Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 136 (2010)
Heft: 31-32: Sichtbar gemacht

Artikel: Simulationen für die Wüstenstadt
Autor: Fiedler, Tobias / Babetzki, Kai / Schuler, Matthias
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-109637

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SIMULATIONEN FÜR DIE WÜSTENSTADT

Bis 2020 soll Masdar City als Stadt der Zukunft in Abu Dhabi gebaut werden. Um das Projekt weitab der europäischen Klimaverhältnisse bearbeiten zu können, simulierte die Firma Transsolar, wie sich u.a. Temperatur und Feuchtigkeit in Wüstenstädten mit geschickter Stadtmodellierung in den Griff bekommen lassen.

In den Vereinigten Arabischen Emiraten mit ihren riesigen Erdöl- und Erdgasvorkommen und einer Pro-Kopf-Emission von über 30 t CO_2/Jahr[1] entsteht Masdar City: eine Stadt, die nur so viel Energie verbrauchen soll, wie sie selber mit Hilfe von Sonne, Geothermie und Wind erzeugen kann. Die «Ökostadt» Masdar – arabisch «Quelle» – entsteht für 22 Milliarden US-Dollar in Abu Dhabi und soll bis zum Jahr 2020 auf einer Fläche von 7 km² Wohn- und Arbeitsort für 50 000 Einwohnerinnen und Einwohner werden. Geplant ist eine Bruttogeschossfläche von über 4 Mio. m². Weitere 40 000 Menschen aus dem Einzugsgebiet sollen in Masdar Arbeit finden. Mit der 2006 gegründeten Abu Dhabi Future Energy Company (ADFEC)[2] steht eine zentrale, finanzstarke und durchsetzungsfähige Institution als massgebliche Initiatorin der städtebaulichen Entwicklung hinter dem Projekt, die letztlich alle gesetzlichen und vertraglichen Rahmenbedingungen vorgibt und für deren Umsetzung sorgt. Der Standort hat praktisch keine «industriellen Altlasten»; industriepolitische Rücksichten auf etablierte Technologien müssen nicht genommen werden. Mit weit mehr als 2000 kWh/m²/Jahr besitzt der Standort ein grosses solares Potenzial für eine regenerative und nachhaltige Energiegewinnung. Nach den Vorgaben der Bauherrschaft soll der WWF-Nachhaltigkeitsstandard regelmässig überprüfter Bestandteil der Planungen, der Bauphase und des Monitorings der Stadt sein (vgl. Kasten). Ausgerechnet an einem Standort, an dem in den Sommermonaten mit Maximaltemperaturen von knapp 50 °C und mit absoluten Luftfeuchtigkeiten von über 25 g/kg zu rechnen ist, wollen die Planenden den Energiebedarf der Gebäude auf ein Minimum reduzieren und den Komfort ausserhalb der Gebäude so weit verbessern, dass der Mensch freiwillig auf sein klimatisiertes Automobil verzichtet?
Die Anforderungen der ADFEC an die Planung der Zukunftsstadt waren hoch, und das Designteam um Norman Foster musste realistische Antworten auf viele offene Fragen finden. Neben der Architektur waren im Team u. a. die Disziplinen Verkehrsplanung, Infrastrukturplanung, Energiesystemplanung und Klima-Engineering vertreten – unter anderem durch das Stuttgarter Unternehmen Transsolar, das viele Simulationen für die neu zu planende Stadt durchführte. Im Vergleich zu heutigen, in den Vereinigten Arabischen Emiraten üblichen Verbrauchsstandards sollte der Gesamtenergiebedarf von Masdar City um 80 % reduziert werden. Passive Strategien an den Gebäuden sind beispielsweise Fassadenoptimierungen bei Verglasung, Wärmedämmung, Tageslichtoptimierung, Luftdichtigkeit und adaptivem Sonnenschutz. Andererseits müssen alle haustechnischen Systeme und Infrastruktursysteme optimiert werden. Der restliche Energiebedarf der Stadt muss regenerativ und CO_2-frei bereitgestellt werden.[3] Intelligente Verteilungsnetze, steuernde Energietarife und Speichertechnologien sollen dafür sorgen, dass der Energiebedarf der Stadt und die jeweilige Verfügbarkeit der erneuerbaren Energieressourcen sich weitgehend decken. Das gesamte innerstädtische Transport- und Verkehrssystem wurde in den Untergrund verlegt. Der «Personal Rapid Transport» – etwa 3000 computergesteuerte, schienengeführte Elektrofahrzeuge für jeweils vier bis acht Personen – wird Haltestellen im Abstand von 100 bis 200 m ansteuern. Mit dem Umland soll Masdar über den sogenannten «Light Rail Transport», eine

«ONE PLANET LIVING»-NACHHALTIGKEITSSTANDARD

Der funktionalistische Ansatz der meisten städtebaulichen Entwicklungen aus dem 20. Jahrhundert mit der Entflechtung aller städtischen Funktionen stösst an seine Grenzen. Zunehmender Flächenverbrauch und Verkehr verringern die Lebensqualität, vor allem in den Megacities. Ein beispielhaftes Gegenkonzept ist der «One Planet Living»-Nachhaltigkeitsstandard des World Wide Fund For Nature (WWF) für zukunftsfähige Städte. Die Leitkriterien sind:

1. Zero Carbon
2. Zero Waste
3. Nachhaltige Transport- und Verkehrssysteme
4. Nachhaltige Materialien
5. Nachhaltige Nahrungskette
6. Nachhaltige Wasserkreisläufe
7. Lebensräume und Artenschutz
8. Kulturelles Erbe
9. Fairer Handel
10. Gesundheit, Zufriedenheit und Wohlbefinden der Stadtbewohnerinnen und Stadtbewohner

AM BAU BETEILIGTE

Bauherr: Masdar – Abu Dhabi Future Energy Company, Mubadala Development Company
Stadtplanung + Architektur: Foster + Partners, London
Erneuerbare Energie: E.T.A., Florenz
Klima Engineering: Transsolar Energietechnik GmbH, Stuttgart
Versorgungstechnik: WSP Group plc, London
HLSE-Planung: WSP Group plc, London
Verkehrsplanung: Systematica, Mailand
Lanschaftsarchitekten: Gustafson Porter, London
«One Planet Living»-Beratung: Bioregional, London
Windkanaluntersuchung: Wacker Ingenieure, Birkenfeld

PROJEKTDATEN

Projekt: Masdar Masterplan Development, Abu Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate, 2007
Grundfläche: 700 ha
Bebaute Fläche: 296 ha
Geschossfläche: 4.8 Mio. m²
+ optional 1.2 Mio. m² (zweites Quadrat)

Art Nahverkehrszug, verbunden werden. Auf Individualverkehr mit Verbrennungsmotortechnologie verzichtet Masdar City ganz, was die innerstädtische Luftqualität verbessert und eine dichte Bebauung ermöglicht. Das wiederum garantiert kurze Wege zwischen Wohnen, Arbeiten und Freizeit. In Anlehnung an die historische arabische Bauweise sind etwa 50 % der Fläche eines Blockes mit maximal vierstöckigen Gebäuden überbaut. Strassen und Gassen nehmen dagegen nur 15 % der Fläche ein. Die restlichen 35 % sind für Innenhöfe reserviert, über die die Gebäude natürlich belichtet, belüftet und erschlossen werden. Über geschlossene Wasserkreisläufe soll Regen-, Grau- und Schwarzwasser genutzt oder wiederverwendet werden. Klärgase, die bei der Aufbereitung von Abwasser entstehen, werden energetisch genutzt, und Salze, die bei der Meerwasseraufbereitung anfallen, sind industriell zu verwerten. Ausserdem tragen Material- und Abfallkreisläufe wie Kompostieren, Wiederverwerten von Wertstoffen, Recycling und die energetische Restmüllnutzung dazu bei, das Müllaufkommen zu reduzieren (Abb. 6).

GENERISCHE FUNKTIONSMODELLE

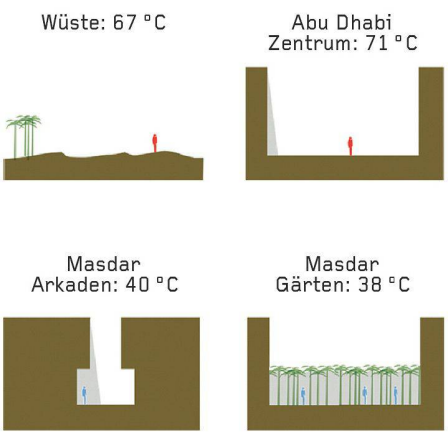
Masdar City muss im Betrieb CO_2-neutral sein. Doch wo soll die konkrete Planung ansetzen? In welcher städtebaulichen Phase müssen die Gebäude konkret entwickelt werden, damit die neu entstehende Stadt und ihre Zellen funktionieren? Wie sehen die zeitabhängigen Energiebedarfskurven der Stadt in ihren unterschiedlichen Bauphasen aus? Wie und durch welche Energiesysteme kann die Energienachfrage möglichst zeitnah gedeckt werden? Wie ist der Aufenthaltskomfort ausserhalb und innerhalb der Gebäude zu definieren, zu quantifizieren und zu optimieren?
Mit Beginn des Masterplans definierte das Designteam erste generische Funktionsmodelle, die noch keinen architektonischen Ansprüchen zu genügen hatten. Mit generischen Funktionsmodellen für die Strassen und Plätze wurden die optimalen Strassenlängen und -breiten und deren Anordnung untersucht. Mit generischen Funktionsmodellen von Gebäudeblöcken (mit allen massgeblichen Nutzungen wie Büro/Verwaltung, Labor, Wohnen/Hotel, Bildung, Krankenhaus, Produktion, Restaurant/Einzelhandel und sakrale Bauten/Unterhaltung/Museen/Sportstätten) wurden die Energiebedarfskurven aller Gebäudearten abgebildet und die iterative Designentwicklung der Gebäude ermöglicht.

THERMISCH-DYNAMISCHE SIMULATIONEN

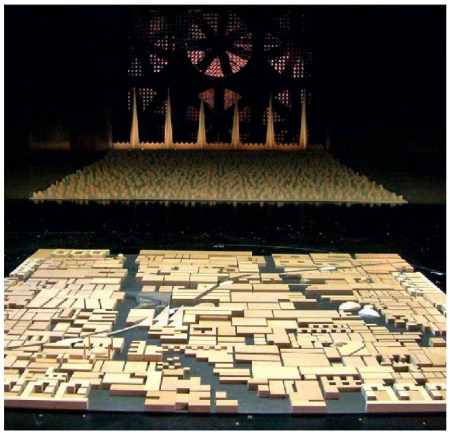
Für die Auslegung der erneuerbaren Energiesysteme, der Infrastruktur und der Speichersysteme müssen die zeitabhängigen Lastkurven aller relevanter Verbrauchsströme der Stadt in den einzelnen Entwicklungsphasen bekannt sein. Eine wesentliche Unbekannte sind die Bedarfskurven der unterschiedlichen Gebäudearten. Allein der Energiebedarf der Gebäude

01–05 Die jemenitische Stadt Shibam beherbergt 8000 Einwohner auf einer Fläche von 400 × 500 m². Die bis zu 30 m hohen Gebäude aus Holz und Lehm verschatten sich gegenseitig. Abgeleitet von dem historischen Beispiel und von Simulationen im Windkanal werden die Strassen in Masdar höchstens 7 m breit und mit NO-SW- bzw. SO-NW-Ausrichtung geplant. Die Eigenverschattung reduziert den solaren Wärmeeintrag in die Stadt. Temporär verschattete, begrünte öffentliche Plätze und helle, reflektierende Oberflächen minimieren innerstädtische Hitzeinseln. Sogenannte «grüne Finger», zusammenhängende, parallel zur Hauptwindrichtung verlaufende Grünzonen unterstützen die Ventilation, um die extremen klimatischen Gegebenheiten in den Sommermonaten zu entschärfen. Im Windkanal wurde der Luftstrom mit Tracergas und einem Modell simuliert (Abb. 3)
(Bilder: Foster + Partners)

01



02


03

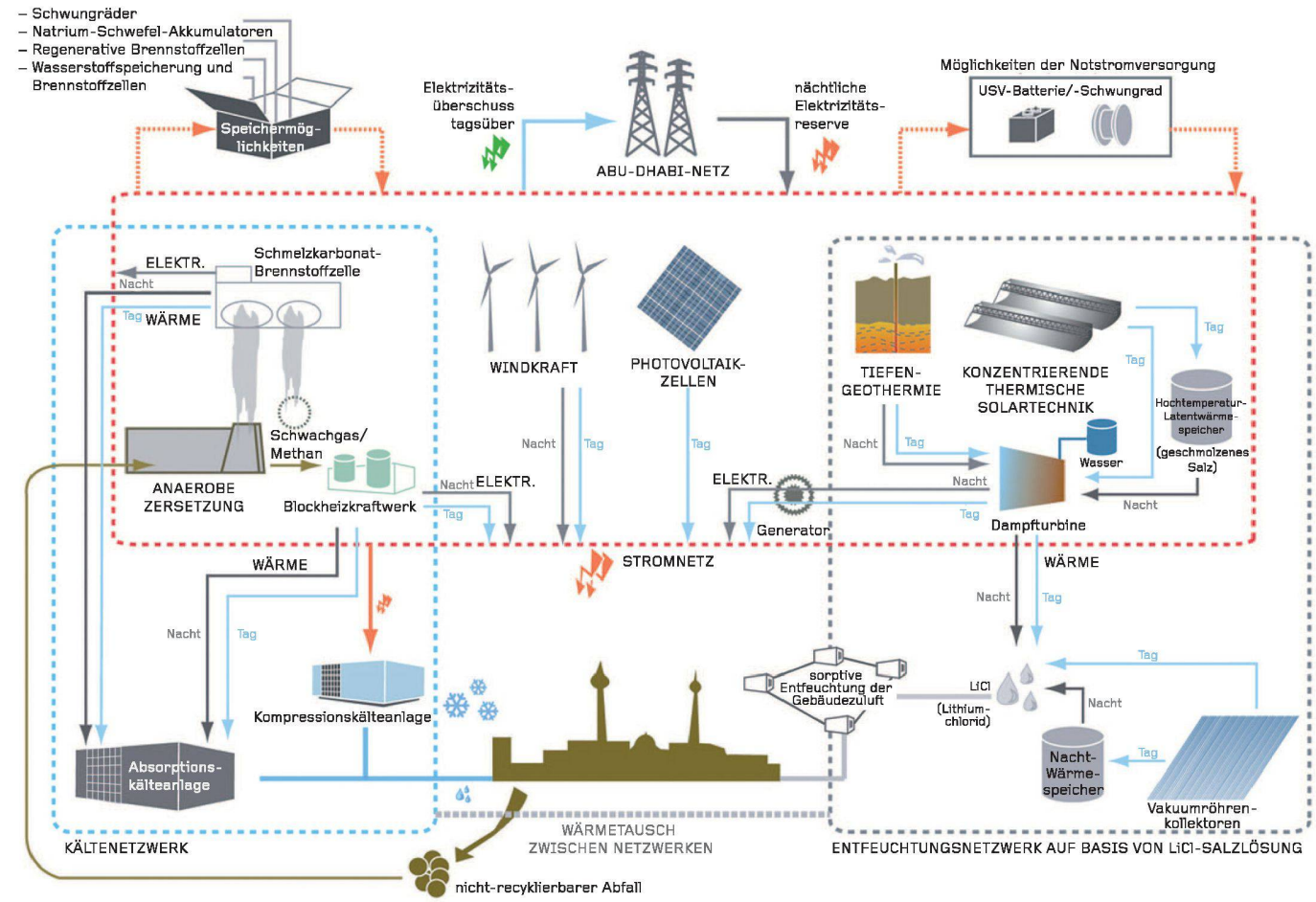
macht bereits ohne die industriellen Produktionsstätten über 40 % des Gesamtenergiebedarfs der Stadt aus. Mithilfe des thermisch-dynamischen Simulationstools «TRNSYS» wurden für jedes Gebäudemodell, das eine der acht unterschiedlichen Gebäudenutzungsarten repräsentiert, nutzungsspezifische Gebäudelastkurven generiert. Der Gesamtenergiebedarf der Stadt setzt sich aus den Gebäudelasten und den Bedarfskurven der städtischen Infrastruktur zusammen. Alle wesentlichen Verbraucher waren in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen – etwa die innerstädtische Medienverteilung, die Abfallbehandlung, die Strassenbeleuchtung, Verkehr und Transport, die Meerwasserentsalzung, die Abwasserbehandlung, Telekommunikation und IT sowie Verteilungsverluste.
Gekoppelte Simulationsstudien auf Verbraucherseite und auf Erzeugerseite, beides unter Berücksichtigung der auf die Jahresstunden aufgelösten Klimadaten für Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit, Aussentemperatur und Windgeschwindigkeit, führen zu detaillierten Kennziffern. Diese Studien ermöglichten schon in einer frühen Planungsphase ein belastbares Design des Energieverbrauchers «Gesamtstadt» und der darauf abzustimmenden Energieerzeugersysteme (Abb. 6). Im Verlauf der Simulationsstudien war durch Anpassung und Optimierung der Gebäude und der technischen Systeme festzulegen, welche Strategien zum Ziel der Bedarfsreduktion um 80 % führen. Mit diesen Informationen liessen sich die für die weitere Detailplanung relevanten Ausführungsrichtlinien aller Passivstrategien an den Gebäuden und aller Effizienzstrategien an den technischen Anlagen ableiten.

UNTERSUCHUNG DER CITY-VENTILATION UND DES AUSSENKOMFORTS

In dieser Klimaregion bestimmt der Aussenkomfort massgeblich die Art des Fortbewegungsmittels. Eine deutliche Reduktion des Individualverkehrs setzt jedoch neben kurzen Wegen auch die Bereitschaft der Stadtbewohnerinnen voraus, zu Fuss zu gehen. Um dies zu erreichen, müssen innerstädtische Hitzeinseln vermieden und der vom arabischen Golf kommende heiss-feuchte Nordwestwind von den verschatteten, natürlich gekühlten Strassen und Plätzen der Stadt ferngehalten werden, ebenso die aus dem Süden kommenden Sandstürme. Die auf den Dächern absorbierte Hitze muss abgeführt werden, dafür soll der kühlere Nachtwind aus dem Landesinnern die Stadt abkühlen.
Umfangreiche Simulationsstudien unter Einsatz des Strömungssimulationstools «FLUENT», gekoppelt mit dem thermisch-dynamischen Simulationsprogramm «TRNSYS», erlaubten nach einer Quantifizierung des heutigen Istzustandes der «modernen» Städte am Golf den Aussenkomfort von Masdar zu verbessern. Basierend auf diesen Studien wurden die Orientierung der Hauptachsen der Stadt festgelegt, die maximalen Strassenbreiten und -längen bestimmt sowie die Verschattungsstrategien der Plätze und Innenhöfe optimiert.

04

05



06

06 Szenario für die Erzeugersysteme, in dem alle verfügbaren, regenerativen Ressourcen genutzt werden: Diese sind Tiefengeothermie, energetische Abfallverwertung, Wind und solare Systeme auf Basis von Fotovoltaik, konzentrierende Solarsysteme wie Parabol- oder Fresnelkraftwerke für die Hochtemperaturnutzung und konventionelle solarthermische Systeme für die Mitteltemperaturnutzung bis 150 °C
(Grafik: Foster + Partners)

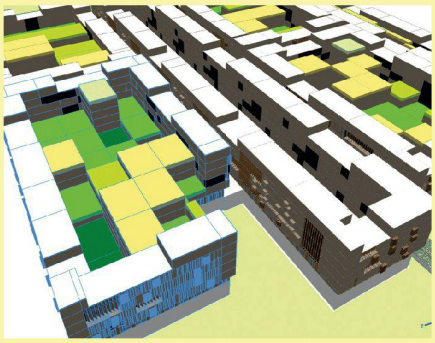
Flankiert wurden die Strömungsstudien von messtechnischen Untersuchungen. So war mithilfe eines Stadtmodells im Grenzschichtwindkanal trotz den massiven Stadtmauern und der hohen Bebauungsdichte eine ausreichende Stadtbelüftung durch Tracergas nachweisbar (Abb. 1–5).

TAGESLICHT ÜBER DIE INNENHÖFE

In den Untersuchungen zum Aussenkomfort erwies sich ein möglichst grosses Verhältnis von Gebäudehöhe zu Strassenbreite als vorteilhaft, um eine maximale Verschattung der Aufenthaltsbereiche in den Strassen zu erhalten. Doch wie ist unter diesen Umständen eine Tageslichtversorgung von idealerweise 80–90 % der Tageszeit insbesondere der unteren Geschosse zu gewährleisten? Tageslicht ist in Verbindung mit hochselektiven Fassadengläsern immer noch die effizienteste und komfortabelste Art, Innenräume zu belichten. Eine hohe Tageslichtautonomie bedeutet deshalb im Idealfall auch eine reduzierte Kühllast im Gebäude. Zudem minimiert eine hohe Tageslichtautonomie den Betrieb von Kunstlicht. Mittels Tageslichtanalyse konnte schnell gezeigt werden, dass eine ausreichende natürliche Belichtung der unteren Geschosse bei diesen Strassenbreiten nicht möglich ist. Als Alternative bot sich die Möglichkeit, die Gebäude über die Innenhöfe natürlich zu belichten. Da jeder Innenhof einem Gebäude zugeordnet ist, wird eine adaptive Verschattung über motorische Sonnenschutzsysteme möglich. Wichtig ist eine Öffnung des Sonnenschutzes bei bedecktem Himmel und in den Nachtstunden, um eine radiative Auskühlung der Gebäude zu unterstützen. Als Zielwert wurde ein mittlerer Tageslichtquotient[4] von 2.7 % definiert, der auch im untersten Geschoss auf allen Hauptnutzflächen zu gewährleisten war. Aus den insgesamt 840 Simulationen leitete Transsolar wichtige Designparameter zum Innenhof und zum Fassadenaufbau ab, und die Ergebnisse konnten in einem weiteren Schritt auch in thermische Simulationen einfliessen.

SIMULATION DER GRÜNFLÄCHEN IM SWISS VILLAGE, MASDAR

Städte in der ganzen Welt stehen vor der Herausforderung, die urbane Lebensqualität und damit das Wohlbefinden der Stadtbewohner zu verbessern und eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten. Allerdings schaffen es viele Planungen nicht, Umweltaspekte in genügender Form in die Stadtgestaltung zu integrieren, was zu unhaltbaren Entwicklungen führt. Der Lehrstuhl für Planung von Landschaft und Urbanen Systemen (PLUS) an der ETH Zürich hat deshalb einen Ansatz entwickelt, mit dem sich ökologische Parameter als Design-Regeln in die Stadtmodellierung einbinden lassen. Hierzu operationalisieren sie das Konzept der Ökosystemdienstleistungen:
Intakte Ökosysteme erbringen eine ganze Reihe von «Dienstleistungen». Parks dienen zum Beispiel zur Erholung, Beschattung und Wasserverdunstung, Pflanzen tragen zur Klimaregulation bei, und Grünflächen gewährleisten Regenwasserversickerung und damit Grundwasserneubildung. Darüber hinaus bieten sie einer Vielzahl von Pflanzen und Tieren Lebensraum. Auf dies Weise leisten sie einen Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt, die ebenfalls das menschliche Wohlbefinden steigert.
Zur Integration dieser Parameter in Stadtsimulationen haben sich die Forschenden an neuesten Entwicklungen in der prozeduralen Modellierung und Visualisierung orientiert. Am Lehrstuhl für Informationsarchitektur (IA) der ETH Zürich werden virtuelle 3D-Gebäude- und -Stadtmodelle mit der Software «CityEngine» (www.procedural.com) regelbasiert, mithilfe sogenannter «shape grammars», erzeugt. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass schnell komplexe virtuelle Stadtmodelle generiert werden können. Das ermöglicht, unterschiedliche Optionen der Stadtentwicklung zu analysieren sowie iterative Design-Prozesse zu unterstützen.
Ein erstes Anwendungsbeispiel für die prozedurale Modellierung von städtischen Grünflächen unter Berücksichtigung ökologischer Parameter wurde für das Swiss Village in Masdar City erstellt. Im Masterplan für Masdar vorgegebene Gestaltungsrichtlinien und ökologische Ziele, wie die Verbesserung des städtischen Mikroklimas durch Vegetation sowie die Bereitstellung von Lebensraum für heimische Vögel und den Wüstenhasen, wurden anhand von ökologischem Prozesswissen parametrisiert und so in Design-Regeln sowie aussagekräftige räumliche Indikatoren gefasst. Die Anwendungsbeispiele zeigen, wie auf unterschiedlichen Planungsebenen – vom Stadtviertel bis hin zum Einzelgebäude oder Park – Muster für die Anordnung und Gestaltung der Grünflächen erzeugt werden können. Die Muster sind noch keine konkreten Grünflächenentwürfe. Die Grünflächen jedoch in notwendiger Grösse und Ausstattung an den Orten zu simulieren, an denen sie auch tatsächlich benötigt werden, macht das prozedurale Stadtmodell mit integrierten ökologischen Parametern zu einer wertvollen Basis für Architektinnen und Planer.



07 + 08 Prozedurale Modellierung der städtischen Grünflächen im Swiss Village (Bilder: Autorin)

Dr. Ulrike Wissen Hayek, Planung von Landschaft und Urbanen Systemen (PLUS), Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung (IRL), ETH Zürich, www.plus.ethz.ch

VISION UND REALITÄT

Masdar-City soll in nur 15 Jahren fertig gebaut werden. Ein ehrgeiziger Fahrplan angesichts der technologischen, städtebaulichen und gesellschaftlichen Herausforderung. Im Kontext der weltweiten Wirtschaftskrise hörte und las man bezüglich Masdar von «Baustopp» und «kleineren Lösungen». Die Ideen sollen auf ihre finanzielle Machbarkeit überprüft werden. Das zeigt, dass auch in dieser Region die Geldquellen nicht mehr ungehindert sprudeln. Entwicklungen dieser Dimension benötigen auch hier einen realistischen Rahmen. Es braucht eben seine Zeit, die nötigen Erfahrungen zu sammeln für erste Antworten auf die Frage, wie die Stadt der Zukunft aussehen könnte.

Tobias Fiedler, Transsolar Energietechnik, fiedler@transsolar.com

Kai Babetzki, babetzki@transsolar.com

Matthias Schuler, schuler@transsolar.com

Anmerkungen

1 Vergleich zur Schweiz aus dem Jahre 2005: 8.6 t CO_2-Äquivalent pro Person
2 www.masdar.ae
3 Dieser Ansatz steht im Einklang mit der an der ETH Zürich entwickelten Strategie der 2000-Watt-Gesellschaft: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich ETHZ – Energie, Umwelt und die 2000-Watt-Gesellschaft. Siehe auch SIA-Effizienzpfad Energie; Merkblatt 2040
4 Der Tageslichtquotient beschreibt bei ideal bedecktem Himmel das Verhältnis aus Innenbeleuchtungsstärke zu Aussenbeleuchtungsstärke. Für den Standort Abu Dhabi ergibt sich bei einem Quotienten von 2.7 % eine Tageslichtautonomie von über 80 %