

# atomar präzise Herstellung

(atomically precise manufacturing **APM**)

wäre  
ein Haar so dick wie  
ein Fußballfeld breit  
dann wäre  
ein Atom so groß wie ein Haar



Source: #1

programmierbare Kontrolle der Materie  
auf atomarer Ebene

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

1

#1: <http://www.portervillecollegeonline.com/tlc/images/HomePagePics/Miscellaneous.htm>

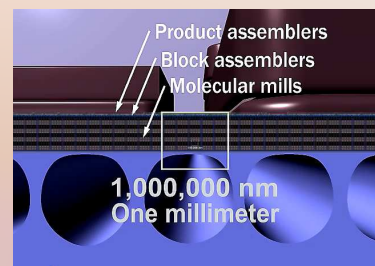
# atomar präzise Herstellung APM

(atomically precise manufacturing)

- neue **additive** Methode der Herstellung entfernt ähnlich dem 3D Druck
- einzelne Atome plazieren große Produkte
- Heute:  
nur kleiner Teil der Materialien die **möglich, stabil** und **potentiell nützlich**
- **Zielsetzung:** AP Kleinskalenfabrik  
**Nutzen:** Behebung fundamentaler Zivilisationsprobleme  
**Pfad:** Schrittweise  
**OSHW & Gefahren:** Überblick

mögliche  
Materialien

Heute  
nutzbar



Source: Official Productive-Nanosystems Video

universelle Kleinfabrik  
PF personal fabricator



Source: PT0942  
made-in-china.com

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

2

# Die 5 Arten von Nanotechnologie:

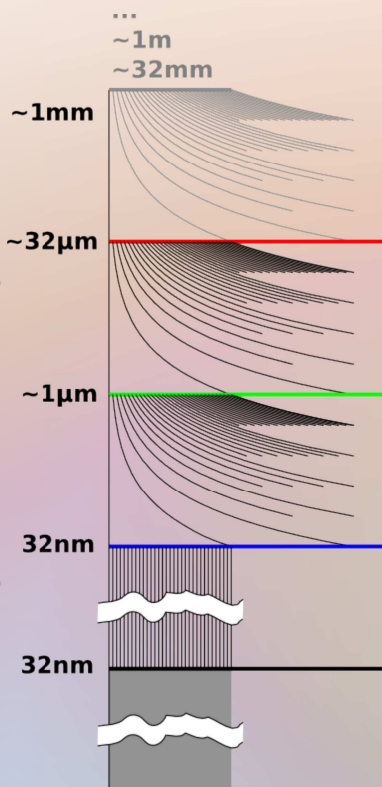
	Technologie	typischerweise genannt:	Status
	nanoelektronische Systeme	Halbleiterfertigung (selten "Nanotechnologie")	Laufende revolution, \$100 Milliarden Industrie
	atomar präzise Herstellung	<b>"Nanotechnologie"</b> (das Originalkonzept)	ausstehende Revolution, verzögert durch Verwechslung
	mirakulöse Nanobots	<b>"Nanotechnologie"</b> (in Populärmedien & Fiktion)	schädliche Ablenkung, Quelle andauernder Verwechslung
	Nanomaterialien, Nanodevices	<b>"Nanotechnologie"</b> (in Pressemeldungen)	Viele Nischenanwendungen aber nicht am Weg zu APM
	Molekulares design und Synthese	Chemie, Biopolymere, ... (selten "Nanotechnologie")	Atomar präzise, Schlüssel zu APM Implementierung

Zwei von diesen sind realistisch und atomar präzise zugleich.

Source: <http://metamodern.com/Five-Kinds-of-Nanotechnology.png>

## Teil 1: Zielsetzung

atomar präzise  
kleinskalen - Fabrik  
(Zerllinsenbild)



4,...

3

2

1

0

### Konvergente Montage

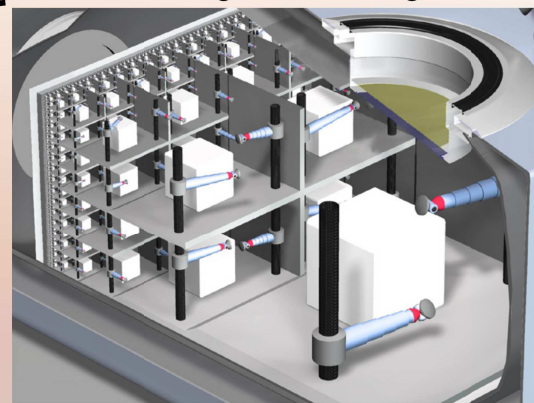
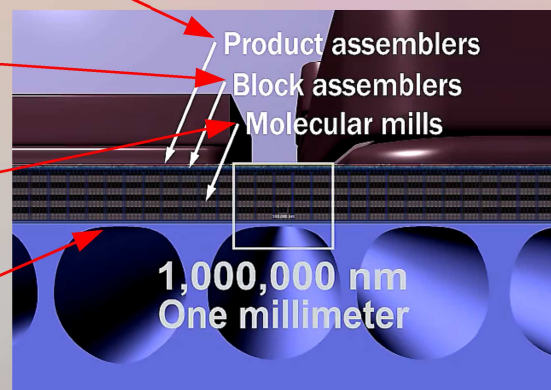
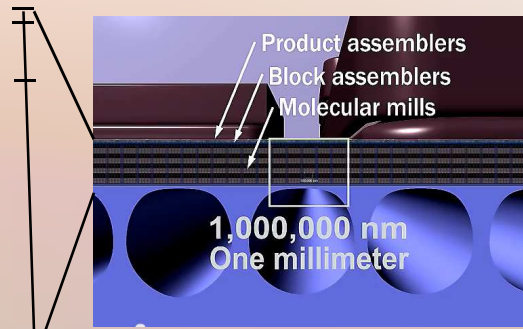
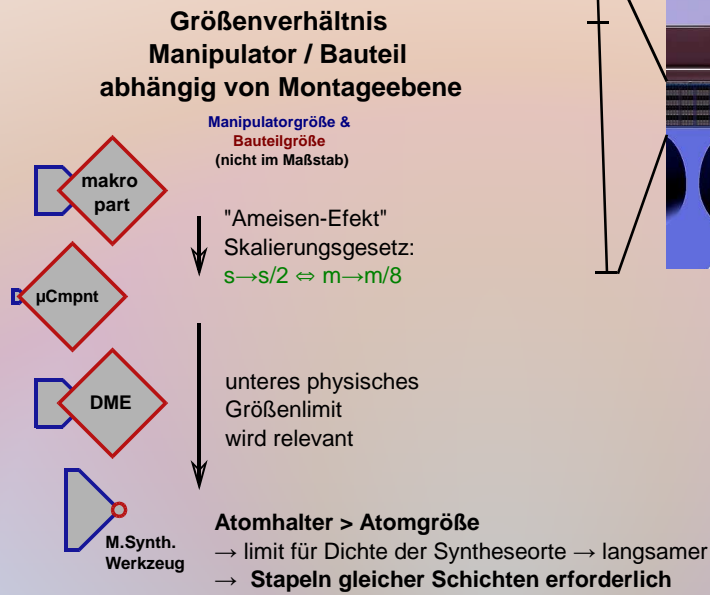


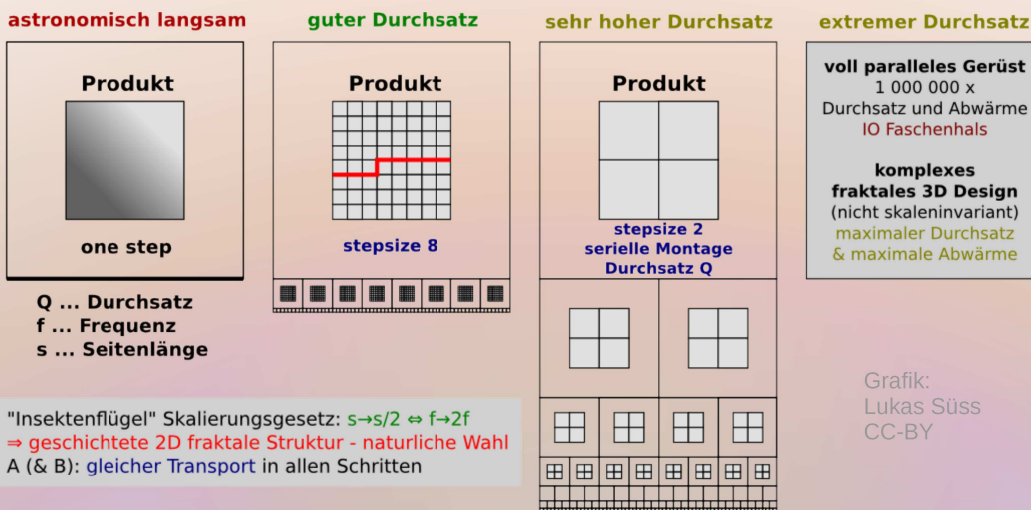
Image by John Burch, Lizard Fire Studios, <http://www.lizardfire.com>  
Core mechanism of a proposed desktop-scale molecular manufacturing appliance. Tiny machines join molecules, then larger and larger parts, in a convergent assembly process that makes products such as computers with a billion processors. (Parts shown as white cubes.)



# AP Kleinskalenfabrik unten wird's wieder dicker



# AP Kleinskalenfabrik - warum Schichten?



**A**

$$Q_2 = Q_1$$

$$Q_2 = 1s^3f$$

$$Q_1 = 4(s/2)^3(2f)$$

**B**

$$Q'_2 = Q'_1$$

$$Q'_2 = 1s^3f$$

$$Q'_1 = 16(s/4)^3(4f)$$

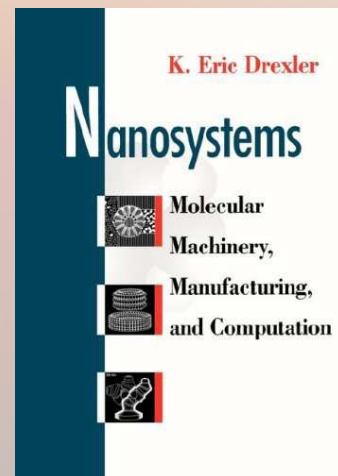
**B: größere Schritte verlangsamen Montage**  
dies kann mit teilweiser Parallelität ausgeglichen werden

Mit verdoppelnder Schrittgröße und serieller Montage als Referenz Q:  
 $Q'(ss,p) = Q/(s/2)^{(3-p)}$   
ss ... Schrittgröße  
p ... Parallelität  
(0 seriell, 1 Streifen, 2 Ebenen)

Beispiele:  
 $Q'(4,0) = Q/8$   
 $Q'(8,0) = Q/64$   
 $Q'(32,0) = Q/4096$   
 $Q'(32,1) = Q/256$   
 $Q'(32,2) = Q/64$   
ein Schritt:  
 $Q'(2000\ 000,0) = Q/10^{18}$

# Grundlagen

- **Fokus:** wenige gut verstandene und gut handhabbare Elemente: Nichtmetalle **C H N O S P Si F Cl ...**
- unnatürliche Chemie – **Mechanosynthese** in „Maschinenphase“ (alles gehalten)
- Thermische- & Quantenunschärfe durch steife Strukturen eingedämmt
- Situation: klares Ziel - unklarer Weg (später)



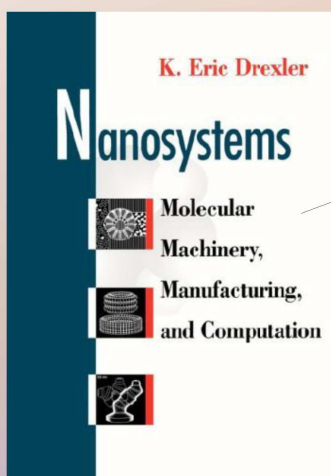
„exploratory engineering“  
konsequent pessimistische  
Technologieabschätzung  
zeigt keine Hindernisse

12.05.14

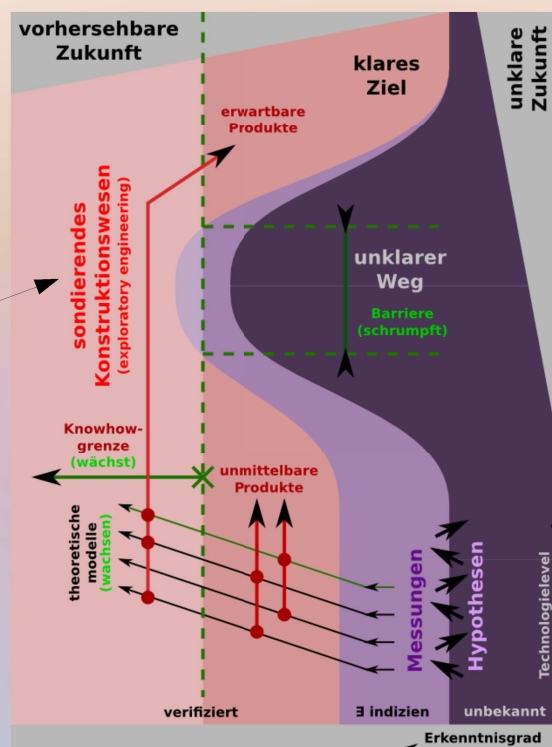
Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

7

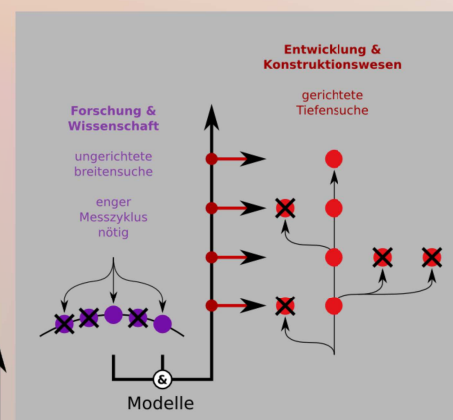
# Grundlagen



„exploratory engineering“  
konsequent pessimistische  
Technologieabschätzung  
zeigt keine Hindernisse



Author: Lukas Süß CC BY

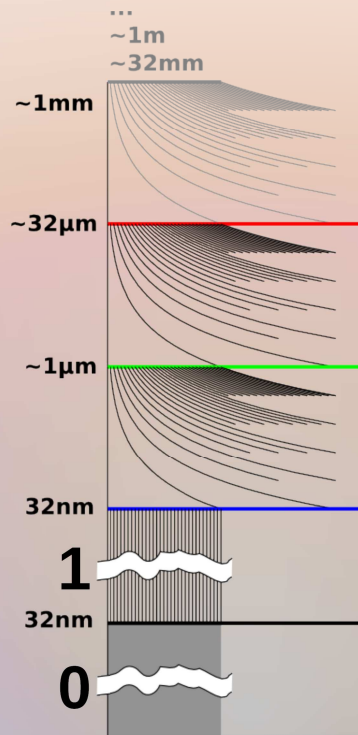


12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

8

# Montageebenen



by Lukas Süß

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

9

# Mechanosynthese

## 9 Werkzeugspitzen – Set – (Kreislauf)

- Fokus: Kohlenstoff (& Wasserstoff)**  
genaue quantenmechanische Analyse

from: [A Minimal Toolset for Positional Diamond Mechanosynthesis](#)  
Robert A. Freitas Jr. \* and Ralph C. Merkle  
Institute for Molecular Manufacturing, Palo Alto, CA 94301, USA

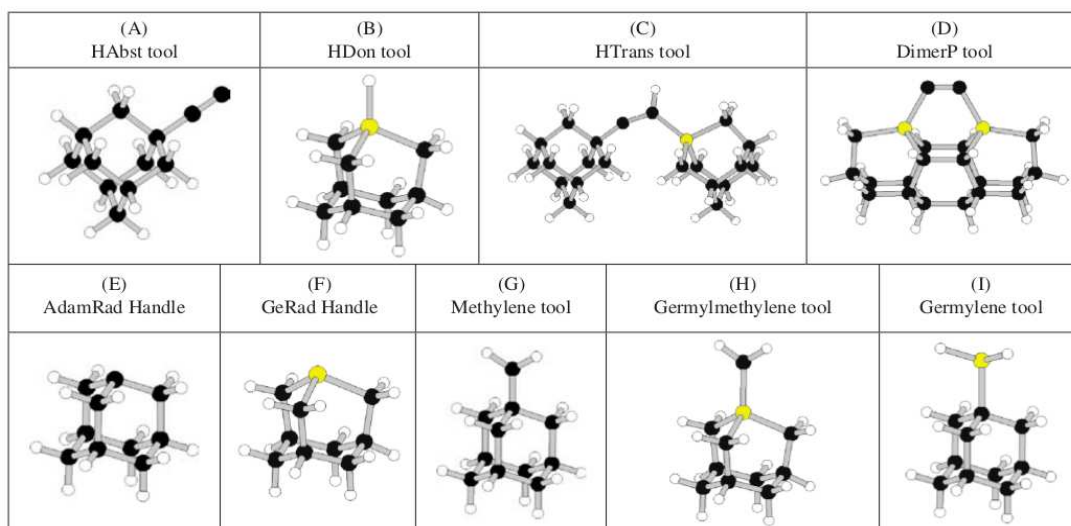


Fig. 1. A minimal toolset for diamond mechanosynthesis, including primary, auxiliary, and compound tools.

12.05.14

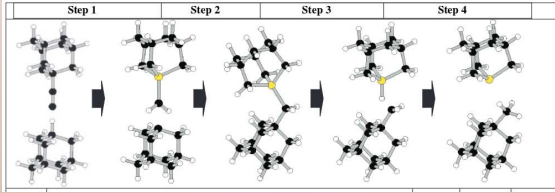
Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

10

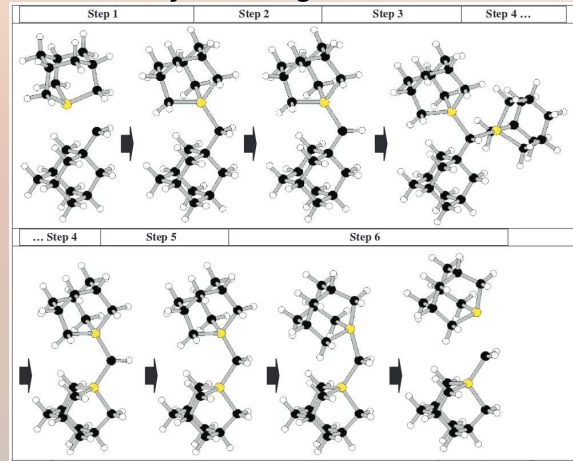
# Grundlagen: Mechanosynthese

## Anwendung und Regeneration

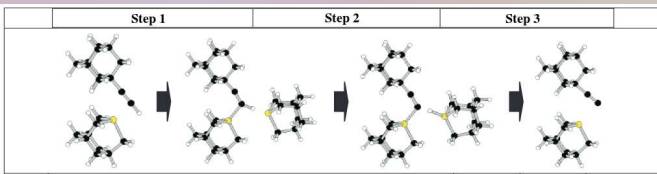
RS9. Methyl auftragen (Brückenkopf)



RS5. Methyl Aufträger auffrischen



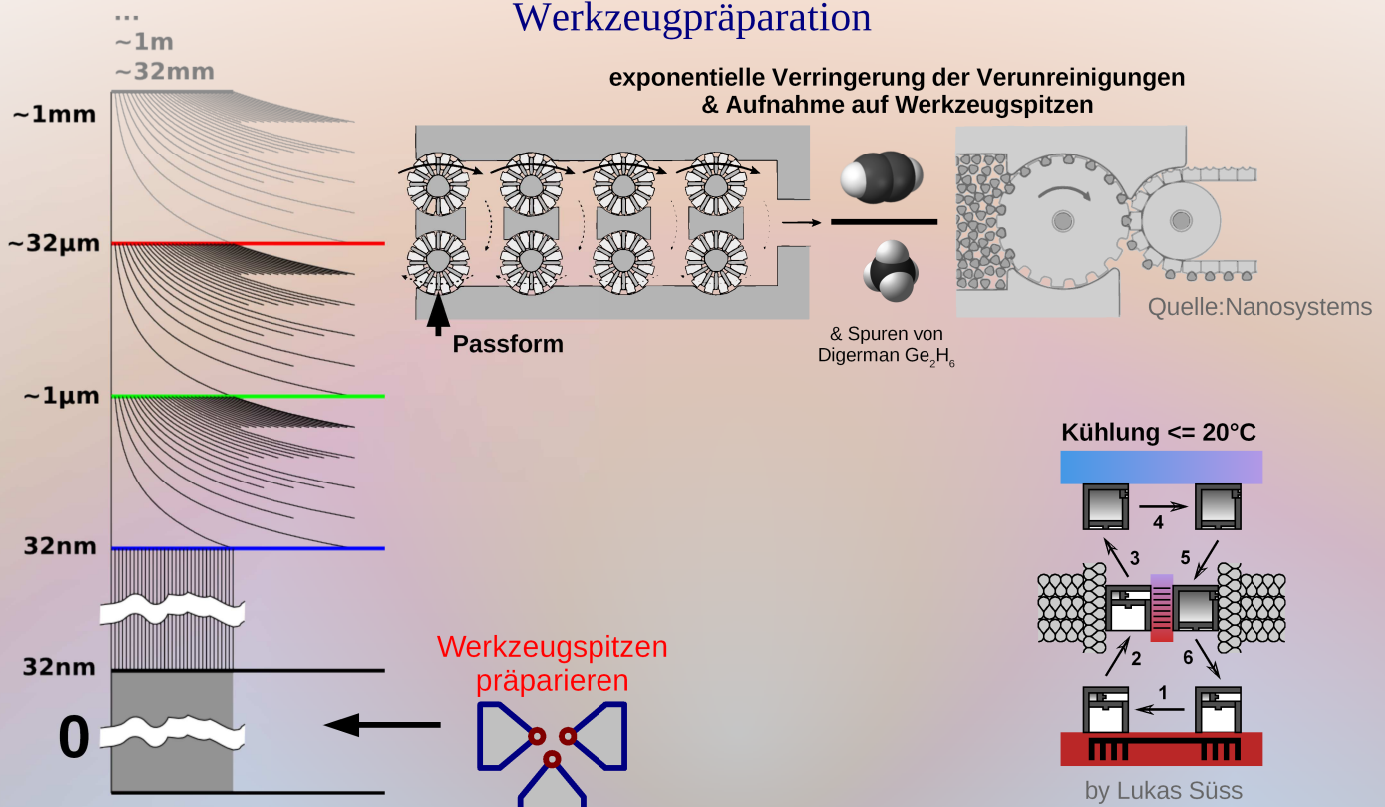
RS5. Wasserstoff-Entferner und Aufträger auffrischen



Wahrscheinlichkeiten von Synthesefehlern wurden mit QM software "gaussian" abgeschätzt

# Montageebene 0

## Werkzeugpräparation

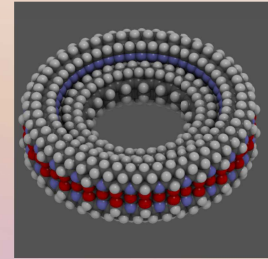


# Montageebene 1

## DMEs („Kristalleküle“)

- Fokus: Standardbauteile** aus steifen Materialien die bei **Mechanosynthese** nicht "davonzittern" wie passivierte Nichtmetalle & Keramiken  
diamantartig - diamondoid

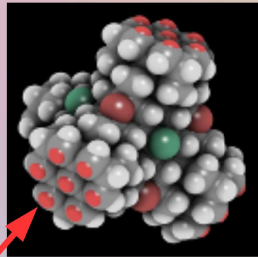
Gleitlager



diamantartige  
molekulare  
**Maschinen-  
elemente**  
→ **DMMEs**

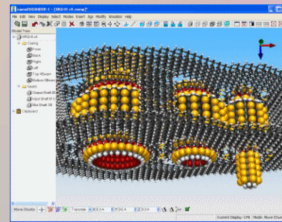
www.thingiverse.com/thing:13786

diamantartige  
molekulare  
**strukturelles  
Elemente**  
→ **DMSEs**



offene Bindungen als  
nahtlose irreversible  
Verbinder

Zahnradgetriebe



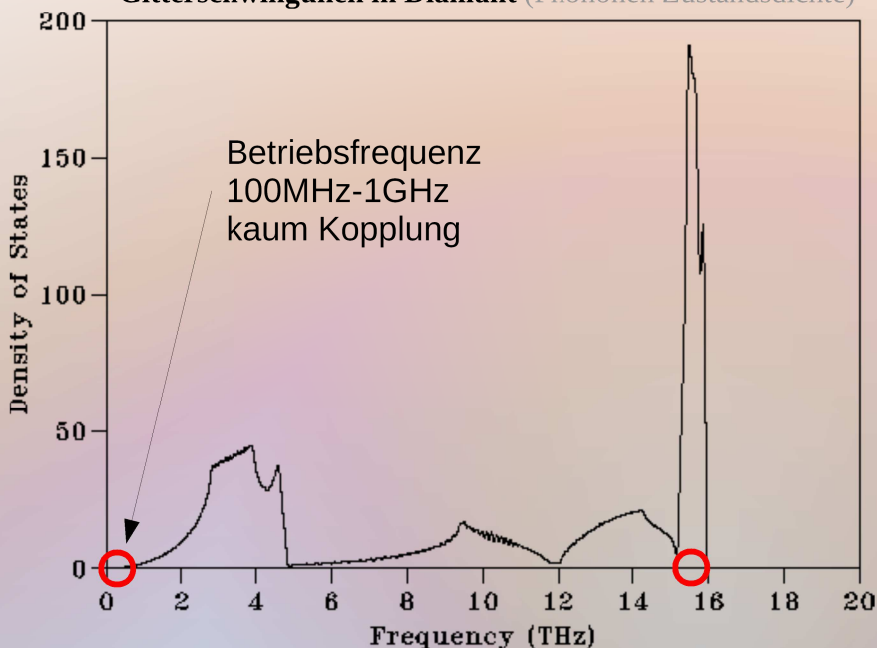
Designer: Mark Sims  
Time: AUG 31, 2005  
Amount of parts: 4  
Quantity of atoms: 15,342  
Size: 11.3 nm  
Peak: 7.5 nm  
Interesting depth: 5.6 nm  
Gear Ratio: 13: 6  
Speed Ratio: 2.167: 1

Software: **Nanoengineer-1**

<http://sourceforge.net/projects/moleculardynami/files/NanoEngineer/>

# Montageebene 1 - Einschub

Gitterschwingunen in Diamant (Phononen Zustandsdichte)

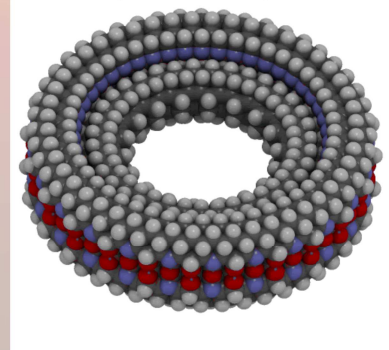


Source: <http://cmt.dur.ac.uk/sjc/thesis/thesis/node55.html>  
Prof. Stewart Clark

**Achtung:**

**stroboskop Illusion!**  
thermisches Zittern >1000x  
schneller als Rotation

Kraftfeld (Feder Masse) Simulation



**supraschmierend**

2000 bis 100000 mal weniger  
Reibung als in Flüssigkeit

Source:  
<http://machine-phase.blogspot.co.at/>

# Montageebene 1 - Zielsetzung

...  
~1m  
~32mm

~1mm

~32µm

~1µm

32nm

1

32nm

fail-stop producer

fail-stop producer

fail-stop producer

fail-stop producer

inputs

MUX-DEMUX routing von DMEs mit Redundanz

inputs from other producers

Quelle: Nanosystems (d..distribution; m..merge)

fail-stop consumer

fail-stop consumer

fail-stop consumer

outputs

diamantartige molekulare elemente  
DMEs Mechanosynthetisieren  
(Fabrikkern)  
irreversibel

GM & other tooltips

NANOFUTURE  
What's Next for Nanotechnology

J. STORRS HALL, PHD  
Chief Scientist of Nanorex, Inc.  
Fellow of the Molecular Engineering Research Institute  
Foreword by K. ERIC DREXLER

Shaft  
Screw collar  
2-def collars  
Main strut  
Support strut  
Universal joints

12.05.14

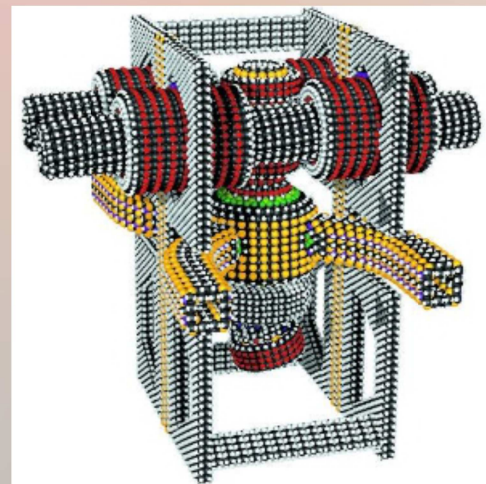
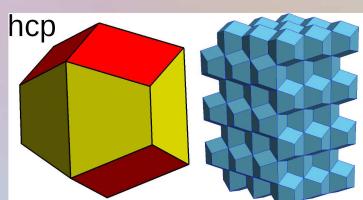
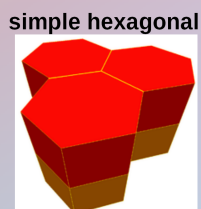
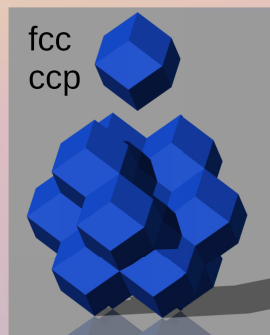
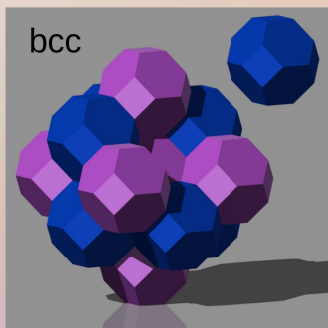
Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

15

# Montageebene 2 - Zielsetzung

- Fokus: Wiederverwendbare µKomponenten**  
erfüllen Funktion einzeln oder im Verbund

Molekülsortierer für Montageebene 0  
als Teil einer µKomponente denkbar



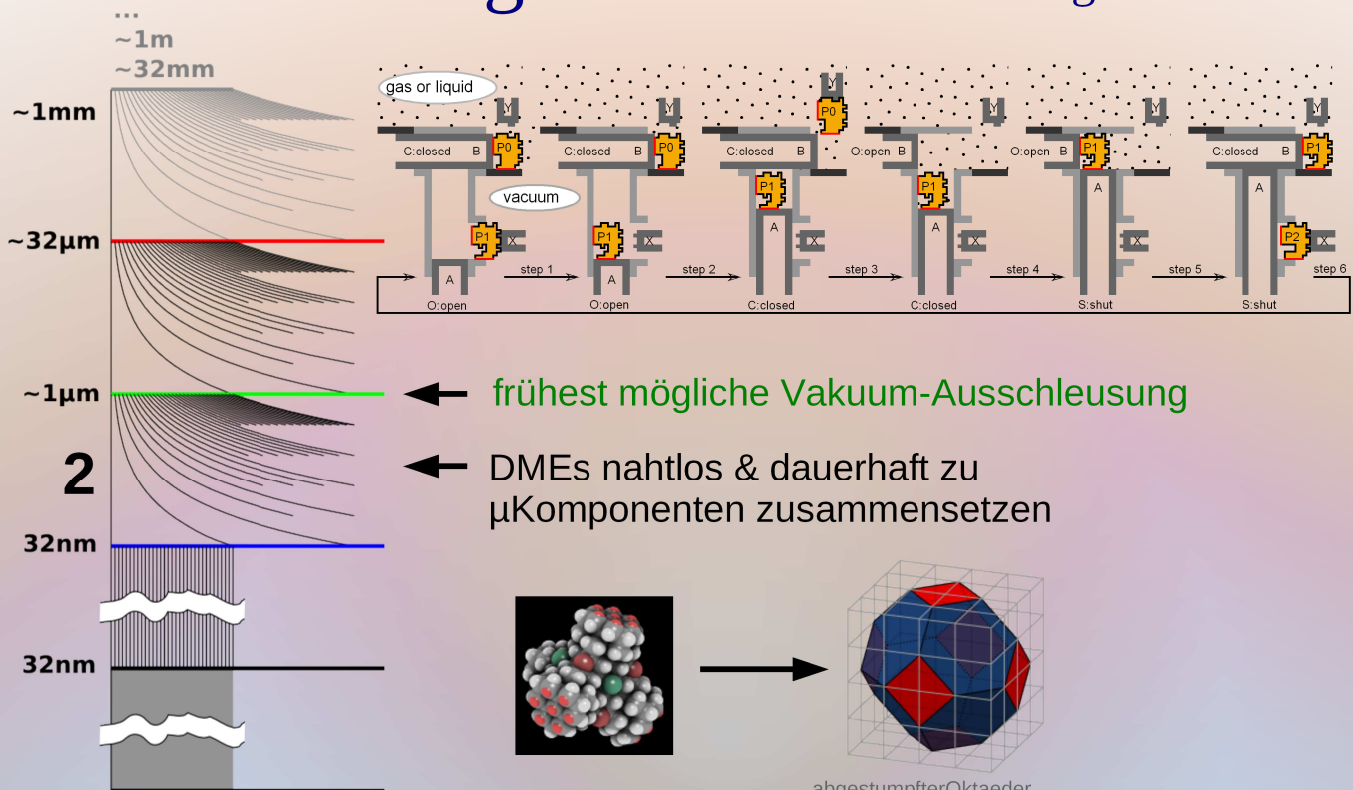
**Molekülsortierpumpe**  
Design by Eric Drexler, Josh Hall,  
Ninad Sathaye and Mark Sims

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

16

# Montageebene 2 - Zielsetzung



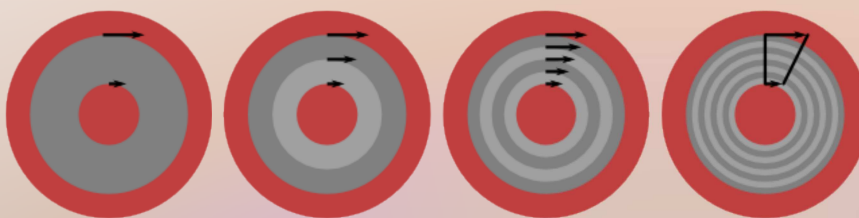
12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

17

# Montageebene 3,4,.. - Zielsetzung

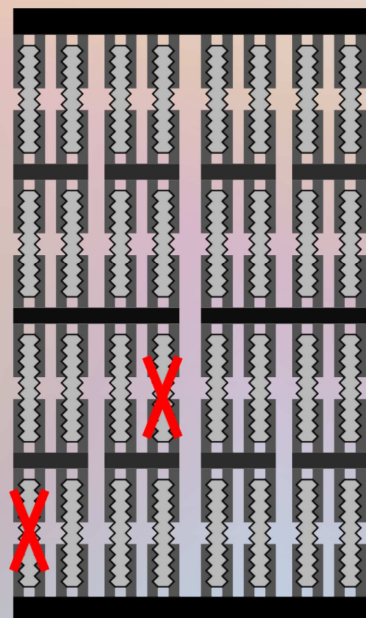
- Fokus: kombinierbare Metamaterialien aus Mikrokomponenten



Infinitesimallager

by Lukas Süß – public domain

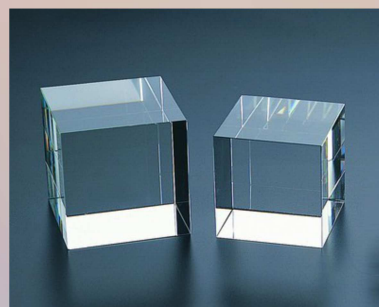
“Mokel” (Motor-Muskel)



by Lukas Süß – public domain



by Lukas Süß – public domain



Quelle: www.crystalbuy.com

12.05.14

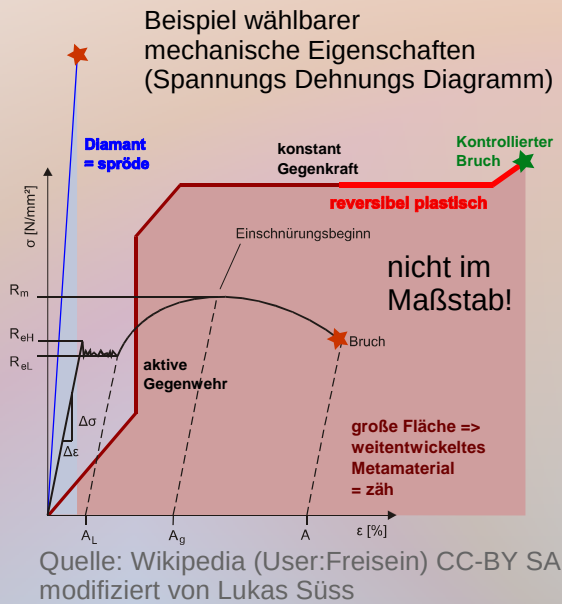
Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

18

# Montageebene 3,4,..

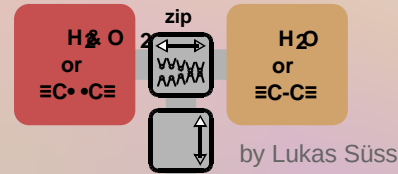
## Zielsetzung Metamaterialien

### emuliertes Materialverhalten



### chemomechanische Wandler

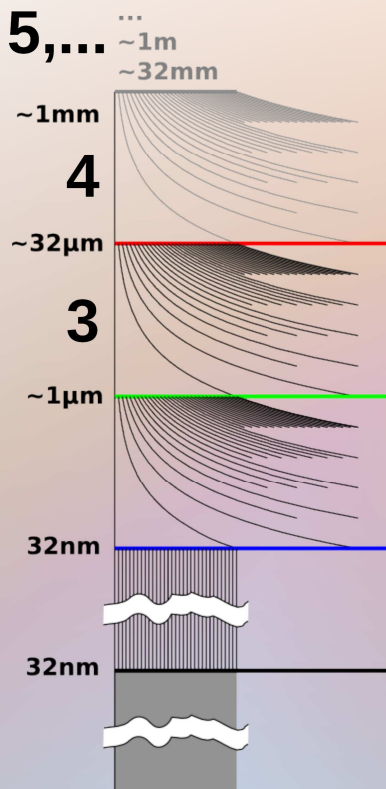
chemisch → mechanisch  
kein Wirkungsgrad limit  
 $\eta$  nahe 100%



Wärmekraftmaschine  
chemisch → **thermisch** → mechanisch  
maximal Carnot Wirkungsgrad  
 $\eta < 1 - T_{\text{heiß}} / T_{\text{kalt}}$

Luftbeschleuniger  
uvm ...

# Montageebene 3,4,.. - Zielsetzung



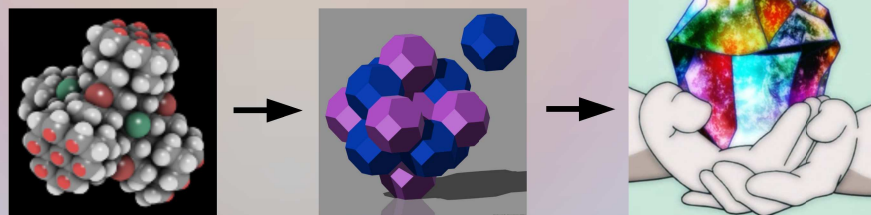
### Pocket-, Desktop-, Garagen Nanofabrik

optionale Automatisierung (meso-makro)  
selbstaushrichtende & selbstreinigende Verbinder ?

frühestes Reinraum-Lockout  
(~Sichtgrenze)

$\mu$ Komponenten reversibel zusammensetzen

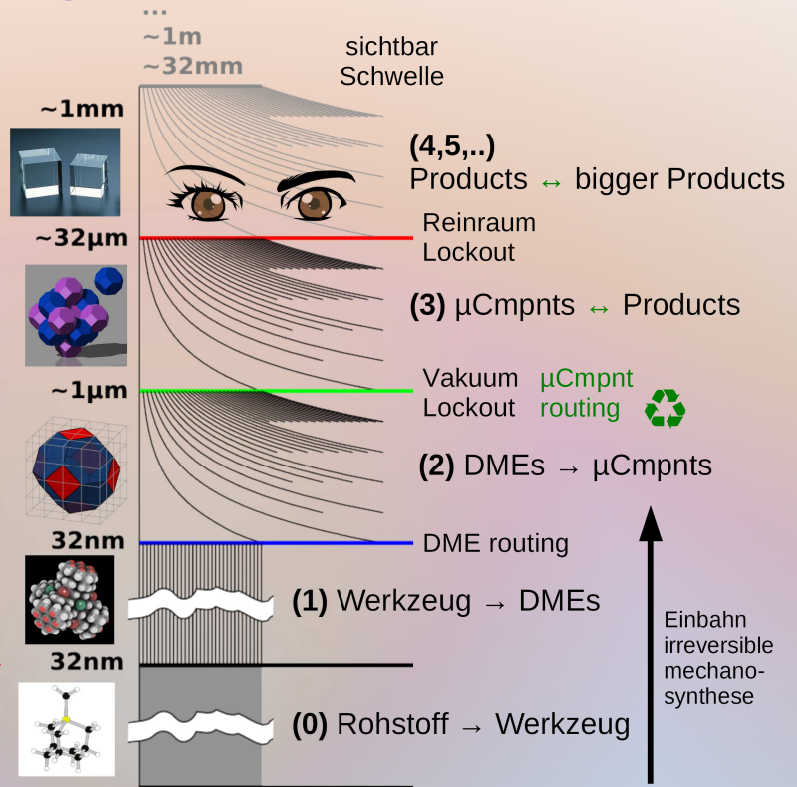
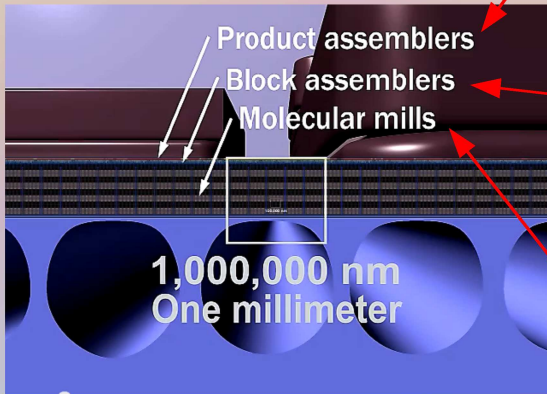
### Metamaterialien



Quelle: Casshern Sins 27

# Zielsetzung - Zusammenfassung

Zielpunkt => Konzeptvideo  
 Video: Productive Nanosystems (web)  
 local

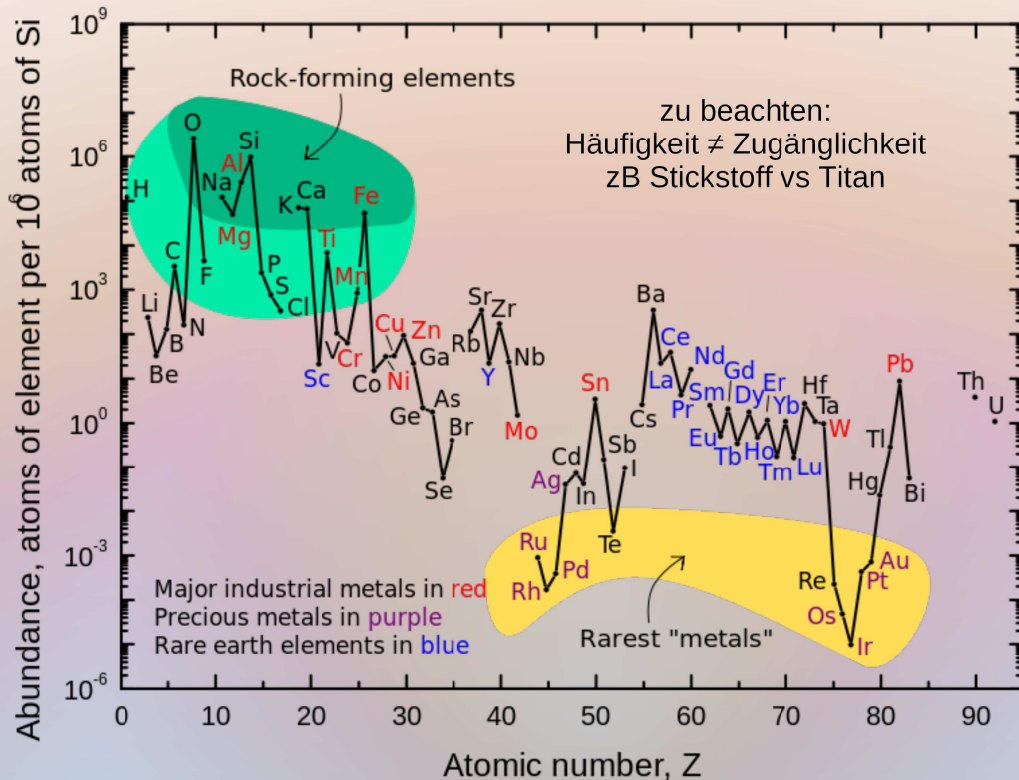


12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

21

## Teil 2: Produkte - Rohstoffe

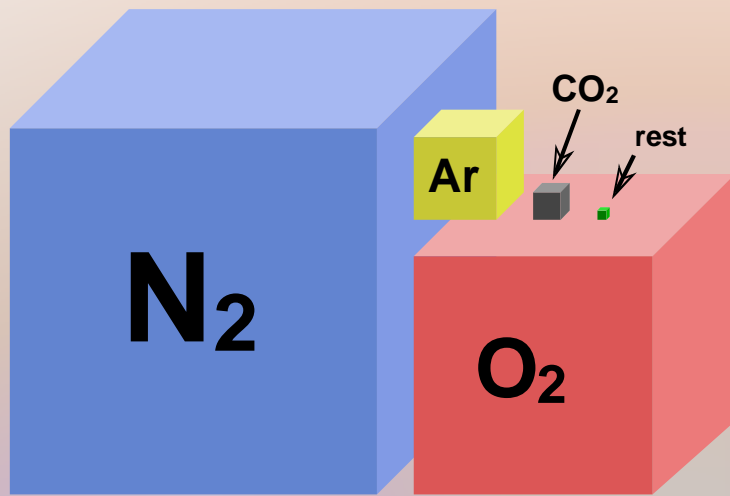


12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

22

# Rohstoffe (out of thin air)



ratio of volumes correctly displayed

by Lukas Süß – public domain

CO<sub>2</sub> in Luft:  $\rho \sim 0.2\text{g/m}^3$

CPU Lüfter: 100m<sup>3</sup>/h → max 20g/h  
 Gebläse: 5000m<sup>3</sup>/h → max 1kg/h  
 (APM Fabrik nutzt „lautlose“ Luftbeschleuniger)

**Todo: Mechanosynthetische CO<sub>2</sub>spaltung wurde noch nicht untersucht.**

$$\rho = f M p / (R T)$$

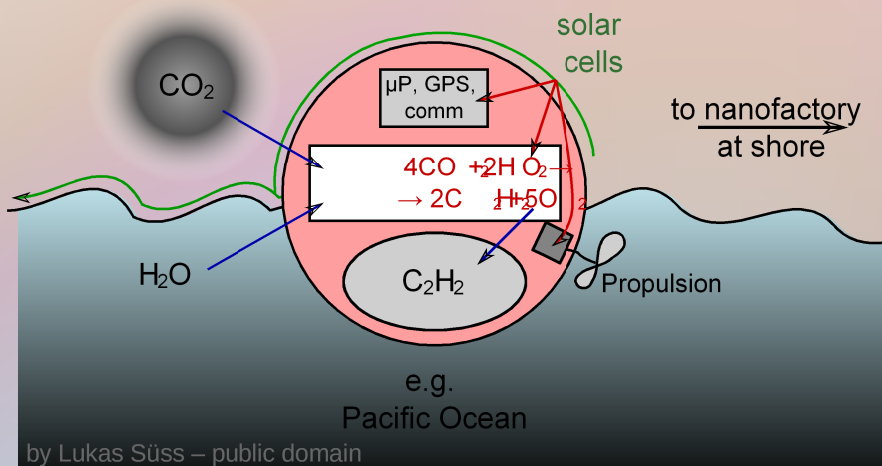
Volumsanteil von CO<sub>2</sub> in der Stadt:  
 $f = 400\text{ppm} = 0.0004 \text{ m}^3/\text{m}^3$   
 (Innenraum bis 10x soviel)

M = 12g/mol      C in CO<sub>2</sub>  
 $p = 10^5\text{Pa}$       Druck  
 $R = 8.314\text{J}/(\text{mol K})$       Gaskonstante  
 $T = 300\text{K}$       Temperatur

# potentielle Produkte

- CO<sub>2</sub>sammelnde Treibbojen  
 280ppm → 400ppm (0.7g/m<sup>3</sup>) → 280ppm

Foto: Hannes Grobe  
 Alfred Wegener Institute  
 CC-BY-SA-2.5



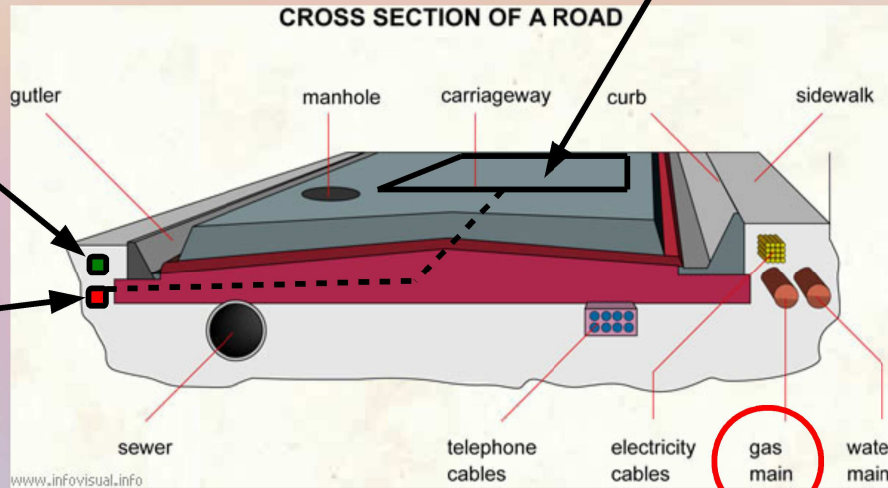
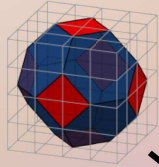
by Lukas Süß – public domain

# potentielle Produkte

Energie & Infrastruktur

globales Mikrokomponenten Wiederverteilungs-System

Solarzellen-Straßenbelag



Energieleitung  
zB. Wasserstoff-Kapseln  
(infinitesimalgelagert)

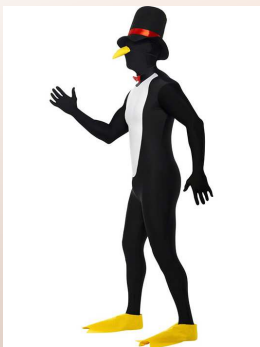
www.infovisual.info

Quelle: infovisuals.info

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

25



Amazon: Penguin Second Skin Costume

- adaptive:
- >Wärmeisolation
  - >Reflektivität
  - >Form (weit/eng)
  - >Struktur (weich hart)

## potentielle Produkte: alltemperatur allwetter Kleidung

billig wie eine Kartonschachtel



Artist: Adebajji Alade

taktile Telepresenz



Source: robonaut.jsc.nasa.gov

quasi Beamen



Author: Intel Free Press  
www.suitabletech.com

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

26

# potentielle Produkte - Zusammenfassung

- Produkte AP Kleinfabriken bieten potentielle Lösung fundamentaler Zivilisationsprobleme
- AP Kleinfabriken bieten technologischen **Checkpoint** – (Disaster proof)
- Aber: Technologiebasis konkret - Anwendungen spekulativ (Anwendungen basieren auf Metamaterialien)

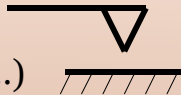
universelle Kleinfabrik  
PF personal fabricator



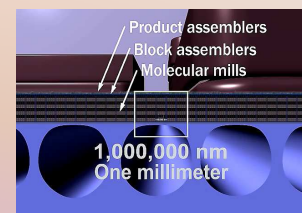
**CHECKPOINT:**  
sobald ~1Mrd. Kopien mit je allen Plänen für Grundbedürfniserfüllende Güter existieren

Source: PT0942  
made-in-china.com

## Teil 3: mögliche Pfade zu APM

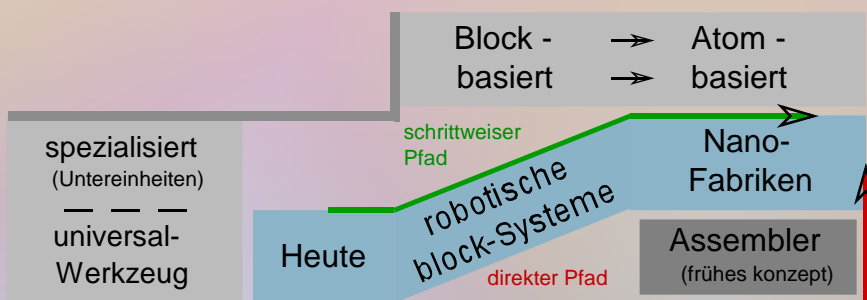
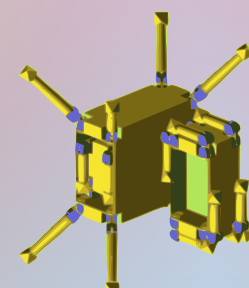
- Direkter Pfad: Rastersondenmikroskopie (AFM/STM/..) 
- Inkrementeller Pfad: Schrittweise Technologieverbesserung von heute herstellbaren AP Strukturen

Kleinskalenfabrik



VS

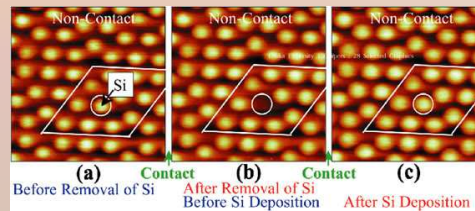
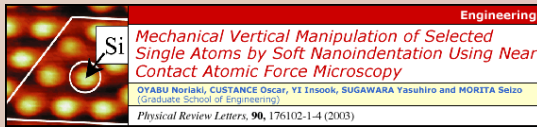
Selbstreplizierender universal-Assembler (überhohlt)



# direkter Pfad

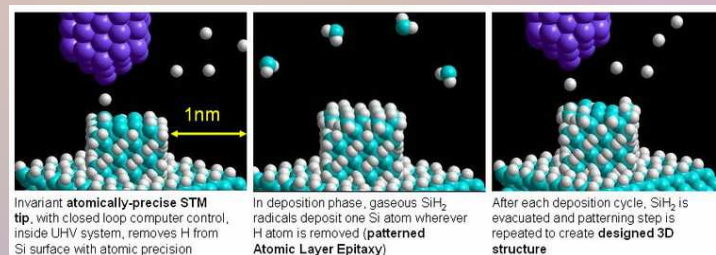
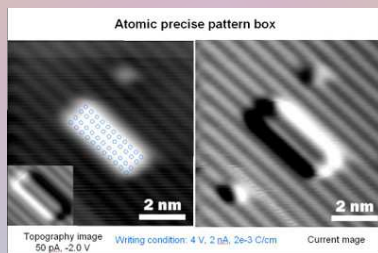
- Mechanosynthese **der Materialien von Interesse** bereits demonstriert:

Mechanosynthese experimentell gezeigt:



70K

strukturierte Schicht-Epitaxie (patterned layer epitaxy PLE)



12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

29

# direkter Pfad

## diverse Probleme

- **Vakuüm Güte** – fehlende Mikroabsolutvakuumkapseln
- **Geschwindigkeit** – fehlende Kleinheit und Parallelität (Millipede: auf Kosten der Auflösung)
- **Fehlerrate** – fehlende Steifheit – (Vibrationen, Drift)
- **Überhänge & bewegliche Teile** – fehlende Mehrspitzenmanipulation
- **Spitzenqualität** – fehlender einfacher vorhersehbarer Spitzenwechsel
- **Lokale Verfügbarkeit verschiedener Werkzeugspitzen** – ebenso
- &&& → **schrittweiser Pfad**

12.05.14

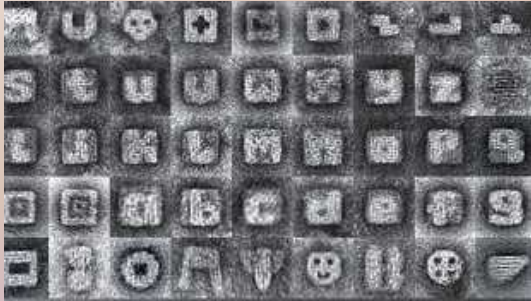
Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

30

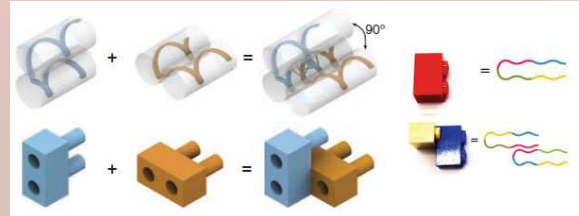
# schrittweiser Pfad

## Stand heute

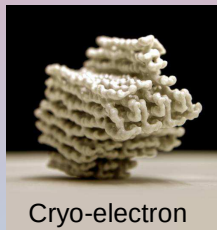
- praktikable Molekülen → **steife** AP Baublöcken (Flüssigphase)  
Selbstassemblierung [Video: Building 3D Structures with DNA Bricks \(web\)](#)



Quelle: Wyss Institute



4x8=32 Basenpaar lange  
einstrang-DNA Stücke (Oligonukleotide)  
**kurze doppelsträngige Segmente sind steif**



Cryo-electron  
tomography  
to 3D print

strukturelle DNA Nanotechnologie –  
DNA als Baumaterial

12.05.14

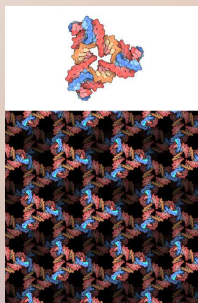
Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

31

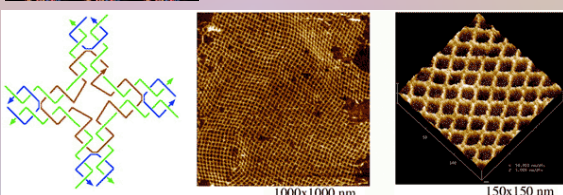
# schrittweiser Pfad

## mehr strukturelle DNA Nanotechnologie

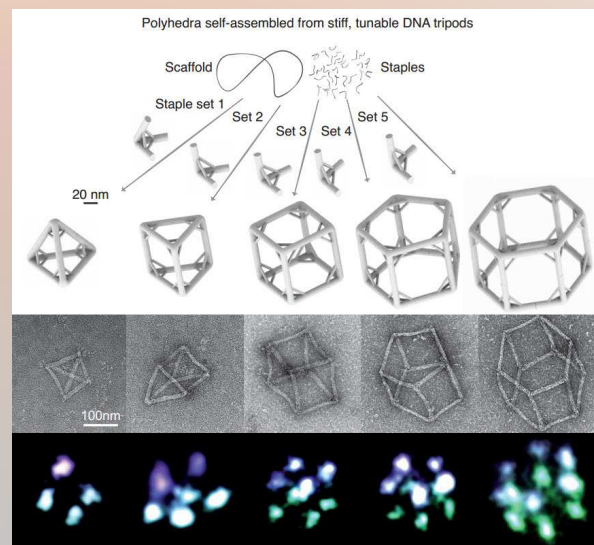
- Gerüste: kurze doppelsträngige Segmente sind steif
- Demonstriert: Dreibein DNA Walker



3-D DNA Kristall  
artistic rendering by  
David Goodsell



New Structures for DNA-Based Nanofabrication  
Hao Yan, Thomas H. LaBean, Sung Ha Park, Hanying Li, John Reif, Liping Feng, Peng Yin  
Computer Science, Duke University, Durham, NC 27708



“große” versteifte DNA Käfige  
Credit: Ryosuke Iinuma et al.

12.05.14

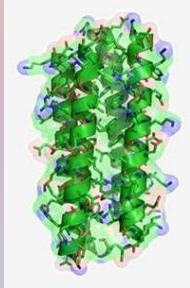
Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

32

# verfügbare AP Bauteile

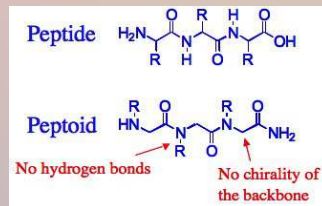
- **Foldamere** – selbstfaltende Molekülketten (Festigkeit ~ Horn)
- Aminosäuresequenz → Proteinfaltung: **schwierig**  
 Proteinfaltung → Aminosäuresequenz: „**einfach**“  
 Grund: Selbstbeschränkung auf vorgersagbare Teisequenzen möglich.  
 Protein = Polypeptid

**de novo  
Proteindesign**



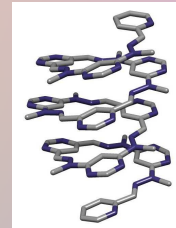
“Design and engineering of an O2 transport protein”  
 R L Koder, et al.  
 Nature, 458: 305–309 (2009).

**Peptide**



Peptoids ∈ Peptidomimetic ∈ Foldamers

**einfaches  
Foldamer**

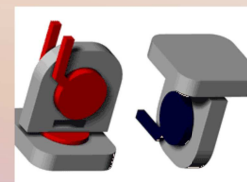


Wikipedia:  
 user: M stone  
 license: GFDL

## Schritt 1/3

# exponentielle Montage

- 1) massiv parallele Erzeugung der Komponenten:  
 mikro: Photolithographie (MEMS)  
 nano: Selbstassemblierung (strukturelle DNA technologie)
- 2) “manueller” Zusammenbau eines manipulators
- 3) exponentielle Vervielfältigung



MEMS manipulator  
 Quelle: Zyvex

mit MEMS zu NEMS Robotik ?



Grafik: Lukas Süß CC-BY

erster Manipulator  
 “manuell” aufgebaut

## Schritt 1/3: Erlangung robotischer Kontrolle

1) medizinische & molekularelektronische Anwendungen:  
sinnvolle Triebkraft & Ablenkung zugleich

2) programmierbare Komponentenpositionierung

### Offene Fragen:

Elektrostatische Kontrolle möglich?

Scharniere möglich?

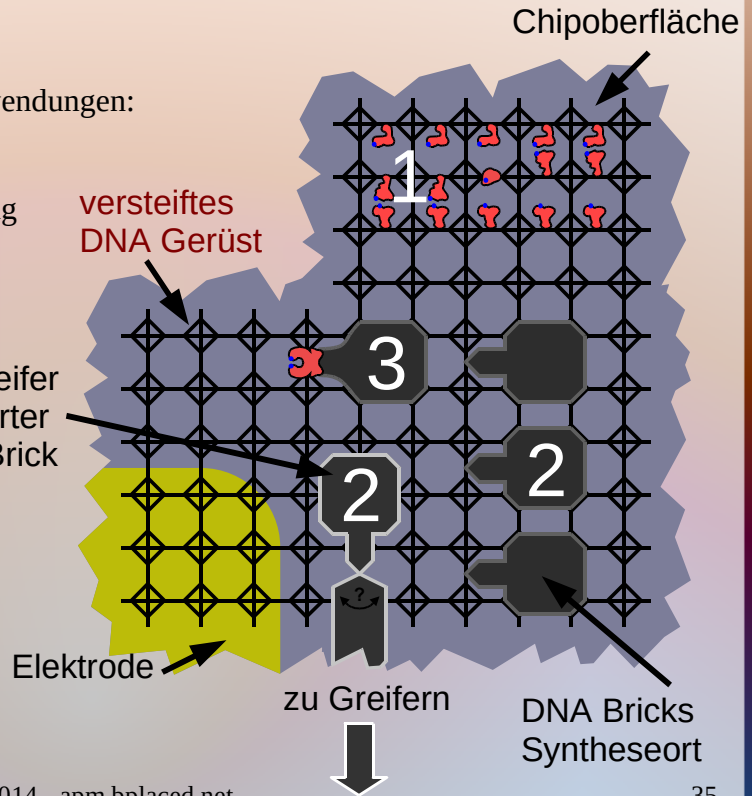
3) Spitze für Schritt 2/3

### Legende:

rot: Foldamere

blau: funktionalen Gruppen

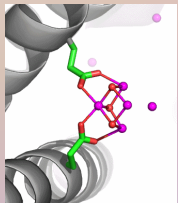
schwarz & grau: DNA Strukturen



# Inkrementeller Pfad 2/3

- atomar präzise Baublöcke → atomistische Flüssigphase Materialien  
steifer → bessere Positionierungskontrolle
- Materialien: Silikate / Pyrit / Calcit / Hämatit / ... (Biominalisation)

Ferritin  
(Eisen depot Peptid)



nur Nachahmung des Kerns  
von Biominalisationsprozessen  
hierarchische Schichtstrukturen nicht von Interesse

[http://www.cup.uni-muenchen.de/ac/kluefers/homepage/L\\_biomineralisation.html](http://www.cup.uni-muenchen.de/ac/kluefers/homepage/L_biomineralisation.html)

K. Zeth, S. Offermann, L. O. Essen, D. Oesterhelt:

Iron-oxo clusters biominalizing on protein surfaces: Structural analysis of Halobacterium salinarum DpsA in its low- and high-iron states.

Proc. Nat. Acad. Sci. USA 2004, 101, 13780–13785.

doi: 10.1073/pnas.0401821101.

Schritt 2 für Gasdichte mikro-Einkapselung in  
Schritt 3 notwendig? → Schritt überspringen?

# Inkrementeller Pfad 3/3

- flüssig-Phase-materialien\* → Vakuum-only-Materialien dazu
- Werkzeuge sind ähnlich triadamantan & icean molekülen welche schon in vielen varianten chemisch synthetisiert worden sind (∃ literatur)

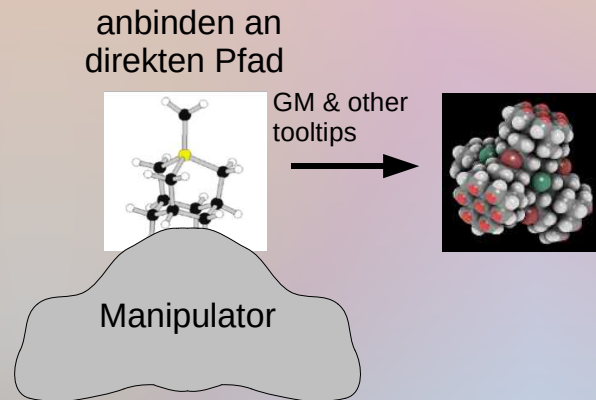
(Robert A. Freitas, JR.) Simple tool for positional diamond mechanosynthesis, and its method of manufacture

Beispiele für Steife Materialien von Interesse:

Diamant,  
Lonsdaleit(C), Mossianit(SiC), Silizium  
Quartz\* (SiO<sub>2</sub>), Sapphir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>),  
Siliziumnitrid (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), Kohlenstoffnitrid(β-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>),  
Titankeramiken, Borverbindungen,  
Periclase (MgO), uvm ...

## Ziel erreicht!

Weitere Verbesserung in Software ...  
Jetzt geht's erst los.



12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

37

OSHW & Gefahren

## Teil 4: APM

- **Ursprung** von AP Kleinfabriken **aus Labors** (hauptsächlich closed source).  
Nicht von Heimwerkern wie die Reprap 3D Drucker.
- Daher sind **keine alltagsnützlichen** und Wohnzimmer-herstellbaren **Produkte in frühen Entwicklungsstadien** zu erwarten.
- zu hoffen: **paralleler offener Entwicklungszweig** startet früh genug  
(werden Patente hindern ?)
- **Unerwartet beschleunigender Fortschritt möglich!**  
→ Gefahren:  
Überrumpelung mit **Müll**, totaler Überwachung, Waffentechnologien

### Wann?

Sicherheit durch Erwartungshaltung  
rapide im negativen -  
langsam im positiven Sinn

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

38

# APM und Open Source

OSHW

Bedeutung von open source in einer Welt programmierbarer Materie und billiger Rohstoffe

- Werden materielle Güter zum **Gemeingut**?  
Werbegestütztes gratis Existenzminimum? – Modell Google? (**Überwachung...**)
- **Offene standard** interfaces (physische Verbindungsmechanismen) für microcomponenten erleichtern Recycling -> **weniger physischer Müll**
- **aktivierende Konkurrenz** zu proprietären physischen Produkten (OSHW als Brücken über marktwirtschaftlich unüberbrückbare Hürden)
- Risiko offener Systeme - einfacher bau chemischer **Waffen**  
z.B.: böswillig HCN & NOx synthetisierende „pollen“ / H<sub>2</sub>-Schwebelassen  
Vorsorgliche Gegenmaßnahmen **NÖTIG!**  
Funktionalitätsbeschränkung – lächerlich.

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

39

# APM und Open Source

## Patente

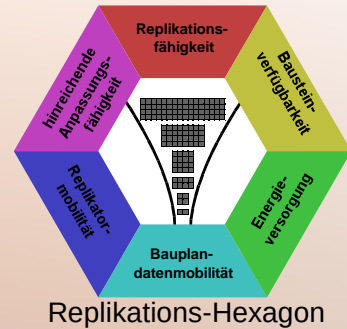
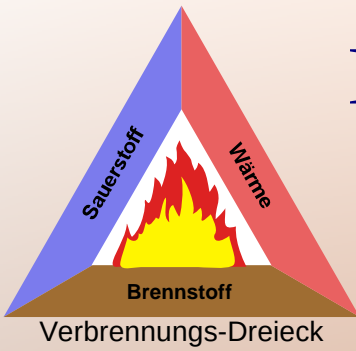
- Zyvex Corporation – (Ralph C. Merkle, Eric G. Parker, George D. Skidmore)  
**Method and system for self-replicating manufacturing stations**  
(aka **exponential assembly**)  
<http://www.google.com/patents/US6510359>
- Zyvex Labs, Llc – (John N. Randall, Jingping Peng, Jun-Fu Liu, George D. Skidmore, Christof Baur, E. Stallcup II Richard, Robert J. Folaron)  
**Patterned atomic layer epitaxy**  
<http://www.google.com/patents/US7326293>
- Zyvex Corporation – (Robert A. Freitas, JR.)  
**Simple tool for positional diamond mechanosynthesis, and its method of manufacture**  
<http://www.google.com.mx/patents/US7687146>

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

40

# Kontrollverlust?



	Replikations-fähigkeit	Baustein-verfügbarkeit	Energie-versorgung	Bauplandaten-mobilität	Replikator-mobilität	hinreichende Anpassungs-fähigkeit
frühe Block-systeme	exponentielle montage	teure komplexe synthese	von extern	von extern	kein Antrieb	keine
Flüssigphasen-systeme	braucht vielleicht Blocksysteme?	Natur: nicht in ausreichenden Mengen	von extern	von extern	kein Antrieb	keine
AP Kleinskalen-fabrik (Ziel)	Ja	Luft CO <sub>2</sub> & N <sub>2</sub> normalerweise C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / CH <sub>4</sub>	Solar/Wind normalerweise C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / CH <sub>4</sub>	max eine Kopie pro Fabrik sinnvoll	kein Antrieb (großer block) !	keine
vorsätzlicher Replikatorbau	Ja	Luft CO <sub>2</sub> & N <sub>2</sub>	Solar	eine Kopie pro Replikatoreinheit	Auftrieb / (Antrieb)	keine ist ausreichend
Lebens-nachahmung	Ja	Luft CO <sub>2</sub> & N <sub>2</sub> Zucker	Solar Chemisch	eine Kopie pro Replikatoreinheit	Antrieb	komplexe genetische Algorithmen ?

Genauere Analyse:  
Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators, with Public Policy Recommendations  
Robert A. Freitas Jr.

12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

41

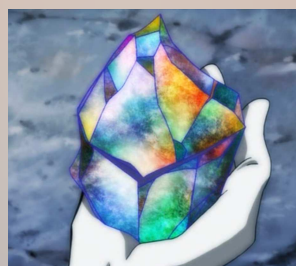
Slide 42

## Fragen? Interesse?

- **eigenes Projekt: WIKI** about atomically precise manufacturing APM <http://www.apm.bplaced.net> (en)
- Technische betrachtung:  
**Nanosystems:** Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation <http://e-drexler.com/d/06/00/Nanosystems/toc.html>
- Diverse **modellierungs Software** wird gebraucht.  
ähnlich microchip toolchain: ... QM + „Nanoengineer-1“ + CAD + ...
- Diese **Slides:** vorraussichtlich vom WIKI verlinkt



atomar präzise dicht gepackte  
Nanomechanik  
der Körper unserer Zukunft?



Quelle: Casshern Sins 27



12.05.14

Lukas Süß 2014 - apm.bplaced.net

42