



Ausgetretene Pfade sind die sichersten, aber es herrscht viel Verkehr.

Jeff Taylor





# BIONIC LIGHTWEIGHT **METRO**

*Neues Verkehrsmittel für Schwellenländer*

Simon Szameitat | Produktdesign | Matrikelnummer 8410

Fachhochschule Potsdam, Fachbereich 4 Design

Pappelallee 8-9, D-14469 Potsdam

Bachelorarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Arts

Gutachter | 1. Prof. Nils Krüger FHP | 2. Dr. Christian Hamm AWI

Kooperationspartner Alfred Wegener Institut | Division IMARE

Bussestr. 27, D-27570 Bremerhaven

---

Berlin, den 20. März 2013



### Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfsmittel angefertigt wurde. Alle Textpassagen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind durch Zitate und Literaturhinweise als solche kenntlich gemacht. Sämtliche Abbildungen und Daten verweisen durch die entsprechenden Quellenverweise auf ihren Ursprung.

# INHALT

*Bachelor Thesis*

*Kompodium*

## *Themen Einleitung*

Definitionen	14
Prolog	16
Bionik + Design	18

<i>Theoretischer Hintergrund</i>		<i>Praxis Beispiele</i>		<i>Logische Übersetzung</i>		<i>Praktische Umsetzung</i>	
Bionische Urgeschichte	22	Frei Otto	46	Ideale Eigenschaften	62	Optimale Grundfläche	76
Biologie & Technik	24	Olympiapark München	48	Ideale Anwendungsgebiete	64	Optimale Aufteilung	78
Meilensteine	26	Max. Mehr	50	Urbane Verkehrsmittel	66	Konstruktionsübertrag	80
Ernst Haeckel I/II	28	Maximale Belastbarkeit	52	Wachsende Mobilität	68	BLM 100	82
Ernst Haeckel II/II	30	Max. Weniger	54	Urbane Konventionen	70	Technische Daten	84
Die Ressource Plankton	32	Die Vorreiter	56	Ideales Verkehrsmittel	72	Benutzung	86
In der gesamten Gestalt	34	Minimales Gewicht	58			Ansichten	88
120.000	36					Gesamtansicht	90
In Struktur & Konstruktion	38					Nachwort	92
Physikalische Logik	40						
Konsequente Gew. Reduktion	42						



# THEMEN **Einleitung**

*Grundsätzliche Gedanken*

# DEFINITIONEN

Erläuterung der Begriffsinhalte

**Bionik** (auch *Biomimikry*, *Biomimetik* oder *Biomimese*) ist ein Kunstwort, zusammengesetzt aus den Worten Biologie und Technik. Vielmehr beschäftigt sie sich mit dem Übertragen von Phänomenen der Natur auf die Technik.

**Plankton** (das *Umherirrende*, veraltet *Auftrieb*) ist die Bezeichnung für Organismen, die im Wasser leben und deren Hauptmerkmal es ist, dass ihre Schwimmrichtung von den Wasserströmungen vorgegeben wird. Organismen, die ihre Schwimmrichtung grundsätzlich auch gegen Strömungen ausrichten können, werden als Nekton bezeichnet. <sup>1</sup>

**Kieselalgen oder Diatomeen** (*Bacillariophyta*) bilden eine Abteilung von Protisten (Protista) und werden

in die Gruppe der Stramenopilen (Stramenopila) eingeordnet. Alternativ werden sie auch als Klasse Bacillariophyceae geführt und in die Abteilung Heterokontophyta gestellt. <sup>2</sup>

**Radiolarien oder Strahlentierchen** (*Radiolaria*, lat. *radiolus* „kleiner Strahl“) sind eine Gruppe einzelliger Lebewesen mit einem Endoskelett aus Opal (Siliciumdioxid, SiO<sub>2</sub>), die zu den Eukaryoten (*Zellen mit Zellkern*)gehört. <sup>3</sup>

**AWI** (*Alfred Wegener Institut*) -ist ein Bremerhavener Institut, das sich der Erkundung der Polarregionen Klimaforschung, sowie der Meeresbiologie und Meeresgeologie verschrieben hat.

**IMARE** (*Institut für Marine Ressourcen*) ist ebenfalls ein Bremerhavener

Institut, das verschiedene Bereiche der Meeresforschung nutzt, um diese direkt in den verschiedensten Wirtschaftsbereichen einzusetzen.

**ELiSE** (*Evolutionary Light Structure Engineering-Verfahren*) - Bei diesem Verfahren werden die durch die Evolution optimierten Strukturen mikroskopisch kleiner Algen, besonders Diatomeen und Radiolarien erforscht und weiterverwendet. Anhand dieser Strukturen ist es möglich technischen Hochleistungs-Leichtbau für industrielle Produkte zu konstruieren. (*Unter Anwendung dieses bionischen Verfahrens entstand meine Bachelorthesis*)

**Das SKO-Verfahren** (*Soft Kill Option*) basiert, wie das CAO-Verfahren (CAO: Computer Aided Optimization), auf

<sup>1</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Plankton> (Version vom 09.03.2013)  
<sup>2</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Kieselalgen> (Version vom 09.03.2013)

<sup>3</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlentierchen> (Version vom 09.03.2013)  
<sup>4</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/SKO\\_%28Bionik%29](http://de.wikipedia.org/wiki/SKO_%28Bionik%29) (Version vom 09.03.2013)

<sup>5</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/cao> (Version vom 09.03.2013)  
<sup>6</sup> <http://www.duden.de/rechtschreibung/Trasse> (Version vom 09.03.2013)

der Simulation der Wachstumsregel von biologischen Kraftträgern und ist demnach eine Methode aus dem Bereich der Bionik. <sup>4</sup>

**CAO-Verfahren** (*Computer Aided Optimization*) ist ein Verfahren zur Formoptimierung aus dem Bereich der Bionik, bei dem das Wachstumsverhalten von biologischen Kraftträgern (wie z. B. Bäume, Knochen) nachgebildet wird. Das Ziel der Gestaltoptimierung ist der Kerbspannungsabbau und die Spannungshomogenisierung. Dadurch werden Festigkeitsziele erreicht und Bauteile um ein Vielfaches dauerfester. <sup>5</sup>

**Materialleichtbau** ist die Verwendung von Baustoffen mit einem günstigen Verhältnis von spezifischem Gewicht zur ausnutzbaren Festigkeit,

zur ausnutzbaren Dehnung, zur ausnutzbaren Steifigkeit.

**Strukturleichtbau** ist die Anzahl und Anordnung der Bauteile, aus denen eine tragende Struktur minimalen Gewichts gebildet wird.

**Systemleichtbau** ist das Prinzip, in einem Bauteil neben der Lastabtragung auch noch andere, wie zum Beispiel raumabschließende, speichernde, dämmende oder vergleichbare Funktionen zu vereinigen.

**Trasse** - eine im Gelände abgesteckte Linienführung eines Verkehrsweges, einer Versorgungsleitung. Der Verlauf wird mit Hilfe der mathematisch definierten Achse im Gelände (so genannte räumliche Linienführung) dargestellt, die wiederum aus

verschiedenen Trassierungselementen besteht. <sup>6</sup> (*In diesem Kompendium ist vor allem die Breite und Länge einer Bahntrasse damit gemeint.*)

**Klothoide** - Die Klothoide ist als Kurve in der Ebene bis auf Ähnlichkeit eindeutig bestimmt durch die Eigenschaft, dass die Krümmung dieser Kurve proportional zur Länge ihres Bogens ist. <sup>7</sup> (*In diesem Kompendium ist damit vor allem die Berücksichtigung der Bestmöglichen Grundform eines Schienenfahrzeuges gemeint.*)

---

<sup>7</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Klothoide> (Version vom 09.03.2013)

# PROLOG

*Meiner Bachelorthesis*

Das vergleichsweise junge Feld der Bionik hat in den letzten Jahren an stetig wachsender Bedeutsamkeit gewonnen. Die durch Ressourcenverknappung und der gleichzeitig steigenden Weltbevölkerung entstehenden Probleme verlangen nach intelligenten Antworten. Die evolutionären Strategien und konstruktiven Lösungen der Natur können dazu ihren Teil beitragen. Nicht zuletzt ist die Natur an der Notwendigkeit des schonenden Energieverbrauchs Problemsteller und Problemlöser zugleich.

Meine persönliche Faszination an dem Thema Bionik entsprang vor allem der Tatsache, dass in der Tier- und Pflanzenwelt nichts überflüssig zu sein scheint. Seit langem herrschen in der Natur schon „Designgesetze“. Kaum ein natürliches Konzept oder

System, das sich im Lauf der Zeit nicht weiterentwickelt hat. Auch im Produktdesign herrscht die ständige Lust und Notwendigkeit der Veränderung. Gleichwohl in den „evolutionären“ Epochen der Produktgestaltung, sowie in der Erdentstehung entstanden durch die Causa der Veränderung bahnbrechende Entwicklungen statt.

Im vorderen Teil meiner Bachelorthesis werde ich zunächst die Grundsätze der Bionik verdeutlichen und auf die Arbeit der Entdecker und Forscher der bionischen Grundlagenforschung eingehen. Das überaus interessante Gebiet der Planktonforschung, genauer gesagt der Diatomeenforschung findet schnell seinen Platz in diesem Kompendium. Angeführt durch einige Beispiele des

Leichtstrukturbaus nach dem Vorbild der Diatomeen (Kieselalgen) und einigen physikalischen Erläuterungen fällt es leichter, die Vorteile in der „Konstruktion der Dinge“ zu verstehen.

Das herausstechende Gebiet der Diatomeenforschung, welches vor allem für das kreative & konstruktive Produktdesign einen erheblichen Stellenwert erlangen kann, wird auch mit interessanten Beispielen aus der Architektur untermauert. Die Übersetzung des bionischen Leichtstrukturbaus nach dem Vorbild von Diatomeen (Kieselalgen) in die moderne Architektur Frei Ottos wird an der Umsetzung der Dächer der Olympischen Sommerspiele von 1972 deutlich. Die Sinnhaftigkeit und Zukunftsträchtigkeit des bionischen Leichtstrukturbaus an



großindustriellen Produkten wird außerdem anhand des Beispiels von Airbus aus der Realwirtschaft dokumentiert. Zur Durchdringung des Themas werde ich zusätzlich die physikalische Logik gewachsener Strukturen genauer benennen. Die vor allem für das Produktdesign wichtigen Indikationspunkte der „evolutionären Epochenveränderungen lässt sich an Beispielen wie der damals neuartigen Biegeholztechnik für die Jetztzeit überprüfen.

Basis und „Heimathafen“ dieser Bachelorthesis ist für mich das Alfred Wegener Institut in Bremerhaven. Das Team von Dr. Christian Hamm erforscht seit Jahren die Strukturen der Diatomeen. Das dort patentierte ELiSE Verfahren erlaubt die bestmögliche statische Konstruktion von Produkten.

In der spannenden Zeit meiner Bachelorthesis war es für mich faszinierend, zu sehen, wie die Suche nach der bestmöglichen Struktur eine perfekte Konstruktion ermöglicht und wie dadurch von Grund auf innovative Produkte entstehen können. Das "umkrepeln" und neuerdenken vorhandener Konstruktionsmuster ist wichtiger als jemals zuvor. Tradierte Herstellungsverfahren von Produkten werden mit neuartigen Techniken, wie beispielsweise dem 3D Druck obsolet. Produkte, Häuser und Fahrzeuge können heute schon mit diesem Verfahren produziert werden. Teure Materialien und Werkzeugkosten können damit eingespart werden. Durch die einzigartige Möglichkeit der bionischen Leichtbaukonstruktion aus Diatomeen kann erhebliches Gewicht und damit Energie und

Kosten gespart werden. Diese Konstellation aus ökologischer Nachhaltigkeit, Kosteneinsparung und Effizienz ist logisch konsequent. "Diese einzigartigen Techniken und Fähigkeiten ermöglichen uns heute die Umsetzung von bislang nur theoretisch Machbarem."

Als Schlussfolgerung dieser Tatsachen resultiert zu guter Letzt das Bachelor These: "Bionic Lightweight Metro - Neues Verkehrsmittel für Schwellenländer"

# BIONIK + DESIGN

*Systematisches Produktdesign*

Um die Verkettung von Ästhetik, Konstruktion und Gestaltung verstehen zu können, betrachten wir zunächst Design von einer übergeordneten Ebene.

"Das lateinische Wort *designare* bedeutet bezeichnen, kennzeichnen. Im Lexikon finden wir für -Design- auch die Begriffe -Entwurf, Planung, Muster, Modell-. Das Kunstlexikon spricht von der „Mitarbeit des Künstlers bei der Gestaltung einer Form“. Auf einer ebenso kurzen wie praktikablen Nenner hat es die ehemalige Ulmer Hochschule für Gestaltung gebracht. Sie spricht von der „Produktgestaltung im Rahmen einer praktischen Ästhetik. Produkte gibt es auch in der Natur, aber keine Ästhetik. Diese entsteht im Gehirn des Menschen als Reflexion auf das mit Sinnesorganen Wahrgenommene."<sup>1</sup>

Ästhetik gilt also als nur vom Menschen erlebbar. Damit ist also die persönlich empfundene Ästhetik der Dinge streitbar. Allgemein hin ist die geschickte Konstruktion eines Produkts oder Gegenstands allerdings durch Messmethoden physikalisch zu bewerten.

"Die Vergleichbarkeit von Technik und Biologie ergibt sich einfach daraus, dass die „schöpferische Natur“ vor genau denselben Problemen war, ist und sein wird, vor denen im zivilisatorischen Bereich der „schöpferische Designer“ steht: Es gilt das (für die Besetzung einer biologischen Nische, für die Ausfüllung einer Marktnische etc.) am besten geeignete zu finden. Dieses ist stets das System, bei dem die Optimierung des Ganzen Vorrang

hat vor einer Maximierung einzelner Elemente. Es geht also um einen möglichst günstigen Kompromiss“ (Optimalstkompromiss). Aus der Praxis eines solchen gestalterischen Wirkens und des Einbindens natürlicher Vorbilder kann man Problemkreise und Aussagen abstrahieren. Problemkreis Interdisziplinarität: Oft führen erst die Zusammenarbeit der Disziplinen zum Erfolg. Problemkreis Fortschritt und Rückgriff: Eine Entdeckung wirkt sich bisweilen an unerwarteten Enden innovativ aus. Problemkreis Innovation AcUh konzeptionelles Einbinden bereits bekannter Effekte Kann innovativ sein. Darüber hinaus lassen sich Querverbindungen zwischen Natur und Design erkennen: Die Natur bietet die materialtechnischen Möglichkeiten für ein naturnahes Design. Die Natur

<sup>1</sup> *Faszination Bionik: Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006  
Seite 191-199*

<sup>2</sup> *Faszination Bionik: Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006  
Seite 203-207*

ist die Quelle aller Inspirationen und Erkenntnisse des Menschen. Die Natur ist somit ANregungsquelle auch für ein kreatives Design. Auch darüber und über Querverbindungen zwischen Ökologie und Design wurde vielfach nachgedacht. Beispielsweise sagt der Designer G. Horntrich vom Fachbereich Design der FH Köln Folgendes: „Das design ist in ein Spannungsfeld geraten, das es selbst mitgeschaffen hat. An der Überproduktion und dem ständigen Wachstum unserer Gesellschaft hat auch das Design mitgewirkt. Entwicklungen wie diese erfordern heute Konsequenzen auch für den Designer. Ganzheitliches Denken ist gefragt. Die Herausforderung des Gestalters heisst „Systemdesign“. Für die Ausbildung des Designers bedeutet dies eine Verschiebung der Schwerpunkte. Über die klassische

Produktentwicklung hinaus gilt es heute, ganzheitliche Konzepte und Kreisläufe zu gestalten.“<sup>2</sup>

Ganzheitliche Systemanforderungen entstehen oft dort, wo mehrere Konventionen aufeinandertreffen. In Bereichen, wo Flexibilität, Beschleunigung, Druck und stetige Bewegung herrschen, braucht es oft komplexe Konstruktionsmethoden und Bauweisen. In Design und Architektur wird ständig nach den geeignetsten Material für den richtigen Zweck gesucht. In vorangegangenen Beispielen aus Frei Ottos Architektur und dem Mobilitätskonzept von Airbus wird stets nur EINE Eigenschaft der Diatomeen genutzt. In der Flora und Fauna bestimmt jedoch eine Vielzahl von Eigenschaften einen kompletten Organismus.

Auf ein Produkt bezogen bedeutet das ein perfektes Zusammenspiel hervorragender Einzeleigenschaften. Das heißt also: Genau wie in einem perfekt organisierten Organismus sollten sich in einem perfekt funktionierenden Produkt die konstitutiven Eigenschaften bestmöglich ausprägen. Zu diesen Eigenschaften zählen unter anderem die beschriebene Ästhetik und Konstruktion. Je nach Produkt zählen selbstverständlich auch Merkmale wie Funktionalität, Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung, Wirtschaftlichkeit, Formgebung, Farbgebung und so weiter dazu. Die Suche nach einem ganzheitlich gestalteten Produkt ist für uns Produktgestalter also spannender als je zuvor.



# THEORETISCHER **HINTERGRUND**

*Interessante Feststellungen*



## BIONISCHE **URGESCHICHTE**

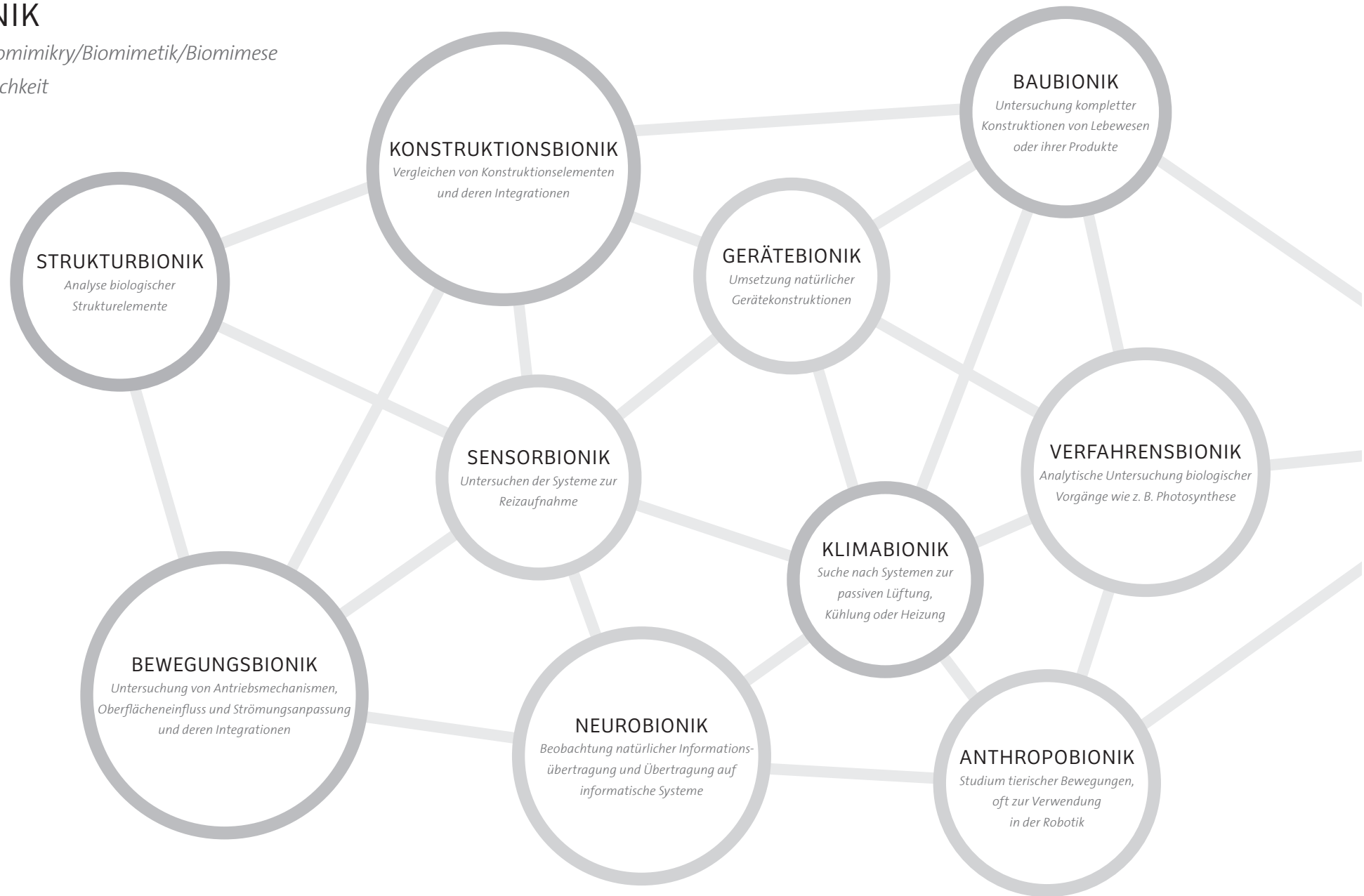
*Wie der Mensch begann Biologie und Technik zu nutzen*

In 4,6 Milliarden Jahren entwickelte unser Planet eine unvergleichliche Flora und Fauna. Im Lauf der Zeit entwickelten sich einzigartige Spezies, die ihren Lebensräumen vollkommen angepasst waren. Den Naturgesetzen trotzend bildeten sich Pflanzen und Lebewesen aus, die sich in den Ebenen, in den Tiefen der Ozeane, und in der Luft zu echten „Habitatexperten“ entfalteten. Oft hat der Mensch vergeblich versucht, die Strategien der Natur zu imitieren, um sie zu seinen Zwecken zu nutzen - auch wenn der „moderne“ Mensch es ungern zugibt. In Sachen Statik, Rohstoffverwertung, Gewichtsminimierung, Energieeffizienz und vielem mehr war und ist uns die Natur Milliarden Jahre voraus. Trotz der Vision Leonardo da Vincis „Kodex über den Vogelflug“ im Jahr 1505 blieben wir jedoch noch Jahrhunderte am Boden. Erst vor etwas mehr als 100 Jahren durch den Flug Otto Lilienthals bekam dieser Menschheitstraum Flügel - das war die Geburtsstunde der Bionik. Von diesem Zeitpunkt an erkannte man die unübertroffenen Strategien und Techniken der Natur an und versuchte sie zu nutzen. Immer mehr verstand die Bionikforschung, diese zielgerichtet umzusetzen. Dabei konnte sie sich nicht zuletzt auf die vom Menschen entwickelte rechnergestützte Technologie stützen, die dabei half, die bionischen Vorbilder zu erfassen. In der Kunst, ganzheitliche Systeme und Produkte für den Menschen zu schaffen, die ökologisch, ökonomisch und nachhaltig sind, ist „Mutter Natur“ Lehrmeisterin und Prüferin zugleich.

# BIONIK

auch Biomimikry/Biomimetik/Biomimese

Begrifflichkeit





## BIOLOGIE & TECHNIK

Themenkarte Bionik

Das Kunstwort BIONIK, im englischen auch als Biomimikry, Biomimetik oder Biomimese benannt, setzt sich aus den Wörtern Biologie und Technik zusammen. Die Geschichte der Bionik ist - wie bereits zuvor in der "bionischen Urgeschichte" beschrieben - seit da Vinci bekannt. Bionik unterteilt sich heute in viele systemische, chemische und physikalische Forschungsbereiche. Bionische Forschungsbereiche können durchaus für sich stehen, denke man nur mal an den bereits oft beschriebenen Lotuseffekt. Oft sind die Zusammenhänge der verschiedenen Disziplinen allerdings komplexer und greifen ineinander über. Das passiert genauso häufig wie in der Forschung in vielen tierischen und pflanzlichen

Organismen. Sie können dabei durch entsprechend benötigte Kohärenz interagieren.

"Biologisches Design bedeutet organismische Formgestaltung im Kräftefeld unterschiedlicher Anforderungen"<sup>1</sup>.

Manche der für sich allein stehenden Techniken und Konstruktionen der Flora und Fauna sind für unsere Produkte heute von herausstechender Relevanz. Eine dieser besonderen Konstruktionsmethoden erforschte am Ende des 18. Jahrhunderts der Jenaer Wissenschaftler Ernst Haeckel.

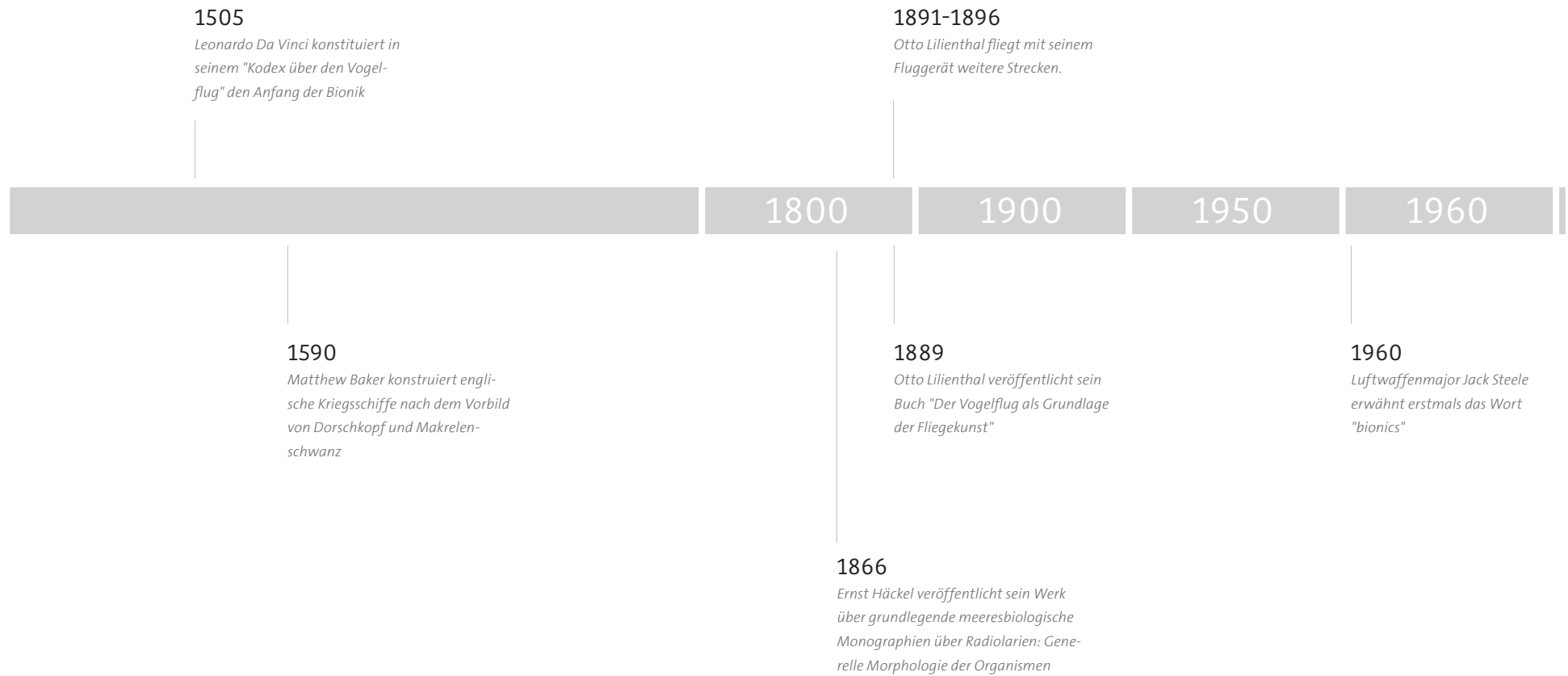
<sup>1</sup> Faszination Bionik Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006 (Seite 199)

### EVOLUTIONSBIONIK

Übertragung der Evolutionsverfahren  
auf Forschung (experimentelle Versuchs-  
Irrtums-Entwicklung)

# MEILENSTEINE

*in der Konstruktionsbionik*



**1967**

*Sir Buckminster Fuller präsentiert den Pavillon der USA auf der Expo 67 in Montreal. In Form einer geodätischen Kuppel - 76m hoch & 62m lang*

**1968-1972**

*Frei Otto verwirklicht mit Günter Behnisch die Seilnetzdächer der Olympischen Sommerspiele*

**2008**

*IMARE aus Bremerhaven entwickelt Ultraleichte Autofelge. Als Vorlage dient eine Diatomee (Kieselalge)*

**2012**

*Airbus präsentiert "Airplane Concept 2050". Maximale Gewichtsminimierung durch bionische Soft kill option.*

1970

1980

1990

2000

2010

2020

**1964**

*Ingo Rechenberg hält seinen als Meilenstein in der Bionik bekannten Vortrag "Kybernetische Lösungsansteuerung einer experimentellen Forschungsaufgabe"*

**1994**

*Ingo Rechenberg veröffentlicht das Werk Evolutionsstrategie '94 Band 1 von Werkstatt Bionik und Evolutionstechnik am Frommann-Holzboog Verlag*

**2006**

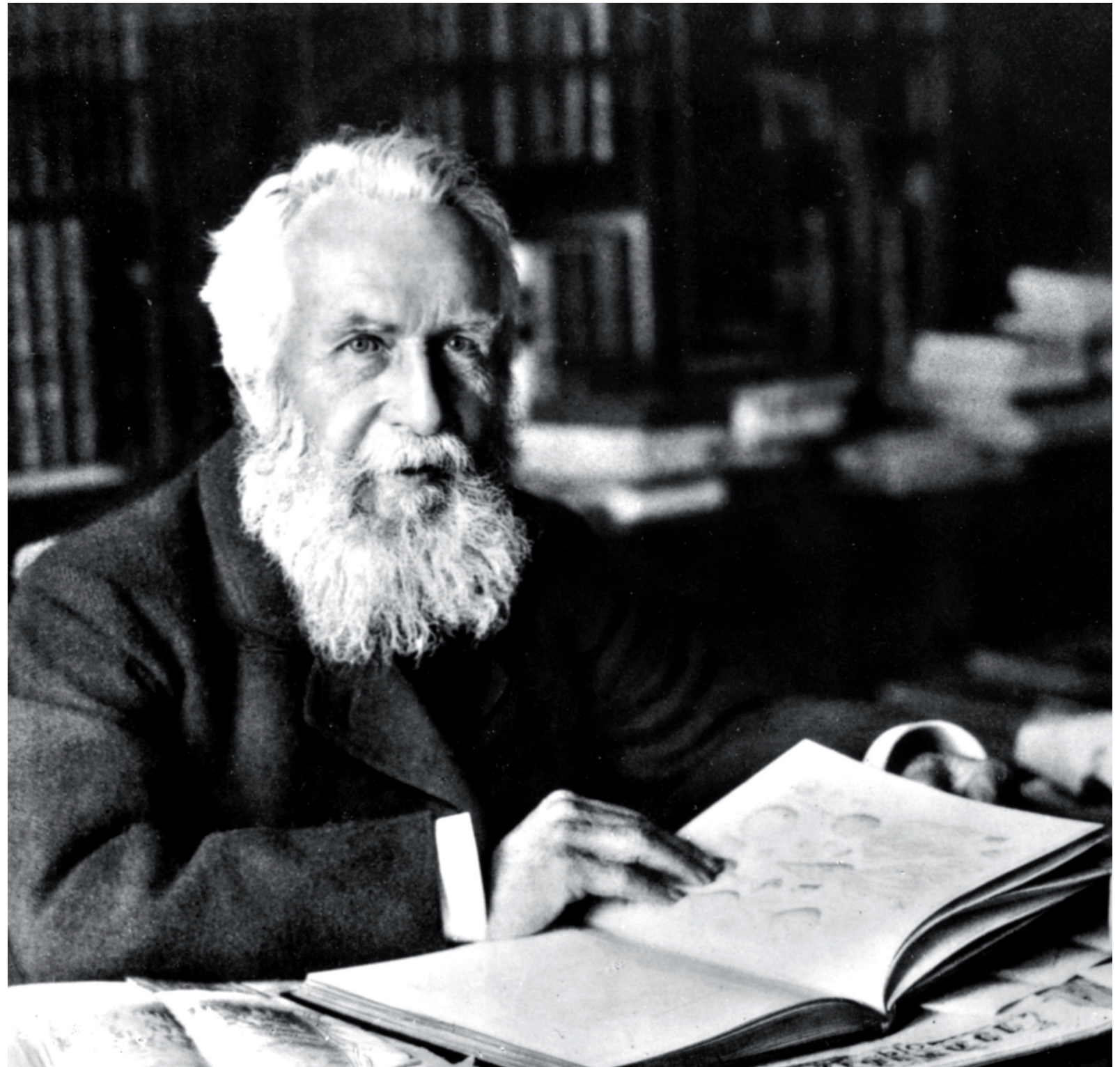
*Claus Mattheck veröffentlicht sein Werk "Verborgene Gestaltungsgesetze der Natur: Optimalformen ohne Computer" am Karlsruher Institut für Technologie*

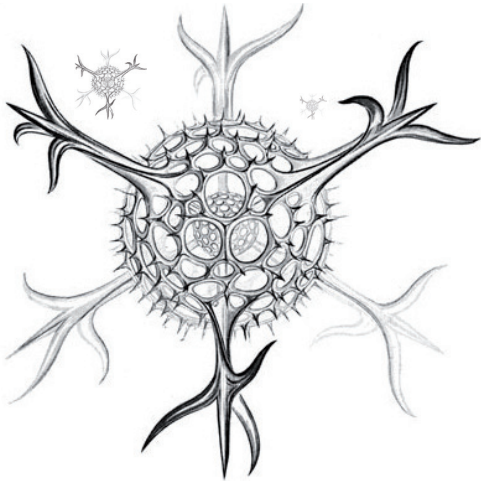
**CA. 2004**

*Entwicklung der CAO Methode (Computer Aided Optimization) und des SKO Verfahrens (Soft kill option)*

## DER VORDENKER

*In Forschung & Theorie*





## ERNST HAECKEL

*Pionier in der Evolutionsbionik*

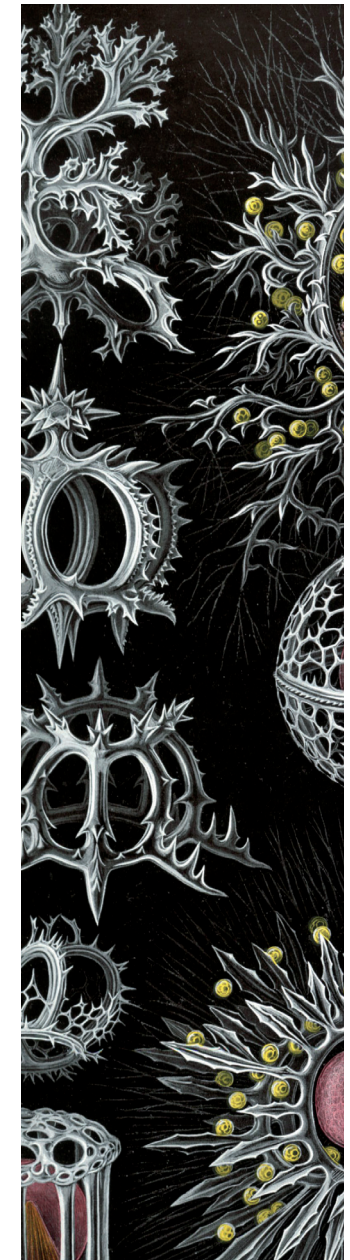
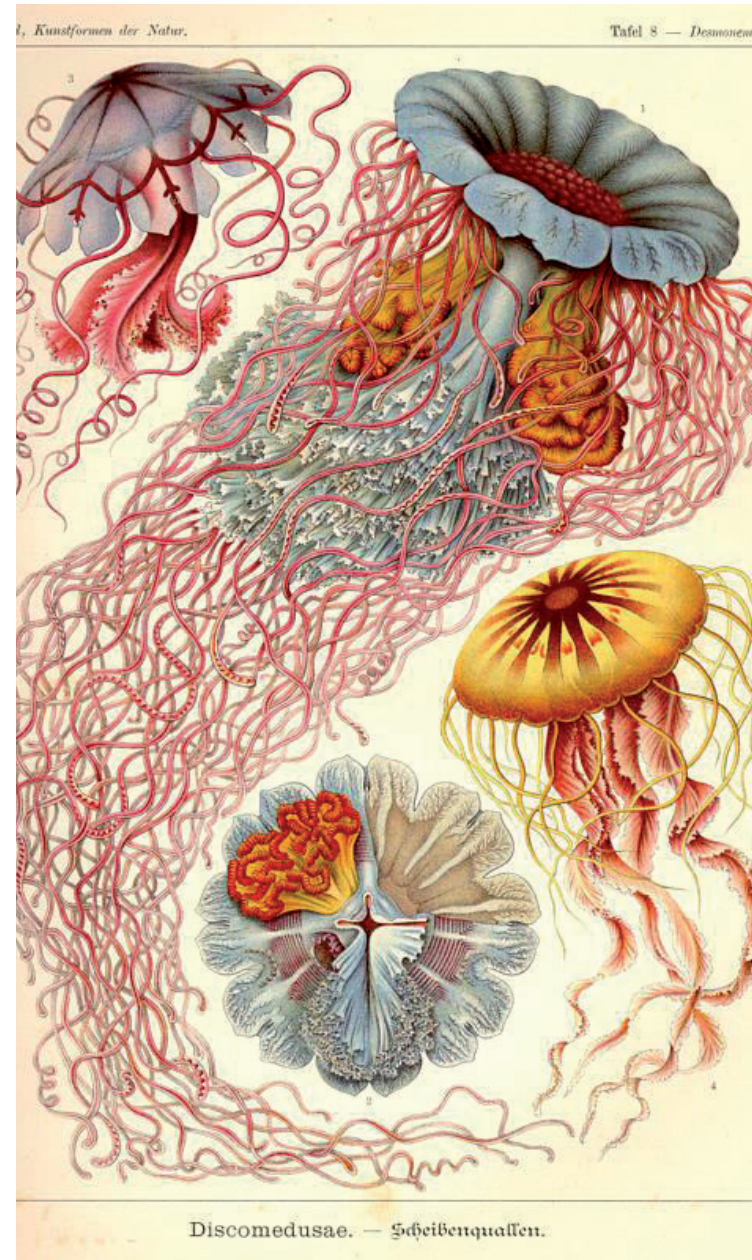
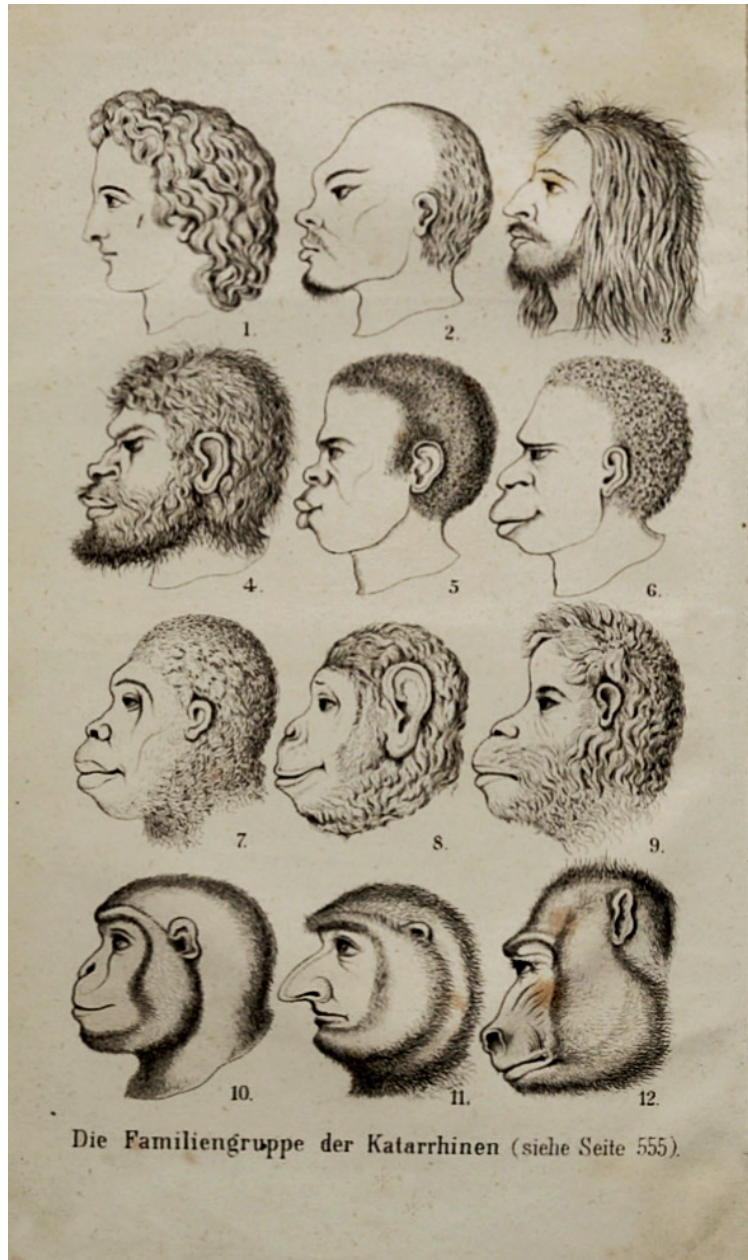
Ein Vordenker der Bionik war der Potsdamer Arzt und Gelehrte Ernst Heinrich Philipp August Haeckel. Er prägte einige heute geläufige Begriffe der Biologie wie Stamm oder Ökologie.

Ernst Haeckel war derjenige, der die Arbeiten von Charles Darwin in Deutschland bekannt machte und zu einer speziellen Abstammungslehre ausbaute. Er verhalf also der Forschung der Evolutionsbionik zu einem ersten Streckensieg. Mit der Publikation: "Natürliche Schöpfungsgeschichte" (von 1868) unternahm Haeckel den ersten Versuch, seine in der Generellen Morphologie entwickelten Gedanken auch für Laien verständlich zusammenzufassen.<sup>1</sup>

Erst durch ihn wurde der Weg wirklich freigemacht von einer unhaltbaren christlichen Schöpfungsgeschichte zur wissenschaftlich fundierten biologischen Entstehungsgeschichte. Durch seine breite akribische wissenschaftliche Feldforschung gelang es ihm, den tatsächlichen Bezug zwischen Evolution und Forschung herzustellen. Aus diesem Grund kann man ihn mit Recht als Wegbereiter der forschenden Evolutionsbionik betrachten.

---

<sup>1</sup> Frei Otto Das Gesamtwerk. Leicht Bauen - Natürlich Gestalten  
Nerdinger. Birkhäuser Verlag 2005  
Seite 17-18





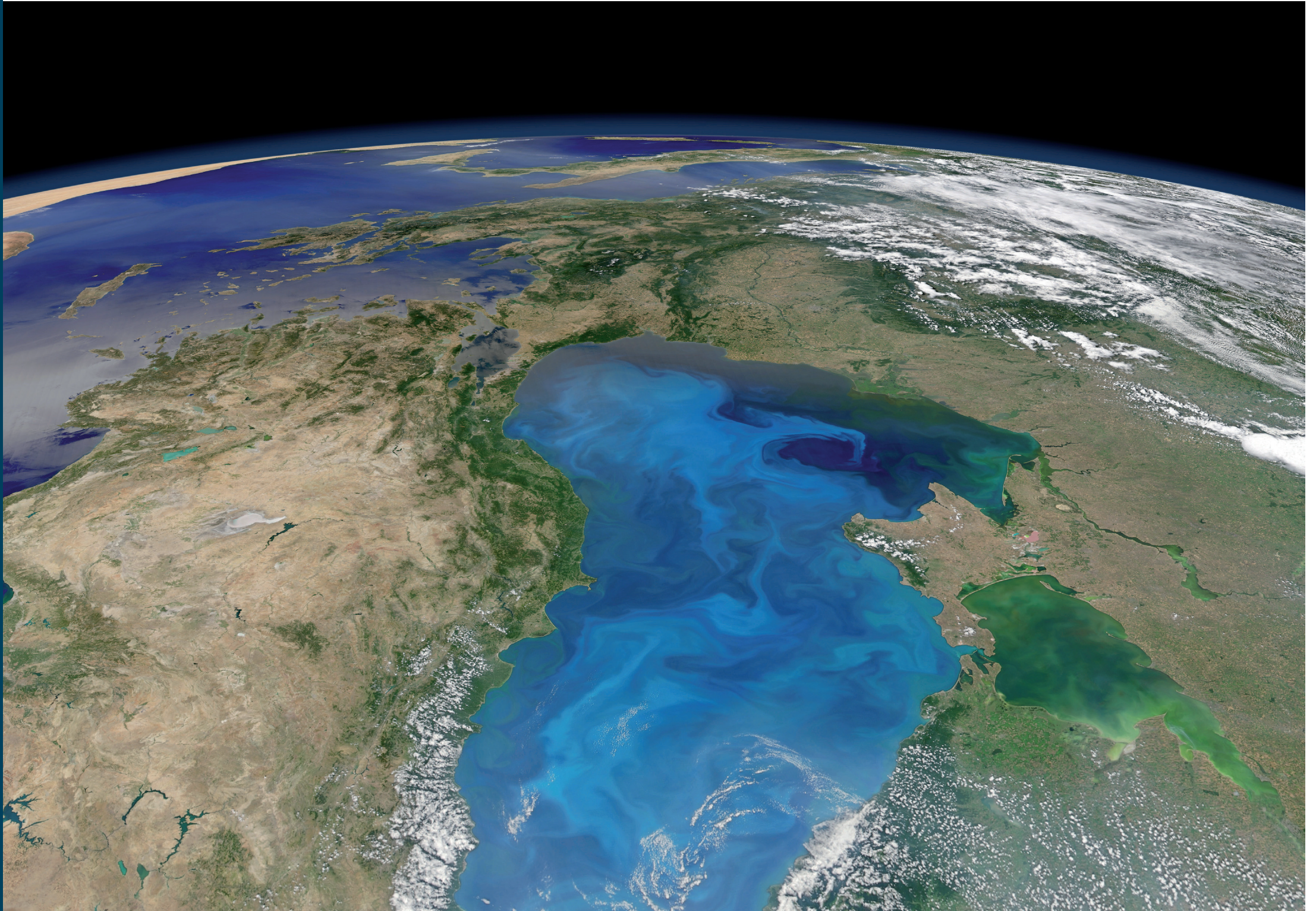
## ERNST HAECKEL

*Pionier auf vielen Gebieten*

Neben seinen Forschungen nach dem Stammbaum des Menschen begründeten vor allem grundlegende meeresbiologische Monographien über Radiolarien (1862, 1887), Kalkschwämme (1872), Medusen (1879-1880) und Staatsquallen (1869, 1888) seinen Ruf in der Fachwelt.

Durch seine Verbundenheit zur Malerei sind uns zahlreiche seiner Aufzeichnungen erhalten geblieben. Darin bezeichnet Haeckel bereits über 3.500 aufgezeichnete Arten Diatomeen (Kieselalgen). Dank dieser Grundlagenforschung sind der Wissenschaft bis zum heutigen Tag bereits über 120.000 verschiedene Arten bekannt. Man vermutet weit über eine

Million verschiedener Kieselalgen, die alle unvergleichliche Konstruktionen und Eigenschaften aufweisen. Die Wichtigkeit dieser systematischen Nomenklatur Diatomeen wird sich in späteren Kapiteln dieses Kompendiums offenbaren. An Haeckels Beispiel ist gut zu beobachten, wie forschender Eifer und Pioniergeist die heute bekannten Tatsachen der Evolution enthüllten. Die Bionik baut immer auf dem Fundament der Forschung auf und ist untrennbar mit ihr verbunden. Ohne die großartige Leistung von Ernst Haeckel wäre die Bionik heute nicht so weit wie sie ist.





## DIE RESSOURCE **PLANKTON**

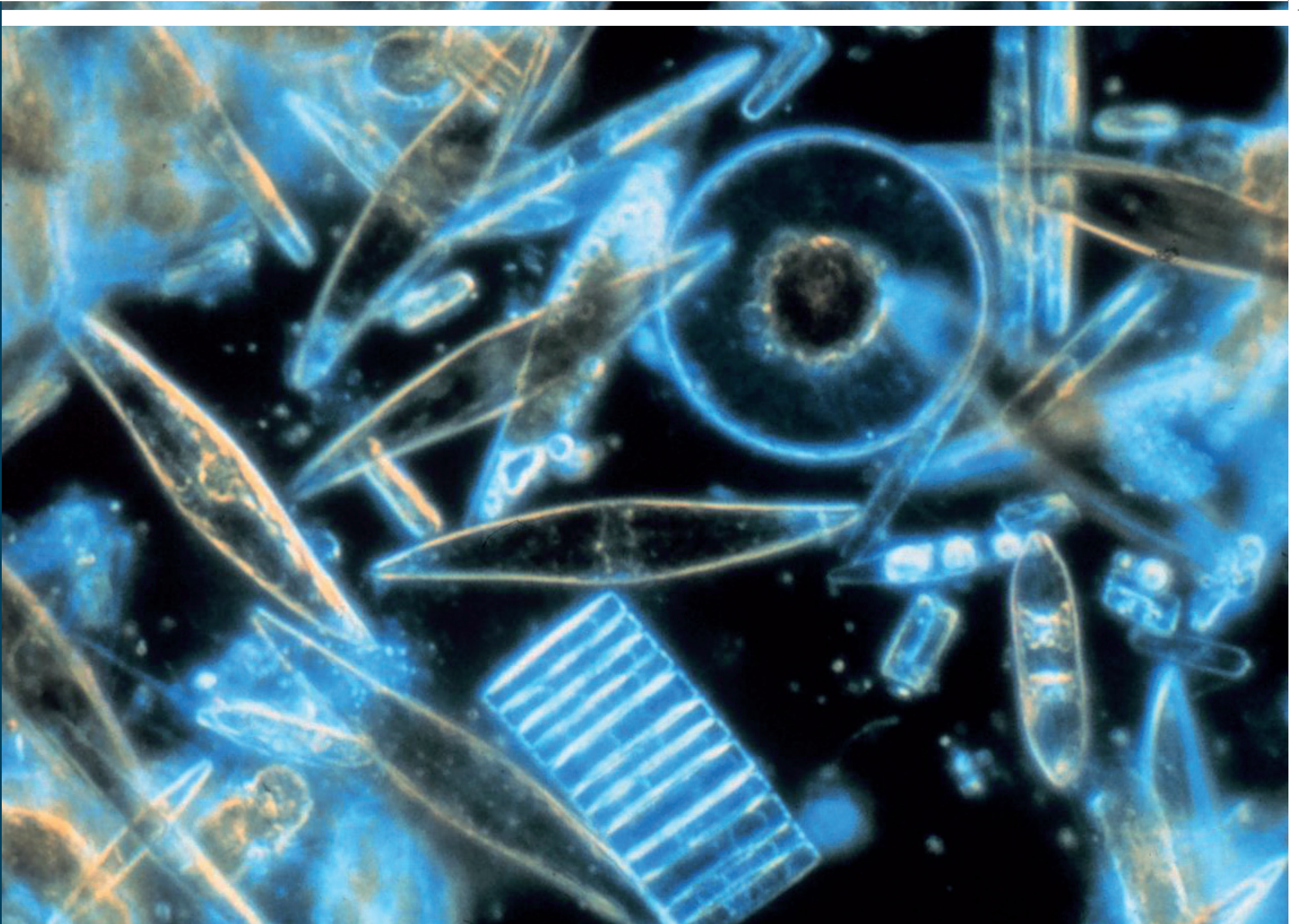
*Was macht Plankton so bedeutsam?*

Auf der Erde gibt es rund 1,4 Milliarden Kubikkilometer Wasser, das sich auf die fünf Ozeane verteilt. Einen gigantischen Anteil der Biomasse unserer Süßwasser- und Meeres-Ökosysteme bildet das Plankton. Man unterscheidet Bakterioplankton (bakterielles Plankton), Zooplankton (tierisches Plankton) und Phytoplankton (pflanzliches Plankton)<sup>1</sup>.

Vor allem das pflanzliche Plankton produziert durch Photosynthese etwa 50 Prozent des Atemsauerstoffs der Erde. Viele Fischarten und Säugetierarten sind auf diese gigantischen Nahrungsmittelressourcen angewiesen. Die Verteilung und Population des Planktons weltweit ist komplex, und viele direkte und indirekte Auswirkungen auf das Ökosystem hängen davon ab. Eine tragende Rolle in diesem "Miniatürkosmos" spielen äußere Umweltbedingungen in dem jeweiligen Wasserkörper. Innerhalb dieses Kreislaufs gibt es Einflüsse, die die Entwicklung bestimmter Planktonarten für die Wissenschaft besonders interessant machen. So entwickelten im Milliarden Jahre andauernden "Wettrüsten" die räuberischen Radiolarien ein besonders hartes Beißwerkzeug. Im Gegenzug dazu entwickelten die Diatomeen extrem robuste Exoskelette, um sich vor den Kauwerkzeugen ihrer Feinde zu schützen.

---

<sup>1</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Plankton> (Version vom 18.11.2012)



## IN DER GESAMTEN **GESTALT**

*Was macht Diatomeen und Radiolarien so einzigartig?*

Die im Plankton befindlichen Diatomeen- und Radiolarienarten bilden in Konstruktion und Ästhetik unvergleichliche Exoskelette aus. Elefanten auf einem Schreibblock Platz nähmen."<sup>2</sup>

"Ein Exoskelett ist eine Stützstruktur für einen Organismus, das eine stabile äußere Hülle um diesen bildet"<sup>1</sup>. Die Individuell einzigartige Gesamtgestalt jeder dieser Arten verkörpert eine extrem hohe Druckbelastbarkeit. Aufgrund dieser Eigenart zieht Dr. Christian Hamm folgenden überzeugenden Vergleich:

"Bis zu 700 Tonnen Gewicht pro Quadratmeter steckt ein Planktonzweig weg! Da ist etwa der Druck, der entstünde, wenn sieben Elefanten

Zudem hat jede Form weitere physikalische Einzelstärken.

Das bedeutet, dass der Aufbau jeder einzelnen Form eine ganz besondere Stärke gegenüber einer oder mehreren individuellen Zug- oder Druckbelastungen aufweist.

Der erste enorme Vorteil in der Leichtbaustrukturweise der Diatomeen und Radiolarien besteht also in der Konstruktion der Gesamtgestalt.

Dieser von uns nutzbare Vorteil dient den Diatomeen als beste Lebensversicherung, um nicht von Fressfeinden "geknackt" zu werden.

<sup>1</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Exoskelett> (Version vom 18.11.2012)

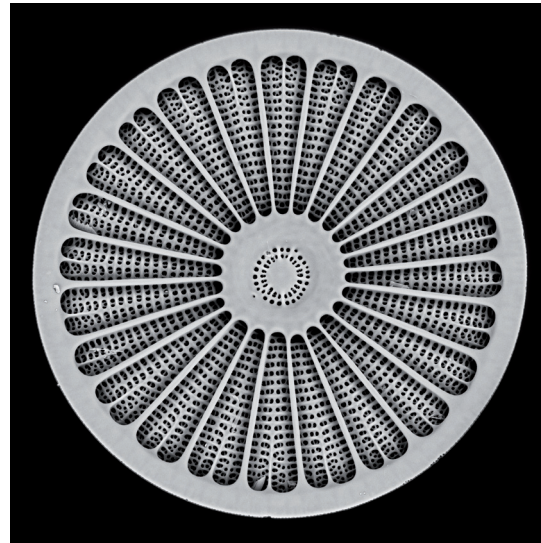
<sup>2</sup> *Faszination Bionik*  
Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006

120.000

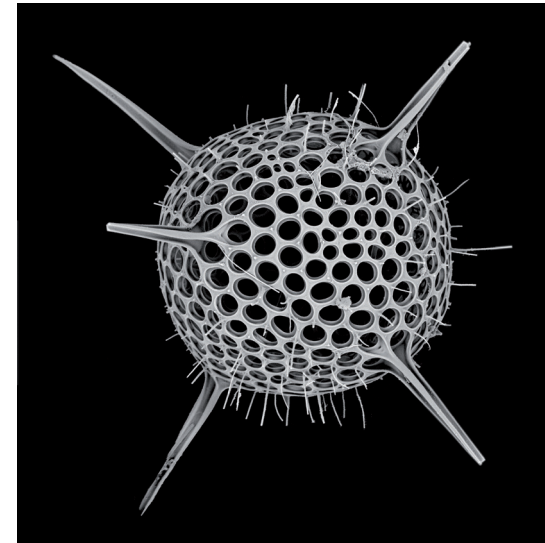
*Verschiedene Arten Diatomeen  
und Radiolarien*



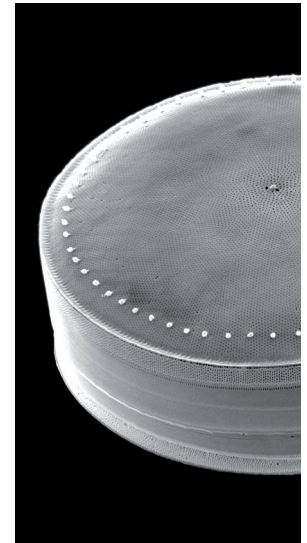
*Trinacria*



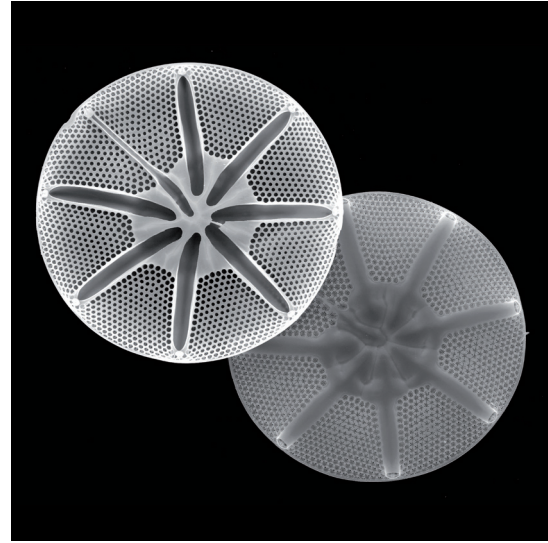
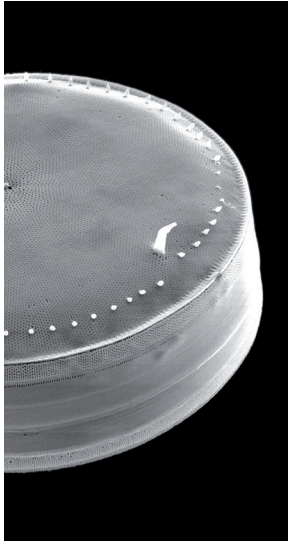
*Arachnidiscus*



*Hexachontium*



*Thalassiosira*



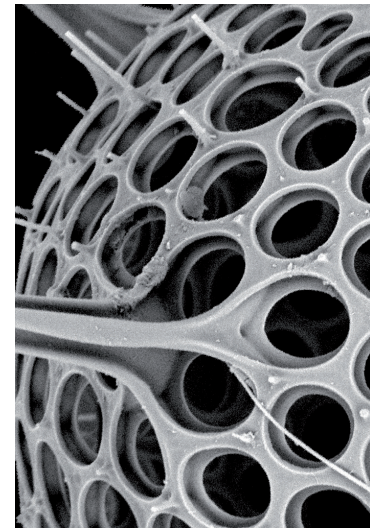
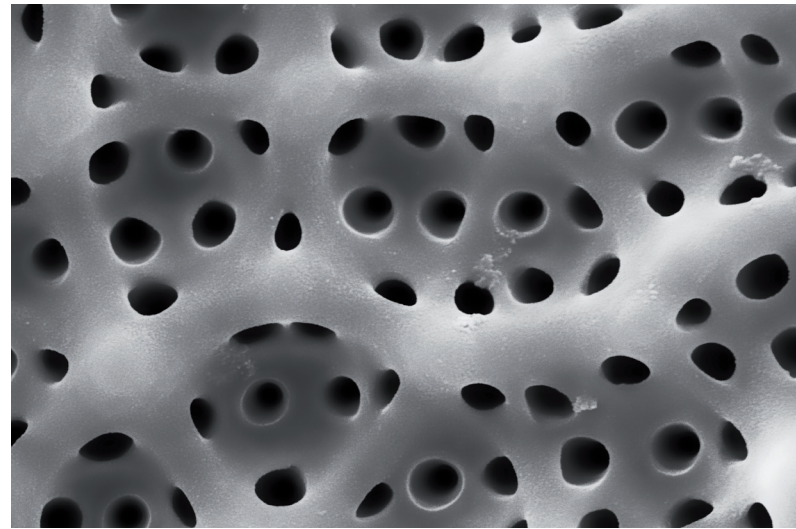
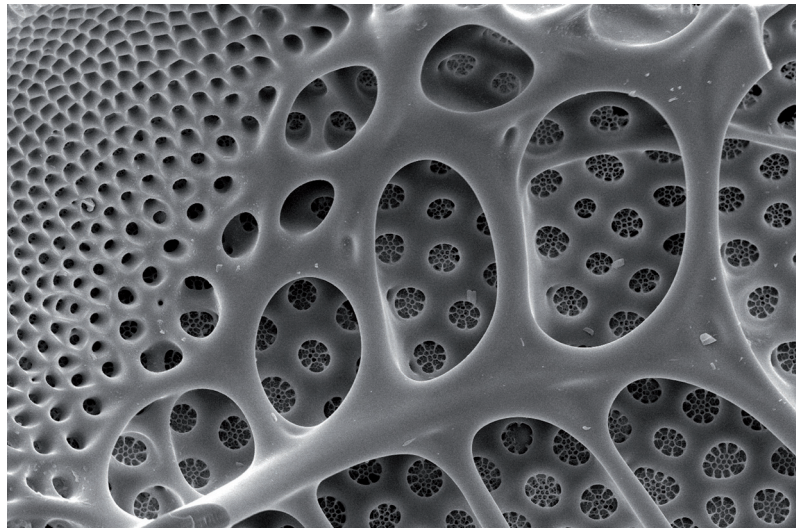
*Asteromphalus*



*Triceratium*

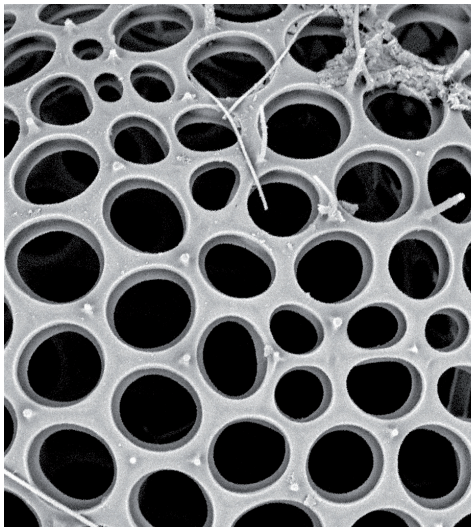


*Flaglariopsis*



## IN STRUKTUR & KONSTRUKTION

*Weshalb entwickelte sich eine derart effektive Leichtbauweise?*



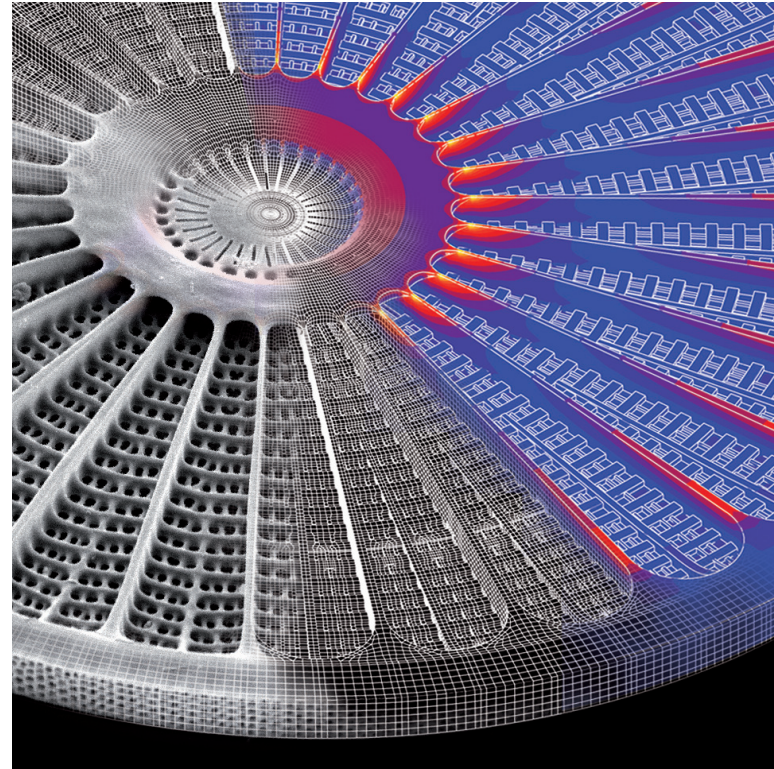
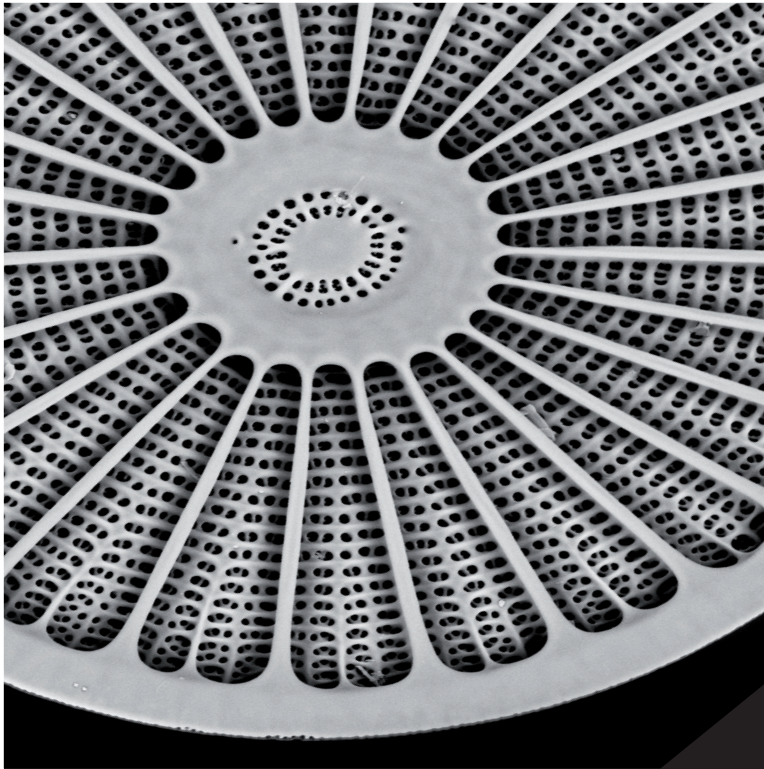
Neben der Gesamtgestalt ist die hohe Lichtdurchlässigkeit und das geringe Gesamtgewicht der Diatomeenstrukturen aus Siliziumoxyd auffällig. Um im Dunkeln der Tiefsee möglichst unerkant zu "schweben", tarnen sich Diatomeen durch Transparenz. Wie auch bei der Gesamtgestalt ist jede Struktur bestmöglich auf Zug- und Druckbelastung ausgelegt. Bei geringstem Materialeinsatz wird somit die höchstmögliche Druckbelastbarkeit erreicht. Die glasartigen Filigrangerüste ähneln einem technischen Verbundwerkstoff: winzige, superharte Kieselsäurekugeln sind in eine organische Matrix aus Protein eingebettet<sup>1</sup>.

Bei Konstruktionen, die große Spannweiten überbrücken, die große Höhen erreichen oder die sich bewegen bzw. die bewegt werden, ist die Reduktion des Eigengewichtes ökonomischer Zwang, häufig genug auch Voraussetzung für die Realisierbarkeit selbst.

Der zweite enorme Vorteil in der Leichtbaustrukturweise der Diatomeen und Radiolarien besteht also darin, dass die Konstruktion der Struktur auf ein "Fettfreies Maximalminimum" optimiert ist.

<sup>1</sup> *Faszination Bionik*  
Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006

<sup>2</sup> *Aus einem PDF der Uni Stuttgart von Werner Sobek*  
[www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf](http://www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf)





## PHYSIKALISCHE LOGIK

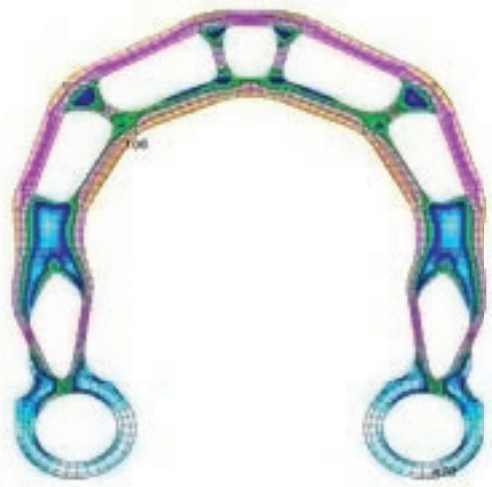
*Wirkungsprinzip bionischer Leichtbaukonstruktion*

Eine wichtige Komponente in der Morphologie der Exoskelette von Diatomeen und Radiolarien liegt in ihrer besonders entwickelten Anatomie. Häufige Stegverbindungen in zweidimensionaler, sowie dreidimensionaler Richtung minimieren die in der Konstruktionsphysik gefürchteten Kerbspannungen. Bestandteile zurückbleiben. Ein ähnliches Verfahren findet bereits in der Konstruktionsbionik seine Verwendung. Auf der linken Seite sieht man wie diese Struktur direkte Anwendung für eine Autofelge bekommt.

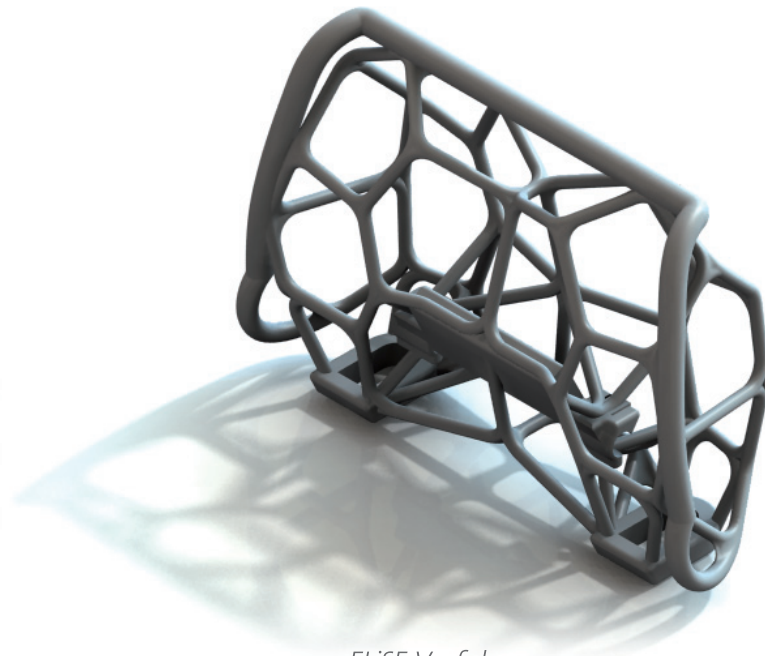
Um möglichst Spannungsoptimierte Strukturen zu generieren, bilden sich nur an den Verbindungen der Stege substanzielle Ablagerungen.

Umgekehrt kann man davon sprechen, das bei einer überspannung einer Fläche alles unwichtige Material "abgemagert" wird und nur noch essentielle

---



*CAO Methode*



*ELiSE Verfahren*



*SKO Methode*

## KONSEQUENTE **GEWICHTSMINIMISIERUNG**

*Wo ist der Bezug zu den vom Menschen geprägten Konstruktionslösungen?*

Konsequenter Leichtbau bedingt deutliche Modifikationen in den tradierten Strukturen des Entwurfsprozesses: Die Festlegungen der Systemgeometrie, die Ausformung und die Proportionierung der tragenden Strukturen sowie deren Materialbelegung haben primär der Forderung nach Gewichtersparnis und erst sekundär denjenigen Forderungen zu folgen, die sich beispielsweise aus architektonischen Überlegungen, aus Überlegungen zur Herstellungstechnik und aus Kostenüberlegungen ergeben. Darüber hinaus lässt sich der Entwurf gewichtsminimaler Tragsysteme nicht auf der Basis einer Addition beziehungsweise gekonnter Kombination von Grundbausteinen wie Stützen, Balken, Bögen, Platten, Scheiben etcetera – allgemein gesagt also geometrisch determinierter Bauteile – gestalten. Vielmehr entwirft man im Leichtbau räumliche Kräftepfade, also ausschließlich statisch konditionierte Strukturen, die man anschließend mit geeigneten Werkstoffen belegt. Entwerfen als Projektion eines im Geist auf unterschiedlichste Weise geschaffenen, gesehenen Bildes – zusammengesetzt aus Bildern, Worten und Empfindungen, aus teilweise nichtverbaler, nichtvisueller oder nichtakustischer Information – wird im Leichtbau durch Einflechten der erstrangigen Forderung nach Gewichtsminimalität um einen weiteren, physikalisch fassbaren Komplexitätsgrad gesteigert<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Aus einem PDF der Uni Stuttgart von Werner Sobek  
[www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf](http://www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf)



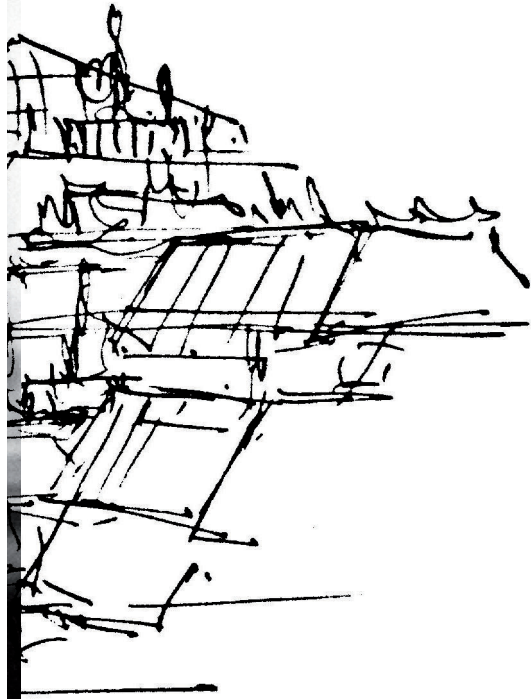
# PRAXIS **BEISPIELE**

*Ähnlichkeiten im Ansatz*

# DER UMSETZER

*Bionischer Theorie & Praxis*





## FREI OTTO

*Pionier in der biomorphen Architektur*

Als konsequenter Umsetzer der jene gestaltbildenden Prozesse, die unter Gewichtsminimierung in der organischen vorgegebenen Randbedingungen und Architektur gilt Frei Otto. Neben der den herrschenden Naturgesetzen im erfolgreichen Übertragung zahlreicher Experiment zu sichtbaren Formen und biologischer Leitbilder auf seine Konstruktionen führen. Da sie ohne gestalterische Arbeit suchte Frei Otto Zutun des Menschen ablaufen, werden vor allem in theoretischer Vorarbeit sie auch Selbstbildungsprozesse genannt. Tatsächlich kann man also sagen: Frei Im Mittelpunkt stehen für Frei Otto die Otto war einer der ersten Bioniker; physikalischen Selbstbildungsprozesse, er setzte Biologie in Technik um. Als nicht die biologischen, was die Prozesse Wissenschaftler hat er sich Zeit seines und Formen der lebenden Natur jedoch Lebens mit den gestaltbildenden keineswegs ausschließt. Auch dort Prozessen der Natur befasst. Als Architekt sind viele gestaltbildende Prozesse hat er zahlreiche Konstruktionen unter physikalischer Art und keineswegs Verwendung dieser Prozesse entwickelt ausschließlich genetisch gesteuert. Der und gebaut, jene Konstruktionen, die Mensch kann sich diese natürlichen mit besonderer Klarheit die Prozesse Prozesse zu Eigen machen, sie anregen ihrer Entstehung zeigen. Gemeint sind und sie nutzen, um eigene technische Konstruktionen zu erzeugen <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Frei Otto *Das Gesamtwerk. Leicht Bauen - Natürlich Gestalten*  
Nerdinger, Birkhäuser Verlag 2005  
Seite 17-18

# OLYMPIAPARK MÜNCHEN

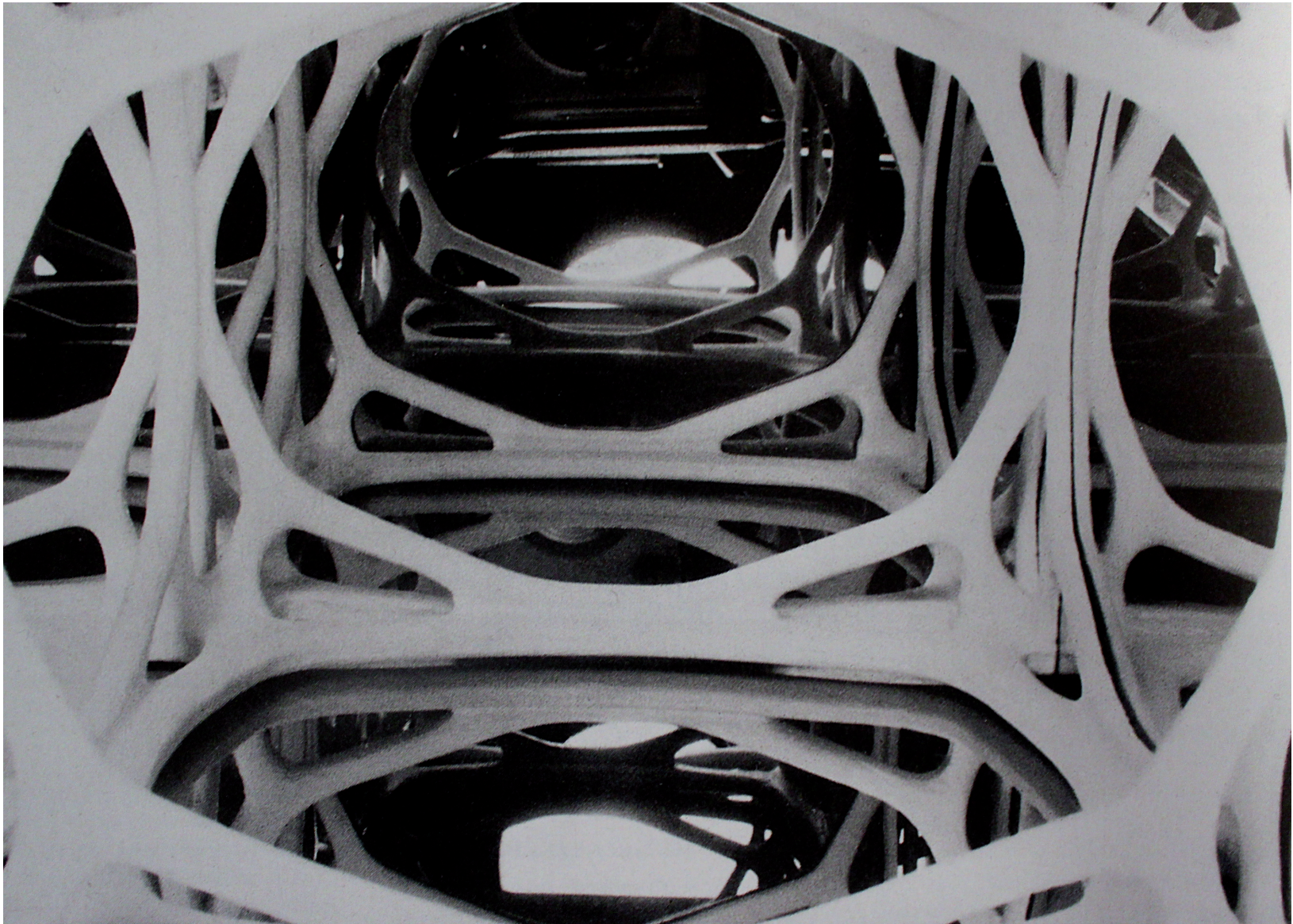
*XX. Olympische Sommerspiele 1972*

*Architekt Frei Otto*









## MAXIMAL MEHR

*Maximal mehr Fläche bei weniger Masse heisst: maximal weniger Material*

Am Beispiel der Olympiadächer von Frei Otto offenbart sich eine bestmögliche flächenmäßige Überspannung nach dem Vorbild der Natur, ohne dass dabei Material verschwendet wird. Frei Ottos zentrale Frage lautet: Wie kann die gebaute Umwelt durch leichte und flexible Bauweisen besser an die Bedürfnisse und Interessen ihrer Bewohner angepasst werden? Wenn man sich überhaupt ein echtes organhaftes Bauen vorstellen kann, so ist es das anpassungsfähige Bauen. Welche äußere Form ein Gebäude hat, ist weniger von Bedeutung.

Es wird deutlich, wie sehr das Ziel Materialeinsparung durch die Bionik erreicht wird. Frei Otto begann damit,

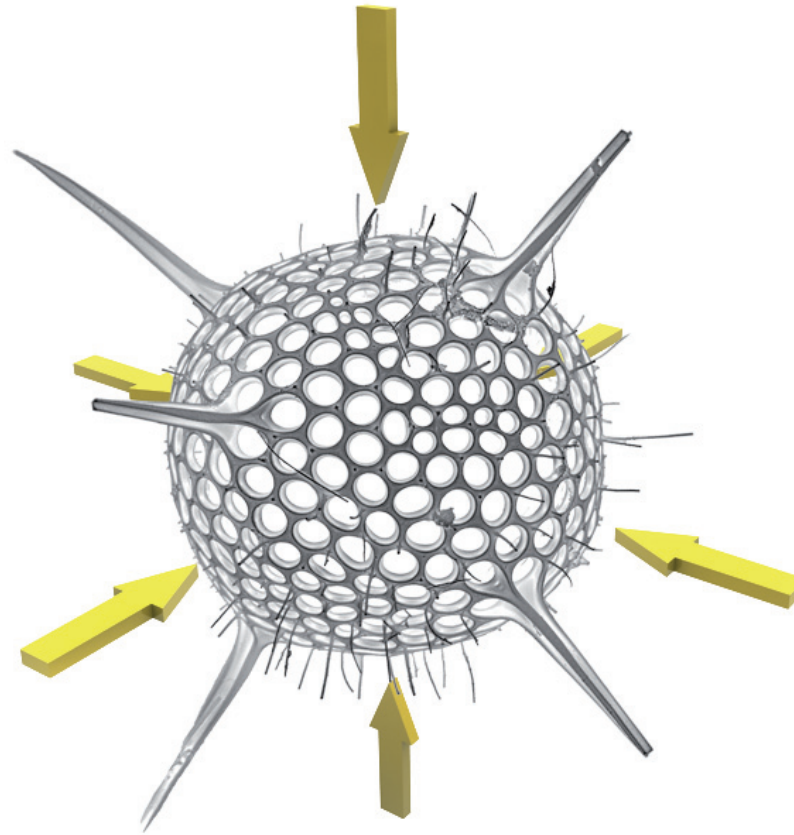
die forschenden Zweige der Bionik als gleichwertige Entwickler in die gemeinsame Sache zu integrieren. Zu dem architektonischen Anspruch, viel Fläche mit wenig Materialaufwand zu gestalten - also einer oberflächlichen Herangehensweise - kam dann die strukturelle Konstruktionsforschung und Umsetzung. Die Abbildung auf der linken Hälfte zeigt das "Raumtragwerk" von Frei Otto. Er versuchte mit dieser Struktur, die Statik eines Funkmastes zu verbessern. Er erkannte die Leichtigkeit bionischer Strukturen und die zusätzliche Druckbelastbarkeit.

---

<sup>1</sup> Frei Otto Das Gesamtwerk. Leicht Bauen - Natürlich Gestalten  
Nerdinger. Birkhäuser Verlag 2005 | Seite 57

# BELASTBARKEIT

*Charakteristika von Diatomeen  
und Radiolarien*



$$p = \frac{F}{A}$$

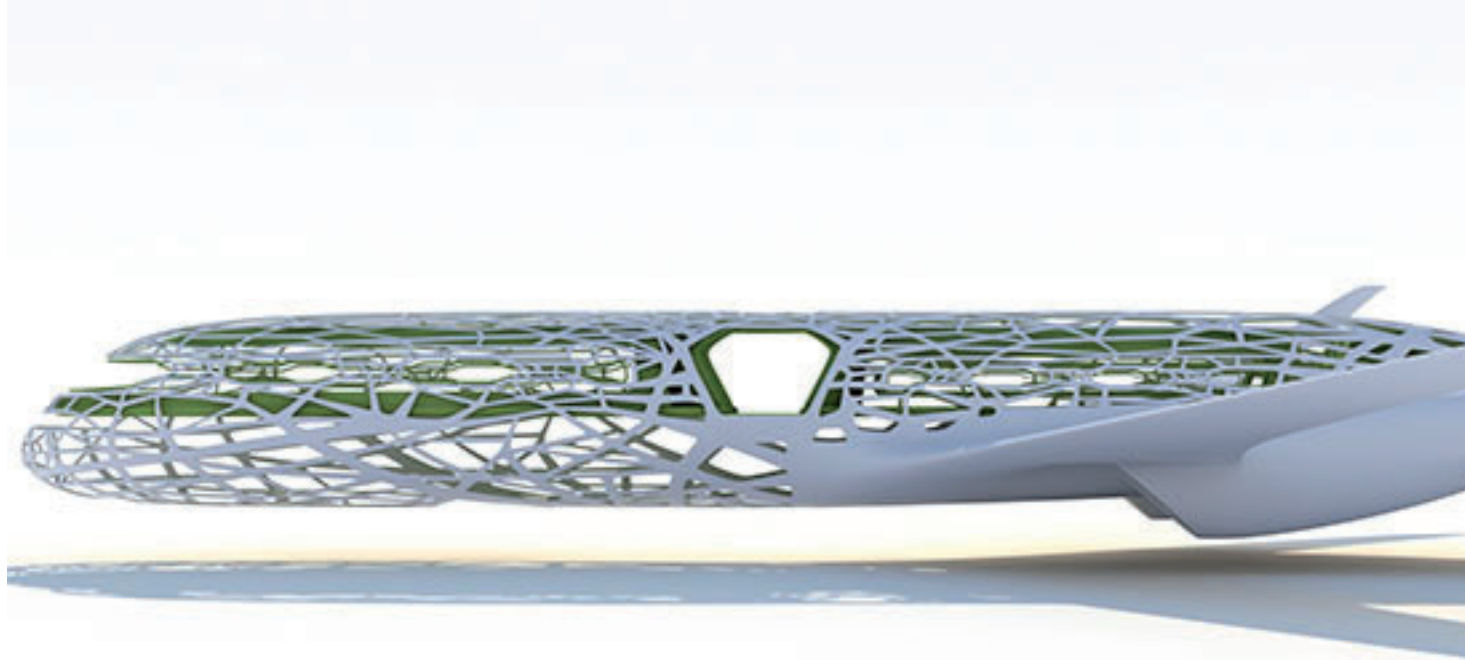
*Druck=Kraft pro Fläche*

## MAXIMALE BELASTBARKEIT

*Warum weniger wirklich manchmal mehr ist*

Die architektonische Projekte Frei Ottos zeichnen sich vor allem durch Druckbelastbarkeit aus, eine Eigenschaft, die auch bei Diatomeen und Radiolarien von besonderem Stellenwert sind. Vor allem in Bauten, wo mit möglichst wenig Material möglichst viel Fläche überspannt werden sollte, kam unter anderem dieses herausragende Attribut von Diatomeen zum Einsatz. Druck gleich Kraft pro Fläche - das ist die einfache physikalische Gleichung der Natur, denen sich Frei Ottos morphologische Dachkonstruktionen unterwerfen müssen. Die simple Reduktion auf die Kernbotschaft seiner Werke spiegelt vor allem die Suche nach einzigartigem physikalischen Eigenschaften der Diatomeen wider. Die Nachahmung der Strukturen von Diatomeen und Radiolarien Skelette nutzt also deren Fähigkeit, enormem Druck Stand halten zu können. Letztendlich nutzte Frei Otto diese Eigenschaft in vielen seiner Werke. Als Wegbereiter und Umsetzer der gedachten Theorie ist er damit ein wichtiges Bindeglied in der Bionik geworden.

---



## MAXIMAL WENIGER

*Maximal weniger Gewicht bedeutet maximal weniger Energieverbrauch*

Als Vorreiter in der Nutzung bionischer Vorbilder kann man Airbus bezeichnen. In Projekten für die Zukunft wird hier die Wirtschaftlichkeit und Ressourcenschonung früh im Designprozess mit eingeplant. Mit einer gezielten "Abmagerung" (auch softkilloption genannt), wird die Konstruktion auf ein "Mindestmuss" reduziert. Airbus zeigt damit deutlich die Signifikanz, Bionik auch in Großprodukten zu etablieren. Die globale Wettbewerbsfähigkeit Europas wird künftig entscheidend von ihrem ökotechnologischen Entwicklungsstand abhängen. Daher erscheint eine rasche und konsequente Anwendung naturverträglicher Technologien als Voraussetzung für globale Marktführerschaft. Zu den zukunftssträchigsten Technologiefeldern zählt die Bionik. Das Know-how dieser vergleichsweise jungen Querschnittstechnologie ist exklusiv und einzigartig<sup>1</sup>.

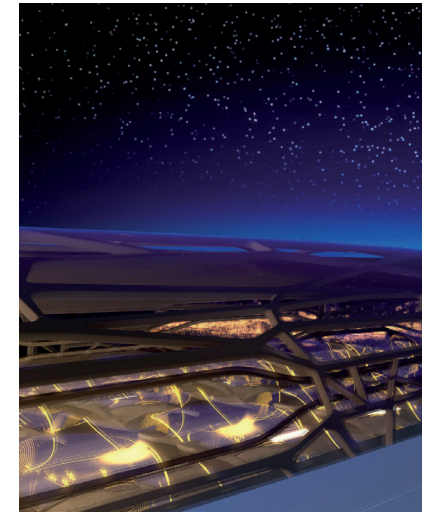
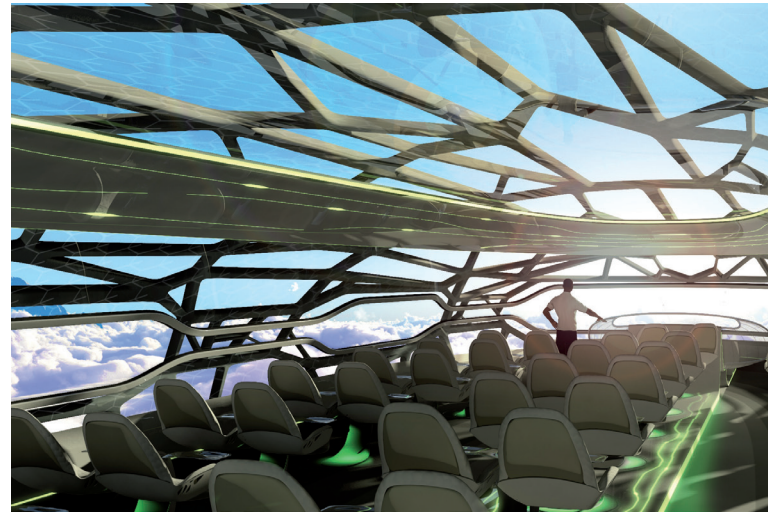
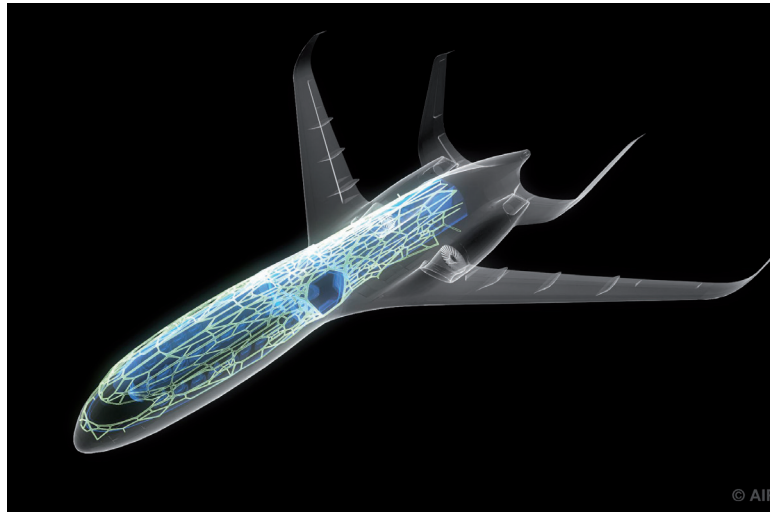
Airbus hat damit den Beweis erbracht, dass der grundsätzliche Ansatz von der Konstruktion bis hin zur Fertigung eine ganzheitliche Betrachtung benötigt. Gerade bei großen Objekten, die ständig in Bewegung sind, ist die Gewichtsminimierung durch die bionische "softkilloption" hervorragend geeignet. Durch den Wegfall überflüssiger Teile wird die Druckbelastbarkeit des gesamten Objekts nicht beeinflusst.

<sup>1</sup> Faszination Bionik: Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006  
Seite 26 erster Absatz

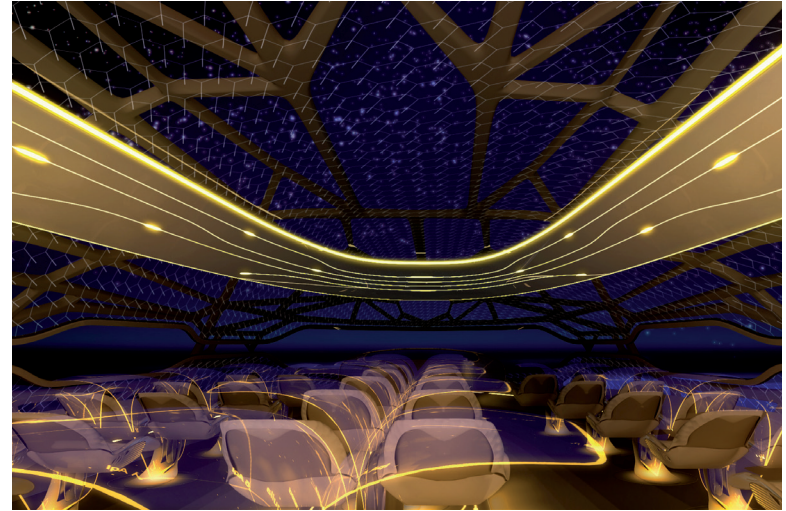
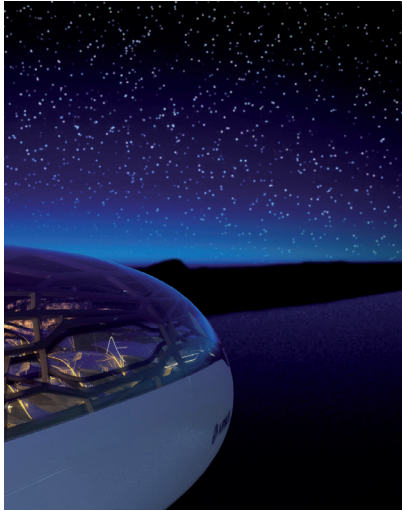
# DIE VORREITER

*In Technik & Zukunft*

*Airbus*

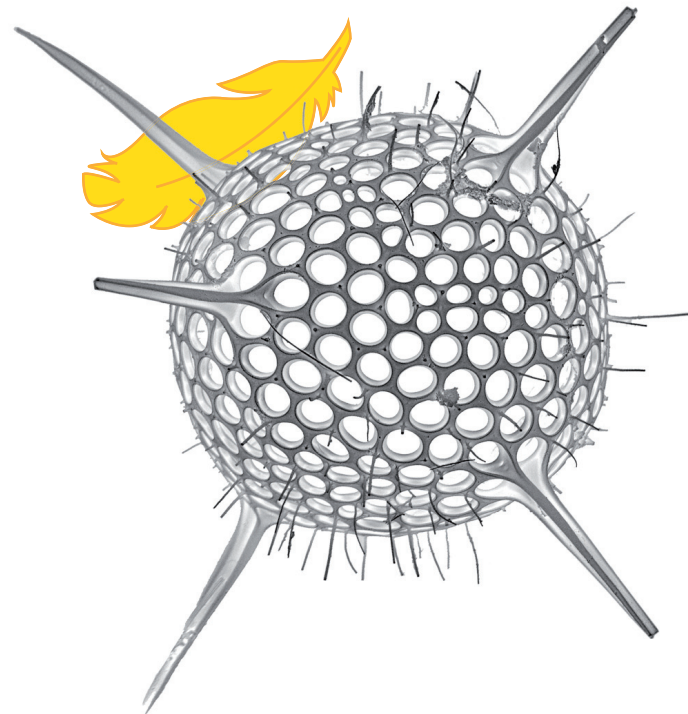






# LEICHTIGKEIT

*Charakteristika von Diatomeen  
und Radiolarien*



$$a = \mathbf{F/m}$$

*Beschleunigung=Kraft durch Masse*

## MINIMALES GEWICHT

*Warum weniger wirklich manchmal mehr ist*

In diesem Projekt von Airbus wird als Vorbild vor allem eine weitere Eigenschaft, das geringe Gewicht der Diatomeen- und Radiolarienstruktur, genutzt.

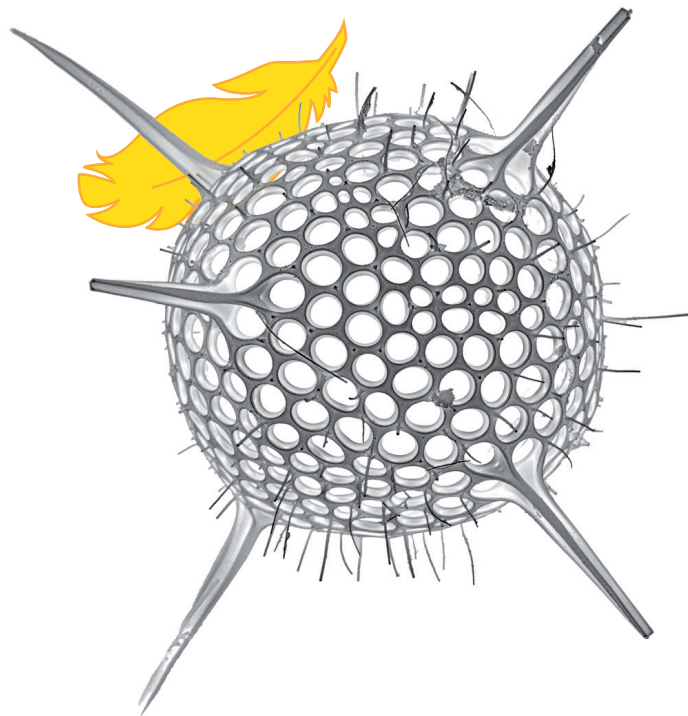
Verständlicherweise benötigen vor allem in der Bewegung herkömmliche Flugzeuge viel Energie. Da ist es logisch, ein Mindestmaß an Gewicht anzustreben, aber bei gleichbleibend robuster Statik des Objekts. Da Radiolarien und Diatomeen neben der hervorragenden Druckbelastbarkeit vor allem leicht sind, liegt es nahe, die Systemstruktur mit der "softkilloption" nachzuahmen und intelligent auf den Flugzeugkorpus zu übertragen. In einigen Fällen ließ sich das Gesamtgewicht eines Flugzeugs so um bis zu 70 Prozent reduzieren.

In der Mobilität ist die Gleichung „Beschleunigung gleich Kraft durch Masse“ also von besonderer Wichtigkeit - vor allem in einer Zeit, in der Energie nicht verschwendet werden sollte, sondern vielmehr intelligent und nachhaltig genutzt werden muss. Wo ein Gewicht besonders oft, also über kurze Distanzen, beschleunigt und gestoppt werden muss, potenziert sich der Effekt. Kurz gesagt: Weniger bewegtes Gewicht heißt weniger Energieverbrauch.



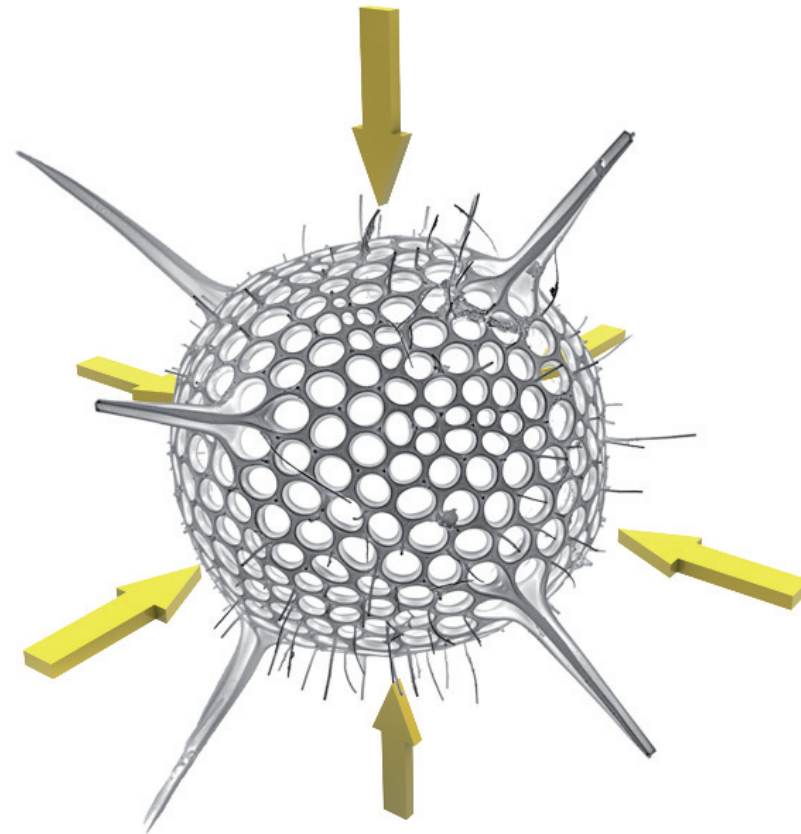
# LOGISCHE **ÜBERSETZUNG**

*Strategie zum Produkt*



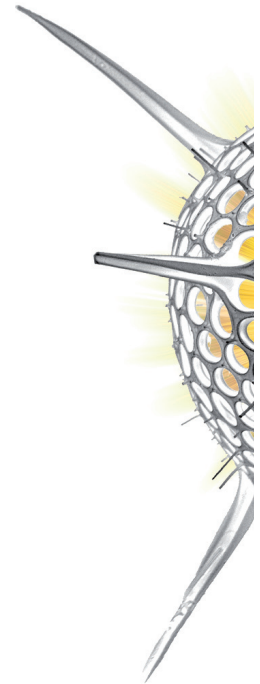
## LEICHTIGKEIT

*Beschleunigung=Kraft durch Masse*

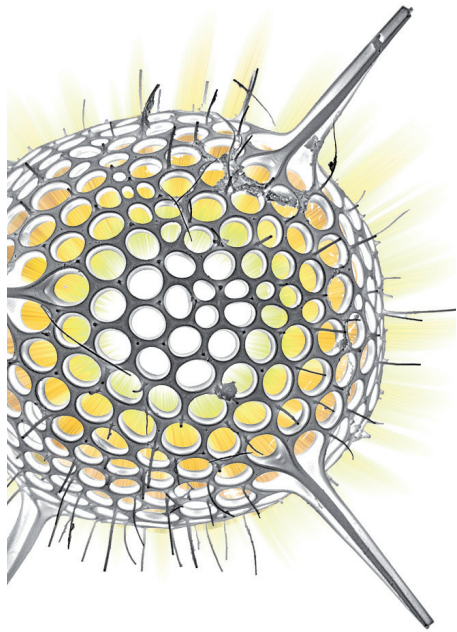


## BELASTBARKEIT

*Druck=Kraft pro Fläche*



## LICHT



## TDURCHLÄSSIGKEIT

Transparenz

## IDEALE EIGENSCHAFTEN

*Welche Eigenschaften bieten Diatomeen & Radiolarien?*

Diatomeen und Radiolarien bestehen vor allem durch drei hervorragende Eigenschaften. Aufgrund ihrer Leichtigkeit schweben sie im Wasser und werden häufig nur durch die Bewegung des Wassers vorangetrieben. Ihre Leichtigkeit, die sogenannte „fettfreie Konstruktion“ ist einzigartig und hat ihre Bestätigung (wie am Beispiel Airbus) bereits erfahren.

Die Belastbarkeit entstand vor allem aus der Notwendigkeit, ein möglichst stabiles Skelett zum Schutz vor Fressfeinden zu haben - mit Belastbarkeiten bis zu gigantischen 700 Tonnen Gewicht pro Quadratmeter. Diese Eigenschaft macht sie einzigartig für Konstruktionen in der Architektur (wie am Beispiel Frei

Otto gezeigt). Ein weiteres Merkmal ist die Lichtdurchlässigkeit. Um in der Dunkelheit unbemerkt zu bleiben, benötigen Diatomeen und Radiolarien eine möglichst hohe Transparenz. Diese einzigartigen Eigenschaften der Diatomeen und Radiolarien sind einzeln genutzt bereits gigantisch. In der systematischen Nutzung ist aber vor allem die ganzheitliche Betrachtung des Systems bionische Leichtbauweise nach dem Vorbild der Diatomeen und Radiolarien von Interesse. Um das Idealvorbild für ein Produkt also ganzheitlich zu nutzen, sollte man diese drei Eigenschaften bestmöglich miteinbeziehen.







## IDEALE ANWENDUNGSGEBIETE

*Für welche Gebiete eignen sich Diatomeen Eigenschaften besonders?*

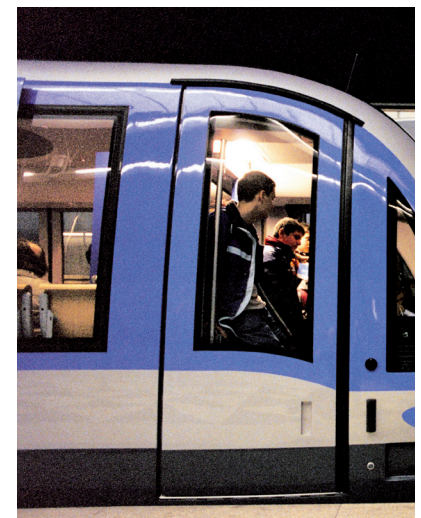
Bei einer Übertragung auf Luft- und Raumfahrtprodukte würde sich die enorme Belastbarkeit der Diatomeenstruktur bezahlt machen. Ebenso für Tiefseeboote bei denen Verwindungssteifigkeit und Druckbelastbarkeit zählt, könnte das von zentraler Bedeutung werden.

Die Eigenschaft der hohen Lichtdurchlässigkeit ist für Transportflugzeuge oder Kreuzfahrtschiffe nutzbar.

Im Anwendungsgebiet für Sportwagen, Helikopter oder Motoryachten wäre die Leichtigkeit der Diatomeenstruktur prädestiniert.

Die Anwendungsgebiete für die bionische Übertragung auf Produkte des Menschen ist äusserst vielfältig. Jede Eigenschaft ist also in ihrer separaten Anwendung schon interessant.

Die ideale Kombination ist die Verwendung all dieser Eigenschaften. Vor allem für die Nutzung im Bereich des öffentlichen Nahverkehrs in Städten sind meiner Meinung nach diese Eigenschaften ideale Voraussetzungen. In diesen Fahrzeugen sind die Attribute Lichtdurchlässigkeit, Belastbarkeit des gesamten Fahrzeugs und reduziertes Gewicht von herausragender Wichtigkeit.



## URBANE VERKEHRSMITTEL

*Ideal für die Nutzung der Eigenschaften von Diatomeen*



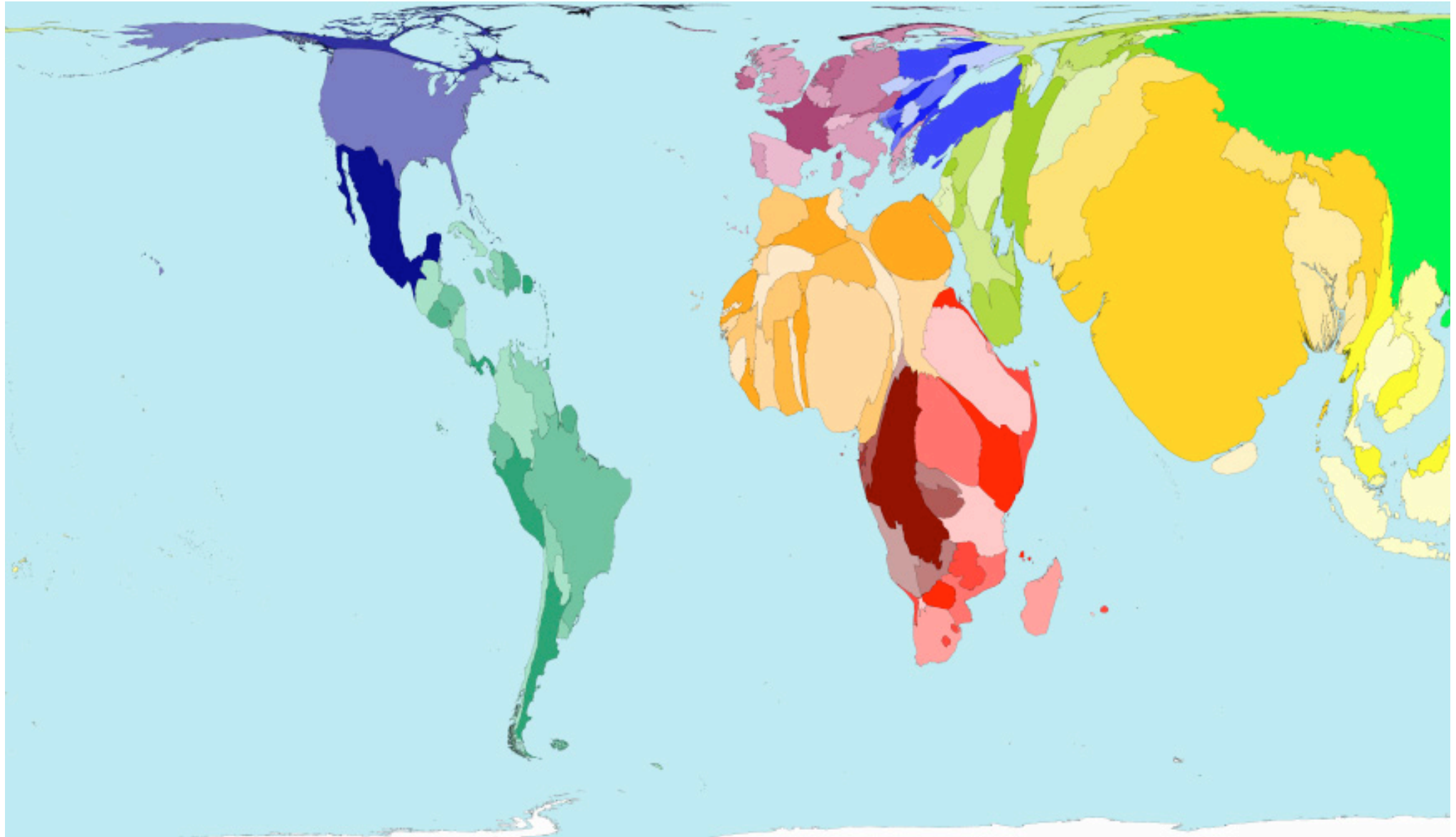
Ein wichtiges Kriterium in der Konstruktion von Fahrzeugen des öffentlichen Nahverkehrs sollte die Gewichtsreduktion sein. Da die Fahrzeuge häufigen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen unterliegen, ist durch die Gewichtsreduktion ein hohes Maß an Energie- und somit Ressourcenschonung machbar.

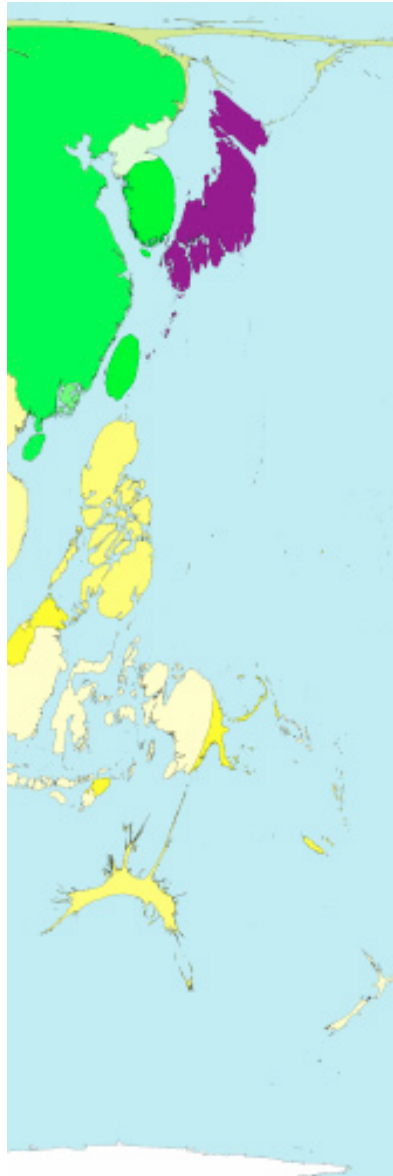
"Wenn eine U-Bahn, die alle 30 Sekunden stoppt und wieder losfährt, nur um 100 Kilogramm leichter gemacht würde, spare dies übers Jahr gerechnet 17 000 Tonnen Kohlendioxid-Emissionen ein."<sup>1</sup>

Das bedeutet also, dass die Übertragung der Strukturen von Diatomeen auf das Fahrzeug eines Öffentlichen Verkehrsmittel

direkten Einfluss auf das Gesamtgewicht und somit Emmissionsreduktion hat. Da öffentliche Verkehrsmittel ebend durch diese Beschleunigungs- und Bremsvorgänge zudem grossen statischen Belastungen aushalten müssen, würden genau hier die positive Auswirkungen der Diatomeenarchitektur zum tragen kommen. Als dritte positive Eigenschaft wäre die Lichtdurchlässigkeit durch grössere Fensterflächen auf das Bahnchassis zu übertragen. Zusammenfassend bedeutete dies für mich, als logische Schlussfolgerung aus dem Vorbild der Diatomeen eine Bahn zu "formen", die wesentlich leichter sein wird als andere Bahnen, statisch viel robuster ist und dem Fahrgast viel mehr Ausblick bietet.

<sup>1</sup> <http://www.welt.de/wissenschaft/article108973232/Kunststoffe-sollen-ICE-Zuege-leichter-machen.html> (Version vom 21.10.2012)





## WACHSENDE **MOBILITÄTSNACHFRAGE**

*In welchen Teilen der Welt herrscht Bevölkerungsexpansion?*

Der Aufstieg von Städten ist eine prägende Tendenz unserer Zeit. Die Hälfte der Weltbevölkerung lebt heute in städtischen Ballungsräumen, und dieser Anteil nimmt zu. Noch im Jahr 1900 lebten 86 Prozent der Weltbevölkerung in ländlichen Gebieten und nur 14 Prozent in Städten. Die Weltbevölkerung von sechs Milliarden wird im Laufe der nächsten dreißig Jahre um zwei Milliarden zunehmen, und diese Zunahme wird ausschliesslich in Städten in Asien, Afrika und Lateinamerika stattfinden." <sup>1</sup>

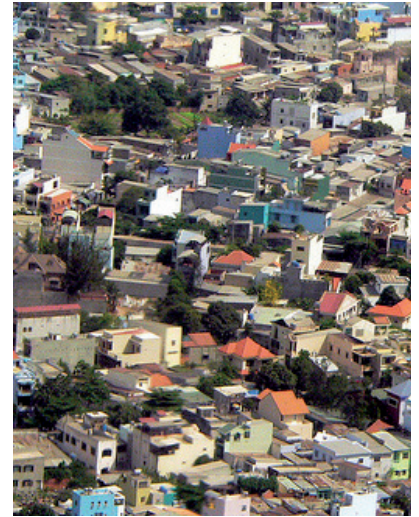
Zeitgleich steigt allerdings auch die Anzahl der Städte. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts gab es auf der Welt 11 Städte mit mehr als einer Million

Einwohnern. 1950 waren es 80, 1990 schon 276, 2000 fast 400 und 2015 werden es wahrscheinlich 550 sein. <sup>2</sup>

Im Zuge dieser Entwicklungen steigt zeitgleich auch das Interesse an innerstädtischer Mobilität. Kleine Städte die bis vor wenigen Jahren noch kaum Verkehrsprobleme hatten, "expandieren" dem totalen Verkehrsstillstand entgegen. Die häufig jetzt schon völlig überlasteten Bussysteme kommen im zähgängigen Stadtverkehr nur noch mit grossen Verspätungen vorwärts. Die ineffizienten Busse benötigen zudem immer teurer werdendes Benzin und verursachen gefährliche Verkehrsunfälle.

<sup>1</sup> Aus dem Buch "Die Wege der Menschen" Seite 306-307 von Ted Conover. Erschienen im Malik Verlag

<sup>2</sup> Aus dem Buch "Atlas der Globalisierung" Seite 34 Le Monde Diplomatique | TAZ Verlag



## URBANE KONVENTIONEN

*Was muss im innerstädtischen Kontext beachtet werden?*



In vielen Städten dieser aufstrebenden Schwellenländer und Tigerstaaten ist aus Verkehrstechnischen und Städteplanerischen Gegebenheiten eine Straßenbahn nicht sinnvoll, denn das Strassenbild ist in diesen Regionen der Erde häufig "verbaut". Das Aufzwingen einer breiten Bahntrasse in die verbauten Strassen wäre kompliziert und viel zu teuer.

An die Installation einer U Bahn ist aus geographischen Gründen (zu hoher Grundwasserpegel, komplizierte Bodenbeschaffenheit, etc.) nicht zu denken.

Das bedeutet für viele Städte der Erde macht also eine oberirdisch/hängend

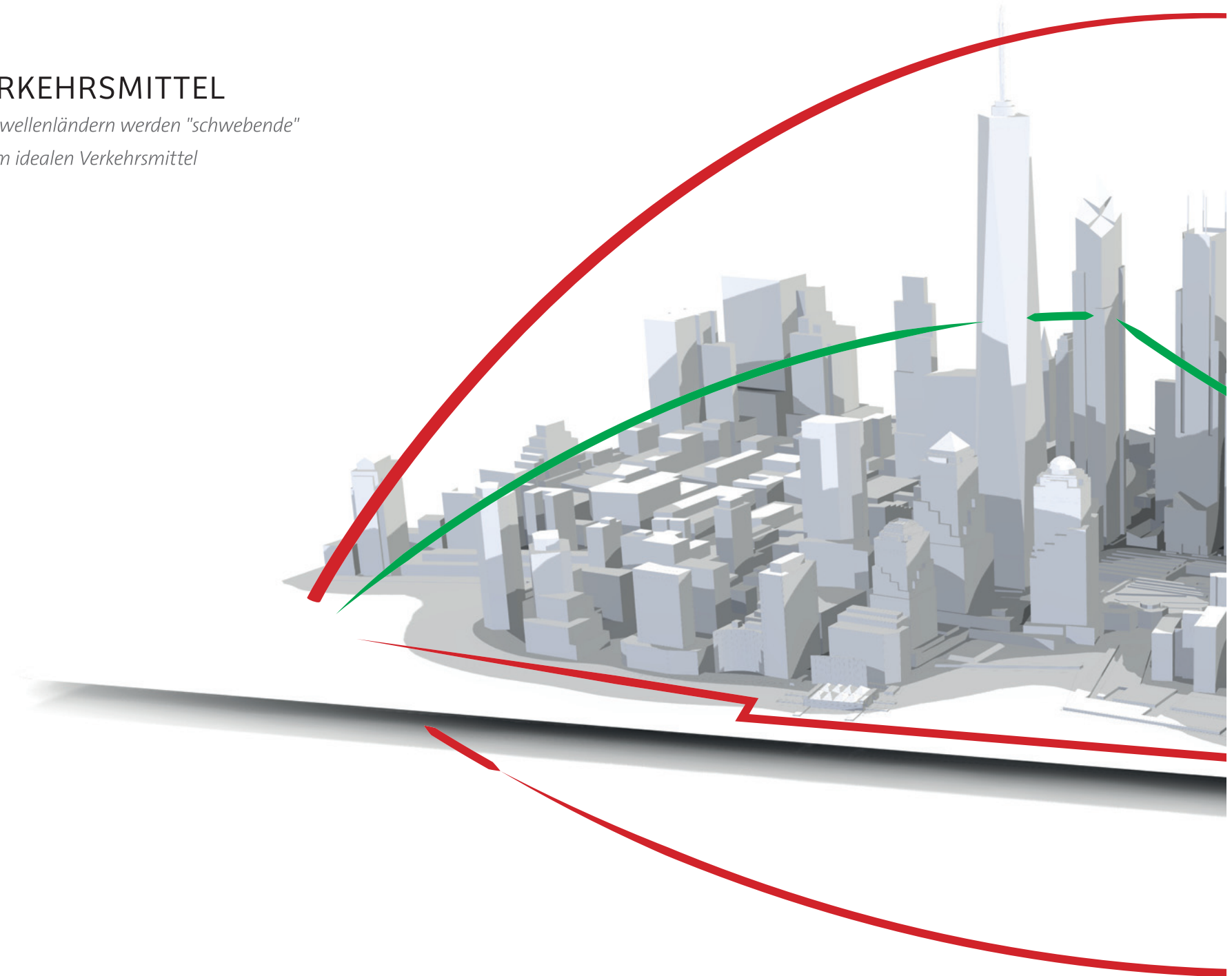
geführte Bahn Sinn. In diesem Kontext würde dann ausserdem eine Fahrerlose, vollautomatische Hängebahn in Betracht, da sie ohnehin in der Luft hängend keinen Strassenverkehr hat und somit keine Unfallgefahr besteht.

Die optimale Länge einer dieser vollautomatischen Hängebahn Einheiten sollte die 12 Meter nicht überschreiten.

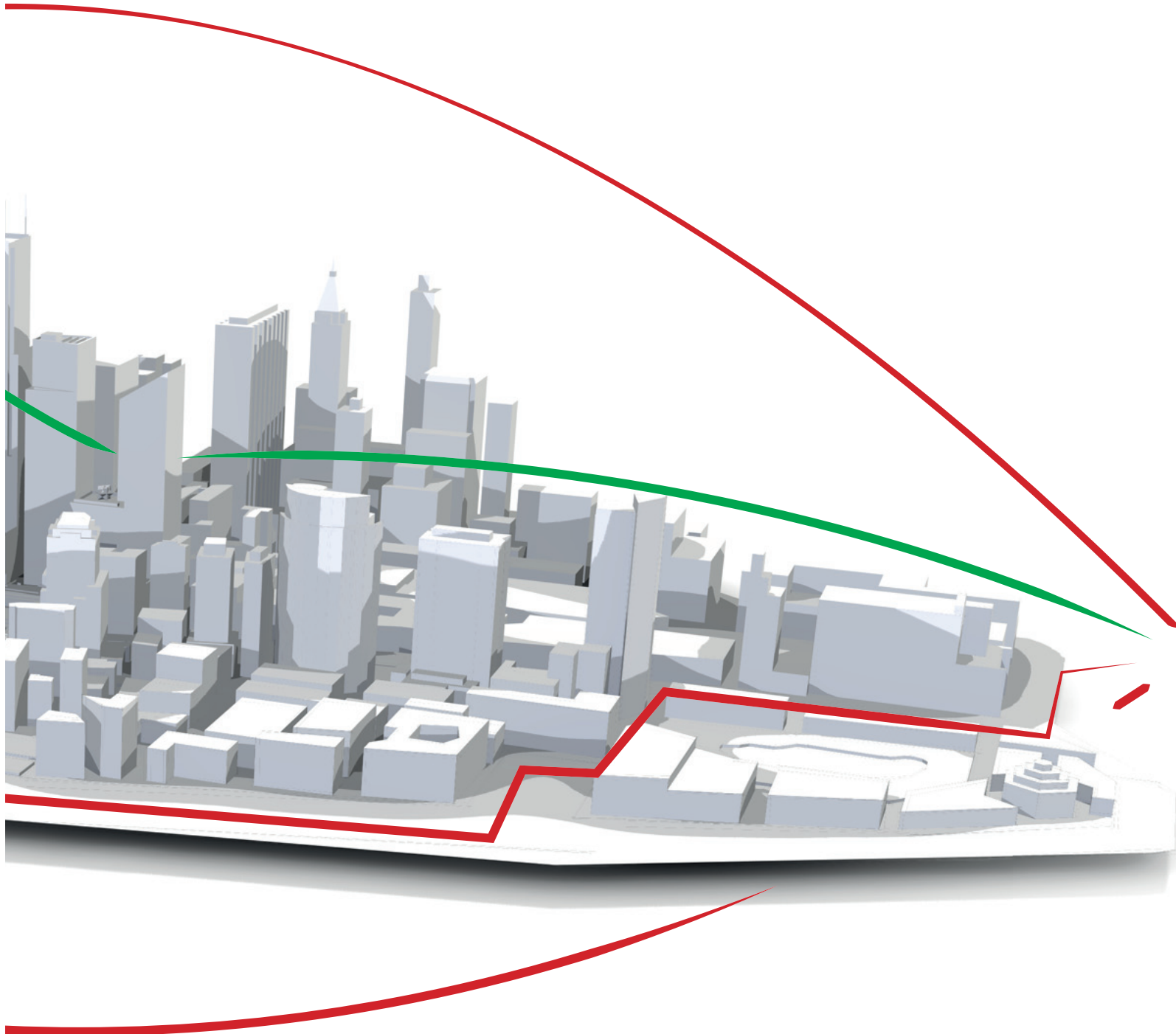
Zudem sollte, wie Eingangs schon erwähnt, ein möglichst geringes Gewicht, höchstes Maß an Belastbarkeit und Lichtdurchlässigkeit durch die Struktur der Diatomeen erreicht werden.

## IDEALES VERKEHRSMITTEL

*Für viele Städte in Schwellenländern werden "schwebende"  
Bahnen zukünftig zum idealen Verkehrsmittel*







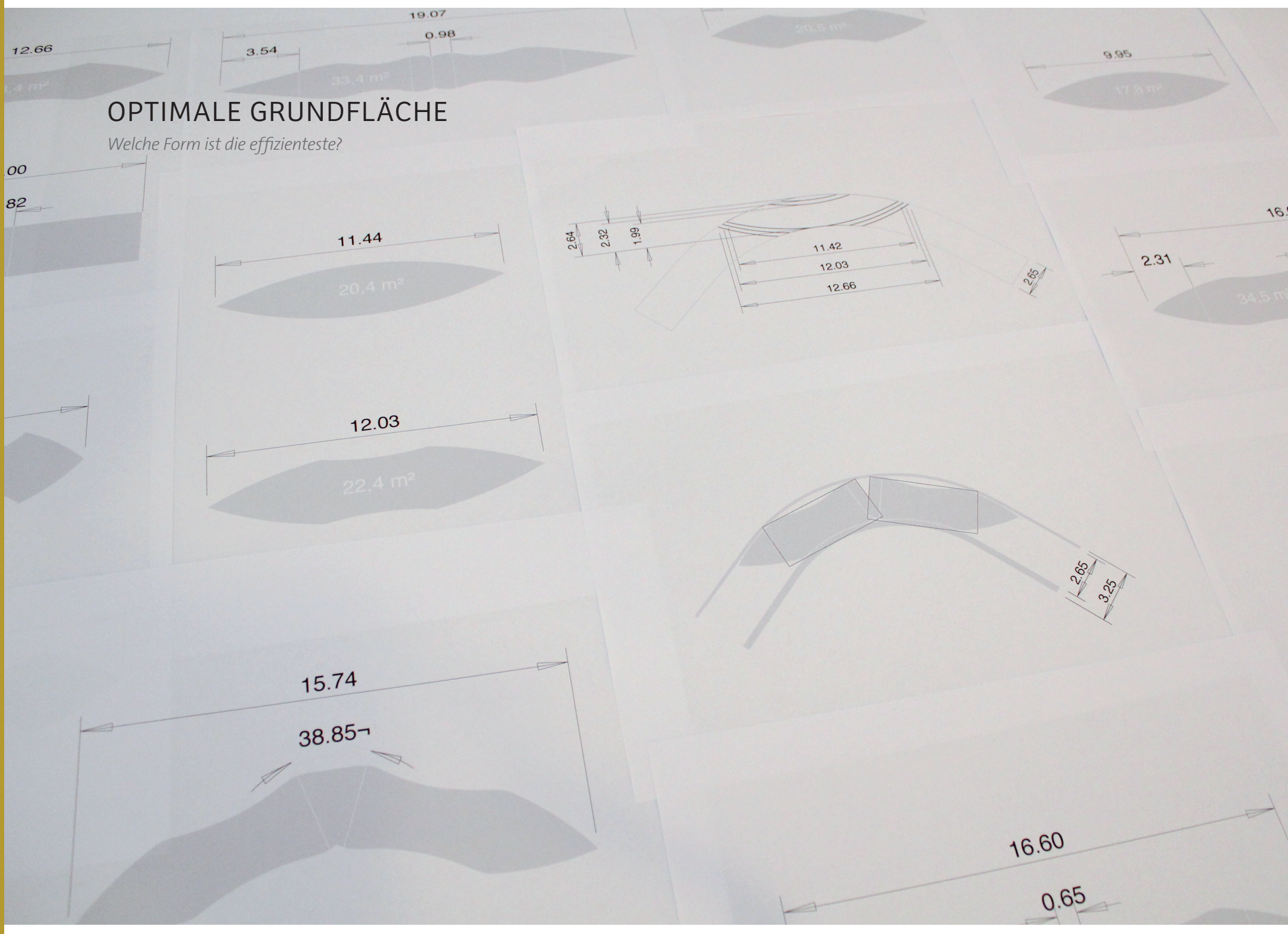


# PRAKTISCHE **UMSETZUNG**

*Umsetzung der Strategie*

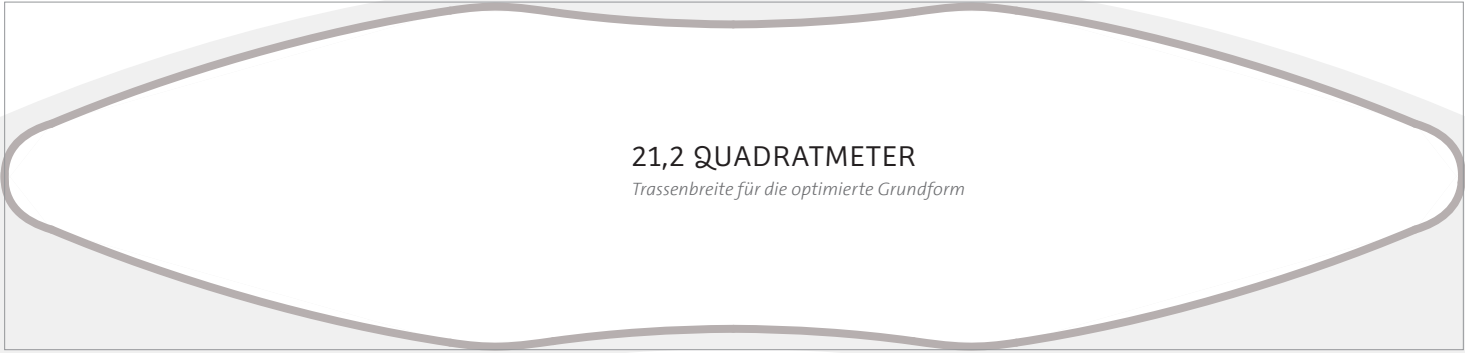
# OPTIMALE GRUNDFLÄCHE

Welche Form ist die effizienteste?



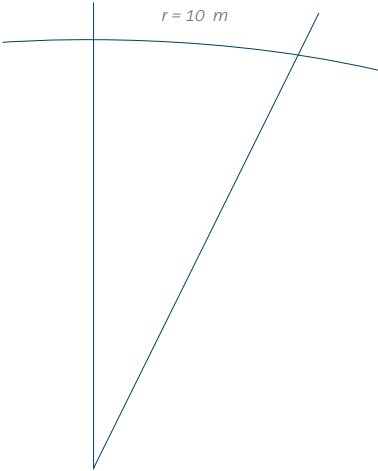
# TRASSENRADIUS

Grundfläche optimiert für Städtebauliche ideale  
Kurvenradien von 10m



**21,2 QUADRATMETER**

Trassenbreite für die optimierte Grundform



**2,65 METER**

Trassenbreite für die optimierte Grundform

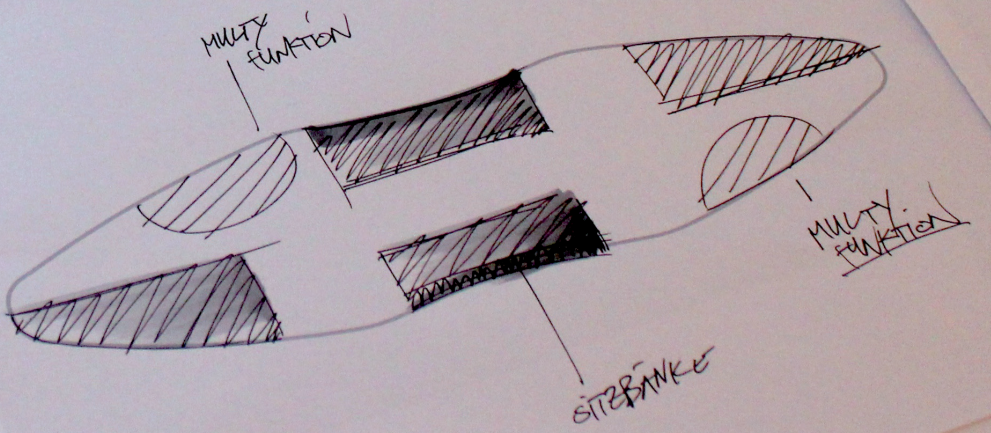
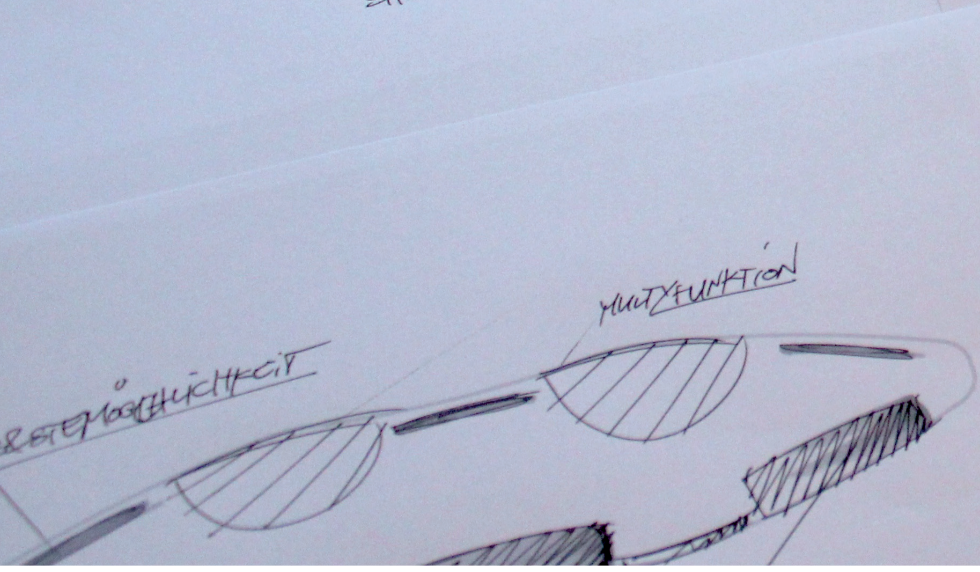
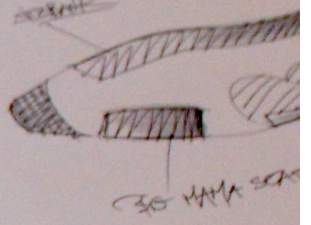
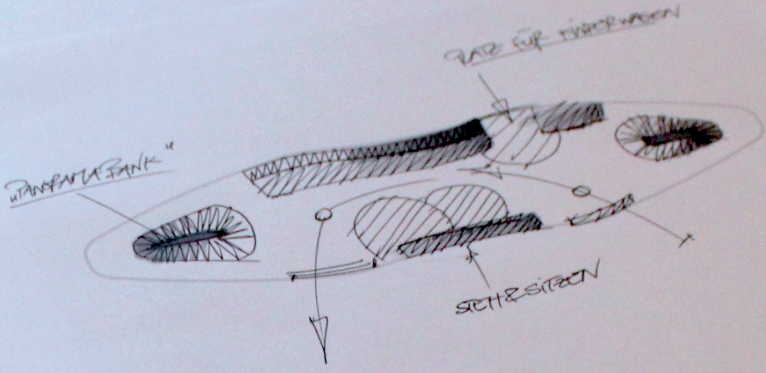
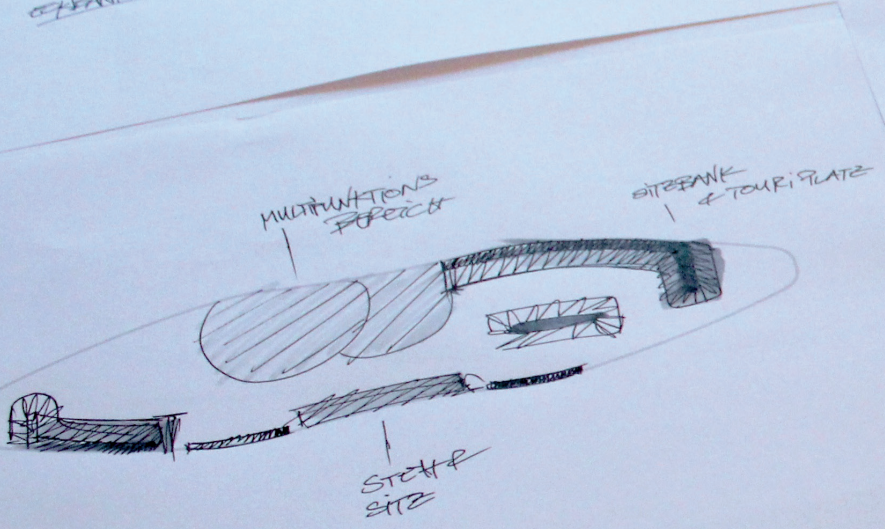
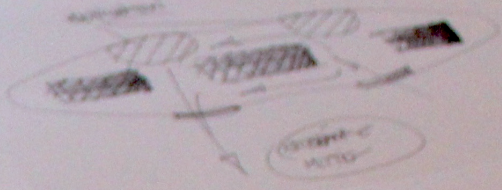
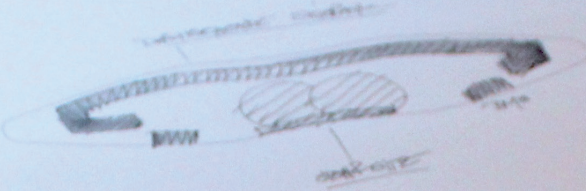
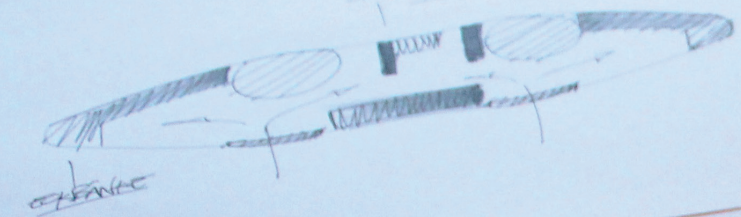
**25% MEHR**

Nötige Trassenbreite bei herkömmlichen Bahnformen



# OPTIMALE AUFTEILUNG

Welches Sitzplatzaufteilung ist ideal?

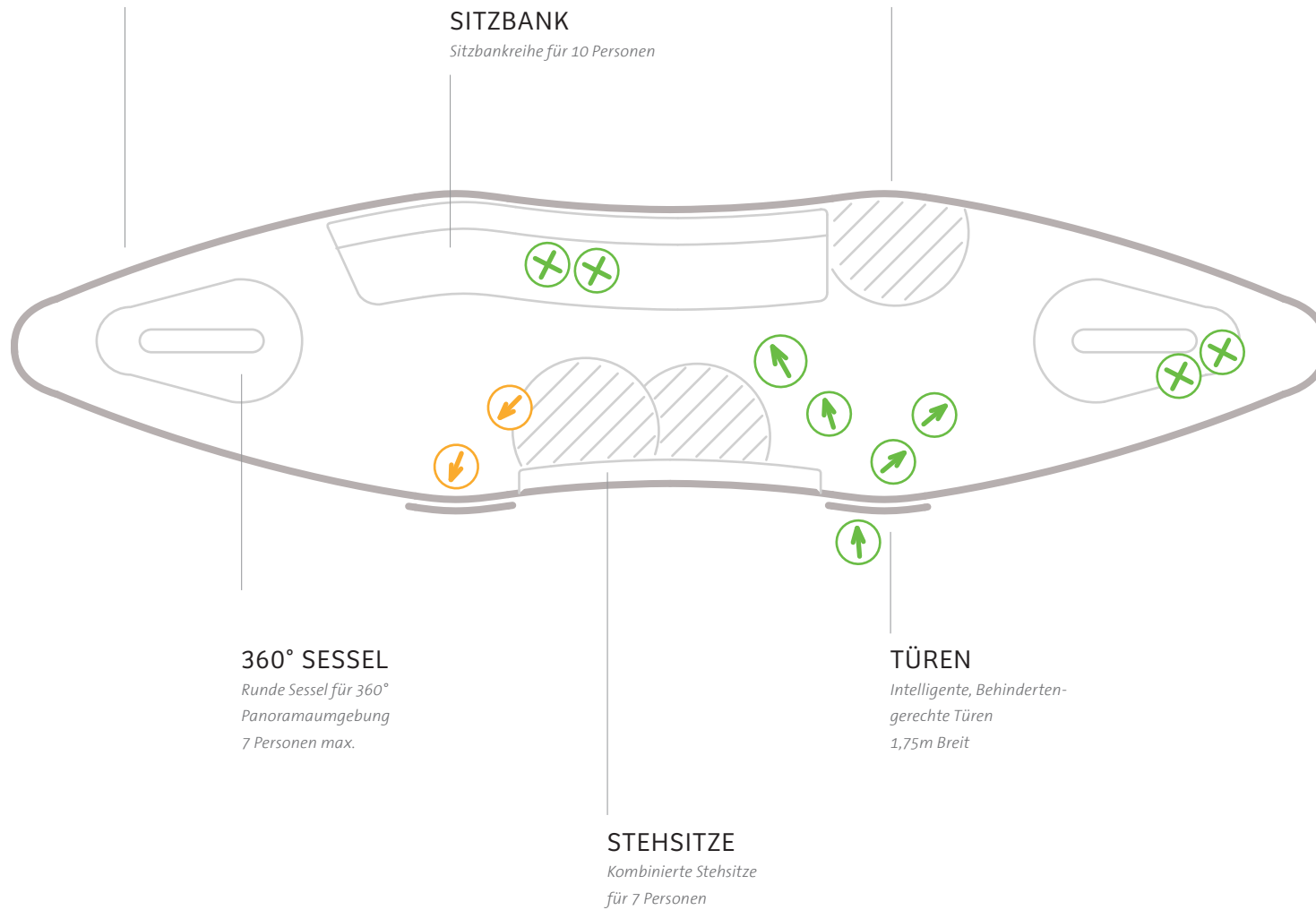


## INTERIEUR

Aufteilung optimiert für schnelles  
Ein- und Aussteigen

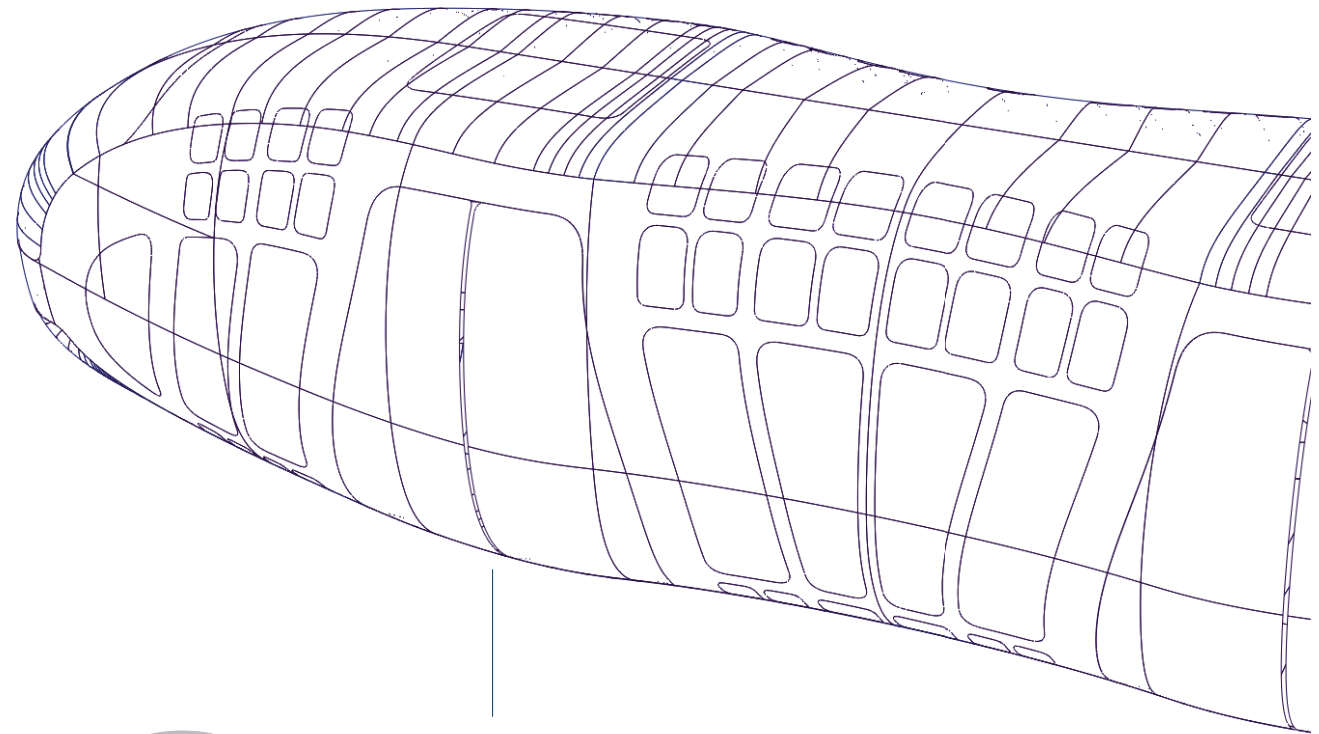
## MULTIFUNKTIONSBEREICH

Genug Platz für Kinderwagen &  
Rollstühle



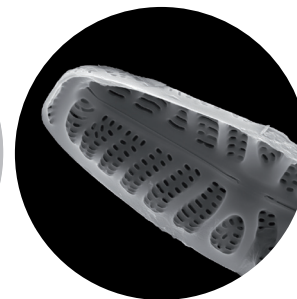
# KONSTRUKTIONSÜBERTRAG

*Wie wird die Diatomeestruktur  
zum optimalen Bahnkörper?*



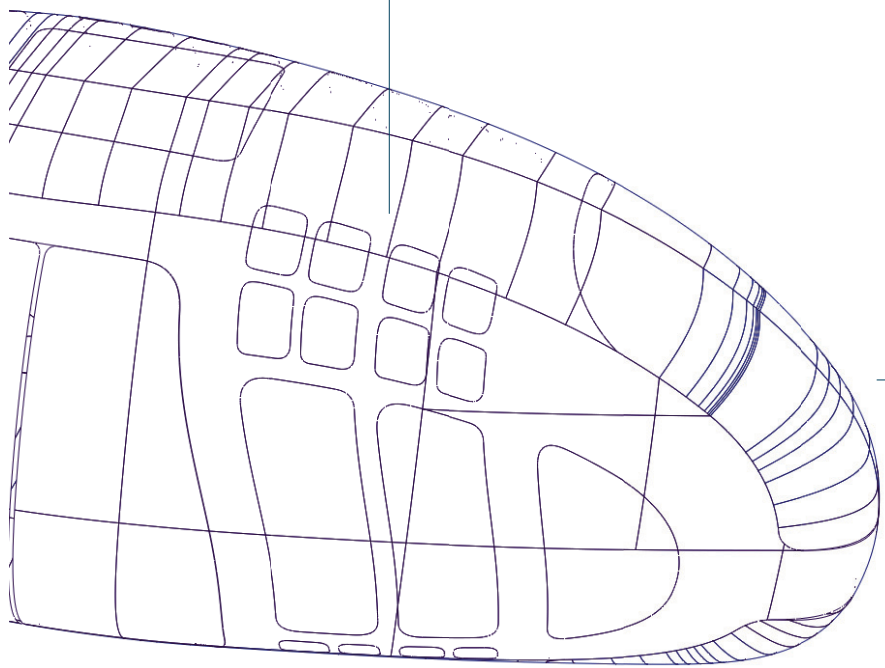
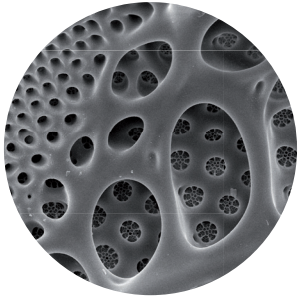
**MAX. STABILER**

*Maximale Stabilität durch  
geschwungene Streben*





**25% LEICHTER**  
*Leichtere Struktur durch  
weniger Gesamtmasse*



**23% GRÖßER**  
*Mehr Kapazität durch  
optimierte Grundfläche*



## CHASSIS

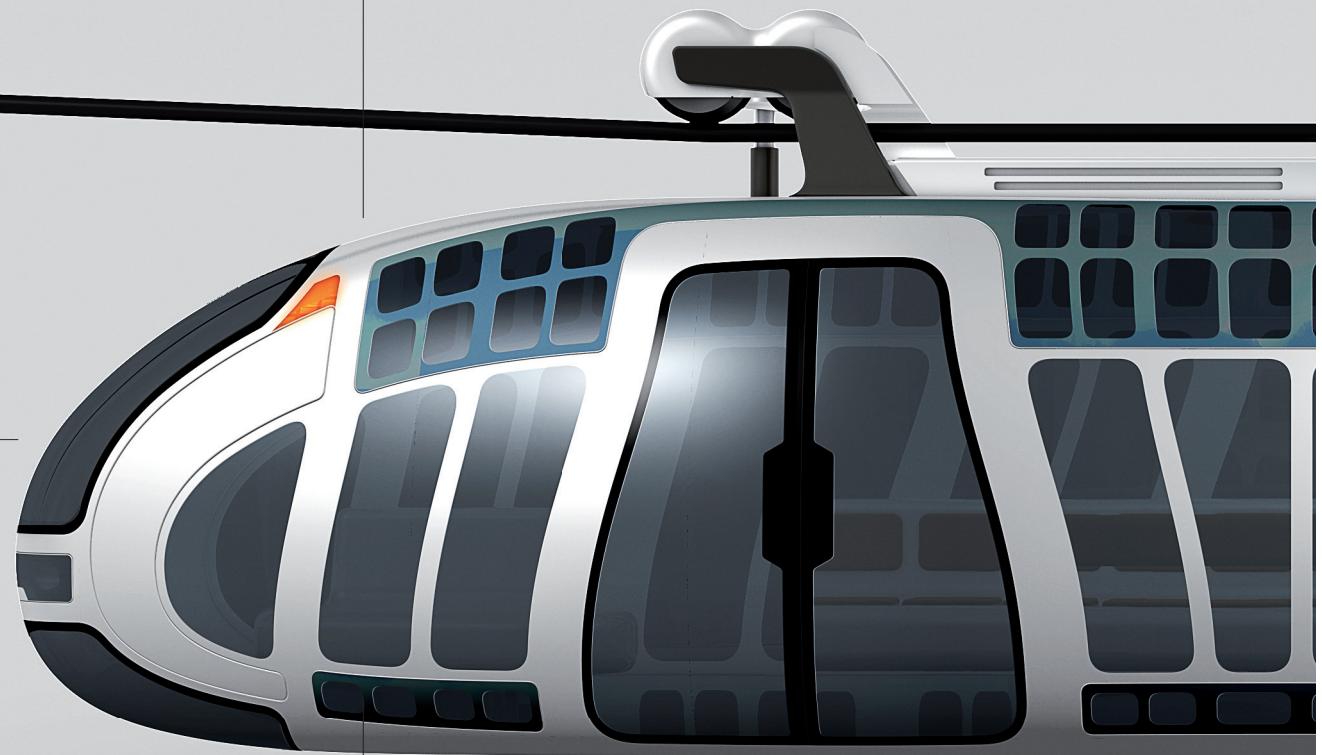
*Gesamtes Chassis im  
3D Sinterverfahren gefertigt*

## LED

*Effiziente  
Beleuchtung*

## SICHT

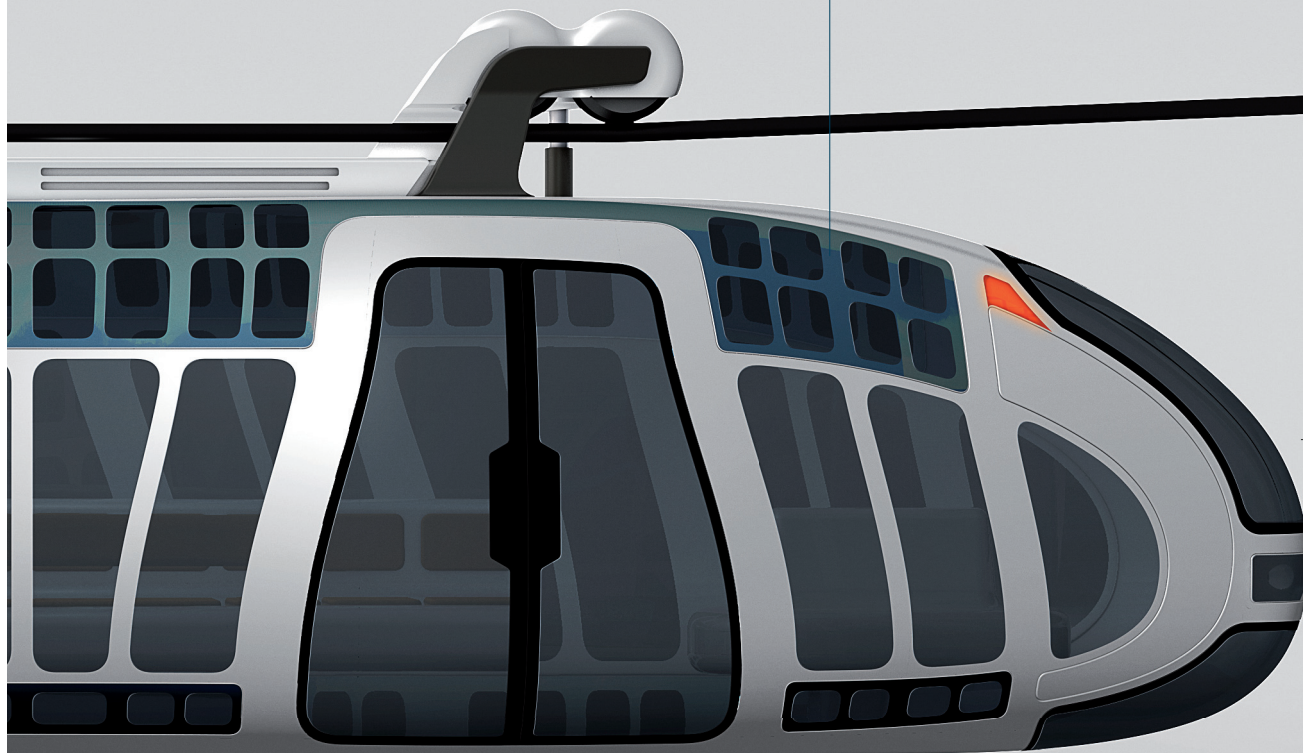
*Zusätzliche Sichtfenster*



## FOLIE

*TEXLON® Vario*

*Intelligentes Schattiersystem*

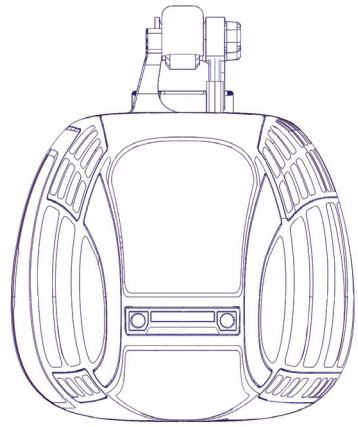


## PANORAMA

*Großzügige Frontscheiben  
aus Sicherheitsglas*

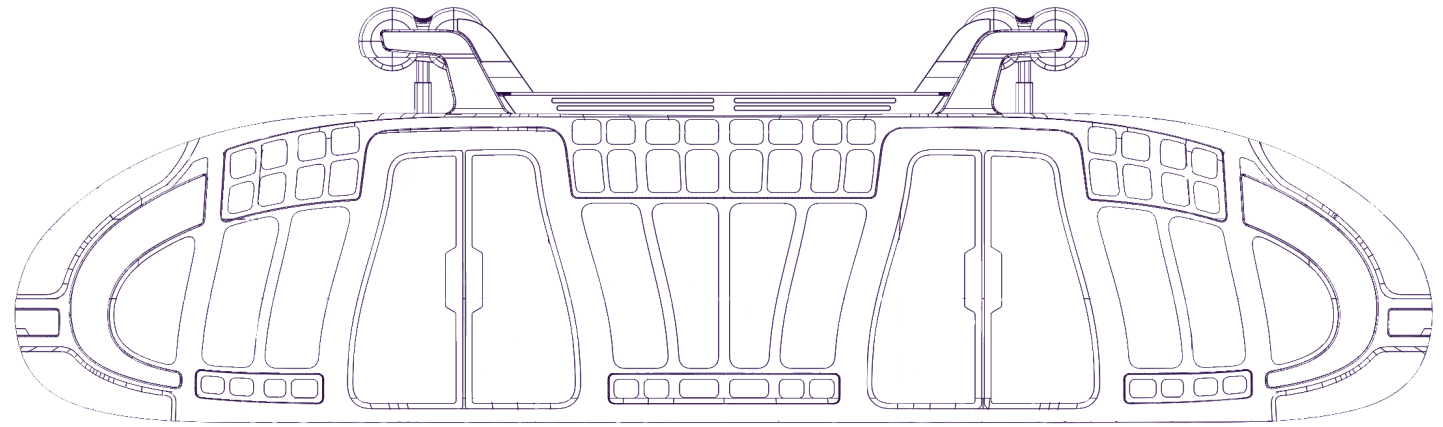
## TÜREN

*100% Behindertenfreundliche  
Schiebetüren*



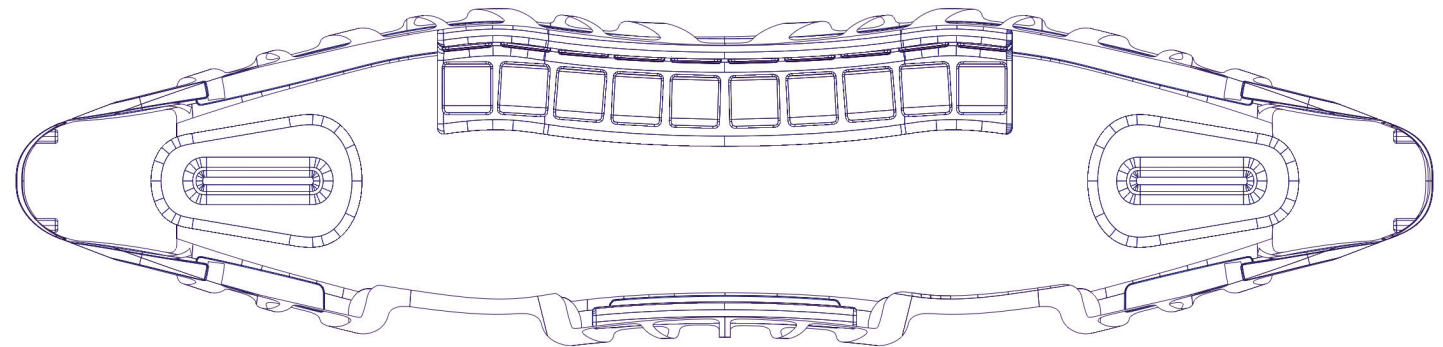
2,57m

2,3m



1,75 m

1,75 m



10 m

## ALLGEMEINE DATEN

<i>Bezeichnung</i>	<i>BLM 100   Bionic Lightweight Metro 100</i>
<i>Betriebsart</i>	<i>vollautomatisches Hängebahnsystem</i>
<i>Bauart</i>	<i>Einrichtungsfahrzeug</i>

## HERSTELLUNGSART

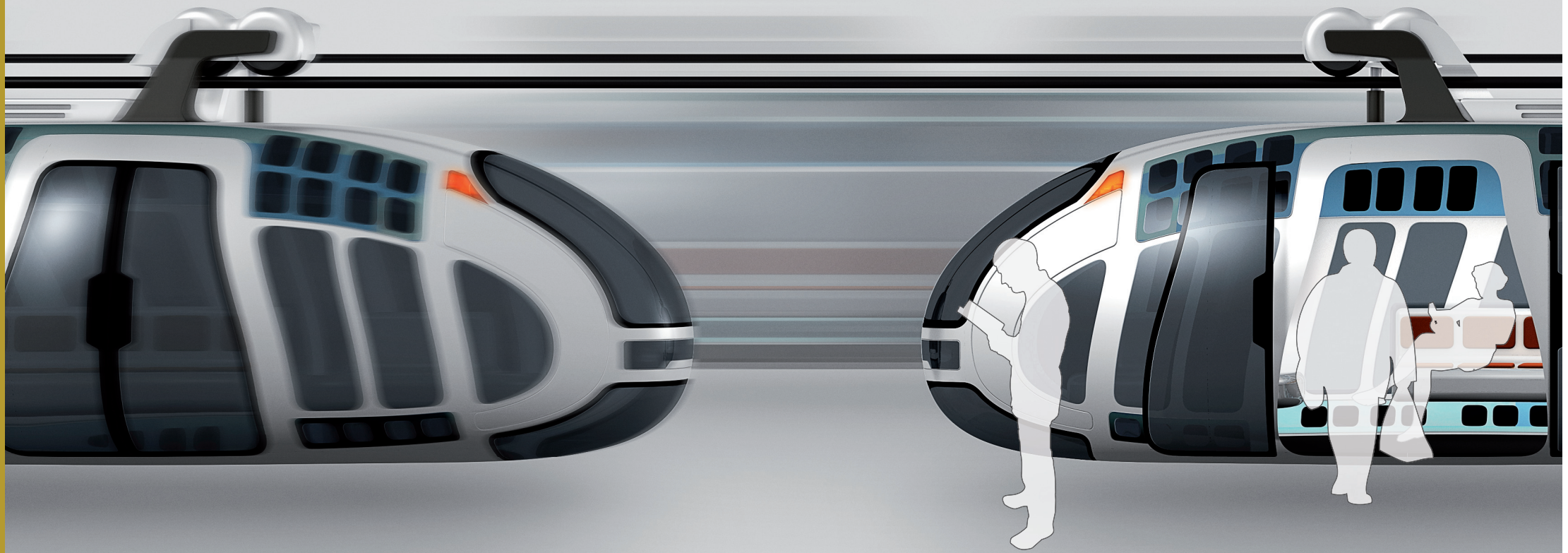
<i>Fahrgestell</i>	<i>3D Druck   Lasersinterverfahren</i>
<i>Konstruktionsart</i>	<i>Bionische Leichtbauweise nach Diatomeenstruktur</i>
<i>Kleine Fenster</i>	<i>Überspannung mit schattierender Folie TEXLON® Vario</i>
<i>Panoramafenster</i>	<i>Sicherheitsglas</i>

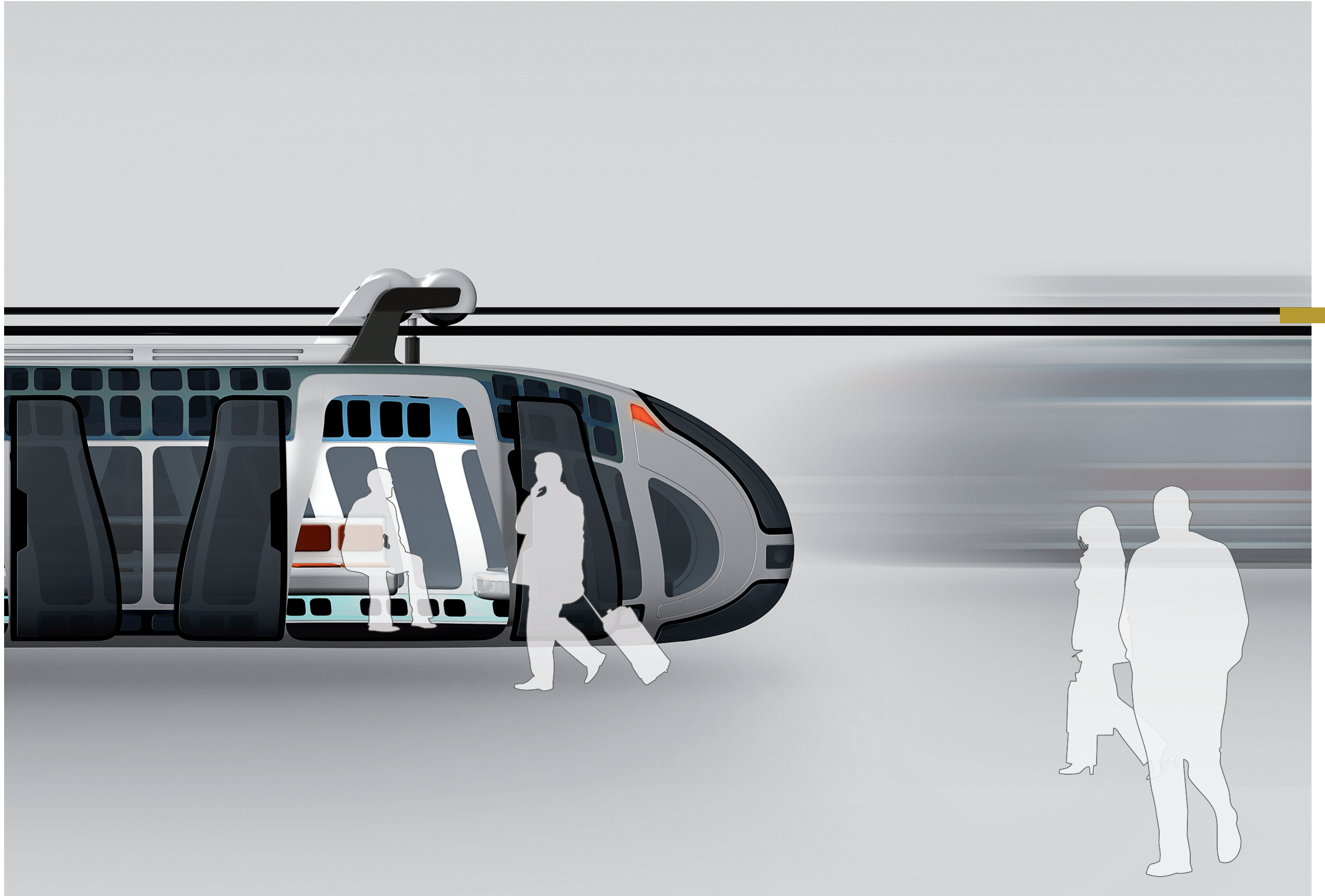
## KAPAZITÄT

<i>Sitzplätze</i>	<i>22</i>
<i>Stehplätze</i>	<i>78 (4 Personen/m<sup>2</sup>) inkl. 3 Multifunktionsbereiche</i>

## ABMESSUNGEN

<i>Fahrzeuglänge</i>	<i>10 m</i>
<i>Höhe</i>	<i>2,3 m   3 m</i>
<i>Breite</i>	<i>2,57 m</i>
<i>Fußbodenhöhe</i>	<i>100 mm</i>
<i>Türen</i>	<i>2 Elektrische doppel­flügelige Außenschwenkschiebetüren aus Glas</i>
<i>Türhöhe</i>	<i>1.940 mm</i>
<i>Türbreite</i>	<i>1.750 mm   1.150 mm</i>
<i>Gangbreite</i>	<i>min. 1,9 m</i>
<i>Min. Kurvenradius</i>	<i>8,3 m</i>





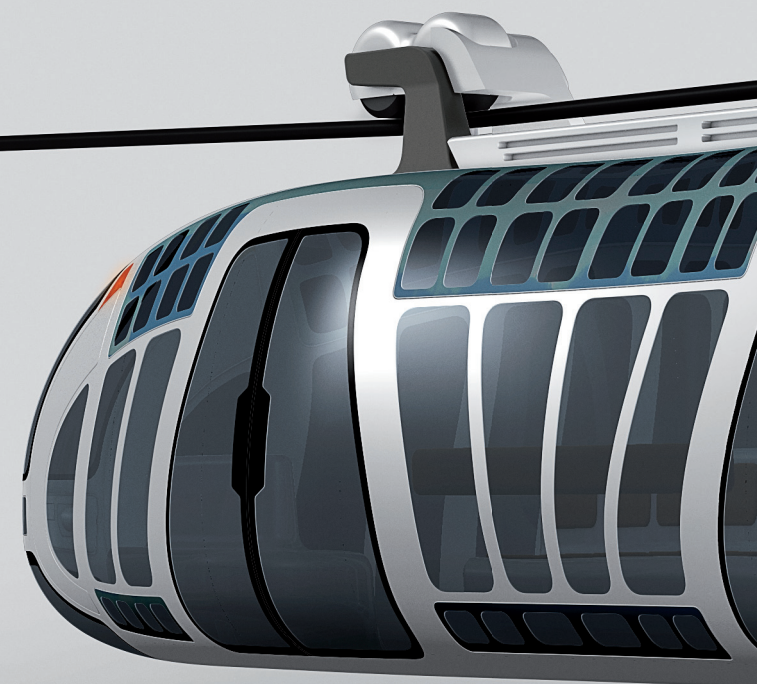






# BLM-100

*Neues Verkehrsmittel für  
Schwellenländer*





Nachwort

Die Zusammenarbeit von Biologie & Technik wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Das Produktdesign sollte diese positive Entwicklung seinerseits stärker nutzen und die kreative Kraft in die Bionik einfließen lassen. Meiner Ansicht nach kann das Produktdesign die Innovationskraft, die sich aus bionischen Forschungsergebnissen ergeben nutzen, um daraus grandiose Produkte zu schaffen. Die Bionic Lightweight Metro soll dazu beitragen, den faszinierenden Themenkomplex der Bionik auf ein neuartiges Produkt anzuwenden. Sie soll aber auch zeigen, dass es sich lohnt alte Muster und Denkweisen in der Konstruktion von öffentlichen Verkehrsmitteln aufzubrechen und umzustrukturieren.

Vielen Dank an alle Menschen,  
die mich bei der Umsetzung meiner Idee unterstützt haben!



# LITERATUR

## Quellennachweise

### Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Seite 18 | 1: *Faszination Bionik*: Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006  
Seite 191-199

Seite 18 | 2: *Faszination Bionik*: Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006  
Seite 203-207

Seite 25 | 1: *Faszination Bionik* Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006 (Seite 199)

Seite 25 | 2: Bild links: <http://www.comp.dit.ie/dgordon/Lectures/Hum1/Renaissance/wing.jpg> (Version vom 21.10.2012)

Seite 29 | 1: *Frei Otto Das Gesamtwerk. Leicht Bauen - Natürlich Gestalten*  
Nerdinger. Birkhäuser Verlag 2005  
Seite 17-18

Seite 35 | 1: *Faszination Bionik*  
Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006

Seite 39 | 1: *Faszination Bionik*  
Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006

Seite 39 | 2: Aus einem PDF der Uni Stuttgart von Werner Sobek  
[www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf](http://www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf)

Seite 43 | 1: Aus einem PDF der Uni Stuttgart von Werner Sobek  
[www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf](http://www.uni-stuttgart.de/hkom/publikationen/themenheft/03/sobek.pdf)

Seite 47 | 1: *Frei Otto Das Gesamtwerk. Leicht Bauen - Natürlich Gestalten*  
Nerdinger. Birkhäuser Verlag 2005  
Seite 17-18

Seite 50 | 1: *Frei Otto Das Gesamtwerk. Leicht Bauen - Natürlich Gestalten*  
Nerdinger. Birkhäuser Verlag 2005 | Seite 57

Seite 55 | 1: *Faszination Bionik*: Kurt G. Blücher & Fredmund Malik  
DWC Medien GmbH, München 2006, Seite 26 erster Absatz

Seite 69 | 1: Aus dem Buch "Die Wege der Menschen" Seite 306-307 von Ted Conover. Erschienen im Malik Verlag

Seite 69 | 2: Aus dem Buch "Atlas der Globalisierung" Seite 34  
Le Monde Diplomatique | TAZ Verlag

### Abbildungsverzeichnis

Seite 22 linke Seite: <http://www.comp.dit.ie/dgordon/Lectures/Hum1/Renaissance/wing.jpg> (Version vom 21.10.2012)

Seite 28 linke Seite: <http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSX6FqHvOym9o-lgx-grPrbkZ0vPuDh3yCxtGG-7JaWLwFbZKcDgroFoZA> (Version vom 21.10.2012)

Seite 30 linke Seite: Bild links: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/1/11/Erstaugaben\\_f%C3%BCr\\_Wikipedia\\_-\\_135.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/1/11/Erstaugaben_f%C3%BCr_Wikipedia_-_135.jpg)  
(Version vom 26.10.2012)

Seite 30 linke Seite: Bild Mitte: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Haeckel\\_Discomedusae.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Haeckel_Discomedusae.jpg)  
(Version vom 26.10.2012)

Seite 30 linke Seite: Bild Rechts: <http://www.comp.dit.ie/dgordon/Lectures/Hum1/Renaissance/wing.jpg> (Version vom 26.10.2012)

Seite 32 linke Seite: [http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/78000/78705/blacksea\\_amo\\_2012197.jpg](http://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/78000/78705/blacksea_amo_2012197.jpg)  
(Version vom 26.10.2012)

Seite 34 linke Seite: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/31/Diatoms\\_through\\_the\\_microscope.jpg/1280px-Diatoms\\_through\\_the\\_microscope.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/31/Diatoms_through_the_microscope.jpg/1280px-Diatoms_through_the_microscope.jpg) (Version vom 21.10.2012)

Bilder von Seite 36 & 37 Bereitstellung vom Alfred Wegener Institut 2013

Bilder von Seite 38 & 39 Bereitstellung vom Alfred Wegener Institut 2013

Bilder von Seite 40 Bereitstellung vom Alfred Wegener Institut 2013

Seite 42 linke Seite: [http://content.media.cebit.de/73469/200x200\\_0\\_0.jpg](http://content.media.cebit.de/73469/200x200_0_0.jpg) (Version vom 16.03.2013)

Bild mittig Seite 42 Bereitstellung vom Alfred Wegener Institut 2013

Seite 42 linke Seite: [http://www.zwomp.de/wp-content/uploads/2012/02/stefan\\_billert\\_haken.jpg](http://www.zwomp.de/wp-content/uploads/2012/02/stefan_billert_haken.jpg) (Version vom 16.03.2013)



---

Seite 46 Bild links: [http://portal.mytum.de/pressestelle/pressemitteilungen/news\\_article.2005-05-19.7797968040/Frei%20Otto](http://portal.mytum.de/pressestelle/pressemitteilungen/news_article.2005-05-19.7797968040/Frei%20Otto)  
(Version vom 21.10.2012)

Seite 46 Bild Mitte: [http://groups.csail.mit.edu/mac/users/rauch/misc/Otto/frei\\_otto\\_haus\\_skizze\\_2.jpg](http://groups.csail.mit.edu/mac/users/rauch/misc/Otto/frei_otto_haus_skizze_2.jpg)  
(Version vom 21.10.2012)

Seite 48 & 49: [http-\\_farm2.staticflickr.com\\_1336\\_881140150\\_5039fd7f46\\_o.psdcom\\_1336\\_881140150\\_5039fd7f46\\_o.jpg](http-_farm2.staticflickr.com_1336_881140150_5039fd7f46_o.psdcom_1336_881140150_5039fd7f46_o.jpg)  
(Version vom 21.10.2012)

Seite 50: Bild links: Frei Otto Das Gesamtwerk. Leicht Bauen - Natürlich Gestalten | Nerdinger. Birkhäuser Verlag 2005 | Raumtragwerk Seite 44

Seite 54: [http://2.bp.blogspot.com/\\_ugWk-rnkqXM/TJcJfSCfw1/AAAAAAAAAGLw/U8Np3XfjSVE/s1600/Airbus-new\\_logo\\_Sep\\_2010.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_ugWk-rnkqXM/TJcJfSCfw1/AAAAAAAAAGLw/U8Np3XfjSVE/s1600/Airbus-new_logo_Sep_2010.jpg)  
(Version vom 22.10.2012)

Seite 56 Bild 1: [airbus](#) (Version vom 06.11.2012)

Seite 56 Bild 2: [http://scr3.golem.de/screenshots/1106/Airbus-Concept-Cabin/The\\_future\\_by\\_Airbus\\_-\\_Vitalising\\_Zone\\_\\_Panoramic\\_Day.jpg](http://scr3.golem.de/screenshots/1106/Airbus-Concept-Cabin/The_future_by_Airbus_-_Vitalising_Zone__Panoramic_Day.jpg)  
(Version vom 06.11.2012)

Seite 56 Bild 3: [http-\\_scr3.golem.de\\_screenshots\\_1106\\_Airbus-Concept-Cabin\\_The\\_future\\_by\\_Airbus\\_-\\_Timelapse\\_Night.jpg](http-_scr3.golem.de_screenshots_1106_Airbus-Concept-Cabin_The_future_by_Airbus_-_Timelapse_Night.jpg)  
(Version vom 06.11.2012)

Seite 56 Bild 4: <http://power500.arabianbusiness.com/static/content/images/larger2/airbus-reveals-designs-for-transparent-planes-by-2050-img-145010.jpg>  
(Version vom 06.11.2012)

Seite 56 Bild 5: [http://scr3.golem.de/screenshots/1106/Airbus-Concept-Cabin/The\\_future\\_by\\_Airbus\\_-\\_Timelapse\\_Night.jpg](http://scr3.golem.de/screenshots/1106/Airbus-Concept-Cabin/The_future_by_Airbus_-_Timelapse_Night.jpg)  
(Version vom 06.11.2012)

Seite 64 Bild 1: [yacht: http://www.antaesyachts.com/ed5e03e0.jpg](http://www.antaesyachts.com/ed5e03e0.jpg)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 2: Audi: <http://www.speedfans.fr/files/images/Audi-R8-GT-11.JPG>  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 3: [queen mary: http://trinixy.ru/pics2/20070918/queen\\_mary\\_00.jpg](http://trinixy.ru/pics2/20070918/queen_mary_00.jpg)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 4: [Airbus: http://farm5.staticflickr.com/4075/4917050211\\_320dfb7a17\\_z.jpg](http://farm5.staticflickr.com/4075/4917050211_320dfb7a17_z.jpg)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 5: [transrapid: http://www2.noz.de/th/article\\_teaser/49665097.jpg](http://www2.noz.de/th/article_teaser/49665097.jpg)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 6: [helikopter: http://www.tineye.com/query/7ae215030b646ce7491e7b5fd4b5f97b2a5c4aaa](http://www.tineye.com/query/7ae215030b646ce7491e7b5fd4b5f97b2a5c4aaa)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 7: [Rocket: http://missoesamarte.no.sapo.pt/Principal/naves-pac/marspathfind\\_lanc.jpg](http://missoesamarte.no.sapo.pt/Principal/naves-pac/marspathfind_lanc.jpg)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 8: [Nautilus: http://www.tineye.com/query/b45a3ac1bf538caff8aece92b1f1b9f97692f958](http://www.tineye.com/query/b45a3ac1bf538caff8aece92b1f1b9f97692f958)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 64 Bild 9: [Concorde: http://www.tineye.com/query/3f788cafecc5b06a23f36f65dfe0c77dfd12eb](http://www.tineye.com/query/3f788cafecc5b06a23f36f65dfe0c77dfd12eb)  
(Version vom 16.03.2013)

Seite 66 Bild 1: [http://www2.noz.de/th/article\\_teaser/49665097.jpg](http://www2.noz.de/th/article_teaser/49665097.jpg)  
(Version vom 12.12.2012)

Seite 66 Bild 2: <http://www.tineye.com/query/959739a9485f157684fd1eac71ac58b120385969>  
(Version vom 12.12.2012)

Seite 66 Bild 3: [http://www.oekt.de/uploads/pics/oekt\\_MVG180.jpg](http://www.oekt.de/uploads/pics/oekt_MVG180.jpg)  
(Version vom 12.12.2012)

Seite 68: <http://sasi.group.shef.ac.uk/worldmapper/images/largepng/11.png>  
(Version vom 01.03.2012)

Seite 70 | 1: <http://baitulongtravel.com/wp-content/uploads/2011/10/Aerial-Ho-Chi-Minh-City.jpg>  
(Version vom 12.03.2012)

Seite 70 | 2: <http://retiringphilippines.org/wp-content/uploads/2010/08/Gridlock-Manila1.jpg>  
(Version vom 12.03.2012)

---

Seite 70 | 3: [http://sin.stb.s-msn.com/i/4E/5E7DBDB9B61157B85AE36D3C458A57\\_h415\\_w622\\_m2\\_q80\\_ccvEbAIKO.jpg](http://sin.stb.s-msn.com/i/4E/5E7DBDB9B61157B85AE36D3C458A57_h415_w622_m2_q80_ccvEbAIKO.jpg)  
(Version vom 12.03.2012)

Bilder von Seite 80 & 81 Bereitstellung vom Alfred Wegener Institut 2013

