

Helmut E. Zsifkovits, Susanne Altendorfer-Kaiser (Hrsg.)

Logistisches Produktionsmanagement

4. Wissenschaftlicher
Industrielogistik-Dialog
in Leoben (WiLD)

Logistisches Produktionsmanagement

Der vorliegende Tagungsband entstand aus den Beiträgen zum 4. Wissenschaftlichen Industrielogistik-Dialog 2017 in Leoben. Thematischer Schwerpunkt des Kongresses war das logistische Produktionsmanagement. Der Band enthält Beiträge zur Bedeutung des logistischen Produktionsmanagements, zu den aktuellen Entwicklungen im Bereich von Data Analytics und Physical Internet sowie Roadmaps und Vorgehensmodelle zur Einführung digitaler Technologien in Produktion und Logistik.

Durch die Auswahl der Schwerpunkte und Autoren wurden in gleichem Maße die wissenschaftliche Perspektive und die praktische Bedeutung des Themas berücksichtigt. Die Beiträge wurden von einem international besetzten Programmkomitee bewertet und ausgewählt.

Schlüsselwörter: Produktionsmanagement, Prozessoptimierung, Materialflüsse, Informations- und Kommunikationstechnologien, Digitalisierung

Univ.-Prof. Dr. Helmut E. Zsifkovits wurde 1960 in Graz geboren. Nach dem Studium der Betriebswirtschaftslehre (Karl-Franzens-Universität Graz) war er als Universitätsassistent, Geschäftsführender Gesellschafter (Systemlogistik GmbH) und Projektleiter (UBG - DaimlerChrysler AG) tätig. Seit 2008 ist er Leiter des Lehrstuhls für Industrielogistik an der Montanuniversität Leoben. Arbeitsschwerpunkte sind Produktionslogistik, Materialflusssteuerung und Komplexitätsmanagement.

Ass.-Prof. Dr. Susanne Altendorfer-Kaiser wurde 1983 in Graz geboren. Nach ihrem Studium der Wirtschaftsinformatik (FH JOANNEUM, Universität Salzburg) arbeitete sie in verschiedenen Industrieunternehmen in der IT und Telematik Branche. Seit 2011 ist sie am Lehrstuhl Industrielogistik an der Montanuniversität Leoben beschäftigt. Arbeitsschwerpunkte sind Informationslogistik, Prozessmanagement und IT-Einsatz.

ISBN 978-3-7450-1631-4



9 783745 016314

www.epubli.de

Helmut E. Zsifkovits, Susanne Altendorfer-Kaiser (Hrsg.)

Logistisches Produktionsmanagement

4. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog in Leoben (WiLD)

Vorwort

Der Wissenschaftliche Industrielogistik-Dialog in Leoben adressiert aktuelle Themen im Bereich der Industrielogistik. Der vorliegende Tagungsband hat als Schwerpunkt das Thema „Logistisches Produktionsmanagement“ und entstand aus den Beiträgen zum 4. Wissenschaftlichen Industrielogistik-Dialog.

Der Kongress beschäftigt sich mit Anforderungen und Herausforderungen, denen sich die Industrie gegenwärtig stellen muss. Themen rund um Fertigungsstrategien, Bestandsoptimierung und den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Effizienzsteigerung stehen in vielen Unternehmen auf den Agenden des Managements und betreffen in besonderem Maße die Ausgestaltung der logistischen Produktionssysteme. Daher behandelt der vorliegende Band diese Themen aus wissenschaftlicher Sicht, gleichzeitig wird durch die Einbindung von Fallbeispielen und Industrieprojekten ein starker praktischer Bezug hergestellt.

Einzelne Beiträge beschäftigen sich mit generellen Trends und Aspekten im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien, die für die industrielle Logistik entscheidend sind (Bernardy) sowie Konzepten und Vorgehensmodellen zur Einführung des Physical Internet (Ehrentraut, Gasperlmaier, Landschützer, Graf), (Erboz, Bohács, Szegedi).

Innovative Konzepte und Systeme rund um die Fertigungs- und Produktionsprozesse in unterschiedlichen Branchen werden vorgestellt (Hueber, Fischer, Schledjewski), (Kapeller), (Weichbold, Schuster) und Modelle zur Bestandsoptimierung (Krainz, Fronthaler, Kinz) und zur Ressourceneffizienz (Seidnitzer-Gallien) präsentiert.

Weitere Beiträge behandeln Smart Data Analytics in der Produktionslogistik (Kormann) und Supply-Chain-Controlling im Kontext der Digitalisierung (Bischof, Brunner, Stradner). Es werden Ansätze zur Prozessoptimierung (Marcher, Dallasega, Schimanski, Marengo, Rauch, Nutt, Matt) und das Potential der Bionik in der Logistik (Tinello, Boley, Drack, Gebeshuber, Winkler) aufgezeigt.

Den Autoren sei an dieser Stelle für die fundierten und qualitativ hochwertigen Beiträge gedankt, und für die Impulse und innovativen Ansätze, die sie dadurch vermitteln.

Leoben, im September 2017

*Helmut E. Zsifkovits
Susanne Altendorfer-Kaiser*

Hinweis: Bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, meint die gewählte Formulierung beide Geschlechter, auch wenn aus Gründen der leichteren Lesbarkeit die männliche Form steht.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
Autorenverzeichnis	7
General classification of mobile communication technologies like 5G for production and logistics	11
Supply-Chain-Controlling im Kontext der Digitalisierung	21
Eine Roadmap zum Physical Internet – Anwendungsbeispiele, Methoden und erste Ergebnisse	39
How to Achieve Physical Internet through Lean Principles and Industry 4.0? ..	55
Produktionsplanung am Übergang zwischen diskreter und Batch-Fertigung in der Composite Luftfahrt Industrie	63
Explorative Potentialevaluierung der Kombination von Fertigungssteuerungsstrategien	71
Phasenbasiertes Vorgehensmodell zur Implementierung von Smart Data Analytics in der Produktionslogistik	83
Inventory Optimization Concept Based On Target Service Levels	93
Collaborative Construction Process Management: The project »COCKPiT« ..	105
Verbesserung und Bewertung der Ressourceneffizienz in der Produktion	115
Bionik in der Logistik - umsetzbares Potential!	125
Entwicklung einer Methodik zur Verfolgung von kontinuierlichen, inhomogenen Materialflüssen und deren Eigenschaften (SmartSinter)	141

Autorenverzeichnis

Ass.-Prof. Dr. Susanne Altendorfer-Kaiser

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Industrielogistik, Leoben, Österreich
susanne.altendorfer@unileoben.ac.at

Anne Bernardy, M.Sc.

FIR e. V. an der RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
anne.bernardy@fir.rwth-aachen.de

Mag. Dr. Christian Bischof, MBA

Fachhochschul-Institut Industrial Management / Industrierwirtschaft,
FH JOANNEUM Kapfenberg, Kapfenberg, Österreich
christian.bischof@fh-joanneum.at

Dr. Gábor Bohács

BME Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering (KJK)
Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Ungarn
gabor.bohacs@logisztika.bme.hu

Moritz Boley, M.Sc.

Institut für Evolution und Ökologie, Abteilung für Evolutionsbiologie der
Invertebraten, Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland
moritz.boleym@uni-tuebingen.de

Dipl.-Ing. (FH) Uwe Brunner

Fachhochschul-Institut und Transferzentrum Industrial Management /
Industrierwirtschaft, FH JOANNEUM Kapfenberg, Kapfenberg, Österreich
uwe.brunner@fh-joanneum.at

Ass.-Prof. Dr. Patrick Dallasega

Fakultät für Naturwissenschaften und Technik, Universität Bozen, Bozen, Italien
patrick.dallasega@unibz.it

Mag. Dr. Manfred Drack

Institut für Evolution und Ökologie, Abteilung für Evolutionsbiologie der
Invertebraten, Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland
manfred.drack@uni-tuebingen.de

Dipl.-Ing. Florian Ehrentraut

Technische Universität Graz, Institut für Technische Logistik, Graz, Österreich
florian.ehrentraut@tugraz.at

Gizem Erboz

Kautz Gyula Faculty of Management, Szechenyi Istvan University, Győr, Ungarn
gizem.Erboz@phd.uni-szie.hu

Gudrun Fischer

Christian Doppler Laborator für Hocheffiziente Composite Verarbeitung,
 Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich
gudrun.fischer@unileoben.ac.at

Dipl.-Ing. Andre Fronthaler

Hoerbiger Kompressortechnik Holding GmbH, Wien, Österreich
andre.fronthaler@hoerbiger.com

Andreas Gasperlmaier BA, MA

FH Oberösterreich, Logistikum, Steyr, Österreich
andreas.gasperlmaier@fh-steyr.at

Associate Prof. Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ille C. Gebeshuber

Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Wien, Wien, Österreich
ille@iap.tuwien.ac.at

FH-Prof. Dipl.-Ing. Hans-Christian Graf

FH Oberösterreich, Logistikum, Steyr, Österreich
hans-christian.graf@fh-steyr.at

Dipl.-Ing. Christian Hueber

Christian Doppler Laborator für Hoch Effiziente Composite Verarbeitung,
 Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich
christian.hueber@unileoben.ac.at

Dipl.-Ing. Johannes Kapeller

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Industrielogistik, Leoben, Österreich
johannes.kapeller@unileoben.ac.at

Dipl.-Ing. Alfred Kinz

Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben,
 Leoben, Österreich
alfred.kinz@unileoben.ac.at

Dipl.-Ing. Benjamin Kormann

Automotive Electronics, Data Mining und Data Analytics (AE/LOI), Robert Bosch
 GmbH, Reutlingen, Deutschland
benjamin.kormann@de.bosch.com

Dipl.-Ing. Maik Krainz

Hoerbiger Kompressortechnik Holding GmbH, Wien, Österreich
maik.krainz@hoerbiger.com

Assoc.Prof. DI Dr.techn. Christian Landschützer

Technische Universität Graz, Institut für Technische Logistik, Graz, Österreich
landschuetzer@tugraz.at

Ing. Carmen Marcher

Fraunhofer Innovation Engineering Center, Bozen, Italien
carmen.marcher@fraunhofer.it

Ass.-Prof. Elisa Marengo, PhD

Fakultät für Computerwissenschaften, Freie Universität Bozen, Bozen, Italien
elisa.marengo@unibz.it

Univ.-Prof. Dr. Dominik Matt

Fraunhofer Italien, Fakultät für Naturwissenschaften und Technik, Freie Universität
 Bozen, Bozen, Italien
dominik.matt@unibz.it

Univ.-Prof. Dr. Werner Nutt

Fakultät für Computerwissenschaften, Freie Universität Bozen, Bozen, Italien
werner.nutt@unibz.it

Ass.-Prof. Dr. Erwin Rauch

Fakultät für Naturwissenschaften und Technik, Freie Universität Bozen, Bozen,
 Italien
erwin.rauch@unibz.it

Christoph Paul Schimanski, MSc.

Fraunhofer Italia Research, Bozen, Italien
christoph.schimanski@fraunhofer.it

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ralf Schledjewski

Christian Doppler Labor für Hocheffiziente Composite Verarbeitung, Lehrstuhl für Verarbeitung von Verbundwerkstoffen, Department Kunststofftechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich
ralf.schledjewski@unileoben.ac.at

Dipl.-Ing. Dr. Elmar Schuster

Voestalpine Stahl Donawitz GmbH, Leoben, Österreich
Elmar.schuster@voest.com

Dipl.-Ing. (FH) Carina Seidnitzer-Gallien

Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich
carina.seidnitzer.gallien@gmail.com

Sascha Stradner, BSc

Fachhochschul-Institut Industrial Management / Industriewirtschaft, FH JOANNEUM Kapfenberg, Kapfenberg, Österreich
uwe.brunner@fh-joanneum.at

Prof. Dr. Zoltán Szegedi

Professor of Logistics & Supply Chain Management, Head of Section Organisation & Management, Kautz Gyula Faculty of Management, Szechenyi Istvan University, Győr, Ungarn
szegedi.zoltan@sze.hu

Mag. Ing. Daniel Tinello

Technische Universität Graz, Institut für Technische Logistik, Graz, Österreich
daniel.tinello@tugraz.at

Dipl.-Ing. Christian Weichbold

Voestalpine Stahl Donawitz GmbH, Leoben, Österreich
Christian.weichbold@voest.com

Univ.-Prof. Dr. habil. Herwig Winkler

Lehrstuhl für Produktionswirtschaft, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus, Deutschland
winkler@b-tu.de

Univ.-Prof. Dr. Helmut E. Zsifkovits

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Industrielogistik, Leoben, Österreich
helmut.zsifkovits@unileoben.ac.at

Bionik in der Logistik - umsetzbares Potential!

Daniel Tinello, Moritz Boley, Manfred Drack, Ille Gebeshuber, Herwig Winkler

Abstract

Im vorliegenden Beitrag wird überprüft, ob mithilfe der Bionik sowohl Prinzipien als auch Designansätze in der Natur zu finden sind, die bei der Entwicklung von neuartigen Fabriklayouts angewendet werden können. In der belebten Schöpfung findet man einige Systeme die sich an kurz- und langfristige Änderungen erfolgreich anpassen. Außerdem wachsen natürliche Systeme in einer Weise, dass alle involvierten Elemente während des Wachstums ohne Störung weiterfunktionieren. Könnten die Fabriklayouts der Zukunft wie Bienenwaben, Spinnennetze oder Nautilus-Schale angeordnet sein? Und hätte dies überhaupt einen Mehrwert für die industrielle Praxis? Damit beschäftigt sich vorliegender Beitrag.

1 Einleitung

In unseren bisherigen Arbeiten haben wir bereits die Fragestellung untersucht, ob Bionik bei der Materialfluss- und Layoutplanung unrealistische Träumerei oder ein realistisch umsetzbares Potential für Produktivitäts- und Wirtschaftlichkeitsverbesserungen darstellt [29, 30]. Hierbei unterteilten wir die belebte Schöpfung in zwei Bereiche welche aus unserer Sicht Potential für eine Logistikanwendung hätten: 1.) Bionik bei Wachstumsprozessen von Fabriken und 2.) Bionik zur Gestaltung von Input-Output-Prozessen. Bei der Ersten untersuchten wir Wachstumsprozesse von Fibonacci, welche auch bereits für die Städteplanung angedacht werden. Bei der Zweiten lagen Bauten von Termiten, Weberameisen und Honigbienen im Zentrum. Als Ausblick wurde damals in den Raum gestellt mithilfe solcher Analogien aus der Natur, vorhandene Fabriklayouts in bio-inspirierte Fabriklayouts umzubauen. Diese bio-inspirierten Fabriklayouts sollten dann den traditionell erstellten Layouts gegenübergestellt werden. Dabei sollte als Vergleichswert die Transportleistungsziffer dienen [2, 33]. Nachfolgende Beschreibungen bilden nun einen kurzen Abriss über den Inhalt der aktuellen Forschungen.

2 Bibliometrische Analyse zu Vorstudien und laufenden Arbeiten im wissenschaftlichen Schrifttum

Um auch für die Logistik zu untersuchen, ob es in der Literatur schon wissenschaftliche Arbeiten gibt, in denen die Bionik für die Logistik erfolgversprechend ist und inwiefern diese Arbeiten zum vorliegenden Thema

beitragen, wurden ausgewählte Methoden der Bibliometrie angewendet. Dabei wurde gemäß den Empfehlungen von Ball und Tunger vorgegangen [4, 5]. Mittels unterschiedlicher Abfragepärchen wurden zwei der umfassendsten wissenschaftlichen Datenbanken (Scopus und Web of Science) durchsucht. Erfasst wurden dabei alle Publikationen, die mit den Bereichen Bionik und Logistik eine Beziehung aufweisen und dem Bereich der Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften angehören. Wie die Analyse der Veröffentlichung gezeigt hat (vergleiche [27]), ist ein Trend zu biologisch inspirierten Lösungen im Bereich der Logistik erkennbar. Zwischen 2003 und 2013 ist die Menge der Veröffentlichung, als auch der Zitationen stark angestiegen. Das führende Land in Bezug auf Publikationsmenge ist mit 54,48% der Publikationen die Volksrepublik China, gefolgt von Deutschland und den USA.

Um die Verbindungen zwischen den einzelnen Forschungsthemen der Logistik und Bionik zu visualisieren wurden die analysierten Publikationen den entsprechenden Fachgebieten zugeordnet. Die Ergebnisse wurden in einer Matrix (siehe Abbildung 1) zusammengefasst, welche zeigt, dass besonders die Prinzipien der Verhaltensbiologie in verschiedenen Logistikforschungsthemen

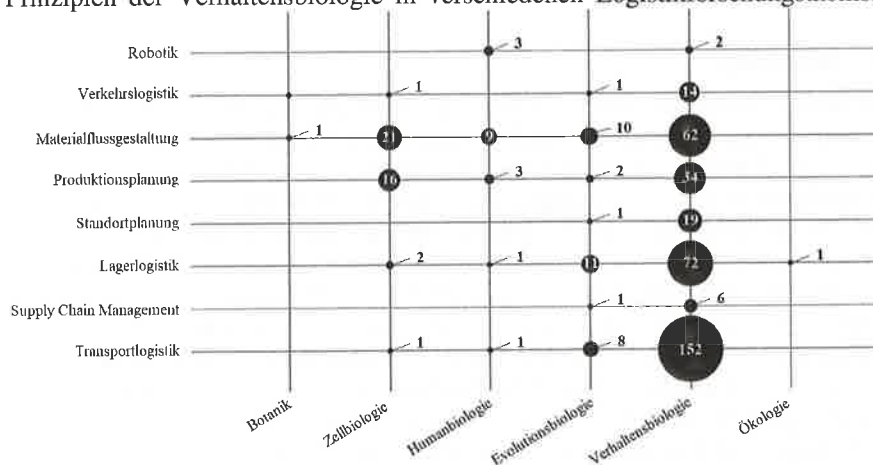


Abbildung 1: Überschneidungen der Themengebiete Logistik und Bionik in den analysierten Publikationen [27]

angewendet werden, wobei die Transportlogistik den größten Anteil trägt. Die Matrix zeigt aber, dass einige Themenfelder noch unbearbeitet sind. So wurden auch potentiell biologisch inspirierte Fabriklayouts bisher noch nicht erschlossen.

3 Bewertung klassischer Layoutplanungsverfahren versus bio-inspirierter Layoutplanungsverfahren

3.1 Methodik und Bewertungssystem

Für die Untersuchung von verschiedenen Planungsmethoden für Fabriklayouts wurden in einer Fallstudie (vergleiche [26]) drei österreichische Produktionsbetriebe analysiert und hierbei auf reale Materialflussdaten und Layoutpläne zurückgegriffen. Aufgrund der wissenschaftstheoretisch geforderten maximalen Kontrastierung bei Fallstudien [38], erfolgte die Auswahl der Fabriken in der Art, dass die ausgewählten Produktionsstätten eine unterschiedliche Materialfluss-Struktur als auch eine unterschiedliche Branchen- und Unternehmens-zugehörigkeit aufweisen. Zu Beginn wurden die originalen Layouts mittels CAD-Tool [28] abgebildet und die Transportleistungsziffer⁴ ermittelt. Danach wurden klassische als auch bio-inspirierte Layoutplanungsverfahren auf die jeweils zugrundeliegende Fabrik angewandt und neue Layouts erzeugt und in der Folge miteinander verglichen.

Da in der Praxis nicht nur quantitativer Größen wie der Materialfluss alleine für die Layoutbewertung ausschlaggebend sind [19], wurden auch folgende weitere Kriterien verwendet um anhand dieser die Layouts mittels einer Multikriterienbewertung [22] einander gegenüberstellen zu können:

- Zielkategorie 1: Materialfluss; Transportleistungsziffer
- Zielkategorie 2: Flächenbedarf; benötigte Rechteckfläche als auch Netzfläche
- Zielkategorie 3: Planungsaufwand; Berechnungsaufwand, Flächenformveränderungen als auch Komplexität der Methode
- Zielkategorie 4: Veränderungsfähigkeit; Flexibilität und Wandlungsfähigkeit

Bei den qualitativen Kriterien wurde anhand sachlogischer Zusammenhänge bewertet, welche in Stufen unterteilt wurden. Jede Stufe wurde einem Bewertungsäquivalent zugeordnet. Ein solches Beispiel ist die Wandlungsfähigkeit. Ist folgende Aussage erfüllt werden 10 Punkte vergeben: „Das erzeugte Layout ermöglicht die Reaktion auf ungeplanten Flächenbedarf und erleichtert die Umsetzung.“ Durch diese Objektivierung ist sowohl eine bessere Transparenz als auch Nachvollziehbarkeit gegeben [15].

3.2 Klassische Layoutplanungsverfahren

Für vorliegende Arbeit wurden auf jede der untersuchten Fabriken drei „klassische“ Layoutplanungsverfahren [29] angewendet nämlich: das

⁴Transportleistungsziffer $TLZ = \sum \sum t_{ij} \cdot e_{ij}$ mit t_{ij} := Transportintensität zwischen Betriebsmittel i und Betriebsmittel j und e_{ij} := Distanz zwischen Betriebsmittel i und Betriebsmittel j . Dieser Zahlenwert ist vielfach die Zielgröße für Optimierungsaufgaben im Rahmen von Planungsprojekten. Sie ist ein nützliches Maß für die Qualität einer entwickelten Layoutversion [33].

Kreisverfahren nach Schwerdtfeger [16, 33], das Dreiecksverfahren nach Schmigalla [24, 33] und der Algorithmus für die Reihenfolgeverbesserung [34]. Anhand dieser wurde jeweils ein Ideallayout erstellt. Abbildung 2 zeigt beispielsweise die neue Layoutstruktur von Fabrik C bei Verwendung zweier klassischer Verfahren.

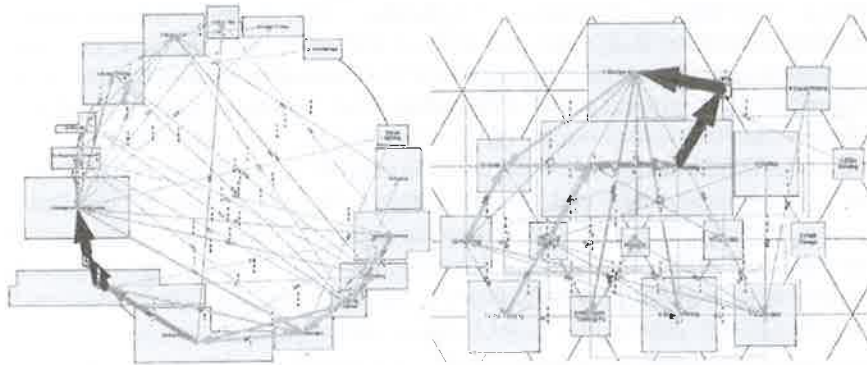


Abbildung 2: Fabrik C (links), erzeugt Ideallayout unter Verwendung des Kreisverfahrens von Schwerdtfeger; (rechts), erzeugt Ideallayout unter Verwendung der Dreiecksmethode von Schmigalla [26]

3.3 Bio-inspirierte Layoutplanungsverfahren

Nach der Anwendung der „klassischen“ Verfahren auf die drei Fabriken wurde intensiv darüber nachgedacht welche Analogien in der Natur passend sind um ein bio-inspiriertes Layout zu erzeugen. Es wurden drei Analogien gefunden welche nun näher erläutert werden.

- Bienenwaben als Systemdesignmuster (vgl. dazu [31])

Bienenwaben bestehen aus standardisierten Sechsecken, die mit vordefinierten Abmessungen konstruiert werden. Diese Waben bestehen aus Bienenwachs, welches von einem Bienenvolk produziert wird. Doch die Bienen bilden ihre Honigwaben nicht von Natur aus sechseckig, sondern diese Form entsteht aus einer thermischen Deformation bedingt durch die Arbeit in den Zellen [21]. Das Sechseck ist neben dem Dreieck und dem Viereck die einzige regelmäßige Form, die eine flache Oberfläche vollständig und lückenlos füllen kann (auch bekannt als Tessellation bzw. Parkettierung) [13, 25]. Ein weiterer Vorteil der Sechsecke, verglichen mit Dreiecken und Vierecken, ist die Tatsache, dass die Fläche von Sechsecken bei gleichem Umfang größer ist. Dies resultiert in einem minimalen Materialbedarf von Bienenwachs für die Wände, mit derselben zugrundeliegenden Fläche [25]. Und hier ist die Analogie der Natur für das vorliegende Layoutplanungsproblem: Der Kraftfluss der über die Wachswände der Bienenwaben erfolgt, kann mit dem Materialfluss einer Fabrik verglichen werden. Die Wabenwände sollten die Wege der Transporte innerhalb der Fabrik symbolisieren (die allerdings nichts mit den Transportwegen der Bienen zu tun

haben). Weil durch das Verwenden sechseckiger Formen ein minimaler Umfang bei gleicher Fläche erreicht wird, ist anzunehmen, dass dadurch auch der Materialfluss minimiert werden kann. In den biologisch inspirierten Layouts soll auch eine zweite Analogie zur Anwendung kommen: Die Brutkammer (siehe Abbildung 3 links). Diese befindet sich im Zentrum und es halten sich dort die meisten Bienen auf [7, 12]. Diese Tatsache kann in die Praxis durch die Anordnung des Bereiches mit den meisten Materialflüssen (innerhalb der Fabrik), in das Zentrum des Fabriklayouts erfolgen. Um dieses betriebsame mittlere Areal werden die anderen Organisationseinheiten mit niedrigeren Materialflüssen angeordnet. In Abbildung 3 (rechts) ist die Anwendung dieser Analogie auf Fabrik C zu sehen. Die detaillierte Vorgehensweise des Verfahrens wird im Beitrag [31] näher erläutert.

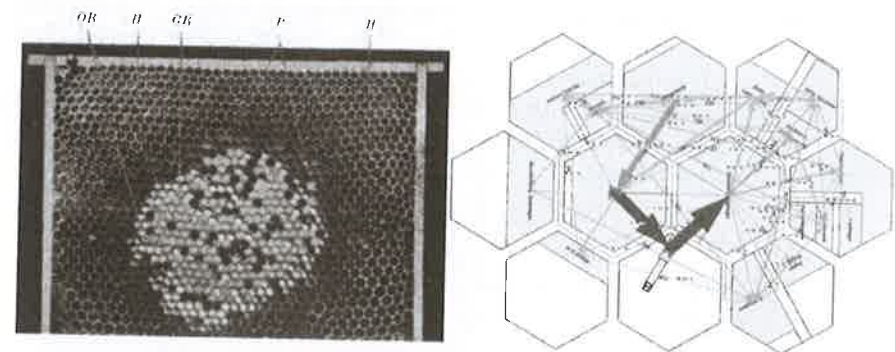


Abbildung 3: (links): Arrangement innerhalb einer Brutkammer [12], (rechts): bionisch inspiriertes Fabriklayout von Fabrik C unter Verwendung der Bienenwabenmethode [31]

- Die Echten Radnetzspinnen (*Araneidae*) als Systemdesignmuster (vgl. dazu [26])

Spinnen bauen eine große Anzahl von verschiedenen Netzstrukturen, zum Beispiel Radnetze welche ein beträchtliches Einzugsgebiet für Beute bei gleichzeitig geringem Verbrauch von Spinnenseide bieten. Während ihrer gesamten Lebensdauer bauen diese Spinnen immer identische Radnetze und ändern diese nur der Größe nach, entsprechend den jeweiligen lokalen Verhältnissen [10]. Abbildung 4 (links) zeigt den Aufbau eines Radnetzes. Dies besteht aus drei Hauptelementen: Radiale Speichenfäden (Radius), die sich mit der Nabe verbinden, Rahmenfäden mit der Funktion der Außenbegrenzung als auch Startpunkt für die radialen Speichenfäden und die klebrigen Fäden der Fangspirale. Viele Spinnen sitzen dabei in der Mitte der Nabe und der Kopf ist nach unten gerichtet. Jedes der acht Beine ist im Kontakt mit einem der Radialfäden, um auch die geringsten Vibrationen zu bemerken. Sobald z.B. eine Fliege im Netz gefangen wird, wird die Spinne aktiv und bewegt sich radial hauptsächlich entlang der nichtklebrigen Speichenfäden zu dem Opfer, beißt die

Kriteriumsanzuordnung Gewichtung des Subkriteriums	Materialfluss Layoutkriterien		Flächenbedarf metrisch		Layoutzeit metrisch		Planungsaufwand technologisch		Veränderungsfähigkeit technologisch		Gesamt
	K1 metrisch	K2 metrisch	K3 metrisch	K4 ordinal	K5 ordinal	K6 ordinal	K7 ordinal	K8 ordinal	K9 ordinal		
Varianten der Fabrik A											
Original Layout	26.894,068	17.198	39,259	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3
Triaxialverfahren	10.501,542	20.393	18,4%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Rechteckige Abscheidung	11.194,520	10.173	40,8%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kreisverfahren	8.073,360	34.488	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
Fibonacci Einfachspiralen Verfahren	12.645,882	15.080	12,3%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fibonacci Doppelspiralen Verfahren	8.188,897	15.167	6,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
Spinnnetz Verfahren	15.725,497	21.289	33,3%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Doppelteckel Verfahren	25.664,082	15.403	40,8%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
min./max Werte ->		70,0%									10,0
Varianten der Fabrik B											
Original Layout	1.370,960	4,353	6,024	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
Triaxialverfahren	961,164	7,054	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rechteckige Abscheidung	1.115,208	4,154	4,6%	9,6	7,971	30,7%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kreisverfahren	68,600	6,199	4,8%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fibonacci Einfachspiralen Verfahren	79,373	4,146	4,8%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fibonacci Doppelspiralen Verfahren	77,686	4,655	6,7%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Spinnnetz Verfahren	75,461	4,835	6,1%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Doppelteckel Verfahren	89,693	4,251	2,9%	4,9	7,082	16,9%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
min./max Werte ->		48,7%									10,0
Varianten der Fabrik C											
Original Layout	1.004,961	5,843	9,307	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Triaxialverfahren	961,164	7,415	26,9%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rechteckige Abscheidung	1.004,096	4,564	21,9%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kreisverfahren	1.040,884	11,170	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fibonacci Einfachspiralen Verfahren	1.040,884	24,1%	14,8%	6,6	7,661	19,4%	7,5	7,0	1,4	0,0	0,0
Fibonacci Doppelspiralen Verfahren	775,293	5,115	12,5%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Spinnnetz Verfahren	1.003,693	6,287	4,6%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Doppelteckel Verfahren	1.004,961	32,9%	34,1%	8,1%	5,4	4,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
min./max Werte ->		43,5%									10,0

Quelle: Tinello

Abbildung 6: Multikriterienbewertung für die untersuchten Fabriklayouts welche sowohl mit klassischen als auch bio-inspirierten Layoutplanungsmethoden erzeugt wurden

Die Abbildung 6 zeigt auch, dass das Fibonacci Doppelspiralen Verfahren mit 6,65 Gesamtpunkten (gewichteter Gesamtnutzen) als Gewinner in allen Layoutvarianten innerhalb der drei analysierten Fabriken hervorgeht. Die Ergebnisse in Hinblick auf den Materialfluss zeigen, dass einige klassische Methoden, wenn auch zum Teil vor Jahrzehnten entwickelt, immer noch sehr praxistauglich sind. Doch bei komplexeren nichtlinearen Materialflüssen wie in der Fabrik C können bio-inspirierte Ansätze ihre Stärken zeigen. Auch in der Kategorie Veränderungsfähigkeit können die bio-inspirierten Verfahren besonders punkten und die klassischen Verfahren durchwegs in den Schatten stellen. Doch in der Kategorie Planungsaufwand können die bio-inspirierten Verfahren aufgrund der komplexeren Herangehensweise und dem damit einhergehenden Mehraufwand nicht den ersten Platz einnehmen.

5 Ausblick auf weitere Forschungsaufgaben

Neben den oben erwähnten Bienenwaben, Spinnennetzen und *Nautilus* Strukturen werden im Rahmen weiterer Forschungsaufgaben in den nächsten Monaten noch weitere Analogien aus der belebten Schöpfung überprüft und neue Layoutvarianten erzeugt. Drei aussichtsreiche Analogien seien hier kurz vorgestellt:

- Mikrotubuli

Als Mikrotubuli (vergleiche Abbildung 7 links) werden Polymerfilamente innerhalb der lebenden Zelle bezeichnet. Sie sind von zentraler Bedeutung für den gezielten Transport innerhalb von Zellen und die Zellbewegung. Das Mikrotubuli-Netzwerk entspricht einem Schienennetzwerk und die Motorproteine (Kinesin und Dynein) den Transportzügen [14]. Dieses Netzwerk entspringt nahe dem Zellkern, vergleichbar mit einem Verladebahnhof. Dabei werden nicht nur Waren (Vesikel) transportiert, sondern auch ganze Produktionseinheiten (Mitochondrien) je nach Bedarfssituation. Die Mikrotubuli werden hauptsächlich für Langstrecken-transporte innerhalb einer Zelle eingesetzt. Als Kurzstreckensystem fungieren Actin-Filamente auf ähnlicher Grundlage. Letztere sind aber zufällig innerhalb einer Zelle angeordnet und für den Kurzstreckentransport in Verwendung.

- Cnidaria

Hierbei handelt es sich vorwiegend um Meerestiere, wie zum Beispiel sessile (festsitzende) Seeanemonen, Quallen und Korallen. Zur Verdauung und Verteilung der Nährstoffe haben diese Tiere einen Zentralmagen mit mehreren Radiärkanälen (vergleiche Abbildung 7 rechts) [37]. Die Mundöffnung ist Ein- und Ausgang für „Waren“; diese werden vom Magen ausgehend über die Gastralsepten (Gänge) verteilt, umgebaut und wieder zurücktransportiert. Bei zunehmendem Umsatz wird der Organismus nicht beliebig vergrößert, stattdessen kommt es zu Knospungen (Anbau). Die neuen Knospen haben aber immer noch

eine Verbindung zum Ursprungsorganismus, obwohl sie eine eigene Mundöffnung aufweisen.

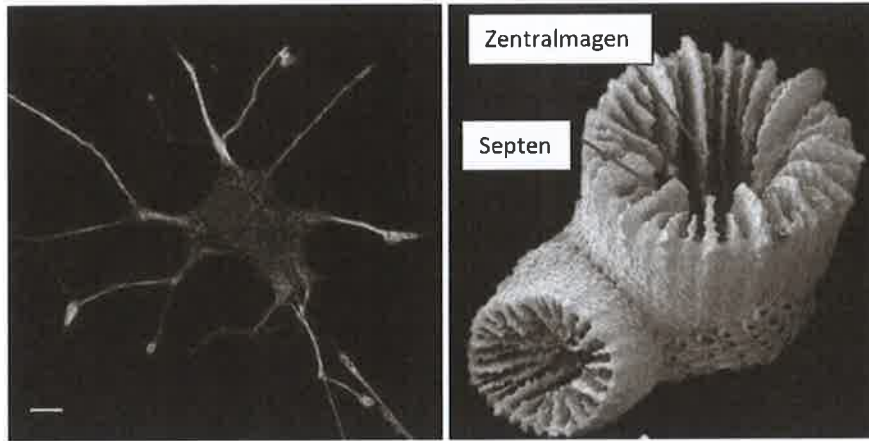


Abbildung 7: (links): Fluoreszenz Aufnahme einer Zelle; radiale Organisation des Mikrotubuliskeletts (grün) und einige sich bidirektional bewegend Lasten (rot). Der Zellkern ist in Blau dargestellt [1]; (rechts) Bild des Gastrovaskularsystems einer *Anthozoa* (Blumentier). Zu sehen sind der Zentralmagen, die Septen und links unten eine Knospung [9]

• Blutgefäßsystem

Das Blutgefäßsystem ist so ausgelegt, dass der hydrodynamische Widerstand (Energie zur Verteilung der Ressourcen) minimiert wird. Interessant ist, dass das Blutgefäßsystem bei einer Maus ähnlich aufgebaut ist wie bei einem Wal. Nur dass der um 10^7 schwerere Wal nur ca. 70% mehr Verzweigungen bezogen auf das Blutgefäßsystem hat [36]. Dennoch wachsen die Gefäße bei beiden Tieren nach der gleichen Gesetzmäßigkeit (vgl. WEB-Model Abbildung 8 oben) welche am Ende eine effiziente Versorgung aller Organe und Körperteile ermöglicht. Dies kommt einer Minimierung der Transport Distanzen gleich [8]. Die einzelnen Blutgefäßsysteme unterscheiden sich aber teilweise in der Ausrichtung ihrer Optimierung. So haben Tumorgefäße eine geringere Anfälligkeit gegen Störungen durch Umgehungskreisläufe [3]. Der Prozess der Blutgefäß-Neubildung (Angiogenese) spielt insbesondere bei der Krebsforschung eine große Rolle, da der Prozess essentiell für die Versorgung des Tumorgewebes ist (vgl. Abbildung 8 unten). Durch verschiedene Wachstumsfaktoren, z.B. VEGF (*Vascular Endothelial Growth Factors*), kommt es zum Wachstum der Gefäße [18, 20]. Diese Faktoren werden beispielsweise von Fibroblasten sezerniert. Der Prozess der Angiogenese setzt sich aus der direkten *Tip Cell Invasion*, *Multicellular Stalk Formation*, *Lumen Formation* und *Neovessel Perfusion* zusammen [20]. Dabei breiten sich die neuen Gefäße von bereits bestehenden Strukturen aus, indem zuerst Actinreiche Ausstülpungen entstehen. Die dabei

entstehenden Gefäßanordnungen könnten für Transport- und Logistikprobleme interessant sein.

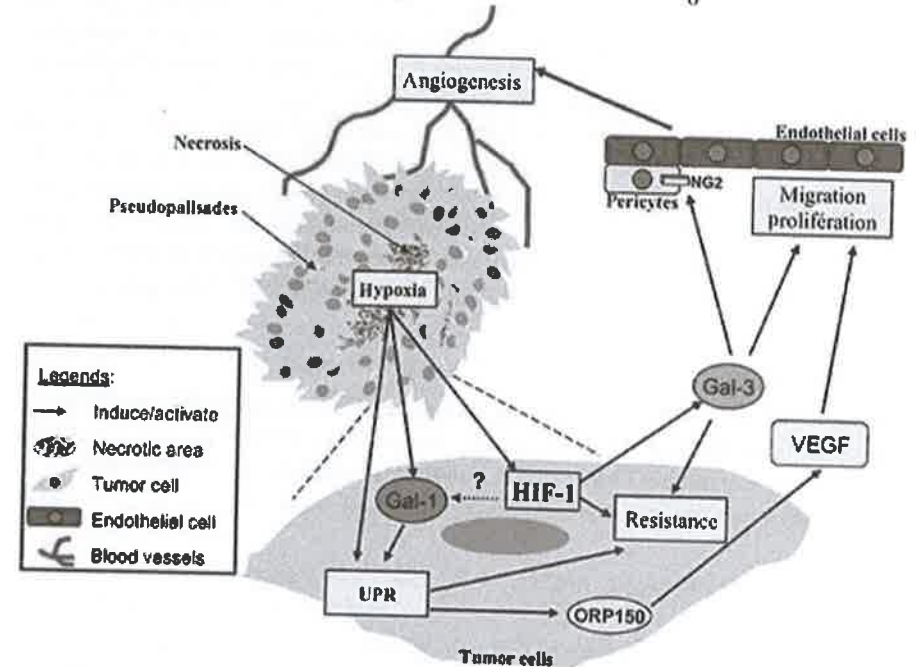
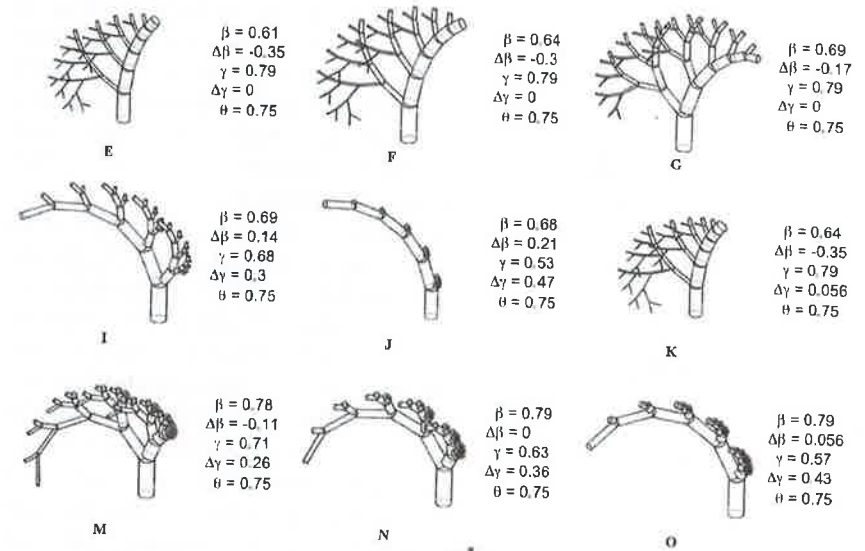


Abbildung 8: (oben): Gesetzmäßigkeiten beim Wachstum von Blutgefäßen [8]; (unten): Schemazeichnung der Angiogenese bei Tumorzellen [17]

6 Fazit

Bionik in der Logistik - Träumerei oder umsetzbares Potential? Die Idee Fabriken wie Bienenwaben, Spinnennetze oder die Fibonaccispirale zu gestalten, mag im ersten Moment weit hergeholt erscheinen und nach Science-Fiction oder Zukunftsmusik klingen. Doch wie die Herangehensweise bei realen Fabrikplanungsprojekten zeigt, werden im Rahmen der Idealplanung zunächst verschiedene Varianten von Layouts erarbeitet, wobei technische und wirtschaftliche Einschränkungen sowie äußere Restriktionen noch nicht beachtet werden. In erster Linie stehen hier nur funktionelle Beziehungen der Funktionsbereiche und deren optimale Anordnung im Hinblick auf die Produktion im Mittelpunkt [16]. Ob das erzeugte Layout nun rechteckig, rund, spiralförmig oder anders aussieht, ist in dieser Phase gegenstandslos. Erst in der Realplanung werden die Restriktionen wieder schrittweise eingeblendet und es wird versucht das entwickelte Ideallayout so anzupassen, dass alle Restriktionen erfüllt werden können ohne die grundsätzlichen Intentionen und Einsparungspotentiale des Ideallayouts negativ zu beeinflussen. Wie im Kapitel 2.4 diskutiert und anhand der Ergebnisse der Multikriterienbewertung (Abbildung 6) nachgewiesen wurde, sind die gefundenen biologischen Systemdesignmuster in der Lage eine vorhandene Layoutsituation zu verbessern. Außerdem haben drei der vier biologischen Vorgehensweisen eine bessere Gesamtbewertung als die untersuchten klassischen Verfahren der Layoutplanung. Das neu arrangiert Layout der Fabrik C unter Verwendung des Fibonacci Doppelspiralen Verfahrens konnte die Transportleistungsziffer des Originallayouts um 43,5% reduzieren. Und wenn folgende Annahme von Tompkins und White wahr ist, dann kann sich der Aufwand in Zukunft lohnen biologisch inspirierte Fabriklayouts zu bauen: „Es wurde geschätzt, dass zwischen 20% und 50% der gesamten Betriebsausgaben innerhalb der Produktion dem Materialhandhabungskosten zuzuordnen sind. Effektive Fabriklayoutplanung kann diese Kosten mindestens zwischen 10% und 30% reduzieren und daneben auch die Produktivität erhöhen“⁵ ([32], S. 5).

7 Danksagung

Dieser Beitrag wurde unterstützt durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG – Bridge Early Stage [851267] und durch die Technische Universität Graz - Initial Funding Program [F-AF2-309-01].

⁵ Übersetzung des Verfassers; Original in Englisch: „It had been estimated that between 20% to 50% of the total operating expenses within manufacturing are attributed to material handling. Effective facilities planning can reduce these costs by at least 10% to 30% and thus increase productivity.“

8 Literatur

- [1] 8x57is (2015): Multicolor fluorescence image of a living PC-12 cell. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Multicolor_fluorescence_image_of_a_living_PC-12_cell.jpeg. 10.07.2017.
- [2] Arnold D., Furnans K. (2009): Materialfluss in Logistiksystemen, 6. Aufl. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg.
- [3] Baish J. W., Gazit Y., Berk D. A., Nozue M., Baxter L. T., Jain R. K. (1996): Role of tumor vascular architecture in nutrient and drug delivery. An invasion percolation-based network model. *Microvascular Research*; 51: 327–346.
- [4] Ball R. (2014): Bibliometrie. Einfach, verständlich, nachvollziehbar. Walter de Gruyter GmbH. Berlin/Boston.
- [5] Ball R., Tunger D. (2005): Bibliometrische Analysen - Daten, Fakten und Methoden. Grundwissen Bibliometrie für Wissenschaftler, Wissenschaftsmanager, Forschungseinrichtungen und Hochschulen. Forschungszentrum Jülich. Jülich.
- [6] Bierens de Haan J. A. (1940): Die tierischen Instinkte und ihr Umbau durch Erfahrung. Eine Einführung in die allgemeine Tierpsychologie. Brill. Leiden.
- [7] Blum C., Merkle D. (2008): Swarm intelligence. Introduction and applications. Springer. Berlin u.a.
- [8] Brummer A. B., van Savage M., Enquist B. J. (2017): A general model for metabolic scaling in self-similar asymmetric networks. *PLoS computational biology*; 13: e1005394.
- [9] Cairns S. D., Kitahara M. V.): An illustrated key to the genera and subgenera of the Recent azooxanthellate Scleractinia (Cnidaria, Anthozoa), with an attached glossary. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZooKeys_-_Hoplangia_durotrix.jpeg?uselang=de. 10.07.2017.
- [10] Dalton S. (2008): Spiders. The ultimate predators. A & C Black. London.
- [11] Foelix R. F. (2011): Biology of spiders, 3. Aufl. Oxford Univ. Press. Oxford.
- [12] Frisch K. (1927): Aus dem Leben der Bienen. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg.
- [13] Glaeser G. (2014): Geometrie und ihre Anwendungen in Kunst, Natur und Technik, 3. Aufl. Springer Spektrum. Berlin.
- [14] Gross S. P. (2004): Hither and yon. A review of bi-directional microtubule-based transport. *Physical biology*; 1: R1-11.
- [15] Helbing K. W., Mund H., Reichel M. (2010): Handbuch Fabrikprojektierung. Springer. Berlin.
- [16] Kettner H., Schmidt J., Greim H.-R. (1984): Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. Hanser. München.
- [17] Le Mercier M., Fortin S., Mathieu V., Kiss R., Lefranc F. (2010): Galectins and gliomas. *Brain Pathology*; 20: 17–27.

- [18] Meinecke A.-K. (2013): Der Einfluss der Gefäßmodellierung auf die Entstehung und Rückbildung von Gewebsfibrosen. Universitätsbibliothek Duisburg-Essen. Duisburg, Essen.
- [19] Muther R., Mogensen A. H. (1973): Systematic layout planning, 2. Aufl. CBI Publ. Co. Boston, Mass.
- [20] Nguyen D.-H. T., Stapleton S. C., Yang M. T., Cha S. S., Choi C. K., Galie P. A., Chen C. S. (2013): Biomimetic model to reconstitute angiogenic sprouting morphogenesis in vitro. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America; 110: 6712–6717.
- [21] Pirk C. W., Hepburn H. R., Radloff S. E., Tautz J. (2004): Honeybee combs. Construction through a liquid equilibrium process? *Naturwissenschaften*; 91: 350–353.
- [22] Ripon K. S., Glette K., Mirmotahari O., Høvin M., Tørresen J. (2009): Pareto optimal based evolutionary approach for solving multi-objective facility layout problem. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 159–168.
- [23] Saunders W. B., Landman N. H. (2010): Nautilus. The Biology and Paleobiology of a Living Fossil. Springer Netherland. Dordrecht.
- [24] Schmigalla H. (1970): Methoden zur optimalen Maschinenanordnung. Verl. Technik. Berlin.
- [25] Szpiro G. G. (2011): Die Keplersche Vermutung. Wie Mathematiker ein 400 Jahre altes Rätsel lösten. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg.
- [26] Tinello D., Jodin D., Winkler H. (2016): Biomimetics applied to factory layout planning. Fibonacci based patterns, spider webs and nautilus shell as bio-inspiration to reduce internal transport costs in factories. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*; 13: 51–71.
- [27] Tinello D., Knödl M., Jodin D., Winkler H. (2017): Study of biomimetics applied to logistics, material handling, SCM and manufacturing. A bibliometric analysis (1990-2013). *Logistics Journal*; 2017: 1–15.
- [28] Tinello D., Trummer W., Jodin D. (2012): Efficient approach in modifying material flow systems. In: Bošnjak S. XX International Conference on "Material Handling, Constructions and Logistics", MHCL '12, 3 - 5 October 2012, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia, 243–246.
- [29] Tinello D., Winkler H. (2013): Bionik in der Logistik - Träumerei oder umsetzbares Potential? In: Zsifkovits H. E., Altendorfer S. Logistics Systems Engineering. 1. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog in Leoben, 1. Auflage. Rainer Hampp Verlag, München, 19–31.
- [30] Tinello D., Winkler H., Gebeshuber I., Drack M. (2017): BioFacLay. Bio-inspired Factory Layouts for Optimal Material Flow. <http://www.biofacalay.info/>. 17.07.2017.
- [31] Tinello D., Winkler H., Jodin D., Toferer M. (2015): Biomimetics applied to factory layout planning: honeycombs as bio-inspiration to reduce internal transport costs in factories. In: Kartnig G., Zrnić N., Bošnjak S. XXI International Conference on "Material

- Handling, Constructions and Logistics". 23rd – 25th September, 2015 : MHCL '15. University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, 161–164.
- [32] Tompkins J. A., White J. A. (1984): Facilities Planning. Wiley. New York.
- [33] Verein Deutscher Ingenieure (1999): Methoden zur materialflußgerechten Zuordnung von Betriebsbereichen und -mitteln, 1999. Aufl. Beuth. Berlin.
- [34] Verein Deutscher Ingenieure (2008): Vorgehen bei einer Materialflußplanung. Blatt 2, 2008. Aufl. VDI-Verl. Düsseldorf.
- [35] Vismath (2017): Goldener Schnitt. <https://www.vismath.eu/info/themen/goldener-schnitt/>. 14.06.2017.
- [36] West G. B., Brown J. H., Enquist B. J. (1997): A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science*; 276: 122–126.
- [37] Westheide W., Alberti G. (2013): Einzeller und wirbellose Tiere, 3. Aufl. Springer Spektrum. Berlin.
- [38] Wrona T. (2005): Die Fallstudienanalyse als wissenschaftliche Forschungsmethode. ESCP-EAP. Berlin.