



SEIFENBLASEN FORMING BUBBLES

Eine Forschungsarbeit des Instituts für leichte Flächentragwerke über MINIMALFLÄCHEN
unter der Leitung von Frei Otto

A Research Project of the Institute for Lightweight Structures on MINIMAL SURFACES •
under the Direction of Frei Otto

von / by:

KLAUS BACH, BERTHOLD BURKHARDT, FREI OTTO

Mit weiteren Beiträgen von / with further Contributions by:

Stefan Hildebrandt, Eberhard Haug, Jobst Oelbermann, Hans-Georg von Sehnenng, Reinhard Nesper
Manfred Dreher, Helmut Hein, Thomas Braun, Switbert Greiner, Lothar Wessolly, Frieder Klenk

Mitarbeiter des Instituts für leichte Flächentragwerke (IL), des Atelier Wambronn (AW)
sowie der Entwicklungsstätte für den Leichtbau (EL), Berlin, die in den Jahren 1958-1987 mit
Seifenblasen experimentierten /

Collaborators of the Institute for Lightweight Structures (IL), the Atelier Wambronn (AW)
as well as of the Development Centre for Lightweight Construction (EL), Berlin,
who experimented with Soap Bubbles from 1958-1987:

Frei Otto., Friedrich Romberg, Larry Mediin, Ingrid Otto, Ewald Bubner, Ilse Schmal 1, John Koch,
Conrad Roland, Hans Wehrhahn, Frederick Miles, John Reuer, Andreas Edzard,- Gunter Scherzinger,
Gernot Minke, Günther Schöfl, Berthold Burkhardt, Eberhard Haug, Uwe Röder, Jochen Schilling,
Ekkehard Bertram, Fritz Dressler, Friedemann Kugel, Jürgen Hennicke, Bodo Rasch, Bernd Oleiko,
Friedrich Kiedaisch, Walter Reinhardt, Thomas Braun, Eda Schaur, Klaus Bach, Geoffrey. Wright,
Jose Mirafuentes, Kiyosi Komatsu, Niclas Goldsmith, Roberto Raccanello, Berthold van Schoor,
Denis Hector, Heide Drüsedau, Gerald Steyn, J.Bradatsch, Alfred Wunder, S.Gaß, Frieder Klenk

und viele Architekturstudenten / and many Architecture Students

Vorwort	6	Unterstützung von Minimal flächen durch Grate - Spitzzelte	150	Klaus Bach Minimal fläche
TEIL 1				
Klaus Bach, Berthold Burkhardt, Frei Otto SEIFENBLASEN	9	Unterstützung von Minimal flächen durch Grate und/oder Kehlen - Wellenformen	168	Helmut Hein Zur Struktur Lösungen
EINFÜHRUNG von Frei Otto	10	Unterstützung von Minimalflächen mit Netzen	180	Klaus Bach Rezepturen
MINIMALWEGE				
2-dimensionale, offene Minimalwegesysteme aus 1-dimensidnalen Elementen	24	Die bogenförmige flüssige Kante zwischen drei Minimalflächen im 120° Winkel	184	Eberhard Haug Häute, Blasen
2-dimensionale., offene Minimalwegesysteme* aus 1-dimensionalen Elementen mit freien Punkten	36	Die gerade flüssige Kante zwischen drei ebenen Minimalflächen im 120° Winkel	204	Klaus Bach, B Der Bau von S
2-dimensionale, offene Lamellensysteme am keilförmigen Spalt	42	BELASTUNGEN Belastung von Seifen! amellen mit Eigen- gewicht, Zusatzlasten oder Wind	212	Klaus Bach Fotografie vo
2-dimensionale, geschlossene Minimalwege- systeme aus 1-dimensionalen Elementen	46	PNEUS Geschlossene Systeme	222	Manfred Drehe Optische Best Flüssigkeitsl
2-dimensionale, geschlossene Lamellensysteme am keilförmigen Spalt	60	- Blasen, Tropfen, Pneus	232	Thomas Braun Waagen für Fli
3-dimensionale, offene und geschlossene Minimalwegesysteme	64	Blasen auf festen Rändern - Pnusegmente	244	Switbert Greii Sehr lange, vi
MINIMALFLÄCHEN		Blasen auf festen Kreisringen - Halbtorus	254	Eberhard Haug Numerische Fo
Einzelne Minimalfläche in einem Rahmen mit biegesteifem Rand - Schraubenflächen	74 88	Blasen mit freien Rändern - Pneu mit "unendlicher" Fläche	258	Eberhard Haug Numerische Fo
Einzelne Minimal fläche in einem Rahmen mit biegeunsteifem Rand	92	Blasen mit freien Rändern - Halbkugel	264	Eberhard Haug Numerische Bri
Einzelne Minimalfläche in einem Rahmen mit freiem Rand	98	Blasen mit Einschnürungen durch Zugringe oder Netze	274	Eberhard Haug Numerische Sir
Minimal flächen in Randkombinationen	102	Linear addierte Blasen - gekammerte Pneus	278	LITERATUR
Einzelne Minimalfläche zwischen zwei Rahmen - Katenoid -	112. 114	3-dimensional addierte Blasen - Pneupackungen, Polyederschäume	286	L.Wessolly PrandtTsches
Einzelne Minimalfläche zwischen mehreren Rahmen^ ,	120	WIND Offene, und geschlossene Systeme im Windkanal	286	Anschriften de
UNTERSTÜTZUNGEN		TEIL 2		FARBSEITEN
Unterstützung von Minimal flächen durch Hoch- und/oder Tiefpunkte	126	Stefan Hildebrandt Einige Anmerkungen zu Minimalwegen	306	Klaus Bach, Fr Farbige Seifer
Unterstützung von Minimalflächen mit Pneus	140	Stefan Hildebrandt Minimal flächen - Ein kurzer historischer Abriß	310	Eberhard Haug Zwei Anwendung
Unterstützung von Minimal flächen durch Schlaufen (Augen)	142	Klaus Bach Minimalwegegerät	320	Nesper und H.E Periodische Po Strukturen

150	Klaus Bach Minimal flächengerät	326
	Helmut Hein Zur Struktur von Lamellen aus Tensid- Losungen	332
184	Klaus Bach Rezepturen	336
204	Eberhard Haug Häute, Blasen, Lame VI en..	344
212	Klaus Bach, Berthold Burkhardt . Der Bau von Seifenhautmodellen .	348
	Klaus Bach Fotografie von Seifenhäuten	352
	Manfred Dreher . Optische Bestimmung der Dicke von Flüssigkeitslamellen	356
	Thomas Braun Waagen für Flüssigkeitslamellen	360
254	Switbert Greiner Sehr lange, vertikale Seifenlamellen	362
258	Eberhard Haug Numerische Formfindung von Membranen	364
264	Eberhard Haug.-Jobst Oelbermann Numerische Ermittlung von Minimalflächen	370
274	Eberhard Haug Numerische Simulierung von Seifenhäuten	376
278	LITERATUR	382
286	L.Wessolly Prandtl'sches Seifenhautgleichnis	385
	Anschriften der Autoren	386
	FARBSEITEN	
306	Klaus Bach, Frieder Klenk Farbige Seifenlamellen	388
310	Eberhard Haug Zwei Anwendungen des Pam-Lisa Programms	388
320	Nesper und H.E.v.Schnering Periodische Potentialflächen und chemische Strukturen	397

PART 1

Klaus Bach, Berthold Burkhardt, Frei
FORMING BUBBLES

INTRODUCTION by Frei Otto

MINIMAL WAYS

2-dimensional open minimal way System
out of 1-dimensional elements

2-dimensional open minimal way syste
out of 1-dimensional elements having
free points

2-dimensional open lamella Systems ir
a wedge shaped gap .

2-dimensional closed minimal way systi
out of 1-dimensional elements

2-dimensional closed lamella Systems
a wedge shaped gap

3-dimensional open and closed minimal
way Systems

MINIMAL SURFACES

A Single minimal surface within a fraj
having a rigid boundary
- Helicoid surfaces

A Single minimal surface within a fra
having a nonrrigid boundary

A Single minimal surface within a frai
having a free boundary

Minimal surfaces within combinations <
boundaries

A Single minimal surface between two '
- Catenoid

A Single minimal surface between sever
frames

SUPPORTS

Supporting of minimal surfaces by high
and/or low points

Supporting minimal surfaces by using |

Supporting minimal surfaces by using

Preface	7	Supporting minimal surfaces by using ridges - pointed tents	150	Klaus Bach Minimal surfe
P A R T 1				
Klaus Bach, Berthold Burkhardt, Frei Otto F O R M I N G B U B B L E S	9	Supporting minimal surfaces by ridges and/or Valleys - forms of waves	168	Helmut Hein On the struci surfactant so
INTRODUCTION by Frei Otto	11	Supporting minimal surfaces by using nets	180	Klaus Bach Formulations
MINIMAL WAYS		The arch-shaped liquid edge between three minimal surfaces meeting at 120° angles	184	Eberhard Haug Films, bubble
2-dimensional open minimal way Systems out of 1-dimensional elements	24	The straight liquid edge between three flat minimal surfaces meeting at 120° angles	204	Klaus Bach, B The construd
2-dimensional open minimal way Systems out of 1-dimensional elements having free points	36	LOADS Loading of soap films by deadweight, additional loads or wind	212	Klaus Bach Photographing
2-dimensional open lamella Systems in a wedge shaped gap	42	PNEUS Closed Systems - bubbles, drops, pneus	222	Manfred Drehe Optical measi of liquid fi
2-dimerislonal closed minimal way Systems out of 1-dimensional elemehts	46	Bubbies on rigid boundaries - pneu segments	232	Thomas Braun Scales for li
2-dimensional closed lamella Systems in a wedge shaped gap	60	Bubbles on rigid circular rings-semi torus Bubbles with free boundaries - pneu with "infinite" surface	244 254	Switbert Grei Very long ver
3-dimensioria! open and closed minimal way Systems	64	Bubbles with free boundaries - hemisphere	258	Eberhard Haug Numerical for
MINIMAL SURFACES		Bubbles with constrictions by bracings or nets	264	Eberhard Haug Numerical cal
A Single minimal surface within a frame having a rigid boundary - Helicoid surfaces	74 88	Linear additions of bubbles - chambered pneus	274	Eberhard Haug Numerical sin
A Single minimal surface within a frame having a non-rigid boundary	92	3-dimensidnal added bubbles - pneu clusters, polyhedral foams	278	LITERATURE
A Single minimal surface within a frame having a free boundary	98	WIND Open and closed Systems in the wind Channel	286	L.Wessolly Prandtl's Soa
Minimal surfaces within combinations of boundaries	102			Addresses of
A Single minimal surface between two frames - Catenoid	112 114	P A R T 2		COLOUR PLATES
A Single minimal surface between several frames	120	Stefan Hildebrandt Some notes on minimal ways		Klaus Bach, F Coloured Soap
SUPPORTS		Stefan Hildebrandt Minimal surfaces - a short historical Synopsis	310	Eberhard Haug Two Applicati
Supporting of minimal surfaces by high and/or low points	126	Klaus Bach Minimal way apparatus	320	R.Nesper and Periodic Pote Chemical Stru
Supporting minimal surfaces by using pneus	140			
Supporting minimal surfaces by using loops	142			

	Supporting minimal surfaces by using ridges - pointed tents	150	Klaus Bach Minimal surface apparatus	326
t, Frei Otto	Supporting minimal surfaces by ridges' and/or Valleys - forms of waves	168	Helmut Hein On the structure of films produced by surfactant Solutions	332
	Supporting minimal surfaces by using nets	180	Klaus Bach	
11	The arch-shaped liquid edge between three minimal surfaces meeting at 120° angles	184	Formulations	337
y Systems	The straight liquid edge between three flat minimal surfaces meeting at 120° angles	204	Eberhard Haug Films, bubbles and lamellae	340
/ Systems having	LOADS Loading of soap films by deadweight, additional loads or wind	212	Klaus Bach, Berthold Burkhardt The construction of soap film models	348
terars in	PNEUS	42	Klaus Bach Photographing soap films	352
ay Systems	Closed Systems - bubbles, drops, pneus	222	Manfred Dreher Optical measurements of the thickness of liquid films.	356
ystems in	Bubbles on rigid boundaries - pneu segments	232	Thomas Braun Scales for liquid films	360
minimal	Bubbles on rigid circular rings-semi torus Bubbles with free boundaries - pneu with "infinite" surface	244 254	Switbert Greiner Very long vertical soap films	362
in. a frame	Bubbles with free boundaries - hemisphere	258	Eberhard Haug • Numerical form-finding of membranes	365
	Bubbles with constrictions by bracings or nets	264	Eberhard Haug, Jobst Oelbermann Numerical calculation of minimal surfaces	370
in a frame	Linear additions of bubbles - chambered pneus	274	Eberhard Haug Numerical simulation of soap films	377
in a frame	3-dimensional added bubbles - pneu clusters, polyhedral foams	278	LITERATURE	382
lations of	WIND Open and closed Systems in the wind Channel	286	L.Wessolly Prandtl's Soap Film Analogy	385
ien two frames		112 114	Addresses of the authors	386
en several	P A R T 2		COLOUR PLATES	
	Stefan Hildebrandt Some notes on minimal ways	306	Klaus Bach, Frieder Klenk Coloured Soap Films	388
by high	Stefan Hildebrandt Minimal surfaces - a Short historical Synopsis	310	Eberhard Haug . Two Applications of the Pam-Lisa Program	388
' using pneus	Klaus Bach Minimal way apparatus	320	R.Nesper and H.E.v.Schnering Periodic Potential Surfaces and Chemical Structures	397
using loops		142		