

**Herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Verkehr  
vom Luftfahrt-Bundesamt  
Sonderband II/S: Ballone**

# **Grundlagen der Luftfahrzeug- technik in Theorie und Praxis**

Die Inhalte dieses Werkes werden von Verlag, Herausgeber und Autoren nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengestellt. Eine rechtliche Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Angaben kann jedoch nicht übernommen werden.

Nach Redaktionsschluß bekanntgewordene Änderungen:

S. 27, 5. Zeile: statt Mit  $v = 1$  : Mit  $v = 1/\sigma$

S. 32, 4. Kasten: statt ....  $\Delta\sigma (H_{\max})$  .... : ....  $1/\Delta\sigma (H_{\max})$  ....

S. 33, letzter Absatz, 2. Zeile: statt ...  $T_u$  um  $T$  erwärmt ... : ...  $T_u$  um  $\Delta T$  erwärmt

#### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN: 978-3-8249-0084-8

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland®, Köln 1992

® TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group.

Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.

Printed in Germany

# GRUNDLAGEN FÜR AEROSTATEN - FAHRZEUGE IN THEORIE UND PRAXIS

Musterprüfung,

Kritische Bemerkungen und Empfehlungen zu den Luft -  
tüchtigkeitsforderungen LFHB und LFGB,

Instandhaltung und Ausbildung zum Prüfer für Heißluft - u.  
Gasballone

*Erstellt durch : Prof.Dr.Ing. W.Hallmann*

*Im Auftrage des Bundesministers für Verkehr*

---

FH - Aachen , BMV

Febr. 1992

Herausgeber:  
Prof.Dr.Ing.Willi Hallmann  
Kircheichstr. 27  
5120 Herzogenrath

*Lehrgebiete:* Thermodynamik u.Raumfahrttechnik  
in der Studienrichtung: *Luft- u.Raumfahrttechnik*  
an der Fachhochschule Aachen  
Hohenstaufenallee 6, 5100 Aachen

Tel. 0241 - 71067  
Fax. 0241 - 71066

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt  
Nachdruck nur mit Genehmigung des Autors

*Satz:* Reproduktionsfertige Vorlage des Autors  
*Layout:* Frau Sigrid Lehen

Erstellt und finanziert im Auftrage des  
Bundesministers für Verkehr, Bonn

*Druck:* Copy Team, Südstr., 5100 Aachen  
(gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier)

Erscheint gleichzeitig als Sonderdruck im  
Verlag TÜV-Rheinland GmbH und wird im Rahmen  
der gelben Bände "*Luftfahrttechnik, Bd. II, Flugwerk*", vertrieben

ISBN Nr.: 3-8249-0084-X

In Dankbarkeit meiner lieben Frau Christa  
und den Töchtern Isabel und Susanne gewidmet.

'Leseprobe'

'Leseprobe'

## Vorwort

Vom damaligen Geist großer Ballonpioniere:

..... Prof. César Charles bittet am 1. Dez. 1783, vor dem Start des 1. Gasballons mit zwei Menschen, Etienne Montgolfier einen kleinen Ballon zur Bestimmung der Windrichtung aufsteigen zu lassen (*10 Tage vorher hatte der erste bemannte Start mit einem Heißluftballon der Brüder Montgolfier stattgefunden*).

Dies tut Prof. Charles mit den Worten: "Ihnen mein Herr gebührt es, uns den Weg in den Himmel zu eröffnen. Denn Sie haben das Glück gehabt, uns den Weg vorzuzeichnen".

Und heute:

Die Ballonfahrt ist eine der aufregensten Arten in die Luft zu gehen. Ohne Motor- und Windgeräusche ist es eine Luftfahrt, die "die Menschen aus der Enge der Verkrampfung in eine Sphäre der Weite und des umfassenden Überblicks führt" (Zitat DAeC).

Um den Luftsport einheitlich zu organisieren, die Interessen der Luftsporttreibenden zu vertreten, gibt es internationale und nationale Vereinigungen.

Die **Fédération Aéronautique Internationale (FAI)** ist die Organisation zur Koordinierung aller luftsportlichen Interessen in der Welt. Sie wurde bereits 1905 gegründet und hat ihren Sitz in Paris. Ihr gehören die nationalen Luftsportvereine in Ost und West, aus Nord und Süd, unabhängig von ihren politischen Lagern oder Regierungsformen an. Nur diese ordentlichen FAI-Mitglieder haben die Sporthoheit in ihren Ländern und vertreten ihren Luftsport bei der FAI.

Die FAI ist die einzige internationale Körperschaft, die für den Luftsport Regeln aufstellen und durchsetzen kann, um Veranstaltungen und Rekorde im Bereich der Luft- und Raumfahrt zu überwachen und anzuerkennen.

Der **Deutsche Aero-Club e.V.** ist die nationale Vertretung aller Luftsporttreibenden, die in Verbänden und Vereinen Mitglieder sind. Den Freiballonsport vertritt die **Freiballon-Kommission des DAeC**.

'Leseprobe'

## Inhaltsangabe

1.	Überblick	1
1.1	Einleitung	3
1.1	Kurzer historischer Überblick	5
1.2	Begriffe und Einheiten	9
1.2.1	Einheiten im SI-System	12
1.2.2	Begriffe im SI-System	12
1.3	Beispiele aus der Praxis	16
1.3.1	Fazit zu Kap. 1.2 und 1.3	17
1.3.2	Empfehlungen für begriffliche Änderungen in den DVL Bau O - für LFHB u. LFGB	18
1.4	Einteilung der Ballone	20
1.4.1	Einteilung der Ballone nach Verwendungszweck	20
1.4.2	Einteilung der Ballone nach Rauminhalt	20
1.4.2.1	Gasballone - Gasfüllung (Leuchtgas, Wasserstoff)	20
1.4.2.2	Heißluftballone	22
1.4.2.3	Allgemeine Kategorie	22
1.4.3	Größenvergleich zwischen GB und HLB	23
2.	Physikalische Grundlagen zur Ballonfahrt	26
2.1	Gasballon	30
2.1.1	Auslegung eines Gasballons	31
2.1.1.1	Die Bedeutung der Prallhöhe	33
2.1.1.2	Der Einfluß der Sonneneinstrahlung auf die Gas- und Hüllentemperatur	33
2.2	Heißluftballon	39
2.2.1	Auslegung eines Heißluftballons	39
2.2.2	Wärmeverluste - Energiebilanz eines Heißluftballons	46
2.2.2.1	Auswertung theoretischer Zusammenhänge	46
2.3	Fazit zur Ballonhüllengeometrie und weitere Unterschiede im Aufbau zwischen Gas- und Heißluftballonen	55
3.	Aufbau und Komponenten eines Ballons	61
3.1	Gasballon (Korb, Hülle, Netz, Ballast, etc.)	61
3.1.1	Gasballonhülle	63
3.1.1.1	Hinweise auf elektrostatische Vorgänge	65
3.2	HLB (Korb, Hülle, Brenner, etc.)	71
3.2.1	Ballonhülle mit allem Zubehör	73
3.2.2	Heizanlage (Brenner und Zubehör)	74
3.2.3	Gaszylinder und Zubehör	78
3.2.4	Korb und Zubehör	81

3.3	Flugüberwachungs- und Navigationsgeräte für Ballone	84
3.3.1	Druckmesser (Variometer)	84
3.3.2	Höhenmesser	86
3.3.3	Kompaßanlagen	87
3.3.4	Temperaturmesser	88
4.	Material- und Prüfverfahren (allgemein) unter dem Gesichtspunkt der Produktsicherung	90
4.1	Baugruppenprüfung	91
4.1.1	Festigkeitsprüfung an Ballonhüllen, Garnen u. Leinen	91
4.1.1.1	Gasdurchlässigkeit/Luftdurchlässigkeit/Porosität	94
4.1.2	Prüfung an metallischen Teilen	98
4.1.3	Prüfung einer Gummiverklebung an der Hülle	101
4.2	Prüfung der Ballonflugeinheit im gefesselten Zustand	101
4.2.1	Vorschlag für ein neuzukonzipierendes Messverfahren an einer Ballonflugeinheit	102
5.	Prüfapparaturen für Untersuchungen an HLB-Hüllenmaterialien und Ergebnisse aus Langzeituntersuchungen	104
5.1	Porositätsuntersuchung und -messung	106
5.1.1	Definition der Porosität	112
5.1.2	Porositätsmeßgerät und Testphilosophie bei Raum- und Betriebstemperatur	113
5.2	Langzeitapparatur für HLB-Stoffe unter UVA/UVB und Temperaturbelastung	120
5.2.1	Testphilosophie, Gerätebeschreibung und -komponenten	120
5.2.1.1	Zusammenhänge zwischen Prüfmeßverfahren und Simulation der Sonne im Labor durch Lampen	125
5.3	Ergebnisse aus Langzeituntersuchungen	144
5.3.1	Diskussion der Ergebnisse	150
5.3.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	154
5.3.3	Empfehlungen für Behörden, Hersteller und Anwender	155
5.4	Bedeutung und Vermessung der Oberflächeneigenschaften von farbigen Stoffen	158
6.	Der Fahrbetrieb (Bau- und Prüfvorschriften)	162
6.1	Betriebsgrenzen und Betriebsverfahren	164
6.1.1	Betriebsgrenzwerte	165
6.1.2	Der Einsatz von Ballast	166

<b>6.2</b>	Wartungs- und Betriebshandbuch (Qualitätshandbuch)	167
<b>6.2.1</b>	Gasballon	167
<b>6.2.2</b>	Heißluftballon	181
<b>6.2.3</b>	Heißluft-Luftschiff	190
<b>7.</b>	Prüfungsrelevante Beispiele für "Klasse 3"	195
<b>7.1</b>	Rechnerische Ermittlung der Zuladung bzw. der Auftriebskraft bei Heißluftballonen	195
<b>7.2</b>	Festigkeitsberechnung	202
<b>7.2.1</b>	Rechnerische Ermittlung der maximalen Festigkeit des Ballonnetzes aufgrund der errechneten Auftriebskraft bei einem Gasballon	203
<b>7.3</b>	Ventilquerschnittsberechnung für Gasballone	205
<b>7.4</b>	Befund und Prüfbericht für HLB	207
<b>7.4.1</b>	Vorlage der Ballonfabrik Augsburg	207
<b>7.4.2</b>	Inspektion-Lufttüchtigkeitszeugnis nach Vorlage der <i>Fa. fire balloon GmbH</i>	214
<b>8.</b>	Abriß aktueller Erkenntnisse über das Temperatur- und Auftriebsverhalten bei HLB-Untersuchungen	223
<b>8.1</b>	Experimentelle Temperaturvermessung an einem HLB	223
<b>8.1.1</b>	Der Freiflug	228
<b>8.1.2</b>	Meßergebnisse, Auswertung und Analyse	231
<b>8.1.3</b>	Isothermencomputersimulation	233
<b>8.2</b>	Theoretische Temperaturberechnung an einem HLB - Thermalknotenpunktsmodell -	235
<b>8.2.1</b>	Analyse und Empfehlungen	243
<b>9.</b>	Literaturverzeichnis	247
<b>10.</b>	Danksagung	253
<b>11.</b>	Anhang 1: Arbeitsverfahren, Werkstoffe, Halbzeuge Anhang 2: Detaillierte Zusammenfassung der ausgewerteten Meßergebnisse des Langzeitprogramms für HLB-Hüllenstoffe	273

'Leseprobe'

## Überblick

In dieser Arbeit wird aufbauend auf den Ergebnissen einer technischen Untersuchung über Heißluftballonkomponenten versucht, die gewonnenen Erkenntnisse für die Praxis umzusetzen. Diese Untersuchung wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens des BMV durchgeführt.

Einbezogen und kritisch betrachtet werden dabei auch die gesetzlichen Lufttüchtigkeitsforderungen für bemannte Gas- u. Heißluftballone, sowie die Inhalte von Ballon-, Betriebs- und Wartungshandbüchern.

Es handelt sich bei diesem Beitrag u.a. um eine Empfehlung an zukünftige Prüfer von Luftfahrtgeräten der Klasse 3, Ballonen, zur Unterstützung des technischen und gesetzlichen Wissens. Darüber hinaus stellt der Inhalt einen z. Zt. aktuellen Beitrag zur Entscheidungsfindung bei internationalen Verhandlungen des bevorstehenden EG-Marktes im Bereich Ballone dar.

Die Durchführung dieser Arbeit wurde angeregt von Seiten des Luftfahrt-Bundesamtes, Braunschweig und des Bundesministers für Verkehr, Abt. Luftfahrt, Bonn.

Es soll an dieser Stelle auf einfache und aufrichtige Weise Herrn Dipl. Ing. G. Buslei für sein Engagement und seinen Weitblick gedankt werden. Er hat wichtige Impulse für eine Bestandsaufnahme zur Aerostatentechnik beigetragen.

'Leseprobe'

## 1. Einleitung

Die internationale Entwicklung der letzten 15 Jahre, insbesondere die Entwicklung in Deutschland auf dem Gebiet der Ballonaktivitäten, ist stark expandierend und lässt sich für Deutschland durch folgende Fakten belegen:

- Im Bereich der Gasballone (GB) hat sich die Zahl der zugelassenen GB von 1972 bis 1990 nur unwesentlich verändert. 1990 gab es 59 zugelassene GB bei 281 Piloten und 850 GB-Fahrten. In der Tendenz ist die Gesamtfahrtenzahl mit GB z.Zt. rückläufig, statistisch führte jeder Pilot 3 GB-Fahrten im Jahre 1990 durch.
- Ganz anders stellt sich die Entwicklung bei den Heißluftballonen (HLB) dar. 1984 wurden 104 HLB bei 183 Piloten und 4000 Fahrten/Jahr, 1990 wurden 429 HLB bei 720 Piloten und 11000 Fahrten/Jahr registriert (statistisch führte jeder Pilot 1990 ca. 15 HLB-Fahrten durch).

Bedingt durch diesen Sachverhalt wurden vom Bundesministerium für Verkehr, Abt. Luftfahrt in Bonn und dem Luftfahrt-Bundesamt in Braunschweig 1988 Untersuchungen für HLB initiiert. Die Forschungsaufträge beschäftigen sich mit Fragen der Produktsicherung, der Qualitätskontrolle und dem Fahrverhalten insbesondere der Komponenten Brenner und Ballonhülle. Diese Arbeiten wurden weitestgehend an der Fachhochschule Aachen im Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik durchgeführt. Das im Febr. 1991 in Aachen veranstaltete "Internationale Symposium über Heißluftaerostate" bot dabei ein Forum, welches Behörden, Hersteller und Anwender an einen Tisch brachte, um anstehende Unstimmigkeiten zu diskutieren /7/. Der Auftrag dieser Arbeit liegt jetzt darin, den Versuch zu unternehmen, auf der einen Seite das erworbene Wissen der neueren Erkenntnisse umzusetzen und auf der anderen Seite die z.Zt. gültigen Unterlagen wie

- 5. DV LuftBauO - LFHB vom 23.2.1982
- 6. DV LuftBauO - LFGB vorläufig Mai 1990
- Anlage 7 der Richtlinien der BMV für die Ausbildung und Prüfung des Luftfahrtpersonals
- Ballonhandbücher, Betriebshandbücher, Wartungshandbücher

für das Prüfungswesen für Prüfer von Luftfahrtgeräten der Klasse 3, Ballonen, mit einzubeziehen. Im Hinblick auf den gemeinsamen Markt in der EG in 1993 können zunächst auf nationaler Ebene vereinheitlichte Bestimmungen von Interesse und ausschlaggebender Bedeutung sein.

Hier wird insbesondere auf Begriffe und Einheiten einzugehen sein, die im Kapitel 1.2 behandelt werden. Wie aus dem Inhaltsverzeichnis erkennbar, ist die Gliederung so gehandhabt, daß Gasballone und Heißluftballone soweit wie möglich parallel abgehandelt werden.

Ganz wichtig erscheint dem Verfasser dieser Arbeit auch der Hinweis auf Kap. 1.1 dem kurzen historischen Überblick. Hier liegen die Wurzeln. Am physikalischen Prinzip des "Aerostatischen Fliegens" durch Gas oder heißer Luft hat sich seit den "Anfängen" der Ballonfahrt vor 208 Jahren nichts geändert. Die Gebrüder Montgolfier hatten selbst noch keine Ahnung von den Gasgesetzen und damit vom Auftrieb warmer Luft. Lediglich die Beobachtung, daß beim Verbrennen von Papier die Asche nach oben stieg, war Anlaß für die ersten Experimente mit Seidenpapierhüllen. Fragen der Porosität, der Festigkeit und der Fahrsicherheit wurden auch damals schon erkannt und angesprochen.

In der heutigen Zeit entwickelt sich die Ballonfahrt - Heißluftballone - zu einem nicht mehr zu vernachlässigenden Kommerzifaktor im Bereich der Werbung und der Freizeitgestaltung.

Neben dem einwandfreien Zustand des technischen Gerätes muß auch die Ausbildung und Weiterschulung des Piloten gewährleistet bleiben.

Die Beiträge der nachfolgenden Kapitel nehmen Bezug auf die *Literatur /1, 2, 3, 4, 5 . . ./*.

## 1.1 Kurzer historischer Überblick

Nachweislich gesichert und dokumentiert durch Bilder und Schriften gelang es Marquis D'Arlandes und Pilatre de Rozier am 21. Nov. 1783 in Paris mit einem *Heißluftballon* - einer Montgolfiere - als ersten Menschen in die dritte Dimension, die der Höhe, aufzusteigen. Die heiße Luft wurde durch Verbrennen von Stroh erzeugt. 10 Tage später, am 1.12.1783, fand der erste bemannte Aufstieg (Prof. Charles und Robert) in Paris mit einem Wasserstoffgasgefüllten *Gasballon* (Charliére) statt.

Beide Flugapparate funktionierten nach dem Prinzip "Leichter als Luft". Der Begriff "*AEROSTATISCHES* Fliegen" war geboren.

In einer großen Zahl internationaler Veröffentlichungen und Büchern sind die Vorgänge, Hintergründe und Meilensteine, die zu dieser Entwicklung führten, niedergeschrieben. Durch ansprechende Lithografien, Radierungen und Gemälden über den Beginn der Ballonfahrt vor gut 200 Jahren, wird unsere Phantasie angeregt.

Sehr eindrucksvoll werden in *Lit. /1/* die historischen Zusammenhänge beschrieben.

In dem nachfolgenden Abriß einer Zeittafel sind die Meilensteine zusammengefaßt.

- Am 5.6.1783 startete in Annonay eine 900 Kubikmeter Heißluftkugel. Initiatoren und Konstrukteure waren die Gebrüder Montgolfier.
- Am 27.8.1783 startete in Paris ein mit Wasserstoff gefüllter Gasballon. (Konstrukteur Prof. César Charles und die Brüder Robert)  
Die Hülle bestand aus einem mit Gummi bestrichenen Seidenballon von 4 m Durchmesser.
- Am 19.9.1783 startete eine 17 m hohe Montgolfiere mit 3 Tieren (Hammel, Hahn und Ente) an Bord vor 130 000 Zuschauern und Ludwig XV von Versailles aus.
- Am 21.11.1783 Start und Landung der ersten bemannten Montgolfiere (Heißluftballon). Fahrtzeit 25 Minuten.

- Am 1.12.1783 fand die zweite bemannte Fahrt in einer Charliere (Gasballon) mit Zwischenlandung statt. Flughöhe 3000 m.  
Der Gasballon war eine Entwicklung auf Bestellung. Wie heute, so wurden auch damals die Anfänge der Ballone durch Aufrufe mit öffentlichen Geldsammlungen finanziert.
- Am 7.1.1785 überquerte der erste Gasballon (Charliere) vom Startplatz Dover in England den Kanal (Blanchard und Dr. Jefries) nach Calais, Frankreich.
- Am 22.1.1785 schlug der Versuch fehl mit einer Roziere (Kombination von Gas- und Heißluftballon) den Kanal von Frankreich nach Dover zu überqueren (Pilâtre de Rozier und Pierre Ronain wurden beim Absturz getötet).

Nachdem die Technik des Ballonfahrens "beherrschbar" schien, spalteten sich die Ballonenthusiasten in Frankreich in zwei Lager. Die einen bevorzugten den Heißluftballon, die anderen den Gasballon. Den Gedanken, den Ballon für militärische Zwecke (Frankreich gegen England) einzusetzen und damit die Herrschaft in der Luft zu erlangen, war naheliegend.

In dieser Zeit gab es auch die erste Kritik an der Ballonfahrt.

- Sir George Cayley (1773 - 1857), wie auch Otto Lilienthal (1848 - 1896) gaben den Ballonen keine Zukunftschancen. Beide waren der Ansicht, daß sie hilflos den Winden ausgesetzt, nicht steuerbar waren. Durch Sir George Cayley wurden die ersten Gedanken zum "DYNAMISCHEN Flug" (schwerer als Luft) formuliert.
- Otto Lilienthal hat in seinem Buch (1889) "Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst" im Kapitel 39, den Ballon als Hindernis für die Entwicklung des eigentlichen Fliegeproblems bezeichnet. Für ihn stellte die 100-jährige Luftballonentwicklung ein Hemmnis dar, das die aerodynamischen Flugphasen-Fragestellungen unterbunden hat.

### o Wissenschaftliche Ballonfahrten

Im 19. Jahrhundert wurden verstkt Gasballone fr wissenschaftliche Missionen eingesetzt.

Im Jahre 1803 testete der aus Lüttich stammende Physiker Robertson (ursprünglich Robert) als Erster die Höhenwirkung an sich selbst aus.

Er stellte Trockenheit im Hals, geschwollene Adern und eine Tendenz zu Nasenbluten und Schlafrigkeit fest. Machte seine ersten Notizen über elektrische und magnetische Erscheinungen, nahm Tauben mit und beobachtete den Einfluß des Aufstiegs auf ihren Flug.

Nachdem die Ergebnisse dieser Fahrten in Paris bekannt geworden waren, stiegen die beiden berühmten französischen Wissenschaftler Biot und Gay Lussac im Sept. 1804 in Höhen bis 6700 m auf. Die Luft verschiedener Höhen wurde in Gasflaschen eingefüllt und anschließend am Erdboden untersucht. (Luftzusammensetzung als Funktion der Hohe.)

Der Ballon hat vieles zur Erforschung der Atmosphäre beigetragen, vorab die Kenntnis der Luftströmungen in verschiedenen Hohenlagen.

Weitere Meilensteine sind die Aufstiege von Auguste Picard:  
15800 m im Mai 1931 und 16200 m im August 1932.

Bis Mitte der 50er Jahre dieses Jahrhunderts (1955) geriet der Heißluftballon weitestgehend in Vergessenheit. Aus den USA kamen jetzt erneut die Impulse. In diesem Zusammenhang muß das Engagement der Fa. Raven Industries in Sioux Falls, South Dakota (heute AEROSTAR) hervorgehoben werden.

Durch die technische Entwicklung auf dem Gebiet der Hullenmaterialien und die Handhabung des Brennstoffes "Propan"  $C_3H_8$  in Flaschen, wurde die Entwicklung stker in der Werkstatt als am Zeichenbrett vorangetrieben. Am 12. Nov. 1960 war es nach den üblichen Vorversuchen soweit, daß der Programmanager und Pilot Paul Edward Yost mit "MARK II" die moderne Heiluftballongeschichte einleitete.

-> Hinweis auf ECHO 1 -> Ballon passiver Nachrichtensatellit.

Start am 12.8.1960 mit einer Thor Delta Rakete  
(Ballondurchmesser 30 m).

Der Pilot saß in einem "Stuhl" mit dem Brenner dicht über seinem Kopf. Das Gesamtgewicht betrug ca. 210 kg bei 770 m<sup>3</sup> Ballonvolumen. Der Brennstofftank faßte 55 kg, Hüllen- und Brennergewicht betragen 40,5 kg, Instrumente und Fallschirm wogen 15,3 kg. Diese Aktivitäten führten zum "modernen Montgolfier-System", so wie wir es heute kennen. Interessant ist, daß bei den heutigen "Ein-Mann-HLB"-Systemen die Komponentengewichte nur unwesentlich differieren von denen von 1960 (Lit /3/).

Beschrieben wurde in diesem Kapitel die Entwicklung der Ballone für die Zeit von 1783 bis heute. Aber gab es nicht schon zur Zeit der Inkas, vor ca. 1000 Jahren die Fähigkeit in dieser Kultur, Heißluftballone zu bauen und zu betreiben? (Lit /4/).

Mit den heutigen Erkenntnissen muß diese Frage mit ja beantwortet werden. Die Fa. Raven (*Sioux Falls, USA*) hat in den siebziger Jahren mit den Materialien und der Technik der damaligen Zeit den Nachweis erbracht, daß die technologische Möglichkeit bereits damals vorhanden war, einen Tetraeder als Ballonform zum "Fliegen" zu bringen.

In Bild 1 ist die zeitliche Entwicklung der charakteristischen Heißluftballonformen mit ihren Nutzplattformen, wie

- Binsengondel für Ballon "Condor 1"
- Gallerie für "Montgolfiere"
- Stuhl für "Mark II"
- Korb für "moderne HLB"

dargestellt. Die Charliere als Gasballon hatte in ihren Anfängen Gondeln als Beförderungsplattformen.

Bild 1a zeigt anhand eines Kupferstiches die Fertigungsschritte zur Herstellung und den Betrieb von Heißluft- und Gasballonen um 1785.

Der Vollständigkeit wegen muß an dieser Stelle aber auch die Entwicklung des Heißluft-Luftschiffes der neueren Generation erwähnt werden. Heißluft-Luftschiffe wurden Mitte der siebziger Jahre in England durch *Don Cameron* entwickelt. Diese ersten Schiffe waren "in die Länge gezogene" Heißluftballone. Der Innendruck war äußerst gering, entsprechend gering sind die Flugleistungen.

Wenige Jahre später stellte die Firma *Thunder & Colt* der Öffentlichkeit einen Luftschifftypen vor, der wie ein herkömmliches Prall-Luftschiff über einen gewissen Überdruck verfügte. Die Flugleistungen waren bedeutend verbessert, die Komplexität des gesamten Gerätes allerdings deutlich höher als beim Cameron Typ. Von beiden Luftschifftypen dürften bis Ende 1991 weltweit etwa 100 abgestzt worden sein.

Es zeichnet sich ab, daß die Heißluft-Luftschiffe eine wichtige Funktion u.a. als Dokumentations- und Beobachtungsvehicle bei Umweltproblemen einnehmen. An dieser Entwicklung ist die Fa. *GEFA FLUG*, Aachen maßgeblich beteiligt.

## 1.2 Begriffe und Einheiten

### - *Vorbemerkung:*

Die Umsetzung der Abschnitte A,B und C der Durchführungsverordnung zur Bauordnung für Luftfahrtgeräte (*Lufttüchtigkeitsforderungen für Heißluftballone und Gasballone*)

- o 5.DV LuftBauO - LFHB vom 23.5.1982 /14/
- o 6.DV LuftBauO - vLFGB vorläufig vom Mai 1990 /15/

in technische Beschreibungen, Handbücher und Richtlinien für Ausbildungs- und Prüfungspersonal macht es dem Leser, Hersteller und Anwender hinsichtlich Begriffen und Einheiten sehr schwierig, sich zurechtzufinden.

Der Grund ist wohl darin zu sehen, daß im Sektor Gasballone bis vor kurzem die "Verordnung über die Bau- und Prüfvorschriften für Freiballone vom Febr. 1938 Gültigkeit hatte. Im Sektor Heißluftballone erfolgte in den 70er Jahren eine Anpassung an die US-amerikanischen Bauvorschriften für bemannte Freiballone FAR Part 31, an die französischen (*Conditions Techniques Generales 015*) sowie an die der British Airworthiness Requirements, Manned Free Balloons (*ISSUE2*).

Der Hinweis in den vLFGB, daß die SI-Einheiten und die davon abgeleiteten Einheiten zu benutzen sind, ist korrekt, reicht aber im Dschungel der Begriffe und der seit 1954 dreimal umgestellten Einheiten nicht aus, um dem Leser Klarheit zu verschaffen.

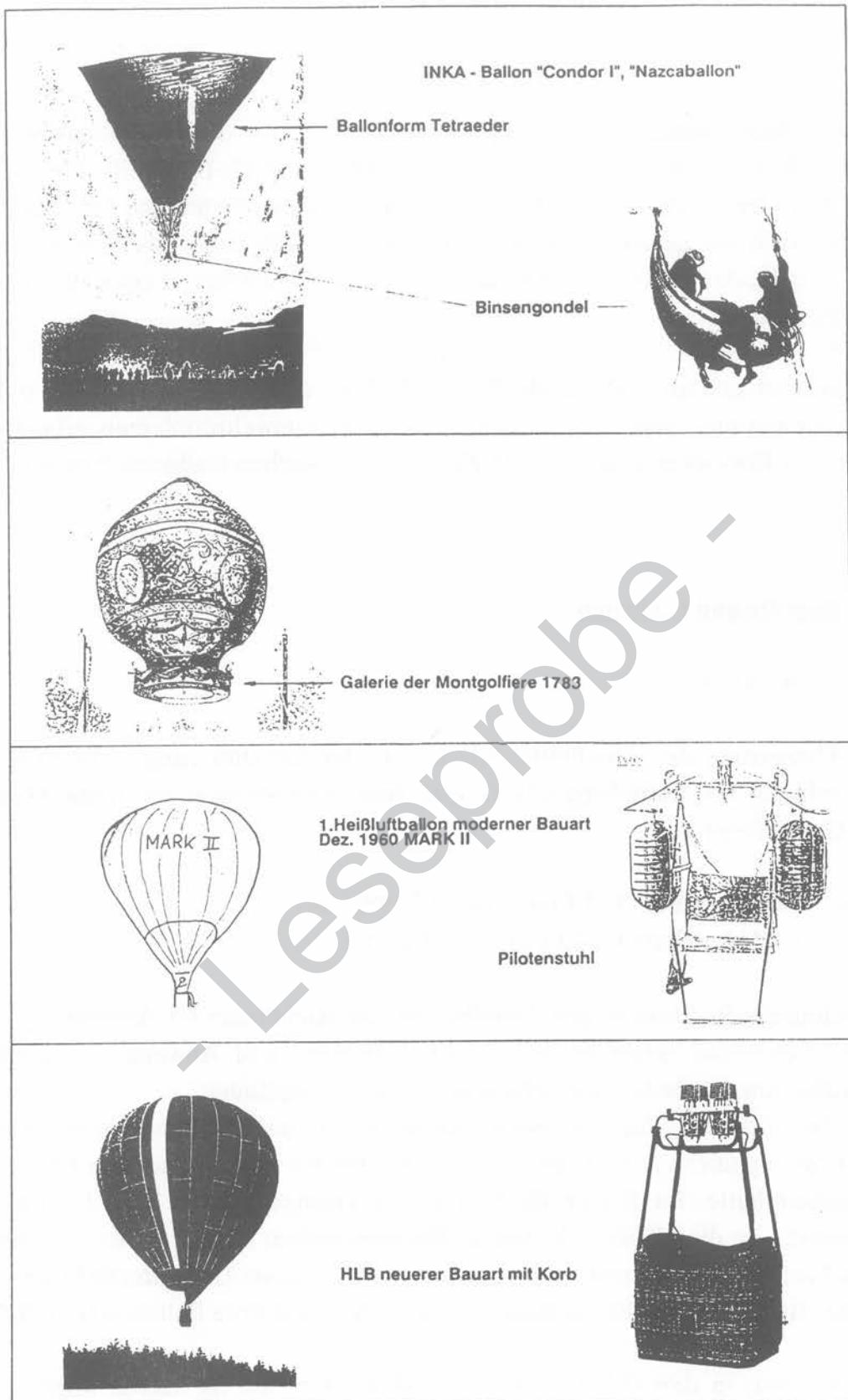


Bild1: Die Entwicklung der "Nutzplattformen" bei Heißluftballonen

# Journal AEROSTATION, &c.

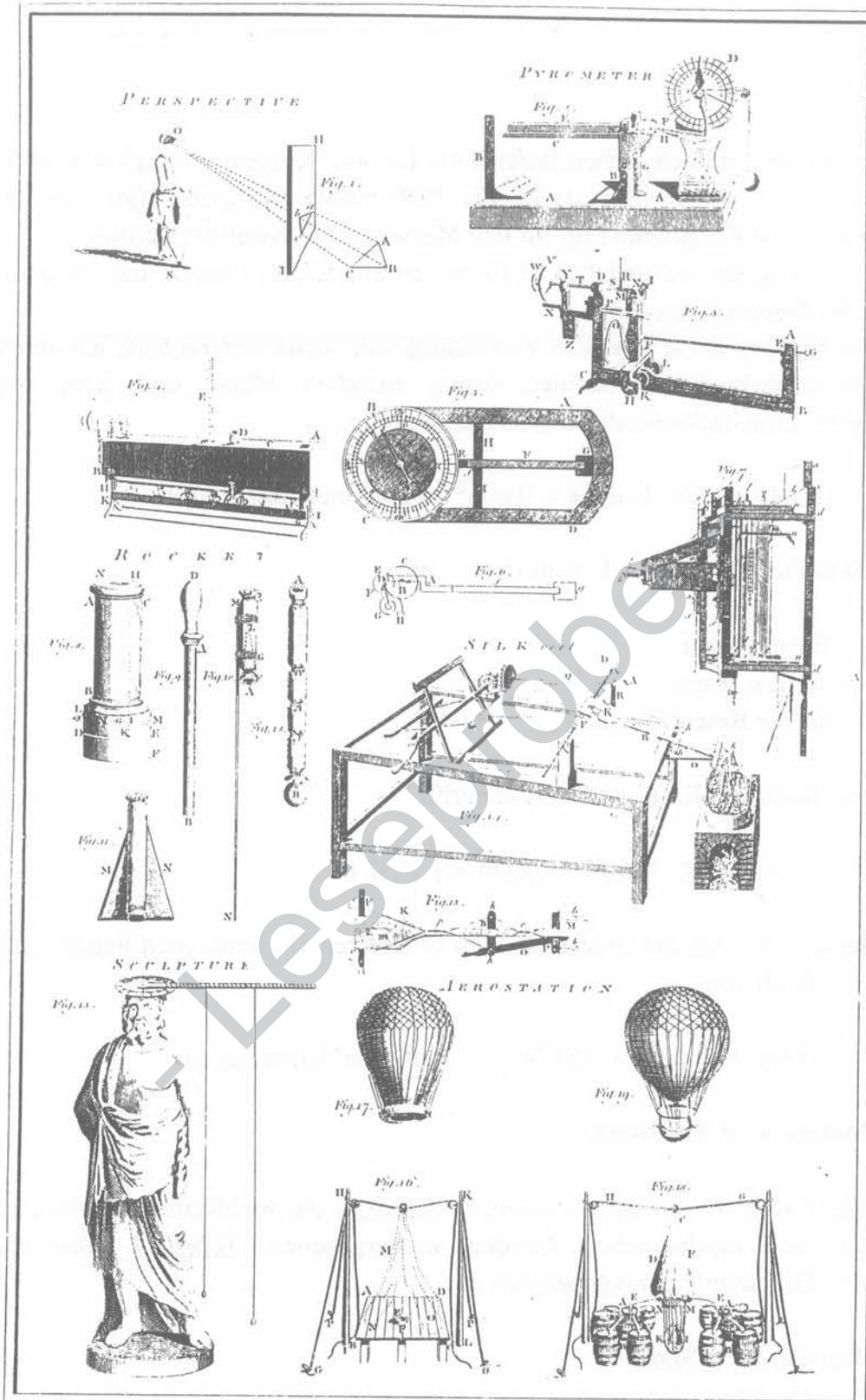


Plate 25.

Published according to Act of Parliament by West-Haynes the Printer, from Newgate Prison.

**Bild 1a: Ballonfertigungsschritte um 1785, im besonderen die Füllvorgänge bei Gas- u. HLB**

Im Auftrage des BMV u. LBA	Arbeitsunterlagen zur AEROSTATEN - Technik Gas - und Heißluftballone	Prof.Dr.W. Hallmann Aachen , Dez.1991
-------------------------------	---	--

Bis ca. 1960 war im technischen Bereich die Einheit "Kilogramm" (kg) sowohl für Masse als auch für Kraft zulässig. Bis 1970 mußte "Kilopond" (kp) für den Kraftbegriff und Kilogramm (kg) für den Massebegriff verwendet werden.

Mit Einführung der gesetzlichen SI-Einheiten am 5.7.1970 wurde das "Newton" (N) zur Krafteinheit verordnet.

Dies war logisch, da die intensive Verbindung von *Physik und Technik*, u.a. durch die Weltraumaktivitäten bedingt, streng zwischen Masse und Kraft bei veränderter Gravitationskraft unterscheiden mußte.

( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  auf der Erde,  $g = 0 \text{ m/s}^2$  im erdnahen Weltraum)

Das Newton'sche Gesetz  $K = m \cdot b$  mit

$K \rightarrow$ für die Kraft	$\rightarrow N$
$m \rightarrow$ für die Masse	$\rightarrow kg$
$b \rightarrow$ für die Beschleunigung	$\rightarrow m/s^2$ ,

wurde zur Basis von Kraft- und Massebegriff.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = [\text{kg m/s}^2], \text{ d. h.}$$

eine Masse von 1 kg, auf dem Erdboden in unseren Breitengraden liegend, übt somit eine Kraft von

$$1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ N} \quad \text{auf seine Unterlage aus.}$$

### 1.2.1 Einheiten im SI-System

In *Tabelle 1* sind die 6 Basiseinheiten, in *Tabelle 2* die wichtigsten abgeleiteten Einheiten der mechanischen Größen wiedergegeben. *Tabelle 3* führt die bekannten Druckumrechnungsfaktoren auf.

### 1.2.2 Begriffe im SI-System

Um zukünftig in den *Bau- und Prüfvorschriften* Verwechslungen und Fehler in Größen- und Zahlenwertgleichungen auszuschließen, wird empfohlen sich streng an die zugelassenen Begriffe für Masse in kg und Kraft in Newton (N) zu orientieren. In *Tabelle 4* und *Tabelle 5* sind zulässige Begriffe für Masse und Kraft angegeben.