

IL 24

Frei Otto

PRINZIP LEICHTBAU LIGHTWEIGHT PRINCIPLE

bearbeitet von / presented by:

FRIEDER KLENK

mit weiteren Beiträgen von / with further contributions by:

ROLF REINER, EBERHARD HAUG

An den Untersuchungen zum IL 24 'Prinzip Leichtbau' waren beinahe alle Mitarbeiter des Instituts für Leichte Flächentragwerke (IL) zwischen 1964 und 1994 beteiligt, besonders über: /

Almost all fellow workers at the Institute for Lightweight Structures (IL) between 1964 and 1994 in some way participated in the investigations leading to IL 24 'Lightweight Principle', but in particular:

BERTHOLD BURKHARDT
SWITBERT GREINER
JÜRGEN W. HENNICKE
FRIEDER KLENK

GERNOT MINKE
ILSE SCHMALL
HARRY VOIGT
URSULA WUCHERER

und viele
Architekturstudenten /
an many students of
architectural design

VORWORT

Anmerkungen zur Entstehung dieser Arbeit

Kf 24/052⁷

WAS IST LEICHT?

4

Einführung	11
Schwer und Leicht	14
Masse und Gewicht	14
Groß und leicht - klein und schwer	15
Die nützliche Leichtigkeit	16
Das absolute Gewicht	17
Das Längengewicht	17
Das Flächengewicht	17
Die Dichte	18
Die Kraft	19
Der Druck	20
Die Belastung	20
Eigengewicht	22
Bruchlast	23
Beanspruchung	24
Spannung	25
Stabilität	26
Festigkeit	26
Unsichtbar gleich leicht?	30
Fest und zugleich leicht?	31
Statik	32

DAS RELATIV LEICHTE

Der Transport von Massen und Kräften	38
Hindernisse	41
Der maximale Tra	43
Der Verformungs-Tra	43
Der Eigengewichts-Tra	43
Der Nutzlast-Tra	44
Der äußere und der innere Tra	44

BIC und λ

Über den Bic	46
Zum Namen 'Bic'	48
Die verschiedenen Bic	50
Der Normalbic	51
Ähnlichkeit	53
Proportionen	54
Schlankheit	54
Material und Bic	59
Überblick	60
Das Bic- λ -Diagramm	62
Nutzlast-Bic	62
Kosten	63
Eigengewichtsbic und Grenzgrößen	65
Der Verformungsbic	68
Verkehrsbic	69
Verbrauchte Biomasse	73

Der Bic von Energieträgern	76
Biomassebic	77
Biomasse je Masse	78
Energie je Energie	78
Zeit und Bewegung	79
Leistungsgewicht von	81
Motoren und Fahrzeugen	
Der totale Masseverbrauch	81
bei Verkehrssystemen	
Lebensdauer	82
Elektrische Leitfähigkeit	83
Wärme	83
Wärmedämmung	83
Schall	84
Beschleunigung und Sprungkraft	84
Kosten und Biomasse	85
Energie und Volkswirtschaft	86

DAS BIC- λ -DIAGRAMM

Das große Bic- λ -Diagramm	90
Schwächen und Stärken dieses Diagramms	92
Untersuchungen zur Bestimmung des Bic	93

DER ZUGBELASTETE BEREICH

Zugbelastete Stäbe	96
Der gezogene Holzstab	98
Belastungsgrenzen bei lebenden Objekten	101
Zugbeanspruchung durch Eigengewicht, Reisslänge	103
Zugbeanspruchte Flächen unter einachsiger Belastung	105
Flächen unter zweiachsiger Belastung	106
Einzelprogramme: ZUG	108
Verformungsbic	116

DER DRUCKBELASTETE BEREICH

Der Bic bei Druckbelastung	120
Einachsiger Druck	120
Plumpe Objekte unter der Materialprüfmaschine	122
Die Untersuchung mit dem Druckrahmen	123
Grenzhöhen	125
Einzelprogramme: DRUCK	126

DER BIEGEBELASTETE BEREICH

Der Bic bei Biegung	136
Tra und Bic bei Biegung	138
Der eingespannte Stab	139
Versuchsdurchführung	139
Biegung einseitig eingespannter Stäbe unter gleichmäßig verteilter Last	140
Einzelprogramme: BIEGUNG	141
Biegebelastete Pneus	142

Verschiedene Materialbic	143
Der Bic von Brücken	144
Der Bic im Verkehr	146

LEICHTER MACHEN

Technik des Menschen	152
Das Werden technischer Produkte	154
Erfindung, Entwicklung, Erprobung	155
Materialentwicklung	156
Formbarkeit	161
Verstärken und Ausmagern	162
Fügen	163
Rechnerische Optimierung	164
Das Optimieren mit Hilfe von Trajektorien	166
Die Optimierung mit Bic und Tra	167
Formoptimierung	168
Das Modell	170
Das Planen	171
Vielfunktionales	172
Das Vermeiden	173
Das Optimieren von und mit Wegenetzen	174
Abiotische Selbstbildungsprozesse in Natur und Technik	175
Leichtbau in der lebenden Natur	183
Natürliche Pneus	187
Leichtbau in der toten Natur	191
Leichtbau in der Technik der Tiere	192
Zum Vorbild Natur	193
Das Prinzip Leichtbau in der Geschichte	198

KONSTRUIEREN UND OPTIMIEREN MIT TRA UND BIC

Das Optimieren mit TRA und BIC	202
Die Masse einer Konstruktion	202
Die Optimierung von Wegenetzen	204
Wegesysteme	206
Das generative minimalisierte Umwegesystem	210
Das Optimieren von einfachen Stabwerkskonstruktionen	211
Die Optimierung von Stäben unter Lasten	214
Der T_r -Wert ebener Fachwerke	222
Der Balken unter Gleichlast	224
Lasten in einer 'Schlucht'	226
Pneus	228
Umkehrkonstruktionen	241
Minimalflächen und Minimalnetze	243

ANHANG

Rolf Reiner	
Der Bic von Atomen und Molekülen	255
Eberhard Haug	
Aufwandsermittlung von Konstruktionen	267

PREFACE		The bio-mass Bic	77	The Bic of bridges	144
Remarks on how this work came about	7	Bio mass per mass	78	Bic in traffic	146
WHAT IS LIGHTWEIGHT?		Energy per Energy	78		
Introduction	11	Time and movement	79	TO MAKE THINGS LIGHTER	
Heavy and lightweight	14	Performance weight of engines and vehicles	81	Man-made technology	152
Mass and weight	14	Total mass consumption in traffic systems	81	The emergence of technical products	154
Large and lightweight	15	Life span	82	Invention, development, testing	155
It is useful to be light	16	Electric conductivity	83	Material development	156
Absolute weight	17	Heat	83	Formability	161
Longitudinal weight	17	Thermal insulation	83	Reinforcing and slimming	162
Weight per unit area	17	Sound	84	Joining	163
Density	18	Acceleration and take-off power	84	Arithmetical optimisation	164
Force	18	Costs and bio mass	85	Optimisation with the help of trajectories	166
The Compression	20	Energy and national economy	86	Optimisation via Bic and Tra	167
The Load	20			Optimising of form	168
Dead Load	22	THE BIC- λ -DIAGRAM		The model	170
Failure Load	23	The major Bic- λ -Diagram	90	Planning	171
Stresses	24	Weaknesses and strengths of the diagram	92	Multi-functionals	172
Stress	25	Investigations for determining the Bic	93	Avoidance	173
Stability	25			Optimising of and by road networks	174
Strength	26	THE SPHERE OF TENSILE LOADS		Abiotic automatic forming processes in nature and technology	175
Invisible = Lightweight	30	Tensile-loaded sticks	96	Lightweight constr. in living nature	183
Solid and at the same time lightweight?	31	The pulled wooden stick	99	Natural Pneus	187
Statics	32	Load limits in living objects	101	Lightweight constr. in inanimate nature	191
THE RELATIVE LIGHTWEIGHT		Tensile Stresses by dead load, tearing length	103	Lightweight constructions in the techniques of animals	192
Transportation of Masses and Forces	38	Tensile-Stressed surfaces under one-axial loads	105	On nature, the model	193
Obstacles	41	Surfaces under two-axial loads	106	The lightweight principle in history	198
Maximum Tra	43	Single diagrams: TENSILE STRESS	108	CONSTRUCTIONAL DESIGNING AND OPTIMISING WITH TRA AND BIC	
Deforming Tra	43	Deformation Bic	116	To optimise with Tra and Bic	202
Dead-Load Tra	43	COMPRESSIVE-LOADED SPHERE		The mass of a construction	202
Live-Load Tra	44	The Bic at compressive load	120	Optimisation of road networks	204
Outer and Inner Tra	44	One-axial compression	120	Road systems	206
BIC and λ		Plump objects in the material testing machine	122	The generative minimalised detour system	210
Notes about the Bic	46	Tests with the compression frame	123	Optimisation of simple bar constructions	211
The term 'Bic'	48	Maximum height	125	The optimisation of bars under load	214
The different Bic-values	50	Single diagrams: COMPRESSION	126	The T_r -value of even timbering constr.	222
The normal Bic	51	THE BENDING-LOADED SPHERE		The beam under a continuous load	224
Similarity	53	The Bic in bending	136	Loads in a 'Gorge'	226
Proportions	54	Tra and Bic in bending	138	Pneus	228
Slenderness	54	The fitted stick	139	Reverse constructions	241
Material and Bic	59	The experiment	139	Minimal surfaces and minimal networks	243
An overview	60	Bending of unilaterally fitted sticks under an evenly distributed load	140	ANNEX	
The Bic- λ -Diagram	62	Single diagrams: BENDING LOAD	141	Rolf Reiner	
The life-load Bic	62	Bending-loaded pneus	142	The Bic of Atoms and Molecules	255
Costs	63	Bic values of different materials	143	Eberhard Haug	
Dead-load Bic and ultimate values	65			Determining the input for constructions	267
The deformation Bic	68				
The traffic Bic	69				
Consumed bio mass	73				
The Bic of energy sources	76				