil erweisen können. Gemein ist beiden Ansätzen, dass sie aus einer gegebenen Menge von Annahmen Ergebnisse ableiten, und die Güte dieser Ergebnisse steht und fällt – eine fehlerfreie logische Ableitung vorausgesetzt – mit der Gültigkeit der Annahmen. Wer die Annahmen des Modells akzeptiert, der muss auch das Ergebnis akzeptieren oder anders ausgedrückt: Die Ergebnisse beider Methoden sind immer nur so verlässlich, wie die Annahmen des zugrundeliegenden formalen Modells. So gesehen können Simulationen als Methode einer numerischen Beweisführung eines formalen Modells verstanden werden.

Dennoch lassen sich drei markante Unterschiede zwischen deduktivem Ansatz und simulationsbasierter numerischer Beweisführung ermitteln:

- (1) Mittels Computersimulationen können Ergebnisse formaler Modelle erzielt werden, für die eine mathematisch deduktive Lösung nicht verfügbar ist.
- (2) Der zweite Punkt betrifft die Transparenz des formalen Modells: Bei deduktiver Beweisführung müssen alle Wirkungszusammenhänge analytisch zugänglich, und damit bekannt und explizierbar sein, damit die Abfolge der Argumente nachvollziehbar ist, die aus den Annahmen die Ergebnisse ableiten. Bei der Simulation kann das formale Modell komplexe Interaktionen von multiplen interdependenten Prozessen beinhalten, wobei sich das Ergebnis emergent aus der Interaktion der Prozesse ergibt und nicht ex ante prognostiziert oder mittels deduktiver Logik erschlossen werden kann. Selbst wenn Ergebnisse vorliegen, muss es nicht immer verständlich sein, wie die Abfolge komplexer, interdependenten Prozesse dieses Verhalten hervorgebracht hat. Dies ist

⁴⁷⁷ Vgl. hierzu und zu den folgenden Ausführungen Harrison et al. 2007 S. 1236

eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Modellierung von Emergenz in komplexen Systemen.⁴⁷⁸

- (3) Der dritte Hauptunterschied betrifft das Vorgehen bei der Auswahl der Annahmen des Modells. Ein häufiges Missverständnis mathematische Ableitungen betreffend liegt darin begründet, wie die Ableitungen üblicherweise präsentiert werden.⁴⁷⁹ So werden sie oft in der Form dargestellt, dass zunächst die Annahmen des Modells gesetzt und aus diesen dann sukzessive Lemmas und Theoreme abgeleitet werden. So entsteht der Eindruck, die in den Theoremen enthaltenen Ergebnisse ergäben sich zwangsweise aus einer natürlich gegebenen Ordnung. Dagegen kann gehalten werden, dass deduktive Arbeit in der Realität oft auf andere Weise geschieht: Die Intuition des Forschers und seine Vermutungen über die Realität werden zuerst in Theoremen fixiert und dann beginnt eine Suche mit dem Ziel, geeignete Annahmen zu identifizieren, aus deren Kombination das gewünschte Theorem abgeleitet werden kann.⁴⁸⁰ Da realistische Annahmen zu unlösbaren Modellen führen können, bevorzugen Forscher tendenziell eher bequeme denn realitätsnahe Annahmen (z.B. vollständige Information, rationale Wahl, unbeschränkte Budgets, etc.). Auf diese Weise kann deduktive Forschungsarbeit als Abfolge logischer Ableitungen „natürlich“ gegebener Annahmen vorgestellt werden, obwohl der eigentliche Erkenntnisgewinn häufig bereits durch die intentionale Modellkonstruktion vorweg genommen ist und nicht durch die Auswertung des Modells erst entsteht.⁴⁸¹ Die Vorgehensweise, den Wahrheitsgehalt von Ergebnissen zu postulieren und dann nach Wegen zu suchen, diese Ergebnisse zu produzieren, ist bei der

⁴⁷⁸ Vgl. Anderson 1999 S.216ff.; eine explizite Definitionen für komplexe adaptive Systeme (engl.: complex adaptive systems – kurz CAS) gibt John Holland in Waldrop 1992: „A Complex Adaptive System (CAS) is a dynamic network of many agents (which may represent cells, species, individuals, firms, nations) acting in parallel, constantly acting and reacting to what the other agents are doing. The control of a CAS tends to be highly dispersed and decentralized. If there is to be any coherent behavior in the system, it has to arise from competition and cooperation among the agents themselves. The overall behaviour of the system is the result of a huge number of decisions made every moment by many individual agents.“ Vgl. auch die Beschreibung von komplexen adaptiven Systemen durch Brown & Eisenhardt 1998 S.18.

⁴⁷⁹ Vgl. hierzu Harrison et al. 2007 S.1237

⁴⁸⁰ Vgl. Lakatos 1976

⁴⁸¹ Vgl. Harrison et al. 2007 S.1230

Modellierung komplexer adaptiver Systeme hingegen wenig erfolgversprechend. Aufgrund der Komplexität und vielfältiger Interdependenzen zwischen den betrachteten Prozessen sind die Veränderungen des Systemverhaltens, die durch eine bestimmte Annahme eintreten, nicht absehbar. Deshalb sind Forscher, welche die Simulationsmethodik verwenden, gezwungen, sich in der Konstruktionsphase des Modells auf die Identifikation und erfolgreiche Implementierung der relevanten Schlüsselprozesse des untersuchten Systems zu konzentrieren und so ihre Annahmen zu wählen. Natürlich können auch Simulationsforscher versuchen, so lange mit verschiedenen Sets von Annahmen zu experimentieren, bis sich die gewünschten Ergebnisse ergeben; dies ist bei der Simulationsmethodik aber deutlich schwieriger durchzuführen, da weniger offensichtlich ist, wie einzelne Annahmen sich auf das komplexe Verhalten interaktiver Prozesse auswirken.⁴⁸²

Obwohl die Computersimulation aufgrund dieser Vorzüge eine wichtige Methode in der sozialwissenschaftlichen Forschung geworden ist, fallen die Einschätzungen ihres Wertes für die Theorieentwicklung immer noch heterogen aus und werden kontrovers diskutiert.⁴⁸³ Die Diskussion in der wissenschaftlichen Literatur zu dieser Frage soll im Folgenden kurz beschrieben werden, um den Wert der Simulationsmethode für die Theoriebildung zu ergründen.

3. Theoriebildung mittels Computersimulationen

Simulationsforscher sehen sich insbesondere in der Managementwissenschaft immer noch einer unterschwellig Skepsis durch die Verwender traditioneller Forschungsmethoden ausgesetzt.⁴⁸⁴ Einige nehmen an, bei Computersimulationen handele es sich lediglich um „Spielzeugmodelle“ realer Phänomene, die auf der einen Seite entweder offensichtliche Abläufe trivial replizieren oder aber in ihrer Abstraktion so weit von der Realität abrücken, dass man aus ihren Ergebnissen keine Erkenntnisse für den Ausbau wissenschaftlicher Theorien gewinnen

⁴⁸² Vgl. Harrison et al. 2007 S. 1237

⁴⁸³ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.480

⁴⁸⁴ Vgl. hierzu und zu den folgenden Ausführungen Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S. 480f.

kann.⁴⁸⁵ So müssen auch bei der vorliegenden Studie zum Beispiel bei der Implementierung von Hierarchie und sozialer Einflussnahme in ein Computermodell starke Vereinfachungen vorgenommen werden. Konstrukte in Simulationen werden oft abstrahierend und vereinfacht gemessen, z. B. in einer Abfolge von bits der Ausprägungen „0“ und „1“ als Repräsentation verschiedener Organisationen⁴⁸⁶ oder Strategien⁴⁸⁷. Bei der im Rahmen dieser Arbeit zu leistenden Simulation werden ähnliche Vereinfachungen zwingend vorzunehmen sein, wie zum Beispiel die Beschränkung der Anzahl verfügbarer Lösungen, der Anzahl der Organisationsmitglieder oder der Zeitspanne, die betrachtet wird. Die Ergebnisse von Simulationsarbeiten können deshalb uneindeutig sein.⁴⁸⁸ Aus dieser Perspektive bleibt der Wert von Simulationen für die vorliegende Fragestellung eher fragwürdig.⁴⁸⁹

Auf der anderen Seite wird argumentiert, dass Simulationen sehr gut geeignet sind, zur Theoriebildung beizutragen.⁴⁹⁰ Wie oben dargestellt, eignen sie sich besser als deduktive Ansätze zur Modellierung von komplexen, interdependenten Beziehungen zwischen Konstrukten, deren steigende Relevanz in der Sozialwissenschaft, insbesondere im modernen Managementprozess⁴⁹¹ und der zeitgenössischen Organisationstheorie⁴⁹², zunehmend hervorgehoben wird. Ihr Wert wird besonders deutlich, wenn die Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen empirischen Daten nicht von vornherein in ausreichendem Maße gegeben ist.⁴⁹³

Simulationen können auch durch die ihnen inhärente Notwendigkeit zur expliziten Formalisierung dazu beitragen, die theoretische Logik von bisher nur verbal formulierten Theorien zu spezifizieren und besser fassbar zu machen.⁴⁹⁴ Sie können das langfristige Verhalten von sozialen Gebilden darstellen, bei denen das

⁴⁸⁵ Vgl. die Studien von Chattoe 1998 passim oder Fine & Elsbach 2000 passim

⁴⁸⁶ Vgl. Bruderer & Singh 1996 S.1322ff.

⁴⁸⁷ Vgl. Rivkin 2001 S.274ff.

⁴⁸⁸ Vgl. Fichman 1999 S.313-327

⁴⁸⁹ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S. 480

⁴⁹⁰ Vgl. hierzu und zu den folgenden Ausführungen Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.480f.; Gilbert & Troitzsch 2005 S.3.

⁴⁹¹ Vgl. Schreyögg 1991 S.255ff.

⁴⁹² Vgl. Anderson 1999 S.216ff.; Schreyögg 2008 S.70

⁴⁹³ Vgl. Zott 2003 S.121

⁴⁹⁴ Vgl. Carroll & Harrison 1998 passim; Kreps 1990 passim

Systemverhalten den Interaktionen multipler organisationaler und strategischer Prozesse unterliegt, insbesondere, wenn diese sich simultan im Zeitablauf entwickeln.⁴⁹⁵

Macht man sich diese Sichtweise zu Eigen, stellt die Simulation eine interessante Option zur Spezifizierung und Erweiterung bestehender Theorie in der Organisationsforschung dar.⁴⁹⁶

4. „Roadmap“ zur Simulationsforschung

Davis, Eisenhardt und Bingham schlagen zur Weiterentwicklung von Theorien durch Simulationen ihre „roadmap“ gleichermaßen als Leitfaden, denn auch als Sammlung von Qualitätskriterien für qualitativ hochwertige, wissenschaftliche Simulationsforschung vor, der ein Simulationsforschungsprojekt in eine Abfolge von 7 Schritten gliedert.⁴⁹⁷ An diesem Leitfaden orientiert sich die vorliegende Forschungsarbeit; er ist in Abbildung 12 dargestellt.

Davis und seine Koautoren schlagen vor, dass nach der Festlegung der Forschungsfrage (Schritt 1) eine möglichst klar strukturierte Theorie gewählt werden sollte (Schritt 2), in dem Sinne, dass sie eine übersichtliche Anzahl von Prämissen und Variablen beinhaltet („simple theory“); diese sollten grundsätzlich empirisch fundiert sein. Die Beziehungen zwischen Variablen betreffend sollte noch Forschungsbedarf bestehen; besonders interdependente Prozesse und nicht-lineare Mechanismen, eignen sich hervorragend für die Simulation.⁴⁹⁸

Hierauf folgt die Wahl des Simulationsansatzes (Schritt 3). Neben den in der Management- und Organisationstheorie am häufigsten verwendeten agentenbasierten Modellen⁴⁹⁹ sind hier cellular automata⁵⁰⁰, genetic algorithm⁵⁰¹, NK fitness landscapes⁵⁰², system dynamics⁵⁰³ und stochastic processes⁵⁰⁴ die am

⁴⁹⁵ Vgl. Repenning 2002 passim; Zott 2003 S.121

⁴⁹⁶ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.480

⁴⁹⁷ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S. 482f.

⁴⁹⁸ Vgl. die Selbstverstärkungsmechanismen pfadabhängiger Prozesse in Abschnitt B.IV.2 dieser Arbeit

⁴⁹⁹ Vgl. beispielsweise die Studien von Zott 2002; Andreoni & Miller 1995; Bruderer & Singh 1996

⁵⁰⁰ Vgl. beispielsweise die Studien von Lomi & Larsen 1996

⁵⁰¹ Vgl. beispielsweise die Studien von Zott 2002; Bruderer & Singh 1996

⁵⁰² Vgl. beispielsweise die Studien von Rivkin 2000; Gavetti & Levinthal 2000

⁵⁰³ Vgl. beispielsweise die Studien von Sastry 1997; Rudolph & Repenning 2002

weitest verbreitetsten; der passende Simulationsansatz ist abhängig von Forschungsfrage, Annahmen und theoretischer Logik des zugrundeliegenden formalen Modells zu wählen.

Mit Hilfe des Simulationsansatzes kann nun das formale Modell implementiert, also in Computercode übertragen werden (Schritt 4); hierbei werden die theoretischen Konstrukte operationalisiert und die theoretische Logik des Modells in einem Computerprogramm spiegelhaft abgebildet.

Der Computercode sollte nun verifiziert werden (Schritt 5), am besten, indem geprüft wird, ob die Simulationsergebnisse die Vorhersagen der Theorie reproduzieren können, auf der sie basieren. Diese Überprüfung ist ein wichtiger Schritt und eine Hürde, die jedes wissenschaftliche Simulationsmodell nehmen muss.⁵⁰⁵ Ferner sollte die Implementierung einer Robustheitsüberprüfung unterzogen werden. So soll sichergestellt werden, dass die Voraussagen des Simulationsmodells sich aus der zugrundegelegten Logik und den Beziehungen zwischen den Konstrukten ergeben und es durch Veränderungen der Repräsentation nicht zu grundsätzlich anderen Ergebnissen kommt: Schlägt die Reproduktion früherer Ergebnisse oder die Robustheitsüberprüfung fehl, muss das formale Modell und/oder der darauf entwickelte Computercode überprüft und korrigiert werden.

⁵⁰⁴ Vgl. beispielsweise die Studien von March 1991; Carroll & Harrison 1998; Zott 2003

⁵⁰⁵ für die vorliegende Simulationsstudie finden sich die Ergebnisse der Robustheitsüberprüfung für das einfache Modell in Abschnitt E.I.7 und für das fortgeschrittene Modell in Abschnitt E.II.6 dieser Arbeit

Abbildung 12: “Roadmap“ zur Theoriebildung durch Simulationen

TABLE 1
Roadmap for Developing Theory Using Simulation Methods

Step	Activities	Rationale
Begin with a research question	<ul style="list-style-type: none"> • Determine a theoretically intriguing research question • Look for a basic tension like structure versus chaos, long versus short run 	Focuses efforts on a theoretically relevant issue for which simulation is especially effective
Identify simple theory	<ul style="list-style-type: none"> • Select simple theory that addresses the research question • Look for intertwined processes (e.g., competition and legitimation), nonlinearities, and longitudinal effects • Look for theory that requires data that are challenging to obtain 	<ul style="list-style-type: none"> • Forms basis of computational representation by giving shape to theoretical logic, propositions, constructs, and assumptions • Focuses efforts on theoretical development for which simulation is especially effective
Choose a simulation approach	<ul style="list-style-type: none"> • Choose simulation approach that fits with research question, assumptions, and theoretical logic • If the research does not fit an approach or if the approach requires extensive modification, choose stochastic processes 	Ensures that the research uses an appropriate simulation approach given the research at hand
Create computational representation	<ul style="list-style-type: none"> • Operationalize theoretical constructs • Build computational algorithm that mirrors theoretical logic • Specify assumptions • Ensure that computational representation allows theoretically valuable experimentation 	<ul style="list-style-type: none"> • Embodies theory in software • Provides construct validity • Improves internal validity by requiring precise constructs, logic, and assumptions • Sets the stage for theoretical contributions
Verify computational representation	<ul style="list-style-type: none"> • Replicate propositions of simple theory with simulation results • Conduct robustness checks of computational representation • If verification fails, correct theory and/or software coding 	<ul style="list-style-type: none"> • Confirms accuracy and robustness of computational representation • Confirms internal validity of the theory
Experiment to build novel theory	Create experimental design (e.g., vary construct values, unpack constructs, alter assumptions, add new features) based on likely theoretical contribution and realism	<ul style="list-style-type: none"> • Focuses experimentation on theory development • Builds new theory through exploration, elaboration, and extension of simple theory
Validate with empirical data	Compare simulation results with empirical data	Strengthens external validity of the theory

Quelle: Davis et al. (2007) S.482

Erst jetzt starten die eigentlichen Simulationen (Schritt 6). Da bei der Modellierung nicht-linearer Prozesse häufig eine Sensitivität auf Anfangsbedingungen vorliegt, führen stochastische Elemente in der Implementierung des formalen Modells dazu, dass das Ergebnis eines einzelnen Simulationsdurchlaufs nicht repräsentativ ist und ein zweiter Simulationsdurchlauf mit hoher Wahrscheinlichkeit andere – unter Umständen massiv abweichende Ergebnisse zeigt.⁵⁰⁶ In diesem Fall bietet sich die Monte-

⁵⁰⁶ Vgl. Gilbert & Troitzsch 2005: „Second, many simulations are path-dependent: the outcomes depend on the precise initial conditions chosen because these affect the ‚history‘ of the simulation. In other words, the outcomes may be very sensitive to the precise values of some of the assumptions in the model.“ (S.23) Man beachte, dass Gilbert & Troitzsch hier das weite Verständnis von Pfadabhängigkeit verwenden, das im Rahmen dieser Arbeit nicht Verwendung findet. Im vorliegenden Zitat liegt der Fokus auf den Ausführungen zum Zusammenhang von Annahmenselektivität und Sensitivität auf Anfangsbedingungen.

Carlo-Methode⁵⁰⁷ an: Hierbei wird eine Vielzahl von Simulationen nacheinander durchlaufen, wobei die unabhängigen Variablen des Modells konstant gehalten werden. Aggregiert man die Ergebnisse, kann von dem einzelnen Simulationsdurchlauf abstrahiert werden und das Systemverhalten beschrieben werden, ohne dass die zufälligen Elemente die Ergebnisse massiv beeinträchtigen können. Auf diese Weise erhält man einen Eindruck von der Verteilung der Simulationsresultate. In deterministischen Modellen ohne stochastische Elemente reicht ein einziger Simulationsdurchlauf, da hier immer exakt dasselbe Ergebnis produziert wird.

Zuletzt sollten die Ergebnisse mit empirischen Methoden oder mit Ergebnissen anderer Modelle validiert werden (Schritt 7), um die externe Validität der Simulation zu erhöhen.

Die hier vorgestellte roadmap, als Orientierungs-Leitfaden zur wissenschaftlichen Anwendung der Methode Computersimulation in der Managementwissenschaft zum Zwecke der Prüfung und Erweiterung von Theorien, soll im Folgenden Kapitel verwendet werden, in dem die Durchsetzungskraft von selbstverstärkenden Effekten in hierarchischen Organisationen untersucht wird.

⁵⁰⁷ Vgl. Law & Kelton 1991 S.113f.

E. Simulation von selbstverstärkenden Effekten in hierarchischen Organisationen

Zunächst soll unter Bezugnahme auf die roadmap⁵⁰⁸ ein einfaches Simulationsmodell entwickelt werden. Besonderheiten des institutionellen Wandels *im organisatorischen Kontext* bleiben hierbei zunächst unberücksichtigt; insbesondere wird bei der Entwicklung des einfachen Modells zunächst auf die Formalisierung zentraler Eigenschaften von Organisationen, vor allem die in der Organisationsstruktur festgelegte ungleiche Machtverteilung zwischen den Organisationsmitgliedern, verzichtet, da sie aufgrund anspruchsvoller Implementierung, zusätzlichen unabhängigen Variablen und somit einer höheren Komplexität der Ergebnisse eine Validierung des einfachen Modells erschweren würden. Nach einer erfolgreichen Implementierung und Validierung des einfachen Modells kann dieses mit der sogenannten building-block Methode⁵⁰⁹ sukzessive um Organisationsstruktur und Machtasymmetrie in Form von organisatorischer Hierarchie erweitert werden (siehe Abschnitt E.II). So kann das einfache Modell zu einem fortgeschrittenen Modell institutionellen Wandels in Organisationen weiterentwickelt werden. Das fortgeschrittene Modell wird schließlich detailliert ausgewertet, um die zentrale Forschungsfrage zu beantworten, wie sich Hierarchie in Organisationen auf den pfadabhängigen Prozess institutionellen Wandels auswirkt.

I. Ein einfaches Simulationsmodell institutionellen Wandels

Zunächst soll die sehr enge Problemstellung für das einfache Modell abgegrenzt werden. Im einfachen Modell wird die Entwicklung des institutionellen Gefüges unter dem Einfluss von Komplementaritätseffekten in einem abstrakten sozialen System untersucht, das in Anlehnung an die Marktlogik und die dort vorherrschende neoklassische Prämissenwelt zunächst eine rein dezentrale Entscheidungsfindung und keinerlei Machtasymmetrie kennt. Nach einer Erläuterung der formalen Modellierung und der Implementierung in Netlogo⁵¹⁰ werden die Ergebnisse vorgestellt. Die Güte des Modells und die Validität der

⁵⁰⁸ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.482

⁵⁰⁹ Vgl. Harrison et al. 2007 S.1241

⁵¹⁰ Programmierumgebung für sozialwissenschaftliche Simulationen

Ergebnisse werden in einem anschließenden Abschnitt diskutiert. Es wird argumentiert, dass die Formalisierung und die Repräsentation im Computercode des einfachen Modells valide und reliabel ist. Es bildet somit eine geeignete Ausgangsbasis für eine im nächsten Kapitel folgende Erweiterung um Organisationsstruktur, wodurch es schließlich möglich wird, den Prozess institutionellen Wandels in hierarchischen Organisationen zu untersuchen.

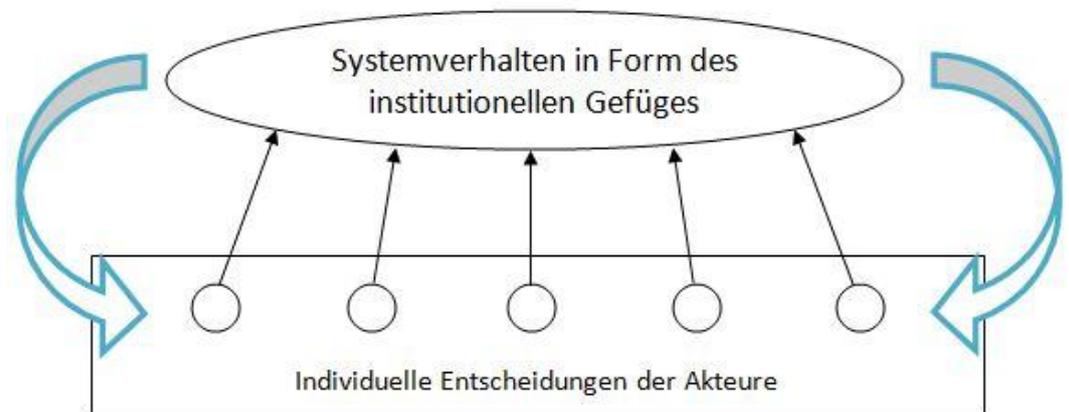
1. Problemstellung

Institutionen zeigen sich als emergente Phänomene auf der Makroebene sozialer Systeme, ihre Entstehung und Veränderung lässt sich aber nicht ohne die auf der jeweiligen Mikroebene zugrundeliegenden Prozesse erklären.⁵¹¹ Der institutionelle Wandel in sozialen Systemen stellt sich also als Mehrebenen-Problem dar. Auf einer Mikroebene treffen Akteure Entscheidungen ihr Verhalten betreffend und erst auf der Makroebene entsteht in emergenter Weise durch das Zusammenspiel der Verhaltensentscheidungen auf der Mikroebene das sogenannte Systemverhalten. Dies ist insbesondere für Systeme relevant, in denen selbstverstärkende Effekte wirken, da hierdurch Einzelentscheidungen magnifiziert werden und auf emergente Weise das Systemverhalten beeinflussen können.

Das institutionelle Verhalten von sozialen Systemen im Zeitablauf darzustellen und die Ursachen für die Entwicklung des Systemverhaltens der Analyse zugänglich zu machen ist also das Ziel der folgenden Formalisierung. Das Hauptproblem bei der Formalisierung von multi-level-Problemen besteht dabei in der Interdependenz der Prozesse. Die Akteure auf der Mikroebene treffen ihre Entscheidungen abhängig von individuellen Faktoren, aber auch vom aktuellen Systemzustand auf der Makroebene, soweit sie dieses beobachten können oder es auf indirekte Weise ihr Verhalten beeinflusst. Das Systemverhalten bildet sich jedoch erst durch die Interaktion der Akteure auf der Mikroebene heraus. Das Systemverhalten und das Entscheidungsverhalten der Akteure auf der Mikroebene beeinflussen sich also ständig gegenseitig. Dies wird Abbildung 13 graphisch veranschaulicht.

⁵¹¹ Vgl. Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.37; vgl. auch Anderson 1999 S.216ff. sowie Brown & Eisenhardt 1998 S.18.

Abbildung 13: Gegenseitige Beeinflussung von Entscheidungsverhalten der Mikroebene und dem Systemverhalten auf der Makroebene in multi-level Problemen



Erläuterung: Die Abbildung soll den interdependenten multi-level-Prozess veranschaulichen, der die Entscheidungen der Akteure auf der Mikroebene (unten) mit dem emergenten Systemverhalten auf der Makroebene (oben) rückkoppelt; Quelle: eigene Darstellung

Interdependente multi-level-Prozesse sind analytisch nur schwer zugänglich; dieses Problem verstärkt sich massiv, wenn selbstverstärkende Effekte vorliegen und die Stärke des Einflusses somit nicht-linear ist.⁵¹² Die Simulation stellt in dieser Situation die Methode der ersten Wahl dar.⁵¹³

2. Theoretische Basis

Als theoretische Basis für die formale Modellierung werden die Arbeiten von David, Arthur, North und Ackermann herangezogen⁵¹⁴, die in den Kapiteln 0 und C bereits ausführlich besprochen wurden, und deren Überlegungen sich mittelbar (Arthur) und unmittelbar (David und North) auf die institutionelle Entwicklung in sozialen Systemen beziehen. Modelliert werden sollen Veränderungen im institutionellen Gefüge, wenn durch Veränderungen in der Umwelt oder innerhalb des betrachteten Systems ein neuartiges Abstimmungsproblem auftaucht, das eine neuartige institutionelle Lösung erforderlich macht.⁵¹⁵ Hierbei können selbstverstärkende Effekte wirken. Im einfachen Modell institutionellen Wandels gehen wir davon aus, dass die Akteure, im Modell Agenten genannt, sich dann zwischen mehreren neuen institutionellen Lösungen für ein Problemfeld

⁵¹² Vgl. die mathematisch anspruchsvollen und langwierigen Bemühungen von Arthur 1983; Arthur 1988; Arthur 1989; Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994, die trotzdem nur unter sehr restriktiven Annahmen Ergebnisse vorweisen können.

⁵¹³ Vgl. Abschnitt D.II.3 dieser Arbeit; siehe auch Axelrod 1997 passim; Gilbert & Troitzsch 2005 S.5-6; Harrison et al. 2007 S. 1232;

⁵¹⁴ Vgl. Arthur 1989; David 1994; North 1990; Ackermann 2003 S.240

⁵¹⁵ Vgl. March, Schulz & Zhou 2000 S.2

entscheiden müssen. Es wird eine agentenbasierte Modellierung verwendet, da diese geeignet ist, die Emergenz von Makrophänomenen zu untersuchen, die durch die Interaktionen zwischen Akteuren auf einer Mikroebene stattfinden:

“Agent-based simulations are well-suited to examining how interactions among agents at one level of aggregation cause behavior to emerge at a higher level of aggregation.”⁵¹⁶

Einen passenden Rahmen, um die Zufälligkeit der small events⁵¹⁷ und die von der Dichte des clusters abhängige Vermeidung von misfit-Kosten in ein einheitliches Entscheidungsmodell zu überführen, bietet das Erwartungs-Valenz-Modell von Vroom, das im Folgenden kurz vorgestellt wird.

Das Erwartungs-Valenz-Modell von Vroom⁵¹⁸ kann im Bereich der kognitiven Wahltheorien zu den bekanntesten Modellen gezählt werden; seinen Erfolg verdankt es der Tatsache, dass es in der Lage ist, Motivation und Handlungsentscheidungen von Individuen im organisationalen Kontext überzeugend und plastisch darzustellen.⁵¹⁹ Es bietet sich daher als Entscheidungsmodell für Akteure *innerhalb eines organisationalen Kontexts* besonders an.

Im Grundsatz wird von Nutzenmaximierung und rationaler Logik ausgehend ein individueller Entscheidungsprozess modelliert, der auf drei Ebenen abläuft. Auf der individuellen Ebene hat der Akteur die Wahl zwischen 2 oder mehr Handlungsalternativen F_n , wobei jede Handlungsalternative auf der zweiten Ebene mit einem Organisationsziel O_j (auch Ergebnis erster Stufe genannt) verknüpft ist, welches wiederum jeweils auf der dritten Ebene mit Individualzielen Z_k (Ergebnisse zweiter Stufe) verknüpft ist, auf die sich das jeweilige Organisationsziel auswirkt. Das Erwartungs-Valenz-Modell, das in Abbildung 14 dargestellt ist, spezifiziert die Verknüpfungen zwischen den Ebenen nun wie folgt: Den Individualzielen auf der dritten Ebene wird jeweils eine Valenz $V_k^* \geq 0$ zugeordnet, die den Wert des Individualziels j daran bemisst, welchen Nutzen der

⁵¹⁶ Siggelkow & Rivkin 2006 S.782

⁵¹⁷ Zufällige Einflüsse werden in der Formulierung durch die vollständig randomisierte Zufallsvariable E (subjektive Wahrscheinlichkeit) eingeführt, siehe mathematische Formalisierung weiter unten in diesem Abschnitt.

⁵¹⁸ Vgl. zu den folgenden Ausführungen zum Erwartungs-Valenz-Modell Vroom 1964 S.15

⁵¹⁹ Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.537

fokale Entscheider aus der Erreichung dieses Ziels ziehen kann. Die Verknüpfung zwischen Individualzielen und Organisationszielen wird über sogenannte Instrumentalitäten $-1 < I_{j,k} < +1$ geleistet, die angeben, ob ein Organisationsziel O_j die Erreichung eines Individualziels Z_j positiv ($I_{j,k} > 0$), negativ ($I_{j,k} < 0$) oder gar nicht ($I_{j,k} = 0$) beeinflusst. Man beachte, dass $I_{j,k}$ auch Werte zwischen 0 und 1 (-1) annehmen kann, womit unterschiedliche Stärken von positiven (negativen) Implikationen von O_j auf Z_k formalisiert werden können. Die Valenz V_j des Organisationsziels O_j errechnet sich dann aus der Summe der Produkte der Valenzen der Ergebnisse zweiter Ordnung V_k mit den zugehörigen Instrumentalitäten $I_{j,k}$:

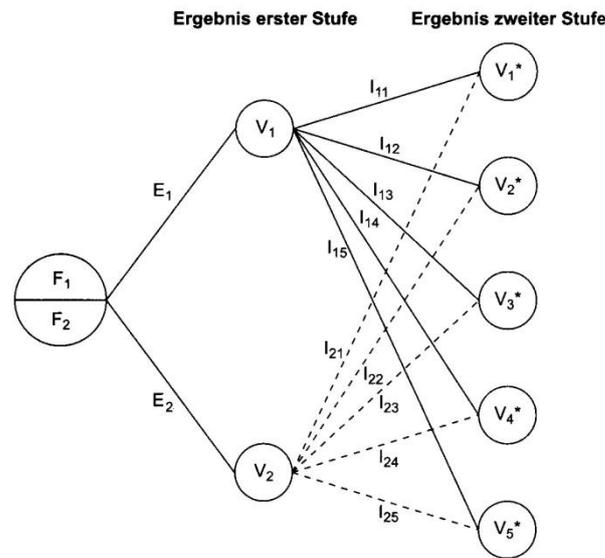
$$V_j = \sum_{k=1}^m (V_k * I_{j,k}) \text{ für alle } j = 1, \dots, n$$

Die Handlungsmotivation der Handlung F_j wird *force to act* (FTA_j) genannt und wird als Produkt der Valenz von V_j und der subjektiven Wahrscheinlichkeit⁵²⁰ $E_j \in [0,1]$ berechnet:

$$FTA_j = E_j * V_j = E_j * [\sum_{k=1}^m (V_k * I_{j,k})]$$

⁵²⁰ Erläuterung zur subjektiven Wahrscheinlichkeit: Im EVM werden die Valenzen der möglichen Ergebnisse erster Ordnung mit der subjektiven Wahrscheinlichkeit multipliziert, die angibt, für wie wahrscheinlich der Entscheider ein Erreichen der Ergebnisses erster Ordnung O_j einschätzt, wenn er die Handlung F_j ausführt. Es geht hier also die zum Zeitpunkt der Entscheidung perzipierte Erfolgsquote ein, die den rationalen Entscheidungsprozess subjektiviert. (vgl. hierzu ausführlicher Steinmann & Schreyögg 2005 S.539-540)

Abbildung 14: Das Erwartung-Valenz-Modell nach Vroom



Quelle: Abbildung aus Steinmann & Schreyögg (2005) S.542 in Anlehnung an Vroom (1964) S.15

Die Entscheidungssituation der virtuellen Akteure in der agentenbasierten Modellierung kann nun auf Grundlage des vorgestellten Erwartungs-Valenz-Modells operationalisiert werden. Diese Operationalisierung erfordert nur wenige Anpassungen, die ausführlich im folgenden Abschnitt erläutert sind, der die formale Modellierung der Simulation zeigt.

Aus den umfangreichen theoretischen Grundlagen wurde in Abschnitt C.IV.3.a) das konzeptionelle Argument der institutionellen Entwicklung unter dem Einfluss von Komplementaritätseffekten hergeleitet und in den Mittelpunkt der Betrachtungen gestellt. Als theoretisches Entscheidungsmodell dient im Folgenden das eben vorgestellte Erwartungs-Valenz-Modell. Die formale Modellierung wird nun aus diesen theoretischen Vorarbeiten abgeleitet.

3. Formale Modellierung

Die Variablen des formalen Modells, ihre Eigenschaften und die Relationen zueinander ergeben sich aus der zugrundegelegten theoretischen Basis der Theorie der Pfadabhängigkeit⁵²¹, der neuen Institutionenökonomie⁵²² und der Entscheidungstheorie nach Vroom⁵²³. Um die interne Validität zu stärken, soll

⁵²¹ Vgl. Abschnitt 0 und C.IV dieser Arbeit

⁵²² Vgl. Abschnitt C.I, C.II und C.III dieser Arbeit

⁵²³ Vgl. Abschnitt E.I.2 dieser Arbeit

deutlich gemacht werden, dass trotz der zwingend vorzunehmenden Vereinfachungen die Kernkonzepte der Theorie in einem formalen Modell umgesetzt werden können. Dies ermöglicht im zweiten Schritt eine Implementierung in Computercode.

Am Anfang pfadabhängiger Prozesse steht eine Phase, in der small events den Verlauf der Entwicklungen beeinflussen können. Die Entscheidung der Akteure muss also wenigstens zu Beginn des Prozesses auch zufälligen Einflüssen unterliegen.⁵²⁴ Zufällige Ereignisse stellen den ersten Einflussfaktor im individuellen Entscheidungsprozess dar und bilden persönliche Vorlieben, Erfahrungen und andere Faktoren ab, die von der Perspektive des objektiven Beobachters des sozialen Systems als nicht prognostizierbare Faktoren angesehen und daher durch die Zufallsvariable E_j randomisiert werden können. Der zweite relevante Faktor im Entscheidungsprozess der Agenten ist das Bestreben, misfit-Kosten zu vermeiden. Diese entstehen, wenn eine institutionelle Lösung umgesetzt wird, die im Widerspruch zu einem bereits verdichteten institutionellen cluster steht.⁵²⁵ Das immer wiederkehrende Entscheidungsproblem der Akteure auf der Mikroebene lässt sich in Anlehnung an das Erwartungs-Valenz-Modell wie folgt rekonzeptionalisieren: Ein Akteur muss sich zwischen mehreren Handlungsmöglichkeiten entscheiden, die jeweils die Adoption einer institutionellen Lösung für ein aktuelles Problem beinhalten. Um das formale Modell einfach zu halten, was sowohl der Transparenz, als auch der Klarheit des Modells und der Ergebnisse zu Gute kommt⁵²⁶, wird im Folgenden die Wahl zwischen zwei alternativen institutionellen Lösungen modelliert.⁵²⁷ Seien die möglichen institutionellen Lösungen A und B, im Erwartungs-Valenz-Modell *Ergebnisse erster Ordnung* genannt, so bilden die entscheidungsrelevanten Individualziele, auf deren Erreichung sich A bzw. B verschiedentlich auswirken

⁵²⁴ Auch im späteren Verlauf des Prozesses können zufällige Ereignisse auftreten, sie verlieren jedoch im Zeitablauf zunehmend an Wirkungseinfluss, wenn die Dynamik selbstverstärkender Effekte eintritt; vgl. diesen Effekt im Urnen-Modell von Arthur, Ermoliev & Kaniovski 1994 S.36ff.

⁵²⁵ Vgl. Abschnitt C.IV.3 dieser Arbeit

⁵²⁶ Vgl. die Kriterien Transparenz und Klarheit für ein wissenschaftlich hochwertiges formales Modell nach Kreps 1990 S.6-7

⁵²⁷ Es wird dabei davon ausgegangen, dass dies ohne Beschränkung der Allgemeinheit geschehen kann, wie es auch bei früheren Modellierungen in der Pfadtheorie gezeigt werden konnte, vgl. hierzu Arthur 1989 S.122

können, die *Ergebnisse zweiter Ordnung*. Im einfachen Modell ist zunächst nur ein Individualziel handlungsweisend: die Vermeidung von misfit-Kosten. Da die Wahl für eine der beiden Lösungen A und B direkt und positiv mit der Vermeidung von misfit-Kosten die dazugehörigen institutionellen cluster betreffend in Zusammenhang steht, werden die Instrumentalitäten auf 1 gesetzt.⁵²⁸ Die Ziele zweiter Ordnung werden nun mit einer Valenz spezifiziert, die angibt, wie hoch der Nutzen dieses Ziels für den Entscheider ist. Anders als bei den meisten Anwendungen des Erwartungs-Valenz-Modells kann dem Individualziel „Vermeidung von misfit-Kosten“ keine konstante Valenz zugeordnet werden, da die misfit-Kosten mit der aktuellen Dichte des institutionellen clusters variieren.⁵²⁹ Die zentrale Frage bei der Formalisierung der Valenz des Einflussfaktors „Vermeidung von misfit-Kosten“ auf die Entscheidung lautet nun, wie die Dichte eines institutionellen clusters mit der Höhe der potentiellen misfit-Kosten inkompatibler Lösungen in Beziehung steht. Für die Fragestellungen der Theorie der Pfadabhängigkeit ist unter Rückgriff auf die Klassifikation von Arthur⁵³⁰ das Regime der increasing returns, im institutionellen Kontext sprechen wir von selbstverstärkenden Effekten,⁵³¹ relevant; für den Mechanismus der Komplementarität von Institutionen bedeutet dies: Je höher die Dichte eines institutionellen clusters, desto höher liegen die individuellen misfit-Kosten bei Realisierung einer zum cluster inkompatiblen institutionellen Lösung. Für die Valenz dieses Individualziels muss also eine mit der Dichte des clusters streng monoton steigende Funktion gewählt werden. Zuletzt kann eine Randomisierung der subjektiven Wahrscheinlichkeiten des EVM eingesetzt werden, um die von der Pfadtheorie postulierten small events abzubilden. Die Rekonzeptionalisierung des Entscheidungsprozesses im vorliegenden Modell anhand des EVM ist in Abbildung 15 dargestellt.

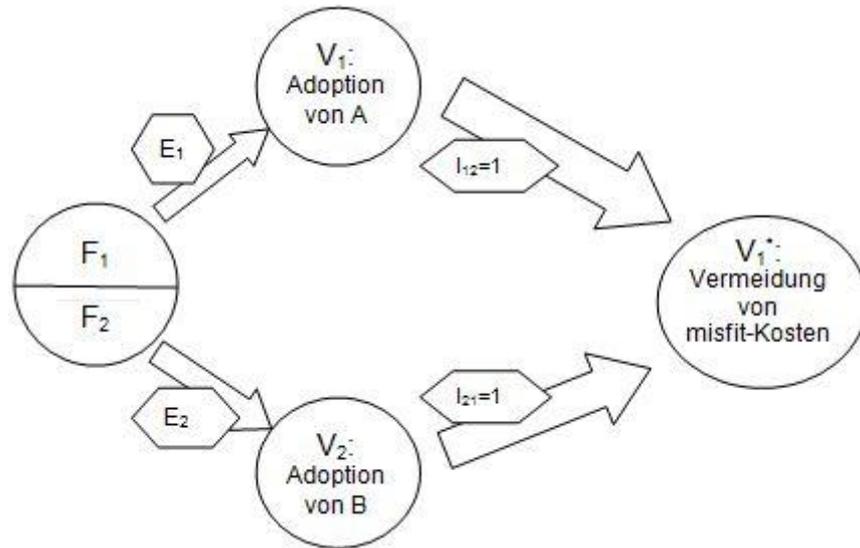
⁵²⁸ Im Erwartungs-Valenz-Modell werden die Ziele zweiter Ordnung über Instrumentalitäten mit den Zielen erster Ordnung verknüpft. Die Instrumentalität variiert im Intervall [+1, -1] und spezifiziert die Relation in der Art, als dass Ziele erster Ordnung sich unmittelbar positiv auf das Ziel zweiter Ordnung auswirken (Instrumentalität +1), das Ziel zweiter Ordnung weder positiv noch negativ beeinflussen (Instrumentalität 0) oder das Ziel zweiter Ordnung negativ beeinflussen (Instrumentalität -1) können.

⁵²⁹ Vgl. hierzu die Ausführungen zum Zusammenhang zwischen der Dichte eines institutionellen clusters und den daraus resultierenden misfit-Kosten für weniger/stärker komplementäre institutionelle Lösungen in Abschnitt C.IV.3.a) dieser Arbeit.

⁵³⁰ Vgl. Arthur 1989S.121

⁵³¹ Vgl. Abschnitt C.II.3 zu *Selbstverstärkungsmechanismen im institutionellen Wettbewerb*

Abbildung 15: Rekonzeptionalisierung des Entscheidungsprozesses anhand des Erwartungs-Valenz-Modells von Vroom



Erläuterung: F: force to act, E: randomisierte subjektive Wahrscheinlichkeiten, V*: Valenz Organisationsziel, I: Instrumentalität, V: Valenz des Individualziels; Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Vroom (1964) S.15

Auf diese Art kann der multi-level Prozess der individuellen Entscheidungen auf der unteren und der Makroeffekt der Verdichtung institutioneller cluster auf der oberen Ebene beschrieben und die Interdependenz formalisiert werden. Die individuellen Entscheidungen, die so einen selbstverstärkenden Prozess (Komplementaritätseffekte) und small events (durch die randomisierte Variable der subjektiven Wahrscheinlichkeit) beinhalten, prägen auf diese Weise die Entstehung der institutionellen Lösung auf der Makroebene, das Systemverhalten. Diese formale Modellierung bildet im Folgenden die Grundlage der Implementierung der Repräsentation des Modells in Computercode.

4. Implementierung

a) Vorgehen

Im Sinne der roadmap für wissenschaftliche Simulationsforschung soll sich die Implementierung auf die relevanten Aspekte der zugrundeliegenden Theorie konzentrieren und das formale Modell so transparent und nachvollziehbar wie möglich in Computercode implementieren.⁵³² Sämtliche vom Autor im Zuge dieser Arbeit vorgenommenen Implementierungen wurden mit Hilfe der

⁵³² Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.482

Programmierungsumgebung Netlogo 3.x und 4.x erstellt.⁵³³ Die umfassende Dokumentation und gerade für Nicht-Informatiker gut erlernbare Programmiersprache in Netlogo, sowie die hier vorhandenen vorgefertigten graphischen Unterstützungselemente machen Netlogo zu einer hervorragend geeigneten Programmierungsumgebung für Sozialwissenschaftler.⁵³⁴

Die Implementierung des einfachen Simulationsmodells institutionellen Wandels (im folgenden Modell M0) erfolgt in Anlehnung an eine freie Netlogo-Implementierung des Opinion-Formation Modells, das auf die Arbeiten von Weidlich & Haag zurückgeht.⁵³⁵ Hierbei handelt es sich um ein agentenbasiertes Modell, man spricht in diesem Zusammenhang auch von *agent based modeling*. Aus diesem Modell, das sich inhaltlich mit der Verbreitung von Meinungen zwischen verschiedenen Populationen beschäftigt, werden die folgenden Eigenschaften übernommen:

Diskreter Zeithorizont

Die Simulation wird zeitbezogen implementiert⁵³⁶ und die Zeit läuft diskret ab. Die gültigen Zeitpunkte, in denen gezählt wird, sind sogenannte ticks. Veränderungen im System sind nur zwischen zwei ticks möglich; die Zeitmessung erfolgt daher stets in ticks, beginnend mit tick 0.

Agentenbasierte Modellierung

Ziel der Modellierung ist es, emergente Phänomene⁵³⁷ auf der Makroebene des Systems zu beobachten, welche nach Anderson⁵³⁸ durch die Interaktion auf der Mikroebene zu Stande kommt. Auf der Mikroebene agieren die Agenten hierbei in der Form interaktiv, dass ihre Handlungen durch die Handlungen anderer Agenten direkt oder indirekt beeinflusst werden. Im einfachen Simulationsmodell

⁵³³ Im Erstellungsprozess der Arbeit wurde jeweils mit der aktuellsten Version von Netlogo gearbeitet, zum Zeitpunkt der Erstellung ist die aktuelle Version Netlogo 4.0.4.

⁵³⁴ Vgl. Gilbert & Troitzsch 2005 S.182

⁵³⁵ Vgl. Weidlich & Haag 1983; vgl. auch Gilbert & Troitzsch 2005 S.102ff.

⁵³⁶ Eine alternative Möglichkeit wäre die sogenannte event-bezogene Implementierung, die hier ebenfalls möglich, hauptsächlich aus technischen Gründen aber nicht gewählt wird, begründet durch den höheren Aufwand bei der Implementierung, sowie der Schwierigkeit, ein vergleichbares Maß an Transparenz zu erreichen.

⁵³⁷ Zu Emergenz vergleiche auch Holland 1998 S.115-124.

⁵³⁸ Philipp Anderson, Nobelpreisträger für Physik und einer der Protagonisten der Komplexitätsforschung am Santa Fe Institute, nach einem wörtlichen Zitat in Waldrop 1992 S.82

M0 kommt diese Interaktion indirekt zustande, da Agenten nicht durch andere Agenten direkt beeinflusst werden, sondern lediglich Makro-Phänomene, die durch eine Vielzahl von individuellen Handlungen in der Vergangenheit entstehen, das aktuelle Entscheidungskalkül des einzelnen Agenten beeinflussen.⁵³⁹

b) Technische Implementierung

Es wird gemäß der formalen Modellierung die Implementierung mit zwei untereinander im Wettbewerb stehenden institutionellen Lösungen A und B vorgenommen.⁵⁴⁰ Das System, das abgebildet wird, ist das der Marktlogik: Akteure entscheiden sich dezentral nach einem individuellen Nutzenkalkül für eine Lösung $M \in \{A, B\}$, ohne dass sie sich durch Macht gegenseitig direkt beeinflussen können. Die Implementierung stützt sich auf die Vorarbeiten in Abschnitt E.I.2 (theoretische Basis) und E.I.3 (Formale Modellierung) und beinhaltet bis auf die Wirkung institutioneller Komplementarität im Entscheidungsverhalten der Agenten keine weiteren Charakteristika eines sozialen Systems. Im System befinden sich 1.000 Agenten, unter denen bei $tick = 0$ (zu Beginn der Simulation) die beiden kompetitiven institutionellen Lösungen gleichverteilt sind, das heißt die Hälfte der Agenten hat A und die andere Hälfte B adoptiert. Dieser Zustand bildet den Ausgangspunkt aller virtuellen Experimente.⁵⁴¹ Die Agenten werden nun gefragt, ob sie sich entweder für die Adoption der institutionellen Lösung A oder B entscheiden möchten. Die Reihenfolge der Agenten ist hierbei zufällig, d.h. für jeden Agenten besteht zu jedem tick eine Wahrscheinlichkeit von 0.01, dass von ihm eine neue Entscheidung bezüglich A oder B verlangt wird, d.h. er muss sich entscheiden, ob er sich weiter gemäß der bisher von ihm favorisierten institutionellen Lösung verhält oder die jeweils andere institutionelle Lösung adoptiert. Da so im Durchschnitt 99% der Agenten pro tick nicht die Möglichkeit erhalten, ihr

⁵³⁹ An dieser Stelle soll auf die wichtigste Erweiterung im fortgeschrittenen Modell M1 hingewiesen werden: Der Abhängigkeit der Entscheidung des Agenten, von den Entscheidungen aller anderen Agenten, die sich in den Makrophänomenen manifestiert, wird hier die direkte Abhängigkeit von Entscheidungen bestimmter Agenten hinzugefügt, die in der organisatorischen Hierarchie weisungsberechtigt sind.

⁵⁴⁰ Vgl. die Ausführungen zur Nicht-Beschränkung der Allgemeinheit in Abschnitt E.I.3 analog zu Arthur 1989 S.122

⁵⁴¹ Eine von 50% verschiedene Diffusionsrate wäre ebenfalls denkbar und entspräche im Urnenmodell von Arthur zu Beginn einem Urnenzustand mit ungleicher Anzahl von Kugeln.

Verhalten zu ändern, wird eine gewisse Kontinuität im Verhalten der Agenten sicher gestellt, die für die Klassifikation einer Verhaltensweise als Institution unerlässlich ist. Ist ein Agent mit einer Entscheidung an der Reihe, so wird für ihn die Motivation berechnet, A bzw. B zu adoptieren. Gemäß dem in Abbildung 15 dargestellten Entscheidungsprozess berechnet sich die *force to act* (FTA) zu jedem Zeitpunkt als das Produkt der randomisierten subjektiven Wahrscheinlichkeit, der konstanten Instrumentalität von 1 und einer Funktion $f_{M,c}(x)$, die die Valenz des Individualziels „Vermeidung von misfit-Kosten“ in Abhängigkeit von der Stärke der Komplementarität c und der aktuellen Dichte x des zugehörigen institutionellen clusters abbildet. Es ergibt sich als FTA_A für A

$$FTA_A(x) = \alpha * 1 * f_{A,c}(x) = \alpha * f_{A,c}(x)$$

und analog für B

$$FTA_B(x) = \beta * 1 * f_{B,c}(x) = \beta * f_{B,c}(x)$$

mit den Zufallsvariablen α, β bel. $\in [0,1]$. Aufgrund ihrer besonderen mathematischen Eigenschaften⁵⁴² und ihrer Eignung in ähnlichen Modellen⁵⁴³ wird für die Implementierung der misfit-Kosten eine Exponentialfunktionenschar der Form

$$f_{M,c}(x) := e^{m*c*x*1.5}$$

mit $M \in \{A, B\}$, $m=1$ für $f_{A,c}(x)$ und $m=-1$ für $f_{B,c}(x)$ gewählt, wobei die Variable c die Stärke der Komplementarität angibt und den Definitionsbereich $c \in [0,1]$ erhält; je höher c , desto stärker steigen die misfit-Kosten bei einer gewissen Dichte x des zugehörigen institutionellen clusters, c ist also ein Maß für die Stärke der selbstverstärkenden Effekte; die Multiplikation mit 1.5 erfolgt lediglich zu Skalierungszwecken.

Nimmt c den Wert 0 an, so reduziert sich die Funktion $f_{M,c}(x)$ auf die konstante Funktion

⁵⁴² So ist die Exponentialfunktion $e(x) = e^{c*x}$ im Intervall $[1, -1]$ stetig, streng monoton steigend, positiv und für $c=0$ konstant; ferner stellt $e(-x)$ die an der y -Achse gespiegelte Funktion von $e(x)$ dar, wodurch bei Verwendung der Variable Verbreitungsgrad als input die gleiche Stärke der Komplementarität für A und B bei gleichem Diffusionsgrad sichergestellt werden kann.

⁵⁴³ Vgl. das opinion formation Modell in Gilbert & Troitzsch 2005 S.102-107

$$f_{M,0}(x) = e^{m \cdot 0 \cdot x^{1.5}} = e^0 = 1$$

es liegen somit keine increasing returns in Form von Komplementaritätseffekten mehr vor, da $f_{M,0}(x)$ unabhängig von M für alle x konstant ist; in diesem Fall liegt das Regime der konstanten returns vor.⁵⁴⁴

Der Agent entscheidet sich laut EVM für A wenn

$$FTA_A(x) > FTA_B(x)$$

und für B wenn

$$FTA_B(x) > FTA_A(x).$$

Für den seltenen Fall dass $FTA_A(x) = FTA_B(x)$ wird festgelegt, dass der Agent sein bisheriges Adoptionsverhalten beibehält.

Als Maß für den Diffusionsgrad einer institutionellen Lösungen wird die Idee der Netlogo-Implementation des Opinion Formation Modells übernommen, und eine Variable „Verbreitungsgrad“ (in der englischen Implementation „spread“) verwendet, die ohne Angabe der dazugehörigen Institution unmissverständlich den institutionellen Zustand des Systems in Abhängigkeit der beiden Diffusionsgrade beschreibt: Hierzu wird der Diffusionsgrad der Institution A, der im Intervall $[0,1]$ liegt, mit dem Faktor 2 multipliziert und vom Ergebnis wird 1 subtrahiert. Die sich so ergebende Variable Verbreitungsgrad bewegt sich dann im Intervall $[-1, +1]$ und wird im Folgenden für die Beschreibung des institutionellen Zustandes des Systems verwendet. Sie enthält gegenüber der Darstellung der beiden Diffusionsgrade der institutionellen Lösungen nicht mehr Informationen, hat aber den technischen Vorteil, dass es möglich ist, ihren Betrag zu betrachten, und dass die Höhe des Betrages dabei ein Maß für den Verbreitungsgrad der *weiter verbreiteten* Institution darstellt, unabhängig davon, ob dies A oder B ist.⁵⁴⁵

⁵⁴⁴ Unabhängig vom Diffusionsgrad von A liegt die Wahrscheinlichkeit, dass der nächste Agent sich für A entscheidet, konstant zu jedem Zeitpunkt genau bei 50%. Der Verbreitungsgrad von A wird also im Zeitablauf wieder auf 50% sinken, wenn der aktuelle höher liegt, bzw. auf 50% steigen, wenn er aktuell niedriger liegt– dies entspricht dem klassischen return regime der constant returns von Arthur (1989). Wie unten gezeigt wird, decken sich die Ergebnisse für diesen Fall mit den von Arthur vorhergesagten.

⁵⁴⁵ Beispiel: Ist der Betrag der Variable Verbreitungsgrad > 0.9 , bedeutet dies, dass entweder der Diffusionsgrad von A oder B über 95% liegt. Verbreitungsgrad > 0.9 bedeutet also, dass sich eine

Später interessieren wir uns für den lock-in und es ist für die Fragestellung dann nur von sekundärem Interesse, ob A oder B eingelocked ist. Die Höhe des Betrages der Variablen *Verbreitungsgrad* eignet sich daher vorzüglich für die Beantwortung der Frage, ob ein lock-in vorliegt. Zusätzlich eignet sich die neue Variable aus technischen Gründen hervorragend als input-Variable x der Funktion $f_{M,c}(x)$.⁵⁴⁶

5. Durchführung der Simulation

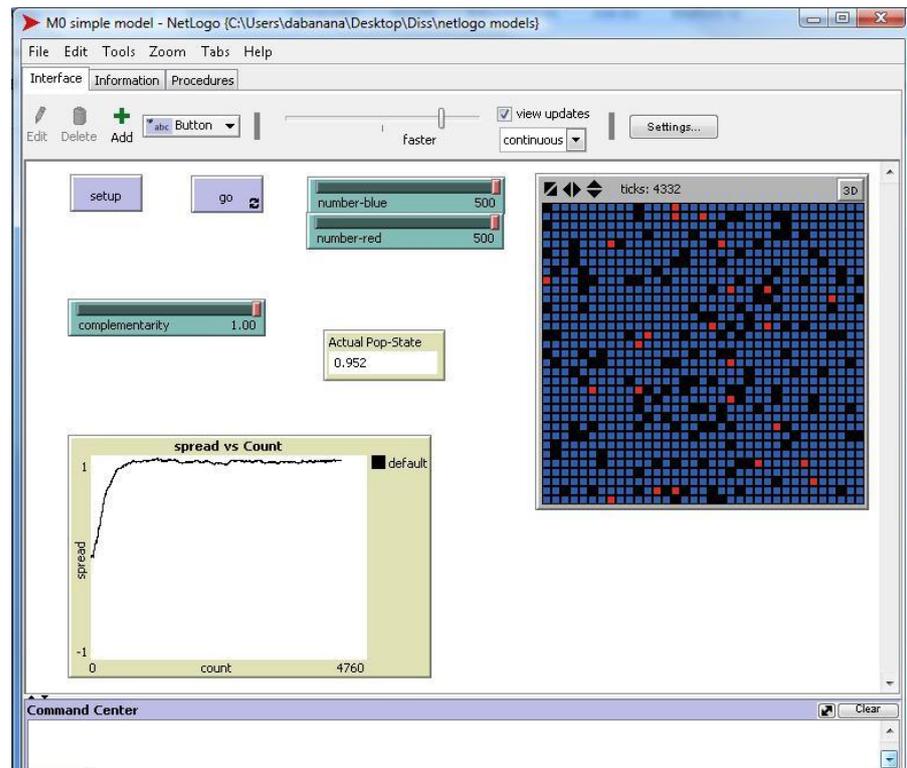
Im einfachen Modell M0 gibt es nur eine unabhängige Variable: Die Stärke des komplementären feedbacks c . Um der Frage nachgehen zu können, wie sich das institutionelle Gefüge im modellierten System abhängig von verschiedenen Stärkegraden der Komplementarität entwickelt, sind nach der Monte-Carlo-Methode⁵⁴⁷ für die verschiedenen Ausprägungen von c jeweils eine größere Anzahl virtueller Experimente durchzuführen. Ein screenshot der Programmoberfläche von M0 liefert Abbildung 16.

der beiden Institutionen mit einem Diffusionsgrad von mind. 95% durchgesetzt hat. Diese Betrachtung ist für viele Fragestellungen der Pfadtheorie von Vorteil, wo das Hauptinteresse der Häufigkeit oder Stärke der Durchsetzung einer Lösung gilt und nicht der spezifischen Lösung selbst.

⁵⁴⁶ Der Grund liegt hier in der Möglichkeit, die Funktionen $f_{A,c}(x)$ und $f_{B,c}(x)$ lediglich durch Vorzeichenumkehr der input-Variablen zu unterscheiden, so dass wenn $f_{A,c}(x) = f_{B,c}(-x)$ für beide Institutionen bei gleichem Diffusionsgrad gilt, die gleiche Stärke komplementären feedbacks wirkt. Dieser Zusammenhang erleichtert die technische Implementation erheblich.

⁵⁴⁷ Vgl. Harrison et al. 2007 S.1234

Abbildung 16: Screenshot des Netlogo-Modells M0



Erläuterung: Dargestellt ist ein einzelner Simulationsdurchlauf für $c = 1$; die graphische Oberfläche links zeigt die Agenten im System zum Zeitpunkt tick = 4332, wobei die blauen Kästchen Agenten darstellen, die aktuell Institution A adoptiert haben und die roten Kästchen analog Agenten zeigen, die B adoptiert haben. Die Kurve links unten bildet die Variable spread im Zeitablauf ab, man erkennt, dass bei einer anfänglichen Ausprägung von 0 innerhalb kurzer Zeit eine Ausprägung nahe 1 erreicht wurde, was der Dominanz von A entspricht.

Bei der hier vorgestellten Implementierung kann c im Bereich $[0,1]$ variiert werden, wobei bei $c=0$ keine Komplementaritätseffekte vorliegen und für $c > 0$ die Komplementarität mit c zunimmt, bis sie bei $c = 1$ ein sehr hohes Niveau erreicht. Für $c=0$ und $c=1.0$ wurden jeweils 100 Simulationsdurchläufe berechnet, wobei jeder Simulationsdurchlauf über ein Zeitintervall von 1,000 ticks lief. Zu jedem Zeitpunkt wurde die oben definierte Variable spread (Verbreitungsgrad)⁵⁴⁸ getrackt, sie bildet den Zustand des institutionellen Gefüges im Zeitablauf ab. Im Folgenden sollen die Ergebnisse vorgestellt und anschließend diskutiert werden.

6. Ergebnisse

Die Ergebnisse des einfachen Modells M0 sollen dazu dienen, es durch Abgleich mit den Ergebnissen von Arthurs deduktiver Analyse und den Voraussagen der Pfadtheorie zu überprüfen. Eine Konsistenz der Ergebnisse von M0 mit den

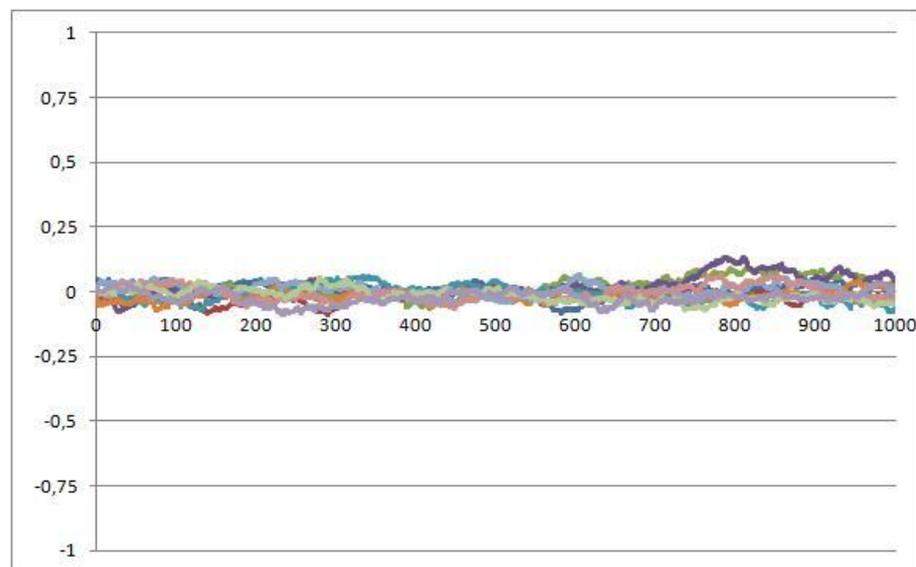
⁵⁴⁸ Zur Definition siehe Kapitel E.I.4.b)

Ergebnissen anderer Forschungsarbeiten und Methoden wie der Arthur'schen Ableitungen⁵⁴⁹ kann als Verifikation der Implementierung von M0 angesehen werden und stärkt die interne Validität des Modells.⁵⁵⁰

a) *Konstante Erträge*

Aufgrund der von Arthur entwickelten Theorie ist für den Fall von konstanten Erträgen zu erwarten, dass sich auch langfristig ein mittlerer Verbreitungsgrad der Institutionen einstellt.⁵⁵¹ Wie oben dargelegt liegen für $c=0$ solche konstanten Erträge vor. Da die abhängige Variable Verbreitungsgrad bei konstanten Erträgen einem random walk⁵⁵² ohne systemischen Einfluss unterliegt, steht zu erwarten, dass der Verbreitungsgrad in diesem Fall langfristig um 0 herum schwankt, zu erwarten sind also mittlere Diffusionsgrade nahe 50% für beide Institutionen. Abbildung 17 zeigt exemplarische Verlaufskurven des Verbreitungsgrades, der um 0 herum schwankt. Das Ergebnis entspricht somit den Erwartungen.

Abbildung 17: Exemplarische Verlaufskurven des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei konstanten Erträgen



Erläuterung zur Abbildung: x-Achse: Zeit in ticks, y-Achse: Verbreitungsgrad

⁵⁴⁹ Vgl. Arthur 1989, 1994

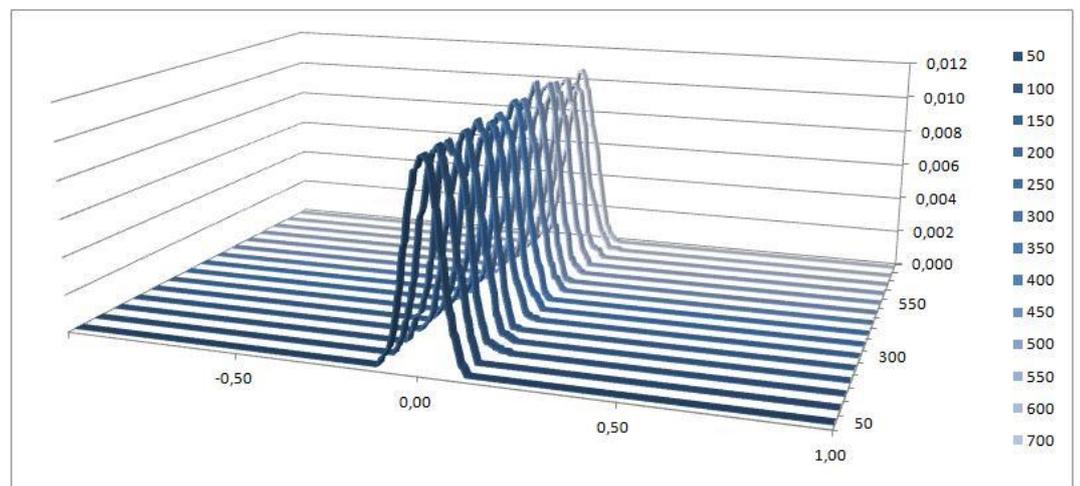
⁵⁵⁰ Davis et al. (2007) führen hierzu aus: „Researchers should verify their computational representation in several ways. The most important is comparing simulation results with the (implicit or explicit) propositions of the simple theory. If the simulation confirms the propositions, then the theoretical logic and its computational representation are likely to be correct.“ (Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.491-492); für eine Unterstützung dieser Argumentation siehe auch Law & Kelton 1991 S.106

⁵⁵¹ Vgl. Arthur 1989 S.121

⁵⁵² Vgl. Arthur 1989 S.120

Um das Systemverhalten mit dem bei anderen Konfigurationen zu vergleichen, bietet sich die Abbildung der Wahrscheinlichkeitsdichte der abhängigen Variable, hier des Verbreitungsgrades, im Zeitablauf an. Abbildung 18 zeigt die aggregierten Ergebnisse von 100 Simulationsdurchläufen mit je 1000 ticks und bildet den Verbreitungsgrad (horizontale x-Achse) im Zeitablauf (räumlich nach hinten verlaufende z-Achse) mit der zugehörigen interpolierten Wahrscheinlichkeitsdichte (vertikale y-Achse) ab.⁵⁵³

Abbildung 18: Interpolierte Wahrscheinlichkeitsdichte des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei konstanten Erträgen



Erläuterung zur Abbildung: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte

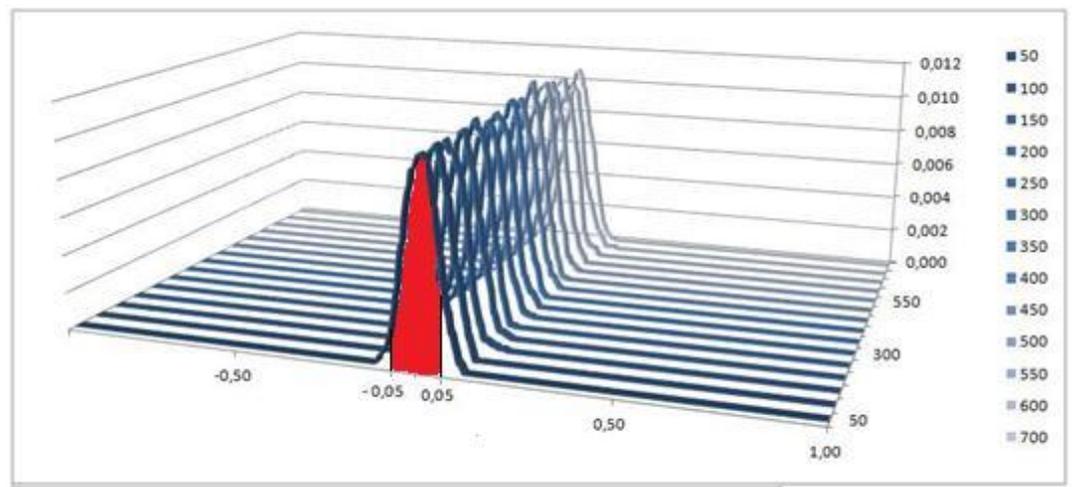
Die Graphik zeigt also mit der Fläche unter der Kurve für jeden diskreten Zeitpunkt z die Wahrscheinlichkeit, im beobachteten System einen Verbreitungsgrad im Intervall $[x_1, x_2]$ anzutreffen. Formal bedeutet dies, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der Verbreitungsgrad x zum Zeitpunkt $\text{tick} = t_1$ im Intervall $[x_1, x_2]$ liegt, als Integral der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f_{t_1}(x)$ von x_1 bis x_2 bestimmt werden kann:

$$\int_{x_1}^{x_2} f_{t_1}(x) dx$$

⁵⁵³ Es handelt sich bei der Darstellung um eine aus dem Histogramm der Simulationsdurchgänge interpolierte Darstellung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der jeweiligen Verbreitungsgrade im Zeitablauf.

Möchte man zum Beispiel anhand der Wahrscheinlichkeitsdichte die Wahrscheinlichkeit bestimmen, mit welcher der Verbreitungsgrad zum Zeitpunkt $tick=50$ zwischen $+0.05$ und -0.05 liegt, so liefert einem die rot markierte Fläche in Abbildung 19 die Antwort in Form einer Wahrscheinlichkeit, welche die rot markierte Fläche zur Gesamtfläche unter der Kurve in Verhältnis setzt. Sie beträgt im konkreten Beispielfall ca. 84%.

Abbildung 19: Interpretation der Wahrscheinlichkeitsdichte



Erläuterung zur Abbildung: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte

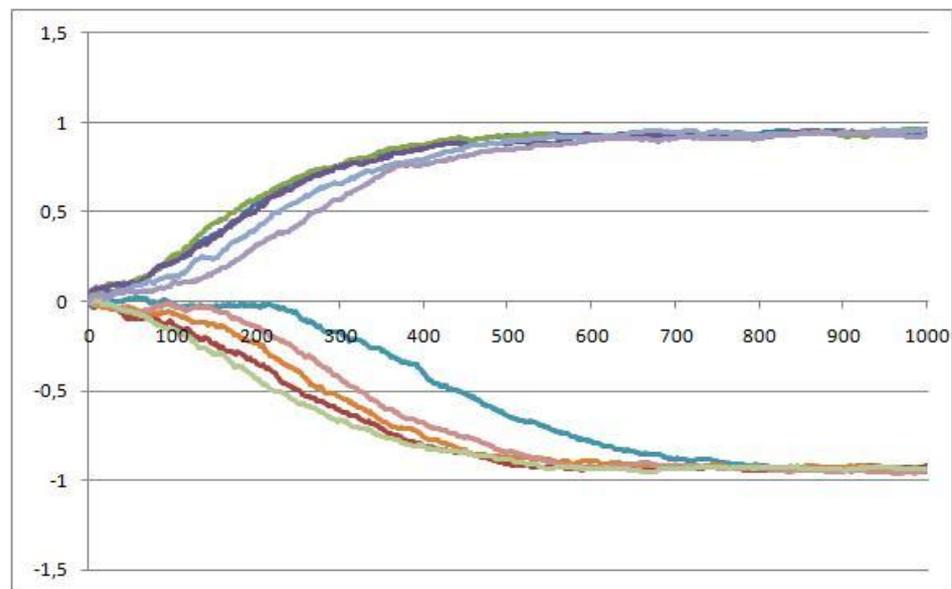
Man erkennt, dass sowohl in der kurzfristigen ($tick=50$), als auch in der langfristigen ($tick>500$) Perspektive ein Verbreitungsgrad nahe 0 vorherrscht. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen des Urnenmodells von Arthur für den Fall der constant returns: Konstante Erträge bewirken, dass die Abfolge der Entscheidungen einen random walk mit einem Erwartungswert von 0 gleicht, mit der Folge, dass der relative Verbreitungsgrad stets um 0 herum schwankt. Beide institutionellen Lösungen koexistieren auf Dauer mit einem Diffusionsgrad nahe 50%; Diversität im institutionellen Gefüge ist zu jedem Zeitpunkt gegeben und ein lock-in somit ausgeschlossen. Völlig anders stellt sich das Systemverhalten für den Fall der increasing returns dar, wie im Folgenden gezeigt wird.

b) Zunehmende Erträge

Unterstellt man hingegen den Mechanismus institutioneller Komplementarität, so liegt das Regime zunehmender Erträge (increasing returns) vor. Für $c=1$ steigen die returns exponentiell mit der Erhöhung des Verbreitungsgrades. In diesem Fall

sollte nach den Vorhersagen der Pfadtheorie der Verbreitungsgrad sehr schnell einen betragsmäßig hohen Wert erreichen, was der Dominanz des Systems durch eine der beiden Lösungen entspricht. Tatsächlich zeigen exemplarische Verlaufskurven in Abbildung 20, dass sich der Verbreitungsgrad im Zeitablauf betragsmäßig nah an 1 annähert und sich dort auf einem hohen Niveau stabilisiert.

Abbildung 20: Exemplarische Verlaufskurven des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei zunehmenden Erträgen



Erläuterung zur Abbildung: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Ob sich die Lösung A (Annäherung des Verbreitungsgrades an 1) oder die Lösung B (Annäherung des Verbreitungsgrades an -1) durchsetzt, hängt von der Entwicklung zu Beginn des Prozesses ab, der zufälligen Ereignissen unterworfen ist. Zu qualitativ gleichen Ergebnissen kommt Arthur mit Hilfe seiner frühen pfadtheoretischen Modellierung technologischer Standards in der Marktperspektive:

„Under increasing returns, magnified by positive feedback, several outcomes are possible. Insignificant circumstances become magnified by positive feedbacks to ‚tip‘ the system into the actual outcome ‚selected‘.“⁵⁵⁴

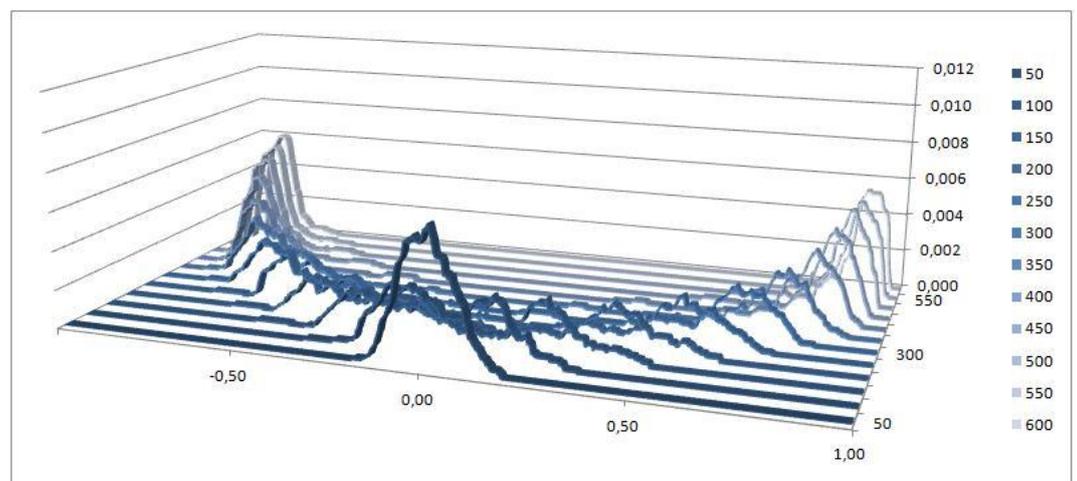
Die Ergebnisse für die interpolierte Wahrscheinlichkeitsdichte⁵⁵⁵ in Abbildung 21 bestätigen den Eindruck der exemplarischen Verlaufskurven: Während im frühen

⁵⁵⁴ Arthur 1989 S.127

⁵⁵⁵ Die Basis der Interpolation bildet auch hier ein Datensatz aus 100 Simulationsdurchläufen mit je 1.000 ticks.

zeitlichen Stadium noch ein mittlerer Verbreitungsgrad um 0 herum vorherrscht, finden sich im Zeitablauf mittelfristig (tick 300) mit höherer Wahrscheinlichkeit betragsmäßige Verbreitungsgrade um 0.75, was Diffusionsgraden der weiter verbreiteten Institution von 87.5%⁵⁵⁶ entspricht. Langfristig (tick > 600) erhöht sich die Wahrscheinlichkeitsdichte extrem, so dass ein betragsmäßiger Verbreitungsgrad über 0.9 erreicht wird. Dies entspricht der Dominanz einer der beiden institutionellen Lösungen mit einem Diffusionsgrad von über 95%.

Abbildung 21: Interpolierte Wahrscheinlichkeitsdichte des Verbreitungsgrades im Zeitablauf bei zunehmenden Erträgen



Erläuterung zur Abbildung: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: interpolierte Wahrscheinlichkeitsdichte

Auch die Ergebnisse für starke selbstverstärkende Effekte ($c=1$) sind konsistent mit den Voraussagen Arthurs⁵⁵⁷ für das Regime der increasing returns: Während der Prozess zu Beginn als flexibel und nonergodisch klassifiziert werden kann, verlieren diese Eigenschaften im Prozessverlauf zunehmend an Prägnanz, bis sich schließlich eine starke Inflexibilität und grundsätzliche Vorhersagbarkeit zukünftiger Systemzustände einstellen. So kommt es auch zu der schon von Arthur vorhergesagten potentiellen Ineffizienz im Zeitablauf. Dieser Zustand kann mit Recht als lock-in im Sinne des Berliner Modells charakterisiert werden.⁵⁵⁸

Im folgenden Abschnitt soll mittels einer Robustheitsanalyse die interne Validität des Modells gestärkt werden, bevor die Ergebnisse im übernächsten Abschnitt

⁵⁵⁶ Diffusionsgrad = (Verbreitungsgrad + 1) / 2

⁵⁵⁷ Vgl. Arthur 1989 S.121

⁵⁵⁸ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.694

zusammenfassend diskutiert und bewertet werden, mit dem Ziel, die externe Validität sicher zu stellen.

7. Robustheitsanalyse

Die Robustheitsanalyse hat das Ziel, zu verifizieren, dass die Simulationsergebnisse nicht von einer spezifischen Repräsentation des zentralen Konstrukts abhängen. Auf diese Weise kann die Korrektheit der Implementierung überprüft und die interne Validität des Modells und damit einhergehend die Verlässlichkeit der Ergebnisse verbessert werden.⁵⁵⁹ Im Rahmen der Robustheitsanalyse wird häufig auch eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt; hierbei wird so vorgegangen, dass die für das Modell relevanten Start-Parameter schrittweise um kleine Beträge variiert und die Änderungen im Systemverhalten beobachtet werden. Für jede Variation muss die Simulation – bei der Monte Carlo-Methode sogar vielfach für jede Variation – neu gestartet werden, um festzustellen, wie das Systemverhalten auf die Variation reagiert.

Im vorliegenden Fall erscheint es sinnvoll, die Robustheit der Simulationsergebnisse in Bezug auf die spezifische Repräsentation dreier zentraler Elemente hin zu prüfen⁵⁶⁰:

- (1) Die Anzahl der Agenten, die willkürlich mit dem Wert 1,000 belegt wurde,
- (2) den anfänglichen Verbreitungsgrad, der willkürlich mit dem Wert 0 belegt wurde, was einem gleichen Diffusionsgrad beider institutioneller Lösungen zu Beginn jeder Simulation entspricht und
- (3) die Wahl der spezifischen Funktion, durch die selbstverstärkendes feedback abgebildet wird, indem sie den Verbreitungsgrad in die entscheidungsrelevanten misfit-Kosten transformiert.

Die zentrale Frage lautet: Kommt es zu grundsätzlich anderen Ergebnissen und/oder zu einer qualitativ andersartigen Dynamik, wenn eines dieser Elemente

⁵⁵⁹ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.492

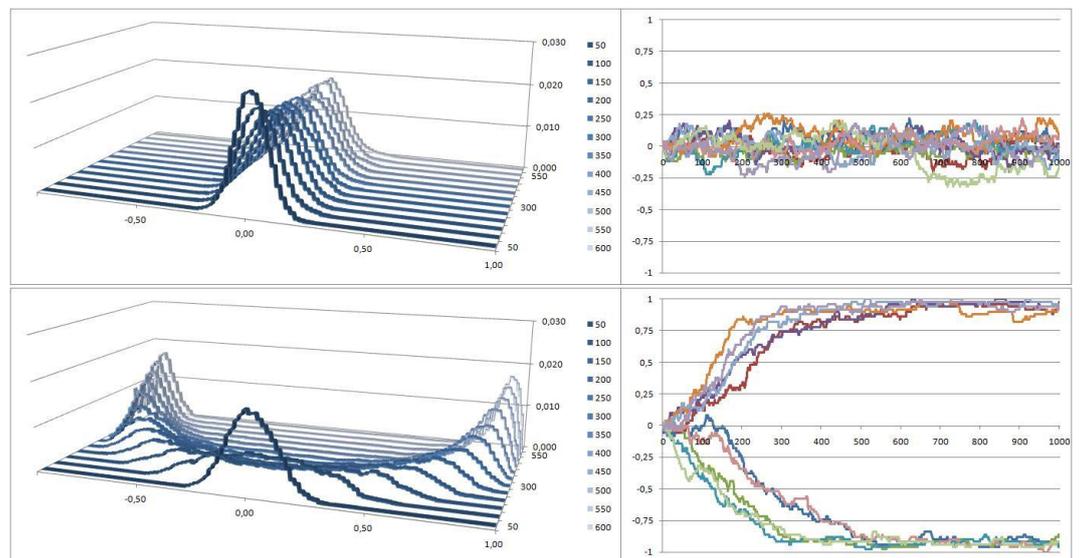
⁵⁶⁰ Man vergleiche an dieser Stelle auch die mathematischen Ausführungen von Weidlich & Haag 1983 (S.45ff.) zu allgemeineren Robustheitsüberlegungen im Opinion Formation Model. Die hier vorliegende Modellierung durch Simulationen erlaubt jedoch die Überprüfung der 3 folgenden Kriterien, die mit Hilfe der analytischen Herangehensweise von Weidlich & Haag nicht geprüft werden können.

in der Computerrepräsentation variiert wird? Es folgen die Ergebnisse der Robustheitsanalyse für die drei potentiell kritischen Elemente.

(1) Anzahl der Agenten im System

Die Anzahl der Agenten wurde vom Anfangswert 1000 in Hunderterschritten bis auf 100 gesenkt und auf der anderen Seite in Tausenderschritten bis auf 10,000 erhöht. Die Auswertung der Daten ergab, dass das Systemverhalten nicht signifikant von der Anzahl der Agenten zu Beginn der Simulation abhing. Gezeigt werden die Ergebnisse für die Extrempunkte der Robustheitsanalyse in Abbildung 22 für 100 Agenten und Abbildung 23 für 10,000 Agenten.

Abbildung 22: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für Anzahl der Agenten = 100

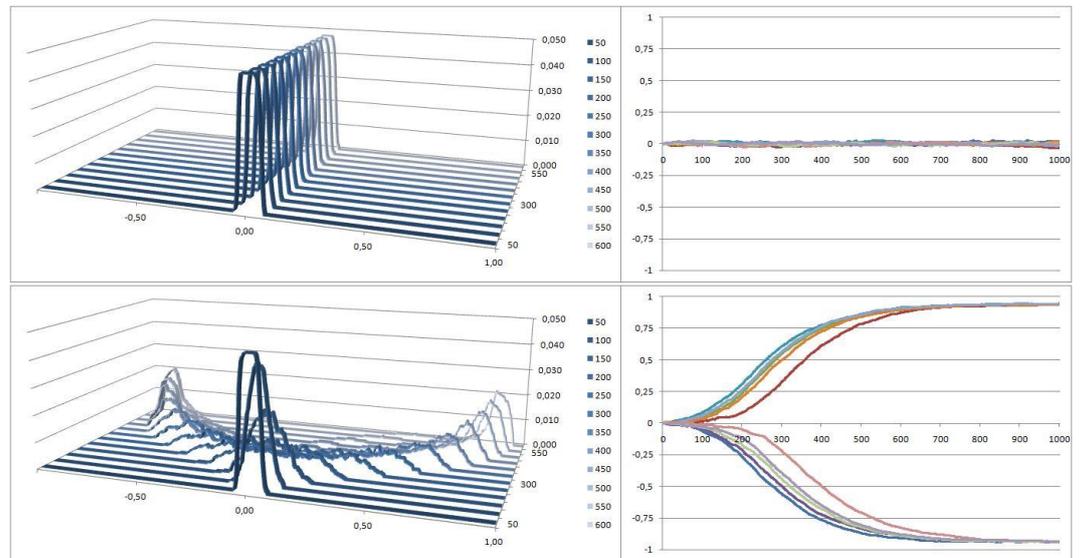


Oben: konstante Erträge; unten: zunehmende Erträge; links die Wahrscheinlichkeitsdichte; rechts Beispielverlaufskurven

Erläuterungen zur Abbildung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Erläuterung zur Abbildung der Beispielverlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Es ist zu erkennen, dass die Verlaufskurven im 100-Agenten-Fall stärker streuen. Dies ist nicht überraschend und dadurch zu erklären, dass die abgebildete Variable Verbreitungsgrad eine relative Variable darstellt. Ist die Grundgesamtheit, auf die sich die relative Variable bezieht geringer ($100 < 10,000$), so hat die Verhaltensänderung eines einzelnen Agenten einen größere Auswirkung auf diese Variable, sie streut deshalb mehr als bei einer deutlich höheren Grundgesamtheit von 10,000.

Abbildung 23: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für Anzahl der Agenten = 10,000



Oben: konstante Erträge; unten: zunehmende Erträge; links die Wahrscheinlichkeitsdichte; rechts Beispielverlaufskurven

Erläuterungen zur Abbildung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Erläuterung zur Abbildung der Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Dennoch ist zu konstatieren, dass sowohl für sehr wenige, als auch für sehr viele Agenten das Systemverhalten sowohl für konstante als auch für zunehmende Erträge qualitativ stabil bleibt, so dass man davon ausgehen kann, dass die Wirkungsweise des Mechanismus⁴, der das Systemverhalten erzeugt, nicht stark sensitiv auf die Anzahl der Agenten reagiert. Die Verwendung von der willkürlichen Zahl von 1,000 Agenten kann also gerechtfertigt werden.

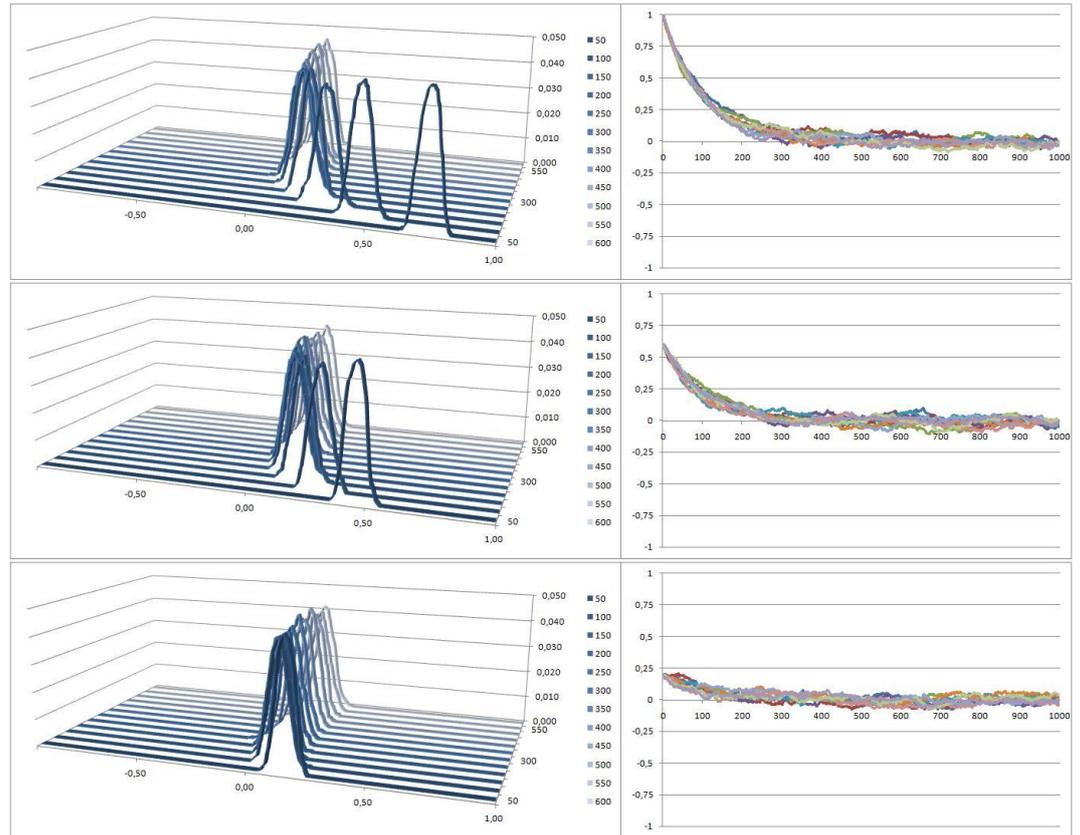
(2) Verbreitungsgrad zu Beginn der Simulation

Die in Abschnitt E.I.6 dargestellten Ergebnisse gehen von einem anfänglichen Diffusionsgrad der beiden institutionellen Lösungen von 50% aus, das entspricht einem Verbreitungsgrad von 0. Hier soll nun der Frage nachgegangen werden, inwiefern ein anderer Verbreitungsgrad zu Beginn der Simulation die Ergebnisse beeinflusst. Hierbei wird wieder zwischen dem konstanten und dem zunehmenden return-Regime unterschieden.

Wenn die gewählte Repräsentation robust ist, sollte sich bei konstanten Erträgen auch bei einem anfänglichen Verbreitungsgrad $\neq 0$ das in E.I.6 gezeigte Ergebnis einstellen, da aufgrund der für diesen Fall konstanten misfit-Funktion $f_{M,0}(x) = 1$ die Wahrscheinlichkeit zu jedem Zeitpunkt und für jeden Entscheider und beide

Lösungen stets 0.5 beträgt. Ein langfristig um 0 schwankender Verbreitungsgrad ist zu erwarten. Exemplarische Ergebnisse der Robustheitsanalyse für verschiedene anfängliche Verbreitungsgrade zeigt Abbildung 24.

Abbildung 24: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für konstante Erträge und Variation des anfänglichen Verbreitungsgrades (spread = 1.0; 0.6; 0.2)



Oben: anfänglicher Verbreitungsgrad 1.0; mitte: anfänglicher Verbreitungsgrad 0.6; unten: anfänglicher Verbreitungsgrad 0.2; links die Wahrscheinlichkeitsdichte; rechts Beispiel-Verlaufskurven

Erläuterungen zur Abbildung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Erläuterung zur Abbildung der Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Die Ergebnisse der Robustheitsanalyse bei konstanten Erträgen bestätigen die Erwartungen: Unabhängig vom anfänglichen Verbreitungsgrad stellt sich langfristig das erwartete Systemverhalten ein, das auch für den anfänglichen Verbreitungsgrad von 0 beobachtet werden konnte.⁵⁶¹ In diesem Fall spielen small events keine Rolle, was die langfristige Lösung des Systems angeht, da das System vergangene Ereignisse „vergisst“. In Übereinstimmung mit den

⁵⁶¹ Bemerkung: auf eine Robustheits-Untersuchung für negative Werte von Verbreitungsgrad kann verzichtet werden, da wegen $f_{A,c}(x) = f_{B,c}(-x)$ (vgl. Fußnote 546) zwingend analoge Ergebnisse erzielt würden; ohne Beschränkung der Allgemeinheit genügt es also, nur die anfänglich stärkere Verbreitung einer der beiden Institution zu testen.

Ergebnissen von Arthur für konstante return-Regimes⁵⁶² gilt hier: history does not matter.

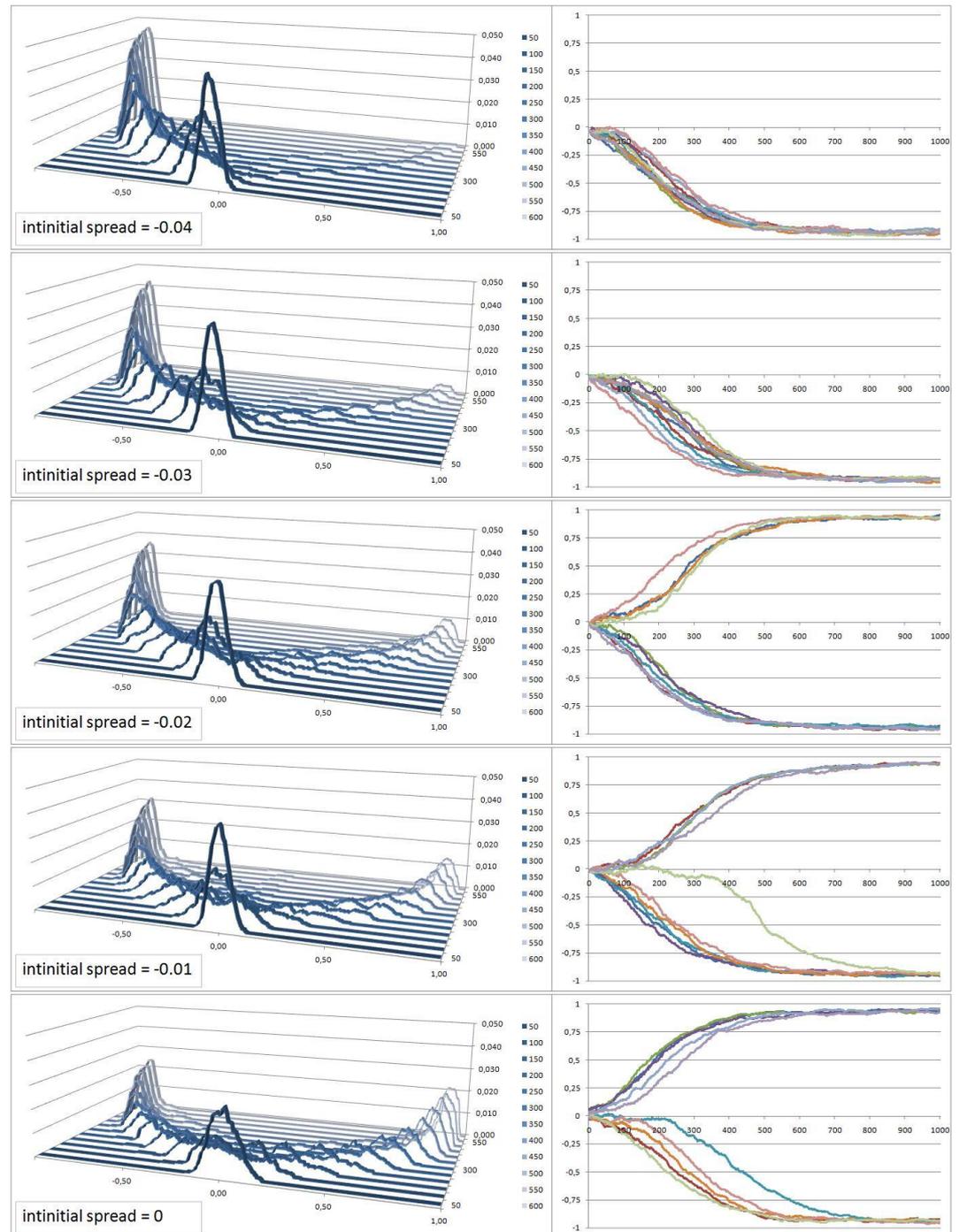
Die Robustheitsprüfung bei zunehmenden Erträgen gestaltet sich, was die Interpretation der Ergebnisse angeht, etwas komplizierter. Aufgrund der zunehmenden Erträge ist für einen anfänglichen Verbreitungsgrad $\neq 0$ nicht zu erwarten, dass beide Lösungen mit gleicher Wahrscheinlichkeit das langfristige Systemverhalten dominieren; vielmehr werden kleine Änderungen des Verbreitungsgrades von der nicht-linearen Dynamik verstärkt. Es ist also vielmehr zu erwarten, dass diejenige Lösung, die mit einem Vorsprung im Diffusionsgrad startet, mit deutlich höherer Wahrscheinlichkeit gelocked wird, als die ihr von Anfang an unterlegene, weniger verbreitete Lösung. Dieses Phänomen wird in der Literatur *Sensitivität auf Anfangsbedingungen* genannt.⁵⁶³ Es ist also langfristig mit einem shift in der Wahrscheinlichkeitsdichte Richtung 1 zu rechnen, wenn der anfängliche Verbreitungsgrad positiv von 0 abweicht; ein shift Richtung -1 ist zu erwarten, wenn der anfängliche Verbreitungsgrad negativ von 0 abweicht.

Die Abbildung 25 zeigt die Ergebnisse für den Fall, dass der Verbreitungsgrad (implementiert in der Variable *spread*) negativ von 0 abweicht. Man erkennt, dass bereits eine geringe anfängliche Abweichung von 0 dazu führt, dass sich die anfänglich stärker verbreitete Institution mit einer deutlich größeren Wahrscheinlichkeit durchsetzt. Je größer die anfängliche Abweichung, desto höher die Wahrscheinlichkeit der Durchsetzung der anfänglich in einer vorteilhafteren Situation befindlichen Institution. Es handelt sich hier also um eine numerische Beschreibung eines Prozesses, der hoch sensitiv auf Anfangsbedingungen reagiert, und der klar von einer Bifurkation gekennzeichnet ist. Dies kann als der numerische Beweis für das Vorliegen eines nonergodischen Prozesses gedeutet werden. Analog zeigt Abbildung 26 die Ergebnisse für eine anfängliche negative Abweichung des Verbreitungsgrades von 0, mit qualitativ gleichen Ergebnissen: auch hier setzt sich die anfänglich minimal bevorteilte Institution mit deutlich höherer Wahrscheinlichkeit durch.

⁵⁶² Vgl. Arthur 1989 S.121

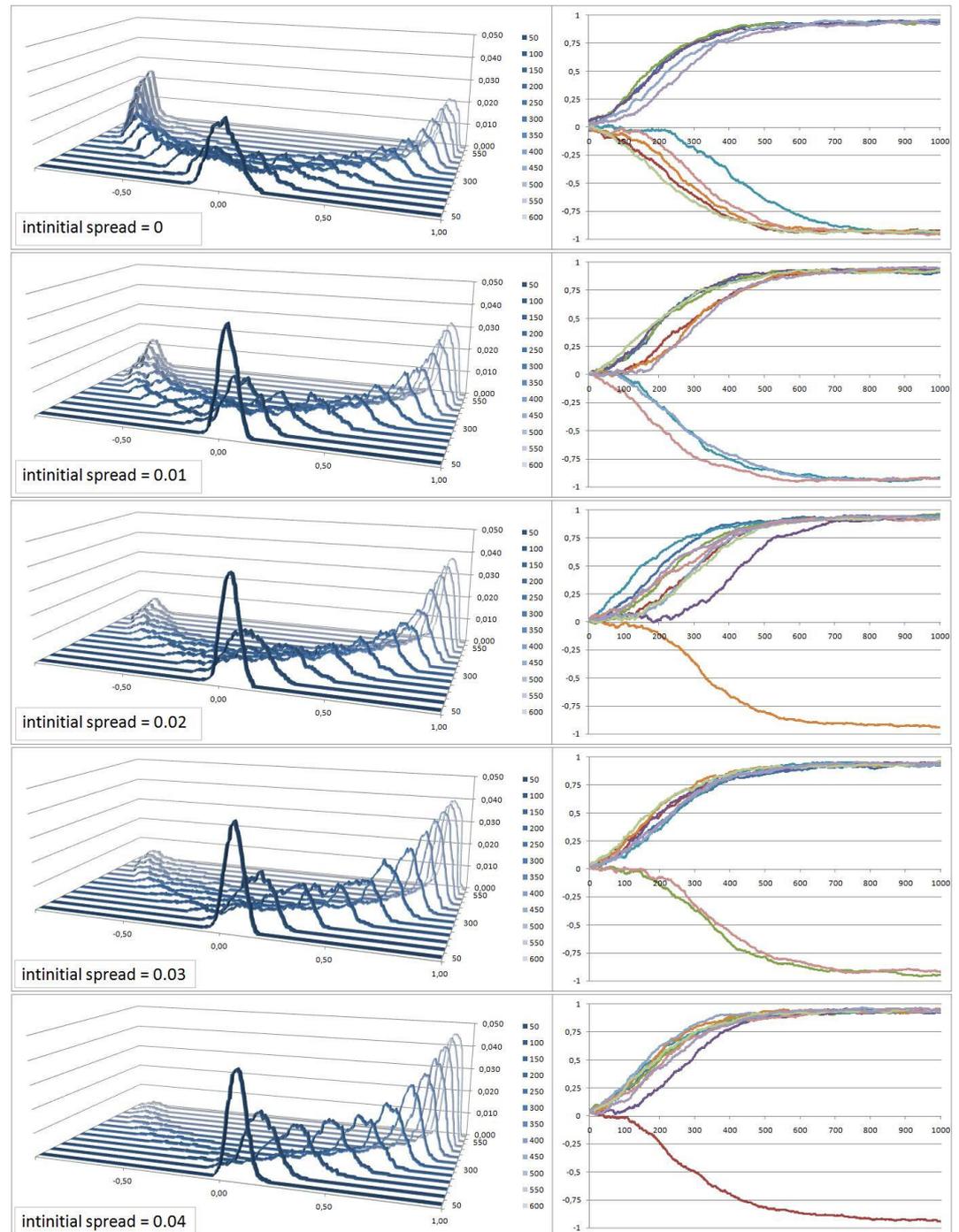
⁵⁶³ Vgl. Gilbert & Troitzsch 2005 S.24

Abbildung 25: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für zunehmende Erträge und negative Variation des anfänglichen Verbreitungsgrades (spread = -0.04; -0.03; -0.02; -0.01; 0.00)



Erläuterungen zur Abbildung: links die Wahrscheinlichkeitsdichte, rechts Beispiel-Verlaufskurven
 Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Darstellung Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Abbildung 26: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für zunehmende Erträge und positive Variation des anfänglichen Verbreitungsgrades (spread = 0.00; +0.01; +0.02; +0.03; +0.04)



Erläuterungen zur Abbildung: links die Wahrscheinlichkeitsdichte, rechts Beispiel-Verlaufskurven
 Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Darstellung Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Ist die Sensitivität auf Anfangsbedingungen beim Verbreitungsgrad nun eine Tatsache, die der Robustheit der implementierten Repräsentation entgegen steht? Trotz der langfristig stark unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitsdichte bei

Variation des Verbreitungsgrades ist festzuhalten, dass der Mechanismus sich qualitativ nicht verändert hat: Bei hoher Komplementarität sinkt die Wahrscheinlichkeit für mittlere Verbreitungsgrade um 0 herum im Zeitablauf drastisch (graphisch flacht das Gebirge in der Mitte im Zeitablauf zunehmend ab) und simultan erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass der Verbreitungsgrad betragsmäßig Werte nahe 1 annimmt (graphisch erhöhen sich die beiden Gebirgszüge an den Rändern des Wertebereiches des Verbreitungsgrades, was einer Dominanz des Systems durch eine der beiden Institutionen entspricht). Dies war das Hauptergebnis des Modells M0, es bleibt qualitativ erhalten. Es kommt lediglich - abhängig vom anfänglichen Wert für den Verbreitungsgrad - zu einer Verschiebung der Wahrscheinlichkeit, welche von beiden Institutionen sich durchsetzt. Die Repräsentation des Mechanismus kann also auch bezogen auf eine Variation des Verbreitungsgrades als robust bezeichnet werden.

(3) Wahl der misfit-Kosten-Funktion

Zu prüfen bleibt nun noch die Wahl der spezifischen misfit-Kosten-Funktion. Nach den Ausführungen in Abschnitt E.I.3 kommt bei zunehmenden Erträgen für die misfit-Kosten-Funktion, die die Valenz des Individualziels „Vermeidung von misfit-Kosten“ in Abhängigkeit von der Dichte des zugehörigen institutionellen clusters x beschreibt, nur eine mit der Dichte des zugehörigen clusters streng monoton steigende Funktion in Betracht. Zusätzlich muss die Funktion einen Parameter beinhalten, der die Stärke der zunehmenden Erträge abbildet und somit als Maß für die Stärke des vorliegenden komplementären feedbacks ist; diese Variable sei c ; gesucht wird also vielmehr nach einer alternativen Funktionenschar $f_{M,c}(x)$, die bei positivem c (zunehmenden Erträgen) streng monoton mit x steigt (bzw. fällt), wenn $M=A$ (bzw. B) (Eigenschaft i), und für $c = 0$ (konstante Erträge) unabhängig von M für alle x konstant ist (Eigenschaft ii). Aufgrund der gewählten Definition des Verbreitungsgrades x ⁵⁶⁴ (und auch in Hinblick auf die im nächsten Kapitel geplante Erweiterung des Modells durch die Implementation von Hierarchie), muss die Funktionenschar außerdem für das duale Institutionengefüge $\{A,B\}$ die Eigenschaft

⁵⁶⁴ Def.: $x = (2 * \text{Diffusionsgrad von A}) - 1$

$$f_{A,c}(x) = f_{B,c}(-x)$$

besitzen (Eigenschaft iii).

Beweis I: Da der Verbreitungsgrad x definiert ist als

$$x = (2 * \text{Diffusionsgrad von A}) - 1$$

bedeutet ein Verbreitungsgrad von $x = 0.6$ den gleichen Diffusionsgrad von A, wie er bei $x = -0.6$ für B vorliegt. Folgerichtig müssen unter der Voraussetzung, dass im zu A gehörigen institutionellen cluster der gleiche komplementäre Mechanismus wirkt wie im zu B zugehörigen institutionellen cluster, die misfit-Kosten, die bei $x = 0.6$ für die Wahl von A entstehen, exakt gleich den misfit-Kosten sein, die bei $x = -0.6$ für B entstehen. Da diese Argumentation für alle $x \in [-1, +1]$ und jedes Komplementaritätsniveau $c \in [0,1]$ gültig ist, muss für das Institutionengefüge $\{A,B\}$ gelten: $f_{A,c}(x) = f_{B,c}(-x)$.

Aus der Rekonzeptionalisierung anhand des EVM ergibt sich ferner die Bedingung, dass die Valenz des Individualziels „Vermeidung von misfit-Kosten“ nicht-negativ sein muss, d.h. der Wertebereich von $f_{M,c}(x)$ muss im gesamten Definitionsbereich $D = [-1, +1]$ nicht-negativ sein (Eigenschaft iv).

Diese aus der Theorie abgeleiteten Anforderungen an die Funktionenschar schränken den für die Repräsentation des Mechanismus in Frage kommenden Funktionenraum bereits massiv ein. Dennoch lassen sich Funktionen entwickeln, die alle notwendigen Anforderungen erfüllen, insbesondere die Eigenschaften i, ii, iii und iv besitzen.

Mögliche Kandidaten lassen sich in der Menge der Polynome finden, so führte die Suche im Raum der Polynome 2. Grades zu einer Funktion, die alle notwendigen Bedingungen i-iv erfüllt:

$$g_{M,c}(x) = c*(x^2 + 2*m*x) + m^2$$

mit $m=1$ für $g_{A,c}(x)$ und $m=-1$ für $g_{B,c}(x)$ sowie $x \in [-1,+1]$ und $c \in [0,1]$

Beweis II: Der Beweis wird in 4 Schritten für jede Eigenschaft einzeln geführt.

Eigenschaft i: Die erste Ableitung von $g_{M,c}(x)$ ist $g'_{M,c}(x) = 2*c*(x + m)$, somit gilt für $c > 0$ wegen

$$g'_{A,c}(x) = 2*c*(x + 1) > 0 \text{ für alle } c \in (0,1] ,$$

dass $g'_{A,c}(x)$ streng monoton steigend in $[-1,+1]$ ist und wegen

$$g'_{B,c}(x) = 2*c*(x - 1) < 0 \text{ für alle } c \in (0,1] ,$$

dass $g'_{A,c}(x)$ streng monoton fallend in $[+1,-1]$ ist. Eigenschaft i erfüllt.

Eigenschaft ii: Für $c = 0$ gilt

$$g'_{A,0}(x) = 2*0*(x + 1) = 0 \text{ und } g'_{B,0}(x) = 2*0*(x - 1) = 0 ,$$

ferner gilt

$$g_{M,0}(x) = 0*(x^2 + 2*m*x) + m^2 = m^2 = 1$$

unabhängig von der Ausprägung von m . Eigenschaft ii ist erfüllt.

Eigenschaft iii: Für alle $c \in [0,1]$ gilt

$$g_{A,c}(x) = c*(x^2 + 2*1*x) + 1^2 = c*((-x)^2 + 2*(-1)*(-x)) + (-1)^2 = g_{B,c}(-x) .$$

Eigenschaft iii ist erfüllt.

Eigenschaft iv: Wegen

$$x^2 + 2*m*x \geq -1 \text{ für alle } m \in \{-1,1\} \text{ und alle } x \in [-1,1]$$

und

$$m^2 = 1 \text{ für alle } m \in \{-1,1\} \text{ und } c \in [0,1]$$

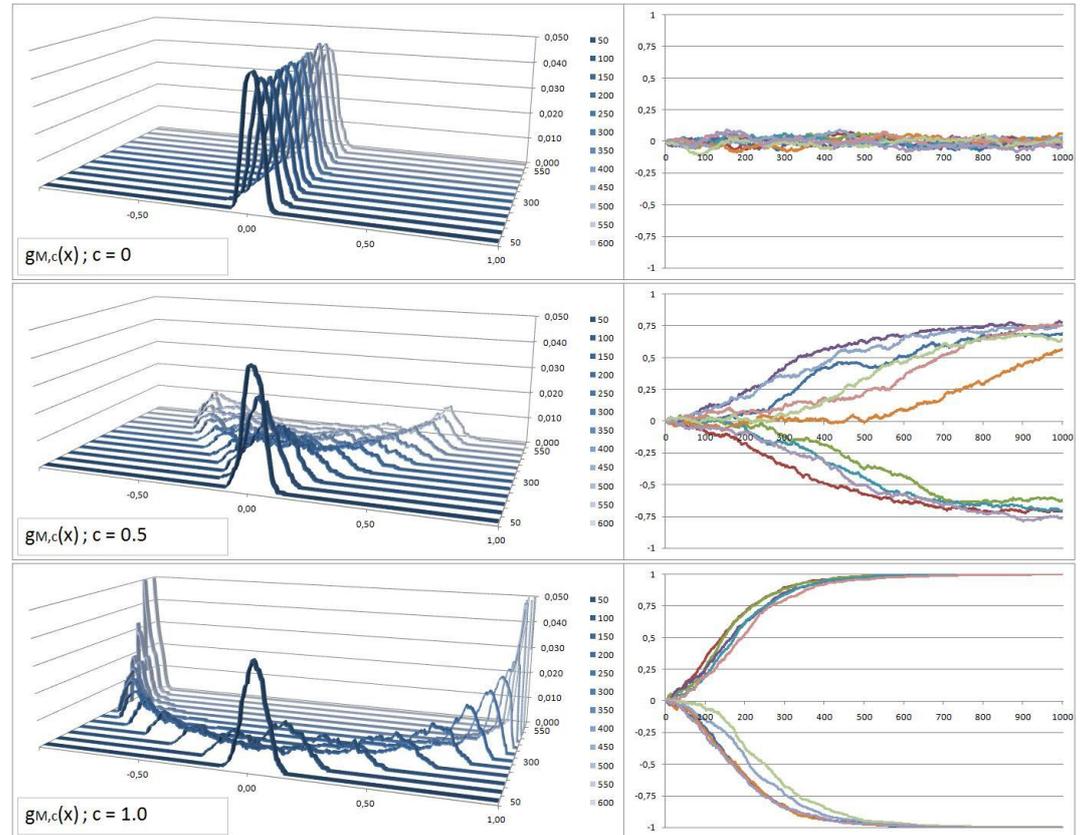
gilt:

$$g_{M,c}(x) = c*(x^2 + 2*m*x) + m^2 \geq 0 . \text{ Eigenschaft iv ist erfüllt.}$$

Ersetzt man die misfit-Kostenfunktion $f_{M,c}(x)$ durch $g_{M,c}(x)$, zeigt die Robustheitsanalyse, ob das Systemverhalten maßgeblich von der gewählten Repräsentation der misfit-Kostenfunktion f bzw. g abhängt. Abbildung 27 zeigt

die Ergebnisse der Robustheitsanalyse für $g_{M,c}(x)$. Es wird deutlich, dass es qualitativ zu denselben Ergebnissen wie bei der Verwendung von $f_{M,c}(x)$ kommt.

Abbildung 27: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für die Variation der Misfit-Kostenfunktion durch $g_{M,c}(x)$ für verschiedene return-Regime



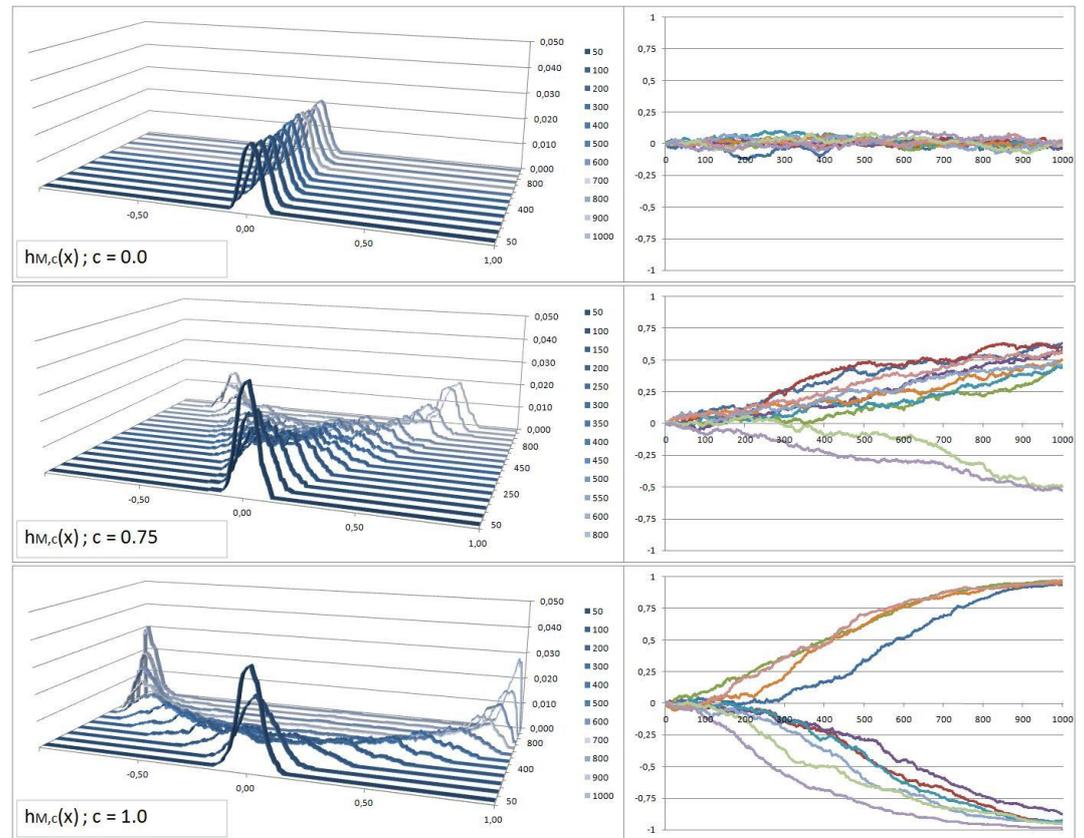
Erläuterungen zur Abbildung: links die Wahrscheinlichkeitsdichte, rechts Beispiel-Verlaufskurven
 Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Darstellung Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Auch im Raum der linearen Funktionen kann man leicht fündig werden, z.B. erfüllt die Funktion

$$h_{M,c}(x) = c \cdot m \cdot x + 1$$

ebenfalls die notwendigen Bedingungen i-iv. Der Beweis hierfür kann analog zu Beweis II geführt werden. Ebenfalls für $h_{M,c}(x)$ zeigt die Robustheitsanalyse in Abbildung 28, dass das Systemverhalten qualitativ unverändert bleibt.

Abbildung 28: Ergebnisse der Robustheitsanalyse für die Variation der Misfit-Kostenfunktion durch $h_{M,c}(x)$ für verschiedene return-Regime



Erläuterungen zur Abbildung: links die Wahrscheinlichkeitsdichte, rechts Beispiel-Verlaufskurven
 Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Darstellung Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die gewählte Repräsentation auch in Hinblick auf die Wahl der spezifischen misfit-Kostenfunktion nicht problematisch ist, da sie bei Variation derselben robust ist: Sowohl die Verwendung eines Polynoms Zweiten Grades, als auch einer linearen Funktion konnte die qualitative Stabilität der Ergebnisse nicht beeinträchtigen. Es kann daher angenommen werden, dass die Wahl von $f_{M,c}(x)$ aus dem durch die notwendigen Bedingungen i-iv aufgespannten Funktionenraum keine grundlegenden Zweifel an der internen Validität der Repräsentation begründet.

8. Diskussion

Nachdem auf vielfältige Weise die interne Validität des Modells sichergestellt wurde, sollen die Ergebnisse nun im Rahmen der Diskussion mit der Theorie, insbesondere mit den Ergebnissen der bisherigen Forschungen verknüpft und bewertet werden. Diese Diskussion soll das Maß an externer Validität erhöhen.

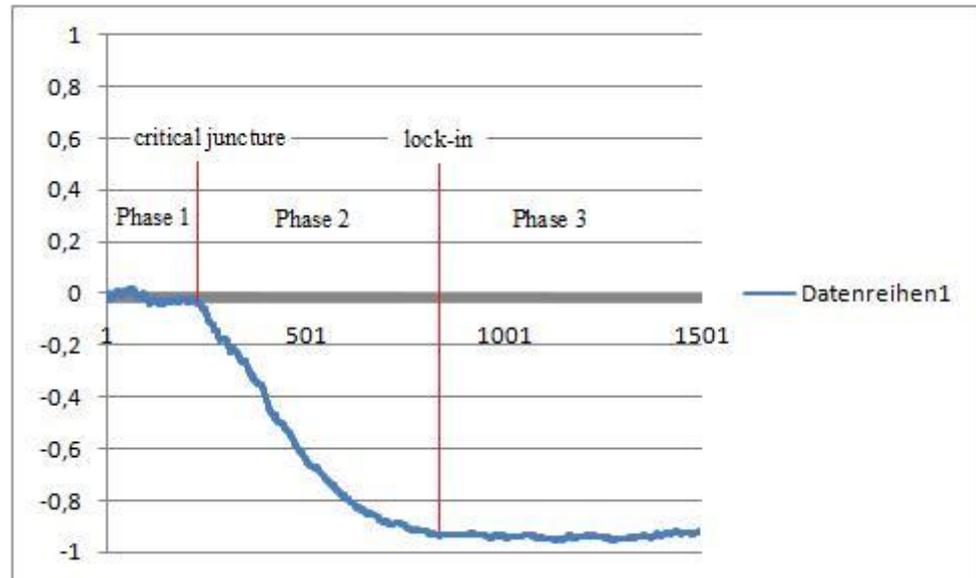
Bereits im Ergebnisteil wurde verschiedentlich auf die Konsistenz der im Modell M0 erzielten Ergebnisse mit den Forschungsergebnissen Arthurs hingewiesen.⁵⁶⁵ Dies trifft insbesondere auf die Eigenschaften des Pfadprozesses zu, die von Arthur identifiziert wurden und die sich in den Ergebnissen der Simulation des Modells M0 widerspiegeln. Diese Rückkopplung mit den Ergebnissen Arthurs und die Konsistenz der Ergebnisse kann als Argument angeführt werden, dass mit der hier gezeigten formalen Modellierung und der Repräsentation im Computercode selbstverstärkende Prozesse korrekt abgebildet werden können.

Die Ergebnisse werden nun mit den Vorhersagen des Berliner Modells verglichen und es wird geprüft, ob mit dem Modell M0 die wesentlichen Eigenschaften des Pfadprozesses korrekt abgebildet werden können. Das Berliner Modell präzisiert die Eigenschaften pfadabhängiger Prozesse, insbesondere was ihre Ausprägung im Zeitablauf, konkreter in 3 verschiedenen Phasen des Prozesses, betrifft.⁵⁶⁶ Es ist also zu prüfen, ob das Modell M0 diese Eigenschaften und ihre teils unterschiedliche Ausprägung im Zeitablauf reproduzieren kann. So zeigt Abbildung 29 eine typische Entwicklung der abhängigen Variable Verbreitungsgrad im Modell M0, anhand derer der Phasenverlauf nachvollzogen werden soll.

⁵⁶⁵ Vgl. Abschnitt E.I.6 oben

⁵⁶⁶ Vgl. die ausführliche Darstellung des Berliner Modells (3-Phasen-Modell) in Abschnitt C.IV.2; vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 passim

Abbildung 29: Beispielhafte Verlaufskurve des Modells M0 mit Zuordnung der 3 Phasen des Berliner Modells



Man erkennt, dass zu Beginn des Prozesses (Phase 1) zufällige Ereignisse den Prozess bestimmen, beide Lösungen sind mit etwa gleichem Diffusionsgrad vertreten, d.h. die Akteure können sich nahezu unbeschränkt⁵⁶⁷ für die Adoption einer der beiden Lösungen entscheiden. Es herrschen also in der ersten Phase Flexibilität und Ergebnisoffenheit. Es ist ungewiss (da einem stochastischen Prozess unterworfen), wann eine Einzelentscheidungen schließlich nachhaltige selbstverstärkende Effekte auslöst, dieser Zeitpunkt kann erst ex post als critical juncture identifiziert werden. In der Abbildung 29 zugrundeliegenden Simulation kann der critical juncture etwa um tick = 220 verortet werden.

In Phase 2 des Berliner Modells wirken nun die selbstverstärkenden Effekte, mit der Konsequenz, dass der Handlungsspielraum zunehmend eingeschränkt wird. Abbildung 29 zeigt hier sehr schön, wie sich der Verbreitungsgrad in Phase 2 im Zeitablauf -1 annähert, d.h. die Dominanz der institutionellen Lösung B nimmt zu, bis sie schließlich ab tick = 850 das System mit einem Diffusionsgrad von über 95% dominiert. Die Zahl der Akteure, die die weniger verbreitete Lösung adoptieren, nimmt also während der Phase 2 kontinuierlich ab, da durch komplementäres feedback der Druck im Zeitablauf steigt, die zu einem stark

⁵⁶⁷ Die Entscheidung hängt hier also hauptsächlich von der stochastischen Ausprägung der subjektiven Wahrscheinlichkeit im Entscheidungskalkül ab. Vgl. hierzu die Konzeptionalisierung des Entscheidungsverhaltens der Akteure in Abschnitt E.I.3 und E.I.4. dieser Arbeit

verdichteten institutionellen cluster gehörende Lösung B zu adoptieren. Mit anderen Worten: Der Handlungsspielraum der Akteure wird zunehmend eingeschränkt, bis sie schließlich nur noch in seltenen Ausnahmefällen A wählen können. Die Gruppe der Akteure, die A adoptieren, schrumpft zu einer vernachlässigbar kleinen Randgruppe zusammen und durch das fortwährende komplementäre feedback wird diese Situation stabilisiert. Dies entspricht den Erkenntnissen bisheriger Forschung zu pfadabhängigen Prozessen, die schon David in seiner frühen Studie konstatiert:

„(positive feedback) drove the industry prematurely into standardization (...), where decentralized decision making subsequently has sufficed to hold it.”⁵⁶⁸

In konsistenter Übereinstimmung mit der Konzeptionalisierung im Berliner Modell ist also Phase 2 im Modell M0 von abnehmender Flexibilität gekennzeichnet, die zum Ende der Phase in einen Quasi-Determinismus übergeht. Während der Phase 2 ist Nonergodizität gegeben, sie geht jedoch mit dem Ende der Phase 2 endgültig verloren. Der Prozess kann ab diesem Zeitpunkt als vorhersagbar gekennzeichnet werden, da die Dominanz der Lösung B durch anhaltende selbstverstärkende Effekte stabilisiert wird. Auch diese Veränderung der zentralen Eigenschaft der Nonergodizität wird korrekt abgebildet.

Betrachtet man das Systemverhalten in Modell M0 in der Phase 3, so wird zum einen deutlich, dass die extrem stark ausgeprägte Inflexibilität über die Zeit erhalten bleibt. Auf der anderen Seite ist für eine – wenn auch verschwindend kleine – Gruppe von Akteuren die alternative Lösung noch wählbar. Liegt somit doch kein lock-in vor? Die Autoren des Berliner Modells legen Wert darauf, dass der Begriff des lock-in technologischer Standards nicht 1:1 auf den institutionellen Kontext übertragen werden kann: Bei technologischen Standards ist die absolute und endgültige Verdrängung eines Standards durch einen anderen denkbar, indem zum Beispiel die Produktion von Gütern, die den unterlegenen Standard verwenden, vollständig eingestellt wird. Konsumenten haben dann keine Möglichkeit mehr, diesen Standard zu verwenden und sind gezwungen, den oder die noch am Markt verfügbaren zu adoptieren. Ein einzelner Konsument hat auch nicht die Möglichkeit, eine Abweichung von einem einmal etablierten Standard zu

⁵⁶⁸ David 1985 S.336

erreichen, man stelle sich vor, dass ein einzelner Konsument versucht hätte, Hersteller oder Produzenten von VHS Videokassetten zu überzeugen, den Standard nach seinen Wünschen anzupassen.⁵⁶⁹ Im organisationalen Rahmen liegt der Sachverhalt etwas anders. Selbst eine institutionelle Lösung mit einer extrem hohen Diffusionsrate, von der der einzelne Akteur nicht grundsätzlich abweichen kann, ist nicht wie ein technologischer Standard wohldefiniert. D.h. in der tagtäglichen Ausgestaltung, dem „Leben der institutionellen Lösung“, bleiben gewisse Freiräume, die der Akteur individuell gestalten kann, selbst wenn er sich der Adoption der Lösung im Generellen nicht entziehen kann. So bestehen, etwas allgemeiner formuliert, selbst im institutionellen lock-in noch systematische Handlungsspielräume, die in der Interpretation, Ausgestaltung und konkreten Anwendung der institutionellen Lösung liegen, und die dem Akteur stets einen gewissen, wenn auch stark eingeschränkten Möglichkeitsraum gewähren; im Berliner Modell wird dies durch den grau unterlegten Korridor des Handlungsspielraums in Phase III dargestellt.⁵⁷⁰ Diese Konzeption der Ausgestaltung der lock-in-Phase kann jedoch nicht ohne weiteres auf die vorliegende Simulation übertragen werden, da Agenten hier nur zwischen zwei diskreten Ausprägungen einer institutionellen Lösung entscheiden können und nicht eine Lösung adoptieren und im Sinne eines inkrementellen Wandels individuell ausgestalten können. Es ist jedoch möglich, den Gedanken des immer noch vorhandenen, aber extrem verengten Handlungsspielraums in Phase 3 aufrecht zu erhalten und die Ergebnisse aus dieser Perspektive zu interpretieren: Bei den vorliegenden Simulationsergebnissen gibt es auch im lock-in, der ja dadurch definiert wurde, dass eine Institution das System dauerhaft mit einer Diffusionsrate von über 95% dominiert, noch einige wenige Abweichler, die sich aufgrund einer extremen Ausprägung der statistischen Komponente im Entscheidungsmodell für einen kurzen Zeitraum für die unterlegene Lösung entscheiden; dadurch existiert die Gruppe derer, die die unterlegene Lösung adoptieren – wenn sie auch einen verschwindend geringen Anteil an der Gesamtheit der Akteure hat – ebenfalls fort. Das bedeutet, dass obwohl das

⁵⁶⁹ Vgl. die Studie von Cusumano, Mylonadis & Rosenbloom 1992 S.51ff. zur Durchsetzung des VHS Standards

⁵⁷⁰ Vgl. hierzu die Ausführungen zum Handlungsspielraum in Phase 3 des Berliner Modells in Abschnitt C.IV.2.b) dieser Arbeit und bei Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.694.

beobachtete soziale System sich im lock-in befindet, und eine Lösung praktisch uneingeschränkt das System dominiert, bleibt den Akteuren in gewissen Situationen ein Handlungsspielraum erhalten. Es handelt sich also um einen systemischen lock-in, der nicht immer mit einem individuellen lock-in im Sinne eines Handlungsdeterminismus gleichgesetzt werden kann. Individuelle Handlungen können den lock-in des Systems nicht in Frage stellen, ermöglichen aber für eine gewisse Zeit einzelnen Individuen ein Abweichen von der gelockten Lösung. Aus dieser Perspektive kann die verschwindend kleine Gruppe der Abweichler im lock-in als Hinweis gedeutet werden, dass auch das formale Modell mit den diskreten Ausprägungen der Lösungen im lock-in einen minimalen Handlungsspielraum ermöglicht – es ist sogar möglich, über den durchschnittlichen prozentualen Anteil der Abweichler im systemischen lock-in das Ausmaß des Handlungsspielraums – oder aus pfadtheoretischer Sicht: die Prägnanz des lock-in – zu bestimmen. Diese Perspektive wird im Ergebnisteil der Simulation mit Hierarchie wieder aufgegriffen und es kann so mit Hilfe der Simulationsergebnisse die Prägnanz des lock-in in Abhängigkeit von der Hierarchieform bestimmt werden.

9. Zusammenfassung

Abschließend kann festgestellt werden: Das vorliegende einfache Simulationsmodell M0 ist theoriebasiert entwickelt worden und die Repräsentation ist mit Hilfe einer umfassenden Robustheitsanalyse der nach der Monte-Carlo-Methode aggregierten Daten geprüft worden. M0 weist daher eine hohe interne Validität auf. Die Betrachtung exemplarischer Simulationsdurchläufe zeigt eine Bifurkation an der Stelle, die von der Theorie vorhergesagt wird (critical juncture). Es konnte eine hohe Konsistenz der Ergebnisse sowohl mit den Vorhersagen von David als auch der Arthur-Modellierungen nachgewiesen werden, es lassen sich anhand der Ergebnisse die 3 Phasen des Berliner Modells nachvollziehen und die den jeweiligen Phasen zugeordneten Prozesseigenschaften zeigen. Diese hohe Konsistenz mit früheren Arbeiten, die unabhängig von der Simulation erzielt wurden, stärkt die externe Validität des vorliegenden Modells. Es kann also festgestellt werden: Das Modell M0 ist zur Analyse von selbstverstärkenden Effekten zur Beantwortung von Pfadfragestellungen geeignet.

Mit dem vorliegenden Modell M0, das den Pfadprozess in der Marktlogik numerisch zugänglich macht, ist nun eine Basis geschaffen, auf der Weiterentwicklungen hin zu einem Simulationsmodell möglich werden lässt, das den Pfadprozess in hierarchischen Organisationen untersuchen kann. Es ist nun möglich, sich der Kernfrage der Arbeit weiter zu nähern, indem M0 durch Integration von Hierarchie erweitert und somit zu einem Modell organisatorischen Wandels transformiert wird; so soll die Frage beantwortet werden, ob es der Hierarchie gelingt, die pfadtreibende Wirkung selbstverstärkender Effekte aufzuheben – oder ob die Pfadlogik auch unter Hierarchie-Bedingungen hält.

II. Simulation institutionellen Wandels in Organisationen

1. Problemstellung und Vorgehen

Im einfachen Modell institutionellen Wandels konnte die selbstverstärkende Wirkung von Komplementaritätseffekten in sehr einfachen sozialen Systemen modelliert und die Ergebnisse validiert werden. Das Modell M0 – und damit auch die aus seinen Ergebnissen abgeleiteten Erkenntnisse zur Theoriebildung – können jedoch für die Entwicklung von Institutionen in Organisationen keine unbeschränkte Gültigkeit beanspruchen, da bei der Modellierung von M0 zentrale Aspekte der Organisation⁵⁷¹ nicht berücksichtigt wurden. Gemäß der building-block Methode sollen diese nun in der formalen Modellierung aufgenommen werden und im darauf folgenden Schritt in die Repräsentation der Computersimulation einfließen.

Wie in Abschnitt C.IV.4 dargestellt, stellen Hierarchie und Führung die zentralen Elemente von Organisationen dar, die sie von anderen sozialen Gebilden unterscheiden. Diese zentralen Aspekte von Organisationen sollen nun im formalen Modell Eingang finden.

2. Theoretische Basis und formale Modellierung

Das fortgeschrittene Modell zur Simulation organisatorischen Wandels baut zunächst auf der theoretischen Grundlage des einfachen Modell M0 auf, diese wird jedoch um Hierarchie erweitert. Die theoretische Basis bilden daher zunächst

⁵⁷¹ Vgl. Abschnitt C.III.1 zum Organisationsbegriff

wie in Abschnitt E.I.2 dargelegt die Pfadtheorie⁵⁷², Elemente der neuen Institutionenökonomie⁵⁷³ und für die Modellierung des Entscheidungsverhaltens das Erwartung-Valenz-Modell⁵⁷⁴. Es ist nun gemäß des building-block Ansatzes ratsam, für die Frage der Durchsetzung von selbstverstärkenden Effekten gegen Hierarchie die Konstruktion des einfachen Modells M0 zu übernehmen und dann zielgerichtet um Organisationsstruktur zu erweitern.⁵⁷⁵ Auf diese Weise ist es möglich, Antworten auf die Forschungsfragen zu geben und abschließend den Wahrheitsgehalt der Hypothese H1 zu beurteilen.

Übernommen wird daher das formale Modell von M0 in folgenden Punkten: Das Entscheidungsproblem besteht zwischen zwei kompetitiven institutionellen Lösungen {A, B}, die jeweils zu einem institutionellen cluster zugehörig sind. Eine Erhöhung des Diffusionsgrades einer institutionellen Lösung A führt zu einer Verdichtung des zu A zugehörigen institutionellen clusters, was zu einer Erhöhung der misfit-Kosten einer potentiellen Adoptions-Entscheidung für B führt. Die Entscheidung eines Agenten für A oder B unterliege wie in M0 den beiden Einflussfaktoren: small events (stochastisches Element) und dem Individualziel, misfit-Kosten zu vermeiden (selbstverstärkendes Element). Die beiden Einflussfaktoren werden durch das EVM wie in Abschnitt E.I.3 dargelegt verknüpft (vgl. auch Abbildung 15).

a) Erweiterung des formalen Modells um Hierarchie

Es gilt nun, der formalen Modellierung des einfachen Modells ein drittes Element hinzuzufügen, um zum *fortgeschrittenen Modell institutionellen Wandels in hierarchischen Organisationen M1* zu gelangen. Das zentrale Element, das Organisationen von Märkten unterscheidet, ist die jeder Organisation inhärente asymmetrische Machtverteilung, die durch die Organisationsstruktur expliziert wird und den Aufbau der internen Hierarchie regelt. Der Einfluss eines Vorgesetzten auf ein Organisationsmitglied der ihm untergeordneten Hierarchiestufe soll von nun an explizit mitgedacht werden. Hierbei kann es sich einerseits um klassische Führung im Sinne eines intendierten sozialen

⁵⁷² Vgl. Arthur 1989, 1994; David 1994; Ackermann 2003 S.240

⁵⁷³ Vgl. North 1990 S.73-106

⁵⁷⁴ Vgl. Vroom 1964 S.15

⁵⁷⁵ Vgl. Harrison et al. 2007 S.1241

Einflussversuchs handeln⁵⁷⁶; daneben sollte das Modell aber auch implizite Einflussnahme auf die Geführten berücksichtigen, da diese oftmals auch ohne explizite Anweisung den perzipierten Erwartungen des Führers entsprechen wollen.⁵⁷⁷ Hypothesen die Erwartungen des Vorgesetzten betreffend können sich bei den Geführten auf vielfältige Weise bilden und es ist nicht zwangsläufig der Fall, dass die perzipierten Erwartungen mit den tatsächlichen Erwartungen des Vorgesetzten übereinstimmen.⁵⁷⁸ Beobachtungen, die stets der Interpretation bedürfen – man spricht in diesem Fall von Attribution⁵⁷⁹, Storytelling⁵⁸⁰ oder auch die Sozialisierung durch die Unternehmenskultur⁵⁸¹ – können eine solche Hypothesenbildung unterstützen.

Durch die Ergänzung des formalen Modells durch Hierarchie, und somit die Möglichkeit expliziter und impliziter Einflussnahme der höheren Hierarchieebene auf die nachfolgende, ändert sich die Konfiguration des betrachteten Systems grundlegend. Die Agenten im Modell sind nicht mehr in ungeordneter Weise gleichberechtigt, vielmehr lassen sich nun grundsätzlich drei verschiedene Kategorien von Organisationsmitgliedern differenzieren:

1. Organisationsmitglieder der untersten Stufe sind lediglich Empfänger von Einflussversuchen.
2. Organisationsmitglieder der mittleren Hierarchiestufen sind sowohl Empfänger von Einflussversuchen der ihnen vorgelagerten Hierarchieebene, von ihnen gehen aber auch Einflussversuche auf die ihnen nachgelagerte Hierarchieebene aus.

⁵⁷⁶ Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.684

⁵⁷⁷ Vgl. zum Beispiel den Vorgang des „role taking“ in der LMX-Forschung bei Graen & Scandura 1987 S.181

⁵⁷⁸ Vgl. zur Identitätstheorie der Führung zum Beispiel Gardner & Avolio 1998 32ff.; Hogg & Terry 2000 S.121ff.; Steinmann & Schreyögg 2005 S.698-702.

⁵⁷⁹ Vgl. Calder 1977 passim

⁵⁸⁰ Vgl. Boje 1991 passim; Schreyögg & Koch 2005 passim

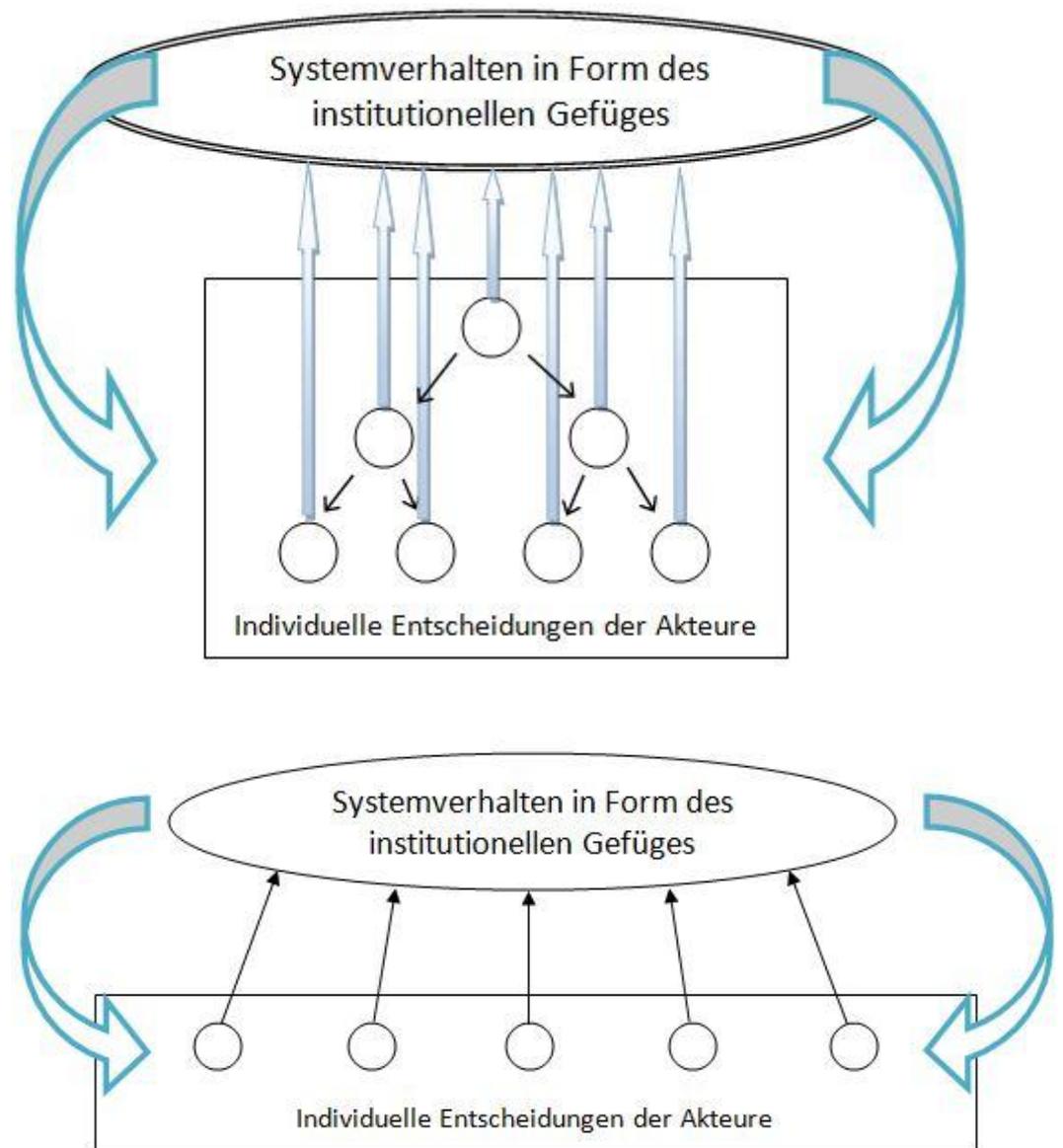
⁵⁸¹ Vgl. Schreyögg 1998 passim; zu Knyphausen-Aufseß & Schweizer 2006 S.259ff.

3. Organisationsmitglieder⁵⁸² der höchsten Hierarchiestufe sehen sich keinem direkten Führungseinfluss ausgesetzt, unternehmen aber Einflussversuche auf die ihnen nachgelagerte zweite Hierarchieebene.

Betrachtet man die Interaktion der Agenten im Modell, so kommt durch die Einführung einer Organisationsstruktur eine neue Dimension von Interaktionen zu Stande: Während im einfachen Modell das individuelle Entscheidungsverhalten nur in der Makroperspektive vorhandene Konfiguration des institutionellen Gefüges des Systems beeinflusst, welche sich wiederum reziprok auf das individuelle Entscheidungsverhalten auswirkt (siehe Abbildung 30 untere Abbildung), kommt im erweiterten Modell hinzu, dass sich Agenten zusätzlich direkt auf der Mikroebene via Hierarchie beeinflussen (siehe Abbildung 30 obere Abbildung). Die Komplexität des Modells erhöht sich somit drastisch und es ist nun fraglich, ob sich die selbstverstärkenden Kräfte gegen die Hierarchie durchsetzen und den Prozess dominieren können, oder ob sie von der Hierarchie beiseitegeschoben werden. Abbildung 30 zeigt das neue Interaktionsregime im Vergleich zum einfachen Modell M0.

⁵⁸² Hierbei kann es sich auch nur um eine einzige Person handeln, wie beispielhaft am CEO in der amerikanischen Aktiengesellschaft gezeigt werden kann, der entsprechend dem in Deutschland für größere Kapitalgesellschaften nicht zulässigen Generaldirektorenprinzip die Organisation führt.

Abbildung 30: Interaktionsmöglichkeiten bei M1 (oben) und M0 (unten) im Vergleich



Erläuterung: Die obere Abbildung zeigt die Erhöhung der Interdependenz (und damit der Komplexität) der Entscheidungsprozesse bezüglich der Adoption institutioneller Lösungen in hierarchischen Organisationen im Vergleich zu sozialen Systemen ohne Hierarchie in der unteren Abbildung; Quelle: eigene Darstellung

Während beim einfachen Modell M0 die Möglichkeit der Aufstellung einer Mastergleichung besteht, die dann numerisch gelöst werden kann⁵⁸³, erhöht sich die Komplexität durch die drei Klassen von Agenten und ihre unterschiedlichen direkten Interaktionsmöglichkeiten soweit, dass diese Herangehensweise nur noch wenig Aussicht auf Erfolg hat. Auch dieser Umstand weist klar den Weg der Simulation. Wie kann nun der Einfluss der Hierarchie in das bisherige

⁵⁸³ Eine erfolgversprechende Herangehensweise wäre ein Vorgehen analog zu Gilbert & Troitzsch 2005 S.102-107

individuelle Entscheidungsverhalten der Agenten integriert und mit den beiden klassischen Einflussfaktoren des einfachen Modells in Beziehung gesetzt werden?

b) Konstruktion des Entscheidungsverhaltens der Agenten

Im formalen Modell von M0 existiert für die Agenten, deren Entscheidungsverhalten gemäß dem EVM modelliert ist, nur ein Individualziel: „Vermeidung von misfit-Kosten“. Im erweiterten Modell wird nun berücksichtigt, dass ein Organisationsmitglied dem Einfluss seines Vorgesetzten ausgesetzt ist und es wird unterstellt, dass diesbezüglich ein zweites Individualziel besteht: „gutes Vorgesetztenverhältnis“. Die Annahme, dass Organisationsmitglieder von einem guten Verhältnis zum Vorgesetzten profitieren, ist empirisch und konzeptionell umfassend belegt, auf die einschlägigen Studien sei im Folgenden verwiesen. So wurde in der Führungsforschung schon früh auf die Machtpotenziale von Führungskräften zur Belohnung und Bestrafung verwiesen⁵⁸⁴; auch in den praktisch angelegten klassischen Studien der Motivationsforschung wird ersichtlich, dass Organisationsmitglieder ein gutes Verhältnis zum Vorgesetzten einem weniger guten vorziehen.⁵⁸⁵ Diese Perspektive wird in der modernen Führungsforschung bestätigt, so zum Beispiel im weit verbreiteten LMX-Modell, das Führung als interaktiven Austauschprozess von Erwartungen modelliert.⁵⁸⁶ Auch wenn die LMX-Theorie davon ausgeht, dass der Prozess in beide Richtungen abläuft, ist der Geführte zunächst Empfänger der von der Führungskraft gesendeten Rolle⁵⁸⁷ und wird den Erwartungen nur dann entsprechen, wenn die vom Vorgesetzten in Aussicht gestellten Belohnungen als lohnend empfunden werden.⁵⁸⁸ Wieder hängt also der Führungserfolg von den Einflusspotentialen der Führungskraft ab, deren Summe im folgenden *Führungsmacht* genannt wird. Je größer die Führungsmacht, desto vorteilhafter ist für den Geführten ein „gutes Vorgesetztenverhältnis“. Die Höhe der Führungsmacht als Summe der Einflusspotenziale der Führungskraft entscheidet also darüber, wie stark der Einfluss des Vorgesetzten auf den Geführten bezüglich

⁵⁸⁴ Vgl. French & Raven 1959 S.150-167

⁵⁸⁵ Vergleiche hierzu insbesondere den Motivator „Beziehungen zu Vorgesetzten“, der in der Studie von Herzberg zur Motivation abgeleitet werden konnte (Herzberg 1968 S.57)

⁵⁸⁶ Vgl. Graen & Uhl-Bien 1995

⁵⁸⁷ im Sinne eines Bündels von Erwartungen

⁵⁸⁸ Vgl. Liden, Sparrowe & Wayne 1997 S.47ff.

der Adoption einer institutionellen Lösung ausfällt. Zur theoretischen Fundierung dieser Überlegungen bietet es sich an, ebenfalls auf das Konzept der Einflusspotentiale einer Führungskraft nach French und Raven⁵⁸⁹ zu verweisen; diese leiten den Führungserfolg im Wesentlichen von 5 Einflusspotentialen ab:

1. Macht durch Belohnung
2. Macht durch Bestrafung
3. Macht durch Expertenwissen
4. Macht durch Legitimation
5. Macht durch Persönlichkeitswirkung

An dieser Stelle seid darauf verwiesen, dass in diesem Ansatz einige Aspekte moderner Führungstheorien nicht mit einfließen; so wird zum Beispiel im Rahmen situativer Führungsansätze auf die Abhängigkeit des Führungserfolges von Kontextfaktoren hingewiesen⁵⁹⁰, während die Theorie der Führungsstile⁵⁹¹ eher auf die Kommunikation und Herangehensweise im Führungsalltag abstellt. Die aufwendige Modellierung dieser Aspekte im Rahmen eines zwingenderweise streng formalisierten Modells würde jedoch zu weit von der Kernfragestellung der Arbeit wegführen. Ferner bleibt festzuhalten, dass ein bedeutender Teil der modernen Führungstheorie, wie die oben bereits zitierte LMX-Forschung oder auch das Einflussprozessmodell⁵⁹², wesentlich auf die Einflusspotentiale der Führungskraft abstellt und hierbei die Möglichkeiten der Führungskraft, für den Geführten gewünschte Zustände zu ermöglichen, von Bedeutung sind. Es erscheint somit gerechtfertigt, die Stärke des hierarchischen Einflusses vereinfachend an der Stärke der Einflusspotentiale, kurz Führungsmacht, festzumachen und beim Geführten ein „gutes Vorgesetztenverhältnis“ als im Allgemeinen gültiges und handlungsleitendes Individualziel zu unterstellen.

⁵⁸⁹ Vgl. French & Raven 1959 S.150-167

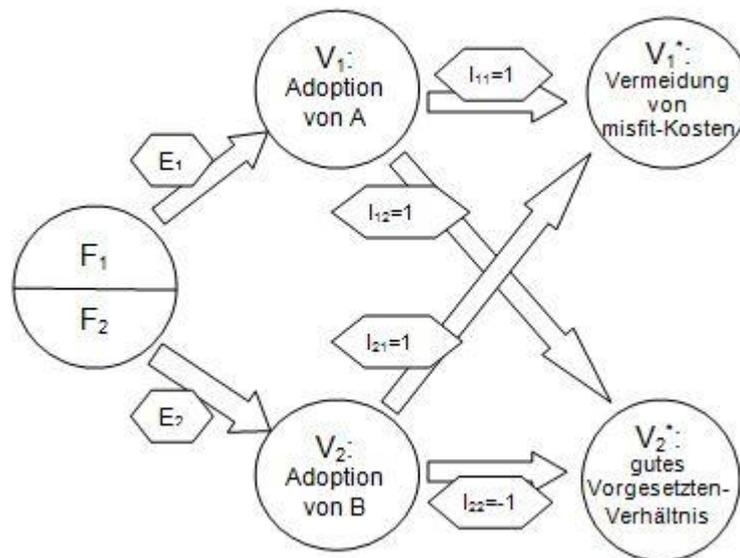
⁵⁹⁰ Vgl. das von Fiedler 1967 (S.147ff.) entwickelte Kontingenzmodell der Führung oder die von der Reife der Mitarbeiter als situativer Faktor abhängige Führungstheorie von Hersey, Blanchard & Johnson 2000.

⁵⁹¹ Vgl. zum Beispiel zum aufgaben- bzw. personenorientierten Führungsstil Likert & Araki 1986 S.17; ebenfalls prominent geworden sind Bass & Avolio 1994 mit der ursprünglich von Burns 1978 eingeführten Unterscheidung zwischen transaktionaler und transformativer Führung.

⁵⁹² Vgl. Steinmann & Schreyögg 2005 S.686ff.

Es ist also davon auszugehen, dass die Valenz des Individualziels „gutes Vorgesetztenverhältnis“ umso höher angesetzt werden muss, je größer die Summe der Einflusspotentiale einer Führungskraft ist. Für die formale Modellierung soll die Summe der Einflusspotentiale durch die Variable leadership-impact (li) ausgedrückt werden, die damit die Valenz dieses Individualziels bestimmt. Im Modell ist das Entscheidungsverhalten der Agenten auf die Entscheidung zwischen den institutionellen Lösungen A und B beschränkt, d.h. auch der Führungseinfluss kann nur bezogen auf diese Entscheidung sinnvoll modelliert werden. Es wird davon ausgegangen, dass ein Vorgesetzter, der sich selbst für die Lösung A (B) entschieden hat, auch von seinen Mitarbeitern erwartet, dass diese die Lösung A (B) adoptieren. Hohe Einflusspotentiale eines Vorgesetzten beeinflussen also die Wahrscheinlichkeit positiv, dass sich die ihm unterstellten Mitarbeiter für die von ihrem Vorgesetzten bevorzugte Lösung entscheiden. Andererseits beeinflussen hohe Einflusspotentiale eines Vorgesetzten die Wahrscheinlichkeit negativ, dass sich die ihm unterstellten Mitarbeiter für die von ihm abgelehnte Lösung entscheiden. Die Valenz des Individualziels „gutes Vorgesetztenverhältnis“ kann daher mit der Variable Führungsmacht (li) abgebildet werden. Nach den obigen Überlegungen ist die Instrumentalität mit 1 zu codieren, wenn Vorgesetztenmeinung und das Ziel erster Ordnung die Wahl der institutionellen Lösung betreffend übereinstimmen; stimmen Vorgesetztenmeinung und das Ziel erster Ordnung nicht überein, so wirken sich höhere Einflusspotentiale um so negativer für den Mitarbeiter aus, weshalb die Instrumentalität mit -1 codiert werden sollte. Angenommen, der Vorgesetzte erwartet die Adoption von A, ergibt sich daraus die folgende EVM-Darstellung des Entscheidungsproblems in Abbildung 31.

Abbildung 31: Rekonzeptionalisierung des Entscheidungsproblems im Modell M1 unter Rückgriff auf das EVM von Vroom



Erläuterung: Anwendung des EVM auf den vorliegenden Fall mit der Annahme, dass der Vorgesetzte die Adoption von A erwartet, somit ergibt sich für die Instrumentalität $I_{12}=+1$ und für $I_{22}=-1$; Darstellung in Anlehnung an Vroom (1964) S.15

Der Agent entscheidet sich laut EVM nun für die Adoption von A wenn

$$FTA_A(x) > FTA_B(x)$$

und für die Adoption von B wenn

$$FTA_B(x) > FTA_A(x).$$

für den seltenen Fall dass $FTA_A(x) = FTA_B(x)$ wird wie in M0 festgelegt, dass der Agent sein bisheriges Adoptionsverhalten beibehält.

c) **Konstruktion der hierarchischen Organisationsstruktur**

Als letzter notwendiger Schritt in der theoretischen Vorarbeit für die Implementierung des Simulationsmodells ist nun die Modellierung der hierarchischen Organisationsstruktur zu konkretisieren. Eine Durchsicht der bisherigen Forschung führt hierbei zu dem Ergebnis, dass in der Literatur verschiedene Modellierungen von Organisationsstruktur existieren, die jedoch

meist auf die Konfiguration von Regeln und Routinen abstellen⁵⁹³; organisationale Hierarchie hingegen wird nur selten explizit modelliert.⁵⁹⁴

Eine formale Modellierung organisationaler Hierarchie in Form eines „Garbage can model of organizational choice“ findet sich bei Cohen et al. (1972).⁵⁹⁵ Die Autoren verknüpfen Entscheidungen mit Problemen und Entscheidungsträger mit Entscheidungen, um die in der Organisationsstruktur enthaltene Hierarchie abzubilden. Obwohl diese pionierhafte Arbeit viel zitiert ist, wurde Ihr Ansatz der Modellierung organisationaler Hierarchie überwiegend nicht aufgegriffen⁵⁹⁶, möglicherweise da die Konzeptionalisierung von Problemen, Entscheidungen, Entscheidungsträgern und insbesondere deren Energie-Level zu spezifisch auf die konkrete Zielstellung der Autoren, die Modellierung von organisationaler Anarchie, hin ausgerichtet war.

Auf Entscheidungsbefugnisse stellt auch die Modellierung von Siggelkow & Rivkin (2006) ab, die den hierarchischen Aspekt der Organisationsstruktur abbilden, indem sie das Ausmaß der Delegation an untere Hierarchieebenen variieren; hierbei wird davon ausgegangen, dass die für das Unternehmen relevanten Entscheidungen auf der unteren Hierarchieebene getroffen werden und die Aufgabe der höheren Hierarchieebene primär die Vermeidung von negativen Externalitäten ist, die durch die Entscheidungen auf der unteren Ebene in Zusammenwirken mit anderen Abteilungen der Unternehmung entstehen können.⁵⁹⁷ Da die Autoren hauptsächlich auf die Anzahl der Lösungen abstellen, die von der unteren Ebene an die obere hochgemeldet werden, genügt Ihnen die Modellierung von drei Akteuren: Zwei „department manager“ A und B, die jeweils verschiedene Entscheidungen an den CEO hochmelden, der dann aus diesen auswählt.⁵⁹⁸ Mit dieser extrem vereinfachten Modellierung, die mit nur drei Akteuren und 2 Ebenen auskommt, können verschiedene Ausprägungen der Hierarchie, wie steile oder flache Hierarchien nicht abgebildet werden, da alleinig

⁵⁹³ Vgl. Bruderer & Singh 1996 S.1322ff.; Davis, Eisenhardt & Bingham 2008 passim; Lant & Mezias 1992 S.47ff.; Strang & Macy 2001 S.147ff.

⁵⁹⁴ Vgl. Rivkin & Siggelkow 2003 S.290ff.; Siggelkow & Rivkin 2005 S.101ff.;

⁵⁹⁵ Vgl. Cohen, March & Olsen 1972 S.1ff.

⁵⁹⁶ Vgl. Bruderer & Singh 1996 S.1322ff.; Lant & Mezias 1992 S.47ff. Rivkin & Siggelkow 2003 S.290ff.; Siggelkow & Rivkin 2005 S.101ff.; Davis, Eisenhardt & Bingham 2008 passim

⁵⁹⁷ Vgl. Siggelkow & Rivkin 2006 S.783-784

⁵⁹⁸ Vgl. Siggelkow & Rivkin 2006 S.785

auf den Umfang der Delegation – nicht auf die Gestaltung der Hierarchie – abgestellt wird. Diese Konzeption wird deshalb nicht als Anknüpfungspunkt für die zu entwickelnde Modellierung von Hierarchie in Organisationen gewählt.

An diesem Punkt wird deutlich, dass bei der Abbildung von unterschiedlichen Hierarchien nicht nur auf das Ausmaß der Entscheidungsdelegation bzw. Einflussnahme der oberen Hierarchieebene ankommt, sondern auch auf die Gestalt der Hierarchie, insbesondere auf die Modellierung der Kontrollspanne und die Anzahl der Hierarchieebenen. Der Konfigurationsindex⁵⁹⁹ besagt, dass bei einer gleichbleibenden Zahl von Organisationsmitgliedern unterschiedliche Konfigurationen allein an der Anzahl der Hierarchiestufen festgemacht werden können. Die Kontrollspanne ist in diesem Fall eine redundante Information, die sich eindeutig aus der Zahl der Organisationsmitglieder und der Anzahl der Hierarchiestufen ergibt. Analog ergibt sich bei gegebener Kontrollspanne die Anzahl der Hierarchiestufen als redundante Information. Man kann bei fester Anzahl der Organisationsmitglieder daher sinnvoll zwischen steilen Hierarchien (vielen Hierarchiestufen mit geringer Kontrollspanne) und flachen Hierarchien (wenigen Hierarchiestufen mit entsprechend höherer Kontrollspanne) unterscheiden. Diese schnell einleuchtende Klassifizierung soll zusätzlich zum Ausmaß der Einflussnahme der oberen auf die untere Hierarchie-Ebene für die formale Modellierung übernommen werden. Die unabhängige Variable, welche die Konfiguration der modellierten Organisation misst, soll bei gleichbleibender Anzahl an Organisationsmitgliedern die Kontrollspanne sein.

3. Implementierung

Der nächste Schritt ist die Implementierung des eben entwickelten, erweiterten formalen Modells. Hierfür sind im Wesentlichen zwei Anpassungen notwendig. Erstens muss die direkte Interaktion der Agenten implementiert werden, indem festgelegt wird, an welcher Position jeder Agent in der Hierarchie der Organisation steht, von welchem Agenten er Weisungen erhält und welcher Menge von Agenten er weisungsbefugt ist. Diese Verknüpfungen können in einem Organigramm dargestellt werden. Zweitens muss der

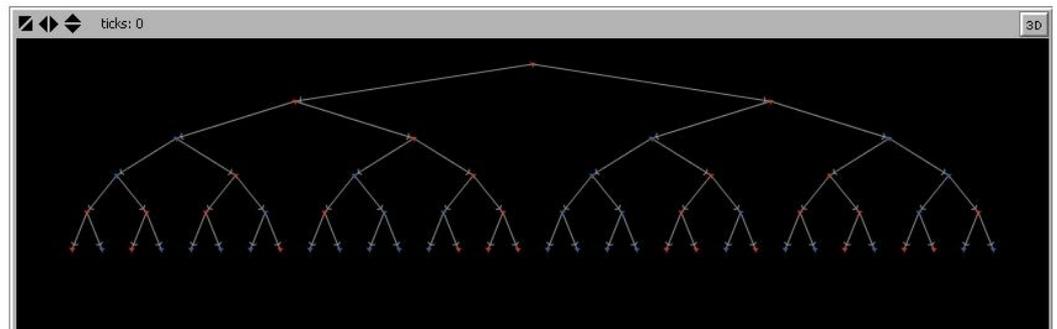
⁵⁹⁹ Vgl. Abschnitt C.III.2 dieser Arbeit

Entscheidungsalgorithmus der Agenten gemäß Abbildung 31 an die neuen Erfordernisse angepasst und die Variable leadership-impact (li) für die Stärke der Einflusspotentiale der Führungskräfte implementiert werden.

Implementierung der Hierarchie

Für die Implementierung der Organisationsstruktur wurde die in netlogo bereits vorhandene Klasse „link“ verwendet, die Agenten in einem System miteinander verknüpft. Es wird ein gerichteter link verwendet, dieser hat einen Anfangspunkt und einen Endpunkt und somit eine klar definierte Richtung. Jeder link zeigt von einem Vorgesetzten auf einen Mitarbeiter. Durch die Gesamtmenge der links kann die Organisationsstruktur vollständig abgebildet werden. Ein Beispiel für eine auf diese Weise erzeugte hierarchische Organisation mit einer Kontrollspanne von 2 und einer Gesamtzahl von 63 Agenten zeigt Abbildung 32.

Abbildung 32: Implementierung der Organisationsstruktur in Netlogo mit Hilfe gerichteter links



Implementierung des Entscheidungsalgorithmus der Agenten

Gemäß den Überlegungen zur formalen Modellierung, die in Abbildung 31 zusammengefasst sind, wird der in Kapitel E.I.4.b) entwickelte Entscheidungsalgorithmus wie folgt modifiziert: Die „force to act“ für beide Handlungsmöglichkeiten berechnet sich nun abhängig vom Verbreitungsgrad x und der Position des Agenten in der Organisation y für A

$$FTA_A(x, y) = \alpha * [f_{A,c}(x) + i(y) * li]$$

und analog für B

$$FTA_B(x, y) = \beta * [f_{B,c}(x) + i(y) * li],$$

wobei

die randomisierte subjektive Wahrscheinlichkeit α, β bel. $\in [0,1]$ sei,

leadership-impact $li \in \mathbb{R}^+$ die Führungsmacht des Vorgesetzten sei,

die Instrumentalität $i(y) \in \{-1,1\}$ in Abhängigkeit des Adoptionsverhaltens des Vorgesetzten von Agent y sei,

und $f_{A,c}(x)$ und $f_{B,c}(x)$ seien misfit-Kostenfunktionen der Form

$$f_{M,c}(x) = e^{m*c*x*1.5}$$

mit $M \in \{A,B\}$ und dem Verbreitungsgrad $x \in [-1,+1]$.

Der implementierte Netlogo-Code findet sich vollständig im Anhang, z.B. für eine hierarchische Organisation mit einer Kontrollspanne von 2 in Abschnitt I.II.2.c) des Anhanges.

4. Durchführung der Simulation

Bei der Durchführung der virtuellen Experimente können die beiden unabhängigen Variablen Kontrollspanne (span) und Einflusspotentiale der Führungskraft (li) einzeln variiert werden, um den Einfluss der jeweiligen Variablen separat beobachten zu können. Zusätzlich ist später eine simultane Variation möglich, um die Interdependenzeffekte von Hierarchie und Führungsmacht untersuchen zu können. Das Erkenntnisinteresse der Arbeit liegt auf Pfadprozessen in Hierarchien, weshalb für das fortgeschrittene Modell M1 Simulationen grundsätzlich nur für den Fall von zunehmenden Erträgen durchgeführt wurden.⁶⁰⁰ Die Zahl der Agenten wurde bei 1,000 stabil gehalten. Für jede Kombination der beiden unabhängigen Variablen in Abbildung 33 wurden gemäß der Monte-Carlo-Methode mindestens 100 – in einigen Fällen bis zu 1000 – Simulationen mit je 6,000 ticks gerechnet.

⁶⁰⁰ In der Robustheitsanalyse in Kapitel E.II.6 finden sich aber auch ausgewählte Ergebnisse für die Analyse mit geringen zunehmenden bzw. konstanten Erträgen.

Abbildung 33: Kombinationen der unabhängigen Variable Kontrollspanne (span) und Führungsmacht (li)

		Kontrollspanne (span)				
		2	3	5	10	32
Führungsmacht (li)	0.00	M1.span2 li.0	M1.span3 li.0	M1.span5 li.0	M1.span10 li.0	M1.span32 li.0
	0.01	M1.span2 li.0.01	M1.span3 li.0.01	M1.span5 li.0.01	M1.span10 li.0.01	M1.span32 li.0.01
	0.05	M1.span2 li.0.05	M1.span3 li.0.05	M1.span5 li.0.05	M1.span10 li.0.05	M1.span32 li.0.05
	0.10	M1.span2 li.0.1	M1.span3 li.0.1	M1.span5 li.0.1	M1.span10 li.0.1	M1.span32 li.0.1
	0.15	M1.span2 li.0.15	M1.span3 li.0.15	M1.span5 li.0.15	M1.span10 li.0.15	M1.span32 li.0.15
	0.02	M1.span2 li.0.02	M1.span3 li.0.02	M1.span5 li.0.02	M1.span10 li.0.02	M1.span32 li.0.02
	0.25	M1.span2 li.0.25	M1.span3 li.0.25	M1.span5 li.0.25	M1.span10 li.0.25	M1.span32 li.0.25
	0.50	M1.span2 li.0.5	M1.span3 li.0.5	M1.span5 li.0.5	M1.span10 li.0.5	M1.span32 li.0.5
	0.75	M1.span2 li.0.75	M1.span3 li.0.75	M1.span5 li.0.75	M1.span10 li.0.75	M1.span32 li.0.75
	1.00	M1.span2 li.1	M1.span3 li.1	M1.span5 li.1	M1.span10 li.1	M1.span32 li.1
	1.50	M1.span2 li.1.5	M1.span3 li.1.5	M1.span5 li.1.5	M1.span10 li.1.5	M1.span32 li.1.5
	2.00	M1.span2 li.2	M1.span3 li.2	M1.span5 li.2	M1.span10 li.2	M1.span32 li.2
	2.50	M1.span2 li.2.5	M1.span3 li.2.5	M1.span5 li.2.5	M1.span10 li.2.5	M1.span32 li.2.5
	3.00	M1.span2 li.3	M1.span3 li.3	M1.span5 li.3	M1.span10 li.3	M1.span32 li.3
	3.50	M1.span2 li.3.5	M1.span3 li.3.5	M1.span5 li.3.5	M1.span10 li.3.5	M1.span32 li.3.5
	4.00	M1.span2 li.4	M1.span3 li.4	M1.span5 li.4	M1.span10 li.4	M1.span32 li.4
4.50	M1.span2 li.4.5	M1.span3 li.4.5	M1.span5 li.4.5	M1.span10 li.4.5	M1.span32 li.4.5	
5.00	M1.span2 li.5	M1.span3 li.5	M1.span5 li.5	M1.span10 li.5	M1.span32 li.5	

Die Ergebnisdaten der Simulationen, die im Folgenden aggregiert analysiert werden, finden sich im Anhang in Abschnitt I.II.2 unter dem jeweiligen Simulationsmodell. Die Aggregation der Daten erfolgte mit Microsoft Excel, die statistischen Signifikanztests wurden mit SPSS gerechnet.

5. Ergebnisse

Die Präsentation der Ergebnisse soll in 2 Abschnitte unterteilt werden. Zuerst werden in Abschnitt a) die grundlegenden Ergebnisse die Durchsetzung selbstverstärkender Effekte in hierarchischen Organisationen betreffend präsentiert. Hierbei werden die Effekte der unabhängigen Variablen *Kontrollspanne* und *Führungsmacht* zunächst separat betrachtet, während die jeweils andere Variable konstant gehalten wird. Anschließend werden Interdependenzeffekte betrachtet, zu denen es bei gleichzeitiger Variation der unabhängigen Variablen kommt. Im darauffolgenden Abschnitt b) werden die Erkenntnisse dargestellt, die sich aus den Simulationsergebnissen für den Verlauf pfadabhängiger Prozesse in hierarchischen Organisationen ergeben. Hierbei wird vor allem auf den Einfluss von Hierarchie auf die Geschwindigkeit und die Prägnanz von Pfadprozessen abgestellt.

a) Ergebnisse zur Durchsetzung selbstverstärkender Effekte in Hierarchien

Schon bei den ersten Testläufen im Simulationsprozess wurde ersichtlich, dass die Gestalt der Hierarchie und die Stärke der Führungsmacht einen Einfluss auf den Pfadprozess haben. Die Beobachtung einzelner Simulationsdurchläufe allein erlaubt es jedoch nicht, allgemeine Aussagen über das Konkurrenzverhältnis von Hierarchie und selbstverstärkenden Effekten abzuleiten, da das Ergebnis einzelner Simulationsdurchläufe aufgrund der im Modell implementierten stochastischen Elemente und der durch die Selbstverstärkungsmechanismen erzeugten Sensitivität auf Anfangsbedingungen nicht aussagekräftig sind. Für eine wissenschaftliche Auswertung wird daher erneut die Monte-Carlo-Methode⁶⁰¹ angewandt und es werden die Ergebnisse von jeweils mindestens 100 Simulationsdurchläufen (teilweise wurden bis zu 1,000 Durchläufe pro Parameterkombination der unabhängigen Variablen gerechnet) zusammengefasst und graphisch aufbereitet. Mit Hilfe der aggregierten Daten sollen die Fragestellung untersucht und Implikationen für die Theorie abgeleitet werden.⁶⁰²

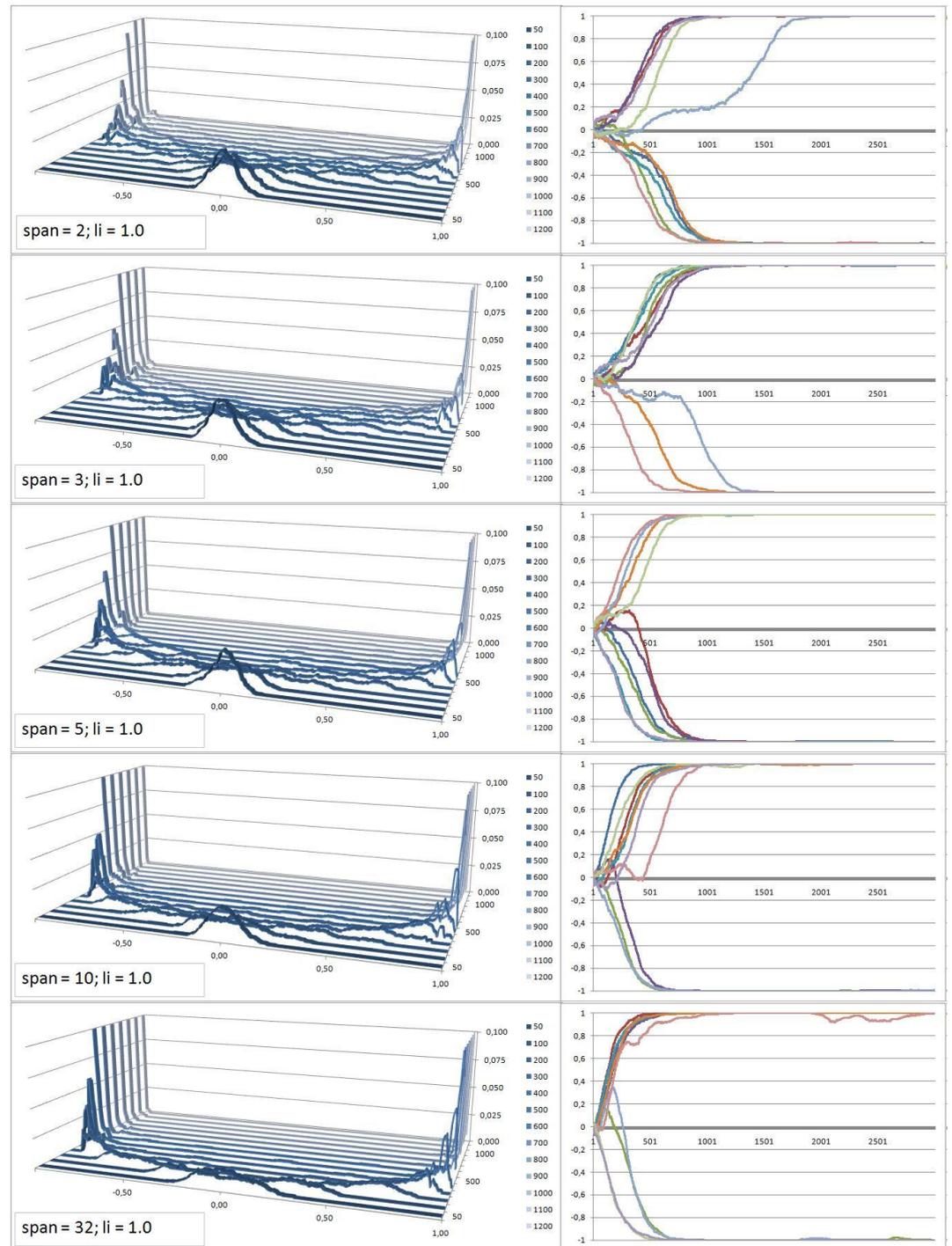
(i) Auswirkungen der Kontrollspanne auf die Durchsetzung selbstverstärkender Effekte in Hierarchien

Die vorliegende Modellierung erlaubt es nun, mittels numerischer Analyse Aussagen über die Auswirkungen der Kontrollspanne auf den Pfadprozess in hierarchischen Organisationen zu treffen, während die Variable Führungsmacht konstant gehalten wird. In Abbildung 34 werden die aggregierten Ergebnisse für Implementierungen der unabhängigen Variablen Kontrollspanne gezeigt, die die Ausprägungen $\text{span} = 2, 3, 5, 10$ und 32 annimmt.

⁶⁰¹ Vgl. Law & Kelton 1991 S.113f.

⁶⁰² Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.482

Abbildung 34: Einfluss der Kontrollspanne auf den Pfadprozess



Aggregierte Ergebnisse von je 100 Simulationendurchläufen zu je 3,000 ticks für Organisation mit unterschiedlicher Kontrollspanne ($span = 2, 3, 5, 10, 32$) und konstanter Führungsmacht ($li = 1.0$)
 Erläuterungen zur Abbildung: links die Wahrscheinlichkeitsdichte, rechts Beispiel-Verlaufskurven
 Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Darstellung Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Betrachtet man das Systemverhalten anhand der Wahrscheinlichkeitsdichte⁶⁰³ für die verschiedenen Hierarchien, so ist erkennbar, dass es unabhängig von der Ausprägung der Hierarchie zu einer Bifurkation (in der graphischen Darstellung zur Aufspaltung der Wahrscheinlichkeitsdichte in zwei sich zuspitzende Bergrücken) und dem uns schon vom Model M0 ohne Hierarchie bekannten nonergodischen, pfadabhängigen Verlauf kommt, an dessen Ende mit der Dominanz einer Lösung ein lock-in steht. Die Beispielverlaufskurven einzelner Simulationsdurchläufe auf der rechten Seite bestätigen das Bild, dass sich trotz Hierarchie eine sich im Zeitablauf durchsetzende, dominante Lösung einstellt.

Das mittels der Wahrscheinlichkeitsdichte beschriebene Systemverhalten ist hierbei konsistent mit Arthurs Ergebnis-Darstellungen für den Fall der increasing returns unter Marktbedingungen⁶⁰⁴; auch die Beispielverlaufskurven von Abbildung 34 zeigen ein Ergebnis, das mit dem von Arthurs Urnenmodell für selbstverstärkende Urnenfunktionen qualitativ konsistent ist⁶⁰⁵. Es kann also konstatiert werden, dass durch die hierarchische Struktur (zumindest bei konstanter Führungsmacht auf dem Niveau $li=1.0$) die Entstehung eines emergenten Pfades und mit hoher Wahrscheinlichkeit ein lock-in nicht verhindert werden kann. Es ist nun zu prüfen, ob dieses Ergebnis unabhängig von der Stärke der Führungsmacht gültig bleibt.

(ii) Auswirkungen der Führungsmacht auf die Durchsetzung selbstverstärkender Effekte in Hierarchien

Wie bereits oben bei den theoretischen Grundlagen ausgeführt, lässt die moderne Führungstheorie erwarten, dass sich die Höhe der Einflusspotentiale, operationalisiert durch die Variable Führungsmacht, maßgeblich auf das institutionelle Adoptionsverhalten der Organisationsmitglieder auswirkt.⁶⁰⁶ Die Vermutung liegt daher nahe, dass die Pfadlogik in hierarchischen Organisationen nur dann hält, wenn die Führungsmacht konstant gering ist, bei großer Führungsmacht hingegen könnte sich die Hierarchie gegen die selbstverstärkende

⁶⁰³ Für eine ausführliche Erläuterung, wie die Wahrscheinlichkeitsdichte zu interpretieren ist, vergleiche Abschnitt E.I.6 dieser Arbeit

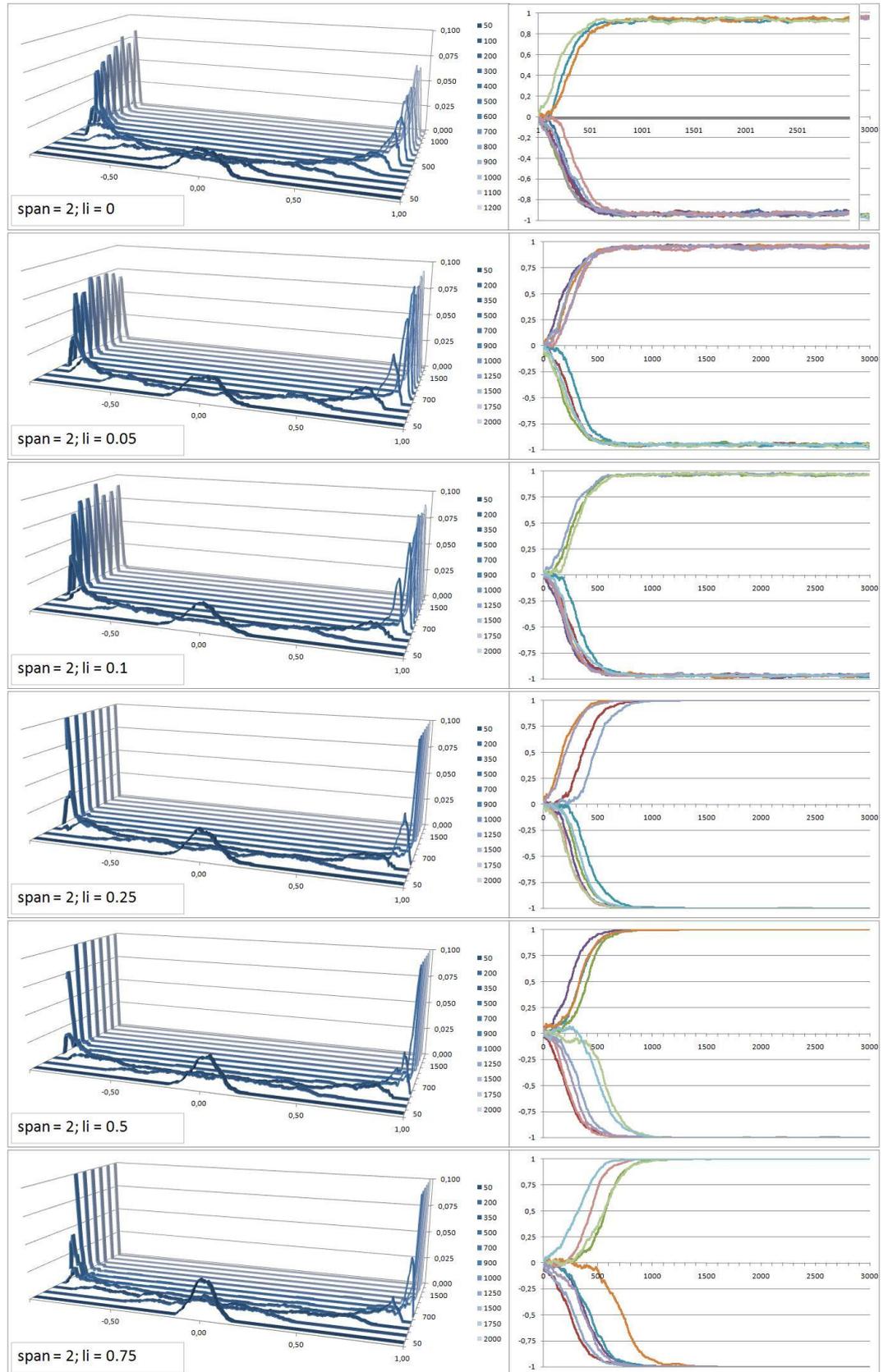
⁶⁰⁴ Vgl. Arthur 1994 S.175

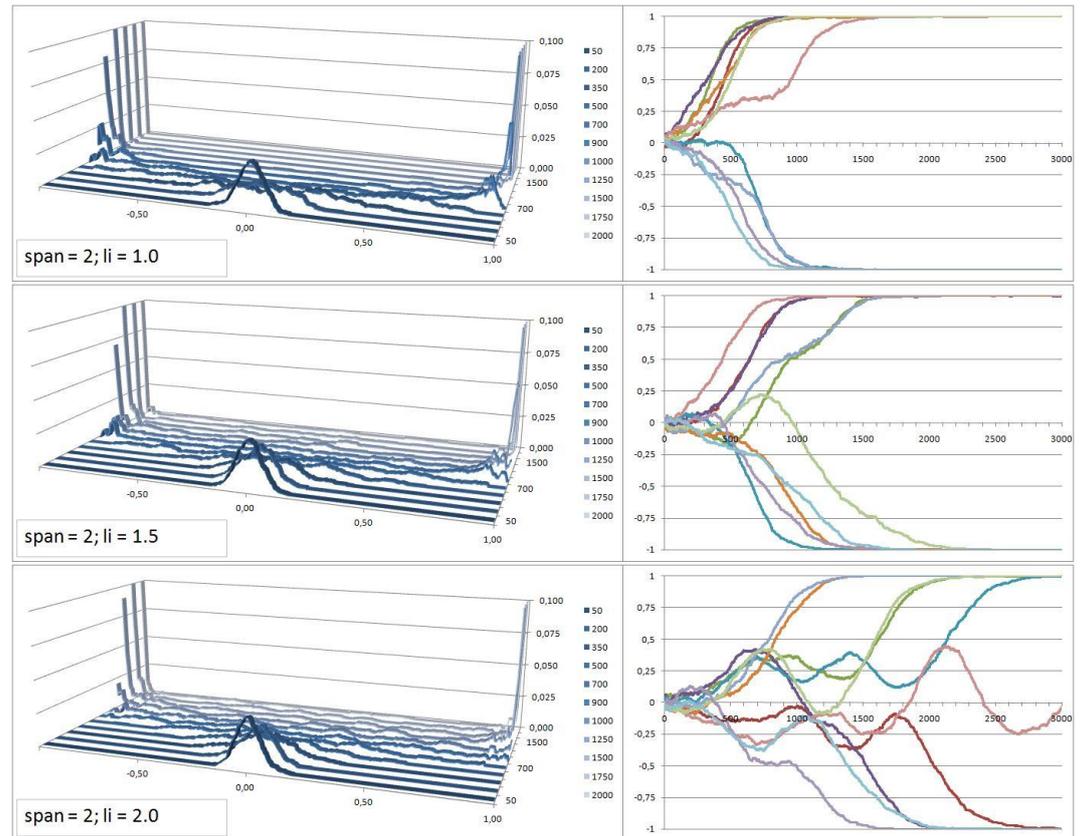
⁶⁰⁵ Vgl. Arthur 1994 S.146-147

⁶⁰⁶ Vgl. die Ausführungen zum Erwartungs-Valenz-Modell in dieser Arbeit oder in der ursprünglichen Quelle bei Vroom 1964 S.15ff.

Dynamik durchsetzen. Betrachten wir deshalb die Simulationsergebnisse für konstante Kontrollspanne ($\text{span}=2$) und die Variation der Variablen Führungsmacht von sehr geringen bis hin zu sehr großen Werten. Abbildung 34 zeigt hierfür die aggregierten Ergebnisse in der bekannten Darstellung mittels Wahrscheinlichkeitsdichte und Beispielverlaufskurven. Die Darstellungen des Simulationsoutputs zeigen, dass für eine schrittweise Erhöhung der Führungsmacht von $l_i=0$ bis hin zu $l_i=2$ eine graduelle Veränderung des Systemverhaltens zu beobachten ist. Hierbei werden zwei Ergebnisse besonders deutlich: Erstens ist unabhängig von der Höhe der Führungsmacht in der Darstellung mittels Wahrscheinlichkeitsdichte die uns bekannte Bifurkation zu erkennen, der Prozess hat also weiterhin die Eigenschaft der Nonergodizität und führt im Zeitablauf zur Dominanz einer Lösung, es kommt also regelmäßig zum lock-in. Zweitens fällt auf, dass mit Erhöhung der Führungsmacht die Bifurkation später eintritt, d.h. die Flexibilität des Prozesses bleibt bei hoher Führungsmacht länger erhalten, und es kommt später zum lock-in. Diese Erkenntnis wird besonders deutlich, wenn man die graduelle Veränderung der Beispielverlaufskurven betrachtet. Es kann also konstatiert werden: Auch bei hoher Führungskraft kommt es (wenn die Kontrollspanne konstant bei $\text{span}=2$ liegt) zu einem pfadabhängigen Prozess und lock-in im Sinne der Pfadabhängigkeitstheorie. Eine große Führungskraft kann den Prozess verlangsamen, die emergente Entwicklung eines Pfades aber nicht aufhalten. Die selbstverstärkenden Effekte setzen sich also durch.

Abbildung 35: Einfluss der Führungsmacht auf den Pfadprozess





Aggregierte Ergebnisse von je 100 Simulationen durchläufen zu je 3,000 ticks für Organisation mit unterschiedlicher Führungsmacht ($li = 0.05; 0.1; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.5; 2.0$) und konstanter Kontrollspanne ($span = 2$)

Erläuterungen zur Abbildung: links die Wahrscheinlichkeitsdichte, rechts Beispiel-Verlaufskurven
 Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Darstellung Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Bisher wurden die Ergebnisse für Variation der Kontrollspanne bei konstanter Führungsmacht ($li=1.0$) und Variation der Führungsmacht bei konstanter Kontrollspanne ($span=2$) betrachtet. Es bleibt für die Beantwortung der Kernfrage der Arbeit nun zu klären, ob es auch bei anderen Kontrollspannen unabhängig von der Höhe der Führungsmacht zur Durchsetzung der selbstverstärkenden Marktlogik kommt. Hierfür wurden umfassende Simulationen für jede Kombination der Parameter Kontrollspanne mit $span = \{2, 3, 5, 10, 32\}$ und Führungsmacht mit $li = \{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0\}$ gerechnet, es ergeben sich also $5 \cdot 10 = 50$ Parameterkombinationen, für die jeweils nach der Monte-Carlo-Methode 100 Simulationen gerechnet wurden und es wurde jeweils ermittelt, ob der Prozess zum lock-in einer Lösung führt⁶⁰⁷. Die Ergebnisse sind in

⁶⁰⁷ Operationalisierung des lock-in: ein lock-in liegt dann vor, wenn der Diffusionsgrad der dominanten institutionellen Lösung dauerhaft (d.h. mindestens 500 ticks) über 95% liegt (das

Abbildung 36 zusammengefasst. Sie zeigt das mit den Vermutungen der Pfadforschung⁶⁰⁸ konsistente Ergebnis, dass sich die Marktlogik selbstverstärkender Effekte auch in hierarchischen Organisationen grundsätzlich und unabhängig von der Höhe der Einflusspotentiale der Führungskräfte und der Ausgestaltung der Hierarchie durchsetzt, und es zu einem lock-in kommen kann.

Abbildung 36: Wahrscheinlichkeit eines lock-in in Abhängigkeit von Führungsmacht und Kontrollspanne

		Führungsmacht (li)									
		li = 0	li = 0.25	li = 0.5	li = 0.75	li = 1.0	li = 1.5	li = 2.0	li = 3.0	li = 4.0	li = 5.0
Kontrollspanne (span)	span 2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	98%	98%
	span 3	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	span 5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	span 10	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	span 32	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Erläuterung: Näherungsweise Wahrscheinlichkeit eines lock-in innerhalb von 6,000 ticks in Abhängigkeit von Führungsmacht und Kontrollspanne; ein lock-in liegt vor, wenn der Diffusionsgrad der dominanten institutionellen Lösung dauerhaft (d.h. mindestens 500 ticks) über 95% liegt (das entspricht einem spread > 0.9); es wurden je Parameterkombination 100 Simulationsdurchläufe gerechnet.

Es ist hierbei anzumerken, dass es in den meisten Fällen bei jedem der 100 Simulationsdurchläufe pro Parameterkombination zu einem lock-in kam, lediglich bei steiler Hierarchie (span = 2) und sehr hoher Führungsmacht (li > 3.0) gibt es einige wenige Fälle, in denen es nicht innerhalb von 6,000 ticks zu einem lock-in kam. Die wenigen Fälle, in denen kein lock-in gemessen werden konnte, stellen für die Verteidigung des Ergebnisses, dass sich die selbstverstärkende Marktlogik grundsätzlich gegen organisationale Hierarchie durchsetzen kann, jedoch kein Hindernis dar: Zum einen handelt es sich nur um einen verschwindend geringen Anteil der Fälle; zum anderen kann konzeptionell argumentiert werden: selbst eine größere Anzahl Fälle, in denen kein lock-in konstatiert werden kann, wäre kein gültiges Argument, die grundsätzliche Durchsetzungskraft der Marktlogik selbstverstärkender Effekte zu verwerfen, denn in der modernen Pfadforschung kommt es darauf an, dass ein Prozess, der selbstverstärkendem feedback

entspricht einem spread > 0.9; die vorliegende Ergebnisse beziehen sich auf Simulationsläufe mit je 6.000 Ticks pro Durchlauf.

⁶⁰⁸ Vgl. Ackermann 2003 S.248ff.; David 1994 S.214; Schäcke 2006 S.72-74; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.262f.; Schreyögg & Sydow 2010 S.3-12, S.35-70

unterliegt, in einen lock-in münden *kann*, dies jedoch nicht zwangsläufig immer der Fall sein *muss*.⁶⁰⁹

Das Ergebnis der Simulationen stellt einen numerischen Beleg dafür dar, dass die Durchsetzungskraft von selbstverstärkenden Effekten von organisationaler Hierarchie grundsätzlich nicht konterkariert werden kann, und somit die Voraussagen der Pfadtheorie auch in hierarchischen Organisationen Geltung beanspruchen können.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass das Vorliegen von Hierarchie den Pfadprozess dennoch graduell beeinflusst. Insbesondere scheint, nach der bisherigen Betrachtung der Ergebnisse, eine höhere Kontrollspanne und eine höhere Führungsmacht den Pfadprozess zu verlangsamen. Im Folgenden soll daher detaillierter untersucht werden, ob auch sämtliche für einen Pfad typischen Prozesseigenschaften in hierarchischen Organisationen nachgewiesen werden können und wie sich Hierarchie auf Pfadkonstitution und lock-in auswirkt.

b) Auswirkungen organisationaler Hierarchie auf den Verlauf von Pfadprozessen

Die folgenden Ausführungen sollen über die Ergebnisdiskussion die Kernfrage der Arbeit betreffend hinausgehen und detaillierter mögliche Einflüsse von organisationaler Hierarchie auf den Pfadprozess beleuchten, die bisher in der Forschung mangels formaler Modellierung von Pfaden in hierarchischen Organisationen nicht thematisiert werden konnten. Die Ergebnisse, die im Folgenden präsentiert werden, beziehen sich also auf die graduellen Auswirkungen, die Hierarchie auf den Pfadkonstitutionsprozess hat.

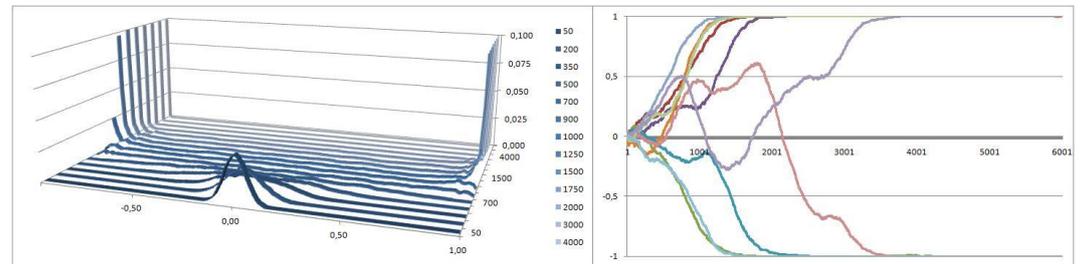
Beispielhaft sein hierfür zunächst die aggregierten Ergebnisse der Simulation mit der Kombination der unabhängigen Variablen Kontrollspanne $span=2$ und Führungsmacht $li=3$ in Abbildung 37 angeführt. Hierbei fällt zunächst auf, dass die institutionelle Diversität viel länger erhalten bleibt als dies ohne organisationale Hierarchie der Fall war.⁶¹⁰ Der Pfadprozess scheint bei dieser

⁶⁰⁹ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.263; Petermann, Klaußner & Senf 2010 S.13f.

⁶¹⁰ Vgl. die Ergebnisse des Modells M0 in Abschnitt E.I.6 dieser Arbeit

Parameterkombination also graduell modifiziert abzulaufen, verglichen mit Systemen ohne Hierarchie.

Abbildung 37: Der Pfadprozess in einer hierarchischen Organisation



Aggregierte Ergebnisse von 1.000 Simulationen durchläufen zu je 6.000 ticks für eine hierarchische Organisation mit sehr steiler Hierarchie (Kontrollspanne $span = 2$) und mittlerer Führungsmacht ($li = 3.0$)
 Erläuterungen zur Abbildung: links die Wahrscheinlichkeitsdichte, rechts Beispiel-Verlaufskurven
 Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte: x-Achse: Verbreitungsgrad, z-Achse: Zeit, y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte; Darstellung Beispiel-Verlaufskurven: x-Achse: Zeit, y-Achse: Verbreitungsgrad

Vergleicht man die Ergebnisse für die verschiedenen Konfigurationen der Hierarchie in Abbildung 34, so fällt auf, dass bei größerer Kontrollspanne die Wahrscheinlichkeitsdichte für Ausprägungen des Verbreitungsgrades um 0 herum im Zeitablauf früher abflacht und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeitsdichte für Verbreitungsgrade betragsmäßig nahe 1 schneller zunehmen, d.h. die institutionelle Diversität im System geht bei höherer Kontrollspanne schneller verloren. Die Konfiguration der Organisationsstruktur scheint sich also abhängig von der Gestalt der Hierarchie beschleunigend bzw. verlangsamen auf den Pfadkonstitutionsprozess auszuwirken; dieser Effekt, der hier schon zu vermuten ist, wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels detailliert betrachtet und auf seine statistische Signifikanz hin untersucht.

Eine weitere grundsätzliche Erkenntnis lässt sich über den Einfluss der Führungsmacht auf dem Pfadprozess formulieren. Abbildung 35 zeigt hier die aggregierten Ergebnisse für eine Organisation mit konstanter Kontrollspanne 2 und variierender Führungsmacht. Ein Blick auf die aggregierten Daten zeigt, dass sich das Systemverhalten bei sehr geringer Führungsmacht (oberer Abbildungsteil) nicht merklich von dem des einfachen Modells M0 unterscheidet. Dies war zu erwarten, da ohne Führungsmacht die Hierarchie irrelevant ist und bei sehr geringer Führungsmacht die Hierarchie auch nur eine sehr geringe Rolle spielen kann; die Auswirkungen der Organisationsstruktur sind umso stärker, je

höher die Führungsmacht ausgeprägt ist.⁶¹¹ Mit steigender Führungsmacht lässt sich an den Beispielverlaufskurven erkennen, dass der Prozess in der Pfadformierungsphase zunehmend chaotischen Charakter annimmt. Es scheint, dass höhere Führungsmacht, zumindest in der frühen Phase des Prozesses, die systematische, stabilisierende Wirkung selbstverstärkender Effekte abschwächt. Anders ausgedrückt: Flexibilität und Diversität bleiben länger erhalten, was für eine Verlangsamung des Pfadkonstitutionsprozesse spricht. Weiter fällt auf, dass der sich bei höherer Führungsmacht langfristig einstellende Systemzustand extremer ausgeprägt ist. So stabilisiert sich der Verbreitungsgrad in den Beispielverlaufskurven für sehr geringe Ausprägungen der Führungsmacht ($li \leq 0.1$) noch bei einem betragsmäßig deutlich unter 1 liegenden Wert; für größere Führungsmacht ($li \geq 0.1$) stellt sich hingegen ein Wert ein, der betragsmäßig bei 1 liegt, d.h. der lock-in bildet hier einen prägnanteren Charakter aus. Ob dies auch für Konfigurationen mit einer Kontrollspanne $span \neq 2$ zu beobachten ist, und ob es sich tatsächlich um einen statistisch signifikanten Effekt handelt, wird ebenfalls in der folgenden detaillierten Analyse untersucht.

Betrachtet man die Beispiel-Verlaufskurven in Abbildung 34, so fällt auf, dass im Falle der Kontrollspanne 32 ein Verbreitungsgrad von betragsmäßig 1 nicht unbedingt stabil ist, wie an den Abweichungen von 1 bzw. -1 im Zeitintervall tick 2,000 bis tick 3,000 zu sehen ist. Weicht der Verbreitungsgrad betragsmäßig deutlich von 1 ab, so endet die lock-in-Phase, da dann wieder ausreichend Diversität gegeben ist und der Handlungsspielraum sich wieder erweitert hat. Deshalb kann vermutet werden, dass sich eine größere Kontrollspanne in der Art auswirkt, dass sich die Dauer der lock-in-Phase verkürzt; es handelt sich hier also um einen Effekt der Pfadbrechung. Da in der vorliegenden Arbeit der Fokus auf der Pfadkonstitution in hierarchischen Organisationen liegt, werden die Erkenntnisse bezüglich einer Pfadbrechung als Exkurs im Anhang dieser Arbeit dargelegt.

⁶¹¹ Zur Begründung sei auf das mit Hilfe des EVM konstruierte Entscheidungsverhalten der Akteure verwiesen. Die Organisationsstruktur wirkt sich demnach auf das individuelle Entscheidungsverhalten in Abhängigkeit von der Stärke der Führungsmacht aus. Ist diese 0, so findet kein Einfluss via Hierarchie statt. Vgl. auch Abschnitt E.II.3 dieser Arbeit für eine detaillierte Darstellung.

Zusammenfassend kann konstatiert werden: Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich Hierarchie und Führungsmacht graduell auf den Pfadprozess auswirken und ihre jeweilige Ausprägung impliziert, ob

- (i) der Pfadprozess beschleunigt oder verlangsamt abläuft (Einfluss auf die Länge der Pfadformierungsphase),
- (ii) der lock-in mehr oder weniger extrem ausgeprägt ist (Einfluss auf die Prägnanz des lock-in),
- (iii) die Dauer des lock-in kürzer oder länger ist (Einfluss auf die Länge der lock-in-Phase)⁶¹².

Wie genau sich Variationen der unabhängigen Variablen auf diese Dimensionen des Pfadprozesses auswirken und ob es Interdependenzeffekte zwischen ihnen gibt, soll im Folgenden detailliert analysiert werden. Hierbei werden die für die Fragestellung der Arbeit relevanten Implikations-Dimensionen (i) und (ii) im Ergebnisteil behandelt und (iii) wegen seiner geringeren Relevanz für die Fragestellung in einem Exkurs im Anhang gezeigt.

(i) Implikationen für die Länge der Pfadformierungsphase

Es sollen im Folgenden die Auswirkungen der Variation der unabhängigen Variablen Hierarchie und Führungsmacht auf die Zeitspanne untersucht werden, die bis zum lock-in vergeht. Es sei daran erinnert, dass der lock-in im Rahmen der Analyse der Simulationsergebnisse dann vorliegt, wenn der Verbreitungsgrad *betragsmäßig und dauerhaft* über 0.9 liegt.⁶¹³ Ein späterer (früherer) lock-in-Zeitpunkt entspricht im Pfadmodell von Sydow, Schreyögg und Koch⁶¹⁴ einer längeren (kürzeren) Pfad-Formierungsphase – die emergente Ausbildung des Pfades schreitet entsprechend langsamer (schneller) voran. Bei der Untersuchung werden zunächst die Implikationen der Variation der Führungsmacht und im Anschluss die Implikationen der Variation der Hierarchie betrachtet. Der Abschnitt endet mit einer Analyse der Implikationen der interdependenten Variation beider unabhängiger Variablen auf die Pfadformierungsphase.

⁶¹² Siehe Exkurs zu Pfadbrechung im Anhang dieser Arbeit

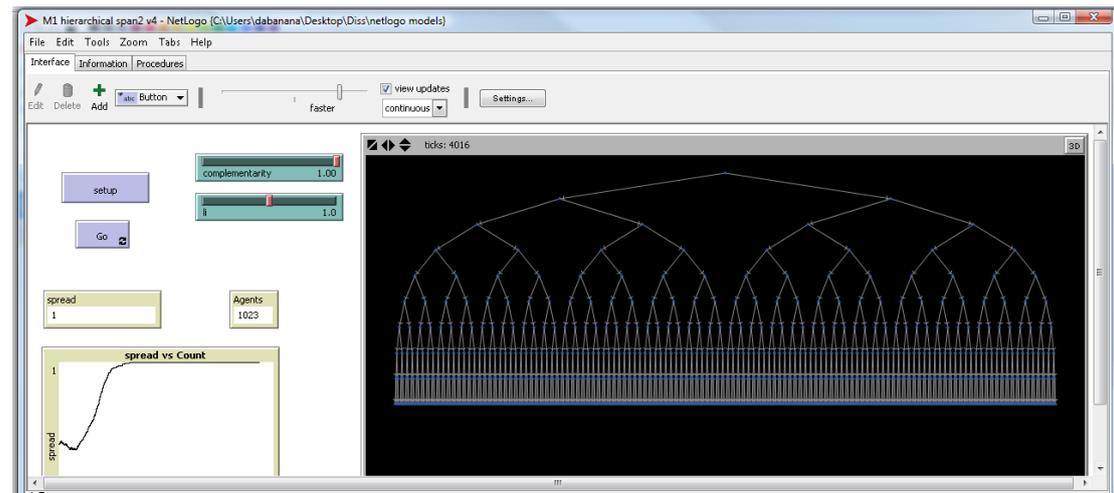
⁶¹³ Das entspricht einem Diffusionsgrad von 95% für die dominante institutionelle Lösung. Zur Übertragung der Konzeption des lock-in auf das vorliegende formale Modell und seine Ergebnisse vergleiche auch Abschnitt E.I.8 dieser Arbeit.

⁶¹⁴ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.693-694

Auswirkungen von Führungsmacht auf die Pfadformierungsphase

Für die Analyse der Ergebnisse der Variation der Führungsmacht wird die Kontrollspanne zunächst bei 2 konstant gehalten.⁶¹⁵ Eine aggregierte Auswertung der Simulationdurchläufe der NetLogo Implementation des Modells M1 span2 zeigt Abbildung 38.

Abbildung 38: NetLogo-Implementation des Modells M1 span2



Wird Führungsmacht der Stärke $l_i = 0$ angenommen, liegt kein Führungseinfluss vor, da in diesem Fall die *force to act* unabhängig vom Adoptionsverhalten des Vorgesetzten für alle N ist:

$$FTA_N(x, y) = \alpha * [f_{N,c}(x) + i(y) * 0] = \alpha * f_{N,c}(x) = FTA_N(x)$$

Ohne das Vorliegen von Führungseinfluss ist die Ausgestaltung der Hierarchie unerheblich für die Entscheidungen auf der Mikroebene und damit auch für das Systemverhalten auf der Makroebene. Das erweiterte Modell M1 span2 liefert für $l_i = 0$ unabhängig von der Ausgestaltung der Organisationsstruktur daher stets dieselben Ergebnisse wie das Modell M0.

Wird Führungsmacht der Stärke $l_i > 0$ angenommen, dann spielt die Hierarchie allerdings eine Rolle. Es ist anzunehmen, dass sich bei geringer Führungsmacht nahe 0 die Hierarchie, wenn überhaupt, nur moderat auf den Pfadprozess

⁶¹⁵ Für die Effekte, die sich aus gleichzeitiger Variation von Kontrollspanne und Einflusspotentialen ergeben, siehe weiter unten Abschnitt E.II.5

auswirkt⁶¹⁶; bei signifikant großen Einflusspotentialen ist der Einfluss der Hierarchie auf den Prozess hingegen nicht ohne Weiteres vorherzusagen, da ein signifikanter Einfluss durch Führung auf das Entscheidungsverhalten der Akteure durch Komplementaritätseffekte verstärkt wird – und so über die Selbstverstärkungsspirale und die Sensitivität auf Anfangsbedingungen zu nicht absehbaren Folgen für das Systemverhalten führen kann. Die Simulationen können hier Ergebnisse zu Tage fördern, die den komplexen, interaktiven Prozess aufschlüsseln helfen.

Die Ergebnisse der Variation der Führungsmacht im Model M1 span2 werden in Abbildung 39 dargestellt und offenbaren hier einen überraschenden, nicht-linearen Zusammenhang: Wird Führungsmacht auf einem niedrigen Niveau eingeführt und von 0 ausgehend schrittweise erhöht ($li=0$ bis $li=0.5$), so kommt es zunächst zu einer Verkürzung der Zeit bis zum Erreichen des lock-in, was einer Verkürzung der Pfadformierungsphase im Berliner Modell entspricht. Der Pfadprozess wird also beschleunigt, wenn eine steile Hierarchie vorliegt (Kotrollspanne $span=2$). Dieser Effekt ist in hohem Maße signifikant ($mv_{li=0}=562.41$; $mv_{li=0.5}=480.05$; $T=6.927$; $p<0.001$ ⁶¹⁷). Wird die Führungsmacht weiter auf ein mittleres Niveau erhöht ($0.5 < li < 3$), stellt sich mit der Verlängerung der Pfad-Formierungsphase der gegenteilige Effekt ein, der die anfängliche Verkürzung der Pfad-Formierungsphase schnell überkompensiert. Es kommt schließlich mit steigenden Einflusspotentialen der Führungskräfte zu einer erheblichen Verlängerung der Pfad-Formierungsphase. Auch dieser Effekt ist in hohem Maße signifikant ($mv_{li=3.0}=1986.53$; $mv_{li=0.5}=480.05$; $T=15.612$; $p<0.001$ ⁶¹⁸). Eine weitere Erhöhung der Führungsmacht auf hohes Niveau ($li > 3$) hat nur noch einen schwachen, nicht

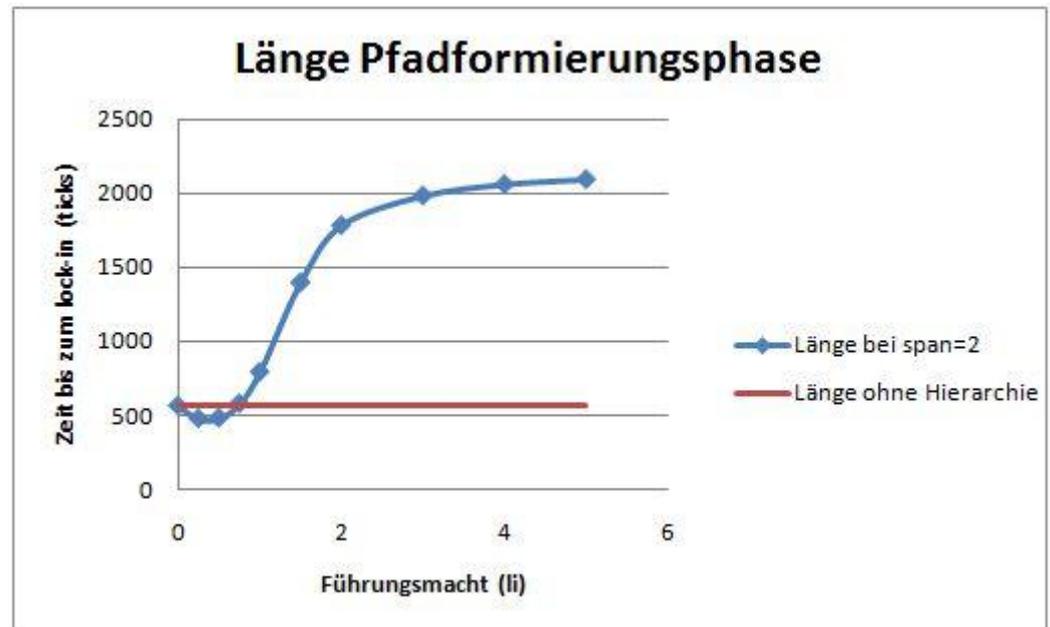
⁶¹⁶ Begründung: Wegen $FTA_M(x, y) = \alpha * [f_{M,c}(x) + i(y) * li]$ beeinflusst die Führungsmacht die Handlungsmotivation nur linear, d.h. eine sehr geringe Führungsmacht wird nur einen sehr geringen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten haben.

⁶¹⁷ Wenn nicht anders angegeben wird als Signifikanztest der Welch-Test auf Ungleichheit der Mittelwerte (mv) durchgeführt. In diesem Fall für des Erreichens des lock-in für $li=0$ und $li=0.5$. Für eine ausführliche Erläuterung der Variablen der statistischen Auswertung siehe das Variablenverzeichnis zu Beginn dieser Arbeit. Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 001

⁶¹⁸ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 002

signifikanten Einfluss auf die Länge der Pfadformierungsphase ($mv_{li=3,0}=1986.53$; $mv_{li=5,0}=2061.19$; $T=0.546$; $p<0.586^{619}$)

Abbildung 39: Länge der Pfadformierungsphase in Abhängigkeit der Führungsmacht bei Kontrollspanne 2 im Vergleich zum Prozess ohne Hierarchie



Erläuterung: Die Abbildung zeigt auf der y-Achse die durchschnittliche tick-Zahl (mean value lock-in tick) bis zum lock-in in Abhängigkeit der Führungsmacht (li) auf der x-Achse; Kontrollspanne liegt konstant bei span = 2.

Nachdem nun der Einfluss der Führungsmacht auf die Länge der Pfadformierungsphase analysiert wurde, wenden wir uns der zweiten unabhängigen Variablen zu und untersuchen, ob auch diese einen Einfluss auf die Länge der Pfadformierungsphase hat. Wie sich die Gestaltung der Hierarchie auf den Prozess auswirkt, ist für die Organisationstheorie von großem Interesse.⁶²⁰ Der folgende Abschnitt befasst sich daher mit den Ergebnissen der Simulation, die sich aus der Variation der zweiten unabhängigen Variable *Kontrollspanne* ergeben.

Auswirkungen der Hierarchie auf die Pfadformierungsphase

Wird die Kontrollspanne bei gleich bleibender Anzahl von Organisationsmitgliedern variiert, verändert sich die Gestalt der Hierarchie. Üblicherweise wird unterschieden in steile Hierarchien, die eine geringe

⁶¹⁹ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 003

⁶²⁰ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.701

Kontrollspanne und viele Hierarchieebenen aufweisen, und flache Hierarchien, die eine große Kontrollspanne und wenige Hierarchieebenen aufweisen.⁶²¹ Bei weiterhin etwa 1,000 Agenten⁶²² im untersuchten System ergibt sich aus der Kontrollspanne jeweils die in Tabelle 2 dargestellte Anzahl an Hierarchieebenen.⁶²³

Tabelle 2: Untersuchte Kontrollspannen und die ihnen zugehörige Zahl der Hierarchieebenen

Kontrollspanne	2	3	5	10	32
Anzahl Hierarchieebenen	10	7	5	4	3

Wie oben bereits ausgeführt, wird die Hierarchie über die Veränderung der Kontrollspanne (im Modell Variable „span“) bei gleichbleibender Zahl an Organisationsmitgliedern verändert; dies entspricht dem Vorgehen des Konfigurationsindex, da sich hierdurch automatisch eine Variation der Anzahl der Hierarchieebenen ergibt.⁶²⁴ Abbildung 40 zeigt nun die Länge der Pfadformierungsphase in Abhängigkeit von der Organisationsstruktur für die Kontrollspannen span = 2, 3, 5, 10 und 32, wobei die Führungsmacht jeweils bei $l_i = 1$ (blau), 3 (rot) und 5 (grün) konstant gehalten wird. Man betrachte im Vergleich die Länge der Pfadformierungsphase ohne Hierarchie $l_i=0$ (lila). Man erkennt, dass mit zunehmender Kontrollspanne die Pfadformierungsphase kürzer wird. Das bedeutet, dass der Pfadprozess umso schneller abläuft, je flacher die Hierarchie organisiert ist. Dieser Effekt ist in hohem Maße signifikant, bei konstantem $l_i=3.0$ und für jede Erhöhung der modellierten Kontrollspanne von span=2 auf span=3 ($m_{v_{span=2}}=1982.21$; $m_{v_{span=3}}=1368.52$; $T=4.91$; $p<0.001$ ⁶²⁵), von span=3 auf span=5 ($m_{v_{span=3}}=1368.52$; $m_{v_{span=5}}=995.09$; $T=4.233$; $p<0.001$ ⁶²⁶), von span=5 auf span=10 ($m_{v_{span=5}}=995.09$; $m_{v_{span=10}}=672.31$;

⁶²¹ Vgl. Schreyögg 2008 S.134

⁶²² Die Zahl der Agenten wurde zwischen 1,000 und 1,100 stabil gehalten.

⁶²³ Es wurde darauf verzichtet, die Organisationskonfiguration mit 2 Hierarchieebenen zu untersuchen, da dies eine Kontrollspanne von 1,000 impliziert. Eine solche Organisationskonfiguration ist schwer vorstellbar und wird deshalb bei der Untersuchung vernachlässigt.

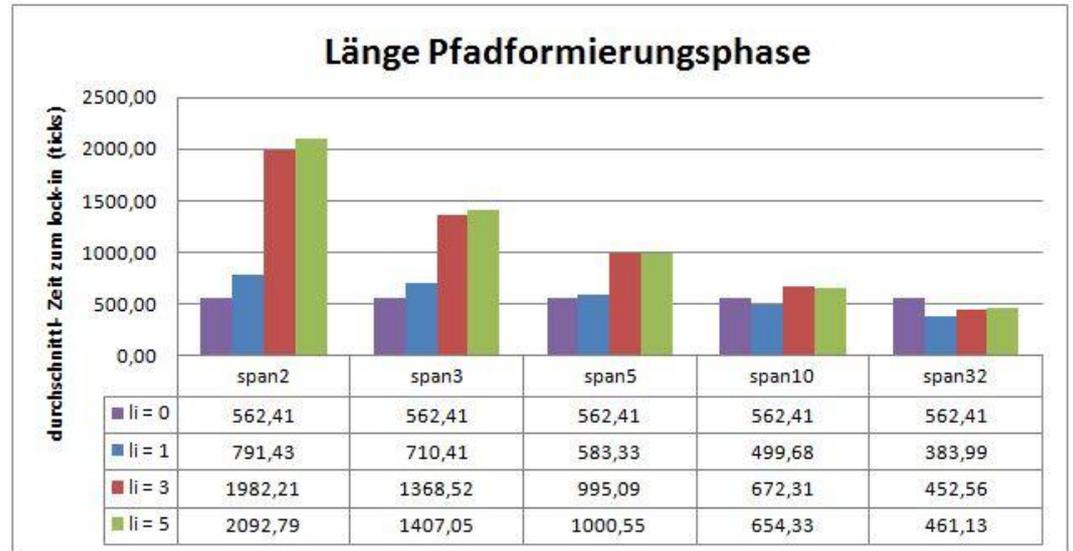
⁶²⁴ Vgl. Schreyögg 2008 S.134

⁶²⁵ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 004

⁶²⁶ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 005

$T=6.413$; $p<0.001$ ⁶²⁷) und von $\text{span}=10$ auf $\text{span}=32$ ($m_{v_{\text{span}=10}}=672.31$; $m_{v_{\text{span}=32}}=452.56$; $T=6.886$; $p<0.001$ ⁶²⁸).

Abbildung 40: Länge der Pfadformierungsphase in Abhängigkeit der Kontrollspanne bei konstanter Führungsmacht (für $li = 1, 3, 5$) im Vergleich zum Prozess ohne Hierarchie ($li=0$)



Dieses Ergebnis ist auch insofern interessant, als dass es ein Argument stärkt, das in den Anfängen der Pfadtheorie verwendet wurde: die Selbstverstärkungseffekte rühren von einer dezentralen Entscheidungsstruktur her⁶²⁹. Insofern ist es zu erwarten gewesen, dass mit flacherer Hierarchie, d.h. in dezentraleren Entscheidungssystemen, die näher an der Marktlogik sind als steile Hierarchien, die Wirkung von selbstverstärkenden Effekten nicht abgeschwächt werden kann. Die Simulationsergebnisse zeigen darüber hinaus für sehr dezentrale Hierarchien einen zusätzlichen, unerwarteten Effekt: Eine sehr flache Hierarchie wirkt nicht nur nicht verlangsamer, sondern sogar beschleunigend auf den Pfadprozess, im Vergleich mit Systemen ohne Hierarchie (siehe Abbildung 40 für $\text{span} = 32$). Dies kann als überraschender Hinweis darauf gedeutet werden, dass Macht in flachen Hierarchien positives feedback noch zusätzlich verstärkt; in diese Richtung wird

⁶²⁷ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 006

⁶²⁸ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 007

⁶²⁹ So argumentiert David 1985: „(positive feedback) drove the industry prematurely into standardization (...), where decentralized decision making subsequently has sufficed to hold it.“ (S.336)

im Rahmen der Pfadforschung bisher nur von einem Autor argumentiert.⁶³⁰ Die Ergebnisse geben hier Anlass zur weiteren Erforschung möglicher Ausnahmefälle, in denen Macht die selbstverstärkende Wirkung von Pfadtreibern noch erhöhen kann.

Ferner fällt auf, dass die Auswirkung einer höheren Kontrollspanne auf die Verkürzung der Pfadformierungsphase umso stärker ausfällt, je größer die Führungsmacht ausgeprägt ist. Außerdem kann beobachtet werden, dass bei hohen Kontrollspannen eine größere Führungsmacht den Pfadprozess weit weniger verlangsamt als bei geringen Kontrollspannen: Während in Abbildung 40 bei Kontrollspanne 2 der Unterschied in der durchschnittlichen Länge der Pfadformierungsphase zwischen $li = 1, 3$ und 5 noch sehr groß ist ($mv_{li=1,0}=791,43$; $mv_{li=3,0}=1982,21$; $mv_{li=5,0}=2091,79$), fällt der Unterschied für Kontrollspanne 32 deutlich geringer aus ($mv_{li=1,0}=383,99$; $mv_{li=3,0}=452,56$; $mv_{li=5,0}=461,13$). Dies deutet darauf hin, dass es für eine elaborierte Analyse nicht ausreicht, die Wirkung der unabhängigen Variablen auf den Pfadkonstitutionsprozess separat zu analysieren. Die Wirkung der beiden unabhängigen Variablen auf die Länge der Pfadformierungsphase sollte also zusätzlich bei *gleichzeitiger* Variation untersucht werden, um den Effekt von Interdependenzen zu erfassen. Dies wird im folgenden Abschnitt geleistet.

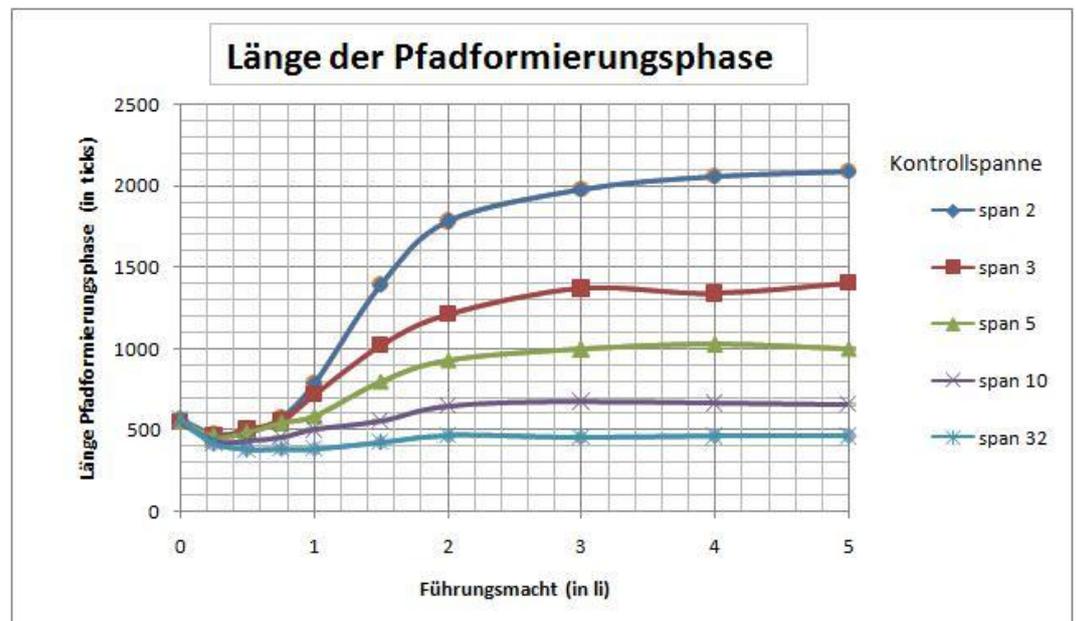
Interdependenzeffekte der Variation von Hierarchie und Führungsmacht auf die Pfadformierungsphase

Betrachten wir nun die Wirkungen, die sich aus einer gleichzeitigen Variation von Führungsmacht und Kontrollspanne ergeben, indem wir alle möglichen Kombinationen der untersuchten Ausprägung der Hierarchie ($span = 2, 3, 5, 10, 32$) mit den Ausprägungen der Führungsmacht ($li = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5$) betrachten. Die Ergebnisse dieser Betrachtung liefert Abbildung 41. Durch die Betrachtung der simultanen Wirkungsweise der unabhängigen Variablen lassen sich die Erkenntnisse noch weiter spezifizieren: So führt eine hohe Führungsmacht nicht grundsätzlich zu einer Verlängerung der Pfadformierungsphase; hier ergibt sich eine signifikante Verlängerung der

⁶³⁰ Vgl. Beyer 2006 S.48-55

Pfadformierungsphase für span=2 ($mv_{span=2,li=0.5}=480.05$; $mv_{span=2,li=5.0}=2057.99$; $T=-16.089$; $p<0.001$ ⁶³¹), span=3 ($mv_{span=3,li=0.5}=497.72$; $mv_{span=3,li=5.0}=1407.05$; $T=-12.927$; $p<0.001$ ⁶³²) und span=5 ($mv_{span=5,li=0.5}=481.93$; $mv_{span=2,li=5.0}=1003.37$; $T=-9.685$; $p<0.001$ ⁶³³).

Abbildung 41: Länge der Pfadformierungsphase in Abhängigkeit von Kontrollspanne und Führungsmacht



Bei hoher Kontrollspanne (span =10) fällt der Effekt auf die Länge der Pfadformierungsphase schon deutlich geringer aus, ist aber immer noch in hohem Maße signifikant ($mv_{span=10,li=0.5}=430.85$; $mv_{span=10,li=5.0}=654.33$; $T=-8,064$; $p<0.001$ ⁶³⁴). Bei sehr hoher Kontrollspanne (span=32) kommt es zwar nach einer Verkürzung der Pfadformierungsphase bei geringer Führungsmacht ($li<1.0$) bei weiterer Erhöhung der Führungsmacht ($1.0<li<2.0$) wieder zu einer Verlängerung der Pfadformierungsphase, aber der anfängliche verkürzende Effekt wird nicht vollständig kompensiert ($mv_{span=32,li=0}=565,28$; $mv_{span=32,li=2.0}=466,18$), und für $li>2$ kann keine weitere Verlängerung konstatiert werden ($mv_{span=32,li=2.0}=466.18$;

⁶³¹ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 008

⁶³² Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 009

⁶³³ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 010

⁶³⁴ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 011

$m_{V_{span=32, li=5.0}}=461.13$); die Länge der Pfadformierungsphase bleibt sogar noch unter dem Niveau, dass für Organisationen ohne Hierarchie ($m_{V_{li=0}}=565,28$) festgestellt wurde.

Ob sich die Pfadformierungsphase also bei hoher Führungsmacht verlängert, hängt signifikant von der Kontrollspanne ab. Im Ergebnis bedeutet dies, Organisationen erfahren bei niedriger Führungsmacht eine Verkürzung der Pfadformierungsphase, unabhängig von der Gestalt ihrer Hierarchie. Bei mittlerer und hoher Führungsmacht spielt die Hierarchie aber eine entscheidende Rolle für den Effekt: Organisationen mit steiler Hierarchie erfahren eine deutliche Verlangsamung des Pfadprozesses, hier ist der Unterschied in der Organisationsstruktur zur Marktlogik ohne Hierarchie am größten. Es bestätigen sich somit die im Rahmen der Analyse zu Abbildung 40 gezogenen Schlussfolgerungen.

Auf der anderen Seite hat eine flachere Hierarchie stets eine kurze Pfadformierungsphase zur Folge, der Effekt ist bei höherer Führungsmacht lediglich stärker ausgeprägt, als bei geringer Führungsmacht. Die Ergebnisse dieses Abschnittes können übersichtlich in einer 4-Felder-Matrix dargestellt werden, die vereinfachend zwischen steiler und flacher Hierarchie auf der einen, und hoher bzw. niedriger Führungsmacht auf der anderen Seite differenziert; die Matrix ist in Abbildung 42 dargestellt.

Abbildung 42: Zusammenfassung der Implikationen für die Pfadformierungsphase

		Organisationsstruktur			
		steile Hierarchie kleine Kontrollspanne	flache Hierarchie große Kontrollspanne		
Länge der Pfad- Formierungsphase	lang (erhöht sich sich mit steigendem li drastisch auf sehr hohes Niveau)	moderat (erhöht sich mit steigendem li sehr langsam auf insgesamt niedriges bis moderates Niveau)	hohes regime li > 0,5	Führungsmacht	
	kurz (verkürzt sich mit steigendem li)	kurz (verkürzt sich mit steigendem li)	niedriges regime li < 0,5		

Im Folgenden soll nun auf die Wirkung von Hierarchie auf die Gestalt des lock-in eingegangen werden.

(ii) Implikationen für die Prägnanz des lock-in

Neben diesen interessanten Ergebnissen die Phase 2 des Berliner Modelles betreffend lassen sich aus den Daten auch Erkenntnisse über die Phase 3, die des lock-in, gewinnen. Gemäß der Theorie ist die lock-in-Phase von einem radikal eingeschränkten Handlungsspielraum gekennzeichnet.⁶³⁵ Das System wird von einer Lösung dominiert und die Akteure sind gezwungen, diese Lösung immer und immer wieder zu replizieren.⁶³⁶ In Kapitel C.IV.2.d) wurde bereits darauf hingewiesen, dass der für die Diffusion von Technologien für diese Phase vorhergesagte Determinismus bei einer Übertragung auf Institutionen gelockert werden muss. Statt einer exakten Handlungsmöglichkeit stellt sich der lock-in im institutionellen Kontext vielmehr als ein sehr enger Korridor um die dominante Lösung herum dar, eine minimale Abweichung von dieser Lösung ist nur in sehr engen Grenzen möglich. Die Idee des *lock-in-Korridors* soll an dieser Stelle aufgegriffen, formal präzise gefasst und auf das vorliegende Modell M1 übertragen werden, um die Wirkung von Hierarchie auf die Phase des lock-in besser beschreiben zu können.

Der Transfer des Konzepts auf die vorliegende Modellierung ist jedoch nicht ohne Weiteres möglich: Da im dargestellten Modell M1 nur zwei diskrete Ausprägungen einer institutionellen Lösung existieren, ist es nicht möglich, diese inkrementell zu variieren und so von der gelockten Lösung minimal abzuweichen. Es kann, wegen der vereinfachten Beschränkung auf nur zwei mögliche Lösungen, in der lock-in-Phase nur entweder das der dominanten institutionellen Lösung entsprechende Verhalten oder eben das gegensätzliche adoptiert werden; letzteres würde aber gemäß der ursprünglichen Konzeption eine große Abweichung von der eingelockten Lösung bedeuten. In der Mikroperspektive des individuellen Verhaltens ist das Konzept des lock-in-Korridors bei dieser Formalisierung daher nicht anwendbar. Eine mögliche Lösung des Problems ergibt sich durch den Transfer des Konzepts auf die Makroebene des Systems:

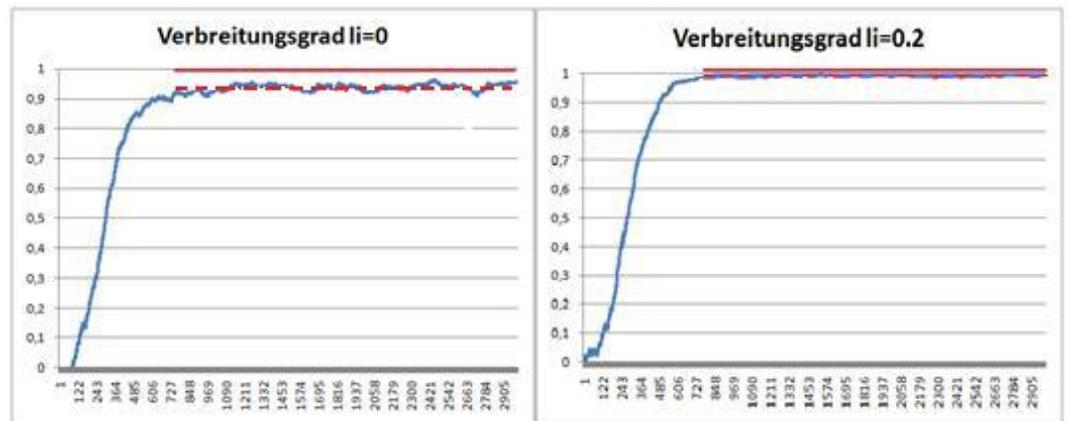
⁶³⁵ Vgl. Arthur 1989 S.119; Ackermann 2003 S.225; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.273-274.

⁶³⁶ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.694

Hier wird der *Handlungsspielraum des Systems* durch die Variable Verbreitungsgrad beschrieben. Je näher ihr Betrag an 1 liegt, desto dominanter ist eine der beiden Lösungen im System und desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit für die Wahl der ausgelockten Lösung. Da eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit für die Wahl der unterlegenen Lösung eine stärkere Handlungseinschränkung bedeutet als es eine etwas höhere Wahrscheinlichkeit für die Wahl der nur noch zu sehr geringem Anteil vertretenen Lösung tut, kann der Anteil der Adaptionen der unterlegenen Lösung an der Gesamtheit der Adaptionen als Maß für den im lock-in immer noch minimal vorhandenen Handlungsspielraum verwendet werden. Es muss aber festgehalten werden: Selbst wenn einige wenige Akteure den noch minimalen Handlungsspielraum zugunsten der unterlegenen Lösung wählen können, bleibt die Organisation auf der systemischen Ebene weiter gelockt. Auf Organisationsebene besteht im lock-in kein Handlungsspielraum im Sinne einer systemischen Abkehr von der dominanten Lösung. Im Zuge dieser Argumentation kann der *lock-in-Korridor* als die durchschnittliche Breite des Korridors definiert werden, in der sich der Verbreitungsgrad in der lock-in-Phase von betragsmäßig 1 abweichend bewegt.⁶³⁷ Abbildung 43 zeigt beispielhaft einen für $li=0$ vorliegenden weiten lock-in-Korridor mit einer durchschnittlichen Breite von 0.1 und einen für $li=0.2$ vorliegenden deutlich engeren lock-in-Korridor mit einer Breite von 0.023.

⁶³⁷ Bei der Messung des lock-in-Korridors stellt sich das operative Problem, in welchem Zeitintervall die durchschnittliche Abweichung der betragsmäßigen Variable Verbreitungsgrad von 1 gemessen werden soll. Beginnt man mit der Messung direkt zum Zeitpunkt des lock-in, der als der tick definiert ist, ab dem ein dauerhaft betragsmäßig größerer Verbreitungsgrad als 0.9 vorliegt, so wäre der lock-in-Korridor zu Beginn immer 0.1, da er im Zeitpunkt des lock-in die Ausdehnung von $1-0.9 = 0.1$ besitzt. Es wurde daher der pragmatische Ansatz gewählt, mit der Messung des lock-in-Korridors zum tick t zu beginnen, wobei t dem doppelten des lock-in ticks entspricht. Nach dem lock-in vergeht also bei jeder Messung zunächst noch einmal die Zeit, die im aktuellen Durchlauf der Simulation bis zum lock-in vergangen ist, bevor die Messung des lock-in-Korridors beginnt. Die Messung endet dann mit dem Ende der Simulation, in der Regel also bei tick 6,000.

Abbildung 43: Beispiel für breiten und engen lock-in-Korridor



Erläuterung: Die Abbildung zeigt auf der y-Achse den Verbreitungsgrad und auf der x-Achse die Zeit in ticks; Kontrollspanne ist 2; links $li=0$; rechts $li=0.2$; Der lock-in-Korridor ergibt sich nun als Differenz von 1 (rote Linie) und dem durchschnittlichen Verbreitungsgrad nach lock-in (rot gestrichelte Linie)

Mit Hilfe der intuitiv eingängigen Variable des lock-in-Korridor können nun zwei Prozesse, die beide zum lock-in führen, auf die *Prägnanz* des lock-in hin verglichen werden; je kleiner dabei der lock-in-Korridor, umso prägnanter ist der lock-in des Systems zu bewerten. Die Idee der Messung der Prägnanz des lock-in findet sich schon in den abstrakten Modellen Arthurs⁶³⁸, sie ist aber in der späteren Pfadliteratur, vermutlich aus Operationalisierungsgründen, nicht wieder aufgegriffen worden. So fehlen in konzeptionellen oder qualitativen Studien üblicherweise größere Datenmengen einer passenden Variable, mit der für verschiedene Zeitpunkte die Prägnanz des lock-in mit mathematischen Auswertungsmethoden gemessen werden kann.⁶³⁹ In der vorliegenden Studie bieten die durch Simulationen generierten Daten einen ausreichenden Umfang und mithilfe der neu eingeführten Variable lock-in-Korridor ist eine geeignete Größe für die Berechnung der Prägnanz des lock-in verfügbar. Es wird mit den Auswirkungen der Variation der Führungsmacht auf die Prägnanz des lock-in begonnen, im Anschluss werden die Auswirkungen von Hierarchie und abschließend die interdependenten Auswirkungen bei gleichzeitiger Variation der beiden unabhängigen Variablen betrachtet.

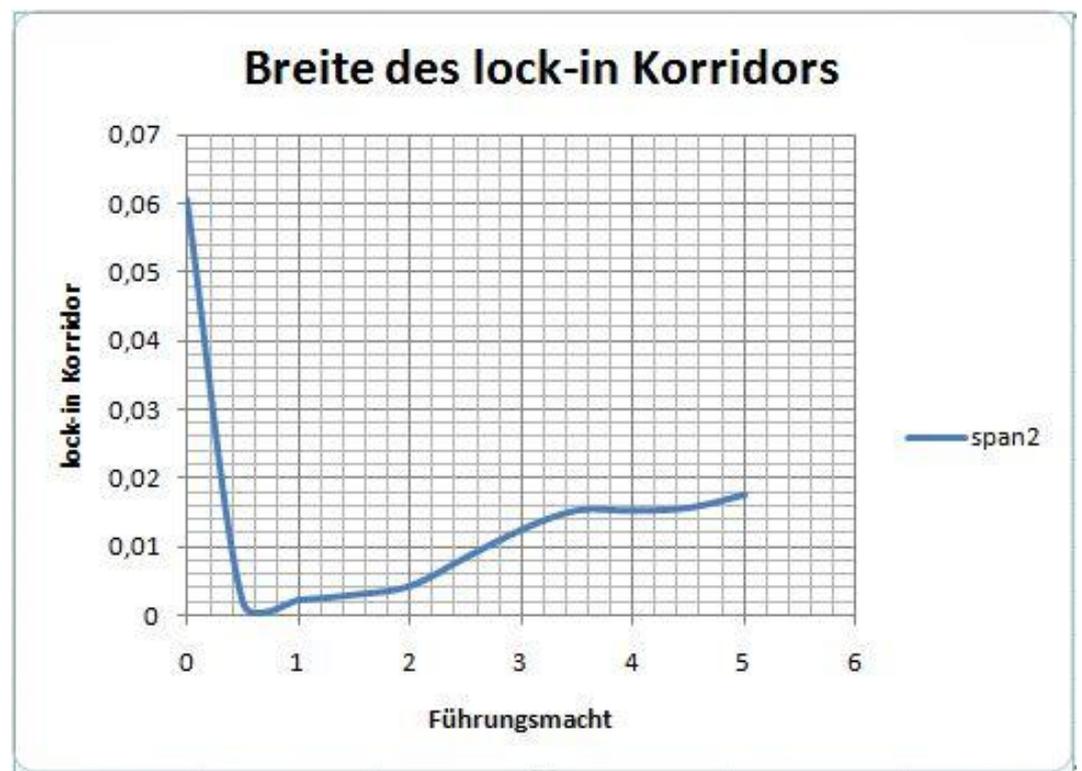
⁶³⁸ Vgl. Arthur 1994 passim

⁶³⁹ Vgl. zum Beispiel Koch 2007 passim

Auswirkungen von Führungsmacht auf die Prägnanz des lock-in

Die Simulationsergebnisse zeigen weiter, dass die Führungsmacht nicht nur einen Einfluss auf die Länge der Pfadformierungsphase hat, sondern sich auch auf die Breite des lock-in-Korridors auswirkt. Auch hier kann ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen Führungsmacht und ihrem Einfluss auf den Charakter der Phase 3 des Pfadmodells festgestellt werden (vgl. Abbildung 44): Erhöht man bei konstanter Kontrollspanne $\text{span} = 2$ die Führungsmacht von $li=0$ ausgehend schrittweise bis $li=0.6$, so verringert sich die durchschnittliche Breite des lock-in-Korridors von anfänglich 0.06 erheblich bis auf 0.002, was einer extremeren, prägnanteren Ausprägung des lock-in entspricht. Dieser Effekt ist in hohem Maße signifikant ($mv_{\text{span}=2, li=0}=0.0606$; $mv_{\text{span}=2, li=0.5}=0.0021$; $T=237.015$; $p<0.001$ ⁶⁴⁰).

Abbildung 44: Breite des lock-in-Korridors in Abhängigkeit von der Führungsmacht



Erläuterung: Die Abbildung zeigt auf der y-Achse die durchschnittliche Breite des lock-in-Korridors und auf der x-Achse die Führungsmacht li ; Kontrollspanne ist konstant bei 2.

Wird die Führungsmacht jedoch weiter erhöht ($li>0.6$), tritt ein entgegengesetzter Effekt ein und es kommt zu einer moderaten Ausdehnung des lock-in-Korridors

⁶⁴⁰ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 012

auf jedoch insgesamt niedrigem Niveau (vgl. Abbildung 44). Auch dieser Effekt ist in hohem Maße signifikant ($mv_{span=2_li=0.5}=0.0021$; $mv_{span=2_li=5.0}=0.0151$; $T=-6.889$; $p<0.001$ ⁶⁴¹). Insgesamt zeigt sich auch hier ein nicht-linearer, V-förmiger Zusammenhang zwischen Stärke der Führungsmacht und der Prägnanz des lock-in. Die Prägnanz des lock-in scheint in ähnlicher Weise durch Hierarchie betroffen zu sein wie die Länge der Pfadformierungsphase. Auch hier kann bei Einführung von Führungsmacht auf niedrigem Level zunächst eine beschleunigte Pfadkonstitution festgestellt werden; wird die Führungsmacht aber weiter erhöht, verlangsamt sich die Pfadformierung wieder. Der gleiche Zusammenhang scheint zwischen Führungsmacht und der Prägnanz des lock-in zu bestehen: Bei Einführung von Führungsmacht auf niedrigem Level kommt es zunächst zu einer prägnanteren lock-in Ausbildung; wird die Führungsmacht aber weiter erhöht, verbreitert sich der lock-in Korridor wieder und die Prägnanz lässt nach. Es kann deshalb allgemeiner geschlussfolgert werden, dass (1.) geringe Führungsmacht die Pfadtreiber weiter verstärkt (kürzere Pfadformierungsphase, prägnanterer lock-in) und (2.) große Führungsmacht die Pfadtreiber eher abschwächt (längere Pfadformierungsphase, weniger prägnanter lock-in). Das zweite Ergebnis ist nicht verwunderlich, da eine starke Führungsmacht eine starke Zentralisierung von Entscheidungen und damit eine radikalere Abkehr von der Marktlogik bedeutet, als es bei geringer Führungsmacht der Fall ist.

Überraschend hingegen bleibt aber, wieso (1.) die Einführung geringer Führungsmacht die pfadtreibende Funktion selbstverstärkender Effekte, im Sinne einer kürzeren Pfadformierungsphase und eines prägnanteren lock-in, noch zusätzlich zu verstärken scheint. Eine mögliche Erklärung ist, dass durch die Einführung von geringer Führungsmacht small events, die ja durch den stochastischen Einfluss im Entscheidungsverhalten der Agenten operationalisiert sind, in ihrer Wirkung verstärkt werden, da ein small event nun nicht nur den einzelnen Agenten beeinflusst, sondern durch dessen Entscheidung direkt via Hierarchie andere Agenten ebenfalls beeinflusst werden. Ein small event hat also eine potentiell (potentiell weil nicht jeder Agent im System auch eine

⁶⁴¹ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 013

Führungsfunktion hat) größere Reichweite und kann dadurch das System schneller in eine Richtung „kippen“ lassen.

Diese Logik gilt jedoch auch für größere Werte der Variablen Führungsmacht, es ist mit dieser einfachen Argumentation daher nicht zu erklären, warum der Effekt der Pfadverstärkung nur bei geringer Führungsmacht auftritt. Hierfür muss eine gegenläufige Wirkung mitgedacht werden, die vom selben Effekt ausgelöst werden könnte: Wenn die Führungsmacht sehr groß ist, steigt die potentielle Wirkung eines small events weiter an und erreicht unter Umständen ein Wirkungsniveau, das den gerade entstehenden Pfad wieder verwerfen kann. Solange die Selbstverstärkungseffekte also nicht sehr hohe Stärke erreicht haben, kann bei sehr starker Führungsmacht ein sich gerade konstituierender Pfad durch einen small event jederzeit wieder verworfen werden und der Pfad löst sich auf, bevor der lock-in eingetreten ist; der Pfadkonstitutionsprozess beginnt dann von vorn. So wäre zu erklären, warum in hierarchischen Systemen mit hoher Führungsmacht die Pfadkonstitution bis zum Erreichen des lock-in deutlich länger dauert; ebenso kann auf diese Weise durch die potentiell sehr große Wirkung eines small event erklärt werden, warum der lock-in Korridor mit steigender Führungsmacht wieder zunimmt und sich die Prägnanz des lock-in somit wieder abschwächt.

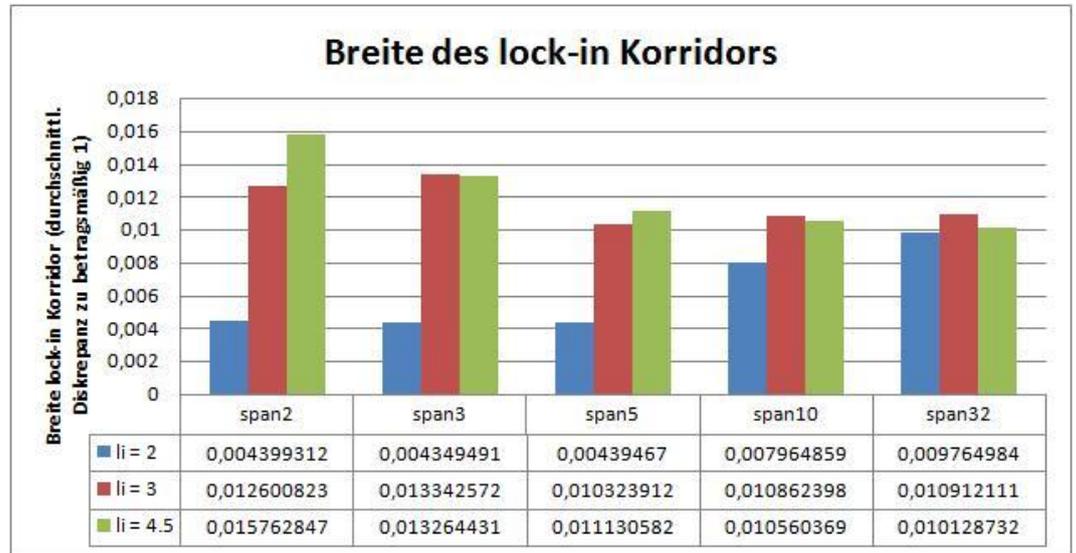
Es sollen nun die Ergebnisse der interdependenten Wirkung der unabhängigen Variablen betrachtet werden, um zu prüfen, ob der gezeigte Effekt der Führungsmacht auf die Prägnanz des lock-in unabhängig von der Ausgestaltung der Hierarchie eintritt.

Auswirkungen von Hierarchie auf die Prägnanz des lock-in

Deutlich ambivalenter zeigen sich nämlich die Ergebnisse in Bezug auf die Variation der Kontrollspanne. So zeigt Abbildung 45, dass eine Erhöhung der Kontrollspanne von $\text{span}=2$ nach $\text{span}=32$ bei konstanter Führungsmacht $\text{li}=2$ zu einer deutlichen Verbreiterung des lock-in-Korridors führt, die Prägnanz des lock-in ist bei flacheren Hierarchien also weniger stark ausgeprägt, als bei steilen. Wird jedoch die Führungsmacht bei hohem Niveau $\text{li}=4.5$ konstant gehalten, so stellt sich der gegenteilige Effekt ein: wird die Kontrollspanne von $\text{span}=2$ nach

span=32 erhöht, verringert sich die Breite des lock-in-Korridors, d.h. bei flacherer Hierarchie ist die Prägnanz des lock-in stärker ausgeprägt.

Abbildung 45: Auswirkungen von Hierarchie auf die Prägnanz des lock-in



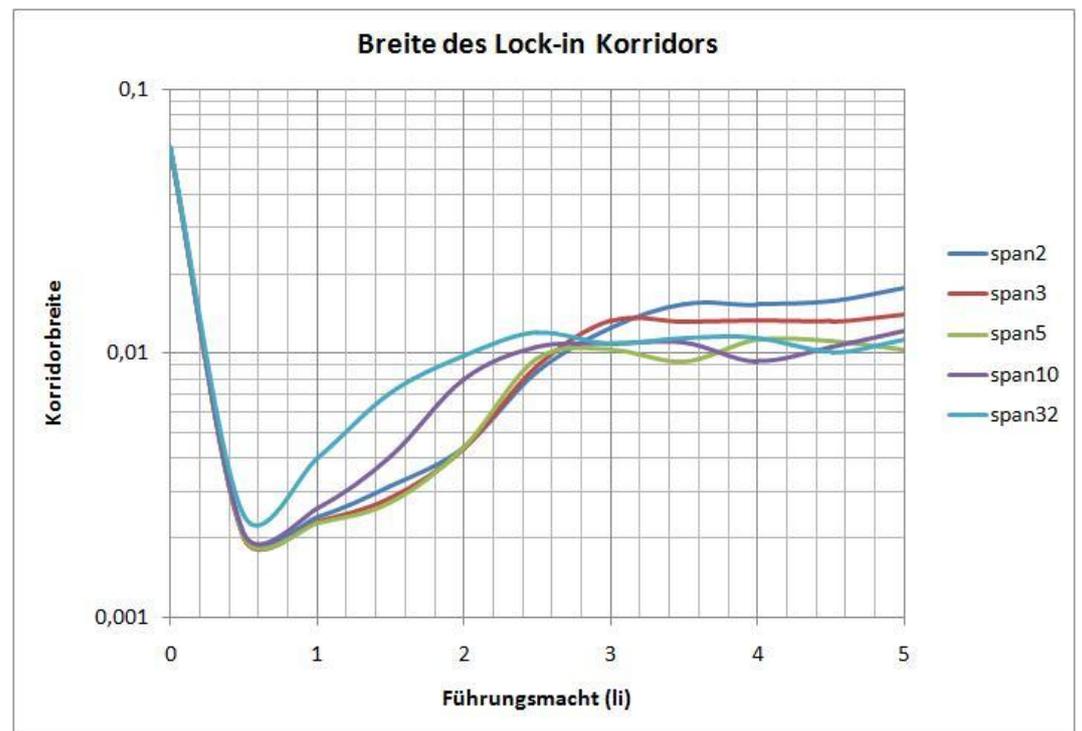
Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Interdependenz von Führungsmacht und Hierarchie hier ein Maß erreicht hat, bei dem eine separate Auswertung der Wirkung der Variation der Kontrollspanne nicht länger sinnvoll erscheint: Die Ergebnisse werden nicht graduell von der Höhe der Führungsmacht beeinflusst, sondern von ihr grundsätzlich konfundiert, so dass sich abhängig von der Höhe der Führungsmacht bei Variation der Kontrollspanne ein völlig anderes Systemverhalten einstellt. Die Wirkung der Veränderung der Hierarchie kann also hier nicht ohne die gleichzeitige Betrachtung der Variation der Führungsmacht analysiert werden. Diese Erkenntnis stärkt das weiter oben angeführte Argument, dass eine formale Modellierung von Hierarchie grundsätzlich nicht ohne eine formale Modellierung von Führungsmacht auskommt. Umso interessanter ist die folgende Auswertung der Interdependenzeffekte bei gleichzeitiger Variation der unabhängigen Variablen.

Interdependenzeffekte der Variation von Hierarchie und Führungsmacht auf die Prägnanz des lock-in

Erst durch die Betrachtung des lock-in-Korridors bei systematischer Variation der beiden unabhängigen Variablen kann hier der Interdependenzeffekt aufgedeckt

werden. So zeigt Abbildung 46 präzise die Wirkung auf, die in der Analyse des vorangegangenen Abschnitts schon angedeutet werden konnte: Wie sich die Hierarchie auf die Prägnanz des lock-in auswirkt, hängt fundamental von der Führungsmacht der Führungskräfte in der Organisation ab. Während bei sehr geringer Führungsmacht ($0 \leq li \leq 0.4$) die Prägnanz des lock-in für alle Hierarchien stark abnimmt, zeigt sich bei mittlerem Niveau der Führungsmacht ($0.4 \leq li \leq 2.5$) deutlich, dass eine größere Kontrollspanne (span = 10, 32) zu einer Verbreiterung des lock-in-Korridors führt, im Vergleich zu geringeren Kontrollspannen (span = 2, 3, 5). Bei mittlerer Führungsmacht gilt also: Je flacher die Hierarchie, desto weniger prägnant ist der lock-in ausgeprägt; der Effekt ist statistisch signifikant ($mv_{span=2_{li=1.0}}=0.0024$; $mv_{span=32_{li=1.0}}=0.0047$; $T=-6.822$; $p<0.001$ ⁶⁴²).

Abbildung 46: Prägnanz des lock-in in Abhängigkeit von Kontrollspanne und Führungsmacht



Bei einem hohen Niveau der Führungsmacht ($2.5 \leq li \leq 5.0$) zeigt die Variation der Kontrollspanne jedoch den gegenteiligen Effekt: eine geringere Kontrollspanne (span = 2, 3) führt nun zu einer Verbreiterung des lock-in-

⁶⁴² Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 014

Korridors im Vergleich zu höheren Kontrollspannen (span = 5, 10, 32); dies bedeutet, je *steiler* die Hierarchie, desto weniger prägnant ist der lock-in bei hoher Führungsmacht ausgeprägt; der Effekt ist statistisch signifikant ($mV_{span=2_li=4.0}=0.0225$; $mV_{span=32_li=4.0}=0.0109$; $T=3.604$; $p<0.001$ ⁶⁴³). Die Auswirkung der Hierarchie auf die Prägnanz des lock-in betreffend kommt der Führungsmacht die Rolle einer moderierenden Variable mit erheblichem Einfluss zu, ohne deren simultane Betrachtung die Auswirkungen von Hierarchie nicht sinnvoll beschrieben werden können.

Die Ergebnisse der Untersuchung in Bezug auf die Prägnanz des lock-in sind, nach den relevanten Kombinationen der unabhängigen Variablen differenziert, in Abbildung 47 zusammengefasst.

Abbildung 47: Zusammenfassung der Implikationen für die Prägnanz des lock-in

		Organisationsstruktur		Führungsmacht
		steile Hierarchie kleine Kontrollspanne	flache Hierarchie große Kontrollspanne	
Prägnanz des lock-ins	hoch (Prägnanz verringert sich nur langsam mit steigendem li)	gering (Prägnanz stagniert mit steigendem li)	sehr hoch (Prägnanz erhöht sich mit steigendem li auf hohes Niveau)	hohes regimie $li > 2.5$
	Prägnanz erhöht sich massiv mit steigendem li	Prägnanz erhöht sich massiv mit steigendem li	gering (Prägnanz verringert sich schnell mit steigendem li)	mittleres regimie $0.4 < li < 2.5$
				niedriges regimie $li < 0.4$

Analog zur Vorgehensweise in Kapitel E.I soll mittels einer Robustheitsanalyse nun die interne Validität des Modells M1 gestärkt werden, bevor die Ergebnisse im nächsten Kapitel ausführlich diskutiert und die Implikationen für Theorie und Praxis abgeleitet werden.

⁶⁴³ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 015

6. Robustheitsanalyse

Ausgehend von der Annahme, dass die Validität des einfachen Modell M0 in Kapitel E.I ausreichend dargelegt werden konnte, bedürfen die Elemente des Modells M1, die vom Modell M0 übernommen wurden, keiner erneuten Robustheitsprüfung. Die Robustheitsanalyse kann daher an dieser Stelle deutlich kürzer ausfallen und sollte sich nur mit potentiell kritischen zusätzlichen Annahmen befassen, die bei der Erweiterung von M0 nach M1 vorgenommen und in der Repräsentation von M1 implementiert wurden. Ziel ist es zu zeigen, dass auch die Repräsentation des Modells M1 eine hohe interne Validität aufweist und ohne Bedenken für die Ergründung der hier vorgestellten Fragestellungen herangezogen werden kann. M1 unterscheidet sich von M0 durch eine zusätzliche Implementation von Hierarchie innerhalb des Systems. Hierfür wird eine potentiell kritische Annahme herausgearbeitet, dessen Wirkung auf die Simulationsergebnisse im Rahmen der Robustheitsanalyse genauer untersucht werden soll.

Ausgehend von der zugrundegelegten Theorie⁶⁴⁴ wurde angenommen, dass die Kontrollspanne betreffend in einer Organisation Homogenität vorliegt, das bedeutet, dass unabhängig von der Hierarchieebene, Abteilung etc. überall in der Organisation exakt die gleiche Kontrollspanne vorzufinden ist. Die Annahme, die in Modellierungen der Organisationsstruktur vorrangig anzutreffen ist⁶⁴⁵, zeigt sich als vorteilhaft, da es bei gleich bleibender Anzahl N von Mitgliedern in der Organisation überflüssig wird, zwischen den Variablen Kontrollspanne K und Anzahl der Hierarchieebenen L unterschieden. Vielmehr ergibt sich die eine Größe direkt aus der anderen gemäß der Formel

$$N = \sum_{i=1}^L K^{i-1}$$

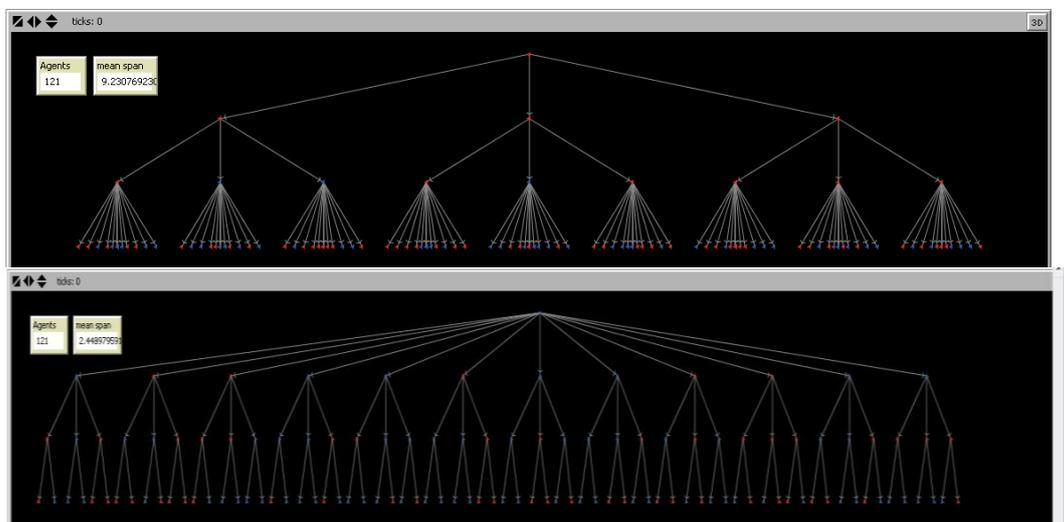
Eine Erhöhung (Verringerung) der Kontrollspanne führt daher bei gleich bleibender Anzahl der Organisationsmitglieder automatisch zu einer Verringerung (Erhöhung) der Anzahl der Hierarchieebenen. Diese enge Kopplung, die sich zu Zwecken der Komplexitätsreduzierung in vielerlei Hinsicht als vorteilhaft erweist,

⁶⁴⁴ Vgl. Schreyögg 2008 S.134

⁶⁴⁵ Vgl. Blau & Scott 1963 S.168f.

muss aus anderer Perspektive als potentielle Schwachstelle des Simulationsmodells beurteilt werden: Die Annahme der homogenen Kontrollspanne ist nicht nur an der Realität gemessen kritisch zu bewerten; so sind bei konstanter Anzahl von Organisationsmitgliedern und konstanter Anzahl der Hierarchieebenen Organisationen mit völlig unterschiedlicher durchschnittlicher Kontrollspanne denkbar. Abbildung 48 zeigt beispielhaft zwei Organisationen mit gleicher Anzahl von Organisationsmitgliedern (jeweils 121) und Hierarchieebenen (jeweils 3), die aber durch heterogene Kontrollspannen völlig unterschiedliche Konfigurationen ausbilden: So ist die Kontrollspanne im oberen Teil der Abbildung 48 auf der ersten und zweiten Hierarchieebene 3 und auf der dritten Hierarchieebene 12, es ergibt sich somit eine durchschnittliche Kontrollspanne von 9.23; im unteren Teil der Abbildung ist hingegen die Kontrollspanne auf der ersten Ebene 12, auf der zweiten 3 und auf der dritten 2, was sich auf eine durchschnittliche Kontrollspanne von 2.45 beläuft.⁶⁴⁶

Abbildung 48: Beispielhafte Abbildung von Hierarchien verschiedener Konfigurationen mit je 3 Hierarchieebenen bei heterogener Kontrollspanne



Zieht man die Annahme der Homogenität der Kontrollspanne in Zweifel, muss überprüft werden, ob die oben abgeleiteten Ergebnisse tatsächlich auf die Variation einer homogenen Kontrollspanne oder vielmehr auf die Variation einer

⁶⁴⁶ Die durchschnittliche Kontrollspanne berechnet sich durch die Summe der Kontrollspannen der Organisationsmitglieder, dividiert durch die Anzahl der Organisationsmitglieder; hierbei ist zu beachten, dass sowohl im Zähler als auch im Nenner die Organisationsmitglieder der untersten Hierarchiestufe nicht mitgezählt werden, da sie keine Untergebenen und somit keine sinnvoll anzusetzende Kontrollspanne besitzen.

heterogenen Kontrollspanne, vornehmlich auf den unteren bzw. oberen hierarchischen Ebenen der Organisation, zurückzuführen sind.

Dieser Idee folgend wurde eine Robustheitsanalyse für Modell-Organisationen mit gleicher Anzahl an Hierarchieebenen konstruiert, die alle in etwa die gleiche Anzahl von ca. 1,000 Organisationsmitgliedern besitzen, sich aber in der organisationsintern auftretenden Kontrollspanne erheblich unterscheiden. Im Modell M1r1 wird die Anzahl der Hierarchieebenen bei span = 3 konstant gehalten, im Modell M1r2 bei span = 4 und im Modell M1r3 bei span = 6. Bei konstanter Anzahl der Organisationsmitglieder und Hierarchieebenen wird nun die Kontrollspanne intern heterogen variiert, wobei die jeweils extremen Ausprägungen auf der einen Seite in den oberen Hierarchieebenen eine große Kontrollspanne und in den unteren Hierarchieebenen eine niedrige Kontrollspanne besitzen (vgl. Abbildung 48 unten), und auf der anderen Seite in den oberen Hierarchieebenen eine niedrige Kontrollspanne und in den unteren Hierarchieebenen eine große Kontrollspanne (vgl. Abbildung 48 oben) besitzen. Jeder Variation der Modelle lässt sich nun eine durchschnittliche Kontrollspanne zuweisen.⁶⁴⁷ Tabelle 3 zeigt die drei Modelle in jeweils vier Variationen mit den Kontrollspannen der jeweiligen Hierarchiestufen und der durchschnittlichen Kontrollspanne.

Tabelle 3: Konfigurationen der Modelle M1r1, M1r2 und M1r3

	durchschnittliche Kontrollspanne	Hierarchieebene						Kontrollspanne
		1	2	3	4	5	6	
M1r1	32.3	3	9	36				
	20.0	4	12	21				
	5.4	21	8	5				
	3.7	31	8	3				
M1r2	17.8	2	3	8	20			
	10.2	3	4	7	11			
	3.3	10	6	4	3			
	2.4	20	5	3	2			
M1r3	15.1	1	2	2	3	4	20	
	8.1	2	2	2	3	4	10	
	1.4	12	4	3	2	1	1	
	1.3	20	4	3	1	1	1	

⁶⁴⁷ Die durchschnittliche Kontrollspanne berechnet sich durch die Summe der Kontrollspannen der Organisationsmitglieder, dividiert durch die Anzahl der Organisationsmitglieder; hierbei ist zu beachten, dass sowohl im Zähler als auch im Nenner die Organisationsmitglieder der untersten Hierarchiestufe nicht mitgezählt werden, da sie keine Untergebenen und somit keine sinnvoll anzusetzende Kontrollspanne besitzen.

Die Auswertung der Robustheitsanalyse soll hier nur anhand des Modells M1r1 gezeigt werden, da die Modelle M1r2 und M1r3 qualitativ gleiche Ergebnisse liefern und der zusätzliche Erkenntnisgewinn an dieser Stelle sehr gering wäre; es war jedoch wichtig sie zu erstellen und zu simulieren, da sich so ausschließen ließ, dass die Wahl der Anzahl der Hierarchie-Ebenen die Ergebnisse konfundiert. (Die analogen Auswertungen der Modelle M1r2 und M1r3 finden sich vollständig im Anhang unter Abschnitt I.III.4.) Gemäß der Analyse der Ergebnisse der Simulationen von M1 werden nun die aggregierten Ergebnisse für M1r1 dargestellt. Hierzu werden in Abbildung 49 die Auswirkungen der vier verschiedenen Konfigurationen (siehe Tabelle 3) auf die Phasen des Pfadprozesses dargestellt. Die Ergebnisse sollen nun vor dem Hintergrund der in der Robustheitsanalyse vorherrschenden Fragestellung analysiert werden.

Die Ergebnisse zeigen trotz extremer Unterschiede in der durchschnittlichen Kontrollspanne ($\text{span} = 32.2, 20, 5.4, 3.7$) keinen einheitlichen, systematischen Unterschied die *Länge der Pfadformierungsphase* betreffend. Eine statistische Analyse auf Vergleich der Mittelwerte der durchschnittlichen Länge der Pfadformierungsphase bestätigt, dass es keinen signifikanten Unterschied gibt für $\text{span}=32.3$ vs. $\text{span}=20$ ($m_{\text{v}_{\text{span}=32.3}}=539.26$; $m_{\text{v}_{\text{span}=20}}=545.31$; $T=-0.582$; $p<0.561$ ⁶⁴⁸) und $\text{span}=5.4$ vs. $\text{span}=3.7$ ($m_{\text{v}_{\text{span}=5.4}}=575.25$; $m_{\text{v}_{\text{span}=3.7}}=571.1$; $T=0.379$; $p<0.705$ ⁶⁴⁹). Für $\text{span}=20$ vs. $\text{span}=5.4$ ($m_{\text{v}_{\text{span}=20}}=545.31$; $m_{\text{v}_{\text{span}=5.4}}=575.25$; $T=-2.753$; $p<0.006$ ⁶⁵⁰) ist der geringe Unterschied in den Mittelwerten hingegen signifikant. Das Ergebnis ist an dieser Stelle nicht vollkommen konsistent und eindeutig. Jedenfalls tritt der für Organisationen mit homogener Kontrollspanne gezeigte Effekt, wonach sich die

⁶⁴⁸ Es werden hierbei die lock-in Zeitpunkte für alle li als Stichprobe verwendet. Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 020

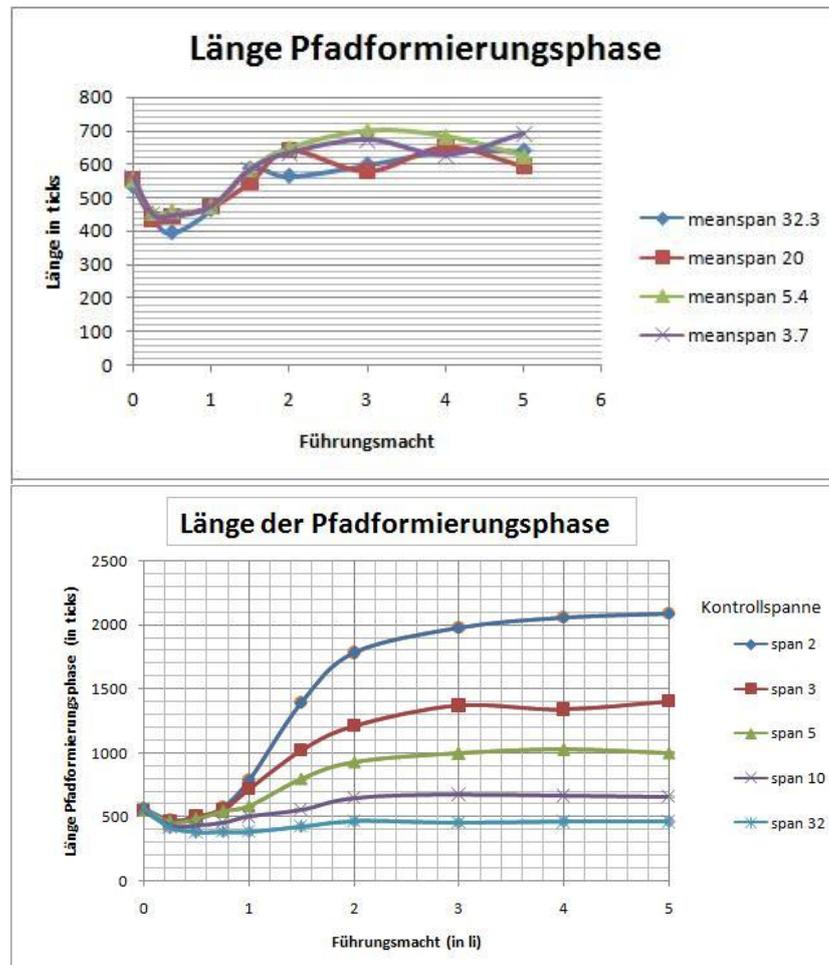
⁶⁴⁹ Es werden hierbei die lock-in Zeitpunkte für alle li als Stichprobe verwendet. Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 021

⁶⁵⁰ Es werden hierbei die lock-in Zeitpunkte für alle li als Stichprobe verwendet. Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 022

Pfadformierungsphase für große Kontrollspannen stets massiv verkürzt⁶⁵¹, bei Organisationen mit heterogenen Kontrollspannen grundsätzlich nicht ein.

⁶⁵¹ Vgl. die Analyse der Wirkung der Variation von homogener Kontrollspanne und Führungsmacht auf die Pfadformierungsphase in Abschnitt E.II.5.b)(i) dieser Arbeit

Abbildung 49: Länge der Pfadformierungsphase im Robustheitsmodell M1r1 (oben) im Vergleich zu M1 (unten)



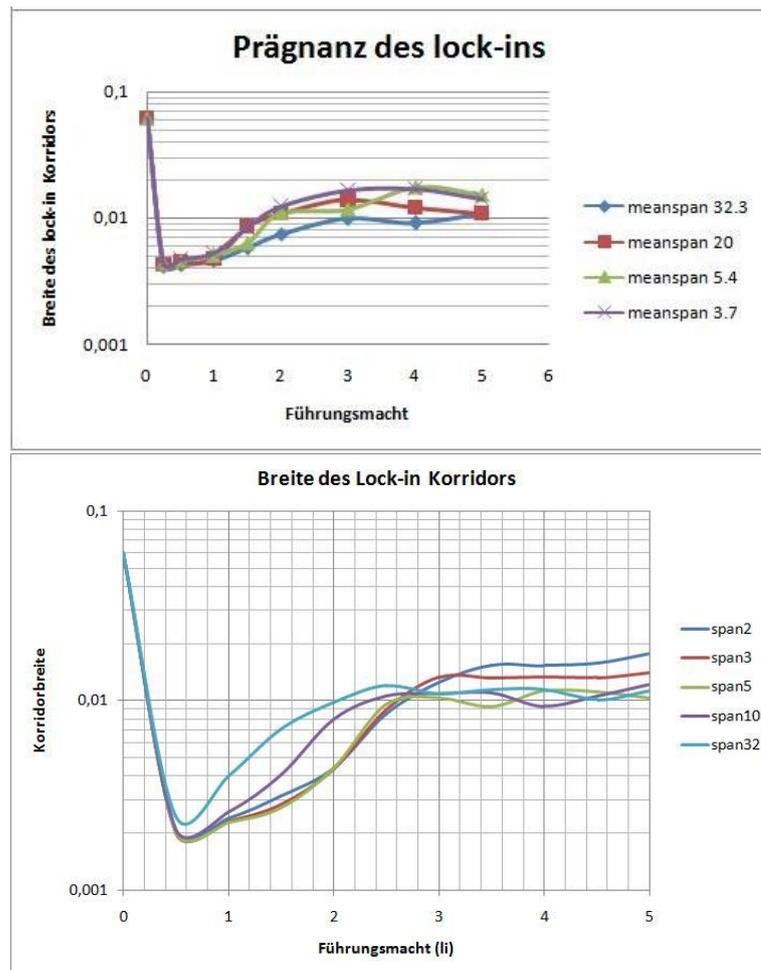
Oben: Simulationsergebnisse für M1r1, unten Simulationsergebnisse für M1

Die Wirkung der Hierarchie auf die Pfadformierungsphase, der in Abschnitt E.II.5.b)(i) ermittelt wurde, kann nun durch die Robustheitsanalyse präzisiert werden: Der Effekt scheint vornehmlich auf die Tiefe der Hierarchie, und nicht unbedingt auf die durchschnittliche Kontrollspanne zurückzuführen zu sein. Hierfür spricht auch, dass sich bei hoher Führungsmacht im Modell M1r1 die Länge der Pfadformierungsphase unabhängig von der durchschnittlichen Kontrollspanne zwischen 500 und 700 ticks bewegt (siehe Abbildung 49 oben), dies ist im Modell M1 (siehe Abbildung 49 unten) nur bei span32 und span10, den Hierarchieformen mit einer geringen Anzahl an Hierarchieebenen, der Fall.

Diese grundlegende Erkenntnis bestätigt sich, wenn man die Simulationsergebnisse von M1r1 und M1 bezüglich der Prägnanz des lock-in in Abbildung 50 vergleicht: Die Ergebnisse im Robustheitsmodell M1r1

differenzieren nicht systematisch mit der durchschnittlichen Kontrollspanne, obwohl die durchschnittliche Kontrollspanne von 32.3 bis 3.7 massiv variiert; auch der Effekt der Hierarchie auf lock-in-Prägnanz (vgl. Abschnitt E.II.5.b)(ii)) sollte daher auf die Anzahl der Hierarchieebenen und nicht nur auf die Kontrollspanne zurückgeführt werden.

Abbildung 50: Prägnanz des lock-in im Robustheitsmodell M1r1 (oben) im Vergleich zu M1 (unten)



Oben: Simulationsergebnisse für M1r1, unten Simulationsergebnisse für M1

Bei der bisherigen Auswertung wurde stets auf die Variation der Kontrollspanne abgestellt.⁶⁵² Diese sollte im Lichte der nun erfolgten Robustheitsanalyse differenzierter betrachtet werden. Aufgrund der konstanten Zahl der Agenten im Modell M1 ist das bisherige Vorgehen nicht grundsätzlich problematisch, weil bei konstanter Agentenzahl sich die Anzahl der Hierarchieebenen redundant aus der

⁶⁵² unter den Annahme der homogenen Kontrollspanne und der Redundanz von Kontrollspanne und Anzahl der Hierarchieebenen bei konstanter Zahl Organisationsmitglieder

Größe der Kontrollspanne ergibt.⁶⁵³ Liegen aber innerhalb einer Organisation heterogene Kontrollspannen vor, sollte auch die Anzahl der Hierarchieebenen, nicht allein die Kontrollspanne in die Analyse mit einbezogen werden; die Hierarchietiefe bildet bei heterogenen Kontrollspannen einen ebenso entscheidenden Faktor, was die Auswirkungen der Hierarchie auf den Pfadprozess anbelangt. Bei der folgenden Diskussion wird die Wirkung verschiedener Ausprägungen der Hierarchie daher auch auf die Anzahl der Hierarchieebenen, das heißt primär auf das Vorliegen einer steilen oder flachen Hierarchie, bezogen, und nicht wie bisher alleinig auf die Kontrollspanne fokussiert.

⁶⁵³ Vgl. die Ausführungen zu Beginn dieses Abschnitts die Umrechnungsformel $N = \sum_{i=1}^L K^{i-1}$ betreffend, die die Redundanz der beiden Größen bei konstanter Zahl Organisationsmitglieder offenbart.

F. Diskussion

Dieses Kapitel soll der Diskussion der Ergebnisse unter verschiedenen Gesichtspunkten gewidmet sein. Als Eröffnung der Diskussion soll die Bewertung der Validität und Reliabilität der Untersuchungen erfolgen. Anschließend sollen die Simulationsergebnisse im theoretischen Rahmen der Pfadtheorie und der Organisationsforschung eingeordnet und vor diesem Hintergrund diskutiert werden. Der Diskussionsteil schließt mit einer kritischen Betrachtung der Grenzen der Untersuchung.

I. Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung

Die vorliegende Studie gibt die Möglichkeit, Pfadprozesse in hierarchischen Organisationen zu untersuchen und numerisch gestützte Belege für die Auswirkung von Hierarchie auf selbstverstärkende Prozesse zu generieren. Die zentrale Fragestellung der Arbeit konnte mittels der vorliegenden formalen Modellierung klar beantwortet werden: Die Marktlogik selbstverstärkender Effekte setzt sich gegen die Hierarchie durch, und zwar unabhängig von der Ausgestaltung der individuellen Hierarchie (flach oder steil) und der Stärke der Einflussversuche, die via Hierarchie unternommen werden können.

Es wurde detailliert gezeigt, dass selbstverstärkende Prozesse in Hierarchien weiter alle Eigenschaften eines pfadabhängigen Prozesses besitzen⁶⁵⁴ und zum (wenigstens aus strategischer Sicht) potentiell ineffizienten lock-in führen können⁶⁵⁵. Es wurde gezeigt, dass im vorliegenden Modell *small events* selbstverstärkende Effekte auslösen können, dies aber nicht zwangsläufig der Fall sein muss.⁶⁵⁶ Der Prozess hat *nonergodischen* Charakter, da die kleinen, zufälligen Ereignisse zu Beginn des Prozesses bestimmen, welchem Fixpunkt sich das Systemverhalten annähert.⁶⁵⁷ Das *Historizitätsargument* gilt.⁶⁵⁸ Die *zunehmende Einschränkung des Handlungsspielraums* macht die im Zeitverlauf wachsende *Inflexibilität* deutlich, der der Prozess nach dem Durchlaufen eines

⁶⁵⁴ Vgl. Abschnitt E.II.5

⁶⁵⁵ Vgl. die ausführliche Argumentation in Abschnitt B.III.5

⁶⁵⁶ Vgl. die Länge der Preformation Phase, in der *small events* auftreten, aber keine nachhaltigen selbstverstärkenden Effekte auslösen, in Abbildung 29

⁶⁵⁷ Vgl. Abschnitt E.II.5.b), insbesondere Abbildung 37

⁶⁵⁸ Vgl. Abschnitt E.II.5.b), insbesondere Abbildung 37

Bifurkationspunktes ausgesetzt ist.⁶⁵⁹ Mit Verweis auf das Berliner Modell kann auf den Prozessverlauf bezogen klar zwischen *Vorphase*, *Pfadformierungsphase* und *lock-in-Phase* differenziert werden.⁶⁶⁰ Im *lock-in* zeigt sich eine radikale Einschränkung des Handlungsspielraums, die jedoch wie für den organisationalen Kontext zu erwarten nicht deterministisch wirkt, sondern weiterhin ein Handeln in den engen Grenzen des *lock-in-Korridors* zulässt, es dem System im allgemeinen aber nicht ermöglicht, den lock-in aus eigener Kraft zu verlassen.⁶⁶¹

II. Validität von Simulationsmodell und Ergebnis

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden drei Verfahren angewandt, die in der wissenschaftlichen Literatur zur Simulationsmethode vorgeschlagen werden, um die Validität von Simulationsmodellen und damit der aus den Ergebnissen abgeleiteten Erkenntnisse sicher zu stellen. Diese sollen hier noch einmal spezifiziert werden, um das Vertrauen in die vorliegende Modellierung zu erhöhen.

Güte des formalen Modells

Das erste Verfahren stellt sicher, dass das formale Modell, das den Simulationen zu Grunde liegt, durch eine besonders hohe Güte ausgezeichnet ist; hierdurch erhöht sich die Validität des auf dem formalen Modell aufgebauten Simulationsmodells.⁶⁶² Die hohe Güte eines formalen Modells ist nach Kreps sichergestellt, wenn es die folgenden Eigenschaften aufweist:

- *Klarheit* („It gives a clear and precise language for communicating insights and contributions.“⁶⁶³)
- *Vergleichbarkeit* („It provides us with general categories of assumptions so that insights and intuitions can be transferred from one context to another and can be cross-checked between different contexts.“⁶⁶⁴)
- *Logische Überzeugungskraft* („It allows us to subject particular insights and intuitions to the test of logical consistency.“⁶⁶⁵)

⁶⁵⁹ Vgl. Abschnitt E.II.5, insbesondere Abbildung 34

⁶⁶⁰ Vgl. Abbildung 29

⁶⁶¹ Vgl. Abschnitt 0

⁶⁶² Vgl. Harrison et al. 2007 S.1232

⁶⁶³ Vgl. Kreps 1990 S.6-7

⁶⁶⁴ Vgl. Kreps 1990 S.6-7

- *Transparenz* („It helped us to track back from ‚observational‘ to underlying assumptions to see what assumptions are really at the heart of particular conclusions.“⁶⁶⁶)

Bei der Herleitung des formalen Modells wurde darauf geachtet, die von Kreps genannten Aspekte einer qualitativ hochwertigen formalen Modellierung zu berücksichtigen. So wurde das Modell so aufgebaut, dass anhand nur einer Variablen (Verbreitungsgrad x) das langfristige Systemverhalten bezüglich der Diffusionsgrade der konkurrierenden institutionellen Lösungen und der Auswirkungen der unabhängigen Variablen Hierarchie und Führungsmacht auf die einzelnen Phasen des Pfadprozesses gemessen werden konnte (Klarheit). Durch die Verwendung des Phasenansatzes des Berliner Modells⁶⁶⁷ soll die Vergleichbarkeit mit zahlreichen anderen Untersuchungen⁶⁶⁸ gewährleistet werden, die sich ebenfalls auf dieses Modell beziehen (Vergleichbarkeit). Durch die beispielhafte Darstellung Davids von Pfadprozessen am QWERTY-Beispiel⁶⁶⁹, den Bezug zu den formalen Studien Arthurs zu increasing returns⁶⁷⁰, und der Herleitung des konzeptionellen Arguments der Komplementarität aus den Überlegungen Ackermanns⁶⁷¹ und Davids⁶⁷² soll das Simulationsmodell logisch aus elaborierter und verifizierter Theorie und qualitativen Fallstudien⁶⁷³ abgeleitet werden (logische Überzeugungskraft). Durch die Verwendung eines besonders anschaulichen und im organisatorischen Kontext unstrittigen Entscheidungsmodells⁶⁷⁴ für die Modellierung der Entscheidungsprozesse der

⁶⁶⁵ Vgl. Kreps 1990 S.6-7

⁶⁶⁶ Vgl. Kreps 1990 S.6-7

⁶⁶⁷ Vgl. Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.692ff.

⁶⁶⁸ Vgl. diverse qualitative Studien in Schreyögg & Sydow 2010 passim

⁶⁶⁹ Vgl. die frühe Studie von David zum Qwerty-Fall in David 1985 passim

⁶⁷⁰ Vgl. Arthurs formale Modellierungen zu increasing returns in Arthur 1989, 1994 passim

⁶⁷¹ Vgl. die Ausführungen zu institutioneller Komplementarität als Selbstverstärkungsmechanismus bei Ackermann 2003 S.239ff.

⁶⁷² Vgl. die Ausführungen zu institutioneller Komplementarität als Selbstverstärkungsmechanismus bei David 1994 S.213ff.

⁶⁷³ Vgl. die im Rahmen dieser Arbeit zitierten Untersuchungen zum QWERTY-Fall in David 1985, zu strategischer Pfadabhängigkeit im deutschen Qualitätsjournalismus von Koch 2007, zur Dominanz des Videoformats VHS gegenüber Betamax in Cusumano, Mylonadis & Rosenbloom 1992, zur strategischen Pfadauflösung bei Intel in Burgelman 1994

⁶⁷⁴ Verwendung findet hier das motivations- und entscheidungstheoretische Erwartungs-Valenz-Modell von Vroom (1964 S.15), über das Steinmann & Schreyögg (2005) urteilen, es sei „Aus der Fülle der kognitiven Wahltheorien (...) nicht nur das bekannteste, sondern (es) zeigt auch in besonders anschaulicher Weise die Dynamik von Motivationsprozessen im organisatorischen Kontext auf“ (S.537)

Agenten soll explizit und gut nachvollziehbar dargelegt werden, wie sich die Aspekte hierarchischer Organisationen und die Wirkungsmechanismen von Pfaden auf den Prozessverlauf auswirken (Transparenz). Auf diese Weise soll einen hohe Güte des formalen Modells erreicht und zur Validität des Simulationsmodells beigetragen werden.

Replikation der Vorhersagen der zugrunde gelegten Theorie

Zusätzlich kann zweitens versucht werden, mit Hilfe der Simulationsmodelle die Ergebnisse der Theorie zu replizieren, auf der sie beruhen; gelingt dies, kann ein Beitrag zur weiteren Erhöhung der Validität der Simulationen geleistet werden.⁶⁷⁵ So konnte mit Hilfe des Modells M0 die Vorhersagen der formalen Pfadtheorie nach Arthur⁶⁷⁶ erfolgreich repliziert werden: Die Simulationsergebnisse zeigen, dass das Systemverhalten, vor allem was die Entscheidung zwischen institutioneller Diversität oder der monopolistischen Form des institutionellen lock-in betrifft, von dem return-Regime abhängen. So bleibt ohne das Vorliegen selbstverstärkender Effekte institutionelle Diversität und Handlungsspielraum erhalten⁶⁷⁷, was dem Regime der konstanten returns im Arthur-Modell entspricht; selbstverstärkende Effekte hingegen führen unweigerlich zur Dominanz einer institutionellen Lösung⁶⁷⁸, konsistent mit den Ergebnissen der Modellierungen von Arthur kommt es zum lock-in⁶⁷⁹. So konnten sowohl für Fälle ohne, als auch mit selbstverstärkenden Effekten die Ergebnisse der Arthur-Studien repliziert werden⁶⁸⁰; nach Harrison et al. stärkt dies auch die Validität der ursprünglichen Modellierung von Arthur⁶⁸¹. Für das fortgeschrittene Modell M1 konnten die Eigenschaften des Pfadprozesses und die Vorhersagen des Berliner Modells für organisationale Pfade bestätigt werden, insbesondere ist es möglich, anhand der

⁶⁷⁵ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.491-492

⁶⁷⁶ Vgl. Vgl. Arthur 1989 S.121, 1994 S.42f.

⁶⁷⁷ Vgl. die Ergebnisse der Simulation in Abschnitt E.I.6.a)

⁶⁷⁸ Vgl. die Ergebnisse der Simulation in Abschnitt E.I.6.b)

⁶⁷⁹ Vgl. die Ergebnisse von Arthur 1994 S.42f.

⁶⁸⁰ Vgl. die Ergebnisse der Simulation in Abschnitt E.I.6

⁶⁸¹ So argumentieren Harrison et al. (2007), dass eine Bestätigung der Simulationsergebnisse durch spätere Simulationen ein starkes Argument für die Gültigkeit der Modellierung darstellt: „The ultimate test is whether other simulators can replicate the simulation findings“ (Harrison et al. 2007 S.1242)

Ergebnisse den critical juncture⁶⁸², die Pfadformierungsphase⁶⁸³, den lock-in⁶⁸⁴ und die lock-in-Phase⁶⁸⁵ nachzuvollziehen. So ist es auch mit Hilfe des Modells M1 möglich, die Vorhersagen der zu Grunde gelegten Theorie zu replizieren, insbesondere entsprechen die mittels Simulationen gewonnenen Ergebnisse den von der verbalen Theorie⁶⁸⁶ her erwarteten. Dies stärkt die interne Validität der Modellierung.

Durchführung einer Robustheitsanalyse

Das dritte Verfahren schlägt die Durchführung von Robustheitsanalysen vor, um sicher zu stellen, dass die Repräsentation des Modells robust und bezogen auf Systemverhalten und Ergebnisse stabil gegenüber Alternativen Implementierungen ist⁶⁸⁷. Sowohl für das einfache Modell M0, als auch für das fortgeschrittene Modell M1 wurden daher in Abschnitt E.I.7 bzw. Abschnitt E.II.6 umfangreiche Robustheitsanalysen durchgeführt, die die Stabilität der Repräsentation gegenüber selektiven Annahmen und Simplifizierungen stützen können. Eine übersichtliche Aufbereitung der Daten, die zum Zwecke der Robustheitsanalyse erhoben wurden, findet sich im Anhang unter Abschnitt I.III.4.

Durch die systematische Umsetzung dieser drei Verfahren wird die interne Validität des Modells begründet. Zur externen Validierung z.B. mittels empirischer Analysen wird in den noch folgenden Abschnitten *Limitationen* und *Ausblick* auf anschlussfähige Forschungsprojekte näher eingegangen. Im Folgenden sollen nun die theoretischen Implikationen der vorliegenden Arbeit erörtert werden.

III. Implikationen für Pfadtheorie und Organisationsforschung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bieten in mehrerlei Hinsicht Erkenntniswert für Pfadtheorie und Organisationsforschung, da es mit Hilfe der

⁶⁸² Vgl. die Beobachtung des critical juncture im hier entwickelten Simulationsmodell in Abbildung 29

⁶⁸³ Vgl. die Auswertung der Ergebnisse der Simulation in Abschnitt E.II.5.b)(i)

⁶⁸⁴ Vgl. die Auswertung der Ergebnisse der Simulation in Abschnitt 0

⁶⁸⁵ Vgl. die Auswertung der Ergebnisse der Simulation in Abschnitt I.I.1

⁶⁸⁶ Vgl. die verbal formulierte Theorie organisationaler Pfadabhängigkeit in Sydow, Schreyögg & Koch 2009 passim

⁶⁸⁷ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.492

vorliegenden Modellierung und ihrer Ergebnisse möglich ist, systematisch das Konkurrenzverhältnis von selbstverstärkenden Effekten und Hierarchien zu untersuchen. Auf die Notwendigkeit, diese Überlegungen systematisch im Rahmen der Theoriebildung vorzunehmen, wurde in der modernen Pfadforschung hingewiesen⁶⁸⁸, die vorliegende Arbeit bietet hierzu jedoch erstmalig einen theoriegeleitet entwickelten und durch formale Modellierung gestützten Erklärungsansatz.

Durch den numerischen Beweis⁶⁸⁹, dass sich selbstverstärkende Effekte in hierarchischen Systemen durchsetzen und regelmäßig zu Pfadbildung und lock-in führen, kann die in der Literatur bereits vollzogene Übertragung der Pfadtheorie auf den organisatorischen Kontext⁶⁹⁰ gerechtfertigt werden. Die Ergebnisse untermauern insbesondere die Gültigkeit des Berliner Modells für organisationale Pfade, da sie geeignet sind, das Modell gegen die Kritik zu verteidigen, dass in hierarchischen Organisationen die Ausbildung eines unter Effizienzgesichtspunkten problematischen Pfades einfach via Hierarchie verhindert werden kann und in der Konsequenz die Persistenz von Pfaden in Organisationen als unproblematisch einzustufen wäre. Durch die Entkräftung dieses Kritikeransatzes kann die Validität des Berliner Modells für den organisationalen Kontext bestätigt werden.

Das hier vorgestellte Simulationsmodell leistet so einen wichtigen Beitrag zum aktuellen Stand organisationaler Pfadforschung: Durch die Modellierung und die daraus abgeleiteten Ergebnisse werden Pfadforschung und Organisationstheorie enger verknüpft. Während bisherige formale Modelle der Pfadforschung von dezentraler Entscheidungsfindung ausgehen und organisationale Hierarchie nicht

⁶⁸⁸ So führen Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.701 aus: „This also holds true for other factors addressed in the literature (...) such as “power structure”. These are relevant contextual factors (...)“; ferner wird im überwiegenden Teil der Pfadliteratur implizit davon ausgegangen, dass die Pfadlogik auch in hierarchischen Organisationen gilt, so bei Ackermann 2003 passim; David 1994 S.214; Garud & Karnøe 2001 S.5; Koch 2007 S.287ff.; Schäcke 2006 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.259ff.; Schreyögg & Sydow 2010 S.35-112

⁶⁸⁹ Simulationen können als eine numerische Form der deduktiven Beweisführung angesehen werden, vgl. die Ausführungen hierzu in Abschnitt D.II

⁶⁹⁰ Vgl. Beyer 2006 passim; Burgelman 2002 S.325ff.; Geiger & Koch 2008 S.693ff.; Koch 2007 S.283ff.; Schäcke 2006 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.257ff.; Schreyögg & Sydow 2010 S.37ff.; Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.689

explizit mitgedacht wird⁶⁹¹, existiert mit der vorliegenden Modellierung nun ein formales Pfadmodell organisatorischen Wandels, dass die

- Analyse von interdependenten multi-level Prozessen
- unter dem Einfluss von selbstverstärkenden Effekten
- in Abhängigkeit der organisationalen Hierarchie
- im Zeitablauf

ermöglicht. Wie im Ausblick weiter unten gezeigt werden wird, ist die geleistete formale Modellierung auch geeignet, den Ausgangspunkt für die Bearbeitung weiterer offener Fragen die Pfadkonstitution in Organisationen betreffend zu bilden. Durch seine theoretische Fundierung in Organisations- und Pfadtheorie⁶⁹² kann das vorliegende Simulationsmodell je nach Perspektive sowohl als Modell der Pfadforschung, als auch als Modell der Organisationstheorie gelten; durch diesen dualen, integrativen Charakter trägt das Modell dazu bei, die zu Beginn dieser Arbeit erwähnte Lücke zwischen Pfadtheorie und Organisationsforschung weiter zu schließen.

Über den Beleg für die Existenz von Pfadabhängigkeit in Organisationen hinaus können die Ergebnisse das Verständnis des Pfadprozesses in Organisationen in verschiedener Hinsicht verbessern und die Folgen selbstverstärkender Effekte auf *den Verlauf und die Eigenschaften des Prozesses* in verschiedenen Konfigurationen hierarchischer Systeme abbilden. Die Ergebnisse des Simulationsmodells dieser Arbeit sind dabei geeignet, die zu erwartende

- Geschwindigkeit der Pfadformierung,
- Wahrscheinlichkeit eines lock-in und
- Prägnanz des lock-in

eines Pfadprozesses in einer hierarchischen Organisation zu prognostizieren.

Fokussiert man auf die im Rahmen der Arbeit neu entwickelten Konstrukte zu einer präziseren Pfadbeschreibung – die wie der lock-in-Korridor zur Messung der

⁶⁹¹ Vgl. die vielzitierte Modellierung des Pfadprozesses in Sydow, Schreyögg & Koch 2009 S.691ff.

⁶⁹² Vgl. Abschnitt E.II.2 und E.II.3 zur theoretischen Fundierung des formalen Modells M1

Prägnanz des lock-in hauptsächlich dem Präzisionsdruck der formalen Modellierung geschuldet sind – so können diese auch außerhalb des vorliegenden Simulationsmodells für die Messung von Pfadabhängigkeit und lock-in zum Beispiel in der empirischen Forschung nutzbar gemacht werden. Hier fehlt es bisher – abgesehen von dem Vorschlag Arthurs zu Messung der Prägnanz des lock-in, der vermutlich wegen der subjektivierten Perspektive des Konstrukts in der empirischen Pfadforschung auf große praktische Hindernisse stieß und deshalb bisher nicht zum Einsatz kam⁶⁹³ – an einem geeigneten Konstrukt zur Messung der Prägnanz von organisatorischen Pfaden. Der hier vorgeschlagene lock-in-Korridor, der als durchschnittliche Abweichung von einem Verbreitungsgrad von 1 der dominanten Lösung während der lock-in-Phase konzipiert wurde, ließe sich empirisch auf dem Makrolevel eines sozialen Systems leichter erfassen und bietet durch diese Form der Objektivierung eine interessante neue Messmethode für die empirische Pfadforschung.

Aus organisationstheoretischer Perspektive lässt sich ein weiterer Erkenntnisgewinn aus den Ergebnissen ziehen: Vor dem Hintergrund, dass in der Organisationstheorie die Fragen nach einer funktionalen Gestaltung der Organisationsstruktur und die Suche nach dem optimalen „organizational design“ einen beachtlichen Raum einnehmen⁶⁹⁴, kommt den Ergebnissen der vorliegenden Studie zusätzliches Gewicht zu. So können verschiedene Konfigurationen der Organisationsstruktur, insbesondere was Unterschiede in der Gestaltung der Leitungshierarchie und der Ausstattung der leitenden Organisationsmitglieder mit Macht anbelangt, mit den vorliegenden Ergebnissen auf ihre Wirkung hin verglichen werden,

- Pfadprozesse zu beschleunigen bzw. zu verlangsamen,
- den Pfadprozess in den lock-in zu führen,
- und wenn dies der Fall ist, prägnantere oder weniger prägnante lock-ins zu ermöglichen

⁶⁹³ Vgl. Arthur 1989 S.122

⁶⁹⁴ Vgl. die Studien von Cohen, March & Olsen 1972; Lei, Hitt & Goldhar 1996; Siggelkow & Rivkin 2005; Travica 1999

Diese Ergebnisse sollen nun noch einmal in einer Ergebnisübersicht dargestellt und den Phasen des Berliner Modells zugeordnet werden. Für die Zusammenfassung der Ergebnisse wird nun vereinfachend zwischen jeweils zwei Ausprägungen der unabhängigen Variablen unterschieden, zwischen steiler und flacher Hierarchie einerseits, und schwacher und starker Führungsmacht andererseits.⁶⁹⁵ Die Auswirkungen auf den Pfadkonstitutionsprozess, der anhand der abhängigen Variablen Länge der Pfadformationsphase und Prägnanz des lock-in abgebildet werden kann, fasst Abbildung 51 in einer 2*2*2 Matrix zusammen.

Abbildung 51: Zusammenfassung der Ergebnisse

		Organisationsstruktur			
		steile Hierarchie	flache Hierarchie		
Länge der Pfad-Formierungsphase		lang (erhöht sich sich mit steigendem li drastisch auf sehr hohes Niveau)	moderat (erhöht sich mit steigendem li sehr langsam auf insgesamt niedriges bis moderates Niveau)	hohes regime	Führungsmacht
Prägnanz des lock-ins		gering (Prägnanz stagniert mit steigendem li)	sehr hoch (Prägnanz erhöht sich mit steigendem li auf hohes Niveau)		
Länge der Pfad-Formierungsphase		kurz (verkürzt sich mit steigendem li)	kurz (verkürzt sich mit steigendem li)	niedriges regime	
Prägnanz des lock-ins		hoch (Prägnanz verringert sich nur langsam mit steigendem li)	gering (Prägnanz verringert sich schnell mit steigendem li)		

Quelle: Eigene Darstellung der Ergebnisse der Simulationsstudie

Durch die so mögliche Zuordnung von Konfigurationen der Hierarchie zu bestimmten Wirkungen auf Pfadprozesse kann ein neuartiger Beitrag zu den Fragen der funktionalen Organisationsstrukturgestaltung und der in der Organisationstheorie immer noch umstrittenen Frage nach der Wahl des optimalen „organizational designs“⁶⁹⁶ geleistet werden.

Nachdem die Implikationen für Pfadforschung und Organisationstheorie beleuchtet wurden, sollen nun die Grenzen der Untersuchung betrachtet werden.

⁶⁹⁵ Vergleiche hierzu die stärker detaillierte Aufschlüsselung der Ergebnisse in Abschnitt E.II.5 dieser Arbeit.

⁶⁹⁶ Vgl. Lei, Hitt & Goldhar 1996 S.501; Rivkin & Siggelkow 2003 S.290; Siggelkow & Rivkin 2005 S.101; Travica 1999 passim

IV. Limitationen

Es wurde ausführlich dargelegt, dass die Computersimulation als wissenschaftliche Methode über Qualitäten verfügt, die sie in besonderem Maße für die Fragestellung dieser Arbeit prädestinieren.⁶⁹⁷ Auf der anderen Seite werden die Grenzen der vorliegenden Untersuchung vornehmlich von den methodischen Zwängen einer formalen Modellierung komplexer, sozialer Prozesse vorgegeben. Diese sollen im Folgenden aufgezeigt werden.

Formale Modellierung als Simplifizierung

So ist zunächst grundsätzlich festzuhalten, dass ein formales Simulationsmodell, wie jedes Modell nur einen Teil der Realität abbilden kann:

„A model is a simplified picture of a part of the real world. It has some of the characteristics of the real world, but not all of them. (...) Like all pictures, a model is simpler than the phenomenon it is supposed to represent or explain.“⁶⁹⁸

Wollte man bei der vorliegenden Fragestellung diese Simplifizierung vermeiden, wäre eine umfassende Beobachtung innerhalb hierarchischer Organisationen über einen langen Zeitraum hinweg nötig, im Rahmen derer mittels qualitativer Analyse über das Vorliegen von Selbstverstärkungsmechanismen und ihrer Wirkungsweise entschieden werden könnte. Abgesehen von dem erheblichen zeitlichen und finanziellen Aufwand, der mit einem solchen Untersuchungsdesign einherginge, ist fraglich, ob mit solchen Einzelfallanalysen allgemeingültige Aussagen abgeleitet werden können, die in Präzision und Reichweite mit den Ergebnissen der vorliegenden Simulationsstudie vergleichbar wären. Ein grundsätzliches Problem wäre außerdem die Konfundierung der Wirkungsmechanik selbstverstärkender Effekte durch diverse Einflussfaktoren in der Realität, so dass es schwierig wäre, festzustellen, zu welchem Anteil eine Entwicklung auf selbstverstärkenden Effekte oder auf andere Ursachen zurückzuführen ist. Im Rahmen eines Modells (oder eventuell auch in einer abgeschirmten Umgebung eines Laborexperiments) können alle anderen Einflussfaktoren hingegen konstant gehalten werden, um den Einfluss von genau zwei Wirkungsmechanismen, hier Hierarchie und selbstverstärkende Effekte, zu

⁶⁹⁷ Vgl. Abschnitt D.I

⁶⁹⁸ Lave & March 1975 S.3; siehe auch Gilbert & Troitzsch 2005 S.2

untersuchen. Deshalb scheint es legitim, das Verhalten von hierarchischen Systemen unter dem Einfluss selbstverstärkender Effekte zunächst mittels formaler Analyse und Computersimulation zu studieren, und die Ergebnisse als numerische Belege für Zusammenhänge anzusehen, die in der weiteren Forschung dann gezielt empirisch und qualitativ abgesichert werden können.

Die Aufstellung eines wissenschaftlichen Ansprüchen genügenden formalen Modells erfordert eine gewissenhafte und wohl überlegte Selektion der Annahmen und Zusammenhänge, die Eingang in die Modellierung finden; hierbei soll sichergestellt werden, dass das formale Modell die für das zu untersuchende Phänomen zentralen Variablen und Wirkungszusammenhänge enthält.⁶⁹⁹ Dieser Maßgabe folgend wurde das Modell M1 entwickelt und der für Pfadprozesse in Organisationen relevante Faktor der Hierarchie wurde mit einbezogen. An dieser Stelle ist aber zu erwähnen, dass individuelle Entscheidungen über die Adoption institutioneller Lösungen nicht nur, wie im Modell M1 implementiert, von zufälligen Ereignissen, Komplementaritäten und dem Einfluss des Vorgesetzten abhängen. So sind in der Führungs- und Organisationsforschung, so wie in der Unternehmenskulturforschung weitere Wirkungsmechanismen bekannt, welche die individuellen Entscheidungen der Organisationsmitglieder beeinflussen.⁷⁰⁰ Diese für individuelle Handlungskalküle von Organisationsmitgliedern relevanten Mechanismen wurden im Rahmen der vorliegenden Modellierung vernachlässigt; die Möglichkeiten der diesbezüglichen Erweiterung des vorgestellten Modells werden im Ausblick am Ende dieser Arbeit umrissen.

Finiter Zeithorizont der Simulationen

Neben diesen eher konzeptionell begründeten Grenzen der Untersuchung liegen auch Limitationen vor, die sich auf die technische Umsetzung beziehen. So wurde auch aus Gründen der Rechenzeit- und Kapazität die Länge der Simulationsdurchläufe auf maximal 6,000 Zeiteinheiten (ticks) beschränkt,

⁶⁹⁹ Vgl. Gilbert & Troitzsch 2005 S.15ff.; Harrison et al. 2007 S.1233

⁷⁰⁰ für modernen Ansätze der Gruppenforschung vgl. Arrow & McGrath 1995 S.373ff. sowie Lipman-Blumen & Leavitt 1999 passim; so ermittelt in der Motivationsforschung zum Beispiel Herzberg 1968 S.53ff. deutlich mehr Faktoren, die die Motivation neben der „Beziehung zu Vorgesetzten“ beeinflussen, wie zum Beispiel Leistungserlebnis, Anerkennung, Verantwortung, etc.; zur Unternehmenskulturforschung vergleiche Vgl. Hofstede 1993 passim; Schein 1984 S.252

teilweise auch auf weniger, wenn weniger ticks für eine bestimmte Analyse ausreichend waren⁷⁰¹. Diese Beschränkung auf einen finiten Zeithorizont stellt für die Messung der abhängigen Variablen Verbreitungsgrad zunächst kein Problem dar. Schwierigkeiten ergeben sich erst dann, wenn die Interpretation der Variablen im Zeitablauf eine längere Dauer eines Simulationsdurchgangs erfordert. So werden aus der Veränderung der Variablen Verbreitungsgrad im Zeitablauf Rückschlüsse auf die Länge der Pfadformierungsphase⁷⁰² und der Prägnanz des lock-in⁷⁰³ gezogen. Für die Interpretation bezüglich der Länge der Pfadformierungsphase und der Prägnanz des lock-in trat dann ein Problem auf, wenn ein Simulationsdurchlauf bei tick = 6,000 endet und kein lock-in vorliegt; es ist dann zunächst unklar, ob es in der entsprechenden Konfiguration zu keinem lock-in kommt, oder dieser lediglich erst nach tick 6,000 eingetreten wäre. Auch eine Anhebung der Länge der einzelnen Simulationsdurchläufe auf mehr als 6,000 ticks würde dieses Problem nicht lösen; es bestünde für jede fixe Begrenzung weiter. Mit der vorliegenden Methode konnte daher die Auswirkung auf den Pfadprozess nicht interpretiert werden, wenn es vor tick 6,000 zu keinem lock-in kam. Da dies aber nur in einer nicht signifikant großen Anzahl der Fälle eintrat, wie in Abbildung 36 zeigt, kann die Verzerrung der Ergebnisse durch diesen Effekt als vernachlässigbar gering bezeichnet werden.

Mangelnde Empirische Validierung

Als problematisch an der vorliegenden Untersuchung könnte die geringe empirische Validierung des Simulationsmodells eingestuft werden. So wird in der Literatur zur wissenschaftlichen Methodenforschung verschiedentlich darauf hingewiesen, dass die Überprüfung der Konsistenz der Ergebnisse mit empirischen Daten ein wichtiger Schritt in der Validitätsprüfung eines Simulationsmodells darstellt.⁷⁰⁴ Der sich hieraus für die vorliegende Studie möglicherweise ergebenden Kritik soll auf verschiedenen Wegen entgegengetreten werden.

⁷⁰¹ Zum Beispiel wurde die Robustheitsanalyse mittels Modelle M1r1-M1r3 nur mit 3,000 ticks gerechnet.

⁷⁰² Vgl. Abschnitt E.II.5.b(i) dieser Arbeit

⁷⁰³ Vgl. Abschnitt 0 dieser Arbeit

⁷⁰⁴ Vgl. Davis, Eisenhardt & Bingham 2007 S.494f.; Harrison et al. 2007 S.1241

Erstens kann konzeptionell argumentiert werden, dass eine empirische Validierung der Ergebnisse eines formalen Modells zwar wünschenswert ist, aber keine notwendige Bedingung dafür darstellt, dass eine Simulation zur Lösung von offenen Forschungsfragen und der weiteren Theorieentwicklung beitragen kann. So argumentieren Davis et al.:

„Purely theoretical simulation work should not be avoided simply because (empirical) grounding is not available; it is still a legitimate scientific endeavor with the potential to make important contributions to management theory (...).“⁷⁰⁵

Ähnlich äußern sich Gilbert & Troitzsch und stellen auf den Wert von Simulationen als Mittel der Entdeckung und Formalisierung im Rahmen der Weiterentwicklung von Theorie ab:

„The major reason for social scientists becoming so increasingly interested in computer simulation, however, is its potential to assist in discovery and formalization. (...) In order to do this they need to take theories that have conventionally been expressed in textual form and formalize them into a specification that can be programmed into a computer. The process of formalization, which involves being precise about what theory means and making sure that it is complete and coherent, is a very valuable discipline on its own right. In this respect, computer simulation has a similar role in the social sciences to that of mathematics in the physical sciences.“⁷⁰⁶

Auf diese Weise kann begründet werden, dass Simulationsmodelle auch auf theoretischen Überlegungen aufgebaut werden können und dadurch der Wert der Modelle im Rahmen der Theorieentwicklung nicht in Abrede gestellt wird.

Zweitens kann an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass zur Fundierung des vorliegenden formalen Modells, dass das Fundament eines jeden Simulationsmodells bildet, nicht nur theoretische Überlegungen sondern auch empirische Studien eingeflossen sind. Hierbei handelt es sich in der überwiegenden Zahl um qualitative Studien. Nicht nur die vielzitierte QWERTY-Studie von David⁷⁰⁷, der als Ursprung der Pfadtheorie eine besondere Bedeutung zukommt, sondern auch die Analyse des Pfadprozesses im Wettstreit VHS vs. Betamax⁷⁰⁸, die Studie zu strategischen Pfaden in deutschen

⁷⁰⁵ Harrison et al. 2007 S.1242

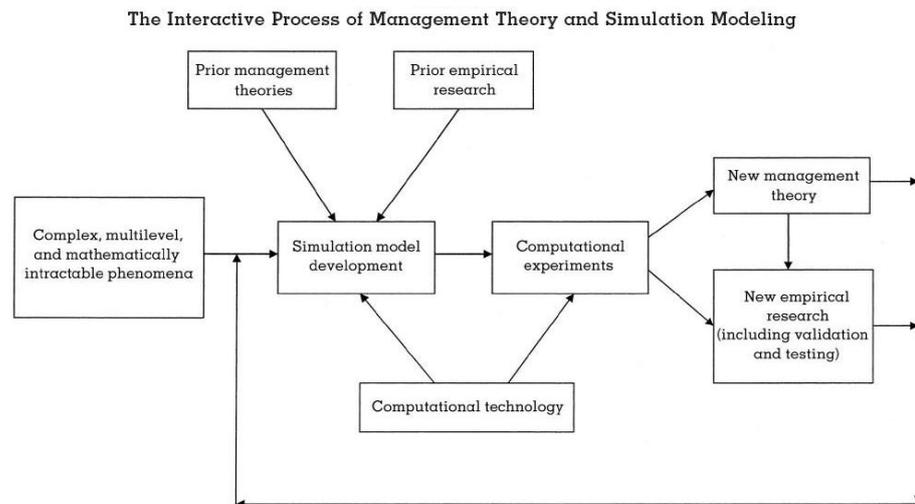
⁷⁰⁶ Gilbert & Troitzsch 2005 S.5

⁷⁰⁷ Vgl. David 1985

⁷⁰⁸ Vgl. Liebowitz & Margolis 1995 S.208f.

Qualitätsjournalismus⁷⁰⁹ und die Studie zur Auflösung strategischer Pfade beim Chiphersteller Intel⁷¹⁰ wurden zur Validierung des Pfadmodells herangezogen. Dieses Vorgehen, das Simulationsmodell empirisch zu fundieren, wird in der wissenschaftlichen Methodenliteratur empfohlen⁷¹¹ und es wird argumentiert, dass sich die empirische Fundierung nahtlos in den Prozess der Theorieentwicklung einfügt, wie die folgende Abbildung 52 verdeutlicht.

Abbildung 52: Theorieentwicklung im Management und Computersimulationen als Prozess



Quelle: Harrison et al. (2007) S.1240

Auch wenn nicht mit einer umfassenden empirischen Validierung der Ergebnisse aufgewartet werden kann, so kann nach diese Argumentation mit Recht behauptet werden, dass das Simulationsmodell empirisch ausreichend fundiert ist, und aus den Ergebnissen sowohl Implikationen für die Theorieentwicklung abgeleitet werden, als auch neue empirische Forschungsprojekte in der Folge entstehen können.

Im Folgenden sollen nun die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche weiterführende Forschung gegeben werden.

⁷⁰⁹ Vgl. Koch 2007 passim

⁷¹⁰ Vgl. Burgelman 1994 passim

⁷¹¹ Vgl. Harrison et al. 2007 S.1240

G. Zusammenfassung und Ausblick

I. Zusammenfassung

In dieser Studie wurden Teile der Pfadtheorie, der Organisationstheorie und der Theorie institutionellen Wandels zu einem Modell zur Untersuchung von selbstverstärkenden Effekten in hierarchischen Organisationen verknüpft. Auf dem formalen Modell wurde ein Simulationsmodell aufgesetzt, das die Analyse wichtiger Fragestellungen an der Schnittstelle zwischen Pfad- und Organisationstheorie zugänglich macht. Die Ergebnisse bestätigen die Vermutungen der zeitgenössischen Pfadforschung, dass Pfadabhängigkeit auch in hierarchischen Organisationen eine bedeutende Rolle spielt: Sobald selbstverstärkende Effekte vorliegen, kann die von der Pfadtheorie proklamierte extreme Persistenz in Form des lock-in nicht ohne Weiteres via Hierarchie überwunden werden kann. Diese Erkenntnis stellt das zentrale Ergebnis der vorliegenden Studie dar.

Ferner konnte detailliert aufgezeigt werden, wie die Integration von organisationaler Hierarchie in das einfache formale Modell institutionellen Wandels M0 zu einem erweiterten Modell institutionellen Wandels in Organisationen M1 möglich ist. Aus dem formalen Modell M1 konnten mittels Computersimulationen eine Vielzahl interessanter Ergebnisse über die Auswirkung von organisationaler Hierarchie und Führung auf den pfadabhängigen Prozess institutionellen Wandels in Organisationen gewonnen werden. Es wurden Effekte herausgearbeitet, die die Variation einer der unabhängigen Variablen Kontrollspanne und Führungsmacht auf den Pfadprozess hat. Zusätzlich konnten die Einflüsse der gleichzeitigen, interdependenten Variation der unabhängigen Variablen auf den Verlauf des Pfadprozesses beobachtet werden. Zwischen den Ergebnissen der Studie und den Phasen des Berliner Modells institutioneller Pfadabhängigkeit kann eine Verbindung hergestellt werden, die geeignet ist, das Verständnis der drei Phasen pfadabhängiger Prozesse im Kontext hierarchischer Organisationen zu verbessern.

II. Anknüpfungspunkte für weitergehende Forschung

Das Simulationsmodell M1 bietet verschiedentlich Ansatzpunkte für weitergehende Forschung. Zunächst wäre eine empirische Studie, die die Simulationsergebnisse anhand von Fallstudien überprüft und validiert von großem Interesse für die Bestätigung der nun vorliegenden Ergebnisse.⁷¹² Hierbei könnte es sich um eine klassische empirische Anschlussstudie handeln, die aus der im Rahmen dieser Arbeit generierten Erweiterung der bestehenden Theorie entspringt⁷¹³, oder aber eine Studie, die auf empirischem Wege versucht, relevante Faktoren ausfindig zu machen, die in der vorliegenden Modellierung vernachlässigt wurden und deren Integration in das vorliegende Modell seinen Wert beträchtlich steigern könnte. Mögliche Ansatzpunkte könnten handlungsleitende Mechanismen sein, die in der Motivationsforschung⁷¹⁴, der Unternehmenskulturforschung⁷¹⁵ und der modernen Gruppenforschung⁷¹⁶ identifiziert werden konnten und die mit Hilfe der Fundierung durch empirische Daten in das Modell aufgenommen werden könnten.

Im Rahmen der Darlegung der theoretischen Grundlage wurden in Kapitel E.I.2 alternative Modellierungen organisationaler Hierarchie besprochen, die sich aus den dort genannten Gründen nicht ohne weitere Anpassungen als Anknüpfungspunkt für ein formales Modell eignen, dass die Fragestellung dieser Arbeit bearbeiten kann. Für die Validierung der Ergebnisse dieser Arbeit wäre es aber durchaus interessant, ob die Ergebnisse des Modells M1 mittels einer alternativen Modellierung repliziert werden können. Eine Anpassung des Modells von Siggelkow & Rivkin⁷¹⁷ auf die Vorliegende Fragestellung - insbesondere müsste die Möglichkeit selbstverstärkender Effekte in das Modell integriert werden – stellt einen möglichen Weg dar, die vorliegenden Ergebnisse zu überprüfen.

⁷¹² Vgl. Gilbert & Troitzsch 2005 S.23; Lave & March 1975 S.52 ; Sokal & Bricmont 1998 S.190

⁷¹³ Vgl. die Entstehung neuer empirischer Studien im Prozess der Theorieentwicklung mittels Simulationen bei Abbildung 52; siehe auch Harrison et al. 2007 S.1240f.

⁷¹⁴ so ermittelt zum Beispiel Herzberg 1968 S.53ff. deutlich mehr Faktoren, die die Motivation beeinflussen neben der „Beziehung zu Vorgesetzten“ beeinflussen, wie zum Beispiel Leistungserlebnis, Anerkennung, Verantwortung, etc.

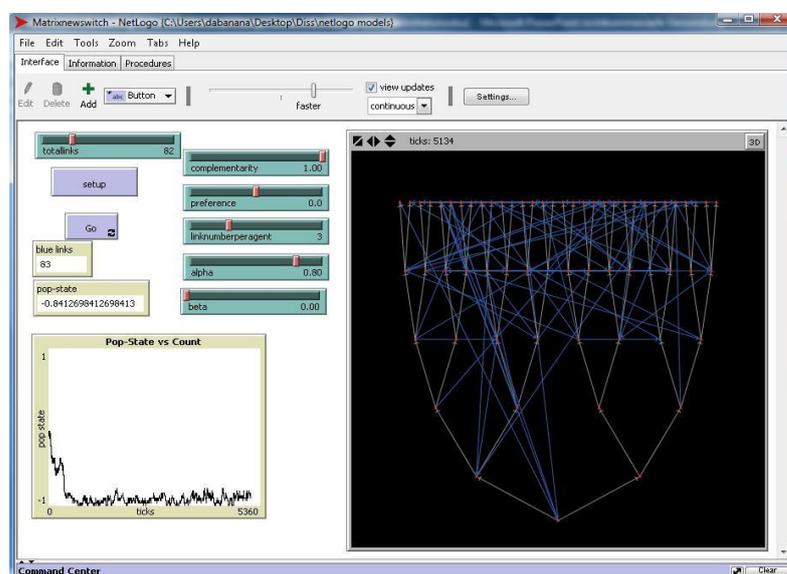
⁷¹⁵ Vgl. Hofstede 1993 passim; Schein 1984 S.252

⁷¹⁶ für modernen Ansätze der Gruppenforschung vgl. Arrow & McGrath 1995 S.373ff. sowie Lipman-Blumen & Leavitt 1999 passim

⁷¹⁷ Vgl. Siggelkow & Rivkin 2006 S.779ff.

Die building-block-Methode ermöglicht auch in anderer Hinsicht Weiterentwicklungen des Modells. So ist es nach der Validierung des Modells M1 relativ einfach möglich, völlig anders gestaltete Hierarchien und ihre Wirkung auf den organisatorischen Pfadprozess zu untersuchen, zum Beispiel die Matrixorganisation.⁷¹⁸ Hierbei könnte untersucht werden, inwiefern sich die verschiedenen Aspekte des Mehrliniensystems, dessen beispielhafte Implementierung in Abbildung 53 dargestellt ist, zum Beispiel die Anzahl von Hierarchiebeziehungen innerhalb der Organisation, auf institutionelle Pfadprozesse auswirkt.

Abbildung 53: Erweiterung von M1 auf Mehrliniensysteme, zum Beispiel die Matrixorganisation



Erläuterung: Netlogo Implementierung einer Matrixorganisation basierend auf dem Simulationsmodell M1

Auch die Organisationsform des Arbeitens in temporären Projekteinheiten, die heutzutage immer verbreiteter wird⁷¹⁹, könnte mit einer solchen Erweiterung untersucht werden. Eine andere mögliche Weiterentwicklung wäre die Anpassung des Modells zur Untersuchung pfadabhängiger Prozesse in Unternehmensnetzwerken, die ebenfalls im Mittelpunkt der zeitgenössischen Managementforschung stehen.⁷²⁰ So bietet die vorliegende Studie vielfältige Anknüpfungsmöglichkeiten für weitergehende Forschung, die mittels empirischer Methoden oder durch eine Weiterentwicklung des Simulationsmodells mehr über Pfadprozesse in modernen Organisationsformen offen legen kann.

⁷¹⁸ Vgl. Ford & Randolph 1992 S.267ff.

⁷¹⁹ Vgl. Lindkvist 2004 S.3ff.

⁷²⁰ Vgl. Sydow & Windeler 2001 S.1035ff.

H. Referenzen

- Ackermann, R. 2001. *Pfadabhängigkeit, Institutionen und Regelreform*. Tübingen: Mohr Siebeck.
- Ackermann, R. 2003. Die Pfadabhängigkeitstheorie als Erklärungsansatz unternehmerischer Entwicklungsprozesse. In G. Schreyögg, & J. Sydow (Eds.), *Managementforschung 13: Strategische Prozesse und Pfade*: 225-255. Wiesbaden: Gabler.
- Altman, M. 2000. A behavioral model of path dependency: The economics of profitable inefficiency and market failure. *Journal of Socio-Economics*(29): 127-145.
- Amable, B. 2000. Institutional complementarity and diversity of social systems of innovation and production. *Review of International Political Economy*, 7(4): 645-687.
- Amable, B. 2003. *The diversity of modern capitalism*. Oxford: Oxford University Press.
- Amable, B. 2009. Structural reforms in Europe and the (in)coherence of institutions. *Oxford Review of Economic Policy*, 25(1): 17-39.
- Amable, B., Ernst, E., & Palombarini, S. 2005. How do financial markets affect industrial relations: An institutional complementarity approach. *Socio-Economic Review*, 3(2): 311-330.
- Anderson, P. 1999. Complexity theory and organization science. *Organization Science*, 10(3): 216-232.
- Andreoni, J., & Miller, J. H. 1995. Auctions with artificial adaptive agents. *Games and Economic Behavior*, 10(1): 39-64
- Aoki, M. 1994. The contingent governance of teams: Analysis of institutional complementarity. *International Economic Review*, 35(3): 657-676.
- Aoki, M. 2001. *Towards a comparative institutional analysis*. Cambridge/Massachusetts: MIT-Press.
- Argote, L. 1999. *Organizational learning: Creating, retaining and transferring knowledge*. Boston: Kluwer Academic.
- Argyris, C., & Schön, D. A. 1996. *Organizational learning II: Theory, method and practice*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing.
- Arrow, H., & McGrath, J. E. 1995. Membership dynamics in groups at work: A theoretical framework. *Research in Organizational Behaviour*, 17: 373-411.
- Arthur, W. B. 1983. *Competing technologies and lock-in by historical events: The dynamics of allocation under increasing returns*. Laxenburg.
- Arthur, W. B. 1988. Self-reinforcing mechanisms in economics. In P. W. Anderson, K. J. Arrow, & D. Pines (Eds.), *The economy as an evolving complex system*: 9-31. Redwood City (California): Addison-Wesley.
- Arthur, W. B. 1989. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *Economic Journal*, 99(394): 116-131.
- Arthur, W. B. 1990. Positive feedbacks in the economy. *Scientific American*, February: 92-99.

- Arthur, W. B. (Ed.). 1994. ***Increasing returns and path dependence in the economy***. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Arthur, W. B., Ermoliev, Y. M., & Kaniovski, Y. M. 1994. Path-dependent processes and the emergence of macro-structure. In B. Arthur (Ed.), ***Increasing returns and path dependence in the economy***: 33-48. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Axelrod, R. M. 1987. ***Die Evolution der Kooperation***. München Oldenbourg.
- Axelrod, R. M. 1997. ***The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration***. Princeton, NY: Princeton University Press.
- Barley, S. R., & Tolbert, P. S. 1997. Institutionalization and structuration: Studying the links between action and institution. ***Organization Studies***, 18(1): 93-117.
- Barney, J. B. 1997. Looking inside for competitive advantage. In A. Campbell, & L. K. Sommers (Eds.), ***Core competency-based strategy***: 13-29. London: International Thomson Business Press.
- Bass, B. M., & Avolio, B. (Eds.). 1994. ***Improving organizational effectiveness through transformational leadership***. Thousand Oaks.
- Bassanini, A. P., & Dosi, G. 2001. When and how chance and human will can twist the arms of Clio: An essay on path dependence in a world of irreversibilities. In R. Garud, & P. Karnoe (Eds.), ***Path dependence and creation***: 41-68. Mahwah/London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Berger, P. L., & Luckmann, T. 1969. ***Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit***. Frankfurt a. M.
- Bergh, A., & Höijer, R. (Eds.). 2008. ***Institutional Competition***. Glensanda House: Edward Elgar Publishing Limited.
- Beyer, J. 2005. Pfadabhängigkeit ist nicht gleich Pfadabhängigkeit! Wider den impliziten Konservatismus eines gängigen Konzepts. ***Zeitschrift für Soziologie***, 34(1): 5-21.
- Beyer, J. 2006. ***Pfadabhängigkeit. Über institutionelle Kontinuität, anfällige Stabilität und fundamentalen Wandel***. Frankfurt: Campus Verlag.
- Blau, P. M., & Scott, R. 1963. ***Formal organizations***. London.
- Boje, D. M. 1991. The storytelling organization: A study of story performance in an office-supply firm. ***Administrative Science Quarterly***, 36(1): 106-126.
- Boyer, R. 2005. Coherence, diversity, and the evolution of capitalism - the institutional complementarity hypothesis. ***Evolutionary and Institutional Economics Review***, 2(1): 43-80.
- Brown, S. L., & Eisenhardt, K. M. 1998. ***Competing on the edge: Strategy as structured chaos***. Boston: Harvard Business School Press.
- Bruderer, E., & Singh, J. V. 1996. Organizational evolution, learning, and selection: A genetic-algorithm-based model ***Academy of Management Journal***, 39(5): 1322-1349.
- Burgelman, R. A. 1994. Fading memories: A process theory of strategic business exit in dynamic environments. ***Administrative Science Quarterly***, 39(1): 24-56.

- Burgelman, R. A. 2002. Strategy as vector and the inertia of coevolutionary lock-in. *Administrative Science Quarterly*, 47(2): 325-357.
- Burns, J., & Scapens, R. W. 2000. Conceptualizing management accounting change: An institutional framework. *Management Accounting Research*, 11(1): 3-25.
- Burns, J. M. 1978. *Leadership*. New York.
- Burton, R. M., & Obel, B. 1980. A Computer simulation test of the M-Form hypothesis. *Administrative Science Quarterly*, 25(3): 457-466.
- Calder, B. J. 1977. An attribution theory of leadership. In B. M. Staw, & J. R. Salancik (Eds.), *New directions in organizational behavior*: 179-204. Chicago.
- Campbell, J. L. 2004. *Institutional change and globalization*. Princeton: Princeton University Press.
- Carley, K. M. 2001. Computational approaches to sociological theorizing. In J. H. Turner (Ed.), *Handbook of sociological theory*: 69-84. New York: Kluwer.
- Carroll, G. R., & Harrison, J. R. 1998. Organizational demography and culture: Insights from a formal model and simulation. *Administrative Science Quarterly*, 43(3): 637-667.
- Chattoe, E. 1998. Just how (un)realistic are evolutionary algorithms as representations of social processes? *Journal of Artificial Social Science Simulation*, 1(3): 2.1-2.36.
- Cohen, M. D., March, J. G., & Olsen, J. P. 1972. A garbage can model of organizational choice. *Administrative Science Quarterly*, 17: 1-25.
- Collier, R. B., & Collier, D. 1991. *Shaping the political arena: Critical junctures, the labor movement, and regime dynamics in Latin America*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Coulmas, F. 1981. *Conversational routine: Explorations in standardized communication situations and prepatterned speech*. The Hague: Mouton Publishers.
- Cowan, R. 1990. Nuclear power reactors: A study in technological lock-in. *The Journal of Economic History*, 50(3): 541-567.
- Cusumano, M. A., Mylonadis, Y., & Rosenbloom, R. S. 1992. Strategic maneuvering and mass-market dynamics: The triumph of VHS over Beta. *Business History Review*, 66(1): 51-94.
- Dacin, M. T., Goodstein, J., & Scott, W. R. 2002. Institutional theory and institutional change: Introduction to the special research forum. *Academy of Management Journal*, 45(1): 45-56.
- Dahrendorf, R. 1965. *Homo sociologicus*. Köln/Opladen.
- David, P. A. 1975. *Technical choice, innovation and economic growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- David, P. A. 1985. Clio and the economics of QWERTY. *The American Economic Review*, 75(2): 332-337.
- David, P. A. 1986. Understanding the economics of QWERTY: The necessity of history. In W. N. Parker (Ed.), *Economic history and the modern economist*: 30-49. Oxford: Blackwell.
- David, P. A. 1994. Why are institutions the "carriers of history"? Path dependence and the evolution of conventions, organizations and

- institutions. *Structural Change and Economic Dynamics*, 5(2): 205-220.
- David, P. A. 2001. Path dependence, its critics and the quest for "historical economics". In P. Garrouste (Ed.), *Evolution and path dependence in economic ideas: Past and present*: 15-40. Cheltenham UK und Northampton USA: Edgar Elgar Publishing limited.
- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M., & Bingham, C. B. 2007. Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32(2): 480-499.
- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M., & Bingham, C. B. 2008. Complexity theory, market dynamism, and the strategy of simple rules: Stanford Technology Ventures Program working paper.
- Deeg, R. 2007. Complementarity and institutional change in capitalist systems. *Journal of European Public Policy*, 14(4): 611-630.
- DiMaggio, P., & Powell, W. W. 1983. The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review*, 48(2): 147-160.
- Ellickson, R. 1991. *Order without law*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Fayol, H. 1918. *Administration industrielle et générale*. Paris (dt. Allgemeine und industrielle Verwaltung, München/Berlin, 1929).
- Fayol, H. 1929. *Allgemeine und industrielle Verwaltung*. München/Berlin.
- Feldman, D. C. 1984. The development and enforcement of group norms. *Academy of Management Review*, 9(1): 47-53.
- Fichman, M. 1999. Variance explained: Why size does not (always) matter. *Research in Organizational Behavior*, 21: 295-331.
- Fiedler, F. E. 1967. *A theory of leadership effectiveness*. New York.
- Fine, G. A., & Elsbach, K. D. 2000. Ethnography and experiment in social psychological theory-building: Tactics for integrating qualitative field data with quantitative lab data. *Journal of Experimental Social Psychology*, 36: 51-76.
- Ford, R. C., & Randolph, W. A. 1992. Crossfunctional structures: A review and integration of matrix organization and project management. *Journal of Management*, 18(2): 267-294.
- Franzese, R. J. 2001. Institutional and sectoral interactions in monetary policy and wage/price-bargaining. In P. A. Hall, & D. Soskice (Eds.), *Varieties of Capitalism: The Institutional Foundations of Comparative Advantage*: 104-144. Oxford: Oxford University Press.
- French, J. R. P., & Raven, B. 1959. The bases of social power. In D. Cartwright (Ed.), *Studies in social power*: 150-167. Ann Arbor.
- Gardner, W. L., & Avolio, B. J. 1998. The charismatic relationship: A dramaturgical perspective. *Academy of Management Review*, 23(1): 32-58.
- Garud, R., & Karnøe, P. 2001. Path creation as a process of mindful deviation. In R. Garud, & P. Karnøe (Eds.), *Path dependence and creation*: 1-38. Mahwah/London: Lawrence Erlbaum Associates.

- Gavetti, G., & Levinthal, D. 2000. Looking forward and looking backward: Cognitive and experiential search. *Administrative Science Quarterly*, 45(1): 113-137.
- Geiger, D., & Koch, J. 2008. Von der individuellen Routine zur organisationalen Praktik - Ein neues Paradigma für die Organisationsforschung? *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 60: 693-712.
- Genschel, P. 1997. The dynamics of inertia: Institutional persistence and change in telecommunications and health care. *Governance: An International Journal of Policy and Administration*, 10(1): 43-66.
- Gigerenzer, G., & Brighton, H. 2009. Homo heuristicus: Why biased minds make better inferences. *Topics in Cognitive Science*, 1(1): 107-143.
- Gigerenzer, G., Todd, P. M., & Gerd Gigerenzer, A. R. (Eds.). 1999. *Simple heuristics that makes us smart*. New York: Oxford University Press.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. 2005. *Simulation for the social scientist* (2. ed.). Berkshire: Open University Press.
- Goldstein, D. G., & Gigerenzer, G. 2002. Models of ecological rationality: The recognition heuristic. *Psychological Review*, 109: 75-90.
- Graen, G., & Uhl-Bien, M. 1995. Relationship-based approach to leadership : Development of leader-member exchange. LMX theory of leadership over 25 years: Applying a multi-level multi-domain perspective. *Leadership Quarterly*, 6: 219-247.
- Graen, G. B., & Scandura, T. A. 1987. Toward a psychology of dyadic organizing. In B. M. C. Staw, L. L. (Ed.), *Research in Organizational Behavior*, Vol. 9: 175-208.
- Grossmann, S. J., & Hart, O. D. 1983. An analysis of the principal-agent problem. *Econometrica*, 51(1): 7-45.
- Gutenberg, E. 1983. *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band 1: Die Produktion* (24 ed.). Berlin et al.
- Haasis, H.-D. 2008. *Produktions- und Logistikmanagement. Planung und Gestaltung von Wertschöpfungsprozessen*. Wiesbaden: Gabler.
- Habermas, J., & Luhmann, N. 1971. *Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie*: Suhrkamp.
- Hall, P., & Soskice, D. 2001. An introduction to the varieties of capitalism. In P. Hall, & D. Soskice (Eds.), *Varieties of capitalism*: 1-68. Oxford et al.
- Hämäläinen, T. J., & Heiskala, R. (Eds.). 2007. *Social innovations, institutional change and economic performance: Making sense of structural adjustment processes in industrial sectors, regions and societies*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Hannan, M. T., & Freeman, J. 1984. Structural inertia and organizational change. *American Sociological Review*, 49(2): 149-164.
- Harrison, J. R., Lin, Z., Carroll, G. R., & Carley, K. M. 2007. Simulation modeling in organizational and management research. *Academy of Management Review*, 32(4): 1229-1245.
- Hasse, R., & Krücken, G. 2009. Neo-institutionalistische Theorie. In G. Kneer, & M. Schroer (Eds.), *Handbuch soziologische Theorien*: 237-251. Wiesbaden.

- Hersey, P., Blanchard, K. H., & Johnson, D. E. 2000. **Management of organizational behavior** (8 ed.). Englewood Cliffs, NJ.
- Herzberg, F. 1968. One more time: How do you motivate employees? **Harvard Business Review**, 46(1): 53-62.
- Hofstede, G. 1993. Die Bedeutung von Kultur und ihren Dimensionen im Internationalen Management. In M. Haller (Ed.), **Globalisierung der Wirtschaft**: 127-148. St. Gallen.
- Hogg, M. A., & Terry, D. J. 2000. Social identity and self-categorization process in organizational contexts. **Academy of Management Review**, 25: 121-140.
- Höijer, R. 2008. The concept of institutional competition. In A. Bergh, & R. Höijer (Eds.), **Institutional Competition**. Glensanda House: Edward Elgar Publishing Limited.
- Holland, J. H. 1998. **Emergence. From chaos to order**. Oxford: Clarendon Press.
- Höpner, M. 2005. What connects industrial relations and corporate governance? Explaining institutional complementarity. **Socio-Economic Review**, 3(2): 331-358.
- Kasper, W., & Streit, M. E. 1998. **Institutional economics**. Cheltenham, UK and Lyme, USA: Edward Elgar.
- Katz, M. L., & Shapiro, C. 1985. Network externalities, competition, and compatibility. **The American Economic Review**, 75(3): 424-440.
- Kauffman, S. A. 1993. **The origins of order: Self-organization and selection in evolution**. Oxford: Oxford University Press.
- Kaysen, C. 1961. The corporation: How much power? What scope? In E. S. Mason (Ed.), **The corporation in modern society**, 4 ed.: 27-39. Cambridge, Mass.
- Kiser, E. 1996. The revival of narrative in historical sociology: What rational choice theory can contribute. **Politics and Society**, 24: 249-271.
- Knight, J., & Sened, I. 1998. Introduction. In J. Knight (Ed.), **Explaining social institutions**. Ann Arbor.
- Koch, J. 2007. Strategie und Handlungsspielraum: Das Konzept der strategischen Pfade. **Zeitschrift Führung + Organisation**, 76(5): 283-291.
- Koch, J. 2008. Strategic paths and media management: A path dependency analysis of the German newspaper branch of high quality journalism. **Schmalenbach Business Review**, 60(1): 50-73.
- Koch, J., Eisend, M., & Petermann, A. 2009. Path dependence in decision-making processes: Exploring the impact of complexity under increasing returns. **BuR - Business Research**, 2(1): 67-84.
- Koontz, H., & O'Donnell, C. 1955. **Principles of management: An analysis of managerial functions**. New York.
- Kosiol, E. 1976. **Organisation der Unternehmung** (2 ed.). Wiesbaden.
- Kreps, D. M. 1990. Corporate culture and economic theory. In J. E. Alt, & K. A. Shepsle (Eds.), **Perspectives on positive political economy**: 90 -143. Cambridge: Cambridge University Press.
- Küpper, W., & Felsch, A. 2000. **Organisation, Macht und Ökonomie**. Wiesbaden.

- Lakatos, I. 1976. ***Proofs and refutations: The logic of mathematical discovery***. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lant, T. K., & Mezias, S. J. 1992. An organizational learning model of convergence and reorientation. ***Organization Science***, 3(1): 47-71.
- Laux, H., & Liermann, F. 2005. ***Grundlagen der Organisation: Die Steuerung von Entscheidungen als Grundproblem der Betriebswirtschaftslehre***. Berlin.
- Lave, C. A., & March, J. G. 1975. ***An introduction to models in the social sciences***. New York: Harper and Row.
- Law, A. M., & Kelton, D. W. 1991. ***Simulation modeling and analysis*** (2 ed.). New York: McGraw-Hill.
- Leblebici, H., & Fiengenbaum, A. 1986. Managers as agents without principals: An empirical examination of agency and constituency perspectives. ***Journal of Management***, 12(4): 485-498.
- Lehner, J. M. 1996. "Cognitive mapping": Kognitive Karten vom Management. In G. Schreyögg, & P. Conrad (Eds.), ***Managementforschung 6: Wissensmanagement***: 83-132. Berlin/New York.
- Lei, D., Hitt, M. A., & Goldhar, J. D. 1996. Advanced manufacturing technology: Organizational design and strategic flexibility. ***Organization Studies***, 17(3): 501-523.
- Leonard-Barton, D. 1992. Core capabilities and core rigidities: A paradox in managing new product development. ***Strategic Management Journal***, 13(Special Issue): 111-125.
- Liden, R. C., Sparrowe, R. T., & Wayne, S. J. 1997. Leader-member exchange theory: The past and potential for the future. ***Research in Personnel and Human Resources Management***, 15: 47-119.
- Liebowitz, S. J., & Margolis, S. E. 1995. Path dependence, lock-in, and history. ***The Journal of Law, Economics, and Organization***, 11(1): 205-226.
- Likert, R., & Araki, C. T. 1986. Managing without a boss: System 5. ***Leadership & Organisation Development Journal***, 7(3): 17-20.
- Lindkvist, L. 2004. Governing project-based firms: Promoting market-like processes within hierarchies. ***Journal of Management and Governance***, 8(1): 3-25.
- Lipman-Blumen, J., & Leavitt, H. J. 1999. ***Hot groups: Seeding them, feeding them and using them to ignite your organization***. New York/Oxford.
- Lomi, A., & Larsen, E. 1996. Interacting locally and evolving globally: A computational approach to the dynamics of organizational populations. ***Academy of Management Journal***, 39(4): 1287-1321.
- Lorenz, E. N. 1963. Deterministic nonperiodic flow. ***Journal of the Atmospheric Sciences*** 20: 130-141.
- Luhmann, N. 1984. ***Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie***. Frankfurt a. M.
- Luhmann, N. 1995. ***Funktionen und Folgen formaler Organisation*** (4 ed.). Berlin.
- Mahoney, J. 2000. Path dependence in historical sociology. ***Theory and Society***, 29(4): 507-548.

- Malone, T. W. 1987. Modeling coordination in organizations and markets. *Management Science*, 33(10): 1317-1332.
- March, J. G. 1991. Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2(1): 71-87.
- March, J. G. 1994. *A primer on decision making*. New York: Simon & Schuster Ltd.
- March, J. G., & Olsen, J. P. 1989. *Rediscovering institutions*. New York: The Free Press.
- March, J. G., Schulz, M., & Zhou, X. 2000. *The dynamics of rules*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- March, J. G., & Simon, H. A. 1958. *Organizations*. New York et al.
- Marr, R. 1993. Betrieb und Umwelt. In M. Bitz, K. Dellmann, & M. Domsch (Eds.), *Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre*, 3 ed., Vol. 1: 47-114. München.
- Masuch, M., & LaPotin, P. 1989. Beyond garbage cans: An AI model of organizational choice. *Administrative Science Quarterly*, 34(1): 38-67.
- McGregor, D. 1960. *The human side of enterprise*. New York.
- Milgrom, P., & Roberts, J. 1995. Complementarities and fit: Strategy, structure, and organizational change in manufacturing. *Journal of Accounting and Economics*, 19(2-3): 179-208.
- Miller, D., & Chen, M.-J. 1994. Sources and consequences of competitive inertia: A study of the U.S. airline industry. *Administrative Science Quarterly*, 39(1): 1-24.
- Mintzberg, H., Raisinghani, D., & Théorêt, A. 1976. The structure of "unstructured" decision processes. *Administrative Science Quarterly*, 21(2): 246-275.
- Nee, V. 2005. The new institutionalism in economics and sociology. In N. J. Smelser, & R. Swedberg (Eds.), *The handbook of economic sociology*, 2nd ed.: 49-74. Princeton: Princeton University Press.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. 1982. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard Univ. Press.
- Nooteboom, B. 1997. Path dependence of knowledge: Implications for the theory of the firm. In L. Magnusson, & J. Ottosson (Eds.), *Evolutionary economics and path dependence*: 57-78. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd.
- Nordsieck, F. 1934. *Grundlagen der Organisationslehre*. Stuttgart.
- North, D. C. 1990. *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- North, D. C. 1991. Institutions. *Journal of Economic Perspectives*, 5(Winter 1991): 97-112.
- Ortmann, G. 2003. *Regel und Ausnahme. Paradoxien sozialer Ordnung*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Ostrom, E. 1990. *Governing the commons*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ostrom, T. 1988. Computer simulation: The third symbol system. *Journal of Experimental Social Psychology*(24): 381-392.

- Padgett, J. F. 1980. Managing garbage can hierarchies. *Administrative Science Quarterly*, 25(4): 583-604.
- Panzar, J. C., & Willig, R. D. 1981. Economies of scope. *American Economic Review, Paper and Proceedings*, 71: 268-272.
- Petermann, A., & Klaußner, S. 2009. Modelling paths of institutional change in organizations, *International Summer School on the Logic of Self-Reinforcing Processes in Organizations, Networks, and Markets*. Berlin: University of Illinois & Freie Universität Berlin.
- Petermann, A., Klaußner, S., & Senf, N. 2010. Simulationg self-reinforcing mechanisms of institutional change within organizations, *Academy of Management*. Montreal.
- Peters, B. G. 1999. *Institutional theory in political science: The 'new institutionalism'*. London: Pinter.
- Pfeffer, J., & Salancik, G. R. 1978. *The external control of organizations*. New York.
- Picot, A., & Schuller, S. 2004. Institutionenökonomie. In G. Schreyögg, & A. Werder (Eds.), *Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation*: 514-522. Stuttgart.
- Pierson, P. 2000a. Increasing returns, path dependence, and the study of politics. *American Political Science Review*, 94(2): 251-267.
- Pierson, P. 2000b. The limits of design: Explaining institutional origins and change. *Governance*, 13: 475-499.
- Polya, G. 1931. Sur quelque Points de la Théorie des Probabilités. *Annales de l'Institute H. Poincaré* 1: 117-161.
- Polya, G., & Eggenberger, F. 1923. Über die Statistik verketteter Vorgänge. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* 3: 279-289.
- Powell, W. W., & DiMaggio, P. 1991. *The new institutionalism in organization analysis*. Chicago: University of Chicago Press.
- Regibeau, P. 1995. Defending the concept of network externalities: A discussion of Liebowitz and Margolis. *Research in Law and Economics*, 17: 33-39.
- Repenning, N. P. 2002. A simulation-based approach to understanding the dynamics of innovation implementation. *Organization Science*, 13(2): 109-127.
- Rivkin, J. W. 2000. Imitation of complex strategies. *Management Science*, 46(6): 824-844.
- Rivkin, J. W. 2001. Reproducing knowledge: Replication without imitation at moderate complexity. *Organization Science*, 12(3): 274-293.
- Rivkin, J. W., & Siggelkow, N. 2003. Balancing search and stability: Interdependencies among elements of organizational design. *Management Science*, 49(3): 290-311.
- Rudolph, J., & Repenning, N. 2002. Disaster dynamics: Understanding the role of quantity in organizational collapse. *Administrative Science Quarterly*, 47(1): 1-30.
- Sastry, M. A. 1997. Problems and paradoxes in a model of punctuated organizational change. *Administrative Science Quarterly*, 42(2): 237-275.

- Schäcke, M. 2006. *Pfadabhängigkeit in Organisationen. Ursache für Widerstände bei Reorganisationsprojekten*. Berlin: Duncker & Humblot.
- Schein, E. H. 1984. Coming to a new awareness of organizational culture. *Sloan Management Review*, 25(2): 3-16.
- Schiller-Merkens, S. 2008. *Institutioneller Wandel und Organisationen*. Wiesbaden.
- Schnutenhaus, O. R. 1951. *Allgemeine Organisationslehre*. Berlin.
- Schotter, A. 1981. *The Economic theory of social institutions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schreyögg, G. 1991. Der Managementprozess - neu gesehen. In W. H. Staehle, & J. Sydow (Eds.), *Managementforschung Bd. 1*: 255-289. Berlin/New York.
- Schreyögg, G. 1998. Die Bedeutung der Unternehmenskultur für die Integration multinationaler Unternehmen. In M. Kutschker (Ed.), *Integration in der internationalen Unternehmung*: 27-50. Wiesbaden.
- Schreyögg, G. 2008. *Organisation: Grundlagen moderner Organisationsgestaltung* (5. ed.). Wiesbaden: Gabler.
- Schreyögg, G., & Koch, J. (Eds.). 2005. *Narratives and knowledge management: Exploring the links between organizational storytelling and knowledge management*. Berlin.
- Schreyögg, G., & Sydow, J. 2010. *The hidden dynamics of path dependence*. Basingstoke.
- Schreyögg, G., Sydow, J., & Koch, J. 2003. Organisatorische Pfade - Von der Pfadabhängigkeit zur Pfadkreation? In G. Schreyögg, & J. Sydow (Eds.), *Managementforschung 13*: 257-294. Wiesbaden: Gabler.
- Schreyögg, G., & Werder, A. v. (Eds.). 2004. *Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation*. Stuttgart.
- Scott, W. R. 2001. *Organizations and institutions* (2. ed.). Thousand Oaks, California: Sage.
- Scott, W. R. 2007. Prefactory chapter. In T. J. Hämmäläinen, & R. Heiskala (Eds.), *Social innovations, institutional change and economic performance: Making sense of structural adjustment processes in industrial sectors, regions and societies*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Scott, W. R. 2008. *Institutions and organizations: Ideas and interests*. Los Angeles: Sage.
- Sewell, W. H., Jr. 1996. Three Temporalities: Toward an eventful sociology. In T. J. McDonald (Ed.), *The Historic Turn in the Human Sciences*: 245-280. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Siggelkow, N., & Rivkin, J. W. 2005. Speed and search: Designing organizations for turbulence and complexity. *Organization Science*, 16: 101-122.
- Siggelkow, N., & Rivkin, J. W. 2006. When exploration backfires: unintended consequences of multilevel organizational search *Academy of Management Journal*, 49(4): 779-795.

- Silverstein, M. 1993. Encountering language and language encounter in North American ethnohistory. *Journal of Linguistic Anthropology*, 6(2): 126-144.
- Simon, H. A. 1955. A Behavioral Model of Rational Choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69: 99-118.
- Sjöstrand, S.-E. 1993. On institutional thought in the social and economic sciences. In S.-E. Sjöstrand (Ed.), *Institutional change: Theory and empirical findings*: 3-31. Armonk, NY.
- Sokal, A., & Bricmont, J. 1998. *Fashionable nonsense. Postmodern intellectuals' abuse of science*. New York: Picador.
- Stefanic-Allmayer, K. 1950. *Allgemeine Organisationslehre*.
- Steinmann, H., & Schreyögg, G. 2005. *Management. Grundlagen der Unternehmensführung* (6 ed.). Wiesbaden: Gabler.
- Sterman, J. D., & Wittenberg, J. 1999. Path dependence, competition, and succession in the dynamics of scientific revolution. *Organization Science*, 10(3): 322-341.
- Stogdill, R. M. 1948. Personal factors associated with leadership: A survey of the literature. *Journal of Psychology*, 25: 35-71.
- Strang, D., & Macy, M. W. 2001. In search of excellence: Fads, success stories, and adaptive emulation. *American Journal of Sociology* 107(1): 147-182.
- Streek, W., & Thelen, K. 2005. Introduction: Institutional change in advanced political economies. In W. Streek, & K. Thelen (Eds.), *Beyond continuity: Institutional change in advanced political economics*: 1-39. Oxford et al.
- Sydow, J., Schreyögg, G., & Koch, J. 2009. Organizational path dependence: Openig the black box. *Academy of Management Review*, 34(4): 689-709.
- Sydow, J., & Windeler, A. 2001. Project networks and changing industry practices - Collaborative content production in the German television industry. *Organization Studies*, 22(6): 1035-1061.
- Szulanski, G. 1996. Exploring internal stickiness: Impediments to the transfer of best practice within the firm. *Strategic Management Journal*, 17: 27-43.
- Taber, C. S., & Timpone, R. J. 1996. *Computational modeling*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Talcott, P. 2003. *Das System moderner Gesellschaften* (6 ed.): Juventa.
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. 1997. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7): 509-533.
- Travica, B. 1999. *New Organizational Designs: Information Aspects*. Stamford: Ablex Publishing Corporation.
- Tripsas, M. 2009. Technology, identity, and inertia through the lens of "the digital photography company". *Organization Science*, 20(2): 441-460.
- Tripsas, M., & Gavetti, G. 2000. Capabilities, cognition, and inertia: Evidence from digital imaging. *Strategic Management Journal*, 21(Special Issue (10/11)): 1147-1161.

- Troitzsch, K. G. 1997. Social simulation - origins, prospects, purposes. In R. Conte, R. Hegselmann, & P. Terna (Eds.), *Simulating Social Phenomena*: 41-54. Berlin.
- Türk, K. 2004. Neoinstitutionalistische Ansätze. In G. Schreyögg, & A. Werder (Eds.), *Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation*: 923-931. Stuttgart.
- Vroom, V. H. 1964. *Work and motivation*. New York.
- Waldrop, M. M. 1992. *Complexity. The emerging Science at the edge of order and chaos*. New York Simon & Schuster.
- Weber, M. 1951. Die 'Objektivität' sozialwissenschaftlicher und sozialpolitischer Erkenntnis. In M. Weber (Ed.), *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*: 146-214. Tübingen: Mohr (Siebeck).
- Weber, M. 1976. *Wirtschaft und Gesellschaft* (5 ed.). Tübingen.
- Weidlich, W., & Haag, G. 1983. *Concepts and models of a quantitative sociology. The dynamics of interacting populations*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Williamson, O. E. 1975. *Markets and hierarchies: Analysis and antitrust implications. A study in the economics of internal organization*. New York: Free Press.
- Williamson, O. E. 1994. *The politics and economics of redistribution and inefficiency*. University of California at Berkeley.
- Windeler, A. 2003. Kreation technologischer Pfade: eine strukturationstheoretische Analyse. In G. Schreyögg, & J. Sydow (Eds.), *Managementforschung 13: Strategische Pfade und Prozesse*: 295-328. Wiesbaden: Gabler.
- Zott, C. 2002. When adaptation fails: An agent-based explanation of inefficient bargaining under private information. *Journal of Conflict Resolution*, 46(6): 727-753.
- Zott, C. 2003. Dynamic capabilities and the emergence of intraindustry differential firm performance: Insights from a simulation study. *Strategic Management Journal*, 24(2): 97-125.
- zu Knyphausen-Aufseß, D., & Schweizer, L. 2006. Bedeutung der Unternehmenskultur im M&A-Prozess. In F. Borowicz, & K. Mittermair (Eds.), *Strategisches Management von Mergers & Acquisitions*: 259-278. Wiesbaden: Gabler.
- Zucker, L. G. 1983. Organizations as institutions. In S. B. Bacharach (Ed.), *Research in the sociology of organizations*: 1-42. Greenwich, Conn.
- Zukowski, R. 2004. Historical path dependence, institutional persistence, and transition to market economy: The case of Poland. *International Journal of Social Economics*, 31(10): 955-973.

I. Anhang

I. Exkurs zur Pfadbrechung

Die dieser Arbeit zu Grunde liegenden Simulationen sind nicht nur geeignet, um das zentrale Anliegen der Durchsetzung von selbstverstärkenden Effekten in hierarchischen Organisationen zu untersuchen, aus den Ergebnissen lassen sich auch interessante Erkenntnisse zur Länge der lock-in Phase ableiten, deren Ende in der Terminologie der Pfadtheorie als Pfadbrechung oder Pfadauflösung zu kennzeichnen ist.⁷²¹ Es werden zunächst die Ergebnisse aufgezeigt und danach im zweiten Abschnitt die praktischen Implikationen erläutert.

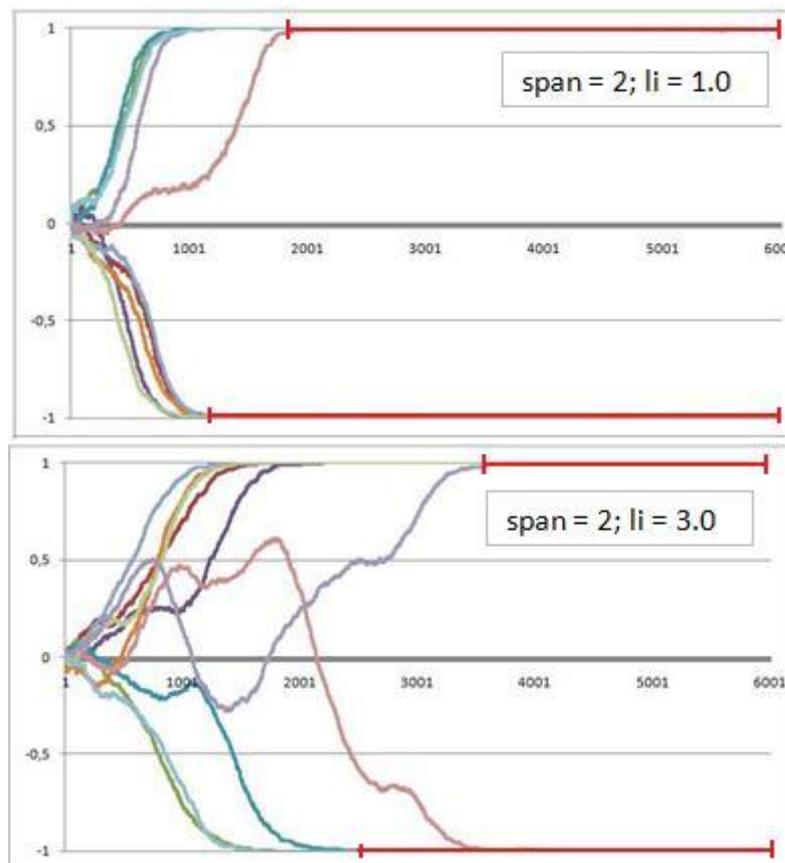
1. Implikationen für die Länge der lock-in-Phase

Bevor die Ergebnisse präsentiert werden, soll die Methode zur Messung der Länge der lock-in-Phase dargelegt werden; diese ist mittels Simulationsdaten, die aus einer zeitlich begrenzten Simulation (6,000 ticks) stammen, nicht trivial und bedarf daher der Erläuterung. Die Schwierigkeit ergibt sich daraus, dass die vorliegenden Simulationsdaten vollständig aus Simulationen gewonnen wurden, die über einen finiten Zeithorizont von 6,000 ticks liefen – der lock-in-Zeitpunkt jedoch, wie in Abschnitt E.II.5.b)(i) gezeigt wurde, von den Werten abhängt, die den unabhängigen Variablen zugewiesen werden. So ergaben die Ergebnisse in Abschnitt E.II.5.b)(i) unter anderem, dass es bei niedriger Kontrollspanne ($span = 2$) und hoher Führungsmacht ($li = 3.0$) deutlich später zum lock-in kommt als bei geringer Führungsmacht ($li = 1.0$). Bei einer absolut begrenzten Zeitperspektive (Ende der Simulation bei 6,000 ticks) würde nun eine einfache Messung der lock-in-Dauer ergeben, dass die lock-in-Phase bei $li = 3.0$ deutlich kürzer ist, einfach weil sie im Durchschnitt deutlich später beginnt und wie bei niedriger Führungsmacht in jedem Fall bei 6,000 ticks endet. Obwohl die lock-in-Phase in diesem Fall bei hohem li deutlich kürzer ist als bei niedrigem li , kann hieraus nicht die Schlussfolgerung gezogen werden, dass dies auch in einer zeitlich unbegrenzten Betrachtung der Fall wäre. Die Verkürzung der lock-in-Phase ist vielmehr allein auf das spätere Beginnen der lock-in-Phase zurückzuführen.

⁷²¹ Vgl. Burgelman 1994 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.274ff.; sowie Abschnitt C.IV.2.d) dieser Arbeit

Abbildung 54 veranschaulicht das Problem und zeigt die Länge der lock-in-Phase anhand der Darstellung der Verlaufskurven für die genannten Fälle ($\text{span} = 2$ konstant, $li = 1.0$ bzw. $li = 3.0$); es wird sichtbar, dass in Fällen, in denen der lock-in bis zum Ende der Simulation in $\text{tick} = 6,000$ anhält, eine unterschiedliche Länge der lock-in-Phase allein auf den lock-in-Zeitpunkt zurückzuführen ist.

Abbildung 54: Auswirkungen unterschiedlicher lock-in-Zeitpunkte auf die Länge der lock-in-Phase bei zeitlich begrenzter Analyse (Simulation endet bei 6,000 ticks)



Erläuterung: Beispielverlaufskurven des Verbreitungsgrades im Zeitablauf, Kontrollspanne konstant $\text{span} = 2$, oben $li = 1.0$, unten $li = 3.0$; Die Abbildungen zeigen rot markiert die gemessene Länge der lock-in-Phase (ohne Normierung) und die verkürzende Wirkung des späteren lock-in-Zeitpunktes auf die Länge der lock-in-Phase bei $li = 3.0$.

Dies ist aber ein Aspekt der Pfadformierungsphase, der oben schon ausführlich erläutert wurde, der hier aber eine einfache Messung auf die gezeigte Weise konfundieren würde. Bei der Messung der Länge der lock-in-Phase steht aus pfadtheoretischer Sicht vielmehr die Frage im Vordergrund, unter welchen Bedingungen die Persistenz eines lock-in von längerer bzw. kürzerer Dauer ist – und ob eine mögliche Pfadbrechung oder Pfadauflösung von der Gestaltung der Hierarchie und der Machtpotentiale der Führungskräfte abhängt. Um dieser

Problematik bei der Messung der Länge der lock-in-Phase gerecht zu werden und die für die Auswertung erforderliche konstante tick-Anzahl pro Simulationsdurchlauf beibehalten zu können, wurde dieser Effekt der Verkürzung der lock-in-Phase durch ein späteres Einsetzen des lock-in durch eine Normierung neutralisiert.⁷²² In Fällen, in denen es bis zum Ende der Simulation nicht zum lock-in kam, wurde auch keine Länge der lock-in-Phase bestimmt; diese Simulationsdurchläufe wurden bei der Bestimmung der durchschnittlichen Länge der lock-in-Phase, auf der die folgenden Auswertungen beruhen, nicht berücksichtigt. Auf diese Weise kann für jede Kombination der unabhängigen Variablen eine aussagekräftige und für Vergleiche über die Hierarchie und Führungsmacht-Regime geeignete Kennzahl für die Länge der lock-in-Phase berechnet werden. Betrachten wir nun zunächst die Ergebnisse für die Wirkung der Führungsmacht auf die Länge der lock-in-Phase.

Auswirkungen der Führungsmacht auf die Länge der lock-in-Phase

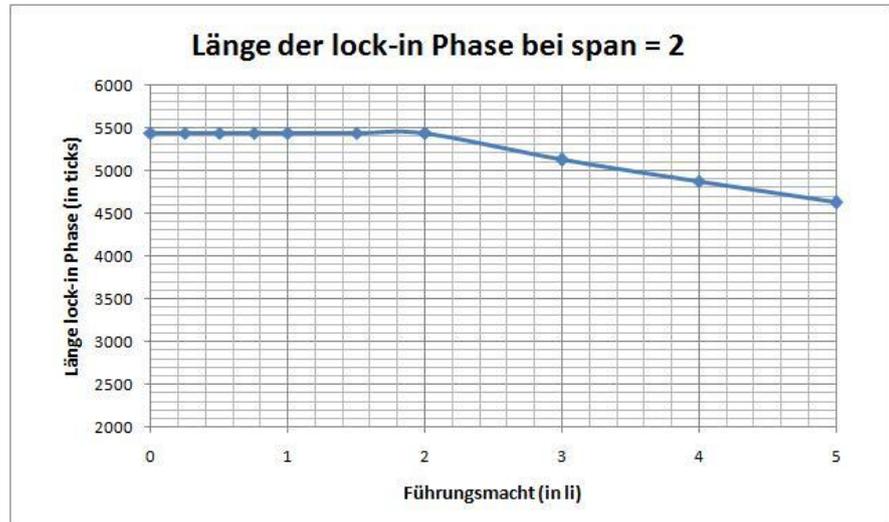
Wird die Kontrollspanne bei 2 konstant gehalten und die Führungsmacht im Intervall $li \in [0, 5]$ variiert, lassen sich aus den Ergebnissen, die in Abbildung 55 dargestellt sind, zwei grundsätzliche Erkenntnisse ableiten: Erstens scheint sich eine Veränderung der Führungsmacht im Intervall $li \in [0, 2]$ nicht auf die Länge der lock-in-Phase auszuwirken, der statistische Test auf Ungleichheit der Mittelwerte ist nicht signifikant ($mv_{span=2_li=0}=5,438.59$; $mv_{span=2_li=2.0}=5,439$; $T=-0.05$; $p<0.96$ ⁷²³). Bei $li = 2.0$ ändert sich jedoch das Systemverhalten, denn für $li > 2.0$ nimmt die Länge der lock-in-Phase nahezu linear mit li ab; dieser Effekt ist

⁷²² Erläuterung zur vorgenommenen Normierung bei der Messung der Länge der lock-in-Phase: Die Normierung erfolgt unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei einem Simulationsdurchlauf allein durch einen späteren Beginn der lock-in-Phase noch keine Verkürzung der Länge der lock-in-Phase begründet wird. Daher wird auf die einfach gemessene Länge der lock-in-Phase die Differenz des durchschnittlichen lock-in-Zeitpunkts mit dem durchschnittlichen lock-in-Zeitpunkt ohne Hierarchie addiert, um zur normierten Länge der lock-in-Phase zu kommen. Auf diese Weise haben alle Simulationsdurchläufe, bei denen sich das Systemverhalten zum tick 6,000 im lock-in befindet, unabhängig vom jeweiligen lock-in-Zeitpunkt (Beginn der lock-in-Phase) die gleiche Länge nach Normierung. Eine Verkürzung der lock-in-Phase unter die Standardnorm ist somit nicht durch einen späteren lock-in-Zeitpunkt möglich, sondern lediglich durch ein vorzeitiges (i.S.v. vor tick 6,000) Ende der lock-in-Phase.

⁷²³ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 016

statistisch signifikant ($mv_{span=2,li=2.0}=5,439$; $mv_{span=2,li=3.0}=5,072.1$; $T=3.529$; $p<0.002^{724}$).

Abbildung 55: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit der Führungsmacht



Das bedeutet, dass geringe und mittlere Führungsmacht sich nicht auf die Länge der lock-in-Phase auswirkt, eine hohe Führungsmacht jedoch zu einer früheren Pfadauflösung führt. Betrachten wir im Folgenden die Auswirkungen der Hierarchie auf die Länge der lock-in-Phase.

Auswirkungen der Hierarchie auf die Länge der lock-in-Phase

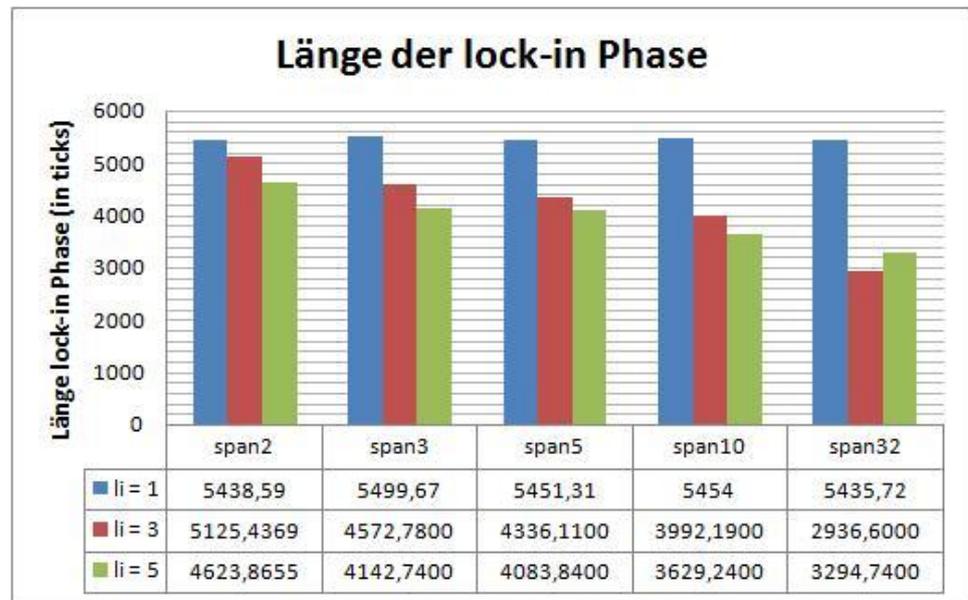
Abbildung 56 zeigt bei konstant gehaltener Führungsmacht (für $li = 1, 3, 5$), wie sich die Variation der Kontrollspanne ($span = 2, 3, 5, 10, 32$) auf die Länge der lock-in-Phase auswirkt. Während bei Führungsmacht konstant bei $li = 1$ kein merklicher Effekt der Variation der Kontrollspanne zu erkennen ist, kommt es bei $li = 3$ sehr deutlich ($mv_{span=2,li=3.0}=5,072.1$; $mv_{span=32,li=3.0}=2,941.86$; $T=8.967$; $p<0.001^{725}$) und bei $li = 5$ deutlich ($mv_{span=2,li=5.0}=4,640.57$; $mv_{span=32,li=5.0}=3,299.05$; $T=5.93$; $p<0.001^{726}$) zu einer Verringerung der Länge der lock-in-Phase, wenn die Kontrollspanne größer ist.

⁷²⁴ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 017

⁷²⁵ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 018

⁷²⁶ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 019

Abbildung 56: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit der Hierarchie



Auch hier gibt es offensichtlich starke Interdependenzeffekte, es kann jedoch schon aus dieser partiellen Auswertung geschlossen werden: Eine flache Hierarchie führt bei großer Führungsmacht zu einer Verkürzung der lock-in-Phase, d.h. es kommt in diesen Fällen häufiger zu einer emergenten Pfadauflösung.

Interdependenzeffekte der Variation von Führungsmacht und Hierarchie auf die Länge der lock-in-Phase

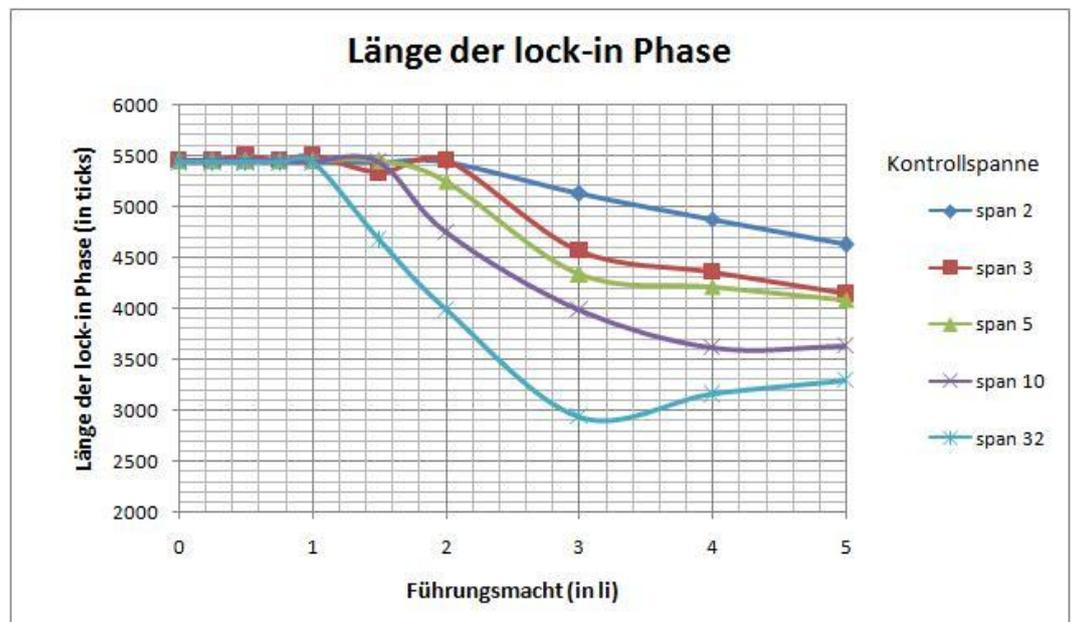
Für welche Parameterkombinationen der beiden unabhängigen Variablen es früher zur Pfadauflösung kommt, zeigt die Darstellung in Abbildung 57. In Ergänzung der obigen Ausführungen lassen sich aus den Ergebnissen zwei weitere Erkenntnisse formulieren:

1. Zunächst fällt auf, dass für hohe Führungsmacht ($li > 2.0$) gilt: Je größer die Kontrollspanne, desto kürzer ist die Länge der lock-in-Phase; es kommt also bei flachen Hierarchien häufiger und früher zur Pfadauflösung als bei steilen Hierarchien. Dieser Effekt ist statistisch signifikant ($mv_{span=2_li=5.0}=4,640.57$; $mv_{span=32_li=5.0}=3,299.05$; $T=5.93$; $p<0.001$ ⁷²⁷). Interessanterweise ist der relative Effekt der höheren Kontrollspanne auf

⁷²⁷ Die ausführlichen SPSS-Auswertungen zu diesem statistischen Test finden sich im Anhang in Abschnitt I.IV unter T-Test 019

die Verkürzung der lock-in-Phase bei $li = 3.0$ am stärksten ($mv_{span=2,li=3.0}=5,072.1$; $mv_{span=32,li=3.0}=2,941.86$) und schwächt sich bei weiterer Erhöhung der Führungsmacht $li > 3.0$ wieder etwas ab ($mv_{span=2,li=4.0}=4,182.19$; $mv_{span=32,li=4.0}=3,163.38$), siehe Abbildung 57. Beim Vorliegen von geringer Führungsmacht ($li \leq 1.0$) tritt der Effekt hingegen nicht merklich auf ($mv_{span=2,li=1.0}=5,439$; $mv_{span=32,li=1.0}=5,435.72$). Daraus folgt, wenn die Führungsmacht ein bestimmtes Niveau überschreitet, gilt: *Je flacher die Hierarchie, desto kürzer die lock-in-Phase.*

Abbildung 57: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit von Führungsmacht und Kontrollspanne



2. Ferner ist zu beobachten, dass bei steilen Hierarchien ($span = 2$) die Verkürzung der lock-in-Phase erst bei relativ hoher Führungsmacht einsetzt (ab $li > 2.0$), während der Effekt bei flachen Hierarchien schon bei geringerer Führungsmacht wirkt: So verringert sich die Länge der lock-in-Phase bei Kontrollspanne $span = 32$ schon ab einem geringeren Niveau der Führungsmacht (nämlich schon ab $li > 1.0$). Dies bedeutet, dass Organisationen mit flacher Hierarchie schon bei mittlerer Führungsmacht eine Verkürzung der lock-in-Phase erleben, was bei steilen Hierarchien nicht der Fall ist.

Die Implikationen dieser überraschenden Ergebnisse für Theorie und Praxis werden ausführlich im Diskussionsteil dieser Arbeit erörtert. Zunächst sollen die Erkenntnisse die Länge der lock-in-Phase betreffend übersichtlich in einer vier-Felder Matrix zusammengefasst werden, die in Abbildung 58 dargestellt ist.

Abbildung 58: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Länge der lock-in-Phase

		Organisationstruktur		Führungsmacht
		steile Hierarchie kleine Kontrollspanne	flache Hierarchie große Kontrollspanne	
Länge der lock-in Phase	hohes regime $li > 2,0$	moderat (verkürzt sich mit steigendem li auf moderates Niveau)	kurz (verkürzt sich massiv mit steigendem li auf insgesamt niedriges Niveau)	
	niedriges regime $li < 2,0$	lang (konstant mit steigendem li)	moderat (verkürzt sich mit steigendem li)	

Limitationen der Messung der Länge der lock-in-Phase

Problematisch gestaltet sich der Umgang mit dem Vorliegen eines finiten Zeithorizonts bei der Messung der Länge der lock-in-Phase. Im Falle von sehr stabilen lock-ins (d.h. sehr geringer Wahrscheinlichkeit einer Pfadauflösung) wird sich die durchschnittliche Länge der lock-in-Phase mit einer Erhöhung der Länge eines Simulationsdurchlaufes drastisch erhöhen, einfach weil nun längere lock-in-Phasen möglich sind. Im Falle weniger stabiler lock-ins, d.h. einer höheren Wahrscheinlichkeit einer früheren Pfadauflösung, wie sie für flache Hierarchien und große Führungsmacht ermittelt wurde⁷²⁸, wird sich eine Erhöhung der Länge eines Simulationsdurchlaufes weit weniger stark auf die durchschnittliche Länge der lock-in-Phase auswirken, einfach deshalb, weil die lock-in-Phase bei tick 6,000 oft schon beendet ist und sich durch eine Verlängerung der Simulation nicht weiter erhöht. Die Wahl der Länge des finiten Zeithorizonts der Simulationsdurchläufe konfundiert also die Ergebnisse der Messung der Länge der lock-in-Phase tendenziell in der Weise, als dass stabile, lange lock-in-Phasen als kürzer gemessen werden, als es bei infinitem Zeithorizont der Fall wäre. Hierdurch wird es in der Konsequenz schwieriger, signifikante Ergebnisse zu

⁷²⁸ Vgl. Abschnitt I.I.1 dieser Arbeit

erhalten. Dies kann jedoch bei einer Simulation durch eine höhere Anzahl an Simulationsdurchläufen ausgeglichen werden, und so kann über die Vergrößerung der Stichprobe für die statistische Untersuchung auch im vorliegenden Fall ein signifikantes Ergebnis erzielt werden. Dennoch bleibt die Konfundierung der Ergebnisse durch den finiten Zeithorizont ein Problem, insbesondere dann, wenn die Länge der lock-in-Phase mit anderen Studienergebnissen verglichen würde.

2. Praktische Implikationen

Will man aus diesen Ergebnissen Empfehlungen für die praktische Gestaltung von Organisationen ableiten, sollte grundsätzlich zwischen zwei unterschiedlichen Perspektiven auf die Vorhersagen der Pfadforschung differenziert werden: Auf der einen Seite fokussiert die traditionelle „pessimistische“ Perspektive die Persistenz von Pfaden und die mit ihr verwobene potentielle Ineffizienz⁷²⁹ und beschäftigt sich folgerichtig mit den pragmatischen Möglichkeiten des Pfad-Monitoring⁷³⁰ zum Ziel der rechtzeitigen Erkennung eines potentiellen Pfades und der emergenten Pfadauflösung⁷³¹ bzw. der intentionalen Pfadbrechung⁷³² zum Verlassen eines ineffizienten Pfades. Auf der anderen Seite versucht die „optimistische“ Schule mit dem Fokus auf „Pfadkreation“⁷³³ die Gestaltungsmöglichkeiten aufzuzeigen, die die Pfaddynamik demjenigen ermöglichte, der die Entstehung und Entwicklung von Pfaden beeinflussen oder gar steuern könnte. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können in der einen wie in der anderen Perspektive betrachtet werden, um einen Erkenntniswert für die Organisationsgestaltung in der Praxis zu generieren.

Praktische Implikationen zur Pfadauflösung

Obwohl Pfadauflösung in der Praxis ein immer wieder beobachtbares Phänomen ist⁷³⁴, und die Möglichkeit auch in den theoretischen Ausführungen stets

⁷²⁹ Vgl. die ausführlichen Ausführungen zur potentiellen Ineffizienz von Pfaden in Abschnitt B.III.5

⁷³⁰ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.279-280; Koch 2007 S.287

⁷³¹ Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.274-277; ferner sei schon darauf verwiesen, dass es sich bei Pfadauflösung und Pfadbrechung um klar zu differenzierende Konstrukte handelt.

⁷³² Vgl. Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.278ff.

⁷³³ Vgl. Garud & Karnøe 2001 passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.281-287

⁷³⁴ Vgl. zum Beispiel den prominenten Fall von Intel, für den Burgelman 1994 (S.24ff.) die Auflösung eines strategischen Pfades zeigt

eingerräumt wird⁷³⁵, bilden die formalen Modelle der Pfadforschung die Pfadauflösung bisher nicht ab – sie lassen sie vielmehr in den engen Grenzen der Modellierungen gar nicht zu⁷³⁶. Vor diesem Hintergrund ist es als Stärke des Modells M1 zu beurteilen, dass es die Möglichkeit einer emergenten Pfadauflösung zulässt und analysierbar macht. Dies führt dazu, dass die Ergebnisse Rückschlüsse auf die Kontextvariablen erlauben, die eine Pfadauflösung mehr oder weniger wahrscheinlich werden lassen: So ist bezogen auf die Organisationsstruktur vor allem bei großer Führungsmacht und flachen Hierarchien eine frühere Pfadauflösung zu beobachten (vgl. Abbildung 57: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit von Führungsmacht und Kontrollspanne). Will man also aus strategischer Perspektive eine allzu lange Persistenz von Pfaden vermeiden, so können mit Hilfe der Simulationsergebnisse Empfehlungen zur Ausgestaltung der Organisationsstruktur ausgesprochen werden, die die Entstehung von Pfaden zwar nicht verhindern können, die aber die zu erwartende Zeitspanne bis zur Pfadauflösung verringern können, sollte einmal ein Pfad entstehen. So können auch ohne konkrete Kenntnis über selbstverstärkende Effekte oder das Vorliegen von institutionellen clustern allgemein wirksame Steuerungsmaßnahmen ergriffen werden, die den potenziellen Schaden eines institutionellen lock-in begrenzen können. Konkret aus den Ergebnissen abgeleitet sollte die Organisationsstruktur so ausgestaltet werden, dass Führungskräfte über hohe Machtpotentiale verfügen⁷³⁷ (sofern diese über die Organisationsstruktur überhaupt steuerbar sind, vgl. Macht durch Legitimation nach French & Raven⁷³⁸) und es sollten flache Hierarchien gegenüber steilen Hierarchien bevorzugt gewählt werden⁷³⁹. Dies ist als praktische Implikationen der Pfadforschung eine bemerkenswerte neue Erkenntnis, die ohne die vorliegende Modellierung schwerlich abzuleiten wäre.

Praktische Implikationen zur Pfadbrechung

⁷³⁵ Vgl. für ein Beispiel Burgelman 1994 S.24ff. und für allgemeinere, konzeptionelle Überlegungen zur Pfadauflösung Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.274ff.

⁷³⁶ Vgl. die formalen Modellierungen von Arthur 1989, 1994

⁷³⁷ Vgl. die Ergebnisse der vorliegenden Studie in Abbildung 55: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit der Führungsmacht

⁷³⁸ Vgl. French & Raven S.150-167

⁷³⁹ Vgl. die Ergebnisse der vorliegenden Studie in Abbildung 56: Länge der lock-in-Phase in Abhängigkeit der Hierarchie

Die Erkenntnis mit der wohl größten praktischen Relevanz leitet sich direkt aus der Beurteilung der Hypothese H1 ab, wonach es auch in hierarchischen Organisationen zu Pfadabhängigkeit und potentiell ineffizienten lock-ins kommen kann, die über längere Zeit Bestand haben. Eine Pfadbrechung via Hierarchie ist nicht ohne Weiteres möglich, da, wie durch das im Rahmen dieser Arbeit verwendete Erwartungs-Valenz-Modell gezeigt, die Entscheidung der Organisationsmitglieder von einer Vielzahl von Einflüssen abhängen, von denen der soziale Einflussversuch durch den Vorgesetzten nur eine Einflussvariable neben zufälligen Einflüssen und systemischen Einflüssen selbstverstärkender Effekte darstellt.⁷⁴⁰ Haben die selbstverstärkenden Effekte eine gewisse feedback-Dynamik entfaltet, nehmen diese eine im Zeitablauf immer dominantere Stellung im Entscheidungsprozess der Individuen ein und drängen andere Einflüsse, wie z.B. die Führungsmacht der hierarchisch Vorgesetzten, systematisch zurück. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieser Arbeit muss der Vorschlag, organisatorische Pfade per Anordnung via Hierarchie zu brechen, als unwirksam zurückgewiesen werden. Die Argumentation greift hier zu kurz, da der durch die Höhe der Einflusspotentiale grundsätzlich beschränkte Führungseinfluss den in ihrer Wirkung grundsätzlich unbeschränkten selbstverstärkenden Effekten langfristig mit hoher Wahrscheinlichkeit unterliegen muss.

Praktische Implikationen für Pfadkreation

Während in weiten Teilen der Pfadliteratur die negativen Folgen von Pfadabhängigkeit auf Effizienz und Wohlstand im Vordergrund stehen⁷⁴¹, versuchen Forscher mit dem Konzept der Pfadkreation die positiven Aspekte von Pfaden in der Praxis nutzbar zu machen. Hierbei wird nicht vornehmlich auf das leicht nachvollziehbare Streben nach Partizipation an von selbstverstärkenden Effekten generiertem Nutzenzuwachs fokussiert, da dieses Streben jedem Akteur eines sozialen Systems unterstellt wird und grundlegender Bestandteil jedes kollektiven, emergenten Pfadkonstitutionsprozesses ist. Vielmehr wird die Möglichkeit in Betracht gezogen, dass unter bestimmten Umständen durch

⁷⁴⁰ Vgl. die Herleitung und Modellierung selbstverstärkender Effekte in Abschnitt E.II.2

⁷⁴¹ Vgl. Ackermann 2003 S.229ff.; David 1994 S.205ff.; Koch 2007 S.284ff.; North 1990 S.107ff.; Schäcke 2006 S.199ff. David 1994David 1994David 1994David 1994David 1994David 1994David 1994David 1994

intentionales, strategisches Handeln Ereignisse erzeugt werden können, die ein momentum für die Entstehung eines Pfades generieren, selbstverstärkende Effekte in Gang bringen und schließlich zum lock-in führen können.⁷⁴² Die Möglichkeiten, auch mit relativ geringem Aufwand eine weitreichende und extrem änderungsresistente Systemveränderung erzeugen zu können, ist besonders in betriebswirtschaftlicher Perspektive interessant: Man stelle sich nur vor, es wäre möglich, mit relativ geringem Aufwand einem von mehreren konkurrierenden technologischen Standards zur Durchsetzung zu verhelfen. Die Möglichkeit und das Wissen darum hätten einen beträchtlichen wirtschaftlichen Wert. Ähnlich attraktiv wäre es, auf den Prozess institutionellen Wandels, z.B. die Durchsetzung einer neuen organisatorischen Regel, einen derartigen Steuerungseinfluss ausüben zu können.

Die Implikationen der vorliegende Studie zur Pfadkreation liegen nicht so klar auf der Hand wie die Erkenntnisse zu Pfadauflösung und Pfadbrechung institutioneller lock-ins in Organisationen. Dennoch können einige interessante Erkenntnisse abgeleitet werden. Für den praktischen Versuch der Pfadkreation ist es hilfreich, in den Grenzen, die durch Unsicherheit und Komplexität gegeben sind, abzuschätzen, in welchen Situationen eine Pfadkreation erfolgreich sein kann, das heißt unter welchen Bedingungen durch eine relativ kleine Anstoßhandlung intentional ein selbstverstärkender Prozess in Gang gesetzt werden kann, der zu einem lock-in führen kann. Mit Hilfe des vorliegenden Modells können zwar nicht generell die Umstände und Situationen festgemacht werden, in denen dies erfolgreich ist – es können aber wertvolle Hinweise gewonnen werden, wie der Pfadkonstitutionsprozess in bestimmten Kontext-Situationen ablaufen wird. So können mit Hilfe der Ergebnisse in Abschnitt E.II.5.b)(i) Hierarchie-Konfigurationen identifiziert werden, die den Pfadprozess, und damit auch jeden Versuch einer institutionellen Pfadkreation in Organisationen beschleunigen oder verlangsamen. Auch der Einfluss der Führungsmacht auf die Geschwindigkeit der Pfadkonstitution kann abgeschätzt werden. Auf diese Weise ist es möglich, bei einer existierenden Organisation die Konfiguration der Hierarchie und die durchschnittliche Höhe der Führungsmacht

⁷⁴² Vgl. Garud & Karnøe 2001 S passim; Schreyögg, Sydow & Koch 2003 S.285

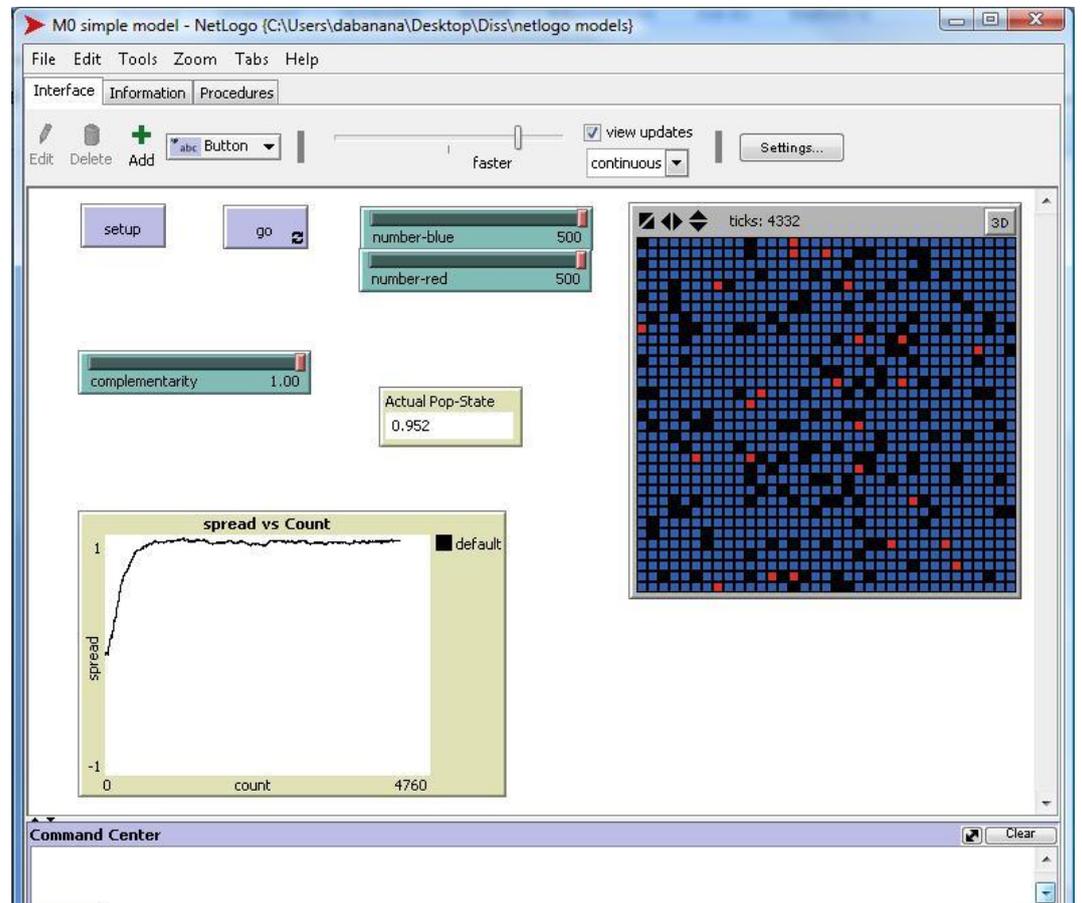
zu bestimmen, um vorherzusagen, ob bei einem Versuch der Pfadkreation – wenn überhaupt - eine sehr kurzfristige oder eher langfristige Wirkung zu erwarten ist. Vielleicht noch interessanter ist, dass mit dem vorliegenden Modell und den Ergebnissen vorhergesagt werden kann, wie prägnant der lock-in ausfallen wird, falls es gelingt, ein momentum zu schaffen, das nachhaltige selbstverstärkende Effekte auslösen kann. Mit der Vorhersage der Prägnanz des lock-in ließe sich schon vor dem Versuch einer Pfadkreation der im gewünschten Falle bestmögliche Erfolg bestimmen, im institutionellen Kontext der durchschnittliche Verbreitungsgrad der gewünschten institutionellen Lösung.

Die vorliegende Arbeit liefert nicht die Möglichkeit, Prognosen über das Gelingen oder Misslingen von Pfadkreation zu erstellen. Es lässt aber Prognosen darüber zu, wie abhängig von Hierarchie und Führungsmacht ein Ablaufen des Pfadprozesses zu erwarten ist (immer vorausgesetzt den Fall, es gelingt, ein ausreichendes momentum zu kreieren). Hierbei ist aber immer zu beachten, dass auch diese Vorhersagen unsicher sind, d.h. nur Wahrscheinlichkeitsdichten und zu erwartende Durchschnittswerte über eine große Zahl von Prozessen ermittelt werden können, um Geschwindigkeit der Pfadkonstitution oder Prägnanz des lock-in zu ermitteln – der einzelne konkrete Verlauf eines Pfadprozesses kann nicht vorhergesagt werden, er unterliegt den Gesetzen der Pfadabhängigkeit, die aufgrund von Sensitivität auf Anfangsbedingungen und Nonergodizität eine konkrete Einzelfallvorhersage grundsätzlich unmöglich machen.

II. Netlogo Implementierungen

1. Das einfache Modell institutionellen Wandels M0

a) Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells M0



b) Implementierung des Modells M0

```
globals
[
  blue-count      ; population of blue turtles = 1
  red-count      ; population of red turtles = 0
  blue-fraction
  spread         ; fraction of blue-persons in the population
  frequency-ny  ; frequency; parameter which is of least interest
  a
]

to setup
  clear-all
  ;; create turtles on random patches.
  set frequency-ny 0.01
  ;; set probability of turtle being asked for a decision every tick
  set a 1.5
  ;; weighting parameter in the decision function that is of minor importance
```

```

ask n-of (number-blue + number-red) patches
  [ sprout 1
    [ set color blue
      ]
    ]
;; turn part of the blue patches red
ask n-of (number-red) turtles
  [ set color red
    ]
set blue-count number-blue
set red-count number-red
calc-spread
clear-output
end

to go
  tick
  ask turtles [ calc-opinions ]
  calc-spread
  plot-counts
end

to calc-opinions
  let random-number random-float 1.0
  if random-number < frequency-ny
  ;; aks a turtle with probaility = frequency-ny
  [
    let probalpha random-float 1.0
    let probbeta random-float 1.0
    ;; randomize subjective probabilities

    let FTAre probalpha * exp ( - complementarity * spread * a)
    let FTAb blue probbeta * exp ( complementarity * spread * a)
    ;; calculate force to act

    if FTAre < FTAb
    [
      set color blue
    ]
    if FTAre > FTAb
    [
      set color red
    ]
    ;; turn blue/red
  ]
end

to calc-spread
  set blue-fraction count (turtles with [color = blue]) / count turtles
  set spread ((2 * blue-fraction) - 1)
end

to plot-counts
  set-current-plot "spread vs Count"
  plot spread
end

```

c) Implementation des modifizierten Modells M0 für die Robustheitsanalyse bei Variation der Misfitkostenfunktion durch die Polynomfunktion $g_{M,c}(x)$

```

globals
[
  blue-count      ; population of blue turtles = 1
  red-count       ; population of red turtles = 0
  blue-fraction
  spread          ; fraction of blue-persons in the population
  frequency-ny    ; frequency; parameter which is of least interest
  a
]

to setup
  clear-all
  ;; create turtles on random patches.
  set frequency-ny 0.01
  ;; set probability of turtle beeing asked for a decision every tick
  set a 1.5
  ;; weighting parameter in the decision function that is of minor importance
  ask n-of (number-blue + number-red) patches
  [ sprout 1
    [ set color blue
      ]
  ]
  ;; turn part of the blue patches red
  ask n-of (number-blue) turtles
  [ set color red
    ]
  set blue-count number-blue
  set red-count number-red
  calc-spread
  clear-output
end

to go
  tick
  ask turtles [ calc-opinions ]
  calc-spread
  plot-counts
end

to calc-opinions
  let random-number random-float 1.0
  if random-number < frequency-ny
  ;; aks a turtle with probaility = frequency-ny
  [
    let probalpha random-float 1.0
    let probbeta random-float 1.0
    ;; randomize subjective probabilities

    let FTared probalpha * (complementarity * ( spread * spread + 2 * (-1) * spread ) + 1)
    let FTAbblue probbeta * (complementarity * ( spread * spread + 2 * 1 * spread ) + 1)
    ;; calculate force to act
  ]

```

```

    if FTAre < FTAbue
      [
        set color blue
      ]
    if FTAre > FTAbue
      [
        set color red
      ]
    ;; turn blue/red
  ]
end

to calc-spread
  set blue-fraction count (turtles with [color = blue]) / count turtles
  set spread ((2 * blue-fraction) - 1)
end

to plot-counts
  set-current-plot "spread vs Count"
  plot spread
end

```

d) Implementation des modifizierten Modells M_0 für die Robustheitsanalyse bei Variation der Misfitkostenfunktion durch die Polynomfunktion $h_{M,c}(x)$

```

globals
[
  blue-count      ; population of blue turtles = 1
  red-count       ; population of red turtles = 0
  blue-fraction
  spread          ; fraction of blue-persons in the population
  frequency-ny    ; frequency; parameter which is of least interest
  a
]

to setup
  clear-all
  ;; create turtles on random patches.
  set frequency-ny 0.01
  ;; set probability of turtle beeing asked for a decision every tick
  set a 1.5
  ;; weighting parameter in the decision function that is of minor importance
  ask n-of (number-blue + number-red) patches
  [ sprout 1
    [ set color blue
    ]
  ]
  ;; turn part of the blue patches red
  ask n-of (number-blue) turtles
  [ set color red
  ]
  set blue-count number-blue
  set red-count number-red
  calc-spread
  clear-output
end

```

```

to go
  tick
  ask turtles [ calc-opinions ]
  calc-spread
  plot-counts
end

to calc-opinions
  let random-number random-float 1.0
  if random-number < frequency-ny
  ;; aks a turtle with probaility = frequency-ny
  [

    let probalpha random-float 1.0
    let probbeta random-float 1.0
    ;; randomize subjective probabilities

    let FTared probalpha * (complementarity * (-1) * spread + 1)
    let FTAbblue probbeta * (complementarity * spread + 1)
    ;; calculate force to act

    if FTared < FTAbblue
    [
      set color blue
    ]
    if FTared > FTAbblue
    [
      set color red
    ]
    ;; turn blue/red
  ]
end

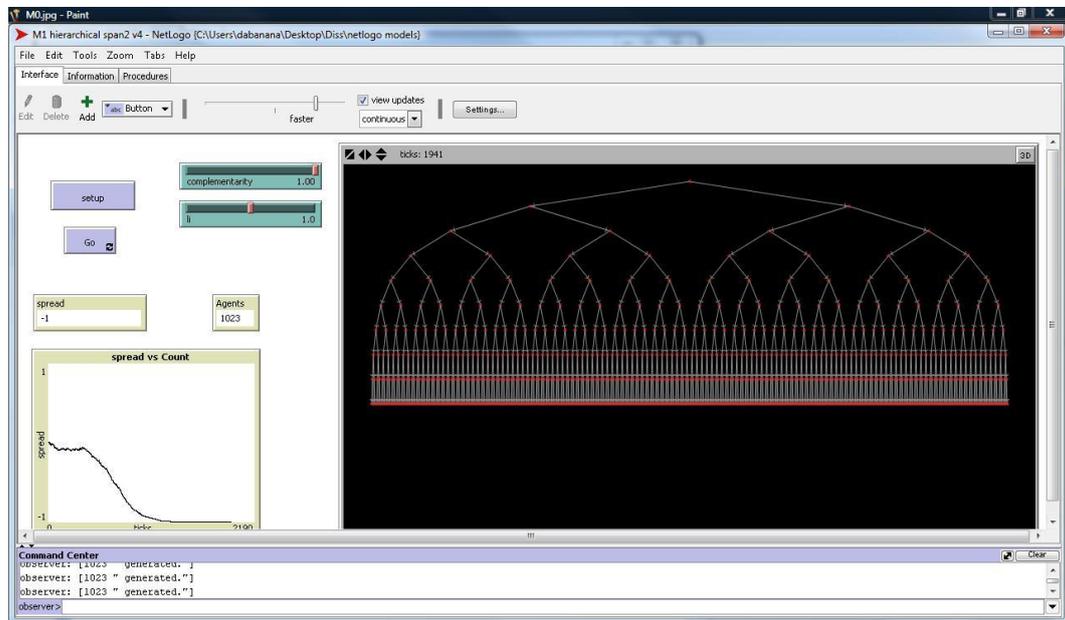
to calc-spread
  set blue-fraction count (turtles with [color = blue]) / count turtles
  set spread ((2 * blue-fraction) - 1)
end

to plot-counts
  set-current-plot "spread vs Count"
  plot spread
end

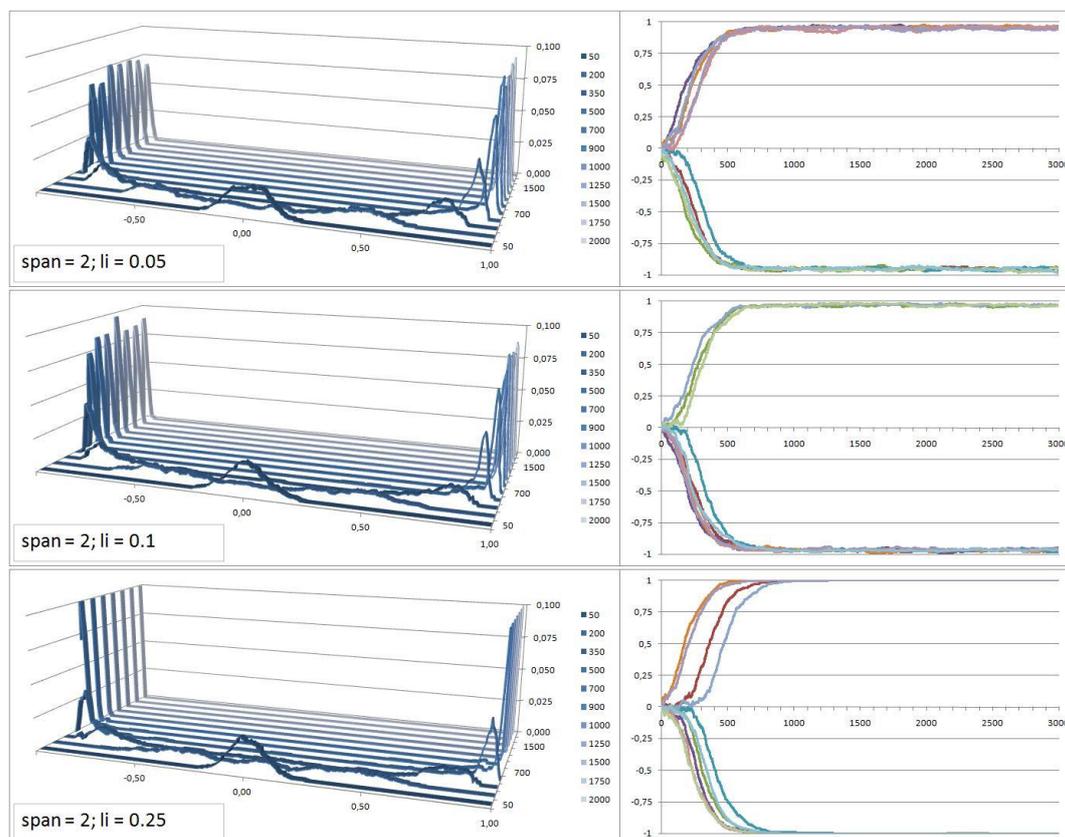
```

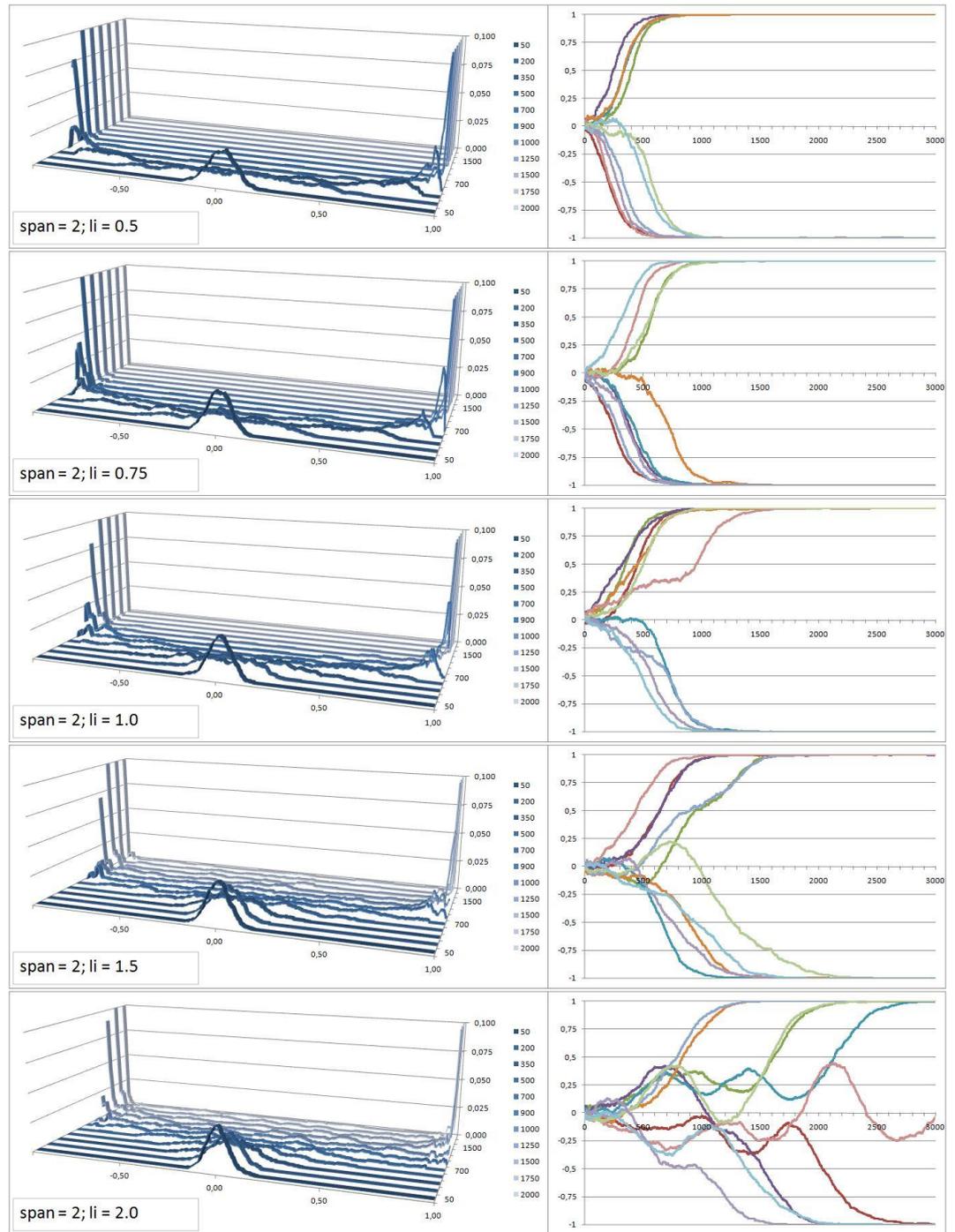
2. Das fortgeschrittene Modell institutionellen Wandels M1

a) Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells M1 mit Kontrollspanne 2



b) Simulationsergebnisse des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 bei Variation der Führungsmacht li





c) Implementierung des Modells M1 mit Kontrollspanne 2

directed-link-breed [red-links red-link]
 red-links-own [weight]
 turtles-own [number generation]

globals

[
 blue-count ; population of blue turtles
 red-count ; population of red turtles
 blue-fraction
 spread

```

frequency-ny      ; frequency; parameter which is of least interest
boss-state
a
]

to setup
clear-all
set frequency-ny 0.01
set a 1.5

create-turtles 1 [ set generation 0
set xcor 0
set ycor 70
set color blue
if random-float 1 > 0.5 [ set color red ]
]
ask turtles [ givebirth ]
show list count turtles " generated."
end

to givebirth
if generation > 8 [ stop ]
let current-number 0
let offset 1
hatch 2 [
set current-number current-number + 1
set generation [ generation ] of myself + 1
set color blue
if random-float 1.0 > 0.5 [ set color red ]

if generation = 1 [ set offset 32 ]
if generation = 2 [ set offset 16 ]
if generation = 3 [ set offset 8 ]
if generation = 4 [ set offset 4 ]
if generation = 5 [ set offset 2 ]
if generation = 6 [ set offset 1 ]
if generation = 7 [ set offset 0.5 ]
if generation = 8 [ set offset 0.2 ]
if generation = 9 [ set offset 0.1 ]
if generation = 10 [ set offset 0.1 ]
if generation = 11 [ set offset 0.1 ]
if generation = 12 [ set offset 0.1 ]

if current-number = 1 [ set xcor [ xcor ] of myself + offset ]
if current-number = 2 [ set xcor [ xcor ] of myself - offset ]
set ycor 70 - generation * 5
create-red-link-from myself
givebirth
]
end

to go
tick
ask turtles [ calc-opinions ]
calc-spread
plot-counts
end

to calc-opinions

```

```

let random-number random-float 1.0
if random-number < frequency-ny
;; aks a turtle with probaility = frequency-ny
[
  let probalpha random-float 1.0
  let probli random-float 1.0
  ;; randomize subjective probabilities

  ifelse one-of in-link-neighbors = nobody
  [
    set boss-state 0
  ]
  [
    ifelse [color] of one-of in-link-neighbors = blue
    [
      set boss-state 1
    ]
    [
      set boss-state -1
    ]
  ]
  ;; set boss state according to boss being red or blue
  ]
let FTARED probalpha * ( exp ( - complementarity * spread * a) - boss-state * li)
let FTABLUE probli * ( exp ( complementarity * spread * a) + boss-state * li)
;; calculate force to act

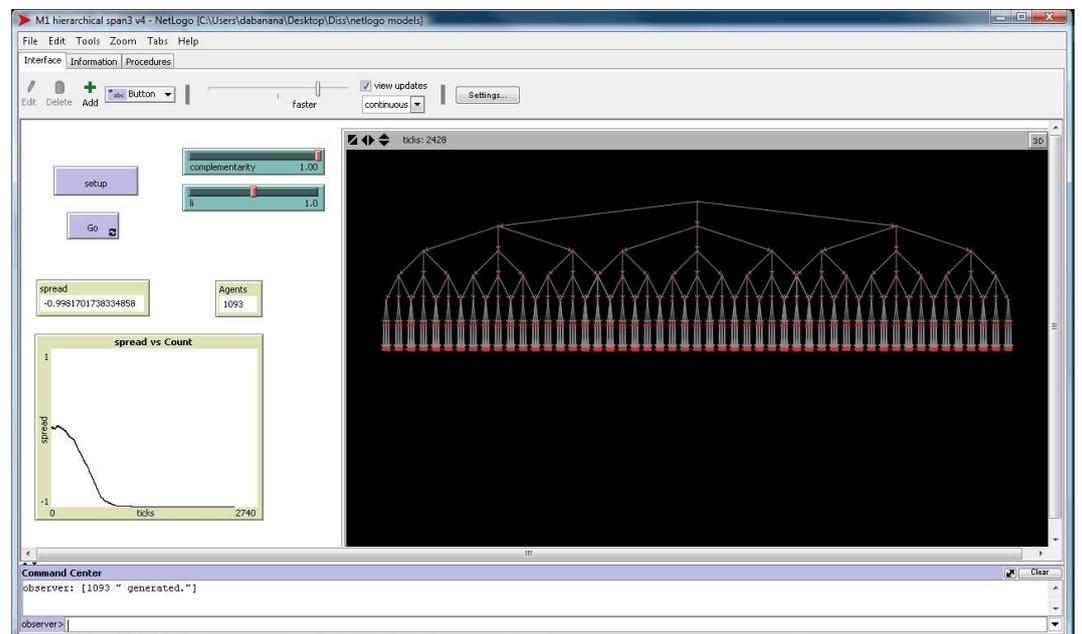
  if FTARED < FTABLUE
  [
    set color blue
  ]
  if FTARED > FTABLUE
  [
    set color red
  ]
  ;; turn blue/red
]
end

to calc-spread
set blue-fraction count (turtles with [color = blue]) / count turtles
set spread ((2 * blue-fraction) - 1)
end

to plot-counts
set-current-plot "spread vs Count"
plot spread
end

```

d) Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells M1 mit Kontrollspanne 3



e) Implementierung des Modells M1 mit Kontrollspanne 3

Die Implementierung unterscheidet sich von der des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 nur durch die bei der Initialisierung gestartete Funktion givebirth, die den Aufbau der Hierarchie festlegt und nun folgt.

to givebirth

if generation > 5 [stop]

let current-number 0

let offset 1

hatch 3 [

set current-number current-number + 1

set generation [generation] of myself + 1

set color blue

if random-float 1.0 > 0.5 [set color red]

if generation = 1 [set offset 40]

if generation = 2 [set offset 15]

if generation = 3 [set offset 5]

if generation = 4 [set offset 2.5]

if generation = 5 [set offset 0.5]

if generation = 6 [set offset 0.2]

if generation = 6 [set offset 0.1]

if current-number = 1 [set xcor [xcor] of myself + offset]

if current-number = 2 [set xcor [xcor] of myself - offset]

set ycor 70 - generation * 5

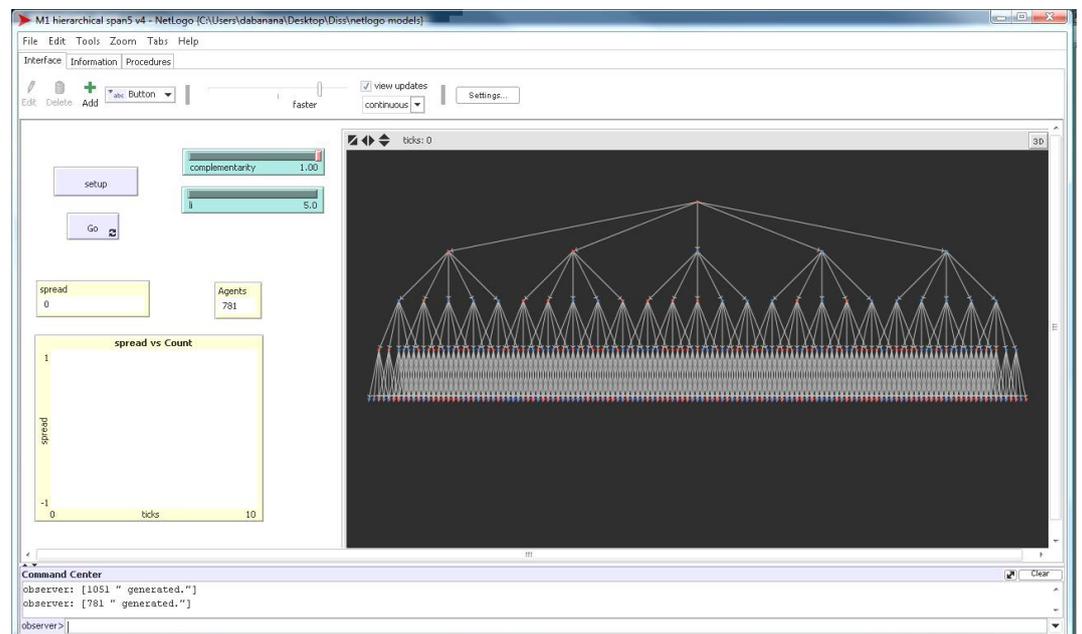
create-red-link-from myself

givebirth

]

end

f) Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells M1 mit Kontrollspanne 5



g) Implementierung des Modells M1 mit Kontrollspanne 5

Die Implementierung unterscheidet sich von der des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 nur durch die bei der Initialisierung gestartete Funktion givebirth, die den Aufbau der Hierarchie festlegt und nun folgt.

to givebirth

if generation > 4 [stop]

if count turtles > 1050 [stop]

let current-number 0

let offset 1

hatch 5 [

set current-number current-number + 1

set generation [generation] of myself + 1

set color blue

if random-float 1.0 > 0.5 [set color red]

if generation = 1 [set offset 25]

if generation = 2 [set offset 5]

if generation = 3 [set offset 2]

if generation = 4 [set offset 1]

if generation = 5 [set offset 0.5]

if generation = 6 [set offset 0.2]

if generation = 6 [set offset 0.1]

if current-number = 1 [set xcor [xcor] of myself + 2 * offset]

if current-number = 2 [set xcor [xcor] of myself - 2 * offset]

if current-number = 3 [set xcor [xcor] of myself + 1 * offset]

if current-number = 4 [set xcor [xcor] of myself - 1 * offset]

set ycor 70 - generation * 10

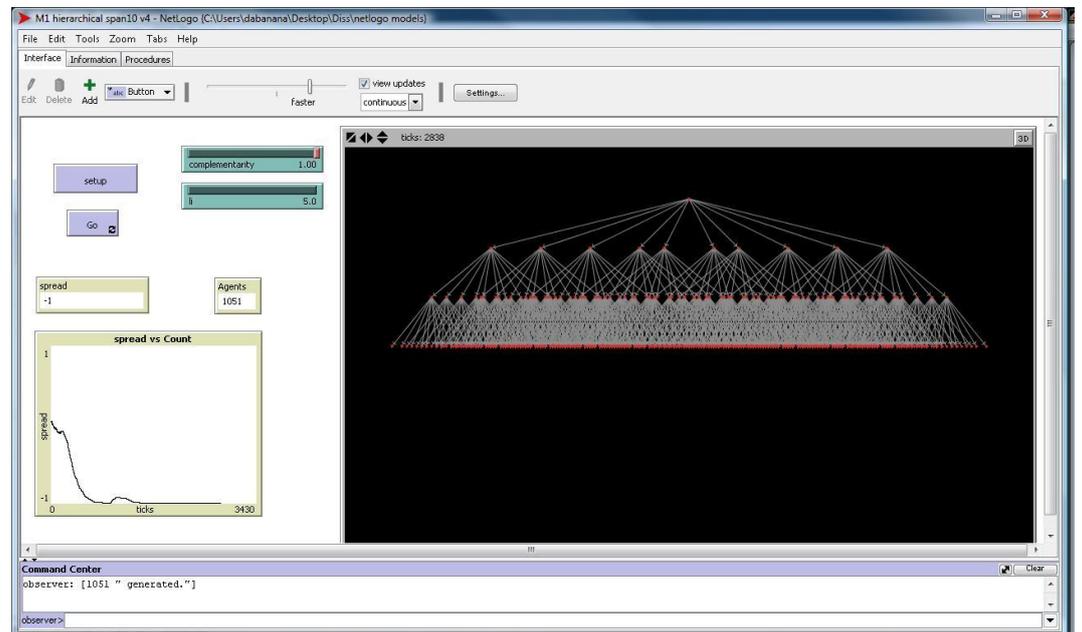
create-red-link-from myself

givebirth

]

end

h) Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells M1 mit Kontrollspanne 10



i) Implementierung des Modells M1 mit Kontrollspanne 10

Die Implementierung unterscheidet sich von der des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 nur durch die bei der Initialisierung gestartete Funktion givebirth, die den Aufbau der Hierarchie festlegt und nun folgt.

to givebirth

```

if generation > 2 [ stop ]
if count turtles > 1050 [ stop ]
let current-number 0
let offset 1
hatch 10 [
  set current-number current-number + 1
  set generation [ generation ] of myself + 1
  set color blue
  if random-float 1.0 > 0.5 [ set color red ]
  if generation = 1 [ set offset 10 ]
  if generation = 2 [ set offset 3 ]
  if generation = 3 [ set offset 2 ]
  if generation = 4 [ set offset 1 ]
  if generation = 5 [ set offset 0.5 ]
  if generation = 6 [ set offset 0.2 ]
  if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
  if current-number = 1 [ set xcor [ xcor ] of myself + 4 * offset ]
  if current-number = 2 [ set xcor [ xcor ] of myself - 4 * offset ]
  if current-number = 3 [ set xcor [ xcor ] of myself + 3 * offset ]
  if current-number = 4 [ set xcor [ xcor ] of myself - 3 * offset ]
  if current-number = 5 [ set xcor [ xcor ] of myself + 2 * offset ]
  if current-number = 6 [ set xcor [ xcor ] of myself - 2 * offset ]
  if current-number = 7 [ set xcor [ xcor ] of myself + 1 * offset ]
  if current-number = 8 [ set xcor [ xcor ] of myself - 1 * offset ]
  if current-number = 9 [ set xcor [ xcor ] of myself + 0.5 * offset ]
  if current-number = 10 [ set xcor [ xcor ] of myself - 0.5 * offset ]

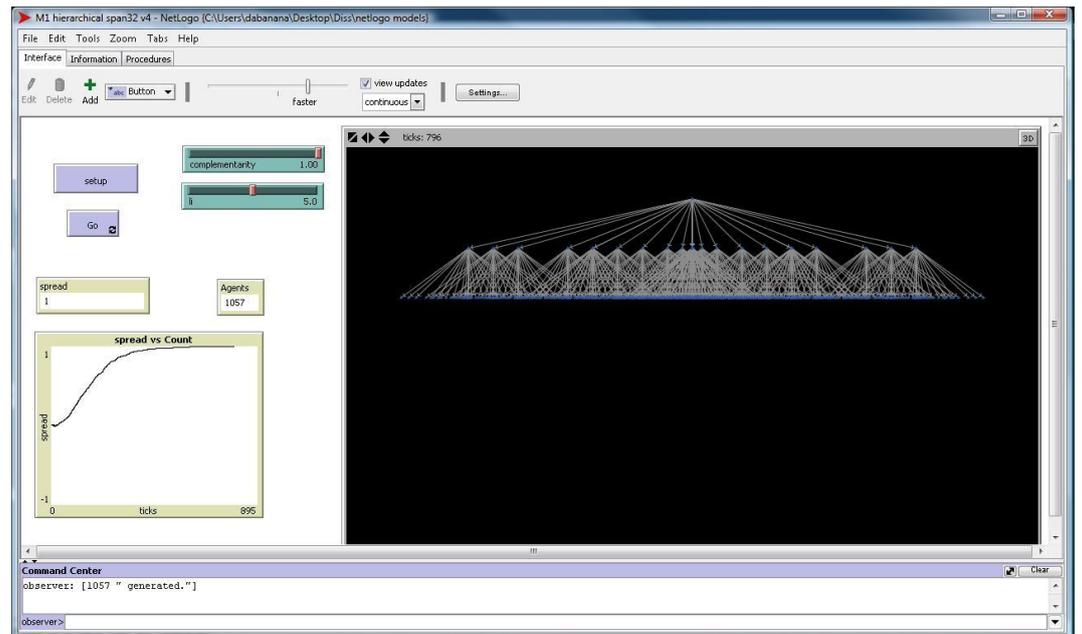
```

```

set ycor 70 - generation * 10
create-red-link-from myself
givebirth
]
end

```

j) Screenshot der Benutzeroberfläche des Modells M1 mit Kontrollspanne 32



k) Implementierung des Modells M1 mit Kontrollspanne 32

Die Implementierung unterscheidet sich von der des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 nur durch die bei der Initialisierung gestartete Funktion givebirth, die den Aufbau der Hierarchie festlegt und nun folgt.

```

to givebirth
  if generation > 1 [ stop ]
  let current-number 0
  let offset 1
  hatch 32 [
    set current-number current-number + 1
    set generation [ generation ] of myself + 1
    set color blue
    if random-float 1.0 > 0.5 [ set color red ]
    if generation = 1 [ set offset 10 ]
    if generation = 2 [ set offset 3 ]
    if generation = 3 [ set offset 2 ]
    if generation = 4 [ set offset 1 ]
    if generation = 5 [ set offset 0.5 ]
    if generation = 6 [ set offset 0.2 ]
    if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
    if current-number = 1 [ set xcor [ xcor ] of myself + 4.5 * offset ]
    if current-number = 2 [ set xcor [ xcor ] of myself - 4.5 * offset ]
    if current-number = 3 [ set xcor [ xcor ] of myself + 4.0 * offset ]
    if current-number = 4 [ set xcor [ xcor ] of myself - 4.0 * offset ]
  ]
end

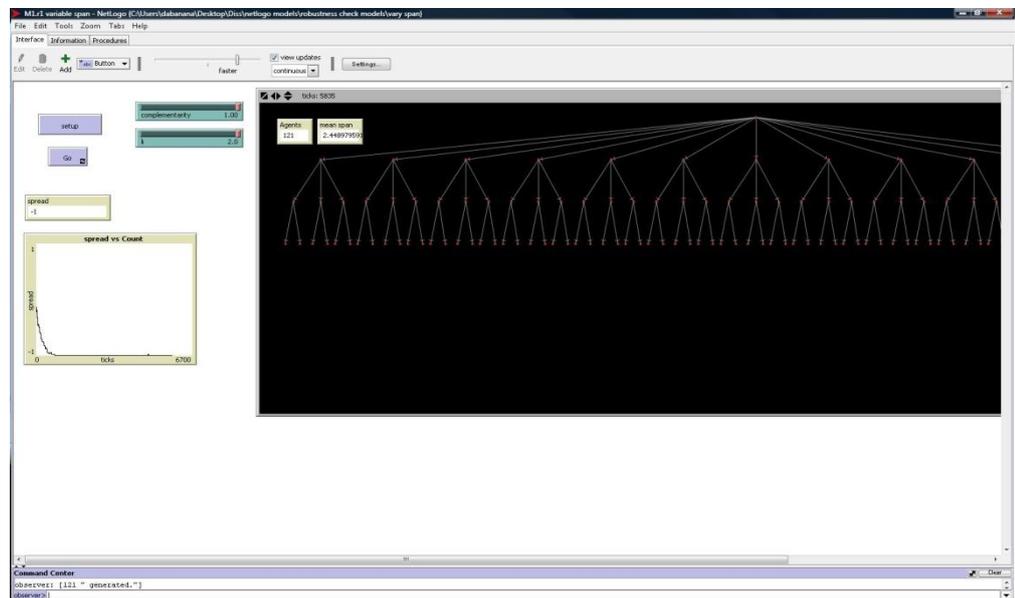
```

```

if current-number = 5 [ set xcor [ xcor ] of myself + 3.5 * offset ]
if current-number = 6 [ set xcor [ xcor ] of myself - 3.5 * offset ]
if current-number = 7 [ set xcor [ xcor ] of myself + 2 * offset ]
if current-number = 8 [ set xcor [ xcor ] of myself - 2 * offset ]
if current-number = 9 [ set xcor [ xcor ] of myself + 2.5 * offset ]
if current-number = 10 [ set xcor [ xcor ] of myself - 2.5 * offset ]
if current-number = 11 [ set xcor [ xcor ] of myself + 2.0 * offset ]
if current-number = 12 [ set xcor [ xcor ] of myself - 2.0 * offset ]
if current-number = 13 [ set xcor [ xcor ] of myself + 1.5 * offset ]
if current-number = 14 [ set xcor [ xcor ] of myself - 1.5 * offset ]
if current-number = 15 [ set xcor [ xcor ] of myself + 1.0 * offset ]
if current-number = 16 [ set xcor [ xcor ] of myself - 1.0 * offset ]
if current-number = 17 [ set xcor [ xcor ] of myself + 0.5 * offset ]
if current-number = 18 [ set xcor [ xcor ] of myself - 0.5 * offset ]
if current-number = 19 [ set xcor [ xcor ] of myself + 0.2 * offset ]
if current-number = 20 [ set xcor [ xcor ] of myself - 0.2 * offset ]
set ycor 70 - generation * 10
create-red-link-from myself
givebirth
]
end

```

l) Screenshot des modifizierten Modells M1r1 für die Robustheitsanalyse bei Aufhebung der Homogenität der Kontrollspanne



m) Implementation des modifizierten Modells M1r1 für die Robustheitsanalyse bei Aufhebung der Homogenität der Kontrollspanne

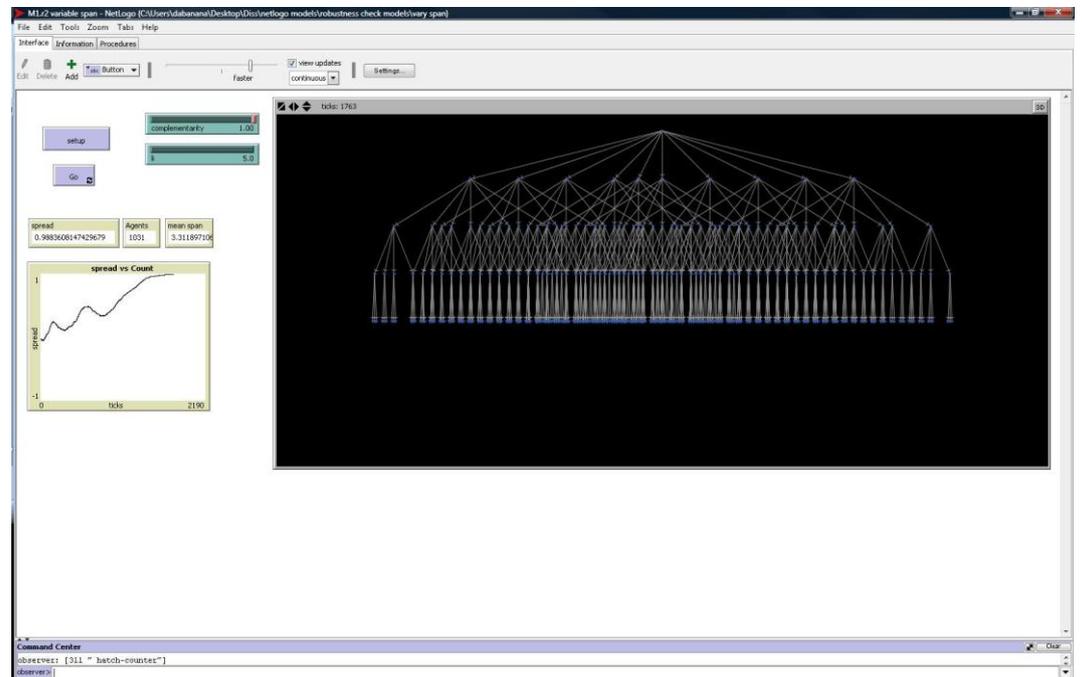
Die Implementierung unterscheidet sich von der des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 nur durch die bei der Initialisierung gestartete Funktion givebirth, die den Aufbau der Hierarchie festlegt und nun folgt.

```

to givebirth
  if generation > 2 [ stop ]
  if generation = 0 [ set actualspan 12]
  if generation = 1 [ set actualspan 3]
  if generation = 2 [ set actualspan 2]
  if generation = 3 [ set actualspan 0]
  if generation = 4 [ set actualspan 0]
  if generation = 5 [ set actualspan 0]
  set span-counter span-counter + actualspan
  set hatch-counter hatch-counter + 1
  let current-number 0
  let offset 1
  hatch actualspan [
    set current-number current-number + 1
    set generation [ generation ] of myself + 1
    set color blue
    if random-float 1.0 > 0.5 [ set color red ]
    if generation = 1 [ set offset 16]
    if generation = 2 [ set offset 1 ]
    if generation = 3 [ set offset 0.3 ]
    if generation = 4 [ set offset 0.1 ]
    if generation = 5 [ set offset 0.1 ]
    if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
    if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
    if current-number = 1 [ set xcor [ xcor ] of myself + 5 * offset ]
    if current-number = 2 [ set xcor [ xcor ] of myself - 6 * offset ]
    if current-number = 3 [ set xcor [ xcor ] of myself + 0 * offset ]
    if current-number = 4 [ set xcor [ xcor ] of myself - 5 * offset ]
    if current-number = 5 [ set xcor [ xcor ] of myself + 4 * offset ]
    if current-number = 6 [ set xcor [ xcor ] of myself - 4 * offset ]
    if current-number = 7 [ set xcor [ xcor ] of myself + 3 * offset ]
    if current-number = 8 [ set xcor [ xcor ] of myself - 3 * offset ]
    if current-number = 9 [ set xcor [ xcor ] of myself + 2 * offset ]
    if current-number = 10 [ set xcor [ xcor ] of myself - 2 * offset ]
    if current-number = 11 [ set xcor [ xcor ] of myself + 1 * offset ]
    if current-number = 12 [ set xcor [ xcor ] of myself - 1 * offset ]
    set ycor 70 - generation * 10
    create-red-link-from myself
    givebirth
  ]
end

```

n) Screenshot des modifizierten Modells M1r2 für die Robustheitsanalyse bei Aufhebung der Homogenität der Kontrollspanne



o) Implementation des modifizierten Modells M1r2 für die Robustheitsanalyse bei Aufhebung der Homogenität der Kontrollspanne

Die Implementierung unterscheidet sich von der des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 nur durch die bei der Initialisierung gestartete Funktion givebirth, die den Aufbau der Hierarchie festlegt und nun folgt.

```

to givebirth
  if generation > 3 [ stop ]
  if generation = 0 [ set actualspan 10]
  if generation = 1 [ set actualspan 6]
  if generation = 2 [ set actualspan 4]
  if generation = 3 [ set actualspan 3]
  if generation = 4 [ set actualspan 0]
  if generation = 5 [ set actualspan 0]
  set span-counter span-counter + actualspan
  set hatch-counter hatch-counter + 1
  let current-number 0
  let offset 1
  hatch actualspan [
    set current-number current-number + 1
    set generation [ generation ] of myself + 1
    set color blue
    if random-float 1.0 > 0.5 [ set color red ]
    if generation = 1 [ set offset 10]
    if generation = 2 [ set offset 4 ]
    if generation = 3 [ set offset 1 ]
  ]

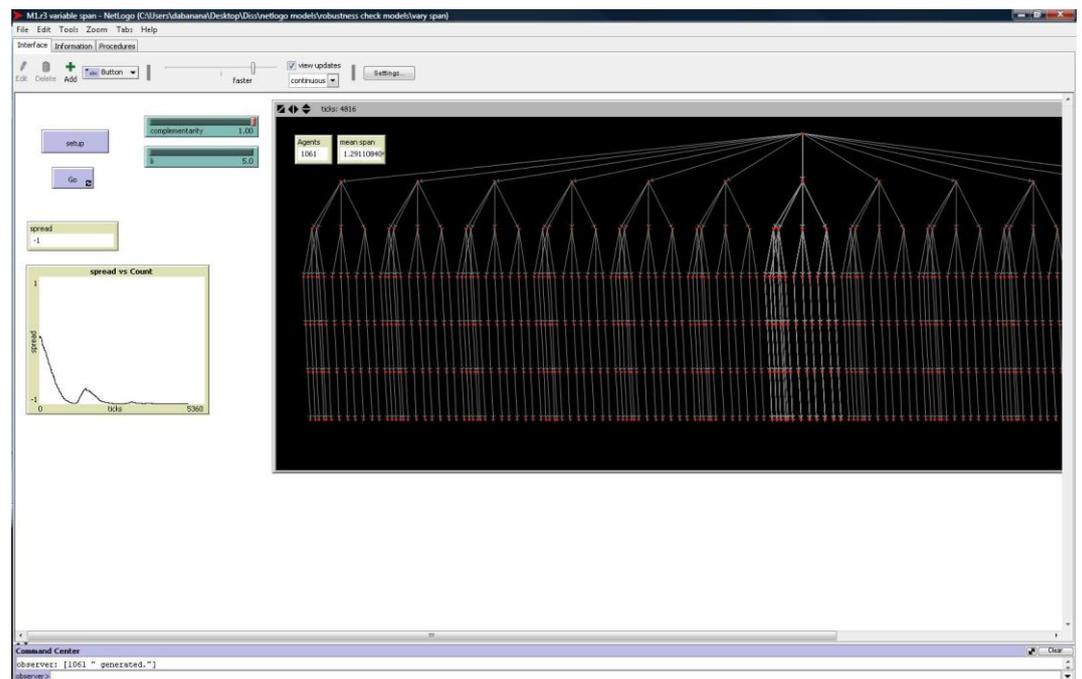
```

```

if generation = 4 [ set offset 0.1 ]
if generation = 5 [ set offset 0.1 ]
if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
if current-number = 1 [ set xcor [ xcor ] of myself + 4 * offset ]
if current-number = 2 [ set xcor [ xcor ] of myself - 4 * offset ]
if current-number = 3 [ set xcor [ xcor ] of myself + 0 * offset ]
if current-number = 4 [ set xcor [ xcor ] of myself - 2 * offset ]
if current-number = 5 [ set xcor [ xcor ] of myself + 2 * offset ]
if current-number = 6 [ set xcor [ xcor ] of myself - 1 * offset ]
if current-number = 7 [ set xcor [ xcor ] of myself + 1 * offset ]
if current-number = 8 [ set xcor [ xcor ] of myself - 3 * offset ]
if current-number = 9 [ set xcor [ xcor ] of myself + 3 * offset ]
if current-number = 10 [ set xcor [ xcor ] of myself - 0.5 * offset ]
if current-number = 11 [ set xcor [ xcor ] of myself + 0.5 * offset ]
set ycor 70 - generation * 10
create-red-link-from myself
givebirth
]
end

```

p) Screenshot des modifizierten Modells M1r3 für die Robustheitsanalyse bei Aufhebung der Homogenität der Kontrollspanne



q) Implementation des modifizierten Modells M1r3 für die Robustheitsanalyse bei Aufhebung der Homogenität der Kontrollspanne

Die Implementierung unterscheidet sich von der des Modells M1 mit Kontrollspanne 2 nur durch die bei der Initialisierung gestartete Funktion givebirth, die den Aufbau der Hierarchie festlegt und nun folgt.

```

to givebirth
  if generation > 5 [ stop ]
  if generation = 0 [ set actualspan 20]
  if generation = 1 [ set actualspan 4]
  if generation = 2 [ set actualspan 3]
  if generation = 3 [ set actualspan 1]
  if generation = 4 [ set actualspan 1]
  if generation = 5 [ set actualspan 1]
  set span-counter span-counter + actualspan
  set hatch-counter hatch-counter + 1
  let current-number 0
  let offset 1
  hatch actualspan [
    set current-number current-number + 1
    set generation [ generation ] of myself + 1
    set color blue
    if random-float 1.0 > 0.5 [ set color red ]
    if generation = 1 [ set offset 16]
    if generation = 2 [ set offset 1 ]
    if generation = 3 [ set offset 0.3 ]
    if generation = 4 [ set offset 0.1 ]
    if generation = 5 [ set offset 0.1 ]
    if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
    if generation = 6 [ set offset 0.1 ]
    if current-number = 1 [ set xcor [ xcor ] of myself + 5 * offset ]
    if current-number = 2 [ set xcor [ xcor ] of myself - 6 * offset ]
    if current-number = 3 [ set xcor [ xcor ] of myself + 0 * offset ]
    if current-number = 4 [ set xcor [ xcor ] of myself - 5 * offset ]
    if current-number = 5 [ set xcor [ xcor ] of myself + 4 * offset ]
    if current-number = 6 [ set xcor [ xcor ] of myself - 4 * offset ]
    if current-number = 7 [ set xcor [ xcor ] of myself + 3 * offset ]
    if current-number = 8 [ set xcor [ xcor ] of myself - 3 * offset ]
    if current-number = 9 [ set xcor [ xcor ] of myself + 2 * offset ]
    if current-number = 10 [ set xcor [ xcor ] of myself - 2 * offset ]
    if current-number = 11 [ set xcor [ xcor ] of myself + 1 * offset ]
    if current-number = 12 [ set xcor [ xcor ] of myself - 1 * offset ]
    set ycor 70 - generation * 10
    create-red-link-from myself
    givebirth
  ]
end

```

III. Umfassende Daten der Simulationsergebnisse

Vorbemerkung: n.a. wurde in den Datentabellen immer dann vermerkt, wenn eine Wert nicht gemessen werden konnte, weil eine für die Messung notwendige Bedingung nicht eintrat. Zum Beispiel kann der Zeitpunkt des lock-in nicht gemessen werden, wenn bis zum Ende der Simulation kein lock-in vorliegt.

1. Modell M1 span 2

Tabelle 4: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=2)

lock-in tick für span =2										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	535	477	390	490	873	1026	2677	1863	1080	1630
2	590	474	618	583	655	1651	3098	1272	1004	1280
3	593	666	346	529	676	2085	2201	1052	3402	1645
4	526	470	406	489	613	1227	982	1532	1165	2552
5	580	375	505	511	837	1108	1649	1732	926	1363
6	684	412	442	637	896	1038	1102	1550	1032	2676
7	632	386	705	552	1646	1855	2468	1283	4022	2379
8	690	425	462	456	665	2246	1909	4212	2581	1850
9	502	392	538	528	758	1997	2499	1489	997	1997
10	550	392	522	546	676	662	1687	1253	992	912
11	525	700	413	891	586	896	1286	1525	2559	1068
12	534	408	450	631	627	2633	1143	5246	2349	2584
13	630	415	418	498	732	1098	1528	1369	1135	2230
14	537	417	498	537	843	838	2320	1961	1628	1041
15	630	553	463	492	623	952	1686	1972	1563	956
16	608	544	452	642	677	645	995	3145	2967	3126
17	468	446	414	574	783	1980	1439	1485	3966	2077
18	592	504	561	515	815	1144	972	1425	2484	1765
19	477	332	470	498	529	890	1649	2977	2474	1161
20	557	354	411	750	949	3470	1604	952	897	1118
21	667	384	529	498	628	1166	1064	1275	2379	3531
22	501	415	483	463	1154	1282	1669	2007	3868	1340
23	492	388	462	437	1633	940	885	2386	1263	914
24	594	853	340	545	566	1239	2245	1576	2087	1760
25	512	542	474	520	698	2467	2321	1931	3172	892
26	474	772	506	527	585	852	1608	866	2096	1729
27	667	488	491	659	901	867	992	2734	3328	1856
28	455	500	349	597	603	777	1302	1258	4002	n.a.
29	442	551	503	541	652	1230	4762	1230	2735	951
30	583	455	435	501	735	2262	1705	3151	4354	3326
31	477	506	428	676	723	1899	2183	4034	1111	2904
32	565	431	491	443	1164	1416	1042	767	2214	1405
33	664	516	386	434	934	709	2221	2044	4744	965
34	607	396	444	559	676	1063	939	n.a.	3136	4442
35	706	426	504	538	804	1196	770	1944	1312	3219
36	672	426	545	561	510	938	859	1080	3028	2184
37	496	414	407	492	591	1377	1659	3180	1930	1102
38	630	400	434	648	639	986	1080	2206	1843	1949
39	515	513	450	996	915	2299	2624	1869	1833	3808
40	591	339	455	667	718	1035	1261	1423	3203	2678
41	462	353	433	416	688	1415	1528	989	980	2094
42	520	416	434	580	767	1365	1318	1074	2800	1586
43	640	467	407	480	974	1656	2489	921	1015	2414
44	633	477	481	531	887	2615	1397	2378	1413	2818
45	620	419	472	642	630	1201	2681	1909	3529	4077
46	408	561	506	456	745	1155	1796	4863	2710	1035
47	537	462	444	640	645	810	1077	1750	2502	1234
48	572	429	448	679	978	779	1437	1645	1939	1481
49	567	410	431	620	654	824	1896	1250	2053	2546
50	628	445	476	515	898	1252	1909	959	2305	3089
51	562	500	443	493	491	1022	1481	n.a.	1260	2510

52	584	344	594	844	730	699	1012	2349	2094	1518
53	441	413	690	578	498	1199	1471	3801	1825	1226
54	464	552	399	570	930	1046	1004	1186	1480	2179
55	634	545	764	390	686	3327	1560	1181	4594	2161
56	537	418	488	502	671	1971	1458	2467	1840	3198
57	527	656	439	487	796	1076	1116	923	2147	3327
58	532	386	550	537	699	1698	2136	1041	1174	1555
59	490	417	677	610	541	1419	5034	984	1137	n.a.
60	808	469	524	516	551	1156	3130	2378	1133	1126
61	533	367	496	889	893	1063	942	2164	3053	2314
62	632	388	435	679	1276	877	3265	1199	1005	1775
63	535	617	468	583	700	1429	1431	747	3038	1700
64	597	453	404	659	1164	2053	1117	1821	1061	2480
65	486	497	800	661	611	2929	777	2588	4697	2057
66	591	389	433	563	1131	1053	3045	3310	1618	3322
67	957	688	519	588	734	880	3324	5083	1771	1428
68	521	520	478	560	830	1127	1610	2062	n.a.	3017
69	546	631	697	725	885	805	1139	2373	1097	2003
70	420	466	507	549	631	1659	1002	1576	3117	2201
71	550	406	535	584	531	1382	760	1134	1069	2330
72	462	476	443	471	642	1859	5351	852	1307	2997
73	566	439	495	523	876	928	978	4359	1317	2306
74	591	636	422	549	1103	2474	1635	2191	1137	1413
75	490	359	374	662	593	725	1404	2840	1591	1793
76	605	432	436	519	803	3757	2315	2420	2014	1351
77	655	447	492	776	1471	1114	3267	2312	1113	1793
78	550	425	488	555	974	1911	1487	1849	1812	4664
79	487	570	506	427	754	872	2132	1590	1634	1924
80	504	784	461	631	1094	874	1269	1886	2378	1318
81	634	399	386	544	912	2368	3004	2304	1120	3861
82	566	459	452	755	643	1019	1351	2385	1623	2169
83	500	428	444	444	882	1546	2428	2983	1022	1100
84	650	417	577	572	607	1472	1960	938	3696	816
85	479	366	533	472	827	981	1130	1595	1823	2349
86	549	640	391	584	664	1306	2415	1899	1359	1850
87	522	539	426	558	817	1125	3159	2511	919	852
88	535	498	561	587	750	2008	2340	1492	935	5618
89	570	391	421	515	786	1274	2248	965	2569	3438
90	573	487	438	528	959	1191	1398	2660	n.a.	2229
91	556	425	325	502	1021	680	1746	1033	1680	1277
92	520	525	621	521	795	1144	1243	2471	1930	1213
93	479	522	399	460	726	1181	1770	1594	1755	1154
94	540	400	465	1085	625	1514	913	2696	2388	1728
95	487	465	374	534	748	818	1430	2865	1028	3434
96	657	614	488	475	647	2202	1192	2278	1894	1523
97	441	431	503	501	621	1000	1359	1521	990	1794
98	584	590	649	842	888	1163	1201	2525	2581	1874
99	549	546	508	735	1096	1204	1498	1747	2844	1289
100	656	473	455	619	686	1419	1149	1135	1063	3800

Tabelle 5: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=2)

lock-in Dauer für span =2										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	5466	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2694	3978
2	5411	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2196	5439
3	5408	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4458	5439
4	5475	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3639	5439	3511
5	5421	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1838	5439	1152
6	5317	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2525	5439	4075
7	5369	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2993
8	5311	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3509
9	5499	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5298
10	5451	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2868
11	5476	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1978	5439	5439
12	5467	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5341
13	5371	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
14	5464	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1315	4968
15	5371	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
16	5393	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
17	5533	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
18	5409	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
19	5524	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1217
20	5444	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1670	5439
21	5334	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
22	5500	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2327
23	5509	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	925
24	5407	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4413	4868
25	5489	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3787	1395
26	5527	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4243
27	5334	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
28	5546	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	n.a.
29	5559	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3845	3147
30	5418	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4198	4296
31	5524	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3396	5439
32	5436	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5373
33	5337	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
34	5394	5439	5439	5439	5439	5439	5439	-562	5439	4294
35	5295	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4785	5439	5439
36	5329	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2786	2985	1994
37	5505	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
38	5371	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1531	2744
39	5486	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4443
40	5410	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2034	5439	5439
41	5539	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
42	5481	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
43	5361	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1099	5439
44	5368	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2307	5439
45	5381	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4519	5439
46	5593	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2105
47	5464	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1253
48	5429	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5329	1999	5439
49	5434	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4728	3285
50	5373	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
51	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	n.a.	5439	2851

52	5417	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2956	5439
53	5560	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5284
54	5537	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2220	5439
55	5367	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3722	5439	3101
56	5464	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1713	5439
57	5474	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2050	5439
58	5469	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2100	3869	5439
59	5511	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	n.a.
60	5193	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1281	3216
61	5468	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3607	5439	5439
62	5369	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	948	5439
63	5466	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2840	5439
64	5404	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	680	5439
65	5515	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4525	5439
66	5410	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2075	5236
67	5044	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3125	5439
68	5480	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	n.a.	5439
69	5455	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2677	5439
70	5581	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
71	5451	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1392	3882
72	5539	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2747	2116	5433
73	5435	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
74	5410	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3523	2089	3386
75	5511	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1957	4894
76	5396	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4421	5439
77	5346	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1404	1440
78	5451	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3733	5439
79	5514	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
80	5497	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4329
81	5367	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
82	5435	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
83	5501	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1025	5439
84	5351	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4744	1859
85	5522	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
86	5452	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
87	5479	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
88	5466	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	1889	5439
89	5431	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
90	5428	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	n.a.	5439
91	5445	5439	5439	5439	5439	5439	5439	4844	4045	5424
92	5481	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
93	5522	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2014	5439
94	5461	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3186	5439
95	5514	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2218	3896
96	5344	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439
97	5560	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3828	5439
98	5417	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	2494	5439
99	5452	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	3182
100	5345	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439	5439

Tabelle 6: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=2)

run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	0,0621	0,0027	0,0022	0,0028	0,0023	0,0023	0,0041	0,0027	0,0249	0,0113
2	0,0619	0,0017	0,0019	0,0024	0,0027	0,0041	0,0050	0,0042	0,0140	0,0034

3	0,0564	0,0016	0,0017	0,0014	0,0022	0,0048	0,0044	0,0033	0,0258	0,0041
4	0,0613	0,0018	0,0018	0,0027	0,0021	0,0031	0,0022	0,0132	0,0067	0,0202
5	0,0655	0,0021	0,0020	0,0027	0,0021	0,0025	0,0027	0,0570	0,0028	0,0790
6	0,0579	0,0020	0,0021	0,0022	0,0023	0,0030	0,0026	0,0206	0,0033	0,0140
7	0,0598	0,0018	0,0023	0,0025	0,0035	0,0037	0,0062	0,0030	0,0214	0,0295
8	0,0619	0,0024	0,0022	0,0019	0,0027	0,0029	0,0047	0,0091	0,0048	0,0145
9	0,0643	0,0018	0,0017	0,0029	0,0022	0,0038	0,0089	0,0031	0,0077	0,0044
10	0,0597	0,0023	0,0029	0,0021	0,0025	0,0024	0,0036	0,0104	0,0039	0,0146
11	0,0616	0,0023	0,0023	0,0019	0,0025	0,0022	0,0051	0,0492	0,0053	0,0057
12	0,0566	0,0028	0,0022	0,0026	0,0015	0,0028	0,0029	0,0453	0,0047	0,0119
13	0,0610	0,0022	0,0019	0,0017	0,0029	0,0027	0,0022	0,0027	0,0048	0,0057
14	0,0591	0,0021	0,0020	0,0022	0,0025	0,0035	0,0035	0,0175	0,1003	0,0092
15	0,0616	0,0021	0,0019	0,0023	0,0027	0,0024	0,0031	0,0031	0,0028	0,0032
16	0,0612	0,0018	0,0025	0,0016	0,0020	0,0023	0,0029	0,0074	0,0040	0,0053
17	0,0590	0,0014	0,0019	0,0018	0,0026	0,0042	0,0033	0,0032	0,0098	0,0050
18	0,0613	0,0028	0,0024	0,0022	0,0022	0,0027	0,0030	0,0078	0,0055	0,0031
19	0,0588	0,0026	0,0022	0,0018	0,0020	0,0026	0,0038	0,0056	0,0043	0,0566
20	0,0590	0,0014	0,0018	0,0023	0,0027	0,0048	0,0035	0,0040	0,0265	0,0046
21	0,0608	0,0021	0,0021	0,0015	0,0020	0,0033	0,0058	0,0024	0,0038	0,0068
22	0,0581	0,0022	0,0019	0,0024	0,0025	0,0029	0,0033	0,0054	0,0064	0,0198
23	0,0564	0,0015	0,0022	0,0022	0,0020	0,0023	0,0026	0,0048	0,0022	0,0484
24	0,0607	0,0021	0,0017	0,0027	0,0017	0,0027	0,0053	0,0052	0,0093	0,0099
25	0,0611	0,0017	0,0016	0,0020	0,0023	0,0030	0,0040	0,0037	0,0385	0,0282
26	0,0582	0,0021	0,0027	0,0017	0,0021	0,0028	0,0023	0,0036	0,0045	0,0135
27	0,0618	0,0017	0,0018	0,0020	0,0019	0,0032	0,0024	0,0332	0,0068	0,0030
28	0,0599	0,0022	0,0019	0,0025	0,0017	0,0025	0,0055	0,0029	0,0074	n.a.
29	0,0588	0,0022	0,0016	0,0029	0,0031	0,0024	0,0088	0,0046	0,0182	0,0149
30	0,0593	0,0017	0,0023	0,0019	0,0027	0,0054	0,0032	0,0063	0,0748	0,0192
31	0,0566	0,0020	0,0017	0,0019	0,0015	0,0035	0,0041	0,0092	0,0124	0,0039
32	0,0620	0,0019	0,0025	0,0036	0,0030	0,0022	0,0024	0,0123	0,0042	0,0079
33	0,0595	0,0021	0,0019	0,0024	0,0032	0,0032	0,0034	0,0199	0,0191	0,0030
34	0,0575	0,0019	0,0022	0,0019	0,0032	0,0026	0,0024	n.a.	0,0049	0,0670
35	0,0624	0,0024	0,0021	0,0018	0,0027	0,0020	0,0024	0,0145	0,0023	0,0041
36	0,0662	0,0016	0,0026	0,0022	0,0027	0,0025	0,0029	0,0267	0,0989	0,0832
37	0,0585	0,0014	0,0023	0,0027	0,0027	0,0042	0,0030	0,0046	0,0049	0,0042
38	0,0651	0,0017	0,0022	0,0021	0,0024	0,0031	0,0040	0,0064	0,1121	0,0389
39	0,0611	0,0021	0,0025	0,0021	0,0024	0,0045	0,0063	0,0042	0,0038	0,0291
40	0,0621	0,0025	0,0019	0,0026	0,0030	0,0027	0,0049	0,0393	0,0238	0,0287
41	0,0616	0,0025	0,0023	0,0020	0,0023	0,0028	0,0075	0,0053	0,0036	0,0174
42	0,0571	0,0021	0,0023	0,0015	0,0015	0,0032	0,0040	0,0019	0,0068	0,0035
43	0,0616	0,0022	0,0017	0,0022	0,0024	0,0023	0,0049	0,0024	0,0644	0,0163
44	0,0598	0,0019	0,0023	0,0025	0,0027	0,0028	0,0046	0,0045	0,0266	0,0052
45	0,0612	0,0024	0,0016	0,0013	0,0025	0,0033	0,0046	0,0037	0,0165	0,0094
46	0,0568	0,0016	0,0023	0,0017	0,0019	0,0031	0,0063	0,0092	0,0060	0,0180
47	0,0608	0,0018	0,0022	0,0020	0,0021	0,0025	0,0038	0,0063	0,0048	0,0694
48	0,0633	0,0022	0,0022	0,0028	0,0024	0,0022	0,0048	0,0072	0,0539	0,0034
49	0,0589	0,0018	0,0025	0,0023	0,0024	0,0041	0,0033	0,0022	0,0095	0,0226
50	0,0614	0,0019	0,0017	0,0025	0,0031	0,0027	0,0030	0,0087	0,0065	0,0039
51	0,0638	0,0018	0,0018	0,0021	0,0025	0,0026	0,0026	n.a.	0,0034	0,0334
52	0,0621	0,0015	0,0024	0,0018	0,0026	0,0045	0,0048	0,0046	0,0291	0,0038
53	0,0634	0,0020	0,0022	0,0023	0,0020	0,0037	0,0025	0,0076	0,0030	0,0069
54	0,0602	0,0026	0,0022	0,0023	0,0031	0,0024	0,0028	0,0030	0,0275	0,0034
55	0,0575	0,0024	0,0021	0,0018	0,0019	0,0044	0,0027	0,0160	0,0083	0,0175
56	0,0558	0,0019	0,0020	0,0017	0,0021	0,0032	0,0034	0,0035	0,0714	0,0279
57	0,0558	0,0019	0,0023	0,0020	0,0020	0,0029	0,0030	0,0083	0,0718	0,0056
58	0,0598	0,0020	0,0021	0,0022	0,0025	0,0046	0,0037	0,0288	0,0103	0,0027
59	0,0648	0,0019	0,0018	0,0022	0,0019	0,0043	0,0191	0,0084	0,0042	n.a.

60	0,0638	0,0021	0,0019	0,0024	0,0019	0,0028	0,0039	0,0054	0,0531	0,0102
61	0,0577	0,0019	0,0021	0,0023	0,0020	0,0032	0,0031	0,0210	0,0062	0,0038
62	0,0640	0,0021	0,0023	0,0018	0,0022	0,0021	0,0100	0,0042	0,0603	0,0034
63	0,0609	0,0023	0,0022	0,0018	0,0023	0,0042	0,0029	0,0027	0,0757	0,0091
64	0,0593	0,0019	0,0023	0,0018	0,0029	0,0034	0,0054	0,0142	0,1083	0,0068
65	0,0586	0,0025	0,0025	0,0028	0,0018	0,0034	0,0023	0,0032	0,0779	0,0057
66	0,0661	0,0018	0,0026	0,0023	0,0025	0,0042	0,0054	0,0086	0,0372	0,0092
67	0,0596	0,0021	0,0023	0,0020	0,0026	0,0029	0,0057	0,0204	0,0459	0,0054
68	0,0597	0,0018	0,0019	0,0022	0,0024	0,0040	0,0070	0,0029	n.a.	0,0074
69	0,0615	0,0026	0,0027	0,0022	0,0021	0,0025	0,0032	0,0036	0,0176	0,0066
70	0,0666	0,0024	0,0022	0,0022	0,0020	0,0042	0,0029	0,0024	0,0061	0,0058
71	0,0634	0,0019	0,0023	0,0026	0,0019	0,0031	0,0023	0,0028	0,0328	0,0148
72	0,0619	0,0015	0,0018	0,0022	0,0025	0,0026	0,0612	0,0155	0,0288	0,0162
73	0,0568	0,0020	0,0023	0,0023	0,0028	0,0028	0,0025	0,0128	0,0039	0,0031
74	0,0609	0,0021	0,0019	0,0024	0,0028	0,0038	0,0056	0,0224	0,0274	0,0117
75	0,0623	0,0023	0,0020	0,0026	0,0023	0,0023	0,0028	0,0061	0,0382	0,0150
76	0,0593	0,0016	0,0018	0,0024	0,0032	0,0058	0,0064	0,0052	0,0087	0,0153
77	0,0639	0,0017	0,0019	0,0023	0,0032	0,0034	0,0047	0,0103	0,0402	0,1099
78	0,0603	0,0018	0,0020	0,0018	0,0023	0,0039	0,0030	0,0035	0,0114	0,0112
79	0,0617	0,0021	0,0017	0,0020	0,0022	0,0030	0,0048	0,0062	0,0039	0,0051
80	0,0628	0,0022	0,0022	0,0023	0,0023	0,0019	0,0028	0,0027	0,0035	0,0104
81	0,0579	0,0018	0,0020	0,0021	0,0027	0,0027	0,0080	0,0079	0,0025	0,0216
82	0,0578	0,0015	0,0023	0,0023	0,0020	0,0024	0,0024	0,0052	0,0120	0,0047
83	0,0608	0,0019	0,0021	0,0019	0,0028	0,0038	0,0114	0,0042	0,0561	0,0034
84	0,0608	0,0022	0,0023	0,0018	0,0019	0,0036	0,0039	0,0029	0,0333	0,0169
85	0,0626	0,0014	0,0020	0,0022	0,0026	0,0025	0,0036	0,0035	0,0030	0,0063
86	0,0595	0,0025	0,0024	0,0019	0,0023	0,0029	0,0045	0,0086	0,0046	0,0046
87	0,0600	0,0018	0,0015	0,0030	0,0024	0,0042	0,0040	0,0060	0,0178	0,0035
88	0,0620	0,0023	0,0021	0,0017	0,0024	0,0029	0,0029	0,0030	0,0205	0,0224
89	0,0609	0,0019	0,0022	0,0024	0,0025	0,0027	0,0033	0,0162	0,0175	0,0058
90	0,0586	0,0023	0,0016	0,0023	0,0028	0,0031	0,0029	0,0034	n.a.	0,0029
91	0,0616	0,0017	0,0018	0,0024	0,0034	0,0024	0,0032	0,0079	0,0104	0,0074
92	0,0632	0,0021	0,0018	0,0019	0,0020	0,0021	0,0051	0,0036	0,0056	0,0029
93	0,0601	0,0021	0,0017	0,0017	0,0027	0,0024	0,0030	0,0050	0,0405	0,0039
94	0,0620	0,0023	0,0021	0,0028	0,0022	0,0025	0,0021	0,0057	0,0318	0,0057
95	0,0600	0,0021	0,0024	0,0021	0,0023	0,0028	0,0089	0,0260	0,0196	0,0441
96	0,0556	0,0022	0,0015	0,0026	0,0018	0,0042	0,0024	0,0171	0,0030	0,0036
97	0,0605	0,0023	0,0020	0,0023	0,0023	0,0026	0,0030	0,0198	0,0177	0,0215
98	0,0583	0,0018	0,0019	0,0020	0,0032	0,0028	0,0027	0,0044	0,0806	0,0035
99	0,0596	0,0020	0,0016	0,0025	0,0027	0,0030	0,0033	0,0053	0,0045	0,0187
100	0,0643	0,0019	0,0017	0,0025	0,0022	0,0027	0,0029	0,0032	0,0032	0,0076

2. Modell M1 span 3

Tabelle 7: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=3)

lock-in tick für span =3										
	li									
run number	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	533	464	417	544	554	3392	634	2946	724	3009
2	503	447	565	560	752	1307	1934	1145	1742	1576
3	484	491	436	488	695	783	926	2028	1175	2405
4	703	348	451	406	818	1685	948	899	1582	820
5	561	412	394	496	626	652	1457	864	2091	1791
6	676	414	504	550	763	988	824	2738	1522	2073
7	548	446	506	529	1158	562	917	746	794	973

8	504	427	545	509	501	662	780	1892	2008	960
9	495	390	433	708	582	551	915	1047	852	1068
10	464	475	404	572	759	699	1224	2095	1299	1378
11	498	400	536	683	639	703	1428	1007	1448	1482
12	424	544	430	473	607	1369	1387	860	992	661
13	400	384	466	535	681	1537	924	3355	910	891
14	538	533	339	409	600	1494	1721	1994	2628	1562
15	480	452	413	626	861	689	732	952	1579	2121
16	544	369	609	483	513	1053	2403	1838	742	2427
17	651	347	388	729	890	696	1652	1023	1045	677
18	462	443	477	627	637	1359	2339	849	1026	1007
19	536	510	487	539	557	688	1224	1355	1709	1542
20	728	455	635	450	507	742	2291	836	1525	690
21	623	478	505	562	802	601	883	745	1433	1119
22	600	417	508	734	794	794	995	1123	1967	1553
23	545	477	694	610	883	873	2019	1064	2322	1114
24	686	419	526	417	680	932	1334	641	1611	2185
25	613	580	409	515	829	788	1751	989	1107	1204
26	478	442	529	627	658	974	731	1219	1345	946
27	520	570	413	400	1005	536	992	1173	1792	1464
28	897	509	564	801	884	965	1843	882	934	3559
29	438	503	560	574	635	719	1367	999	1873	937
30	653	516	664	508	742	628	1105	1201	3093	1463
31	568	526	467	457	927	690	1442	2458	760	1681
32	468	388	372	506	801	818	948	602	5555	1168
33	685	348	582	658	536	1308	902	654	2690	1374
34	498	439	727	553	472	1260	626	1111	1602	621
35	619	448	607	602	795	658	648	2530	4122	1088
36	518	687	387	419	633	709	1098	1467	1964	2039
37	570	397	461	449	549	687	1763	940	3635	1296
38	489	396	514	470	519	2043	956	915	1379	1555
39	694	634	592	664	942	649	2200	1263	982	863
40	462	448	492	638	761	1070	1420	744	1418	1674
41	504	443	502	787	848	819	1264	1234	1247	844
42	592	451	449	459	808	713	1214	920	945	929
43	515	465	424	764	1033	1024	1229	3867	830	989
44	574	458	399	783	529	715	893	3717	875	1158
45	493	660	447	374	523	1302	568	871	2621	1717
46	586	432	480	496	481	785	2162	2032	1184	703
47	596	373	529	491	691	712	970	2363	839	691
48	509	423	443	681	642	1044	1502	764	1086	1983
49	535	330	466	586	615	604	799	902	1174	1708
50	476	348	469	570	675	1664	858	2511	2452	739
51	595	521	517	685	614	1435	595	617	896	1317
52	640	825	546	445	527	905	794	745	686	2427
53	400	411	589	715	793	830	845	1179	1292	1604
54	558	550	494	568	808	1140	1485	1165	1228	1807
55	591	386	513	567	702	775	1132	1519	1968	813
56	461	426	509	524	487	971	1377	1655	1509	2631
57	563	463	460	568	590	673	1077	809	1196	1028
58	489	427	478	473	582	1263	1368	1901	1574	1700
59	551	364	671	645	856	1703	1902	1263	1834	1383
60	540	416	610	436	727	658	700	1109	936	941
61	455	406	432	410	711	1212	1223	1651	646	2939
62	578	409	458	548	863	765	1240	921	1374	1093
63	434	464	546	827	909	2156	1207	1481	2441	809
64	544	481	400	525	672	924	1594	754	1197	847

65	660	401	457	664	764	721	834	832	1135	738
66	442	472	500	651	652	858	1295	1394	1425	3996
67	508	397	440	545	653	671	876	1720	1213	1027
68	588	475	491	414	482	679	816	1141	788	786
69	513	455	522	451	679	1012	1116	2067	1325	1397
70	495	498	667	526	578	946	1380	1305	1875	485
71	537	462	795	464	672	787	1899	592	749	1824
72	648	516	477	634	1036	3229	1398	1342	1927	753
73	544	453	471	505	547	658	594	1449	1021	789
74	539	706	550	464	565	858	736	1374	2230	1478
75	648	409	548	583	633	752	2143	734	1622	706
76	492	423	393	565	605	1749	1011	1024	1520	854
77	508	463	451	559	963	586	636	833	1067	682
78	547	493	621	489	904	1885	909	858	802	1216
79	611	460	421	1013	649	776	1317	2025	1618	863
80	551	431	768	642	839	1726	656	904	833	3038
81	520	461	435	538	568	829	1346	506	948	1105
82	560	805	691	511	627	1014	596	1116	689	2182
83	517	452	640	642	993	1052	1479	1206	1588	1289
84	492	389	444	437	586	1956	1604	1871	999	720
85	511	380	560	503	968	1082	743	1522	872	691
86	774	513	515	521	753	695	882	550	613	1408
87	535	382	481	560	793	1732	1055	998	2088	1931
88	422	349	342	550	539	484	735	776	575	1082
89	554	432	432	401	855	2109	908	2384	1942	1358
90	454	543	381	446	699	1113	3360	915	1155	1658
91	466	529	419	615	1116	680	1400	1202	863	2153
92	559	423	447	449	720	1177	1607	1053	981	2355
93	438	656	691	444	700	706	879	712	1901	825
94	468	369	390	463	703	905	888	1441	3611	1297
95	504	381	428	652	647	1280	848	1011	1282	1134
96	716	426	377	465	585	753	901	4055	4098	1299
97	556	376	387	527	495	615	682	4407	1209	1476
98	525	373	454	526	620	838	892	746	790	3437
99	669	446	377	507	682	801	1326	948	1078	1032
100	442	513	470	429	938	801	1767	700	1125	825

Tabelle 8: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=3)

lock-in Dauer für span =3										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	5468	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1448	5455
2	5498	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3715	5455
3	5517	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4187
4	5298	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2816	4866
5	5440	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
6	5325	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
7	5453	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2447
8	5497	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
9	5506	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3589
10	5537	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4785	5455	5455
11	5503	5455	5455	5455	5455	5455	5455	682	1321	5455
12	5577	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	436
13	5601	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2957	984

14	5463	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3198	4153	5455
15	5521	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4064	5455
16	5457	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3228
17	5350	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1443
18	5539	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4229	825
19	5465	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1527	5455	3545
20	5273	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	415	5455	710
21	5378	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1676	5455
22	5401	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
23	5456	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3251	5455	1731
24	5315	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
25	5388	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	691	5455	5455
26	5523	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
27	5481	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3744	2644	1260
28	5104	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
29	5563	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1718	2976
30	5348	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
31	5433	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3085	383	5455
32	5533	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
33	5316	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4167
34	5503	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4643	4321
35	5382	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4401	5455
36	5483	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3429	5455	3768
37	5431	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4168	3595	3110
38	5512	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1370
39	5307	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3282	1794	3118
40	5539	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3588	5455	5455
41	5497	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2620	601
42	5409	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	952
43	5486	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5351	4678
44	5427	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	800	5455
45	5508	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2240	4489
46	5415	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2226	5455	5455
47	5405	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1777	5455
48	5492	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3668	5455
49	5466	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2569	5455	3451
50	5525	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4938	5455	1107
51	5406	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3546	5455	5455
52	5361	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2082	4826	5455
53	5601	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
54	5443	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2103	1051	2222
55	5410	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2789	5455
56	5540	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2407	3853	5455
57	5438	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2443	5455	2831
58	5512	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3515	5410
59	5450	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5072	5455
60	5461	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	862	4750
61	5546	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2244	5455
62	5423	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1211	1064
63	5567	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
64	5457	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2040	4823
65	5341	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1517	1993
66	5559	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1811	5455	4398
67	5493	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2177	5455	845
68	5413	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1188	856
69	5488	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4083	5455	1526
70	5506	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4682	5455

71	5464	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1631	5455	1355
72	5353	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3181	5455
73	5457	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
74	5462	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2549	5455	3125
75	5353	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2188	5455
76	5509	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2186	1000
77	5493	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
78	5454	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	4181
79	5390	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
80	5450	5455	5455	5455	5455	5455	5455	698	5455	5455
81	5481	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1105	5455
82	5441	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
83	5484	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3864	5455
84	5509	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1450	3187
85	5490	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3117	4031	5455
86	5227	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1893	1235	3101
87	5466	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1848	5455
88	5579	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2558	5455	3238
89	5447	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3082	5455
90	5547	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2552
91	5535	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2980	5455
92	5442	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
93	5563	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3701	5455
94	5533	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	1316
95	5497	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
96	5285	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
97	5445	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455
98	5476	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2971	5455
99	5332	5455	5455	5455	5455	5455	5455	2255	2286	4075
100	5559	5455	5455	5455	5455	5455	5455	5455	3328	5455

Tabelle 9: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=3)

lock-in-Korridor für span =3										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	0,0621	0,0026	0,0018	0,0022	0,0023	0,0069	0,0046	0,0069	0,0207	0,0047
2	0,0571	0,0021	0,0021	0,0022	0,0025	0,0034	0,0027	0,0025	0,0173	0,0019
3	0,0588	0,0022	0,0021	0,0025	0,0030	0,0017	0,0028	0,0094	0,0110	0,0188
4	0,0596	0,0020	0,0021	0,0023	0,0023	0,0037	0,0045	0,0043	0,0152	0,0084
5	0,0561	0,0022	0,0021	0,0027	0,0023	0,0028	0,0040	0,0034	0,0039	0,0048
6	0,0599	0,0026	0,0025	0,0022	0,0028	0,0022	0,0024	0,0044	0,0024	0,0030
7	0,0641	0,0017	0,0018	0,0019	0,0019	0,0024	0,0067	0,0019	0,0023	0,0186
8	0,0649	0,0022	0,0021	0,0024	0,0022	0,0014	0,0029	0,0029	0,0041	0,0058
9	0,0600	0,0014	0,0022	0,0024	0,0019	0,0018	0,0029	0,0118	0,0033	0,0061
10	0,0606	0,0022	0,0019	0,0022	0,0028	0,0038	0,0052	0,0122	0,0022	0,0033
11	0,0576	0,0020	0,0023	0,0029	0,0025	0,0030	0,0027	0,0857	0,0831	0,0048
12	0,0630	0,0016	0,0025	0,0022	0,0022	0,0033	0,0065	0,0033	0,0021	0,0599
13	0,0615	0,0017	0,0021	0,0026	0,0019	0,0029	0,0023	0,0048	0,0086	0,0320
14	0,0566	0,0021	0,0016	0,0025	0,0027	0,0024	0,0028	0,0172	0,0165	0,0023
15	0,0604	0,0018	0,0022	0,0015	0,0020	0,0027	0,0025	0,0072	0,0077	0,0050
16	0,0597	0,0024	0,0022	0,0016	0,0029	0,0024	0,0038	0,0032	0,0029	0,0174
17	0,0598	0,0020	0,0022	0,0025	0,0033	0,0018	0,0032	0,0031	0,0038	0,0186
18	0,0563	0,0020	0,0023	0,0022	0,0023	0,0024	0,0083	0,0023	0,0130	0,0852
19	0,0612	0,0016	0,0022	0,0019	0,0034	0,0035	0,0032	0,0369	0,0045	0,0099
20	0,0616	0,0023	0,0017	0,0027	0,0016	0,0027	0,0071	0,1061	0,0030	0,0413

21	0,0610	0,0020	0,0020	0,0018	0,0026	0,0020	0,0026	0,0059	0,0226	0,0021
22	0,0577	0,0020	0,0020	0,0021	0,0021	0,0020	0,0020	0,0024	0,0037	0,0022
23	0,0611	0,0023	0,0020	0,0017	0,0028	0,0028	0,0023	0,0155	0,0038	0,0165
24	0,0618	0,0017	0,0025	0,0020	0,0018	0,0021	0,0027	0,0024	0,0038	0,0042
25	0,0589	0,0018	0,0020	0,0022	0,0015	0,0022	0,0040	0,1010	0,0026	0,0031
26	0,0643	0,0016	0,0023	0,0021	0,0020	0,0025	0,0026	0,0028	0,0027	0,0028
27	0,0593	0,0015	0,0017	0,0018	0,0022	0,0025	0,0033	0,0099	0,0185	0,0991
28	0,0627	0,0017	0,0023	0,0019	0,0026	0,0034	0,0029	0,0034	0,0028	0,0046
29	0,0589	0,0017	0,0020	0,0019	0,0020	0,0019	0,0047	0,0022	0,0615	0,0068
30	0,0625	0,0019	0,0020	0,0023	0,0023	0,0023	0,0026	0,0053	0,0038	0,0026
31	0,0592	0,0018	0,0020	0,0018	0,0022	0,0025	0,0026	0,0329	0,1011	0,0050
32	0,0594	0,0019	0,0018	0,0023	0,0020	0,0019	0,0019	0,0025	0,0352	0,0022
33	0,0581	0,0022	0,0020	0,0020	0,0013	0,0026	0,0029	0,0107	0,0037	0,0089
34	0,0602	0,0021	0,0021	0,0020	0,0026	0,0025	0,0041	0,0020	0,0078	0,0061
35	0,0584	0,0016	0,0016	0,0026	0,0028	0,0024	0,0020	0,0035	0,0346	0,0024
36	0,0623	0,0019	0,0019	0,0014	0,0022	0,0023	0,0019	0,0138	0,0045	0,0093
37	0,0601	0,0022	0,0022	0,0021	0,0026	0,0018	0,0072	0,0104	0,0580	0,0139
38	0,0643	0,0021	0,0023	0,0020	0,0017	0,0051	0,0035	0,0026	0,0028	0,0565
39	0,0574	0,0022	0,0021	0,0019	0,0027	0,0028	0,0031	0,0108	0,0131	0,0149
40	0,0583	0,0016	0,0019	0,0022	0,0022	0,0019	0,0051	0,0068	0,0027	0,0038
41	0,0614	0,0022	0,0020	0,0020	0,0025	0,0061	0,0024	0,0058	0,0139	0,0609
42	0,0593	0,0015	0,0025	0,0017	0,0024	0,0028	0,0042	0,0015	0,0029	0,0458
43	0,0598	0,0019	0,0024	0,0027	0,0035	0,0025	0,0025	0,0054	0,0123	0,0073
44	0,0576	0,0015	0,0019	0,0022	0,0026	0,0025	0,0052	0,0052	0,0753	0,0029
45	0,0596	0,0014	0,0015	0,0022	0,0017	0,0034	0,0040	0,0019	0,0974	0,0083
46	0,0605	0,0017	0,0023	0,0022	0,0028	0,0022	0,0077	0,0419	0,0086	0,0024
47	0,0593	0,0025	0,0023	0,0021	0,0015	0,0023	0,0060	0,0034	0,0155	0,0025
48	0,0619	0,0016	0,0019	0,0026	0,0016	0,0025	0,0029	0,0029	0,0079	0,0033
49	0,0558	0,0017	0,0022	0,0018	0,0027	0,0024	0,0029	0,0111	0,0051	0,0107
50	0,0607	0,0018	0,0022	0,0016	0,0025	0,0049	0,0025	0,0120	0,0042	0,0327
51	0,0565	0,0020	0,0018	0,0028	0,0022	0,0029	0,0022	0,0068	0,0026	0,0019
52	0,0606	0,0029	0,0020	0,0016	0,0019	0,0023	0,0031	0,0120	0,0062	0,0038
53	0,0593	0,0015	0,0018	0,0022	0,0017	0,0026	0,0053	0,0030	0,0028	0,0036
54	0,0592	0,0019	0,0018	0,0023	0,0020	0,0026	0,0096	0,0141	0,0625	0,0324
55	0,0592	0,0022	0,0018	0,0018	0,0020	0,0038	0,0044	0,0027	0,0195	0,0124
56	0,0620	0,0017	0,0019	0,0021	0,0028	0,0051	0,0031	0,0248	0,0069	0,0056
57	0,0597	0,0022	0,0025	0,0021	0,0020	0,0038	0,0060	0,0173	0,0031	0,0081
58	0,0624	0,0015	0,0020	0,0022	0,0023	0,0022	0,0034	0,0038	0,0106	0,0045
59	0,0614	0,0020	0,0020	0,0020	0,0024	0,0042	0,0029	0,0036	0,0058	0,0032
60	0,0614	0,0018	0,0019	0,0022	0,0021	0,0026	0,0045	0,0029	0,0787	0,0062
61	0,0593	0,0018	0,0018	0,0021	0,0021	0,0039	0,0118	0,0047	0,0135	0,0045
62	0,0586	0,0019	0,0022	0,0027	0,0029	0,0017	0,0024	0,0027	0,0581	0,0493
63	0,0588	0,0018	0,0020	0,0029	0,0024	0,0029	0,0018	0,0200	0,0045	0,0022
64	0,0591	0,0018	0,0018	0,0020	0,0021	0,0026	0,0032	0,0131	0,0219	0,0038
65	0,0585	0,0020	0,0021	0,0025	0,0021	0,0020	0,0022	0,0017	0,0238	0,0106
66	0,0597	0,0019	0,0020	0,0025	0,0036	0,0038	0,0025	0,0293	0,0027	0,0236
67	0,0640	0,0021	0,0023	0,0023	0,0022	0,0022	0,0024	0,0388	0,0047	0,0566
68	0,0626	0,0018	0,0023	0,0021	0,0023	0,0024	0,0022	0,0036	0,0229	0,0501
69	0,0601	0,0021	0,0018	0,0021	0,0020	0,0028	0,0072	0,0152	0,0034	0,0431
70	0,0618	0,0016	0,0023	0,0021	0,0016	0,0024	0,0056	0,0051	0,0156	0,0019
71	0,0575	0,0020	0,0021	0,0021	0,0027	0,0023	0,0064	0,0307	0,0024	0,1060
72	0,0645	0,0021	0,0019	0,0019	0,0027	0,0040	0,0065	0,0017	0,0145	0,0112
73	0,0625	0,0023	0,0018	0,0019	0,0025	0,0028	0,0022	0,0021	0,0026	0,0024
74	0,0613	0,0022	0,0024	0,0021	0,0023	0,0035	0,0030	0,0171	0,0031	0,0109
75	0,0603	0,0016	0,0015	0,0017	0,0017	0,0028	0,0037	0,0018	0,0187	0,0023
76	0,0619	0,0018	0,0019	0,0021	0,0016	0,0035	0,0036	0,0127	0,0228	0,0347
77	0,0600	0,0020	0,0019	0,0026	0,0024	0,0027	0,0024	0,0030	0,0037	0,0024

78	0,0595	0,0016	0,0026	0,0019	0,0024	0,0026	0,0026	0,0021	0,0027	0,0077
79	0,0594	0,0013	0,0018	0,0025	0,0027	0,0025	0,0050	0,0021	0,0027	0,0027
80	0,0622	0,0019	0,0024	0,0022	0,0025	0,0030	0,0039	0,0685	0,0017	0,0065
81	0,0649	0,0015	0,0020	0,0016	0,0019	0,0023	0,0029	0,0017	0,0380	0,0022
82	0,0566	0,0023	0,0023	0,0026	0,0026	0,0029	0,0032	0,0036	0,0019	0,0040
83	0,0606	0,0020	0,0018	0,0019	0,0020	0,0021	0,0025	0,0129	0,0072	0,0030
84	0,0641	0,0018	0,0019	0,0021	0,0036	0,0043	0,0049	0,0036	0,0222	0,0062
85	0,0630	0,0014	0,0030	0,0024	0,0024	0,0035	0,0060	0,0124	0,0058	0,0037
86	0,0627	0,0017	0,0019	0,0020	0,0030	0,0026	0,0020	0,0143	0,0250	0,0097
87	0,0597	0,0022	0,0019	0,0025	0,0025	0,0029	0,0047	0,0026	0,0683	0,0048
88	0,0606	0,0020	0,0021	0,0024	0,0018	0,0023	0,0033	0,0156	0,0020	0,0105
89	0,0614	0,0015	0,0020	0,0023	0,0024	0,0027	0,0022	0,0048	0,0114	0,0026
90	0,0583	0,0015	0,0019	0,0021	0,0023	0,0019	0,0202	0,0025	0,0032	0,0183
91	0,0593	0,0017	0,0024	0,0024	0,0025	0,0026	0,0026	0,0091	0,0080	0,0051
92	0,0580	0,0016	0,0019	0,0028	0,0028	0,0018	0,0060	0,0029	0,0024	0,0166
93	0,0587	0,0019	0,0028	0,0025	0,0024	0,0027	0,0031	0,0126	0,0132	0,0030
94	0,0577	0,0025	0,0019	0,0021	0,0021	0,0025	0,0017	0,0037	0,0041	0,0440
95	0,0643	0,0018	0,0021	0,0016	0,0025	0,0030	0,0022	0,0037	0,0032	0,0028
96	0,0595	0,0023	0,0023	0,0020	0,0025	0,0035	0,0025	0,0058	0,0125	0,0032
97	0,0556	0,0016	0,0024	0,0021	0,0026	0,0019	0,0022	0,0094	0,0027	0,0030
98	0,0593	0,0018	0,0016	0,0022	0,0025	0,0024	0,0024	0,0019	0,0096	0,0073
99	0,0600	0,0018	0,0018	0,0017	0,0024	0,0024	0,0030	0,0129	0,0132	0,0065
100	0,0590	0,0021	0,0020	0,0021	0,0024	0,0020	0,0066	0,0031	0,0101	0,0102

3. Modell M1 span 5

Tabelle 10: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=5)

lock-in tick für span =5										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	575	480	473	598	436	546	786	647	849	957
2	534	398	847	453	756	696	755	591	593	771
3	412	433	504	803	565	776	984	529	662	675
4	611	458	471	403	726	954	1644	957	1955	1942
5	677	407	749	1035	421	972	1371	793	809	797
6	494	572	439	367	531	731	508	1115	875	1213
7	551	662	411	747	477	997	976	1616	750	1108
8	481	371	551	554	445	1089	764	698	1835	593
9	540	527	612	517	631	834	920	1087	651	610
10	474	421	593	559	417	684	787	1115	925	662
11	529	363	384	441	457	681	1095	742	1578	500
12	389	561	388	456	431	1617	508	1563	1666	865
13	647	466	488	517	395	600	715	596	594	667
14	519	501	579	640	617	633	1196	597	961	783
15	563	420	411	556	583	1209	792	643	823	1200
16	546	567	552	429	470	666	882	732	632	659
17	579	464	497	553	688	602	747	892	1218	1273
18	529	475	424	467	653	571	721	1902	1483	3247
19	564	413	805	694	492	1387	1612	612	677	498
20	617	383	569	846	545	819	2374	891	611	684
21	566	596	488	497	508	500	645	550	731	1168
22	528	357	574	575	761	646	656	1056	624	1076
23	513	464	434	760	475	1217	923	1085	1242	655
24	529	457	498	461	635	675	877	1502	1358	2095
25	905	470	467	549	906	980	1216	486	815	1608

26	520	451	412	717	482	1392	1290	1175	1176	693
27	661	525	416	484	440	839	637	1007	697	1879
28	497	380	554	501	434	682	791	1273	617	554
29	472	424	444	451	581	976	637	840	1291	860
30	639	353	452	427	747	884	1099	762	768	676
31	535	334	462	494	575	535	1566	1547	1960	793
32	461	518	674	795	447	828	629	1546	1090	1328
33	508	361	451	435	426	1829	650	824	545	653
34	445	556	445	342	721	1257	1110	519	586	642
35	568	510	603	395	476	803	619	1095	1458	499
36	555	366	444	695	604	857	562	1075	1022	866
37	537	369	410	578	502	1166	570	1181	1192	802
38	592	348	808	445	503	961	806	685	798	591
39	544	372	528	491	687	436	508	1106	989	503
40	538	393	376	569	503	584	846	763	1167	483
41	473	410	332	482	457	653	769	644	1485	681
42	464	408	538	474	420	497	533	2821	1156	691
43	532	518	563	420	662	580	1201	1070	813	1177
44	573	435	625	429	716	1455	1161	832	607	1050
45	499	467	764	460	744	735	982	1008	855	701
46	575	480	473	598	436	546	786	647	849	957
47	444	367	433	735	523	431	1075	1184	542	539
48	516	421	409	587	536	695	546	457	2192	916
49	643	417	417	472	656	896	516	652	1989	634
50	502	450	391	474	452	768	1274	882	724	1824
51	642	346	380	510	477	951	776	801	1433	1520
52	441	382	485	561	668	1950	1808	888	754	649
53	621	386	790	488	435	418	727	1599	578	1228
54	484	437	390	686	1212	620	1030	1430	1608	1705
55	699	405	412	767	529	522	1451	579	818	693
56	554	536	416	473	499	622	581	883	748	678
57	638	350	424	527	699	535	714	818	1214	624
58	522	917	349	392	534	585	652	1065	704	1431
59	721	340	446	471	449	571	2091	1029	1530	502
60	529	507	344	402	610	612	648	1223	487	1154
61	444	473	449	397	560	1480	1261	1134	1623	1263
62	624	416	422	498	491	636	456	666	1598	594
63	645	515	428	408	517	718	1215	2187	1797	776
64	510	508	499	651	480	867	614	1519	1486	1304
65	608	449	367	563	685	1107	649	625	956	698
66	553	655	484	349	469	894	963	560	1026	773
67	617	459	423	480	538	1058	1130	696	530	1480
68	418	350	452	397	702	809	572	1451	676	1659
69	503	561	497	459	459	511	667	1138	1876	561
70	621	446	363	530	620	542	1171	835	1195	1420
71	479	437	360	510	458	869	855	723	1071	1060
72	472	468	492	558	650	610	612	1493	1039	836
73	708	403	348	451	859	873	663	1088	1174	732
74	580	552	407	588	965	657	1005	973	534	640
75	499	401	462	514	653	992	508	2270	693	699
76	513	804	459	474	453	814	1274	654	614	626
77	632	425	812	475	700	592	671	1176	1026	765
78	598	468	547	429	573	538	473	650	747	851
79	463	371	384	506	722	461	1297	1112	774	676
80	660	331	455	554	569	566	1577	753	913	1275
81	714	367	373	487	875	617	726	1257	1549	1383
82	524	575	534	727	725	544	1001	915	572	1262

83	786	425	369	614	798	572	505	1739	962	1458
84	527	415	451	690	526	770	920	870	640	1012
85	578	395	471	411	436	734	619	1467	561	1219
86	472	584	524	695	526	586	557	641	926	1761
87	515	403	389	720	1071	462	707	826	1414	949
88	436	459	389	399	494	618	639	603	577	3558
89	641	484	462	511	550	1336	1258	643	529	759
90	499	617	404	513	468	555	1484	1273	486	1475
91	569	499	342	533	724	772	584	715	924	1011
92	516	544	449	787	638	1780	1598	578	586	768
93	512	409	372	563	445	581	635	1108	633	554
94	467	361	577	556	654	846	816	671	983	804
95	424	443	612	559	527	453	1707	725	2077	507
96	638	438	439	575	658	612	1340	827	3114	1366
97	542	674	572	856	406	558	1068	1232	791	1020
98	623	415	586	685	598	543	1243	645	948	629
99	439	418	356	466	523	580	676	484	896	2105
100	545	543	344	440	532	519	1027	856	831	567

Tabelle 11: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=5)

lock-in Dauer für span =5										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	5587	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1699	1208	5451
2	5467	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	698	5451
3	5589	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3055	5451	5451
4	5390	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3154	5451	2402
5	5324	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3737	2462
6	5507	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4494	5451	3974
7	5450	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2197	5451
8	5520	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1135	5451	2118
9	5461	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2552	5386	5451
10	5527	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
11	5472	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
12	5612	5451	5451	5451	5451	5451	3271	5451	2299	5451
13	5354	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5269	1470
14	5482	5451	5451	5451	5451	5451	4844	5451	5451	5451
15	5438	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1650	4452	2297
16	5455	5451	5451	5451	5451	5451	5451	455	5451	3462
17	5422	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3618	3604	1265
18	5472	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
19	5437	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5082	5451	5451
20	5384	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1979	5451	2336
21	5435	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1063	5451	5451
22	5473	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1968	5451	5451
23	5488	5451	5451	5451	5451	5451	1005	4042	5451	4703
24	5472	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3829	5451
25	5096	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
26	5481	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2324	514
27	5340	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3084
28	5504	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1083
29	5529	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
30	5362	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4628	4937

31	5466	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
32	5540	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
33	5493	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
34	5556	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
35	5433	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
36	5446	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5372	4619	1828	
37	5464	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4950	5451	5451	
38	5409	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2648	5451	
39	5457	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1875	3783	3281	
40	5463	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	
41	5528	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4341	1988	
42	5537	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2357	
43	5469	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	
44	5428	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	
45	5502	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5327	
46	5426	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3291	
47	5557	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2711	5451	1250	
48	5485	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4103	
49	5358	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4184	5451	5451	
50	5499	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5043	1296	1770	
51	5359	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3719	5451	3802	
52	5560	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2389	5451	2375	
53	5380	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3492	1436	
54	5517	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	
55	5302	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3585	5451	3297	
56	5447	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1373	5451	696	
57	5363	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1815	
58	5479	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1602	3409	5451	
59	5280	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5062	5451	2568	
60	5472	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2936	5451	4792	
61	5557	5451	5451	5451	5451	5451	976	3286	5451	5451	
62	5377	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3427	2340	1131	
63	5356	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2620	2581	
64	5491	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1421	5451	1598	
65	5393	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3872	5451	5451	
66	5448	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1841	5451	5451	
67	5384	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1408	5451	3989	
68	5583	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3383	5451	5451	
69	5498	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2412	5451	
70	5380	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2302	5451	
71	5522	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3969	5451	3081	
72	5529	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4346	
73	5293	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2892	5451	5451	
74	5421	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1374	2777	
75	5502	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	
76	5488	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3900	5451	
77	5369	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	
78	5403	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4308	1702	5451	
79	5538	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	
80	5341	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2485	5451	4771	
81	5287	5451	5451	5451	5451	5451	2060	5451	4629	3842	
82	5477	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3311	298	1659	
83	5215	5451	5451	5451	5451	5451	297	5451	1117	4145	
84	5474	5451	5451	5451	5451	5451	5451	4332	5451	2984	
85	5423	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2433	5451	
86	5529	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	840	2182	
87	5486	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	

88	5565	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3157	5451
89	5360	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
90	5502	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1330	5451
91	5432	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	3590	5451
92	5485	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	483
93	5489	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	331	2242
94	5534	5451	5451	5451	5451	5451	5451	969	1498	5451
95	5577	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	2358
96	5363	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
97	5459	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451
98	5378	5451	5451	5451	5451	5451	5451	5451	1108	409
99	5562	5451	5451	5451	5451	5451	5451	552	5451	5451
100	5456	5451	5451	5451	5451	5451	5451	670	5451	3691

Tabelle 12: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=5)

lock-in-Korridor für span =5										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	0,0630	0,0020	0,0020	0,0016	0,0024	0,0021	0,0021	0,0062	0,0027	0,0064
2	0,0603	0,0015	0,0019	0,0025	0,0023	0,0017	0,0023	0,0024	0,0328	0,0027
3	0,0554	0,0018	0,0018	0,0017	0,0026	0,0036	0,0030	0,0059	0,0090	0,0028
4	0,0649	0,0021	0,0025	0,0022	0,0021	0,0028	0,0062	0,0077	0,0038	0,0270
5	0,0591	0,0017	0,0017	0,0033	0,0018	0,0025	0,0048	0,0019	0,0071	0,0076
6	0,0611	0,0026	0,0018	0,0022	0,0018	0,0031	0,0049	0,0073	0,0026	0,0068
7	0,0628	0,0018	0,0017	0,0034	0,0028	0,0026	0,0022	0,0030	0,0102	0,0093
8	0,0597	0,0023	0,0018	0,0019	0,0018	0,0030	0,0022	0,0207	0,0036	0,0122
9	0,0611	0,0021	0,0020	0,0014	0,0021	0,0022	0,0022	0,0114	0,0035	0,0021
10	0,0601	0,0022	0,0018	0,0025	0,0022	0,0023	0,0144	0,0026	0,0115	0,0050
11	0,0614	0,0018	0,0029	0,0018	0,0025	0,0026	0,0033	0,0020	0,0025	0,0030
12	0,0632	0,0019	0,0023	0,0024	0,0019	0,0029	0,0074	0,0028	0,0225	0,0027
13	0,0637	0,0020	0,0018	0,0021	0,0020	0,0021	0,0032	0,0022	0,0042	0,0186
14	0,0637	0,0017	0,0025	0,0020	0,0028	0,0022	0,0048	0,0021	0,0023	0,0027
15	0,0616	0,0022	0,0018	0,0020	0,0033	0,0027	0,0029	0,0138	0,0048	0,0143
16	0,0622	0,0022	0,0018	0,0023	0,0016	0,0017	0,0033	0,0806	0,0093	0,0151
17	0,0603	0,0025	0,0016	0,0017	0,0021	0,0017	0,0019	0,0182	0,0107	0,0351
18	0,0578	0,0019	0,0019	0,0016	0,0043	0,0024	0,0104	0,0035	0,0028	0,0045
19	0,0641	0,0024	0,0029	0,0022	0,0021	0,0021	0,0035	0,0059	0,0029	0,0021
20	0,0615	0,0026	0,0019	0,0031	0,0020	0,0032	0,0032	0,0142	0,0025	0,0086
21	0,0598	0,0021	0,0022	0,0016	0,0031	0,0036	0,0027	0,0223	0,0022	0,0020
22	0,0583	0,0018	0,0019	0,0021	0,0030	0,0023	0,0017	0,0151	0,0017	0,0023
23	0,0611	0,0015	0,0022	0,0018	0,0021	0,0033	0,0726	0,0078	0,0026	0,0036
24	0,0599	0,0017	0,0015	0,0021	0,0023	0,0029	0,0018	0,0022	0,0064	0,0028
25	0,0618	0,0019	0,0022	0,0026	0,0027	0,0027	0,0044	0,0021	0,0022	0,0033
26	0,0594	0,0020	0,0026	0,0024	0,0022	0,0026	0,0029	0,0018	0,0151	0,0638
27	0,0561	0,0017	0,0017	0,0017	0,0023	0,0027	0,0024	0,0022	0,0023	0,0096
28	0,0600	0,0021	0,0031	0,0020	0,0015	0,0022	0,0024	0,0024	0,0028	0,0184
29	0,0593	0,0019	0,0020	0,0017	0,0022	0,0058	0,0017	0,0021	0,0027	0,0034
30	0,0625	0,0020	0,0018	0,0018	0,0017	0,0017	0,0039	0,0025	0,0047	0,0057
31	0,0581	0,0022	0,0016	0,0023	0,0025	0,0025	0,0026	0,0027	0,0031	0,0046
32	0,0601	0,0023	0,0020	0,0020	0,0027	0,0024	0,0101	0,0033	0,0024	0,0021
33	0,0629	0,0020	0,0017	0,0025	0,0025	0,0026	0,0025	0,0096	0,0019	0,0025
34	0,0608	0,0029	0,0019	0,0020	0,0023	0,0023	0,0021	0,0023	0,0027	0,0019
35	0,0607	0,0021	0,0021	0,0018	0,0018	0,0033	0,0022	0,0030	0,0029	0,0024
36	0,0600	0,0022	0,0018	0,0023	0,0025	0,0018	0,0025	0,0037	0,0100	0,0121

37	0,0593	0,0020	0,0024	0,0015	0,0030	0,0022	0,0016	0,0122	0,0027	0,0049
38	0,0615	0,0014	0,0019	0,0019	0,0033	0,0039	0,0026	0,0033	0,0097	0,0019
39	0,0593	0,0023	0,0021	0,0022	0,0015	0,0021	0,0028	0,0162	0,0067	0,0058
40	0,0586	0,0019	0,0023	0,0022	0,0020	0,0027	0,0029	0,0020	0,0024	0,0016
41	0,0587	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0058	0,0036	0,0020	0,0060	0,0112
42	0,0633	0,0017	0,0026	0,0020	0,0025	0,0025	0,0017	0,0095	0,0088	0,0109
43	0,0592	0,0024	0,0020	0,0017	0,0021	0,0021	0,0018	0,0025	0,0023	0,0025
44	0,0621	0,0020	0,0019	0,0020	0,0023	0,0043	0,0020	0,0018	0,0023	0,0032
45	0,0639	0,0015	0,0023	0,0023	0,0020	0,0026	0,0037	0,0032	0,0026	0,0029
46	0,0630	0,0020	0,0020	0,0016	0,0024	0,0021	0,0021	0,0062	0,0027	0,0064
47	0,0629	0,0017	0,0021	0,0021	0,0018	0,0034	0,0049	0,0162	0,0022	0,0186
48	0,0587	0,0019	0,0018	0,0025	0,0016	0,0020	0,0100	0,0024	0,0044	0,0058
49	0,0612	0,0015	0,0023	0,0026	0,0024	0,0042	0,0020	0,0048	0,0028	0,0017
50	0,0617	0,0018	0,0017	0,0018	0,0012	0,0032	0,0024	0,0045	0,0171	0,0398
51	0,0579	0,0022	0,0018	0,0015	0,0020	0,0033	0,0031	0,0068	0,0028	0,0066
52	0,0586	0,0015	0,0020	0,0034	0,0020	0,0029	0,0027	0,0160	0,0025	0,0092
53	0,0652	0,0021	0,0015	0,0023	0,0016	0,0017	0,0024	0,0171	0,0074	0,0295
54	0,0606	0,0019	0,0023	0,0025	0,0024	0,0022	0,0019	0,0034	0,0110	0,0099
55	0,0614	0,0018	0,0020	0,0023	0,0015	0,0026	0,0024	0,0060	0,0099	0,0068
56	0,0613	0,0017	0,0019	0,0022	0,0021	0,0046	0,0015	0,0474	0,0021	0,0338
57	0,0576	0,0017	0,0022	0,0019	0,0018	0,0019	0,0024	0,0026	0,0024	0,0134
58	0,0618	0,0023	0,0020	0,0019	0,0031	0,0022	0,0063	0,0292	0,0182	0,0026
59	0,0638	0,0021	0,0021	0,0016	0,0024	0,0022	0,0022	0,0056	0,0025	0,0075
60	0,0583	0,0017	0,0015	0,0023	0,0022	0,0024	0,0025	0,0101	0,0026	0,0036
61	0,0596	0,0017	0,0021	0,0028	0,0023	0,0065	0,0808	0,0058	0,0029	0,0029
62	0,0619	0,0018	0,0019	0,0023	0,0018	0,0022	0,0026	0,0062	0,0215	0,0185
63	0,0639	0,0018	0,0023	0,0020	0,0033	0,0031	0,0037	0,0029	0,0440	0,0072
64	0,0607	0,0016	0,0021	0,0025	0,0021	0,0027	0,0046	0,0430	0,0038	0,0205
65	0,0615	0,0017	0,0017	0,0021	0,0023	0,0023	0,0020	0,0065	0,0023	0,0032
66	0,0599	0,0018	0,0021	0,0018	0,0019	0,0023	0,0027	0,0097	0,0178	0,0030
67	0,0596	0,0016	0,0020	0,0018	0,0019	0,0024	0,0023	0,0186	0,0020	0,0053
68	0,0560	0,0015	0,0023	0,0019	0,0028	0,0025	0,0019	0,0126	0,0057	0,0022
69	0,0589	0,0020	0,0018	0,0022	0,0023	0,0034	0,0015	0,0036	0,0352	0,0018
70	0,0624	0,0020	0,0018	0,0014	0,0018	0,0024	0,0031	0,0023	0,0151	0,0060
71	0,0572	0,0022	0,0017	0,0022	0,0016	0,0046	0,0022	0,0097	0,0040	0,0148
72	0,0602	0,0027	0,0013	0,0017	0,0024	0,0022	0,0019	0,0037	0,0023	0,0061
73	0,0607	0,0017	0,0016	0,0018	0,0024	0,0038	0,0023	0,0083	0,0028	0,0039
74	0,0634	0,0017	0,0018	0,0022	0,0018	0,0039	0,0023	0,0045	0,0227	0,0066
75	0,0600	0,0018	0,0015	0,0019	0,0028	0,0030	0,0017	0,0058	0,0023	0,0023
76	0,0624	0,0022	0,0022	0,0017	0,0022	0,0026	0,0082	0,0025	0,0043	0,0018
77	0,0629	0,0022	0,0021	0,0022	0,0029	0,0020	0,0044	0,0028	0,0046	0,0022
78	0,0601	0,0017	0,0017	0,0015	0,0021	0,0030	0,0029	0,0184	0,0145	0,0024
79	0,0578	0,0019	0,0022	0,0021	0,0037	0,0017	0,0038	0,0143	0,0052	0,0022
80	0,0626	0,0021	0,0020	0,0024	0,0039	0,0017	0,0028	0,0183	0,0028	0,0052
81	0,0599	0,0020	0,0020	0,0023	0,0017	0,0032	0,0295	0,0031	0,0059	0,0075
82	0,0591	0,0019	0,0023	0,0021	0,0032	0,0019	0,0041	0,0094	0,0710	0,0151
83	0,0606	0,0019	0,0022	0,0021	0,0022	0,0019	0,0743	0,0052	0,0243	0,0061
84	0,0582	0,0018	0,0019	0,0020	0,0022	0,0033	0,0023	0,0047	0,0019	0,0066
85	0,0575	0,0021	0,0031	0,0020	0,0025	0,0018	0,0017	0,0022	0,0067	0,0023
86	0,0587	0,0022	0,0018	0,0023	0,0020	0,0023	0,0022	0,0074	0,0433	0,0149
87	0,0623	0,0017	0,0023	0,0025	0,0027	0,0021	0,0019	0,0016	0,0133	0,0023
88	0,0571	0,0020	0,0020	0,0021	0,0018	0,0020	0,0023	0,0022	0,0050	0,0066
89	0,0577	0,0023	0,0026	0,0020	0,0020	0,0032	0,0030	0,0023	0,0018	0,0020
90	0,0580	0,0024	0,0021	0,0022	0,0025	0,0022	0,0053	0,0028	0,0135	0,0027
91	0,0574	0,0020	0,0024	0,0020	0,0037	0,0029	0,0019	0,0029	0,0078	0,0025
92	0,0574	0,0021	0,0029	0,0029	0,0023	0,0035	0,0025	0,0021	0,0023	0,0571
93	0,0585	0,0018	0,0020	0,0022	0,0021	0,0025	0,0040	0,0024	0,0826	0,0133

94	0,0591	0,0020	0,0018	0,0025	0,0017	0,0033	0,0028	0,0242	0,0194	0,0031
95	0,0631	0,0028	0,0020	0,0021	0,0021	0,0014	0,0018	0,0025	0,0027	0,0070
96	0,0604	0,0021	0,0019	0,0016	0,0017	0,0029	0,0189	0,0021	0,0073	0,0037
97	0,0581	0,0023	0,0022	0,0027	0,0028	0,0036	0,0026	0,0021	0,0072	0,0023
98	0,0593	0,0022	0,0017	0,0021	0,0033	0,0028	0,0032	0,0022	0,0265	0,0755
99	0,0582	0,0024	0,0023	0,0022	0,0018	0,0028	0,0020	0,0382	0,0031	0,0047
100	0,0595	0,0022	0,0018	0,0020	0,0021	0,0022	0,0040	0,0484	0,0017	0,0053

4. Modell M1 span 10

Tabelle 13: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=10)

lock-in tick für span =10										
	li									
run number	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	589	408	444	488	300	679	696	1129	482	760
2	467	370	514	343	483	622	394	474	653	788
3	647	510	349	451	413	671	1522	884	723	533
4	710	445	516	521	501	792	444	433	669	457
5	603	425	450	449	522	436	821	553	773	407
6	474	440	318	470	563	478	488	495	916	429
7	627	381	342	376	423	540	408	469	418	1066
8	532	402	426	561	809	422	688	777	553	458
9	435	391	463	439	447	593	575	977	454	454
10	616	393	341	358	581	586	470	796	440	523
11	477	473	394	321	430	349	414	676	1333	456
12	522	350	362	460	334	412	481	442	1054	447
13	495	540	384	351	959	469	649	759	461	558
14	512	364	439	416	412	710	803	1561	566	514
15	498	575	543	547	441	372	461	481	839	542
16	545	363	376	344	462	462	491	608	648	421
17	585	550	467	427	453	711	651	461	508	496
18	545	399	515	808	631	542	775	457	478	800
19	517	380	459	529	408	752	1331	652	480	519
20	414	372	399	343	873	456	521	494	518	1391
21	624	481	423	351	384	574	516	619	1401	403
22	532	321	516	614	340	514	379	645	866	973
23	600	559	523	379	429	430	622	484	474	614
24	619	465	355	324	464	390	537	928	442	722
25	465	690	468	396	464	423	947	375	605	465
26	579	502	640	548	436	523	665	538	594	668
27	610	472	337	413	758	447	808	653	611	461
28	635	567	339	379	468	481	807	483	959	906
29	465	442	675	383	405	892	467	748	455	624
30	499	500	417	426	775	659	942	1042	460	597
31	492	423	460	453	648	396	442	1080	543	924
32	512	403	501	345	351	442	797	692	523	560
33	485	408	505	372	424	571	511	702	560	451
34	612	665	484	612	462	511	460	611	746	663
35	543	492	360	418	388	475	468	734	1624	1152
36	470	415	377	309	403	782	785	455	710	1663
37	535	411	428	352	668	462	618	740	691	520
38	527	434	653	583	391	400	447	929	401	527
39	542	392	385	768	500	430	493	364	539	509
40	514	440	506	616	500	746	476	706	507	492
41	513	426	652	451	414	579	491	624	748	803
42	822	523	380	501	498	583	401	1731	519	459
43	403	425	353	516	393	960	589	550	770	519

44	484	497	371	626	778	605	412	418	430	1005
45	577	403	383	386	501	544	1088	478	853	521
46	553	504	543	347	378	714	569	412	494	399
47	540	437	345	437	568	550	593	355	444	918
48	480	402	339	333	407	592	319	722	425	809
49	544	564	403	375	452	492	419	698	798	610
50	716	438	348	354	429	425	585	413	427	950
51	504	447	533	439	603	619	611	804	597	431
52	513	516	409	353	516	467	972	661	540	800
53	513	360	638	450	512	489	562	589	865	673
54	481	371	351	732	430	459	456	783	814	630
55	427	393	449	600	354	465	471	448	878	815
56	522	334	342	543	509	885	441	613	636	374
57	480	411	369	390	420	493	360	521	512	429
58	592	410	431	417	588	611	1433	502	369	831
59	565	384	364	373	507	435	569	686	433	365
60	540	356	411	413	448	530	454	1080	422	488
61	582	456	338	473	601	483	1449	1685	550	1429
62	441	421	294	584	416	461	518	782	556	504
63	451	402	361	444	496	466	633	1339	604	429
64	555	417	357	434	461	381	493	1219	533	471
65	588	466	353	327	528	933	407	586	945	552
66	600	687	397	401	432	479	738	418	486	543
67	594	333	628	492	494	376	727	469	426	685
68	590	365	572	434	458	470	986	680	732	1576
69	440	372	449	464	499	520	438	422	593	919
70	487	446	374	398	465	442	663	596	789	835
71	569	445	370	322	467	727	1068	1050	626	455
72	499	373	362	445	418	343	979	408	981	1086
73	602	383	385	364	452	417	1079	1377	733	416
74	538	473	362	340	489	457	1354	663	433	436
75	667	426	586	457	405	471	534	887	472	434
76	643	371	430	882	638	663	403	460	957	493
77	622	361	372	451	485	501	474	622	653	669
78	590	385	423	345	389	385	705	668	1302	790
79	412	361	503	341	533	834	395	431	389	426
80	633	341	370	486	626	388	375	667	370	422
81	502	444	524	574	469	559	745	516	1271	655
82	513	422	377	371	539	582	465	646	832	536
83	610	442	326	637	436	826	455	951	514	869
84	569	387	348	668	681	739	960	558	550	578
85	494	390	487	377	348	797	642	437	488	722
86	632	392	333	347	637	688	556	423	721	993
87	503	550	539	411	400	614	618	541	725	490
88	508	471	533	379	498	473	784	593	613	728
89	596	435	459	363	712	652	643	510	813	496
90	507	417	389	526	493	700	756	701	454	807
91	609	434	445	515	328	369	491	452	693	712
92	488	412	424	435	695	644	509	1016	486	932
93	533	401	529	669	449	446	526	435	514	757
94	583	493	314	393	384	629	1303	627	573	479
95	563	569	459	382	716	471	890	367	1496	1068
96	673	404	521	332	366	407	480	582	1497	375
97	718	397	428	474	728	1040	622	423	440	425
98	570	450	413	561	456	689	913	785	715	484
99	512	420	310	415	505	422	513	509	484	548
100	475	393	374	463	568	408	559	536	509	467

Tabelle 14: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=10)

lock-in Dauer für span =10											
run number	li										
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	
1	5412	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3824	5454	5454	
2	5534	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1228	5454	4258	3217
3	5354	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4970	862	5454	
4	5291	5454	5454	5454	5454	4659	2339	2842	772	5454	
5	5398	5454	5454	5454	5454	5454	5454	495	5454	5454	
6	5527	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3687	5454	
7	5374	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	
8	5469	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	192	1353	
9	5566	5454	5454	5454	5454	5454	120	2905	3430	2752	
10	5385	5454	5454	5454	5454	5454	5454	689	5454	750	
11	5524	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4783	5454	5454	
12	5479	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1698	5354	2591	
13	5506	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3935	881	5454	
14	5489	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3862	5263	
15	5503	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1107	
16	5456	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1612	658	3246	
17	5416	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	413	3847	
18	5456	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	
19	5484	5454	5454	5454	5454	5454	5454	918	5011	5454	
20	5587	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2675	2263	5454	
21	5377	5454	5454	5454	5454	5454	4381	5454	5454	5454	
22	5469	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1448	5454	1165	
23	5401	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2852	5454	5454	
24	5382	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1952	3477	5158	
25	5536	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4947	5454	858	
26	5422	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1362	5454	219	
27	5391	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1686	3587	5454	
28	5366	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2725	5454	2169	
29	5536	5454	5454	5454	5454	5454	5454	781	4069	5454	
30	5502	5454	5454	5454	5454	5454	4468	3706	2944	1442	
31	5509	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	
32	5489	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4943	359	4347	
33	5516	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1016	4911	
34	5389	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4654	4981	
35	5458	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2259	5454	833	
36	5531	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	454	3622	
37	5466	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2090	5454	5454	
38	5474	5454	5454	5454	5454	5454	4906	985	5454	1240	
39	5459	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4736	2459	3923	
40	5487	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4516	5454	
41	5488	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	922	2664	
42	5179	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	321	5454	
43	5598	5454	5454	5454	5454	5454	5454	448	5454	1236	
44	5517	5454	5454	5454	5454	5454	846	5454	2614	5454	
45	5424	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	399	3145	
46	5448	5454	5454	5454	5454	5454	5311	5454	5428	2640	
47	5461	5454	5454	5454	5454	5454	3912	5454	231	2736	
48	5521	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1649	5454	
49	5457	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4766	1380	

50	5285	5454	5454	5454	5454	5454	787	5223	350	2929
51	5497	5454	5454	5454	5454	5454	1892	4386	699	2365
52	5488	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454
53	5488	5454	5454	5454	5454	5454	223	1505	5454	5277
54	5520	5454	5454	5454	5454	5454	4097	5454	5352	2745
55	5574	5454	5454	5454	5454	5454	5120	5454	5454	5340
56	5479	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454
57	5521	5454	5454	5454	5454	5454	1500	5427	5454	591
58	5409	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4948	2250
59	5436	5454	5454	5454	5454	5454	2489	3608	5454	5454
60	5461	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2283	5454
61	5419	5454	5454	5454	5454	5454	3046	1649	829	5454
62	5560	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4012	5454	5054
63	5550	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	899	5454
64	5446	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3444	4910	5454
65	5413	5454	5454	5454	5454	5454	2223	5454	5454	5454
66	5401	5454	5454	5454	5454	5454	1238	5454	3425	328
67	5407	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2522	3872	3002
68	5411	5454	5454	5454	5454	5454	5454	238	663	5454
69	5561	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4948	5454
70	5514	5454	5454	5454	5454	5454	1009	3639	1927	5454
71	5432	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	351	917
72	5502	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4674	5454
73	5399	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4964	1335	2776
74	5463	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1775	5454
75	5334	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3632	5454	288
76	5358	5454	5454	5454	5454	5454	5454	549	5454	3028
77	5379	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3921	5454
78	5411	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	4920	3599
79	5589	5454	5454	5454	5454	5454	1826	3567	2280	1222
80	5368	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3414	1623	5454
81	5499	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2392	3542	5454
82	5488	5454	5454	5454	5454	5454	4881	5454	2179	987
83	5391	5454	5454	5454	5454	5454	4455	662	1719	4093
84	5432	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454
85	5507	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1225	3253	1148
86	5369	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3118	1171
87	5498	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3487	5454	2762
88	5493	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3983	5454	1782
89	5405	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5047	3820	5454
90	5494	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3965	5454
91	5392	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2307	729
92	5513	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3574	1679	2815
93	5468	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3146	3751	2107
94	5418	5454	5454	5454	5454	5454	2567	3614	5454	1316
95	5438	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1315	4663
96	5328	5454	5454	5454	5454	5454	413	5454	5454	164
97	5283	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1784	3010	2485
98	5431	5454	5454	5454	5454	5454	5454	3483	5454	458
99	5489	5454	5454	5454	5454	5454	5454	1347	5454	979
100	5526	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	5454	2771

Tabelle 15: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=10)

lock-in-Korridor für span =10	
	li

run number	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	0,0592	0,0017	0,0021	0,0023	0,0018	0,0023	0,0058	0,0110	0,0032	0,0026
2	0,0583	0,0021	0,0021	0,0016	0,0020	0,0020	0,0116	0,0029	0,0044	0,0054
3	0,0643	0,0020	0,0022	0,0028	0,0015	0,0083	0,0025	0,0037	0,0242	0,0016
4	0,0628	0,0019	0,0017	0,0019	0,0021	0,0101	0,0079	0,0093	0,0247	0,0033
5	0,0619	0,0028	0,0019	0,0033	0,0020	0,0021	0,0022	0,0425	0,0019	0,0095
6	0,0553	0,0016	0,0026	0,0018	0,0052	0,0093	0,0030	0,0018	0,0038	0,0022
7	0,0615	0,0020	0,0017	0,0023	0,0020	0,0051	0,0020	0,0017	0,0019	0,0021
8	0,0613	0,0026	0,0022	0,0029	0,0030	0,0020	0,0033	0,0077	0,0814	0,0112
9	0,0593	0,0013	0,0019	0,0018	0,0031	0,0041	0,1043	0,0054	0,0046	0,0049
10	0,0587	0,0018	0,0022	0,0027	0,0035	0,0016	0,0022	0,0487	0,0021	0,0205
11	0,0634	0,0025	0,0024	0,0018	0,0014	0,0030	0,0030	0,0046	0,0017	0,0014
12	0,0550	0,0015	0,0021	0,0026	0,0022	0,0068	0,0109	0,0088	0,0035	0,0063
13	0,0596	0,0019	0,0015	0,0020	0,0019	0,0015	0,0047	0,0048	0,0187	0,0021
14	0,0605	0,0018	0,0020	0,0025	0,0041	0,0017	0,0033	0,0023	0,0051	0,0026
15	0,0599	0,0022	0,0021	0,0022	0,0030	0,0076	0,0023	0,0018	0,0040	0,0151
16	0,0672	0,0020	0,0021	0,0024	0,0019	0,0059	0,0040	0,0166	0,0334	0,0053
17	0,0648	0,0021	0,0022	0,0035	0,0015	0,0040	0,0047	0,0022	0,0298	0,0035
18	0,0634	0,0016	0,0018	0,0032	0,0017	0,0034	0,0023	0,0019	0,0099	0,0025
19	0,0616	0,0020	0,0017	0,0038	0,0018	0,0019	0,0166	0,0216	0,0027	0,0017
20	0,0637	0,0015	0,0029	0,0017	0,0031	0,0013	0,0200	0,0091	0,0191	0,0031
21	0,0621	0,0017	0,0014	0,0020	0,0040	0,0026	0,0049	0,0042	0,0036	0,0018
22	0,0612	0,0015	0,0023	0,0019	0,0035	0,0032	0,0020	0,0126	0,0020	0,0197
23	0,0624	0,0026	0,0020	0,0024	0,0024	0,0023	0,0122	0,0055	0,0016	0,0024
24	0,0603	0,0020	0,0021	0,0017	0,0015	0,0038	0,0064	0,0196	0,0040	0,0032
25	0,0582	0,0022	0,0023	0,0025	0,0019	0,0043	0,0018	0,0030	0,0024	0,0156
26	0,0632	0,0023	0,0022	0,0025	0,0020	0,0017	0,0037	0,0168	0,0018	0,0924
27	0,0550	0,0020	0,0017	0,0018	0,0018	0,0081	0,0020	0,0106	0,0037	0,0027
28	0,0571	0,0013	0,0018	0,0028	0,0066	0,0022	0,0016	0,0057	0,0040	0,0145
29	0,0595	0,0020	0,0026	0,0018	0,0019	0,0024	0,0016	0,0343	0,0051	0,0018
30	0,0610	0,0024	0,0018	0,0020	0,0020	0,0074	0,0058	0,0146	0,0060	0,0124
31	0,0602	0,0016	0,0016	0,0020	0,0033	0,0021	0,0069	0,0020	0,0033	0,0037
32	0,0592	0,0021	0,0021	0,0016	0,0030	0,0052	0,0018	0,0042	0,0286	0,0062
33	0,0620	0,0021	0,0037	0,0029	0,0023	0,0033	0,0019	0,0020	0,0134	0,0041
34	0,0609	0,0021	0,0022	0,0021	0,0020	0,0046	0,0064	0,0021	0,0034	0,0038
35	0,0627	0,0020	0,0019	0,0024	0,0017	0,0034	0,0057	0,0125	0,0029	0,0734
36	0,0564	0,0019	0,0016	0,0018	0,0019	0,0074	0,0019	0,0076	0,0700	0,0056
37	0,0567	0,0018	0,0020	0,0026	0,0018	0,0018	0,0023	0,0103	0,0021	0,0022
38	0,0639	0,0022	0,0022	0,0029	0,0029	0,0062	0,0109	0,0315	0,0020	0,0167
39	0,0648	0,0019	0,0024	0,0024	0,0015	0,0091	0,0034	0,0032	0,0057	0,0043
40	0,0614	0,0018	0,0021	0,0025	0,0037	0,0022	0,0016	0,0030	0,0028	0,0071
41	0,0611	0,0018	0,0023	0,0017	0,0055	0,0162	0,0075	0,0017	0,0253	0,0068
42	0,0632	0,0018	0,0020	0,0021	0,0019	0,0080	0,0022	0,0031	0,0502	0,0036
43	0,0600	0,0021	0,0024	0,0021	0,0018	0,0078	0,0127	0,0590	0,0021	0,0120
44	0,0597	0,0023	0,0033	0,0025	0,0022	0,0081	0,0278	0,0021	0,0056	0,0025
45	0,0596	0,0022	0,0024	0,0017	0,0030	0,0025	0,0022	0,0016	0,0915	0,0057
46	0,0629	0,0017	0,0027	0,0024	0,0020	0,0024	0,0045	0,0019	0,0040	0,0111
47	0,0613	0,0018	0,0022	0,0021	0,0022	0,0016	0,0065	0,0014	0,0438	0,0109
48	0,0608	0,0019	0,0027	0,0023	0,0019	0,0094	0,0021	0,0023	0,0102	0,0028
49	0,0604	0,0014	0,0024	0,0017	0,0028	0,0041	0,0021	0,0016	0,0046	0,0166
50	0,0611	0,0022	0,0017	0,0016	0,0019	0,0023	0,0402	0,0026	0,0538	0,0067
51	0,0630	0,0020	0,0023	0,0031	0,0022	0,0022	0,0107	0,0150	0,0225	0,0063
52	0,0637	0,0020	0,0018	0,0032	0,0023	0,0034	0,0025	0,0120	0,0042	0,0023
53	0,0592	0,0016	0,0017	0,0026	0,0021	0,0051	0,1053	0,0157	0,0019	0,0035
54	0,0612	0,0018	0,0022	0,0023	0,0018	0,0015	0,0075	0,0021	0,0048	0,0061
55	0,0616	0,0021	0,0022	0,0026	0,0029	0,0097	0,0027	0,0020	0,0049	0,0036
56	0,0594	0,0021	0,0021	0,0023	0,0025	0,0023	0,0028	0,0078	0,0029	0,0023

57	0,0641	0,0023	0,0020	0,0018	0,0019	0,0017	0,0114	0,0036	0,0019	0,0328
58	0,0602	0,0022	0,0017	0,0018	0,0020	0,0025	0,0028	0,0021	0,0041	0,0065
59	0,0602	0,0026	0,0014	0,0019	0,0017	0,0031	0,0081	0,0190	0,0024	0,0037
60	0,0598	0,0016	0,0027	0,0014	0,0026	0,0024	0,0020	0,0026	0,0085	0,0024
61	0,0604	0,0018	0,0020	0,0022	0,0018	0,0021	0,0120	0,0319	0,0266	0,0024
62	0,0614	0,0020	0,0017	0,0023	0,0038	0,0018	0,0123	0,0055	0,0028	0,0045
63	0,0609	0,0021	0,0012	0,0027	0,0042	0,0044	0,0016	0,0020	0,0203	0,0025
64	0,0593	0,0024	0,0023	0,0026	0,0023	0,0022	0,0024	0,0060	0,0037	0,0076
65	0,0611	0,0025	0,0018	0,0018	0,0022	0,0032	0,0072	0,0017	0,0027	0,0033
66	0,0620	0,0013	0,0018	0,0024	0,0018	0,0024	0,0202	0,0018	0,0044	0,0539
67	0,0582	0,0019	0,0028	0,0013	0,0015	0,0046	0,0077	0,0082	0,0046	0,0056
68	0,0549	0,0019	0,0020	0,0018	0,0025	0,0100	0,0068	0,0918	0,0307	0,0023
69	0,0565	0,0017	0,0031	0,0019	0,0054	0,0022	0,0121	0,0025	0,0029	0,0024
70	0,0591	0,0017	0,0019	0,0021	0,0029	0,0022	0,0227	0,0048	0,0090	0,0019
71	0,0601	0,0013	0,0022	0,0017	0,0035	0,0024	0,0048	0,0021	0,0646	0,0174
72	0,0578	0,0019	0,0017	0,0019	0,0027	0,0028	0,0031	0,0060	0,0042	0,0047
73	0,0630	0,0021	0,0018	0,0023	0,0019	0,0014	0,0027	0,0056	0,0172	0,0050
74	0,0617	0,0016	0,0021	0,0019	0,0016	0,0032	0,0131	0,0044	0,0087	0,0021
75	0,0574	0,0018	0,0027	0,0028	0,0020	0,0021	0,0085	0,0053	0,0015	0,0385
76	0,0638	0,0022	0,0022	0,0017	0,0034	0,0025	0,0024	0,0296	0,0025	0,0101
77	0,0622	0,0021	0,0022	0,0034	0,0023	0,0057	0,0022	0,0028	0,0042	0,0024
78	0,0610	0,0018	0,0027	0,0020	0,0035	0,0017	0,0018	0,0035	0,0051	0,0044
79	0,0612	0,0016	0,0026	0,0019	0,0015	0,0022	0,0120	0,0047	0,0061	0,0131
80	0,0608	0,0019	0,0023	0,0024	0,0025	0,0030	0,0018	0,0069	0,0132	0,0015
81	0,0577	0,0017	0,0022	0,0023	0,0033	0,0016	0,0020	0,0056	0,0050	0,0022
82	0,0593	0,0016	0,0021	0,0019	0,0016	0,0052	0,0045	0,0020	0,0131	0,0154
83	0,0624	0,0020	0,0024	0,0019	0,0020	0,0081	0,0061	0,0592	0,0095	0,0081
84	0,0551	0,0021	0,0016	0,0025	0,0046	0,0020	0,0070	0,0019	0,0017	0,0015
85	0,0584	0,0019	0,0024	0,0021	0,0023	0,0019	0,0020	0,0233	0,0043	0,0210
86	0,0658	0,0018	0,0020	0,0024	0,0023	0,0024	0,0091	0,0019	0,0061	0,0231
87	0,0635	0,0015	0,0024	0,0027	0,0039	0,0021	0,0020	0,0125	0,0053	0,0086
88	0,0592	0,0016	0,0020	0,0036	0,0018	0,0023	0,0030	0,0050	0,0024	0,0099
89	0,0580	0,0022	0,0015	0,0017	0,0020	0,0023	0,0058	0,0089	0,0049	0,0026
90	0,0602	0,0016	0,0020	0,0016	0,0019	0,0047	0,0130	0,0028	0,0066	0,0023
91	0,0630	0,0017	0,0020	0,0029	0,0029	0,0019	0,0017	0,0095	0,0088	0,0257
92	0,0627	0,0021	0,0020	0,0028	0,0019	0,0022	0,0028	0,0045	0,0137	0,0075
93	0,0600	0,0019	0,0031	0,0024	0,0027	0,0022	0,0017	0,0125	0,0052	0,0110
94	0,0599	0,0026	0,0020	0,0021	0,0022	0,0022	0,0228	0,0042	0,0015	0,0129
95	0,0622	0,0024	0,0023	0,0018	0,0026	0,0044	0,0020	0,0035	0,0391	0,0046
96	0,0628	0,0021	0,0017	0,0019	0,0016	0,0045	0,0368	0,0030	0,0035	0,0746
97	0,0655	0,0018	0,0020	0,0024	0,0030	0,0024	0,0019	0,0095	0,0048	0,0049
98	0,0582	0,0015	0,0025	0,0016	0,0019	0,0058	0,0024	0,0043	0,0022	0,0306
99	0,0627	0,0015	0,0010	0,0031	0,0020	0,0017	0,0016	0,0427	0,0037	0,0218
100	0,0596	0,0026	0,0015	0,0027	0,0020	0,0016	0,0049	0,0112	0,0020	0,0055

5. Modell M1 span 32

Tabelle 16: Lock-in tick zur Messung der Länge der Pfadformierungsphase in Modell M1 (span=32)

lock-in tick für span =32										
	li									
run number	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	566	468	330	735	331	359	335	491	581	391
2	514	419	282	504	285	341	396	490	623	310
3	718	536	427	322	549	416	327	514	296	393
4	578	322	348	422	370	383	351	504	311	408

5	582	479	305	404	350	454	876	494	746	360
6	517	382	366	286	337	402	839	649	486	879
7	572	459	306	315	521	623	499	374	357	565
8	527	382	307	344	525	564	676	327	399	400
9	500	426	490	326	337	347	382	422	447	302
10	649	340	384	348	347	339	358	339	387	333
11	526	353	385	380	481	331	401	630	485	360
12	538	359	366	341	356	322	364	422	443	377
13	472	448	302	359	252	417	366	391	296	371
14	785	383	511	395	479	344	594	379	358	464
15	506	466	328	499	406	620	466	427	510	504
16	567	396	343	308	360	318	1539	558	365	572
17	486	382	370	287	498	297	264	412	605	425
18	502	470	342	323	402	307	647	492	357	530
19	756	524	602	490	338	826	670	288	357	342
20	521	365	357	300	295	346	493	743	326	497
21	620	415	408	329	274	589	952	349	315	671
22	672	354	291	525	351	327	277	372	384	359
23	517	390	361	352	364	381	469	441	330	362
24	527	358	272	281	438	285	435	701	504	1522
25	717	445	415	683	326	352	270	425	628	454
26	521	644	318	588	281	349	422	430	477	408
27	528	355	353	466	321	439	647	468	278	551
28	429	376	313	383	459	295	321	466	508	447
29	577	474	405	326	291	381	408	495	358	268
30	485	545	358	334	294	523	421	772	802	320
31	500	375	306	317	306	506	582	295	407	557
32	559	463	415	592	397	385	371	302	421	596
33	473	611	347	337	354	327	702	325	464	343
34	564	336	345	410	353	376	359	670	318	581
35	555	418	316	303	323	370	363	417	402	415
36	638	479	386	331	348	369	639	384	461	581
37	543	360	331	351	531	390	366	281	415	540
38	536	414	347	280	367	296	845	324	365	398
39	494	425	358	355	318	308	296	453	362	286
40	499	410	563	296	308	617	339	295	256	466
41	506	403	423	363	435	532	659	420	779	584
42	624	534	333	495	328	504	513	304	287	346
43	504	334	426	466	339	401	360	430	391	430
44	528	458	286	412	498	367	432	383	470	565
45	637	362	417	380	332	357	436	1027	396	417
46	540	414	450	392	378	329	418	351	342	389
47	553	352	375	303	389	259	367	410	389	322
48	512	435	458	300	326	366	322	310	443	706
49	656	419	395	385	285	336	448	339	542	321
50	550	338	352	359	418	584	395	710	430	395
51	573	353	462	481	358	912	374	385	374	608
52	607	373	289	412	395	505	481	351	399	457
53	660	381	396	354	306	335	453	362	662	281
54	598	578	350	327	284	317	336	354	422	369
55	530	482	322	365	384	625	427	365	824	449
56	601	401	321	282	384	562	378	488	481	367
57	514	369	315	456	459	314	304	381	332	495
58	737	374	598	275	749	332	482	390	652	329
59	929	657	370	329	342	472	426	963	391	259
60	631	357	396	422	440	418	376	367	818	337
61	620	403	448	346	344	520	331	414	838	400

62	560	443	413	367	817	351	385	320	901	314
63	629	327	415	459	390	1076	345	400	405	323
64	615	507	435	368	351	363	396	435	394	378
65	654	357	503	313	395	318	519	442	402	341
66	513	530	309	295	366	541	312	473	427	397
67	583	451	296	266	557	402	829	867	565	311
68	515	483	409	358	339	429	446	780	633	485
69	653	281	381	330	347	472	375	379	264	338
70	512	384	422	367	410	368	462	378	338	753
71	565	370	294	331	754	365	331	441	353	430
72	493	436	366	277	352	674	360	348	294	519
73	469	368	394	425	316	402	286	420	454	378
74	508	332	353	355	532	338	427	329	371	592
75	533	366	289	310	392	500	382	367	575	348
76	490	388	334	327	299	290	390	361	537	312
77	556	409	345	382	313	556	364	401	439	464
78	515	550	307	337	487	292	442	413	748	534
79	562	370	452	463	269	323	319	659	398	314
80	585	403	291	622	317	286	427	505	1283	447
81	575	342	342	365	458	301	588	540	394	346
82	623	575	429	324	315	751	348	461	355	645
83	577	489	298	302	289	668	388	445	294	493
84	480	553	371	314	309	360	556	1119	416	1172
85	566	345	391	989	698	339	408	575	407	376
86	558	370	399	375	321	639	580	431	338	341
87	543	466	337	296	326	319	827	407	329	413
88	670	456	535	370	319	388	765	418	438	425
89	580	368	376	346	327	376	329	432	323	508
90	601	317	543	326	355	521	455	376	505	312
91	490	317	315	578	403	515	513	355	325	411
92	609	396	358	280	379	367	367	287	303	581
93	500	623	363	451	300	407	880	390	451	281
94	541	333	396	333	346	408	313	536	342	849
95	506	417	414	337	338	350	400	432	322	438
96	490	293	557	325	374	324	319	333	332	495
97	508	324	410	573	334	336	413	422	529	403
98	474	382	323	329	413	317	468	398	571	348
99	546	339	483	327	341	305	515	345	895	468
100	635	396	305	449	455	366	344	321	499	1096

Tabelle 17: Dauer des lock-in zur Messung der Länge der lock-in-Phase (normiert) in Modell M1 (span=32)

lock-in Dauer für span =32										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	5435	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	2958
2	5487	5436	5436	5436	5436	4416	5436	4005	5436	5436
3	5283	5436	5436	5436	5436	1685	773	5436	2345	519
4	5423	5436	5436	5436	5436	5436	3324	2636	3763	5436
5	5419	5436	5436	5436	5436	5436	5436	4782	5436	4492
6	5484	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	1096	5436
7	5429	5436	5436	5436	5436	5436	4100	144	1115	4077
8	5474	5436	5436	5436	5436	5436	5436	1068	4193	1091
9	5501	5436	5436	5436	5436	621	5436	4640	4564	4359
10	5352	5436	5436	5436	5436	5436	5436	1587	710	5436

11	5475	5436	5436	5436	5436	5013	5436	3607	4433	1846
12	5463	5436	5436	5436	5436	5436	4328	5436	4463	506
13	5529	5436	5436	5436	5436	5436	2674	426	5436	413
14	5216	5436	5436	5436	5436	3164	5436	1203	1048	2941
15	5495	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	2251
16	5434	5436	5436	5436	5436	5436	3029	1880	5242	2821
17	5515	5436	5436	5436	5436	5436	5436	2851	3381	5436
18	5499	5436	5436	5436	5436	2129	4737	5436	37	1357
19	5245	5436	5436	5436	5436	5436	5436	281	1030	1488
20	5480	5436	5436	5436	5436	5436	2813	5436	5315	5436
21	5381	5436	5436	5436	5436	5436	2783	707	4664	4248
22	5329	5436	5436	5436	5436	3903	5436	3304	5436	5436
23	5484	5436	5436	5436	5436	5436	1961	5436	850	167
24	5474	5436	5436	5436	5436	5436	5436	3371	4310	2497
25	5284	5436	5436	5436	5436	5436	5436	127	4599	1284
26	5480	5436	5436	5436	5436	5436	5436	1122	58	1232
27	5473	5436	5436	5436	5436	4958	5436	87,7	3353	2301
28	5572	5436	5436	5436	5436	5436	2885	5436	5436	3407
29	5424	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	4747	5436
30	5516	5436	5436	5436	5436	5436	5436	3571	5436	5436
31	5501	5436	5436	5436	5436	5436	5436	119	1251	1950
32	5442	5436	5436	5436	5436	5436	2562	3301	3193	3970
33	5528	5436	5436	5436	5436	5436	2903	3088	1262	1610
34	5437	5436	5436	5436	5436	5436	5436	1829	4661	1700
35	5446	5436	5436	5436	5436	5436	2577	884	5436	5148
36	5363	5436	5436	5436	5436	4673	583	1696	726	2459
37	5458	5436	5436	5436	5436	5436	5436	4755	3071	3217
38	5465	5436	5436	5436	5436	5436	1189	659	1245	3687
39	5507	5436	5436	5436	5436	5436	5436	20,7	2301	4108
40	5502	5436	5436	5436	5436	5436	579	5436	5436	5436
41	5495	5436	5436	5436	5436	1599	1659	5436	421	5436
42	5377	5436	5436	5436	5436	5436	5436	34,7	644	5436
43	5497	5436	5436	5436	5436	5436	5436	4024	93,7	5436
44	5473	5436	5436	5436	5436	5436	5385	65,7	3515	3540
45	5364	5436	5436	5436	5436	5014	5436	5436	5436	5436
46	5461	5436	5436	5436	5436	5436	5436	263	1545	184
47	5448	5436	5436	5436	5436	1032	5436	1501	4254	1350
48	5489	5436	5436	5436	5436	5436	5436	370	2401	1964
49	5345	5436	5436	5436	5436	5436	3215	3725	1562	5436
50	5451	5436	5436	5436	5436	5436	2386	5148	5436	2308
51	5428	5436	5436	5436	5436	3610	5436	36,7	5099	2780
52	5394	5436	5436	5436	5436	648	5436	1747	3343	1763
53	5341	5436	5436	5436	5436	4343	4660	4433	274	5436
54	5403	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	2787	2874
55	5471	5436	5436	5436	5436	5436	2636	5098	5436	434
56	5400	5436	5436	5436	5436	5436	1884	2284	537	5269
57	5487	5436	5436	5436	5436	5436	1342	5436	5436	2994
58	5264	5436	5436	5436	5436	3779	4215	1114	2257	1299
59	5072	5436	5436	5436	5436	5436	3457	5436	3185	708
60	5370	5436	5436	5436	5436	4541	1764	4239	2269	3536
61	5381	5436	5436	5436	5436	5436	685	5436	5183	525
62	5441	5436	5436	5436	5436	5436	2775	5436	5436	3879
63	5372	5436	5436	5436	5436	5436	5436	56	5436	2511
64	5386	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	986	5436
65	5347	5436	5436	5436	5436	5436	2010	3138	4167	5436
66	5488	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436
67	5418	5436	5436	5436	5436	287	5436	4975	1513	152

68	5486	5436	5436	5436	5436	5436	4752	310	5436	5436
69	5348	5436	5436	5436	5436	824	5436	2072	466	152
70	5489	5436	5436	5436	5436	5436	5,72	379	806	1226
71	5436	5436	5436	5436	5436	5436	3635	2208	1676	710
72	5508	5436	5436	5436	5436	5436	885	5436	3097	2278
73	5532	5436	5436	5436	5436	2614	5436	5436	2201	5436
74	5493	5436	5436	5436	5436	5436	2917	1513	1144	2113
75	5468	5436	5436	5436	5436	3293	789	416	5436	5436
76	5511	5436	5436	5436	5436	4579	4634	2477	5436	970
77	5445	5436	5436	5436	5436	5436	1636	58,7	1931	5436
78	5486	5436	5436	5436	5436	1676	5436	995	4079	695
79	5439	5436	5436	5436	5436	4055	3638	229	1882	5436
80	5416	5436	5436	5436	5436	5436	2321	5238	878	5336
81	5426	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436
82	5378	5436	5436	5436	5436	5436	2885	5436	5436	5436
83	5424	5436	5436	5436	5436	5436	5436	106	1401	2781
84	5521	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	645	5436
85	5435	5436	5436	5436	5436	5436	1573	4755	478	552
86	5443	5436	5436	5436	5436	5436	1856	2875	5436	3099
87	5458	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	2379
88	5331	5436	5436	5436	5436	5436	5436	524	2523	3527
89	5421	5436	5436	5436	5436	5436	1844	1276	1830	292
90	5400	5436	5436	5436	5436	2114	2260	1071	3564	3567
91	5511	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	152	3492
92	5392	5436	5436	5436	5436	5436	5436	5436	42,7	1326
93	5501	5436	5436	5436	5436	5436	5436	380	3876	4517
94	5460	5436	5436	5436	5436	3032	5436	2806	2838	3358
95	5495	5436	5436	5436	5436	202	3802	2493	664	5436
96	5511	5436	5436	5436	5436	5436	5436	73,7	5436	5436
97	5493	5436	5436	5436	5436	5436	5436	493	5436	4168
98	5527	5436	5436	5436	5436	1578	956	5436	3988	5436
99	5455	5436	5436	5436	5436	2362	4805	80	3362	3633
100	5366	5436	5436	5436	5436	5436	32,7	3735	2443	4507

Tabelle 18: Lock-in-Korridor zur Messung der lock-in-Prägnanz in Modell M1 (span=32)

lock-in-Korridor für span =32										
run number	li									
	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5
1	0,0566	0,0017	0,0035	0,0019	0,0020	0,0089	0,0016	0,0019	0,0021	0,0160
2	0,0582	0,0024	0,0034	0,0066	0,0018	0,0037	0,0014	0,0032	0,0026	0,0026
3	0,0588	0,0025	0,0019	0,0060	0,0073	0,0102	0,0240	0,0016	0,0051	0,0258
4	0,0624	0,0019	0,0041	0,0017	0,0074	0,0057	0,0061	0,0058	0,0032	0,0033
5	0,0606	0,0019	0,0025	0,0063	0,0038	0,0018	0,0041	0,0029	0,0127	0,0029
6	0,0611	0,0017	0,0037	0,0018	0,0021	0,0020	0,0069	0,0031	0,0115	0,0019
7	0,0594	0,0018	0,0017	0,0065	0,0025	0,0020	0,0031	0,0467	0,0108	0,0046
8	0,0610	0,0026	0,0018	0,0018	0,0174	0,0014	0,0014	0,0096	0,0053	0,0093
9	0,0600	0,0021	0,0036	0,0017	0,0056	0,0416	0,0015	0,0031	0,0030	0,0022
10	0,0593	0,0017	0,0024	0,0017	0,0019	0,0018	0,0018	0,0065	0,0151	0,0017
11	0,0587	0,0027	0,0042	0,0016	0,0015	0,0084	0,0027	0,0041	0,0022	0,0055
12	0,0597	0,0021	0,0018	0,0019	0,0095	0,0046	0,0033	0,0018	0,0170	0,0142
13	0,0619	0,0021	0,0020	0,0021	0,0015	0,0036	0,0058	0,0217	0,0017	0,0282
14	0,0613	0,0020	0,0029	0,0017	0,0029	0,0061	0,0020	0,0084	0,0083	0,0040
15	0,0602	0,0027	0,0035	0,0042	0,0016	0,0031	0,0026	0,0021	0,0015	0,0083
16	0,0600	0,0020	0,0022	0,0023	0,0039	0,0016	0,0079	0,0065	0,0016	0,0038
17	0,0636	0,0025	0,0016	0,0024	0,0024	0,0016	0,0014	0,0036	0,0040	0,0064

18	0,0606	0,0019	0,0036	0,0025	0,0047	0,0068	0,0038	0,0044	0,1142	0,0085
19	0,0617	0,0025	0,0019	0,0020	0,0020	0,0030	0,0018	0,0171	0,0092	0,0066
20	0,0613	0,0024	0,0039	0,0038	0,0067	0,0031	0,0050	0,0019	0,0019	0,0026
21	0,0607	0,0016	0,0029	0,0026	0,0019	0,0019	0,0062	0,0191	0,0047	0,0031
22	0,0623	0,0035	0,0020	0,0015	0,0050	0,0095	0,0014	0,0039	0,0015	0,0044
23	0,0612	0,0030	0,0016	0,0029	0,0023	0,0048	0,0121	0,0021	0,0122	0,0546
24	0,0633	0,0030	0,0024	0,0050	0,0034	0,0079	0,0055	0,0048	0,0030	0,0101
25	0,0590	0,0021	0,0022	0,0018	0,0023	0,0035	0,0017	0,0684	0,0030	0,0076
26	0,0574	0,0018	0,0028	0,0082	0,0070	0,0045	0,0031	0,0092	0,0989	0,0094
27	0,0610	0,0028	0,0021	0,0035	0,0060	0,0097	0,0029	0,0629	0,0027	0,0063
28	0,0583	0,0040	0,0014	0,0020	0,0085	0,0058	0,0046	0,0024	0,0017	0,0055
29	0,0600	0,0019	0,0020	0,0016	0,0049	0,0022	0,0073	0,0021	0,0026	0,0018
30	0,0647	0,0037	0,0017	0,0018	0,0091	0,0053	0,0044	0,0034	0,0019	0,0013
31	0,0597	0,0017	0,0027	0,0020	0,0096	0,0026	0,0021	0,0369	0,0075	0,0066
32	0,0646	0,0035	0,0063	0,0035	0,0022	0,0041	0,0173	0,0041	0,0039	0,0033
33	0,0570	0,0021	0,0021	0,0024	0,0040	0,0092	0,0189	0,0042	0,0090	0,0073
34	0,0570	0,0018	0,0017	0,0055	0,0017	0,0013	0,0074	0,0066	0,0022	0,0062
35	0,0612	0,0032	0,0028	0,0034	0,0017	0,0018	0,0049	0,0102	0,0071	0,0021
36	0,0598	0,0026	0,0026	0,0025	0,0047	0,0055	0,0378	0,0059	0,0204	0,0045
37	0,0624	0,0016	0,0020	0,0019	0,0096	0,0038	0,0018	0,0088	0,0038	0,0047
38	0,0566	0,0024	0,0026	0,0033	0,0020	0,0054	0,0132	0,0145	0,0082	0,0023
39	0,0626	0,0021	0,0016	0,0039	0,0022	0,0013	0,0017	0,0799	0,0052	0,0022
40	0,0582	0,0023	0,0024	0,0039	0,0025	0,0019	0,0211	0,0016	0,0017	0,0018
41	0,0617	0,0016	0,0021	0,0014	0,0026	0,0242	0,0086	0,0019	0,0435	0,0021
42	0,0627	0,0025	0,0039	0,0020	0,0030	0,0058	0,0054	0,0398	0,0172	0,0017
43	0,0596	0,0024	0,0022	0,0017	0,0022	0,0063	0,0028	0,0034	0,0467	0,0016
44	0,0580	0,0032	0,0020	0,0031	0,0018	0,0063	0,0025	0,0546	0,0040	0,0116
45	0,0573	0,0021	0,0023	0,0057	0,0029	0,0039	0,0018	0,0065	0,0017	0,0036
46	0,0610	0,0023	0,0025	0,0025	0,0086	0,0072	0,0048	0,0256	0,0072	0,0361
47	0,0585	0,0015	0,0023	0,0023	0,0039	0,0153	0,0019	0,0080	0,0030	0,0075
48	0,0594	0,0025	0,0025	0,0033	0,0125	0,0018	0,0021	0,0221	0,0048	0,0087
49	0,0575	0,0022	0,0048	0,0067	0,0064	0,0047	0,0114	0,0036	0,0095	0,0016
50	0,0593	0,0021	0,0020	0,0040	0,0054	0,0024	0,0182	0,0024	0,0018	0,0043
51	0,0577	0,0017	0,0025	0,0056	0,0116	0,0108	0,0021	0,0537	0,0023	0,0031
52	0,0566	0,0023	0,0017	0,0023	0,0016	0,0308	0,0019	0,0069	0,0036	0,0073
53	0,0610	0,0013	0,0015	0,0102	0,0137	0,0042	0,0069	0,0056	0,0578	0,0017
54	0,0619	0,0017	0,0018	0,0020	0,0039	0,0029	0,0019	0,0066	0,0045	0,0039
55	0,0619	0,0022	0,0030	0,0017	0,0039	0,0027	0,0046	0,0026	0,0014	0,0268
56	0,0622	0,0021	0,0037	0,0016	0,0075	0,0017	0,0081	0,0065	0,0197	0,0058
57	0,0604	0,0020	0,0025	0,0021	0,0067	0,0045	0,0078	0,0015	0,0019	0,0110
58	0,0590	0,0021	0,0020	0,0015	0,0039	0,0040	0,0066	0,0169	0,0069	0,0224
59	0,0588	0,0019	0,0017	0,0044	0,0020	0,0069	0,0042	0,0019	0,0038	0,0111
60	0,0652	0,0025	0,0025	0,0015	0,0089	0,0119	0,0085	0,0046	0,0044	0,0035
61	0,0554	0,0023	0,0021	0,0060	0,0034	0,0045	0,0445	0,0049	0,0025	0,0222
62	0,0557	0,0022	0,0019	0,0020	0,0036	0,0067	0,0053	0,0026	0,0100	0,0031
63	0,0624	0,0015	0,0023	0,0020	0,0097	0,0040	0,0037	0,1095	0,0019	0,0036
64	0,0608	0,0023	0,0017	0,0028	0,0027	0,0218	0,0024	0,0031	0,0241	0,0021
65	0,0634	0,0020	0,0016	0,0036	0,0018	0,0070	0,0083	0,0039	0,0037	0,0017
66	0,0651	0,0015	0,0018	0,0025	0,0054	0,0123	0,0020	0,0017	0,0025	0,0023
67	0,0643	0,0023	0,0017	0,0029	0,0096	0,0412	0,0038	0,0033	0,0072	0,0600
68	0,0610	0,0021	0,0035	0,0017	0,0017	0,0100	0,0087	0,0757	0,0019	0,0022
69	0,0593	0,0020	0,0016	0,0045	0,0019	0,0161	0,0020	0,0057	0,0161	0,0705
70	0,0647	0,0022	0,0017	0,0028	0,0023	0,0024	0,0928	0,0248	0,0126	0,0188
71	0,0642	0,0013	0,0013	0,0047	0,0083	0,0016	0,0040	0,0060	0,0173	0,0308
72	0,0594	0,0015	0,0019	0,0021	0,0034	0,0016	0,0120	0,0087	0,0042	0,0092
73	0,0551	0,0017	0,0013	0,0023	0,0034	0,0118	0,0016	0,0015	0,0056	0,0018
74	0,0619	0,0019	0,0023	0,0025	0,0027	0,0024	0,0042	0,0068	0,0099	0,0053

75	0,0601	0,0032	0,0020	0,0023	0,0029	0,0073	0,0166	0,0212	0,0041	0,0018
76	0,0590	0,0026	0,0014	0,0021	0,0028	0,0040	0,0051	0,0056	0,0061	0,0103
77	0,0617	0,0019	0,0031	0,0044	0,0023	0,0020	0,0129	0,0446	0,0058	0,0018
78	0,0605	0,0020	0,0025	0,0038	0,0024	0,0089	0,0020	0,0114	0,0035	0,0176
79	0,0589	0,0021	0,0027	0,0029	0,0079	0,0171	0,0031	0,0657	0,0050	0,0017
80	0,0599	0,0013	0,0031	0,0028	0,0076	0,0031	0,0062	0,0022	0,0625	0,0025
81	0,0617	0,0018	0,0027	0,0037	0,0046	0,0066	0,0015	0,0046	0,0018	0,0015
82	0,0616	0,0016	0,0030	0,0038	0,0025	0,0017	0,0053	0,0018	0,0021	0,0017
83	0,0637	0,0023	0,0041	0,0049	0,0017	0,0030	0,0021	0,0737	0,0065	0,0092
84	0,0633	0,0017	0,0019	0,0015	0,0023	0,0092	0,0038	0,0023	0,0175	0,0022
85	0,0613	0,0014	0,0025	0,0022	0,0066	0,0021	0,0094	0,0064	0,0164	0,0170
86	0,0612	0,0018	0,0032	0,0023	0,0045	0,0086	0,0073	0,0059	0,0017	0,0040
87	0,0606	0,0023	0,0024	0,0028	0,0059	0,0024	0,0018	0,0013	0,0015	0,0055
88	0,0618	0,0019	0,0024	0,0017	0,0072	0,0013	0,0044	0,0181	0,0045	0,0035
89	0,0576	0,0013	0,0029	0,0039	0,0030	0,0016	0,0067	0,0092	0,0075	0,0349
90	0,0629	0,0019	0,0020	0,0029	0,0030	0,0076	0,0089	0,0099	0,0069	0,0034
91	0,0621	0,0022	0,0045	0,0022	0,0027	0,0039	0,0020	0,0019	0,0576	0,0033
92	0,0617	0,0024	0,0038	0,0020	0,0079	0,0027	0,0014	0,0016	0,0386	0,0102
93	0,0618	0,0017	0,0020	0,0019	0,0159	0,0060	0,0017	0,0232	0,0027	0,0030
94	0,0638	0,0031	0,0019	0,0018	0,0027	0,0062	0,0017	0,0054	0,0048	0,0040
95	0,0597	0,0018	0,0025	0,0018	0,0019	0,0717	0,0035	0,0049	0,0122	0,0017
96	0,0633	0,0023	0,0027	0,0020	0,0041	0,0016	0,0014	0,0398	0,0016	0,0090
97	0,0646	0,0021	0,0019	0,0036	0,0034	0,0044	0,0050	0,0210	0,0029	0,0035
98	0,0580	0,0017	0,0020	0,0036	0,0016	0,0103	0,0122	0,0016	0,0025	0,0015
99	0,0605	0,0023	0,0034	0,0019	0,0018	0,0086	0,0042	0,0863	0,0044	0,0079
100	0,0600	0,0022	0,0014	0,0020	0,0058	0,0069	0,0504	0,0104	0,0050	0,0035

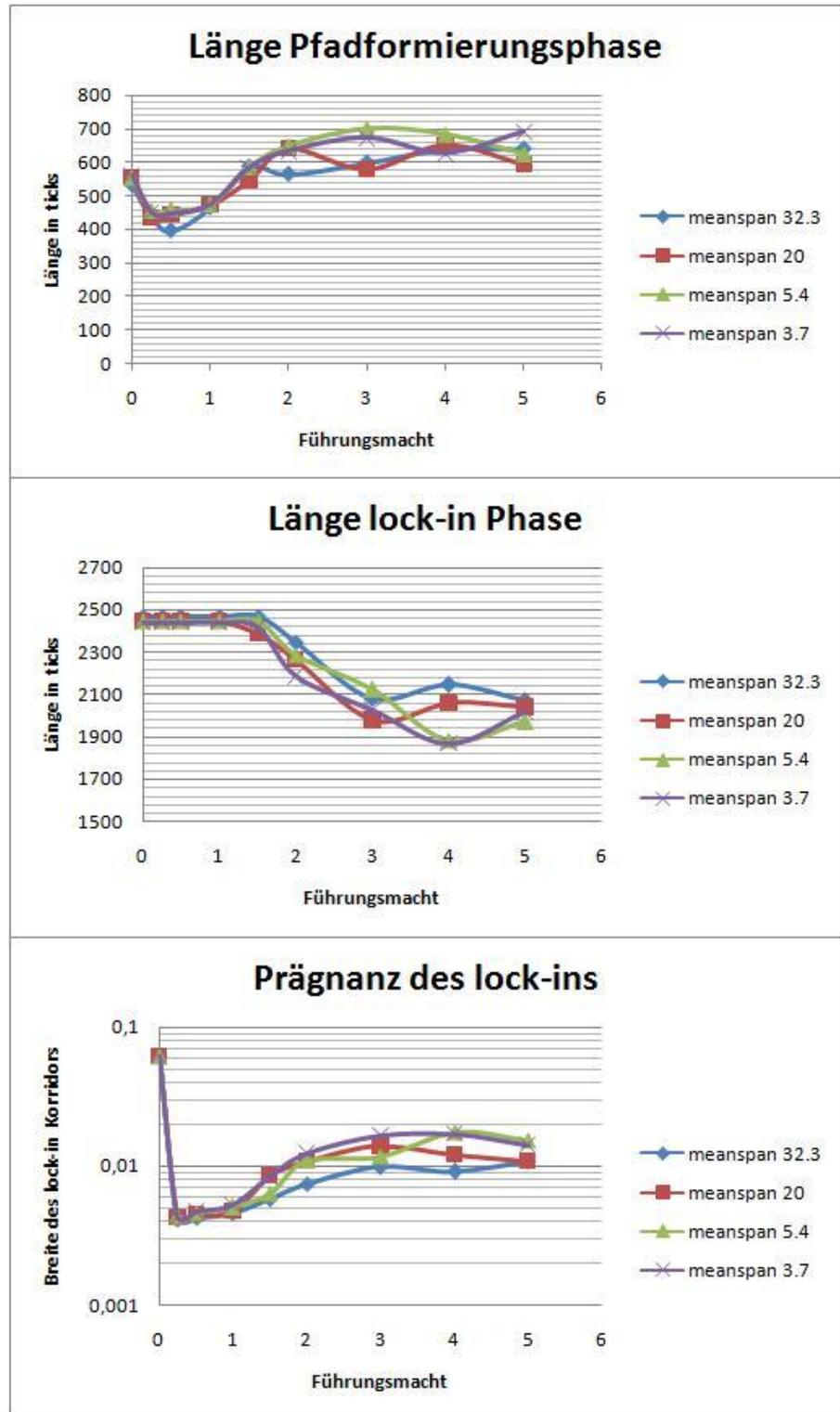
6. Robustheitsanalyse von M1

a) Modell M1r1 Simulationsergebnisse

Tabelle 19: Aggregierte Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r1

Model M1r1	Konfiguration	mean span	li	0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	4	5
mv lock-in tick	3.9.36.	meanspan 32.3		532.87	437.68	395.2	463.76	585.39	563.63	597.65	638.37	638.78
	4.12.21.	meanspan 20		553.93	433.59	443.76	472.19	545.82	638.86	577.8	649.21	592.62
	21.8.5.	meanspan 5.4		552.91	452.83	458.27	472.02	584.34	648.06	699.92	683.84	625.03
	31.8.3.	meanspan 3.7		560.93	450.08	446.13	473.73	583.36	633.66	673.32	627.27	691.44
mv lock-in Dauer	3.9.36.	meanspan 32.3		2468.13	2468.13	2468.13	2468.13	2468.13	2346.07	2080.2	2145.43	2067.73
	4.12.21.	meanspan 20		2447.07	2447.07	2447.07	2447.07	2384.42	2264.31	1977.53	2058	2038.17
	21.8.5.	meanspan 5.4		2448.09	2448.09	2448.09	2448.09	2448.09	2285.91	2121.98	1882.04	1969.07
	31.8.3.	meanspan 3.7		2440.07	2440.07	2440.07	2440.07	2417.55	2183.99	2027.3	1864.58	2016.19
mv lock-in Korridor	3.9.36.	meanspan 32.3		0.06122086	0.00413227	0.00422066	0.00460581	0.00575732	0.0074733	0.00985277	0.00905192	0.01082203
	4.12.21.	meanspan 20		0.06140711	0.00425167	0.00446221	0.00471289	0.00849902	0.01072797	0.01389792	0.01212826	0.01073781
	21.8.5.	meanspan 5.4		0.06160405	0.00434018	0.00457318	0.00506024	0.0063799	0.01093506	0.01177411	0.01739224	0.01530863
	31.8.3.	meanspan 3.7		0.06169665	0.00427239	0.00465662	0.00520099	0.00838111	0.01246685	0.01672643	0.01698464	0.01412074

Abbildung 59: Graphische Darstellung der Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r1

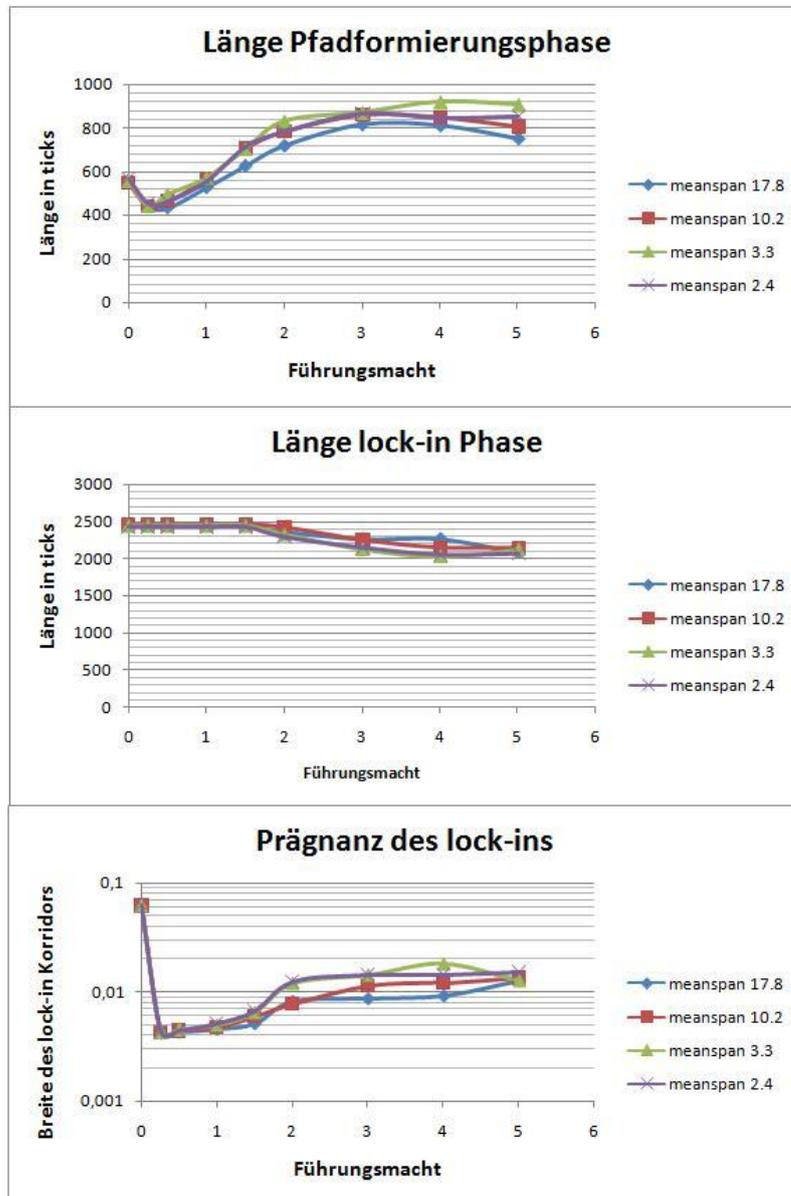


b) Modell M1r2 Simulationsergebnisse

Tabelle 20: Aggregierte Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r2

Model M1r2			li										
mean span			0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	4	5	5	
mv lock-in tick	2.3.8.20	meanspan 17.8	555.66	440.97	432.52	525.69	624.27	717.09	813.94	809.33	749.57	638.78	
	3.4.7.11	meanspan 10.2	546.9	440.38	464.29	566.89	704.79	782.34	857.85	847.05	804.49	592.62	
	10.6.4.3	meanspan 3.3	556.64	440.34	494.72	570.73	704.08	831.37	871.33	919.87	907.030303	625.03	
	20.5.3.2.	meanspan 2.4	565.35	452.91	462.28	555.59	714.4	785.2	868.56	847.35	855.444444	691.44	
mv lock-in Dauer	2.3.8.20	meanspan 17.8	2445.34	2445.34	2445.34	2445.34	2445.34	2365.29	2269.05	2268.72	2084.45	2067.73	
	3.4.7.11	meanspan 10.2	2454.1	2454.1	2454.1	2454.1	2454.1	2413.77	2243.67	2140.75	2138.67	2038.17	
	10.6.4.3	meanspan 3.3	2444.36	2444.36	2444.36	2444.36	2444.36	2322.99	2125.7	2026.08	2120.57212	1969.07	
	20.5.3.2.	meanspan 2.4	2435.65	2435.65	2435.65	2435.65	2435.65	2298.04	2156.53	2059.27	2072.6702	2016.19	
mv lock-in Korridor	2.3.8.20	meanspan 17.8	0.06129829	0.00421989	0.00431763	0.00452743	0.0050913	0.00814857	0.00871121	0.00924892	0.01274454	0.01082203	
	3.4.7.11	meanspan 10.2	0.06135791	0.00420427	0.00437939	0.00469684	0.00592724	0.00772697	0.01130879	0.01213174	0.01330124	0.01073781	
	10.6.4.3	meanspan 3.3	0.06155013	0.00426564	0.00449803	0.00498376	0.00649058	0.01200821	0.01429228	0.01812788	0.01285073	0.01530863	
	20.5.3.2.	meanspan 2.4	0.06205183	0.00427781	0.0043805	0.00518697	0.00675503	0.01240592	0.01408028	0.01444718	0.01496029	0.01412074	

Abbildung 60: Graphische Darstellung der Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r2

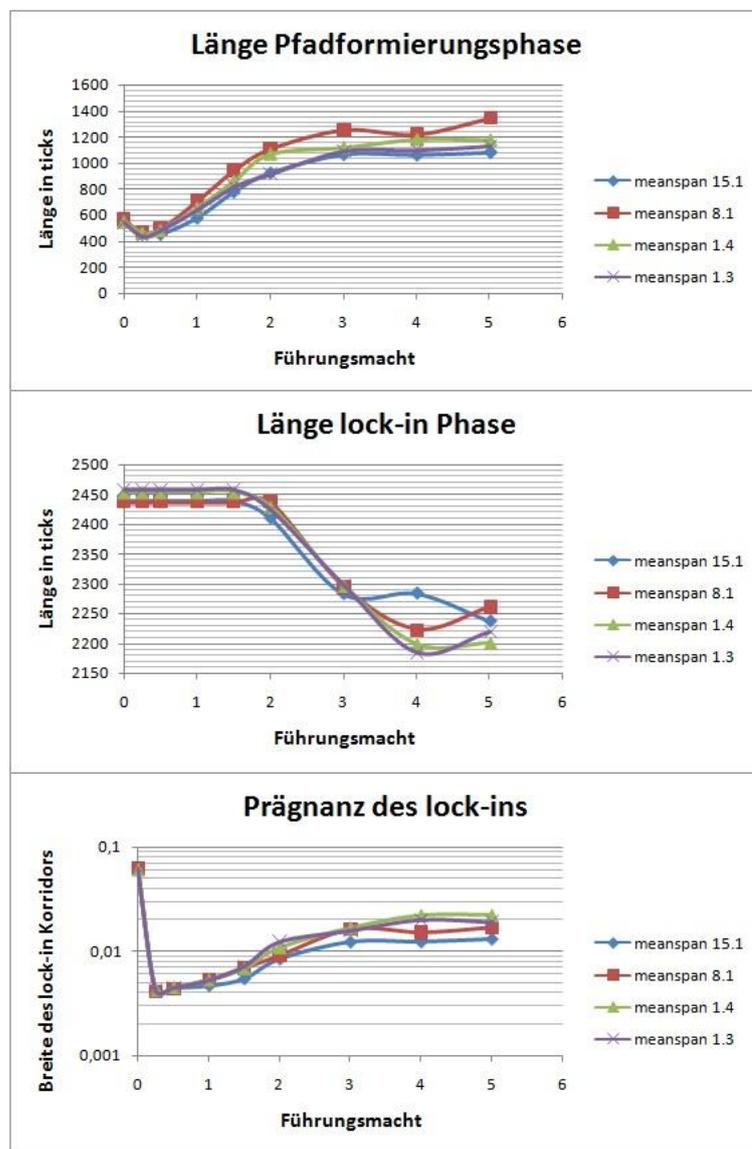


c) Modell M1r3 Simulationsergebnisse

Tabelle 21: Aggregierte Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r3

Model M1r3			li										
mean span			0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	4	5	5	
mv lock-in tick	1.2.2.3.4.20	meanspan 15.1	561.86	456.34	456.14	581.44	781.17	927.17	1068	1064.08081	1083.25	638.78	
	2.2.2.3.4.10	meanspan 8.1	564.6	468.96	495.77	709.77	943.33	1109.22449	1254.86869	1220.84375	1344.64211	592.62	
	12.4.3.2.1.1	meanspan 1.4	547.27	461.71	484.45	653.91	860.69	1068.69	1118.2	1180.39394	1175.86735	625.03	
	20.4.3.1.1.1	meanspan 1.3	543.84	436.72	485.13	640.18	817.53	914.373737	1089.82828	1096.82474	1128.5102	691.44	
			0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	4	5	5	
mv lock-in Dauer	1.2.2.3.4.20	meanspan 15.1	2439.14	2439.14	2439.14	2439.14	2439.14	2409.97	2282.54	2283.55414	2236.64	2067.73	
	2.2.2.3.4.10	meanspan 8.1	2436.4	2436.4	2436.4	2436.4	2436.4	2436.4	2294.66263	2222.9	2260.83158	2038.17	
	12.4.3.2.1.1	meanspan 1.4	2453.73	2453.73	2453.73	2453.73	2453.73	2428.61	2296.54	2198.30576	2200.61776	1969.07	
	20.4.3.1.1.1	meanspan 1.3	2457.16	2457.16	2457.16	2457.16	2457.16	2423.69535	2297.57414	2184.85072	2219.72122	2016.19	
			0	0.25	0.5	1	1.5	2	3	4	5	5	
mv lock-in Korridor	1.2.2.3.4.20	meanspan 15.1	0.06121238	0.00410966	0.004421	0.00465786	0.00545296	0.00843583	0.01228139	0.0123518	0.013074	0.01082203	
	2.2.2.3.4.10	meanspan 8.1	0.06175922	0.00415519	0.00438727	0.00528515	0.00685252	0.00901864	0.01624265	0.01505648	0.01680976	0.01073781	
	12.4.3.2.1.1	meanspan 1.4	0.06121884	0.00427031	0.00452016	0.00533336	0.00689784	0.01089752	0.01682606	0.02214596	0.0222383	0.01530863	
	20.4.3.1.1.1	meanspan 1.3	0.06180484	0.00422238	0.00445534	0.00526071	0.00714802	0.01229123	0.01572652	0.01998421	0.01893619	0.01412074	

Abbildung 61: Graphische Darstellung der Simulationsergebnisse der Robustheitsanalyse des Modells M1r3



IV. Auswertungen statistischer Tests

Tabelle 22: T-Test 001

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	562,4100	81,89932
	2,00	100	480,0500	86,20886

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,001	,977	6,927	198	,000	82,36000	11,89026	58,91220	105,80780
				6,927	197,479	,000	82,36000	11,89026	58,91182	105,80818

Tabelle 23: T-Test 002

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	1986,5300	961,11168
	2,00	100	480,0500	86,20886

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	116,571	,000	15,612	198	,000	1506,48000	96,49703	1316,18618	1696,77382
				15,612	100,593	,000	1506,48000	96,49703	1315,04646	1697,91354

Tabelle 24: T-Test 003

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	1986,5300	961,11168
	2,00	100	2061,1900	971,77955

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,108	,743	-,546	198	,586	-74,66000	136,67813	-344,19166	194,87166
				-,546	197,976	,586	-74,66000	136,67813	-344,19187	194,87187

Tabelle 25: T-Test 004

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	1986,5300	961,11168
	2,00	100	1368,5200	788,48878

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	3,826	,052	4,971	198	,000	618,01000	124,31614	372,85640	863,16360
				4,971	190,716	,000	618,01000	124,31614	372,79882	863,22118

Tabelle 26: T-Test 005

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	1368,5200	788,48878
	2,00	100	991,7300	412,82481
				78,84888
				41,28248

Test bei unabhängigen Stichproben											
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere	
VAR00001	Varianzen sind gleich	18,509	,000	4,233	198	,000	376,79000	89,00218	201,27614	552,30386	
	Varianzen sind nicht gleich			4,233	149,482	,000	376,79000	89,00218	200,92516	552,65484	

Tabelle 27: T-Test 006

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	991,7300	412,82481
	2,00	100	672,3100	278,73443
				41,28248
				27,87344

Test bei unabhängigen Stichproben											
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere	
VAR00001	Varianzen sind gleich	11,694	,001	6,413	198	,000	319,42000	49,81136	221,19112	417,64888	
	Varianzen sind nicht gleich			6,413	173,733	,000	319,42000	49,81136	221,10668	417,73332	

Tabelle 28: T-Test 007

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	672,3100	278,73443
	2,00	100	452,5600	155,44100
				27,87344
				15,54410

Test bei unabhängigen Stichproben											
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere	
VAR00001	Varianzen sind gleich	17,448	,000	6,886	198	,000	219,75000	31,91470	156,81366	282,68634	
	Varianzen sind nicht gleich			6,886	155,146	,000	219,75000	31,91470	156,70659	282,79341	

Tabelle 29: T-Test 008

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	480,0500	86,20886
	2,00	100	2057,9900	976,98821
				8,62089
				97,69882

Test bei unabhängigen Stichproben											
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere	
VAR00001	Varianzen sind gleich	133,173	,000	-16,089	198	,000	-1577,94000	98,07843	-1771,35239	-1384,52761	
	Varianzen sind nicht gleich			-16,089	100,542	,000	-1577,94000	98,07843	-1772,51199	-1383,36801	

Tabelle 30: T-Test 009

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	497,7200	94,43742
	2,00	100	1407,0500	697,07161
				69,70716

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	98,161	,000	-12,927	198	,000	-909,33000	70,34396	-1048,04952	-770,61048
	Varianzen sind nicht gleich			-12,927	102,633	,000	-909,33000	70,34396	-1048,84658	-769,81342

Tabelle 31: T-Test 010

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	481,9300	114,41748
	2,00	100	1003,3700	526,08444
				52,60844

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	66,593	,000	-9,685	198	,000	-521,44000	53,83829	-627,61006	-415,26994
	Varianzen sind nicht gleich			-9,685	108,345	,000	-521,44000	53,83829	-628,15299	-414,72701

Tabelle 32: T-Test 011

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	430,8500	87,68624
	2,00	100	654,3300	262,89615
				26,28961

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	57,468	,000	-8,064	198	,000	-223,48000	27,71340	-278,13131	-168,82869
	Varianzen sind nicht gleich			-8,064	120,758	,000	-223,48000	27,71340	-278,34710	-168,61290

Tabelle 33: T-Test 012

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	,0606	,00245
	2,00	100	,0021	,00029
				,00003

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	134,351	,000	237,015	198	,000	,05852	,00025	,05803	,05900
	Varianzen sind nicht gleich			237,015	101,851	,000	,05852	,00025	,05803	,05900

Tabelle 34: T-Test 013

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	,0021	,00029
	2,00	100	,0151	,01888

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	66,973	,000	-6,899	198	,000	-,01303	,00189	-,01675	-,00930
	Varianzen sind nicht gleich			-6,899	99,048	,000	-,01303	,00189	-,01677	-,00928

Tabelle 35: T-Test 014

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	,0024	,00043
	2,00	100	,0047	,00329

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	120,534	,000	-6,822	198	,000	-,00227	,00033	-,00292	-,00161
	Varianzen sind nicht gleich			-6,822	102,405	,000	-,00227	,00033	-,00293	-,00161

Tabelle 36: T-Test 015

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	,0225	,02651
	2,00	100	,0109	,01828

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	17,792	,000	3,604	198	,000	,01161	,00322	,00526	,01796
	Varianzen sind nicht gleich			3,604	175,777	,000	,01161	,00322	,00525	,01796

Tabelle 37: T-Test 016

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	5438,5900	81,88932
	2,00	100	5439,0000	,00000

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	130,912	,000	-,050	198	,960	-,41000	8,18893	-16,55872	15,73872
	Varianzen sind nicht gleich			-,050	99,000	,960	-,41000	8,18893	-16,65862	15,83862

Tabelle 38: T-Test 017

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	5439,0000	,00000
	2,00	100	5072,1000	1039,74058
				103,97406

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	58,022	,000	3,529	198	,001	366,90000	103,97406	161,96134	571,93866
	Varianzen sind nicht gleich			3,529	99,000	,001	366,90000	103,97406	160,59291	573,20709

Tabelle 39: T-Test 018

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	5072,1000	1039,74058
	2,00	100	2941,8584	2136,05576
				213,60558

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	124,036	,000	8,967	198	,000	2130,24160	237,56672	1661,75587	2598,72733
	Varianzen sind nicht gleich			8,967	143,419	,000	2130,24160	237,56672	1660,65703	2599,82617

Tabelle 40: T-Test 019

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	100	4640,5700	1301,84781
	2,00	100	3299,0456	1850,15980
				185,01598

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	24,565	,000	5,930	198	,000	1341,52440	226,22774	895,39934	1787,64946
	Varianzen sind nicht gleich			5,930	177,732	,000	1341,52440	226,22774	895,08629	1787,96251

Tabelle 41: T-Test 020

Gruppenstatistiken				
VAR00002	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	900	539,2589	231,08802
	2,00	900	545,3089	209,47232
				6,98241

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	3,676	,055	-,582	1798	,561	-6,05000	10,39660	-26,44068	14,34068
	Varianzen sind nicht gleich			-,582	1780,933	,561	-6,05000	10,39660	-26,44082	14,34082

Tabelle 42: T-Test 021

Gruppenstatistiken					
VAR00002		N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	900	545,3089	209,47232	6,98241
	2,00	900	575,2467	250,08570	8,33619

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	1,253	,263	-2,753	1798	,006	-29,93778	10,87410	-51,26499	-8,61057
	Varianzen sind nicht gleich			-2,753	1744,347	,006	-29,93778	10,87410	-51,26543	-8,61013

Tabelle 43: T-Test 022

Gruppenstatistiken					
VAR00002		N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
VAR00001	1,00	900	575,2467	250,08570	8,33619
	2,00	900	571,1022	212,30385	7,07679

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit					95% Konfidenzintervall der Differenz	
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	Untere	Obere
VAR00001	Varianzen sind gleich	,971	,324	,379	1798	,705	4,14444	10,93495	-17,30210	25,59099
	Varianzen sind nicht gleich			,379	1751,834	,705	4,14444	10,93495	-17,30248	25,59137