

MATERIAL UND MACHINE COMPUTATION ALS GRUNDLAGE EXPERIMENTELLER ÄSTHETIK IN DER AGGREGAT ARCHITEKTUR

*K. Dierichs, A. Menges
Institut für Computerbasiertes Entwerfen (ICD) – Universität Stuttgart*

ABSTRACT

Material- und Machine-Computation sind zwei wichtige Entwicklungsverfahren für architektonische Materialsysteme aus Aggregaten. In diesem Beitrag sollen diese zwei methodischen Ansätze als mögliche Grundlage einer weiteren Untersuchung von Aggregat Architekturen im Sinne der Experimentellen Ästhetik vorgestellt und diskutiert werden.

Aggregate sind definiert als Ansammlungen von großen Mengen individueller Elemente, die miteinander in losem Kontakt stehen. In der Bauindustrie treten sie fast ausschließlich in gebundener Form als Zuschlag in Beton auf. Relativ wenige architektonische Beispiele jedoch nutzen Aggregate in ihrem ungebundenen Zustand. Das Potenzial dieser granularen Systeme liegt in ihrer Fähigkeit, sich fortlaufend an veränderte innere und äußere Bedingungen anzupassen. Die Untersuchung der möglichen gestalterischen Anwendungen von losen Granulaten ist daher ein sowohl relativ unerforschtes als auch relevantes Untersuchungsfeld. Neu ist hierbei das Verständnis loser Ansammlungen von Elementen als einem selbständigen architektonischen ‚Gestaltungs-System‘. Architektonische Systeme suchen im Regelfall ein festes Gefüge von Elementen zu bilden, worin jedes Teil seinen bestimmten Ort hat und dieser planerisch genau zugeschrieben wird. Das vorgeschlagene Aggregatsystem hingegen besteht aus einer losen Ansammlung von Elementen, in denen jedes Teil seinen Ort stets neu findet und es die Aufgabe des Gestalters ist, dieses Verhalten zu beobachten und entsprechend auf das System zu reagieren. Die sich daraus entfaltende Ästhetik entwickelt sich daher ebenfalls aus dem sich selbst-organisierenden Verhalten des Aggregates anstatt gezielt gestaltet zu werden.

Ein besonders wichtiger Aspekt der Aggregat Architektur sind die eingesetzten Experimente und Simulationsreihen, die es erst ermöglichen, das Verhalten eines Aggregates zu untersuchen und auszuwerten. Besonders die Entwicklung der Computertechnologie in den letzten Jahren eröffnet die Möglichkeit, diese granularen Systeme auf einem bisher nicht möglichen Niveau zu erforschen und macht das Thema besonders aktuell im Rahmen des computerbasierten Entwerfens. Der erste Teil des Vortrages stellt daher die beiden Grundarten des Computerbasierten Entwerfens vor, nämlich Material- und die Machine- Computation. Computation beschreibt dabei ganz allgemein informationsbasierte Prozesse. Diese Gestaltungsprozesse können also sowohl analoge als auch digitale Vorgehensweisen sein. Schwerpunkt liegt hierbei auf der möglichen Kombinierbarkeit der beiden Verfahren. Im zweiten Teil werden konkrete Beispiele der Aggregat Architektur vorgestellt, in denen sowohl Methoden der Material- als auch der Machine- Computation zum Tragen kommen. Im dritten Teil werden diese Verfahren in Bezug zu Theorien der Experimentellen Ästhetik gesetzt. Ziel ist hierbei die kritische Diskussion der möglichen Nutzung dieser Experimente und Simulationen als Basis einer ästhetischen Untersuchung. Abschließend werden die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt und mögliche weitere Forschungsbereiche besonders innerhalb der Experimentellen Ästhetik aufgezeigt.

1. EINFÜHRUNG AGGREGAT ARCHITEKTUR

Aggregate sind definiert als Ansammlungen von losen Elementen in großer Anzahl. In der Natur treten sie in der Form von Sand oder Schnee auf (Bagnold 1954, Nicot 2004). In der Architektur hingegen sind solche granularen Systeme meist nur in gebundener Form als Zuschlag in Beton bekannt (Hensel/Menges 2008/02). Einige wenige Beispiele aus verschiedenen Bereichen des Bauwesens nutzen Aggregate in ihrer losen Form. So sind sie im Bereich der Bauphysik als Dämmstoffe bekannt (Hausladen et al. 2006). In der

Volksarchitektur treten sie als statische Füllstoffe auf, die lose in Wände geschüttet werden (Houben/Guillaud 1989). Ein weiterer Bereich sind lose Betonschalungssysteme aus Sand (Treib 1996, Dierichs 2010), der als hochflexibles und wiederverwendbares Material ähnlich wie im Sandguss eingesetzt wird. Im Geotechnischen Bau ist die Verwendung von Sand als ‚weichem‘ Baumaterial bereits bekannt. Jüngere Untersuchungen berücksichtigen jedoch auch den Aspekt, die dabei entstehenden Landschaften architektonisch zu entwickeln (Trummer 2008, Takahashi 2006, Hensel et al. 2010). Der weitaus größte Forschungsbereich einer gezielt entwickelten Aggregat Architektur stellt die sogenannte Formfindung (Gaß/Otto 1990) dar. Sowohl Sandformationen als auch künstlich gefertigte Partikel werden hier als eigenständiges architektonische System oder Sub-System angesehen (Otto 1990, Hensel/Menges 2008/02). Eine weiterführende vollständige Untersuchung von Aggregaten als einem eigenständigen architektonischen System liegt jedoch auch in diesem Forschungsfeld nicht vor.

Die Relevanz loser granularer Systeme in architektonischen Anwendungen liegt in ihrer Re-Konfigurierbarkeit, ihrem adaptiven statischen Verhalten und in der Möglichkeit makrogradierte Materialien herzustellen. Die Untersuchung solcher Systeme als einem eigenständigen architektonischen System stellt daher sowohl einen wenig entfalteten als auch einen sehr relevanten Entwicklungszweig der Architekturforschung dar (Figur 01).



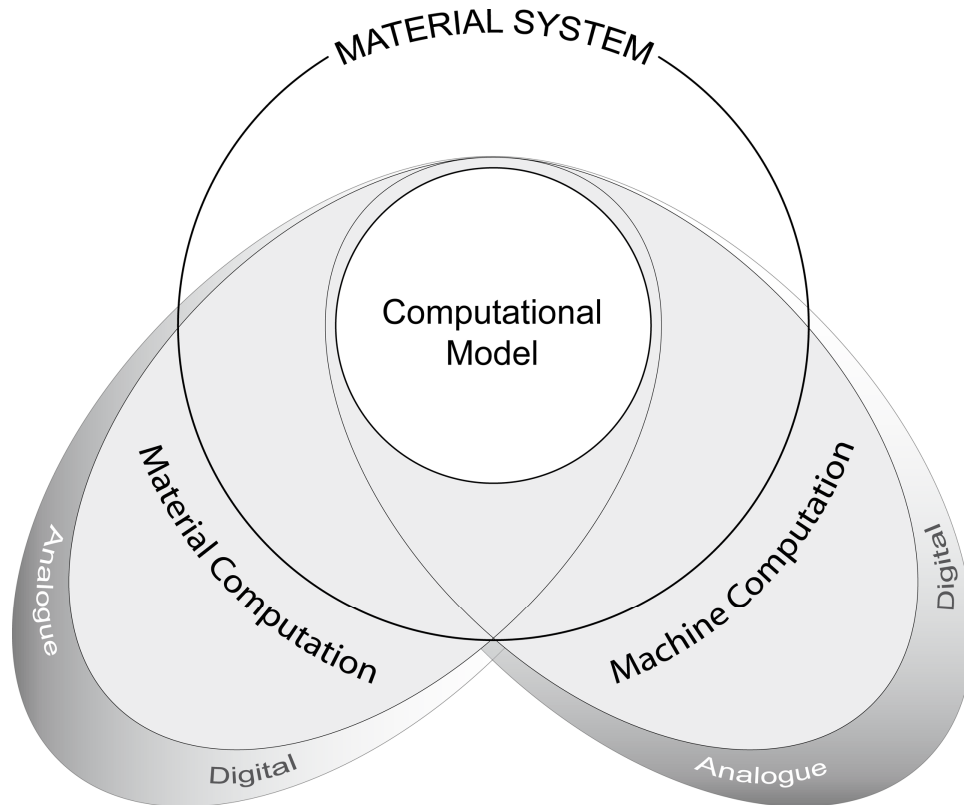
Figur 01: Aggregat Architekturen aus künstlich gefertigten Partikeln, Autoren: Anne Hawkins und Katie Newell, Tutoren: M. Hensel und A. Menges.

2. MATERIAL UND MACHINE COMPUTATION

Das Gestalten mit granularen Systemen führt ein neues Gestaltungs-Paradigma in der Architektur ein. Während architektonische Systeme konventionell aus fest gefügten Teilen bestehen, in denen der Ort eines jeden Teils genau durch den planenden Architekten definiert werden kann, erfordern Aggregatsysteme, dass der Gestalter das Verhalten des Systems unter gesetzten Randparametern beobachtet und entsprechend darauf reagiert (Hensel/Menges 2008/01). So werden die Beobachtungsmittel zum zentralen Entwicklungsfeld in der Untersuchung von architektonischen Aggregat-Systemen.

Computerbasierte Gestaltungs-Prozesse eignen sich insbesondere für diese Art der gestalterischen Beobachtung, da sie in Experiment und Simulation das Sammeln und Auswerten von Informationen ermöglichen. Als computerbasiert wird hier nicht allein das auf digitalisierten, rechnergestützten Verfahren beruhende Entwerfen verstanden, sondern allgemein regelbasierte Prozesse. Hierbei kann man zwischen der sogenannten ‚Material Computation‘ und der ‚Machine Computation‘ unterscheiden (Figur 02). Als Material Computation werden dabei Verfahren bezeichnet, denen kein mathematisches Modell zugrunde liegt, in denen das Material selber die Information verarbeitet und weitergibt. Als Machine Computation hingegen werden Vorgänge beschrieben, die auf einem solchen mathematischen Modell beruhen (Stepney 2008, Winsberg 2009). Das computerbasierte

Modell beruht also auf beiden Arten der Computation, die sich ergänzende Informationen zu einem untersuchten Materialsystem liefern.



Figur 02: Material und Machine Computation, Illustration: Karola Dierichs.

Verschiedene Methoden der Material und der Machine Computation sind aus der Forschung an granularen Materialien bereits bekannt und können für architektonische Anwendungen übernommen und angepasst werden (Dierichs/Menges 2010). In der Material Computation beispielsweise sind die Anwendung von gefärbten Partikeln zur Untersuchung von Fließverhalten zu nennen, aber auch der Einsatz spezieller photographischer Techniken und Bildverarbeitungsmethoden, die die visuelle Überlagerung mehrerer Versuchsabläufe ermöglichen. In dem Bereich der Machine Computation steht die Frage nach den zu erwarteten Datensätzen und den dafür geeigneten mathematischen Modellen im Vordergrund. So ermöglicht zum Beispiel die Diskrete Simulation nach Monte-Carlo (DSMC) das Errechnen von wahrscheinlichen Verhaltensmustern eines gesamten Granulates, nicht jedoch die Beobachtung einzelner Partikel. Diskrete Element Methode (DEM) und Rigid Body Dynamics (RBD) hingegen erlauben die Berechnung des Fließverhaltens anhand von individuellen Elementen (Pöschel/Schwager 2008). Es wird hierbei häufig der Methode der Vorzug gegeben, die am wenigsten Rechnerkapazität erfordert.

Die im Folgenden vorgestellten Fallstudien sollen die konkrete Anwendung beider Arten des Computational Design in der Anwendung auf Aggregat Architekturen zeigen. Gleichzeitig werden verschiedene Typen des Versuchsaufbaus eingeführt. Die vorgestellten Fallbeispiele sollen als konkrete Diskussionsgrundlage einer möglichen Einbettung der experimentellen Ästhetik in die jeweiligen computerbasierten Entwurfsreihen dienen.

3. FALLSTUDIE 01: Aerodynamische Sandformationen

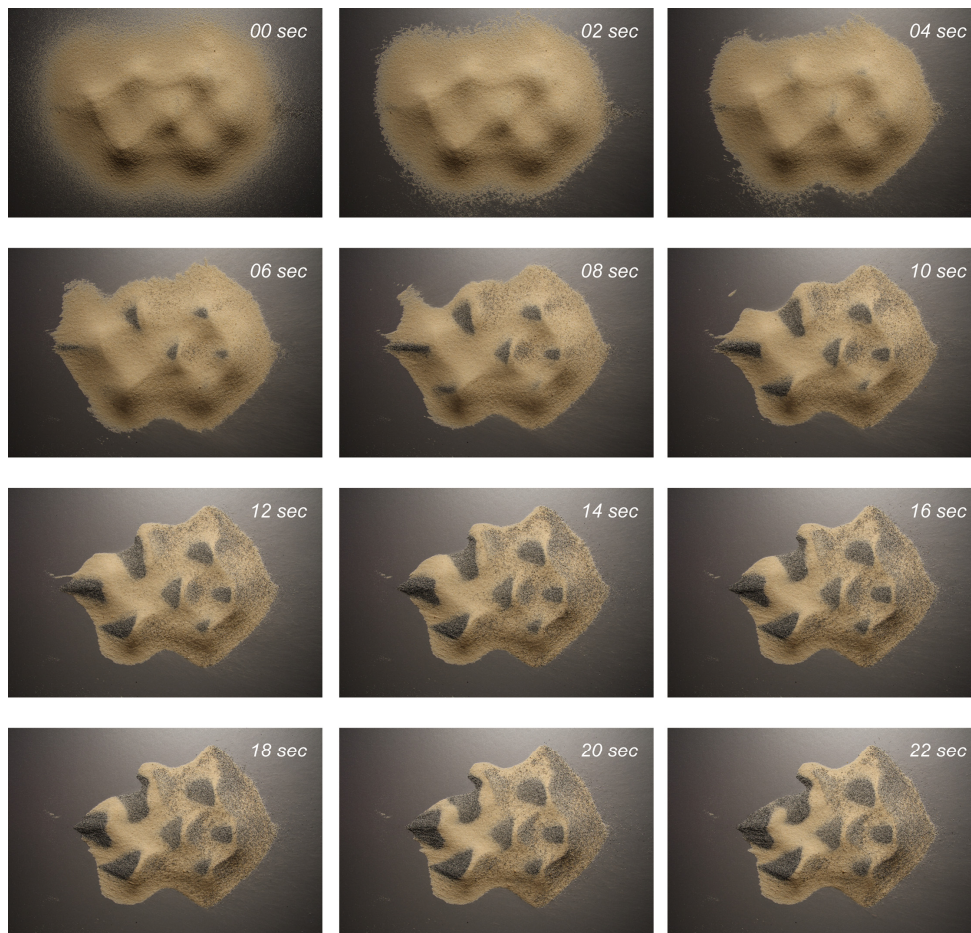
Das hier als Fallstudie 1 vorgestellte Projekt nutzt natürliche Zyklen von Erosion und Akkretion in Küstengebieten zur Formung von architektonischen Räumen. Diese räumlichen

Morphologien verändern sich mit den Zyklen des umgebenden geologischen Systems und sind so in einen kontinuierlichen Konstruktionsprozess eingebunden. Konstruktions-Energie und -Material werden hierbei in großen Teilen aus dem natürlichen System selbst bezogen und werden so mit minimaler äußerer Energiezufuhr gebildet.

Die granularen Formationen sind hauptsächlich von aerodynamischen Kräften bestimmt. Die Versuchsreihen wurden ausschließlich als physische Experimente durchgeführt und fallen somit in den Bereich der Material Computation. Alle Experimente nutzen das gleiche Grund-Phänomen, dass ein Sandhaufen unter Luftstrom die Form einer Sichel-Düne annimmt. Dieser Effekt wird sowohl im Labor- als auch im Feldversuch getestet. Zwei Grundtypen der Material Computation lassen sich hierbei unterscheiden, nämlich die der Morphologie und der Performanz. In den morphologischen Experimenten wird lediglich der formgebende Effekt des Windstroms auf verschiedenen Sandformationen untersucht. In den performativen Versuchsreihen wird eine andersfarbige Sandschicht auf die Ausgangsformation aufgetragen, um Wind-Verschattungen (Figur 03) zu markieren.

Typen der Material Computation

- Material Computation, Typ 01: Morphologie
- Material Computation, Typ 02: Performanz



Figur 03: Aerodynamische Micro-Klimata, Autor: Karola Dierichs, Tutoren: Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock.

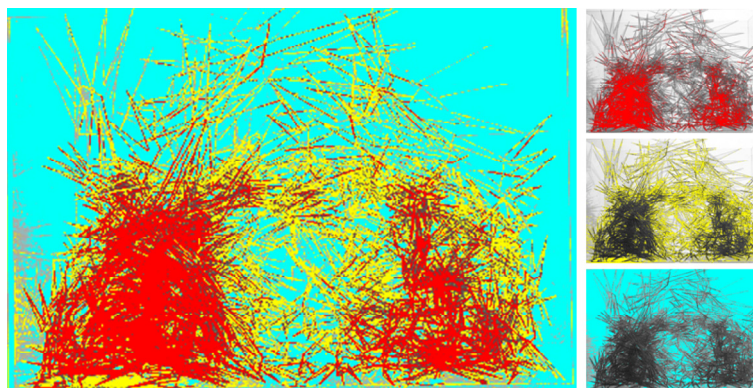
4. FALLSTUDIE 02: Aggregate aus gestalteten Partikeln

Fallstudie 02 untersucht das Verhalten von Granulaten, die aus spezifisch gestalteten Partikeln bestehen. Die granularen Systeme werden hierbei auf Festigkeit und Dichte geprüft. Rücklichtphotographie wird dabei mit evaluierender Bildbearbeitungssoftware kombiniert, um die Versuchsreihen vergleichend auszuwerten (Figur 04). Hierbei zeigt sich, dass Systeme aus konvexen Elementen weniger fest sind und eine höhere Dichte erzielen, während konkave Partikel zu höherer Festigkeit und loserer Packung führen.



Figur 04: Vergleichende Rücklichtphotographie von Granulaten aus vornehmlich konvexen (rechts) und konkaven (links) Partikeln, Autoren: Guobin Shen, Sabrina Heldele, Tutoren: Karola Dierichs, Achim Menges.

Eine weitere Versuchsreihe nutzt Rücklichtphotographie in Kombination mit digital selektiver Kolorierung, um variierende Dichten in Granulaten aus verschiedenen großen Elementen zu beobachten (Figur 05).



Figur 05: Digitalisierte Analyse von Dichteverteilungen in einem künstlichen Granulat, Autor: Yaqing Liang
Tutoren: Karola Dierichs, Achim Menges.

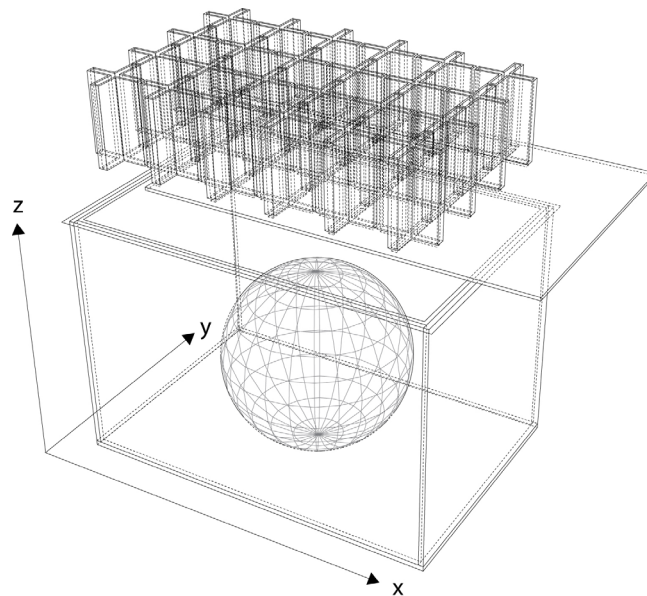
In beiden Versuchsreihen werden Morphologie und Performanz anhand eines einzigen Aufbaus und in Kombination mit einer digitalen Bildbearbeitungssoftware beobachtet.

Typen der Material Computation

— Material Computation, Typ 03: Morphologie und Performanz

5. FALLSTUDIE 03:

Fallstudie fällt in den Bereich der Machine Computation. Hierbei werden zwei Typen von Versuchen eingesetzt, nämlich zum einen die Verifizierung der Simulation am Experiment, zum anderen der Vergleich von zwei mathematischen Modellen zur Berechnung des granularen Verhaltens. In Typ 1 wird der Versuch sowohl in Experiment als auch in Simulation unter gleichen Randbedingungen durchgeführt, wobei die Partikel durch ein Magazin über eine pneumatische Schalung fallen, die im Folgenden entfernt wird (Figur 06). Der Vergleich der beiden Ergebnisse zeigt eine starke Abweichung des granularen Verhaltens, das hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass der Pneu im materiellen Experiment elastisch ist, in der mathematischen Simulation jedoch als steif angenommen wurde.

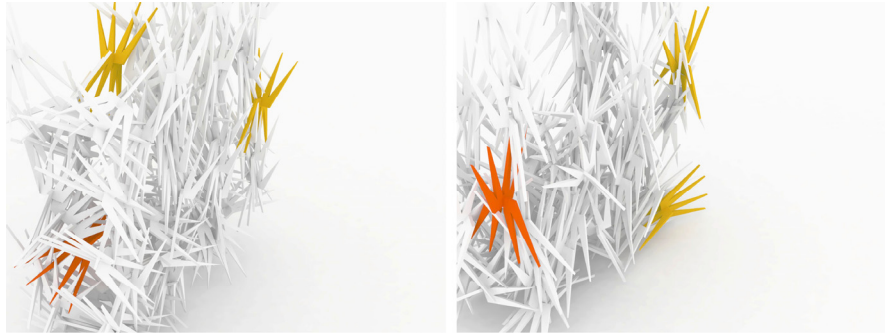


Figur 06: Versuchsaufbau zum Vergleich von Simulation und Experiment, Illustration: Karola Dierichs.

In Typ 2 werden zwei Simulationstypen verglichen, die auf unterschiedlichen mathematischen Modellen beruhen. Die Diskrete Element Methode (DEM) beruht auf rechnerisch zeitintensiveren Modellen, während Rigid Body Dynamics (RBD) rechnerisch weniger aufwändig ist, wenn es sich um harte, polygonale Partikel handelt. Andererseits bietet die DEM Analysemöglichkeiten über das mikro-mechanische Verhalten der Elemente, die eine Anwendung der Simulation rechtfertigen. Eingesetzt wurde eine ingenieur-technisch orientierte Software basierend auf der DEM-Methode und eine Software aus dem Animationsbereich, die auf der RBD-Methode aufbaut. Die vergleichende Simulation (Figur 07) zeigt, dass die beiden Simulationen morphologisch ähnlich sind. Weitere Versuchsreihen können eingesetzt werden, um bei mehrfachen Wiederholungen, die Ergebnisse digital-analytisch zu vergleichen. Die RBD Animation benötigt jedoch wesentlich weniger Berechnungszeit als die DEM Simulation. Dies liegt zum einen an der unterschiedlichen Auslegung der Anwendungsbereiche der Programme, zum anderen aber an den zugrundeliegenden mathematischen Modellen.

Typen der Machine Computation

- Machine Computation, Typ 01: Verifizierung am Experiment
- Machine Computation, Typ 02: Vergleich von mathematischen Modellen



Figur 07: Vergleichende Simulation von Diskrete Element Methode (links) und Rigid Body Dynamics (rechts), Illustrationen: Karola Dierichs.

6. AUSWERTUNG DER FALLSTUDIEN

Die Fallstudien lassen erkennen, dass Material Computation besonders geeignet ist, um die Morphologie und Performanz großer Massen von Partikeln oder von komplexeren Versuchsaufbauten mit schwerer zu kontrollierenden Randbedingungen zu untersuchen. Es bietet sich hierbei an, möglichst viel Information aus einem Versuch zu ermitteln und diese an eine digital-graphische und numerische Auswertung anzubinden. Als Vergleichsgrundlage für die Korrektheit eines gegebenen mathematischen Modells muss das materielle Experiment besonders eng und mit sehr kontrollierten Randbedingungen aufgebaut sein.

Vergleiche von verschiedenen mathematischen Modellen im Bereich der Machine Computation erfordern im nächsten Schritt den Einsatz digital-analytischer Programme, die die Performanz, wie etwa die Kontaktgenauigkeit, der jeweiligen Software prüfen. Der Einsatz von Simulationen wird jedoch erst jenseits der abgleichenden Analyse für die Entwicklung von Aggregat Architekturen interessant. Simulationen können dann Aufschluss über das micro-mechanische Verhalten von Granulaten geben, während Animationen aus dem Gaming-Bereich aufgrund ihrer rechnerisch leichteren Auslegung als Gestaltungs-Techniken eingesetzt werden können, die eine erste Einschätzung einer bestimmten Aggregat-Konfiguration vor der eigentlichen materiellen Umsetzung ermöglichen.

Typen der Material und Machine Computation

- Material Computation, Typ 01: Morphologie
- Material Computation, Typ 02: Performanz
- Material Computation, Typ 03: Morphologie und Performanz
- Machine Computation, Typ 01: Verifizierung am Experiment
- Machine Computation, Typ 02: Vergleich von mathematischen Modellen

7. BEZUG ZU THEORIEN DER EXPERIMENTELLEN ÄSTHETIK

Computerbasierte Gestaltungsprozesse im Sinne einer Kombination von Material and Machine Computation sind besonders geeignet für die Einbettung einer zusätzlichen experimentell-ästhetischen Auswertung der Ergebnisse. Die ästhetische Beobachtung der Versuche ist somit als weiterer Versuchstyp neben dem der Morphologie, Performanz und der verifizierenden Auswertung eines materiellen oder mathematisch basierten Modells, wie sie in Kapitel 3 bis 6 vorgestellt wurden.

Hier soll lediglich ein möglicher Ansatz der Einbindung ästhetischer Evaluationen der Versuchsreihen zur Diskussion gestellt werden. In Bezug auf die Einteilung experimentell-ästhetischer Ansätze in Gestalttheoretische, Informationstheoretische und Psychobiologische Schulen (Kebeck/Schroll, 2011), scheint der Psycho-biologische Ansatz der dem computerbasierten Entwurf im allgemeinen und der Aggregat Architektur im

spezifischen am nächsten zu sein. Das notwendige Erfassen einer spezifischen Gestalt im Gestalttheoretischen Ansatz widerspricht dem sich immer wieder neu-formenden Verhalten der Granulate, auch das Streben nach Ordnung oder Prägnanz als ästhetischer Reiz liegt nicht in der Natur der auf ein hohes Maß an Differenzierung und Varianz ausgelegten computerbasierten Gestaltungsprozesse. Gleiches gilt auch in noch höherem Maß für den Informationstheoretischen Ansatz, der postuliert, dass das ästhetische Maß mit dem Ordnungsgrad steigt, teilweise sogar, dass es mit steigender Komplexität abnimmt. Der psycho-biologische Ansatz hingegen geht von einer erfahrenden Auswertung ästhetischer Erlebnisse aus, wobei davon ausgegangen wird, dass sehr schwache und sehr starke Reize als unschön empfunden werden, dass also ein Zustand der optimalen Erregung angestrebt wird. Da dieser Ansatz nicht von einer, in dem gestalteten Objekt verhafteten Geometrie ausgeht, sondern vielmehr die Reaktion des Beobachters prüft, scheint sie dem ebenfalls sein Ergebnis beobachtenden statt planenden Denken des computerbasierten Entwurfs am nächsten zu sein (Kebeck/Schroll, 2011, 41-71).

Methodisch soll hier die Frage danach aufgeworfen werden, wie die ästhetische Auswertung der Versuchsreihen erfolgen kann. Dies kann entweder in eigens dafür aufgestellten Versuchsreihen erfolgen, oder aber direkt an die morphologischen oder performativen Versuchstypen geknüpft werden. Die Auswertungen selber können auf physiologischer, phänomenaler oder Verhaltensebene durchgeführt werden (Kebeck/Schroll, 2011, 113-144).

8. AUSBLICK

Die hier vorgestellten computerbasierten Gestaltungsansätze können eine relevante Grundlage für eine parallele experimentell-ästhetische Auswertung bilden. Die so entstehende Ästhetik basiert auf sich entfaltenden Prozessen im Gegensatz zu gestalteten Formen. Ansätze, dies als eigene architektur-ästhetischen Methode zu beschreiben, finden sich insbesondere bei Frei Otto (Gaß/Otto 1990, Höller 1999). Die besondere Herausforderung in einer zusätzlichen ästhetischen Auswertung der Versuchsreihen liegt also darin, diese so auszulegen, dass sich stets neu entwickelnde ästhetische Wahrnehmungen erfasst und entsprechend ausgewertet werden können.

9. DANKSAGUNG

Die Autoren möchten sich bei Dr.-Ing. Florian Fleissner und Professor Dr. Peter Eberhard am Institut für Technische und Numerische Mechanik der Universität Stuttgart für die Kooperation an den vergleichenden Simulationen in Pasimodo bedanken.

10. REFERENZEN

Bagnold, Ralph Alger, 1954: *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, 2nd edition (2005), Mineola, Dover Publications.

Dierichs, Karola und Menges, Achim, 2010: Material Computation in Architectural Aggregate Systems, in: *In:Formation, Proceeding of the 30th Conference of the Association For Computer Aided Design In Architecture (ACADIA)*, New York City (USA) 28-24 October 2010, Seiten 372-78.

Dierichs, Karola, 2010: *Verfahren zum Herstellen eines Formkörpers*, Deutsches Patent, DE102008049408A1 08.04.2010, DE-Anmeldedatum 29.09.2008, Offenlegungstag 08.04.2010.

Gaß, Siegfried und Otto, Frei (Hrsg.), 1990: *Experimente / Experiments, Form – Kraft – Masse 5 / Form – Force – Mass 5, Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke (IL) Universität Stuttgart Nr. 25 / Information of the Institute for Lightweight Structures (IL) University of Stuttgart No. 25*, Stuttgart, Karl Krämer Verlag.

Hausladen, Gerhard, de Saldanha, Michael und Liedl, Petra, 2006: *ClimaSkin, Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten*, München, Callway.

Hensel, Michael und Menges, Achim, 2008/01: Aggregates, in: *Versatility and Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design, AD Architectural Design*, Profile No. 192, Vol. 78, No. 2, March/April 2008, Seiten 80-87.

Hensel, Michael und Menges, Achim, 2008/02: Materialsysteme 05: Aggregate, in: *Hensel, Michael und Menges, Achim (Hrsg.), 2008: Form Follows Performance: Zur Wechselwirkung von Material, Struktur, Umwelt, Arch+*, 188, Juli 2008, Seiten 76-85.

Hensel, Michael; Menges, Achim und Weinstock, Michael (Hrsg.), 2010: *Emergent Technologies and Design, Towards a biological paradigm for architecture*, Abingdon, Routledge.

Höller, Ralf, 1999; *Formfindung, Architektonische Grundlagen für den Entwurf von mechanisch vorgespannten Membranen und Seilnetzen*, Mähringen, Verlag Dr. Thomas Balistier Architektonas 1.

Houben, Hugo und Guillaud, Hubert, 1989: *Earth Construction, A Comprehensive Guide*, English edition 1994, London, Intermediate Technology Publications.

Kebeck, Günther und Schroll, Henning, 2011: *Experimentelle Ästhetik*, Wien, Facultas wuv Universitätsverlag.

Nicot, François: 2004, *Constitutive modelling of snow as a cohesive-granular material*, Granular Matter, Vol. 6(1), Berlin, Springer, Seiten 47-60.

Pöschel, Thorsten und Schwager, Thomas, 2005: *Computational Granular Dynamics: Models and Algorithms*, Berlin/Heidelberg, Springer.

Stepney, Susan, 2008: The neglected pillar of material computation, in: *Elsevier*, 2008, Vol. 237, No. 9, Seiten 1157-1164.

Takahashi, Gen, 2006: Aggregates 03 2005-2006, in: *Hensel, Michael und Menges, Achim (Hrsg.), 2006: Morpho-Ecologies*, London, AA Publications, Seiten 286-295.

Treib, Marc, 1996: *Space Calculated in Seconds, The Philips Pavilion Le Corbusier Edgar Varèse*, Princeton/New Jersey, Chichester/West Sussex, Princeton University Press.

Trummer, Peter, 2008: Engineering Ecologies, in: *Hensel, Michael und Menges, Achim (Hrsg.), 2008: Versatility and Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design, AD Architectural Design*, Profile No. 192, Vol. 78, No. 2, Seiten 96-101.

Winsberg, Eric, 2009: A Tale of Two Methods, in: *Synthese*, Issue Vol. 169, No. 3, August 2009, Seiten 575-592.

BIOGRAPHIEN

Karola Dierichs ist Architektin und Doktorandin am Institut für Computerbasiertes Entwerfen an der Universität Stuttgart. Sie hat ihre Ausbildung an der TU Braunschweig, der ETH Zürich und der Architectural Association (AA) in London absolviert und hat dort 2009 den Master of Architecture im Emergent Technologies and Design Programm mit Auszeichnung erhalten. Innerhalb der AA hat sie verschiedene workshops unterrichtet und war eingeladen als Gastkritikerin am Berlage Institute in Rotterdam. Unter anderem ist ihre Arbeit auf der Internationalen Architektur Biennale Rotterdam (IABR) 2005 ausgestellt worden, wo sie den gemeinsamen IABR Student Award verliehen bekam.

Dierichs, Karola und Menges, Achim: 2010, Material Computation in Architectural Aggregate Systems, In: Formation, Proceeding of the 30th Conference of the Association For Computer Aided Design In Architecture (ACADIA), New York City (USA) 28-24 October 2010, Seiten 372-78.

Professor Achim Menges ist Architekt und Leiter des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen an der Universität Stuttgart und ist derzeit Gastprofessor im Fachbereich Architektur an der Harvard University Graduate School of Design und dem Emergent Technologies and Design Programm an der Architectural Association (AA) in London. Seine Forschungsarbeit befasst sich mit der Entwicklung integraler Entwurfsprozesse an der Schnittstelle von Evolutionary Computation, Algorithmischem Design, Bionik und Computer Aided Manufacturing. Seine Forschungsprojekte sind weltweit ausgestellt und veröffentlicht worden und haben eine große Anzahl internationaler Preise gewonnen.

Menges, Achim und Ahlquist, Sean (Hrsg.), 2011: *Computational Design Thinking*, London, John Wiley and Sons.