

**AT** MICROFICHE  
REFERENCE  
LIBRARY  
A project of Volunteers in Asia

Roof Constructions for Housing in Developing Countries

By: Kiran Mukerji, Justin H. Whipple,  
and Rodolfo Castillo Escobar

Published by: German Agency for Technical Cooperation (GTZ)  
P.O. Box 5180  
Dag-Hammarskjold-Weg 1  
D-6236 Eschborn/Ts.  
Germany

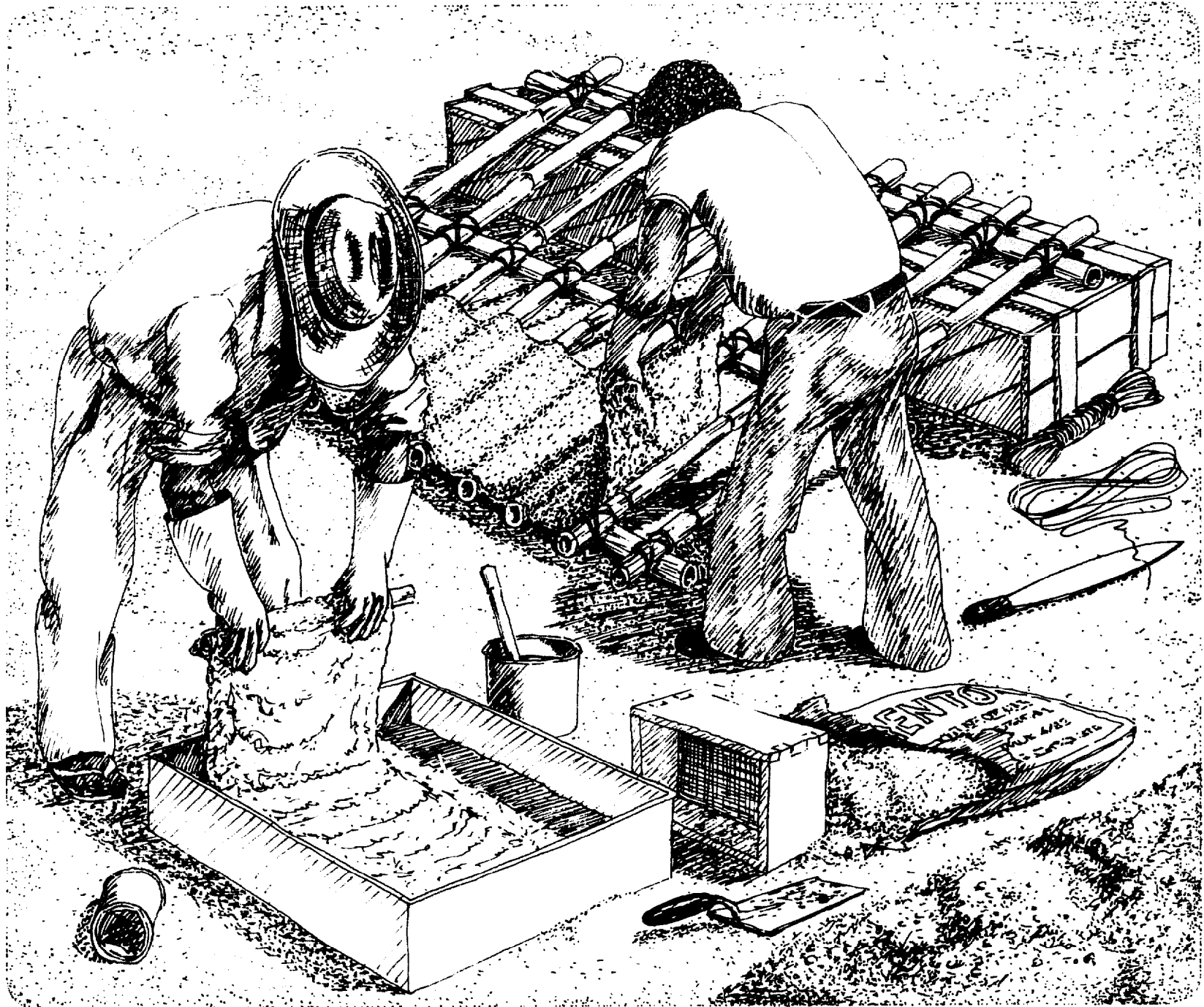
Available from: German Agency for Technical Cooperation (GTZ)  
P.O. Box 5180  
Dag-Hammarskjold-Weg 1  
D-6236 Eschborn/Ts.  
Germany

Reproduced with permission.

Reproduction of this microfiche document in any form is subject to the same restrictions as those of the original document.



**Aus der  
Arbeit von  
gtz**



**DACHKONSTRUKTIONEN  
FÜR DEN WOHNUNGSBAU  
IN ENTWICKLUNGS-  
LÄNDERN**

**ROOF CONSTRUCTIONS  
FOR HOUSING  
IN DEVELOPING  
COUNTRIES**

## **DACHKONSTRUKTIONEN FÜR DEN WOHNUNGSBAU IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN**

Bericht über eine Forschungsstudie in Zentralamerika (1979)  
im Auftrag von



German Appropriate Technology Exchange  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1, 6236 Eschborn 1  
(Projektnummer 77.2518.7)

Durchführung  
Institut für Tropenbau, Dr.-Ing. Georg Lippsmeier (I.F.T.)  
Waldschmidtstraße 6 a, 8130 Starnberg, Bundesrepublik Deutschland

in Zusammenarbeit mit  
Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI)  
Avenida la Reforma 4 - 47, Zona 10, Guatemala City, Guatemala

Bearbeiter

Dipl.-Ing. Kiran Mukerji (I.F.T.)

Ing. Justin H. Whipple  
Sub-Chief, Industrial Services Division (ICAITI)

Ing. Rodolfo Castillo Escobar  
Banco Nacional de la Vivienda (BANVI/ICAITI)

Eschborn, Juli 1982

## **ROOF CONSTRUCTIONS FOR HOUSING IN DEVELOPING COUNTRIES**

Report on a Research Study in Central America (1979)  
on behalf of



German Appropriate Technology Exchange  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1, 6236 Eschborn 1  
(Project Number 77.2518.7)

Carried out by  
Institut für Tropenbau, Dr.-Ing. Georg Lippsmeier (I.F.T.)  
Waldschmidtstraße 6 a, 8130 Starnberg, Federal Republic of Germany

in cooperation with  
Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI)  
Avenida la Reforma 4 - 47, Zona 10, Guatemala City, Guatemala

Authors

Dipl.-Ing. Kiran Mukerji (I.F.T.)

Ing. Justin H. Whipple  
Sub-Chief, Industrial Services Division (ICAITI)

Ing. Rodolfo Castillo Escobar  
Banco Nacional de la Vivienda (BANVI/ICAITI)

Eschborn, July 1982

Umschlagbild :

Experimentelles Niedrigkosten-Bedachungselement : auf einer Bambus-Unterkonstruktion wird Jute-Sackmaterial verlegt, unmittelbar nachdem es in einer dickflüssigen Mischung aus Bimssand, Zement und Wasser (bzw. Erde, Kalk und Wasser) getaucht wurde. Nach Glättung der Oberfläche entsteht der Eindruck einer Wellblech- oder Asbestzement-Deckung. (Siehe Abschnitt 6.2.2)

Cover illustration :

Experimental low cost roofing element : on a bamboo framework, jute sacking material is laid immediately after dipping it in a thick mixture of pumice-sand, cement and water (or soil, lime and water). After smoothening the surface, the roof resembles corrugated steel or asbestos cement sheeting. (See section 6.2.2)

Herausgegeben von:  
Deutsche Gesellschaft für  
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH  
Postfach 5180  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1  
D-6236 Eschborn/Ts.

Druck:  
typo-druck-rossdorf gmbh  
Bruchwiesenweg 19, D-6101 Roßdorf 1  
ISBN 3 - 88085 - 150 - 6

Published by:  
Deutsche Gesellschaft für  
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH -  
German Agency for Technical Cooperation (GTZ)  
P.O. Box 5180  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1  
D-6236 Eschborn/Ts.  
Federal Republic of Germany

Print:  
typo-druck-rossdorf gmbh  
Bruchwiesenweg 19, D-6101 Roßdorf 1  
ISBN 3 - 88085 - 150 - 6

## INHALT

1.	EINLEITUNG (I.F.T. + ICAITI)	1
1.1	Zielsetzung	1
1.2	Verfahrensweise	2
2.	DÄCHER FÜR DEN WOHNUNGSBAU (I.F.T.)	3
2.1	Herkömmliche Dachtypen	3
2.1.1	Flache Dächer	3
2.1.2	Pultdach, Satteldach und Walmdach	4
2.1.3	Gekrümmte Dächer	5
2.1.4	Andere Dacharten	6
2.2	Gestaltungskriterien des Daches	7
3.	ENTWURFSÜBERLEGUNGEN (I.F.T.)	11
3.1	Örtliche Traditionen und Bauvorschriften	11
3.1.1	Örtliche Traditionen	11
3.1.2	Bauvorschriften	13
3.2	Klimatische Anforderungen	13
3.2.1	Dächer für feuchtwarmes Klima	13
3.2.2	Dächer für trockenheißes Klima	16
3.3	Schutz gegen Gefahren	22
3.3.1	Biologische Schädlinge	22
3.3.2	Wind und Regen	24
3.3.3	Erdbeben und Feuer	26
3.4	Materialwahl	28
3.4.1	Anorganische Materialien	28
	Stein	28
	Erde	29
	Metalle	31
	Zement-Produkte	34
	Asbestzement	35
3.4.2	Organische Materialien	37
	Gräser, Palmen, pflanzliche Fasern	37
	Holz	40
	Bituminöse Produkte	41
	Anstriche	43
	Kunststoffe	44

## CONTENTS

1.	INTRODUCTION (I.F.T. + ICAITI)	1
1.1	Aim	1
1.2	Methodology	2
2.	ROOFS FOR HOUSING (I.F.T.)	3
2.1	Common Roof Types	3
2.1.1	Flat Roofs	3
2.1.2	Single Pitched, Gabled and Hipped Roofs	4
2.1.3	Curved Roofs	5
2.1.4	Other Roof Types	6
2.2	Factors Influencing Roof Design	7
3.	DESIGN CONSIDERATIONS (I.F.T.)	11
3.1	Local Traditions and Codes	11
3.1.1	Local Traditions	11
3.1.2	Building Codes	13
3.2	Climatic Requirements	13
3.2.1	Roofs for Warm Humid Climates	13
3.2.2	Roofs for Hot Dry Climates	16
3.3	Protection against Hazards	22
3.3.1	Biological Agents	22
3.3.2	Wind and Rain	24
3.3.3	Earthquakes and Fire	26
3.4	Choice of Materials	28
3.4.1	Inorganic Materials	28
	Stone	28
	Soil	29
	Metals	31
	Cement Products	34
	Asbestos Cement	35
3.4.2	Organic Materials	37
	Grasses, Palms, Fibrous Plants	37
	Timber	40
	Bituminous Products	41
	Paints	43
	Plastics	44

3.4.3	Abfallmaterialien	45
	Landwirtschaftliche Abfälle	45
	Industrieabfälle	45
3.5	Verschiedene Gesichtspunkte	46
3.5.1	Dimensionen	46
3.5.2	Dachneigungen	46
3.5.3	Statisches Verhalten	47
3.5.4	Wärme- und Feuchtigkeitsbewegungen	48
3.5.5	Wirtschaftliche Überlegungen	49
4.	ALLGEMEINE ÜBERSICHT ÜBER NIEDRIGKOSTEN-DACHSYSTEME (I.F.T.)	50
4.1	Herkömmliche Systeme	50
4.1.1	Traditionelle Dächer	50
	Flache Dächer	51
	Pulldächer	52
	Sattel- und Walmdächer	54
	Konische und bienenkorbformige Dächer	56
	Halbkugelförmige Dächer	60
	Tonnenförmige Dächer	62
	Freie Dachformen	64
4.1.2	Gegenwärtige Standarddächer	66
	Holzkonstruktionen	66
	Dachziegel	68
	Schindeldeckung	69
	Metaldachdeckung	69
	Wellplatten	70
	Beton- und Ziegeldächer	71
	Dachabdichtung auf Bretterschaltung	72
	Leichtbauplatten	72
	Dachbeschattung	73
	Abgehängte Decken	73
4.2	Neuentwicklungen	74
4.2.1	A.I.D.-Monsanto Forschungsprojekt für Low-Cost-Dächer	74
4.2.2	Faserverstärkte Dachplatten	74
4.2.3	Woudenberg Jute-Plastik, Bangladesh	77
4.2.4	Ultra Low-Cost Housing für Bangladesh	78
4.2.5	In Indien entwickelte Dachelemente	79
4.2.6	In Südafrika entwickeltes Dachdeckungselement	81
4.2.7	Ecol House, Canada	82
4.2.8	Bambus-Polyurethan-Dachkonstruktion, Peru	83
4.2.9	Kokospalmdächer, Philippinen	83

3.4.3	Waste Materials	45
	Agricultural Waste	45
	Industrial Waste	45
3.5	Miscellaneous Aspects	46
3.5.1	Dimensions	46
3.5.2	Roof Slopes	46
3.5.3	Structural Performance	47
3.5.4	Thermal and Moisture Movement	48
3.5.5	Economic Considerations	49
4.	GLOBAL REVIEW OF LOW-COST ROOFING SYSTEMS (I.F.T.)	50
4.1	Systems in Common Usage	50
4.1.1	Traditional Roofs	50
	Flat roofs	51
	Single pitched roofs	52
	Double pitched and hip roofs	54
	Conical and beehive shaped roofs	56
	Hemispherical roofs	60
	Barrel vaults	62
	Free forms	64
4.1.2	Contemporary Standard Roofs	66
	Timber constructions	66
	Roof tiles	68
	Shingle decking	69
	Sheet metal roofing	69
	Corrugated sheets	70
	Concrete and brick roofs	71
	Waterproofing on timber boarding	72
	Lightweight building boards	72
	Roof shading	73
	Suspended ceilings	73
4.2	New Developments	74
4.2.1	A.I.D.-Monsanto Low-Cost Roof Research Project	74
4.2.2	Fibre Reinforced Roof Sheets	74
4.2.3	Woudenberg Jute-Plastic, Bangladesh	77
4.2.4	Ultra Low-Cost Housing for Bangladesh	78
4.2.5	Roofing Elements Developed in India	79
4.2.6	Roofing Element Developed in South Africa	81
4.2.7	Ecol House, Canada	82
4.2.8	Bamboo-Polyurethane Roof Structure, Peru	83
4.2.9	Coconut Palm Roofs, Philippines	83

4.2.10	Hängedachsystem, Korea	84
4.2.11	Versuchsbauten der Gesamthochschule Kassel, Deutschland	84
4.2.12	Schaumstoff-Iglus	88
4.2.13	Membran-Konstruktionen, Deutschland	89
4.2.14	Faltwerk-Bauten, Großbritannien	91
4.2.15	Abfalldächer, USA	91

5.	DÄCHER IN ZENTRALAMERIKA (ICAITI)	93
5.1	Allgemeines	93
5.1.1	Topographie, Klima und Naturereignisse	93
5.1.2	Bevölkerung, Kultur und Traditionen	101
5.1.3	Baumaterialien	103
5.2	Gebräuchliche Bedachungssysteme	107
5.2.1	Quantitativer Vergleich bestehender Bedachungssysteme	107
5.2.2	Typische Beispiele für bestehende traditionelle und handelsübliche Dächer	112
5.2.3	Neue Entwicklungen	118
6.	MÖGLICHE NEUENTWICKLUNGEN FÜR ZENTRALAMERIKA (ICAITI + I.F.T.)	121
6.1	Auswahl von Materialien für Vortests	121
6.2	Vorbereitung und Erprobung von Prototyp-Bedachungssystemen	125
6.2.1	Testtafeln	125
6.2.2	Prototyp-Bedachungssysteme	131
6.2.2.1	Verfahrensweise und Versuchsergebnisse	131
	Erste Versuchsreihe:	
	1-1 Mit Zement-Sand getränkte Säcke	131
	1-2 Zement-Sand oder stabilisierte Erde auf Rohrunterkonstruktion	134
	1-3 Stabilisierte Erde mit Oberflächenbehandlung über Rohrunterkonstruktion	136
	Zweite Versuchsreihe:	
	2-1 Zement-imprägnierte Säcke	141
	2-2 Mit stabilisierter Erde imprägnierte Säcke	144
	2-3 Unbewehrter Zement-Bims über Rohrgerüst	145
	2-4 Unbewehrte stabilisierte Erde auf Rohrgerüst	146
6.2.2.2	Vorläufige Kostenschätzungen	150

4.2.10	Suspension Type Roof System, Korea	84
4.2.11	Experimental Structures of University Kassel, Germany	84
4.2.12	Foam Igloos, Germany	88
4.2.13	Membrane Structures, Germany	89
4.2.14	Folded Surface Structures, United Kingdom	91
4.2.15	Garbage Roofing, USA	91

5.	ROOFING IN CENTRAL AMERICA (ICAITI)	93
5.1	General Considerations	93
5.1.1	Topography, Climate and Natural Hazards	93
5.1.2	Population, Culture and Traditions	101
5.1.3	Building Materials	103
5.2	Roofing Systems in Common Usage	107
5.2.1	Relative Importance of Existing Roofing Systems	107
5.2.2	Typical Examples of Existing Traditional and Proprietary Roofs	112
5.2.3	New Developments	118
6.	POSSIBLE NEW APPLICATIONS FOR CENTRAL AMERICA (ICAITI + I.F.T.)	121
6.1	Selection of Materials for Preliminary Testing	121
6.2	Preparation and Testing of Prototype Samples	125
6.2.1	Test Plaques	125
6.2.2	Prototype Roofing Systems	131
6.2.2.1	Preparation and Experimental Results	131
	First Series:	
	1-1 Cement-Sand Impregnated Sacks	131
	1-2 Cement-Sand or Stabilized Soil Applied Over Cane Support	134
	1-3 Stabilized Soil With Surface Protection Over Cane Support	136
	Second Series:	
	2-1 Cement Impregnated Sacks	141
	2-2 Stabilized Soil Impregnated Sacks	144
	2-3 Cement-Pumice Over Cane Support	145
	2-4 Stabilized Soil Over Cane Support	146
6.2.2.2	Preliminary Cost Considerations	150

7.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG (I.F.T. + ICAITI)	154
7.1	Mögliche Lösungen	154
7.2	Das ideale Dach	156
7.3	Schlussfolgerung	158
	BIBLIOGRAPHIE (I.F.T. + ICAITI)	159

7.	SUMMARY AND CONCLUSION (I.F.T. + ICAITI)	154
7.1	Possible Solutions	154
7.2	The Ideal Roof	156
7.3	Conclusion	158
	BIBLIOGRAPHY (I.F.T. + ICAITI)	159



## 1. EINLEITUNG

### 1.1 Zielsetzung

Der gebräuchliche Spruch, "ein Dach über dem Kopf haben", vermittelt ein Gefühl der Sicherheit und Behaglichkeit. Viele Wohnungsbaugesellschaften und Bausparkassen verwenden das Dach als Symbol, wobei "Dach" und "Wohnstätte" als Synonyme verstanden werden. Aber auch technisch ist das Dach der wichtigste Teil des Hauses: es kostet am meisten; gerechnet nach Fläche und Orientierung ist es der Teil, der den Elementen am meisten ausgesetzt ist, und es ist der Teil, der hauptsächlich für den Komfort im Haus und für Schäden durch Erdbeben und Wirbelstürme verantwortlich ist.

Jedoch trotz dieser Bedeutung des Daches ist es wahrscheinlich der meist vernachlässigte Teil in bezug auf Forschung und Entwicklung. So werden in Entwicklungsländern, abgesehen von herkömmlichen Bauwerken, immer mehr verzinktes Wellblech und, in geringerem Maße, Asbestzement verwendet, obwohl diese eine Anzahl von schwerwiegenden Nachteilen mit sich bringen.

Diese Überlegungen und die Tatsache, daß mangelhafte Bedachung in katastrophengefährdeten Regionen, wie Zentral-Amerika, Tausende von Leben gekostet hat, waren die Motivierung für diese Forschungsarbeit. Initiiert und finanziert wurde sie von der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH im Rahmen der deutschen technischen Hilfe.

Zweck dieses neunmonatigen Forschungsprojektes war, alle verfügbaren Materialien über kostengünstige Bedachungen sowohl global als auch die Situation in Zentral-Amerika im Detail zu untersuchen, und auch Materialien, Bausysteme und Herstellungsmethoden zu identifizieren, die

- erdbeben- und hurrikanbeständig sind,
- für die gegebenen klimatischen Bedingungen geeignet sind,
- Kosten für Einfachwohnbau reduzieren helfen,
- für Selbsthilfe und genossenschaftliche Wohnbauprojekte angewandt werden können,
- maximalen Einsatz von lokalen Ressourcen ermöglichen,
- ausreichend dauerhaft sind und niedrige Instandhaltungskosten verursachen,
- örtlich hergestellt werden können, auch in kleinem Umfang.

Es muß betont werden, daß ein Forschungsbericht über Bedachungssysteme nie komplett sein kann. Die Vielfalt von Formen, Bauarten und Materialien, die verwendet werden, ist unbegrenzt. Das Ziel war jedoch, grundlegende Daten über die wichtigsten Aspekte von Bedachungsmaterialien und -konstruktionen in Entwicklungsländern vorzustellen und den Weg für weitere Forschung zu bahnen.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Aim

The common phrase "to have a roof over one's head" communicates a sense of security and comfort. Many housing organizations and housing banks use the roof as a symbol, suggesting a synonymy of "roof" and "shelter". But even technically the roof is the most significant part of a house: it costs the most, by area and orientation it is the part most exposed to the elements, and it is the part primarily responsible both for indoor comfort and for damage suffered during earthquakes and hurricanes.

Yet despite the importance of the roof, it is probably the most neglected part in terms of research and development. Thus in developing countries, apart from traditional structures, corrugated galvanized iron and, to a lesser extent, asbestos cement are increasingly being used, even though they have a number of serious disadvantages.

These considerations, and the fact that deficient roofing in disaster prone regions, such as Central America, has cost thousands of lives, were the motivations behind this research study. It was initiated and financed by the German Agency for Technical Cooperation, Ltd. (GTZ) within the scope of German technical aid.

The object of the nine-month research project was to study all available material on low-cost roofing, both on a global scale as well as in detail on the situation in Central America, and to identify materials, construction systems and production processes that:

- are earthquake and hurricane resistant,
- are appropriate for the given climatic conditions,
- help to reduce costs for low-cost housing,
- can be implemented in self-help and cooperative housing schemes,
- make maximum use of local resources,
- have sufficient durability and low maintenance costs,
- can be produced locally even on a small scale.

It must be stressed that a research report on roofing systems can never be complete. The diversity of shapes, constructions and materials used is unlimited. However, the object was to present basic data on the most important aspects of low-cost roofing in developing countries and to prepare the way for deeper research.

## 1.2 Verfahrensweise

Während dieses Forschungsprojektes war das Sammeln von Daten die Hauptaufgabe. Dies geschah hauptsächlich durch

- bibliographische Ermittlungen
- Schriftverkehr mit verschiedenen Instituten und Sachverständigen in einer Anzahl verschiedener Länder
- Besuche von interessanten Baustellen und Produktionseinheiten für Baumaterialien, persönliche Kontakte mit Experten sowohl in Entwicklungsländern als auch in Industrieländern.

Zwischen Juni und Oktober 1979 wurden im Hauptsitz von ICAITI in Guatemala kleinere Versuche unternommen, um die Durchführbarkeit von Ideen für neue Entwicklungen, die sich aus der Datensammlung und -evaluierung ergaben, zu testen. Notwendigerweise konnte dies nur sporadisch sein, und das alleinige Ziel war, so viele verschiedene Materialien und Systeme auszuprobieren, wie es die Zeit erlaubte. Dies zeigte sich als eine wertvolle Methode, eine große Auswahl von Problemen und Möglichkeiten neuer Lösungen zu studieren, um die Ergebnisse und Empfehlungen zu qualifizieren.

Die Arbeit an diesem Projekt wurde zwischen den beiden Instituten geteilt, so daß ICAITI alle Daten über Zentral-Amerika sammelte und auswertete und die Einrichtungen sowie die Dokumentation der experimentalen Arbeit zur Verfügung stellte, während sich I.F.T. mit den übrigen Abschnitten, die grundsätzliche und detaillierte Informationen über Bedachungen in den Entwicklungsländern im allgemeinen behandeln, befaßte. Der größte Teil der experimentalen Arbeit, so wie die Formulierung der Schlußfolgerungen und Empfehlungen erfolgte gemeinsam. Das abschließende Arbeitsdokument wurde in Englisch geschrieben und danach von ICAITI in Spanisch und vom I.F.T. in Deutsch übersetzt. Die spanische Fassung wurde zur Verbreitung in Lateinamerika von ICAITI veröffentlicht.

## 1.2 Methodology

Throughout the research project, the collection of data was the major task. The means employed were primarily:

- bibliographic investigations,
- correspondence with various institutes and experts in a number of countries,
- visits to interesting project sites and production units for building materials, personal contacts with experts both in developing and industrialized countries.

Minor experimental work was undertaken between June and October 1979 at the headquarters of ICAITI in Guatemala, to test the feasibility of ideas for new developments arising from the data collection and evaluation. Of necessity this could only be sporadic and the sole aim was to try out as many different materials and systems as the time permitted. This proved to be an invaluable means of studying a wide range of problems and possibilities of new solutions, to qualify the conclusions and recommendations made.

The work on the project was divided between the two institutes, such that ICAITI collected and evaluated all data on Central America and provided the facilities and documentation of experimental work, while I.F.T. was concerned with the other sections, which involved basic and detailed data on roofing with respect to developing countries in general. Most of the experimental work as well as the formulation of conclusions and recommendations were carried out jointly. The final working document was written in English and subsequently translated into Spanish and German by ICAITI and I.F.T. respectively. The Spanish version was published by ICAITI for dissemination in Latin America.

## 2. DÄCHER FÜR DEN WOHNUNGSBAU

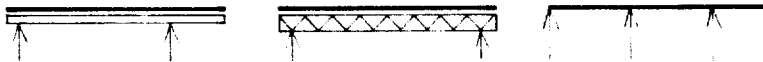
### 2.1 Herkömmliche Dachtypen

Die Hauptfunktion des Daches ist, Wohn- und Arbeitsraum zu überdecken und somit Schutz vor den Elementen zu geben. Dies kann durch unbegrenzte Varianten und Formen, Konstruktionssysteme und Materialien erreicht werden. Stark vereinfacht zeigt die folgende Zusammenfassung die grundlegenden Unterschiede, wobei ihre funktionalen Aspekte und geeigneten Verwendungszwecke, besonders im Zusammenhang mit dem sozialen Wohnungsbau, erläutert werden.

#### 2.1.1 Flache Dächer

Bausysteme: Balken, massive Platten, leichte Platten

Abb. 2.1



#### Typische Materialien:

(a. Tragkonstruktionen, b. Dachdeckung, c. Feuchtigkeitsisolierung)

- Holz (a, b)
- Stahlbeton (a, b)
- Stahl (a)
- Profilmetalplatten (a, b, c)
- Profilasbestzementplatten (a, b, c)
- Erde, auch grastragender Humus (b)
- Verschiedene Spanplatten/Verbundplatten (b)
- Dachpappe (c)
- Bitumen (c)
- Anstriche (c)

#### Bemerkungen:

- Nach Definition sind flache Dächer weniger als  $10^\circ$  zur Horizontalen geneigt. Für den Abfluß von Regenwasser ist eine Neigung von mindestens  $2^\circ$  nötig.
- Häufig vorkommender Dachtyp in überwiegend trocken-heißen Zonen, mit unbedeutenden Niederschlägen.
- Nicht geeignet für Hurrikanzonen, da die Sogwirkung von Windkräften Dächer abreißen kann.
- Zusätzlicher Lebensraum auf dem Dach (Haushaltaktivitäten, Schlafen bei Nacht).
- Leichte vertikale Erweiterung des Gebäudes.
- Dachplatten mit Gefälle und großen Überlappungen zu verlegen.

## 2. ROOFS FOR HOUSING

### 2.1 Common Roof Types

The prime function of the roof is to cover dwelling and working space and thus provide shelter from the elements. This is achieved by an unlimited variety of shapes, construction systems and materials. Generalizing to a large extent, the following summary of roof types shows their basic differences, discussing briefly their functional aspects and appropriate uses, especially in the context of low-cost housing.

#### 2.1.1 Flat Roofs

Structural system: beams, girders, slabs, sheets

Fig. 2.1



#### Typical Materials:

(a. Supporting structure, b. Roof decking, c. Waterproofing)

- Timber (a, b)
- Reinforced concrete (a, b)
- Steel (a)
- Profiled metal sheets (a, b, c)
- Profiled asbestos cement sheets (a, b, c)
- Soil — also grass-bearing humus (b)
- Diverse composite building boards (b)
- Roofing felt (c)
- Bitumen (c)
- Liquid finishes (c)

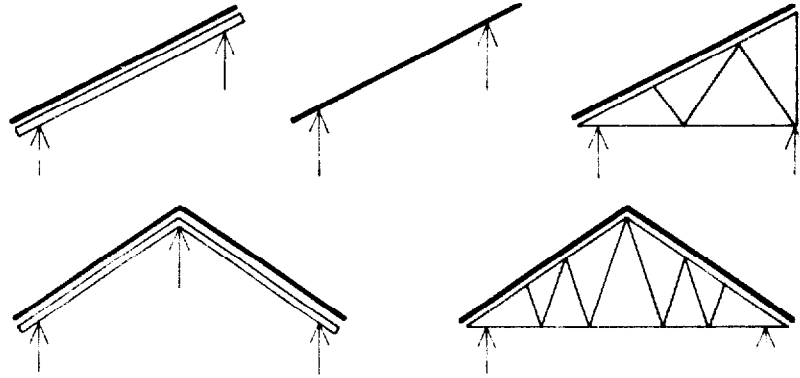
#### Comments:

- By definition, flat roofs have inclinations of less than  $10^\circ$  to the horizontal. For rainwater run-off at least  $2^\circ$  slope necessary.
- Common roof type in predominantly hot dry areas, with inconsiderable precipitation.
- Not appropriate for hurricane prone areas, as wind forces tend to pull off roof by suction.
- Additional living space on roof (household activities, sleeping at night).
- Easy vertical extensions of building.
- Sheet decking must be laid in falls with large overlaps.

## 2.1.2 Pultdach, Satteldach und Walmdach

Bausysteme: Sparren, Pfetten, Binder, leichte Platten, massive Platten.

Abb. 2.2



### Typische Materialien:

(a. Tragkonstruktion, b. Dachdeckung, c. Feuchtigkeitsisolierung)

- Holz (a, b)
- Bambus (a, b)
- Stahlbeton (a, b)
- Stahl (a)
- Profilmetalplatten (a, b, c)
- Profilasbestzementplatten (a, b, c)
- Ziegel (b, c)
- Verschiedene pflanzliche Baustoffe, wie Stroh oder Matten (b)
- Verschiedene Spanplatten/Verbundplatten (b)
- Dachpappe (c)
- Bitumen (c)
- Anstriche (c)

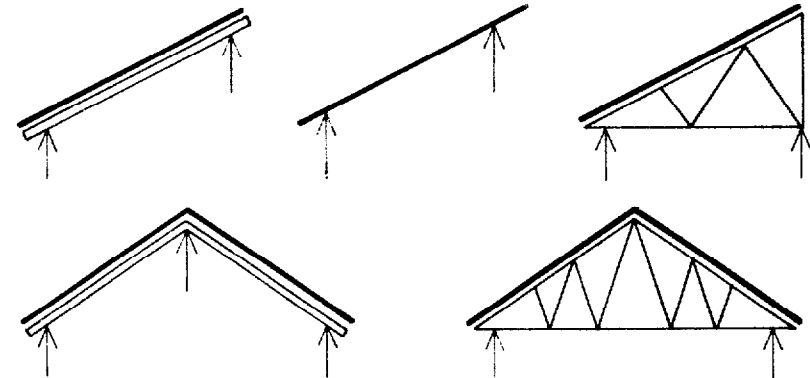
### Bemerkungen:

- Hauptsächlich in feuchtwarmen Zonen mit bedeutenden Niederschlägen.
- Geeignet für Hurrikanzonen, wenn Dachneigungen über  $30^\circ$  (ungefähr 1 : 1.7 oder 58%); flachere Dächer verursachen Sogkräfte, welche bei  $10^\circ$  am stärksten sind.
- Große Dachüberstände sind in Hurrikanzonen nicht geeignet, jedoch von Vorteil, um Wände und Öffnungen zu beschatten und um Abfluß von Regenwasser vom Gebäude fernzuhalten.
- Geringe Neigungen sind üblich, weil sie wirtschaftlich sind: weniger Baumaterial, weniger Dachfläche (demnach weniger Dachmaterial), Erweiterung in Gefälle-

## 2.1.2 Single Pitched, Gabled and Hipped Roofs

Structural system: rafters, purlins, trusses, sheets, slabs

Fig. 2.2



### Typical Materials:

(a. Supporting structure, b. Roof decking, c. Waterproofing)

- Timber (a, b)
- Bamboo (a, b)
- Reinforced concrete (a, b)
- Steel (a)
- Profiled metal sheets (a, b, c)
- Profiled asbestos cement sheets (a, b, c)
- Burnt clay tiles (b, c)
- Diverse plant materials as thatch or matting (b)
- Diverse composite building boards (b)
- Roofing felt (c)
- Bitumen (c)
- Liquid finishes (c)

### Comments:

- Used predominantly in warm humid regions with significant precipitation.
- Appropriate for hurricane prone areas, if roof slopes exceed  $30^\circ$  (about 1 : 1.7 or 58%); flatter roofs create suction forces which are strongest at  $10^\circ$  pitch.
- Wide overhangs disadvantageous in hurricane areas, but advantageous for shading of walls and openings and for discharging rainwater run-off clear of building.
- Low pitches are common, because they are economical: less wall construction material, less roof surface (consequently less roofing materials), extensions in direction of fall (e.g. verandahs) possible with sufficient head height.
- Each decking has its own appropriate slope (see Section 3.5).

- richtung (z.B. Veranden) mit genügend Kopfhöhe möglich.
- Jede Deckungsart hat ihre erforderliche Mindestneigung (siehe Teil 3.5).
  - Gefahr von Wasserdurchdringung, wenn die Neigung im Verhältnis zur Überlappung nicht ausreichend ist.
  - Walmdächer schützen alle Wände (während Satteldächer die Stirnwände ungeschützt lassen), sind sparsam an Wandfläche und Kosten, leisten weniger Widerstand gegen Wind, sind aber schwieriger zu konstruieren.
  - Angrenzende Satteldächer mit internen horizontalen Dachrinnen sind problematisch, selbst mit leichter Neigung: Ansammlung von Schmutz verhindert den Wasserabfluß, bringt schnellen Verfall des Dachmaterials.

### 2.1.3 Gekrümmte Dächer

Bausysteme: Gewölbe, Kuppeln, Zugbandbögen oder Schalenkonstruktionen.

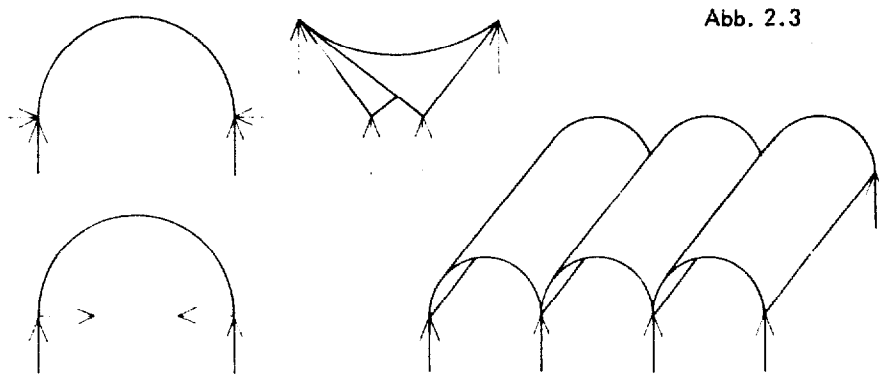


Abb. 2.3

#### Typische Materialien:

(a. Tragkonstruktionen, b. Dachdeckung, c. Feuchtigkeitsisolierung)

- Stabilisierte Erdblocke (a, b)
- Ziegel (a, b)
- Stahlbeton/Ferrozement (a, b)
- Holz (a, b)
- Bambus (a)
- Stahl (a)
- Profilmetallplatten (a, b, c)
- Profilasbestzementplatten (a, b, c)
- Faserverstärkte Kunststoffe (a, b, c)
- Verschiedene pflanzliche Baustoffe wie Stroh oder Matten (b)
- Verschiedene Spanplatten/Verbundplatten (b)
- Dachpappe (c)
- Bitumen (c)
- Anstriche (c)

- Water penetration occurs when slope in relation to overlap of decking elements is insufficient.
- Hipped roofs protect all walls (while gabled roofs leave end walls exposed), economize on wall area and cost, provide less obstruction to strong winds, but are more difficult to construct.
- Adjoining gabled roofs with internal horizontal gutters are problematic even with slight inclination: accumulation of dirt preventing passage of water, rapid deterioration of roofing fabric.

### 2.1.3 Curved Roofs

Structural System: true arches, domes, bow-string or shell structures.

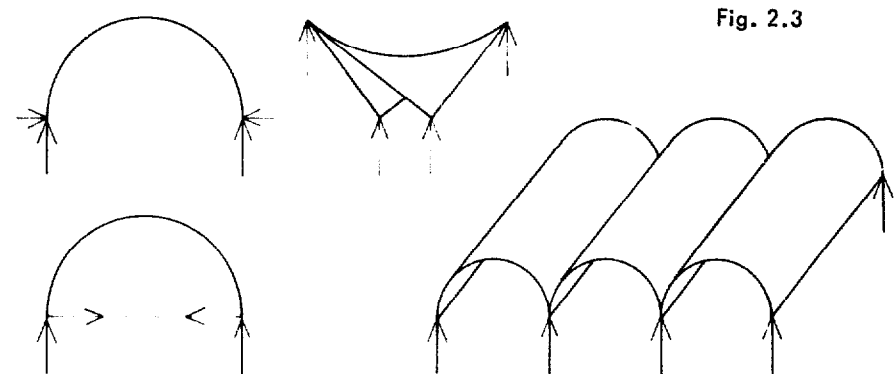


Fig. 2.3

#### Typical Materials:

(a. Supporting structure, b. Roof decking, c. Waterproofing)

- Stabilized soil blocks (a, b)
- Burnt clay bricks (a, b)
- Reinforced concrete/Ferrocement (a, b)
- Timber (a, b)
- Bamboo (a)
- Steel (a)
- Profiled metal sheets (a, b, c)
- Profiled asbestos cement sheets (a, b, c)
- Fibre reinforced synthetic materials (a, b, c)
- Diverse plant material as thatch or matting (b)
- Diverse composite building boards (b)
- Roofing felt (c)
- Bitumen (c)
- Liquid finishes (c)

#### Bemerkungen:

- Gemauerte Bögen und Kuppeln sind für Erdbebenzonen höchst ungeeignet, während Zugband-Bögen und Schalenkonstruktionen ideal sein können.
- Schalenkonstruktionen sind normalerweise teuer, da sie meistens fortgeschrittene Technologie und Materialien von hoher Qualität (z. B. Spannbeton) erfordern. Einige Schalenkonstruktionen (z. B. Hartmoltopren-"Iglus" für Notwohnungen) sind schnell aufgebaut und verhältnismäßig billig, aber völlig ungeeignet für Behausungen.

#### 2.1.4 Andere Dacharten

Die drei oben besprochenen prinzipiellen Dacharten umfassen alle gängigen Dacharten des Niedrigkosten-Wohnungsbaus in der Dritten Welt. Es gibt jedoch eine große Anzahl anderer Dachsysteme, welche für Kurzzeit- und Permanentbehausung angewandt werden, welche jedoch zu selten vorkommen, um deren detaillierte Beschreibung zu rechtfertigen.

Beispiele sind:

- Zugkonstruktionen  
die aus einem System von starken Membranen über Kabeln oder Seilen bestehen; große Spannweiten; verhältnismäßig wirtschaftlich, aber aerodynamisch instabil mit leichter Decke; hauptsächlich für temporäre Bauten angewandt.
- Raumbachwerk-Dächer  
bestehend aus dreidimensionalen, dreieckigen Tragelementen; große horizontale Stabilität; leichte Dachdeckung; komplizierte, teure Bauweise; nur für sehr große Spannweiten geeignet.
- Faltplattendächer  
welche aus einer Serie von gleichen Platten mit geraden, steifen Verbindungen bestehen, deren Stärke in den aussteifenden Falzen, Gegenfalzen und stützenden Querscheiben liegt; geeignet für Vorfertigung; verhältnismäßig neues Bausystem mit unkonventionellen Formen, die eine verbreitete Anwendung bei Wohnungsbauprojekten verhindern.
- Luftgetragene Dächer  
meist kugel-, halbkugel- oder zylinderförmig, die grundlegend aus zwei Typen bestehen: der eine mit höherem internem Luftdruck als der der umgebenden Atmosphäre, und der andere aus aufgeblasenen Rohrelementen, bei dem das Innere nicht unter Druck steht; nur von Interesse für provisorische Unterkünfte oder bei großen Spannweiten; bedarf hochentwickelter Geräte und Technologie; sehr anfällig für Schäden.

Die Liste kann mit unbegrenzten freien Formen und Kombinationen der beschriebenen Dachtypen erweitert werden. Sogenannte "Anti-Dächer", wie z. B. Laubbäume (die im Sommer durch ihre Blätter Schatten spenden und die Sonne im Winter hindurchlassen) sind nur für Außenflächen von Interesse und haben keine Bedeutung für den Niedrigkosten-Wohnungsbaubau.

#### Comments:

- Masonry arches and domes are highly inappropriate for earthquake prone regions, while bow-string and shell structures can be ideal.
- Shell structures are usually expensive, since they often involve advanced technology and high quality materials (e.g. prestressed concrete). Some shells (e.g. polyurethane "igloos" for emergency housing) are quickly erected and relatively cheap, but totally unsuited as dwellings.

#### 2.1.4 Other Roof Types

The three basic roof types dealt with above include all common roofs found in third world low-cost housing schemes. There are, however, a great number of other roofing systems, which may have applications in temporary or permanent housing, but are too rare to justify detailed descriptions.

Examples are:

- Tensile roofs  
using a system of tough membranes on cables or ropes; wide spans; relatively economical but aerodynamically unstable with light deck; generally used for temporary structures.
- Space frame roofs  
consisting of three-dimensionally triangulated supporting members; great lateral rigidity; light roof decking; complicated, expensive structure; appropriate only for extremely large spans.
- Folded plate roofs  
which consist of series of equal plates with straight, rigid junctions, deriving their strength from stiffening folds, counterfolds and supporting diaphragms; suitable for prefabrication; relatively new structural system with unconventional forms hindering wider use in housing schemes.
- Air-supported roofs  
usually of spherical, semispherical or cylindrical shapes, comprising basically two types: one having an internal air pressure greater than the ambient atmospheric pressure and one having inflated tubular members and unpressurized interior; only of interest as temporary dwellings or for large spans; requires sophisticated equipment and technology; highly susceptible to damage.

The list can be augmented by unlimited free forms and combinations of the described roof types. So-called "anti-roofs", such as deciduous plants (providing shade by their leaf cover in summer and allowing the sun in during winter) are of interest only for outdoor spaces and have no significant applications in low-cost housing design.

## 2.2 Gestaltungskriterien des Daches

Es wird generell angenommen, daß der Entwurf von Dächern in einer betreffenden Zone allein durch klimatische Anforderungen bestimmt wird und daß die vorhandenen Materialien die geeignetste Anwendung erfahren. Dies trifft zweifellos zu bei den meisten herkömmlichen Dachtypen, aber, wie Amos Rapoport in seinem Buch "House Form and Culture" darauf hinweist, können ähnliche klimatische Bedingungen und Materialien in verschiedenen geographischen und kulturellen Umgebungen völlig verschiedene Entwurfslösungen hervorbringen, welche gleichermaßen funktional sind. Seine Erklärung: "Die Unterschiede verschiedener Gebäudetypen in verschiedenen Regionen zeugen von Unterschieden in bezug auf vorhandene Kulturen, Rituale, Lebensweisen, Gesellschaftsstrukturen, Klimabedingungen und Landschaften, sowie Materialien und Technologie, während Ähnlichkeiten Bereiche aufzeigen, in denen nicht nur all diese Faktoren zufällig übereinstimmen, sondern auch einige grundlegende Übereinstimmungen in den Bedürfnissen und Wünschen des Menschen."

Demnach ist es klar, daß die Hausform — und somit auch Dachgestaltung — aus höchst komplizierten Entwurfskriterien resultiert, wobei, wie Rapoport meint, sozio-kulturelle Einflüsse vor den physikalischen Bestimmungsfaktoren rangieren.

Beispiele von sozio-kulturellen Entwurfskriterien sind:

- Religion
- Familien- und Sippenstruktur
- Lebensrhythmus
- Verteidigung
- Bautraditionen
- Zeitdimensionen
- Vermischung von Kulturen
- Einstellung gegenüber der Umwelt
- Mobilität

Diese Kriterien werden zum Teil in Abschnitt 3.1.1, Örtliche Traditionen, besprochen.

Die Tatsache, daß Mobilität, als eines der wichtigen Entwurfskriterien, weit auseinandergehende Formen hervorgerufen hat (z. B. arabische Zelte, mongolische Yurts, indianische Tipis), zeigt, daß der Dachentwurf nicht einer einzigen Ursache zugeschrieben werden kann.

Die besondere Bedeutung von sozio-kulturellen Faktoren beim Dachentwurf führt oft zu physikalisch unzureichenden Lösungen. Zum Beispiel leben viele Stämme in der Amazonen-Region in großen Gemeinschaftshäusern ("malocas"), welche außerordentlich groß sind und dickwandige Bauweise für Stabilität und Dauerhaftigkeit erfordern, aber als Folge daraus so viel Wärme aufnehmen, so daß sie im Sommer nicht bewohnbar sind. Die wirtschaftlichen Aktivitäten der Hidatsa aus dem Missouri Valley, die im Sommer Bauern und im Winter Büffeljäger waren, lebten während des Sommers in massiven, wärmespeichernden Behausungen und in transportablen Zelten im Winter, obwohl klimatisch das Gegenteil geeigneter wäre.

## 2.2 Factors Influencing Roof Design

It is generally believed that the design of roofs in a certain region is governed solely by the climatic requirements and makes the most appropriate use of available materials. This is undoubtedly true for most traditional roof designs, but as Amos Rapoport in his book "House Form and Culture" points out, similar climatic conditions and materials in different geographical and cultural settings can generate completely dissimilar design solutions, which are equally functional. His explanation: "The differences between the types of buildings in different areas are evidence of differences in culture, rituals, ways of life, and social organization, climates and landscapes, and materials and technology available, while the similarities are evidence not only of areas where some or all of these factors have coincided, but also of some basic consistencies in man's needs and desires".

Thus it is clear that house form — and consequently roof design — results from a highly complex set of design criteria, whereby, as Rapoport maintains, socio-cultural forces outweigh physical determinants.

Examples of socio-cultural design criteria are:

- religion
- family and clan structure
- occupancy patterns
- defense
- building traditions
- time dimensions
- mixture of cultures
- attitude towards the environment
- mobility

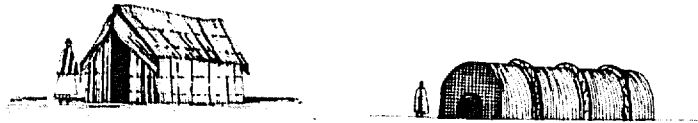
These criteria are discussed to some extent in section 3.1.1 Local Traditions.

The fact that mobility, as one important design criterion, has induced greatly differing forms (e.g. Arab tents, Mongol yurts, Indian tepees) shows that roof design cannot be attributed to a single cause.

The predominance of socio-cultural factors in roof design occasionally lead to physically inadequate solutions. For example, many tribes in the Amazon area live in large communal houses ("malocas"), which are extremely large, requiring massive constructions for stability and durability, but as a result absorb so much heat that they have to be abandoned during the summer. The economic activity of the Hidatsa of the Missouri Valley, who were agriculturalists in summer and buffalo hunters in winter, causes them to live in heavy, heat absorbing dwellings in the hot months and light, transportable tents during the cold season, although climatically the reverse would be appropriate.

The principal physical determinants and requirements are:

- climate  
(exclusion of rain, wind and solar radiation, prevention of excessive heat penetration or entry of cold air, provision of shade for exterior walls and openings),



a. Behausungen aus einem Material (Schilf). Links: Uru-Haus, Titicaca-See, Peru. Rechts: Sumpf-Araber-Haus, Irak-Iran Grenzland.

a. Dwellings made of one material (reeds). Left: Uru dwelling, Lake Titicaca, Peru. Right: Marsh Arab dwelling, Iraq-Iran border.



b. Behausungen aus einem Material (Lehm). Links: Iran. Rechts: Pueblos, Südwest-USA.

b. Dwellings made of one material (mud). Left: Iran. Right: Pueblos, southwestern United States.



c. Transportable Zelte aus Stäben und Filz. Links: Arabisches Zelt. Rechts: Mongolischer Yurt.

c. Portable tents of sticks and felt. Left: Arab tent. Right: Mongol Yurt.



d. Zwei Beispiele aus der breiten Palette traditioneller Hausformen aus Holz mit Strohbedachung. Links: Masai Hütte (Afrika). Rechts: Yagua Haus (Amazonas).

d. Two examples from the great range of house forms using thatch and wood as materials. Left: Masai dwelling (Africa). Right: Yagua dwelling (Amazon).

Abb. 2.4 Vergleich zwischen verschiedenen Hausformen, bei Verwendung gleicher Materialien (aus: Amos Rapoport "House Form and Culture")

Fig. 2.4 Comparison of house forms, using the same materials (taken from: Amos Rapoport "House Form and Culture")

Abb. 2.5 Niedrigkosten-Wohnungsbau in Kolumbien

Fig. 2.5 Low-cost housing in Columbia

Abb. 2.6 Niedrigkosten-Wohnungsbau in Malawi

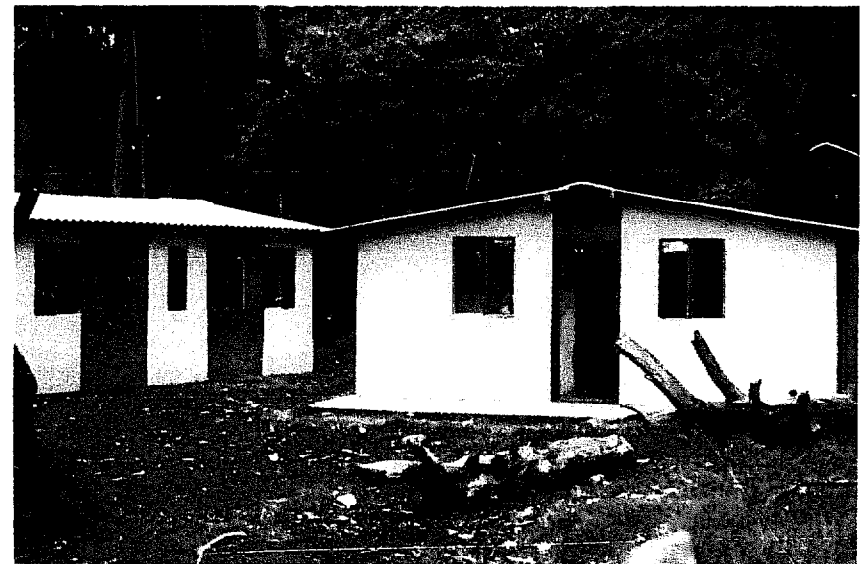
Fig. 2.6 Low-cost housing in Malawi

Abb. 2.7 Niedrigkosten-Wohnungsbau auf den Philippinen

Fig. 2.7 Low-cost housing in the Philippines

Abb. 2.5 bis 2.7 zeigen jeweils die gleiche Dachform und -konstruktion, trotz der grundsätzlichen sozio-kulturellen Unterschiede zwischen Lateinamerika, Afrika und Ozeanien.

Fig. 2.5 to 2.7 each show the same roof form and construction, despite the basic socio-cultural differences between Latin America, Africa and Oceania.



2.5



Die wichtigsten physikalischen Bedingungen und Erfordernisse sind:

- Klima  
(Ausschließung von Regen, Wind und Sonne, Verhinderung übermäßiger Wärmeeinwirkung bzw. Eindringen von kalter Luft, Beschattung der äußeren Wände und Öffnungen),
- Umwelt  
(Lärmschutzmaßnahmen, Ausschließung von Schmutz, Staub und fallenden Gegenständen, Schutz vor Einbrechern, Einfügung in die Landschaft),
- natürliche Risiken  
(Fähigkeit, Erdbeben und Wirbelstürmen zu widerstehen, Widerstand gegen und Verhinderung von schneller Feueerausbreitung),
- Materialien  
(Wirtschaftlichkeit, leichtes Handhaben, Errichtung und Instandhaltung, Dauerhaftigkeit, günstige ästhetische Erscheinung),
- Gesundheitsaspekte  
(Verhinderung von feuchten, zugigen und toxischen Bedingungen, Verhinderung von Ungezieferbrutstätten).

Die Bestimmungsfaktoren von Dachentwürfen sind vielfältig, was aber nicht heißt, daß alle relevanten Kriterien für jeden Dachtyp berücksichtigt worden sind, selbst wenn traditionelle Bauweisen über Jahrzehnte hin entwickelt und verfeinert wurden.

- environment  
(provision of sound insulation, exclusion of dirt, dust and falling objects, provision of no means for intruders to break into building, harmonization with landscape),
- natural hazards  
(capability of withstanding earthquakes and hurricanes, resistance to and prevention of rapid spread of fire),
- materials  
(economy, ease of handling, installation and maintenance, durability, aesthetic acceptability),
- health aspects  
(avoidance of moist, draughty or toxic conditions, no provision of nesting places for vermin).

The determinants of roof design are manifold, but this does not imply that all relevant factors have been considered in each roof type, even if traditional structures have been developed and refined over centuries. Health aspects generally receive the least attention, as for instance, in New Guinea dirt dropping from thatched roofs cause chronic allergic lung diseases, or in Venezuela primitive house constructions harbour insects carrying "chagas".

It is also important to note, that change of materials does not necessarily alter form.



2.6



2.7

### 3. ENTWURFSÜBERLEGUNGEN

#### 3.1 Örtliche Traditionen und Bauvorschriften

Wie im vorherigen Abschnitt verdeutlicht wurde, müssen technische oder klimatologische Überlegungen für den Entwurf von Dächern in der Wertigkeit hinter denen der örtlichen sozialen und gesellschaftlichen Anforderungen rangieren. Diese Aspekte sind jedoch zu komplex, um sie mit ausreichender Gründlichkeit auf globaler Ebene zu behandeln. Um den Umfang und die Art der Fragen, die daraus hervorgehen, zu zeigen, werden einige der wichtigsten nachfolgend besprochen.

##### 3.1.1 Örtliche Traditionen

In den meisten Fällen werden die Entwurfskriterien für Dachkonstruktionen als selbstverständlich erachtet. Die meisten traditionsorientierten Gesellschaften widersetzen sich jedweder Änderung, und ihr Ziel ist es, nur den Standard der gut gebauten Häuser ihrer Umgebung zu erreichen. Jedoch, da Traditionen ihre Kontinuität verloren haben (durch Mischen von Kulturen, Änderungen in der ökonomischen Struktur, politische Einflüsse und dergleichen), ist die Funktion der Dächer und die Art, in der sie gebaut werden können, so vielfältig, daß nur eine gründliche Überlegung und exakte Definierung der verschiedenen Erfordernisse einen zufriedenstellenden Dachentwurf garantieren.

##### Funktionen des Daches

- a. Soll das Dach, teilweise oder ganz, ein temporäres oder dauerhaftes Bauwerk sein?  
Temporäre Dächer können im Falle von Beschattungselementen, Öffnungen (als Eingang oder Rauchabzug oder für Luft und Licht) und transportablen Gebäuden nötig sein.
- b. Was soll das Dach schützen: Menschen, Tiere oder Güter?  
Welche Aktivitäten sollen unter dem Dach stattfinden?  
Beispiele von Aktivitäten, die die Dachkonstruktion beeinflussen können, sind:
  - Lebensweisen im Zusammenhang mit, zum Beispiel, Schlafen, Lesen, Unterhalten, Spielen, Musikhören, Gäste empfangen, Kranke betreuen, Beten, welches Aktivitäten sind, die thermalen Komfort sowie optische und akustische Intimität verlangen;
  - Arbeit, wie Handwerk, Kleinindustrie, d.h. sowohl manuelle wie auch nicht-manuelle Tätigkeiten, die alle genügend Licht und thermalen Komfort benötigen;
  - Kochen, mit oder ohne offenem Feuer, bedarf guter Ventilation und Öffnungen im Dach oder Schornstein;
  - Baden, Waschen, Gartenbau oder andere Tätigkeiten, die Feuchtigkeit erzeugen, der aber durch wirkungsvollen Gebäude- und Dachentwurf entgegengewirkt werden muß;

### 3. DESIGN CONSIDERATIONS

#### 3.1 Local Traditions and Codes

As is evident from the previous section, technical or climatological considerations in designing roofs must give precedence to those of local social and communal requirements. These aspects are, however, too complex to deal with in sufficient depth on a global scale. But in order to show the extent and nature of the questions that arise, some of the important ones are discussed below.

##### 3.1.1 Local Traditions

Much of the information required for the roof design is taken for granted. Most tradition oriented societies strongly resist change and their aim is merely to achieve the standards of the well built houses of the area. However, since traditions have lost their continuity (on account of mixture of cultures, changed economic structures, political influences and the like), the functions of roofs and the ways they can be built are so numerous, that only a thorough consideration and exact definition of the various requirements can guarantee a satisfactory roof design.

##### Functions of the Roof

- a. Is the roof, partly or as a whole, meant to be a temporary or permanent structure?  
Temporary roof structures could be necessary in the case of sun shades, openings (for access, light, air or release of smoke) and temporary or portable buildings.
- b. What is the roof intended to provide shelter for: people, livestock or goods?  
What activities are expected to take place under the roof?  
Examples of activities that may be influenced by the roof construction are:
  - living patterns involving, for instance, sleeping, reading, talking, playing, listening to music, receiving guests, nursing the sick, praying, which are activities requiring thermal comfort as well as optical and acoustic privacy;
  - work, such as handicrafts, small-scale industry, i.e. manual as well as non-manual labour, all of which require sufficient light and thermal comfort;
  - cooking, with or without open fires, calling for good ventilation and openings in the roof or chimney;
  - bathing, washing, horticulture or other activities creating moist conditions, which must be remedied by efficient building and roof design;
  - storage of goods, whether edible or not, normally requiring cool, dark and dry conditions;

- Lagern von Gütern, ob eßbar oder nicht, erfordert normalerweise kühle, dunkle und trockene Bedingungen;
- Tierhaltung, wofür Luft und Licht besonders wichtig sind.

Nichtbeachtung einer dieser Aktivitäten mit der Begründung, daß sie verboten sei, oder weil die Menschen zur Änderung ihrer Gewohnheiten angehalten werden sollen, würde wahrscheinlich negative Konsequenzen haben, wenn zum Beispiel Aktivitäten unter dem Dach wegen übermäßiger Aufheizung unmöglich werden, offene Feuer unter brennbaren Dächern angezündet werden oder gelagerte Nahrung durch tropfendes Kondenswasser verdorben wird.

- c. Für welche Zwecke – außer der Schutzfunktion – wird das Dach sonst noch genutzt?

Beispiele für mögliche Nutzung sind:

- Zugang zum Haus (wie in den pueblös von Neu-Mexiko),
- Schlafen bei Nacht (wie in den meisten trocken-heißen Zonen),
- Umleitung von Wind für Ventilation (wie in vielen Ländern des Mittleren Ostens),
- Einsammeln von Regenwasser,
- Speicherung von Wasser, Nahrung und anderen Dingen,
- Trocknen von Nahrungsmitteln,
- Getreideworfeln,
- Gartenarbeit,
- Installation von Solardestilliergeräten oder Solarwarmwasserbereitern,
- oder einfach Repräsentation (je nach Hierarchischem Status des Bewohners).

- d. Für welche Lebensspanne sollte ein Dach entworfen werden?

Dies hängt im allgemeinen von der Lebenserwartung des restlichen Gebäudes und der Einstellung des Bewohners zu Instandhaltung und Reparaturen ab, sowie von seiner Geschicklichkeit. Sehr oft hängt es auch vom Alter des Bewohners ab, besonders dort, wo es Brauch ist, das Haus nach seinem Tod abzureißen.

- e. Welche religiösen und sozialen Aspekte beeinflussen Dachentwürfe?

Kosmische Orientierung kann mancherorts eine der baulichen Voraussetzungen sein (ein rundes Haus kann nicht orientiert werden), während anderswo dimensionale Erfordernisse berücksichtigt werden müssen (z. B. große Familien oder selbst ganze Dorfgemeinden – wie in Ozeanien – leben unter einem Dach) ebenso wie Einstellungen zu Formen, Materialien und Farben (z. B. ist der Kreis die perfekte Form für die Hottentotten, in Zentralamerika werden Asbestzementdächer rot gestrichen, um die herkömmlichen roten Ziegel nachzuahmen). In gewissen Kulturen stehen die Größen der Dachbalken und des Daches im entsprechenden Verhältnis zu ihrer Funktion als Statussymbol, während in anderen der Dekoration der Wände und Eingangstüren größere Bedeutung beigemessen wird.

- livestock keeping, for which air and light are especially important.

Disregard of any of these activities on the grounds that it is prohibited or that the people should alter their habits, would most likely have negative consequences, when, for example, activities under the roof become impossible due to overheating, open fires are lit under inflammable roofs or stored food is ruined by dripping water due to condensation.

- c. Besides providing shelter, to what uses will the roof itself be put?

Examples of possible uses are:

- access to the house (as in pueblös of New Mexico),
- sleeping at nights (as in most hot arid regions),
- catching wind for ventilation (as in many countries of the Middle East),
- collection of rainwater,
- storage of water, food or other items,
- drying food,
- winnowing grain,
- gardening,
- installation of solar stills or solar water heaters,
- or just representation (in accordance with the heirachial status of the dweller).

- d. For what life expectancy should the roof be designed?

This normally depends on the life expectancy of the rest of the building and the attitude of the dwellers towards maintenance and repair, as well as their skills. Quite often it also depends on the age of the dweller, especially in places where it is customary to demolish the house after his or her death.

- e. What religious or social aspects are associated with local roof designs?

There may be a necessity for cosmic orientation (a round house cannot be oriented), while consideration must be given to dimensional requirements (e.g. large families or even entire village communities – as in Oceania – live under one roof) and to attitudes towards shapes, materials and colours (e.g. for the Hottentots the circle is the perfect form, in Central America asbestos cement roofs are coloured red to copy the traditional clay tiles). In certain cultures the sizes of roof beams and roofs are related to their function as a status symbol, while in others more importance is given to the decoration of walls and entrance doors.

### 3.1.2 Bauvorschriften

In allen älteren Kulturen war Tradition der hauptsächliche Regulator für Entwurf und Konstruktion von Häusern. Das Errichten von Gebäuden verlangte wenig Fachkenntnisse, konnte schnell erlernt und von den Bewohnern selbst ausgeführt werden. Heute jedoch ist die Tradition als Regulator in den wenigsten Gesellschaften noch vorhanden. Amos Rapoport gibt hierfür drei Gründe:

- die steigende Anzahl von Bautypen, wovon viele zu kompliziert sind, um sie in traditioneller Weise zu bauen,
- Verlust gemeinsamer Werte und Weltanschauungen,
- und die Tatsache, daß diese Gesellschaften Originalität belohnen.

Der resultierende Mangel an Kooperation erfordert die Einführung von Gesetzen, Regeln und ähnlichen Einschränkungen, die in Art und Umfang von Ort zu Ort verschieden sind, ebenso wie die Durchsetzung dieser Maßnahmen.

Entwurfskriterien für Dächer, wie sie von örtlichen Behörden vorgeschrieben werden, beziehen sich beispielsweise auf:

- Form, Neigung und Dimensionen, welche mit der Umgebung harmonieren müssen,
- Dachrinnen, die verboten sind, um das Ansammeln von Schmutz und stehendem Wasser zu verhindern,
- Gebrauch von brennbaren Materialien und Abstände von Gebäuden, um die Feuergefahr auf einem Minimum zu halten.

### 3.2 Klimatische Anforderungen

Die Tropen, welche als die Zone zwischen den 20° Isothermen definiert sind, bestehen aus einer Anzahl von Klimata, je nach Lage (Entfernung von großen Wassermassen, Entfernung vom Äquator, Höhenlage), Topographie, Geologie, Vegetation und ähnlichen Faktoren. Die Kompliziertheit der klimatischen Einflüsse auf Bauwerke erlaubt keine detaillierte Diskussion in diesem Zusammenhang, zumal dieses Thema in anderen Publikationen ausreichend behandelt wurde. Da Klimata in den Tropen in zwei Hauptgruppen geteilt werden können, nämlich solche, die überwiegend feucht und solche, die überwiegend trocken sind, wird es ferner ausreichen, die Entwurfserfordernisse dieser beiden Gruppen zusammenzufassen, ohne dabei zu vergessen, daß dies nur allgemeine Richtlinien sein können. Modifikationen der genannten Entwurfsprinzipien werden für die meisten Situationen nötig sein, da Mischklimata eher die Regel sind.

#### 3.2.1 Dächer für feuchtwarmes Klima

##### Klimamerkmale

Temperatur : Durchschnittliches Maximum um 27° bis 32°C, durchschnittliches Minimum um 20° bis 27°C. Geringe tägliche und jährliche Temperaturvariationen in konstant feuchtwarmen Zonen, bei ausgeprägten jahreszeitlichen Unterschieden, jedoch zunehmend.

### 3.1.2 Building Codes

In all older cultures tradition was the major regulator in the design and construction of houses. The erection of buildings required few skills, were easy to grasp and could be carried out by the dwellers themselves. Today, however, tradition as a regulator has disappeared in most societies. Amos Rapoport gives three reasons for this:

- the increasing number of building types, many of which are too complex to build in traditional fashion,
- loss of common shared values and images of the world,
- and the fact that these societies put a premium on originality.

The resulting lack of cooperation necessitates the introduction of codes, regulations and similar restrictions, the nature and extent of which vary from place to place, just as much as their enforcement policies do.

Examples of criteria for roof designs as prescribed by the local authorities, may refer to:

- shape, slope and dimensions, which must harmonize with the surroundings,
- gutters, which are prohibited to prevent accumulation of dirt and standing water,
- use of inflammable materials and spacing of structures, with a view to minimizing fire risks.

### 3.2 Climatic Requirements

The tropics, which are defined as the area between the 20° isotherms, comprise a variety of climates, depending on location (distance from large water masses, distance from Equator, altitude), topography, geology, vegetation and similar factors. The complexity of climatological influences on building constructions forbid a detailed discussion in this context, as the subject has been amply dealt with elsewhere. Furthermore, since climates in the tropics can be divided into two major groups, namely those that are predominantly humid and those predominantly dry, it will suffice to summarize the design requirements of these two groups, keeping in mind that these can only be basic guidelines. Modifications of the given design principles will be necessary for most situations, since composite climates are more common.

#### 3.2.1 Roofs for Warm Humid Climates

##### Characteristics of Climate

Temperature : Mean maximum about 27° to 32°C, mean minimum about 20° to 27°C. Little diurnal and annual temperature variations in consistently warm humid regions, increasing as seasonal changes become more distinct.

- Feuchtigkeit** : Relative Feuchtigkeit zwischen 55 und 100%, aber meistens über 75%, Dampfdruck liegt zwischen 2000 und 3000 N/m<sup>2</sup>. Schwere Wolkendecke und Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre dienen als Filter für direkte Sonneneinstrahlung.
- Niederschlag** : Kann zu jeder Zeit vorkommen oder jahreszeitlich im Mischklima. Jährliche Regenmenge 2000 bis 5000 mm, aber weniger als 2000 mm in Mischklimata.
- Wind** : Hauptsächlich niedrige Geschwindigkeiten, nur eine oder zwei Hauptrichtungen, häufig windstille Perioden. Monsunwinde meistens stark und beständig.
- Vegetation** : Reichlich, schnellwachsend durch häufigen Regenfall, hohen Grundwasserspiegel und warme Bedingungen. In gemischtem Klima viel weniger Vegetation, mit schnellem Wachstum nur während der Regenzeit.
- Besonderheiten** : Ständige Gefahr von Schimmel- und Algenwuchs, Rost und Fäule. Große Insektenplage und entsprechende Gefahr für organische Baumaterialien. Dichte Wolkendecke und Luftfeuchtigkeit verursachen schmerzhaftes Blendung. In gemischtem Klima verursachen jahreszeitliche Veränderungen der relativen Feuchtigkeit Schwächung von Baumaterial, Kondensationsprobleme, Gefahr von Bodenerosion während des Monsuns, Staub- und Sandstürme während der Trockenzeit.

#### Allgemeine Entwurfsprinzipien

- Orientierung** : Bestimmt durch zwei primäre Anforderungen:  
 1) Einfangen von maximaler Luftbewegung  
 2) Minimale Sonneneinstrahlung auf Wände (erreicht durch Ausrichtung der Gebäudelängsachse in Ost-West-Richtung). Orientierung für Luftbewegung sollte Vorrang haben, da Sonnenstrahlen leicht durch Beschattungsvorrichtungen abgehalten werden können.
- Abstände** : Weite Abstände für maximale Luftzirkulation.
- Grundriß** : Gebäude in Windrichtung ein Raum tief für maximale Querlüftung. Häuser mit Innenhof für gemischtes Klima geeignet.
- Öffnungen** : Groß, 40 - 80% der Wandoberfläche, geschützt vor Sonne und Regen. Kleinere Öffnungen in gemischtem Klima.
- Wände** : Leicht, mit geringer Wärmekapazität, geschützt vor Sonne und Regen. In gemischtem Klima problematisch, wo kältere Jahreszeiten höhere Wärmekapazitäten erfordern.
- Oberflächen** : Maximale Reflexion.

- Humidity** : Relative humidity between 55 and 100%, but generally above 75%. Vapour pressures lie in the region of 2000 - 3000 N/m<sup>2</sup>. Heavy cloud cover and vapour content of the atmosphere act as filter to direct solar radiation.
- Precipitation** : May occur any time of the year or seasonally in composite climates. Annual rainfall 2000 to 5000 mm, but less than 2000 mm in composite climates.
- Wind** : Generally low velocities, only one or two dominant directions, frequent calm periods. Monsoon winds usually strong and steady.
- Vegetation** : Abundant, growing quickly due to frequent rains, high subsoil water tables and warm conditions. In composite climates far less vegetation, with rapid growth only during rainy seasons.
- Special Features** : Constant risk of mould and algal growth, rusting and rotting. Insects constitute large nuisance factor and hazard to organic building materials. Dense clouds and atmospheric vapour cause painful sky glare. In composite climates, seasonal changes in relative humidity cause weakening of building materials, condensation problems occur, risk of soil erosion during monsoons, dust and sand storms in dry seasons.

#### General Design Principles

- Orientation** : Determined by two prime requirements:  
 1) to catch maximum air movement,  
 2) to minimise exposure of walls to solar radiation (achieved by placing building lengthwise in east-west direction). Orientation for air movement should have priority, since solar radiation is easily eliminated by shading devices.
- Spacing** : Wide for maximum unobstructed air circulation.
- Plan** : Rooms single banked in the direction of prevailing wind for maximum cross-ventilation. Courtyard buildings suitable for composite climates.
- Openings** : Large, 40 - 80% of wall surface, protected against sun and rain. Smaller openings in composite climates.
- Walls** : Light with low heat capacity, protected from sun and rain. Problems in composite climates, where colder seasons call for high heat capacity.
- Surfaces** : Maximum reflectivity.

## Dachentwurf

- Gestalt** : - Geneigt für schnellen Wasserablauf, Neigungswinkel mit der Wasserdurchlässigkeit der Dachhaut zunehmend.
- Traufe weit überhängend, um Regenwasserabfluß in ausreichender Entfernung auch vom unteren Wandbereich zu gewährleisten und um Wände und Öffnungen zu beschatten.
  - Vermeidung von waagerechten Dachkehlen und internen Dachrinnen, in denen sich Schmutz und Wasser ansammeln können.
  - In Misch- und Hochlandklimata mit warmen, trockenen Jahreszeiten gut entwässerte flache Dächer zum Schlafen unter freiem Himmel und für andere Aktivitäten eventuell erwünscht.
- Konstruktion** : - Leicht, mit niedriger Wärmekapazität (sowohl tragende Teile als auch Dachhaut), um Wärmeentwicklung zu verhindern, welche nicht über Nacht abgegeben werden kann, da kein Temperaturrückgang.
- Luftraum zwischen Dachschichten zur Verminderung von Wärmeübertragung ins Innere, könnte aber Kondensationsprobleme hervorrufen, wenn die unteren Schichten undurchlässig sind und der Luftraum erheblich unter die Innentemperatur sinkt.
  - Öffnungen unterhalb des Daches oder abgehängter Decken notwendig, um angestaute Wärme abzuführen.
  - Ventilationsöffnungen und Dachhohlräume gegen Eindringen von Vögeln, Nagetieren und größeren Insekten abgesichert (z.B. durch Maschendraht), jedoch Vorsicht geboten, um Luftdurchzug nicht zu beeinträchtigen.
  - Sorgfältige Wasserabdichtung aller Dachanschlüsse sowie Maßnahmen für Schallabsorption, um Lecken und unerträgliche Geräusche während tropischer Regenfälle zu verhindern.
  - Bewegungsfugen an Bauwerken mit mehr als 25 m Länge, um Wärme-, Feuchtigkeits- und Setzungsbewegungen zu erlauben.
  - Reflektierende Oberflächen reduzieren Wärmelast und Wärmebewegungen.
  - Im Misch- und Hochlandklima schattenspendende Teile von Dächern abnehmbar, um die Sonne während der kalten Jahreszeit durchzulassen.
  - Ausreichende Festigkeit, um das Gewicht der Bewohner, die auf dem Dach schlafen, zu tragen.
- Materialien** : - Keine idealen Materialien, da Anforderungen zu vielfältig, um von einem einzigen Material erfüllt zu werden, daher Kompromisse erforderlich.

## Roof Design

- Form** : - Sloped for rapid run-off of rainwater, angle of slope increasing with permeability of roofing material.
- Wide overhanging eaves to throw rainwater well away from base of walls and provide shading of walls and openings.
  - Avoidance of horizontal valleys and internal gutters, in which dirt and water can accumulate.
  - In composite or upland climates with warm dry seasons, flat roofs with good drainage possibly desirable for outdoor sleeping and other activities.
- Construction** : - Lightweight, low thermal capacity structures (both supporting structures and covering) to avoid heat build up which cannot be dissipated at night, since there is no temperature drop.
- Provision of air space between roof layers can minimize heat transmission to interior considerably, but may create condensation problems, if lower layer is impermeable and air space cools well below temperature of interior.
  - Openings below roof or suspended ceiling necessary to discharge accumulated heat.
  - Ventilation openings and roof cavities protected against birds, rodents and large insects by means of screens (e.g. wire mesh), taking care not to hamper air flow substantially.
  - Careful waterproofing of all roof junctions as well as measures for sound absorption to avoid leakage and unbearable noise during tropical downpours.
  - Movement joints on buildings exceeding 25 m length to permit thermal, moisture and deflection movements.
  - Reflective surfaces to reduce heat load and thermal movements.
  - In composite and upland climates, parts of roofs functioning as sun shades made removable to facilitate exposure to sun during cold seasons.
  - Sufficient strength to support weight of occupants using roof for sleeping.
- Materials** : - No ideal material exists, since requirements are too diverse to be fulfilled by a single material, hence compromises are necessary.
- Primary requirements for roofing materials: low thermal capacity; resistance to rain penetration, yet permeable enough to absorb moisture (e.g. water vapour, condensation) and release it when air is drier; resistance to fungus, insects, rodents and ultraviolet

- Hauptsächliche Erfordernisse für Dachmaterialien: niedrige Wärmekapazität, jedoch durchlässig genug, um Feuchtigkeit aufzunehmen (z.B. Wasserdampf, Kondensation) und sie wieder freizugeben, wenn die Luft trockener ist; Resistenz gegen Pilzbefall, Insekten, Nagetiere und ultraviolette Strahlen; reflektierend; widerstandsfähig gegen Einschlag (Hagel, fallende Kokosnüsse und Steine, usw.); unempfindlich gegen Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen; frei von Gerüchen und Dämpfen.
- Gebrauch von Dämmstoffen, um Sonnenwärmedurchgang abzuhalten, immer noch fraglich. Hauptargument dagegen: Beeinträchtigung der Wärmeabgabe des Daches während der Nacht, dadurch Unbehaglichkeit der Bewohner und Bildung von Kondenswasser an der Unterseite der Isolierung durch Temperaturunterschiede auf beiden Seiten.
- Wirksamer Wärmeschutz durch Beschattung und richtige Anwendung von reflektierenden Materialien (z.B. Aluminiumfolie auf der Oberseite von abgehängten Decken).
- Feuchtigkeitssperren nicht geeignet, da Wasserdampf nicht entweichen kann und Kondensation verursacht.

### 3.2.2 Dächer für trockenheißes Klima

#### Klimamerkmale

- Temperatur** : Durchschnittliches Maximum 43° bis 49°C während warmer Jahreszeit, 27° bis 32°C während kalter Jahreszeit, und entsprechendes durchschnittliches Minimum von 24° bis 30° und 10° bis 18°C. Große tägliche und jährliche Temperaturschwankungen, aber tiefere Temperaturen und geringere Schwankung in Küstengebieten.
- Feuchtigkeit** : Sehr niedrige relative Feuchtigkeit, von 10 bis 55% schwankend und bis 90% in Küstennähe steigend; entsprechender Dampfdruck zwischen 500 und 2000 N/m<sup>2</sup>.
- Niederschlag** : Jahresmenge niedrig, meistens weniger als 250 mm, mit unregelmäßigen Schauern über das ganze Jahr. In manchen Gebieten mehrere Jahre kein Regen.
- Wind** : Heiße Winde, die Sand und Staub tragen, örtlich auftretend, oft als Wirbelwinde. Richtung der Küstenwinde: Meer zu Land während des Tages, Land zu Meer während der Nacht.
- Vegetation** : Spärlich, trotz fruchtbaren Bodens, durch Regenmangel und niedrigen Grundwasserspiegel.
- Besonderheiten** : Fehlen von Wolken erlaubt intensive direkte Sonneneinstrahlung während des Tages und schnelle Wärmeabgabe nach Sonnenuntergang. Intensive Blendung und Hitze, hervorgerufen durch Sonnen-

radiation; reflectivity; resistance to impact (hail, dropping coconuts, falling stones, etc.); resistance to temperature and moisture fluctuations; freedom from odours and fumes.

- Use of insulating materials to intercept solar heat penetration still disputable. Main argument against them: interference of cooling action of roof during nights, causing discomfort for occupants and inducing condensation on underside of insulation, due to temperature difference on either side.
- Elimination of heat more effective by shading and proper use of reflective materials (e.g. aluminium foil on upper surface of suspended ceiling).
- Waterproofing membranes unsuitable, since water vapour cannot escape and causes condensation.

### 3.2.2 Roofs for Hot Dry Climates

#### Characteristics of Climate

- Temperature** : Mean maximum in hot season 43° to 49°C, in cold season 27° to 32°C, and corresponding mean minimum 24° to 30° C and 10° to 18° C. Large diurnal and annual temperature variations, but lower temperatures and less variations in coastal regions.
- Humidity** : Very low relative humidity varying from 10 to 55% increasing to 90% near the coast, corresponding vapour pressure ranging between 500 and 2000 N/m<sup>2</sup>.
- Precipitation** : Low annual total, usually less than 250 mm, with irregular showers throughout the year. No rain in some region for several years.
- Wind** : Hot winds, carrying sand and dust, occurring locally, often as whirlwinds. Direction of coastal winds: sea to land during the day, land to sea during the night.
- Vegetation** : Sparse, in spite of fertile soil, due to lack of rain and low subsoil water table.
- Special Features** : Absence of clouds permits intense, direct solar radiation during the day and rapid dissipation of accumulated heat after sunset. Intense glare and heat caused by reflection of sunlight on light coloured, dry ground. Additional structural loads and abrasion of materials

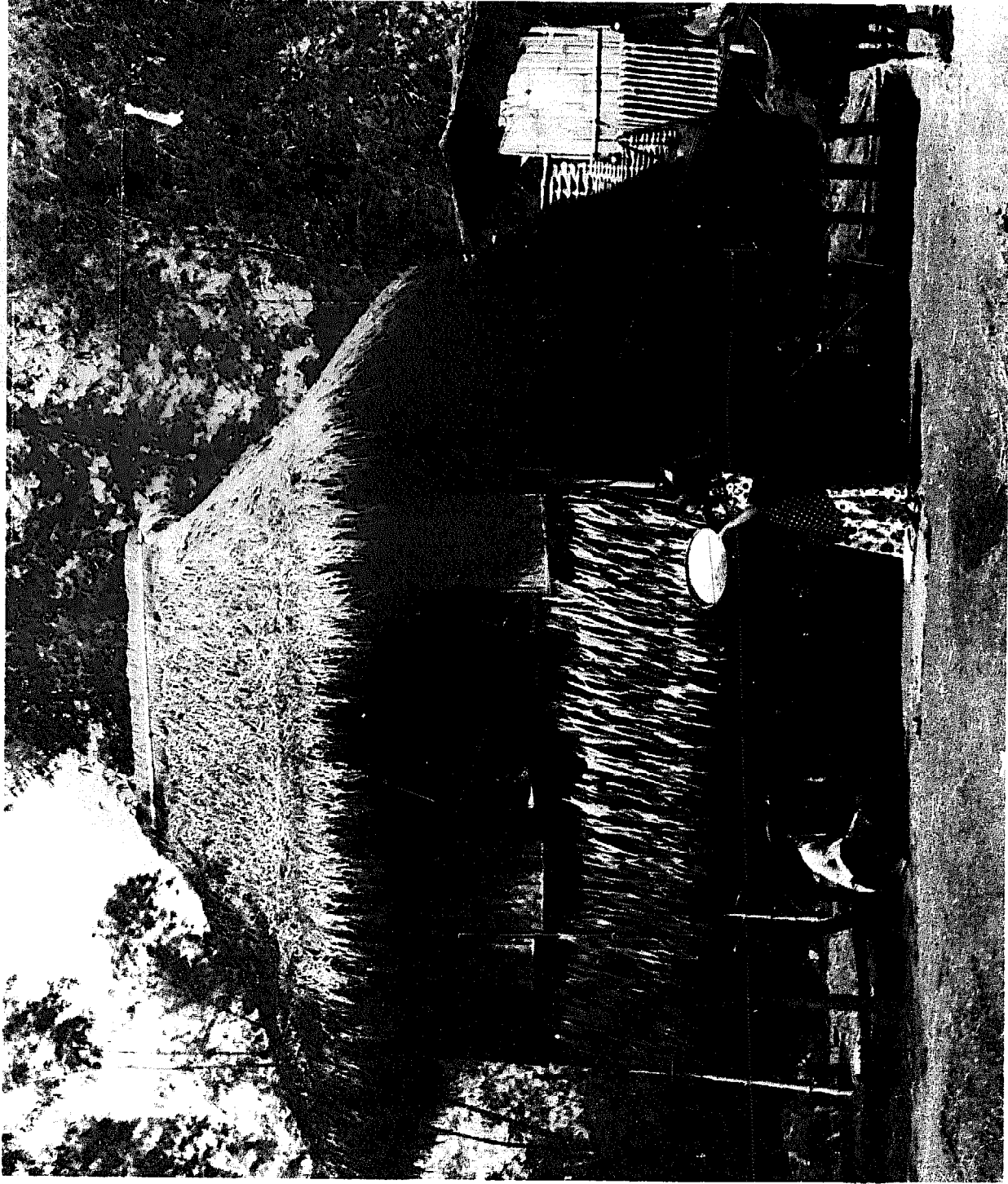


Abb. 3.1  
Traditionelle Bauweise für feucht-  
warmes Klima (Philippinen)

Fig. 3.1  
Traditional design for warm-  
humid climate (Philippines)



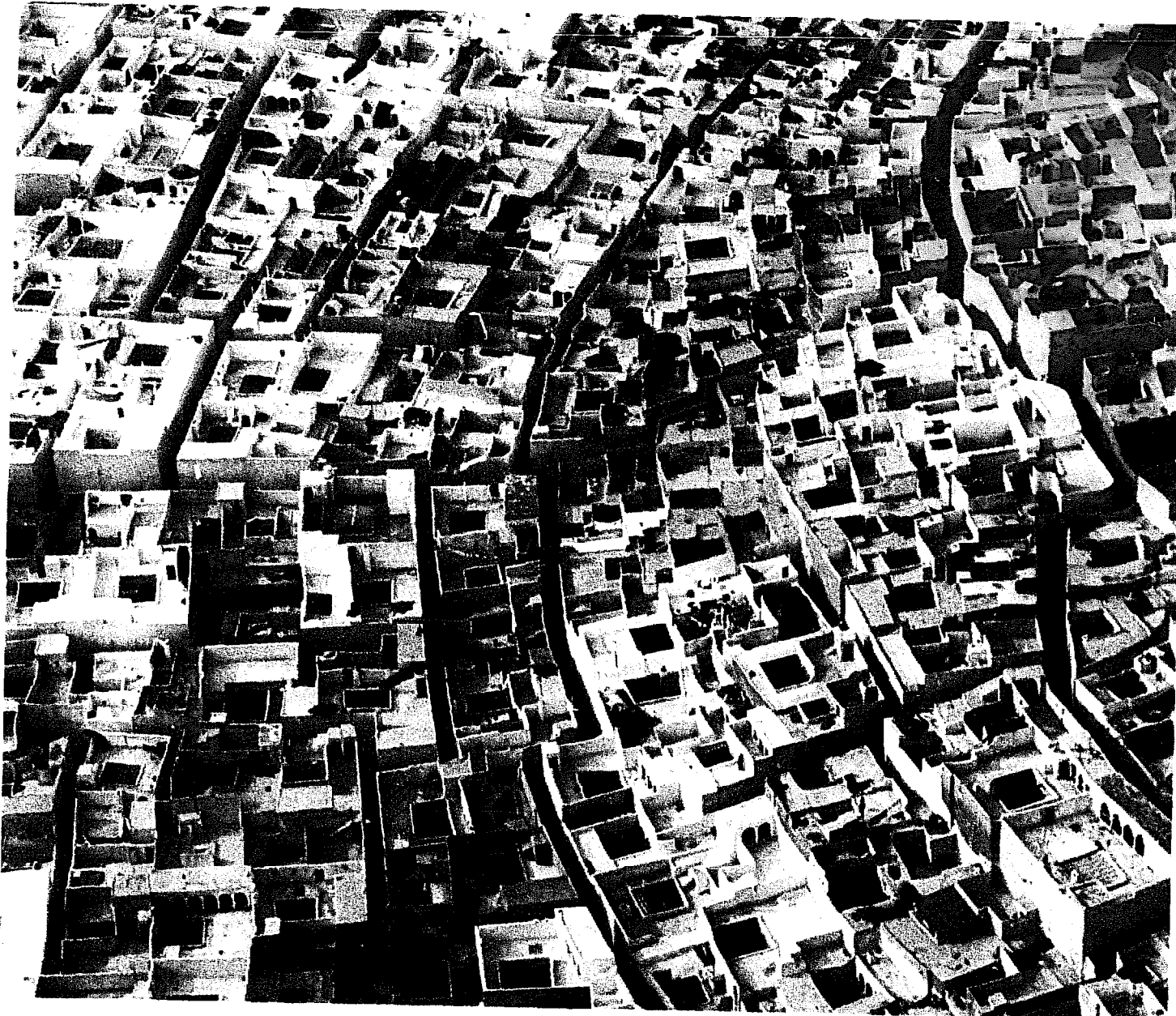


Abb. 3.2  
Traditionelle Bauweise für  
trockenheißes Klima (Algerien).

Fig. 3.2  
Traditional design for hot-dry  
climate (Algeria).

QUELLE/SOURCE:  
Bauwelt 23/1976  
"Wüstenstadt im M'Zab"

- Luft, die damit in Kontakt kommt, abkühlt und zum Innenhof hin fällt, somit Kühlung angrenzender Räume;
- 2) Leichtes Einsammeln von Regenwasser, auch Verbesserung des Innenraumklimas.
- Konstruktion** :
- Windschaukeln, Türme mit Öffnungen zur Hauptrichtung des Windes zur Ableitung höher vorkommender Brisen in das Gebäude.
  - Vorwiegend schwere Konstruktionen mit hoher Wärmekapazität (wie für Wände), aber nicht für Erdbebenzonen geeignet.
  - Zweischalige, leichte Dächer mit ausreichendem Hohlraum, um heiße Luft entweichen zu lassen.
  - Äußere Schicht des Doppeldaches vorzugsweise mit Wärme-Isolierung, obere Flächen beider Schichten reflektierend.
  - Für äußere Bereiche luftdurchlässige Dächer mit niedriger Wärmekapazität für Beschattung, jedoch ohne heiße aufsteigende Luft zurückzuhalten.
  - In wasserreichen Gebieten Nutzung von Verdunstungskühlung durch Wasserflächen oder Sprühanlage auf dem Dach. Nachteile: Entstehung von Moskitobrutplätzen im Wasser, hohe Kosten für Sprühvorrichtungen.
  - Geringe Gefahr von Schweißwasserbildung, keine Dampfsperren nötig.
  - Konstruktion ausreichend stark, um Gewicht der Bewohner auf dem Dach zu tragen.
  - In Zonen mit extremen Temperaturschwankungen Bewegungsfugen alle 25 m erforderlich, die vorzugsweise ganze Teile des Gebäudes voneinander trennen. Reduzierte Wärmebewegungen durch Reflexion der Sonnenstrahlung und Beschattung.
- Materialien** :
- Entweder Materialien mit hoher Wärmekapazität sowie äußere Isolierungsschicht, um die Wärmelast auf einem Minimum zu halten,
  - oder zwei durch Luft getrennte Schichten niedriger Wärmekapazität, wobei die äußere oder beide aus Wärme-Isolierung bestehen.
  - Wegen intensiver Sonneneinstrahlung höchstmögliche Reflexion der äußeren Oberflächen aller Schichten.
  - Mit Rücksicht auf Dauerhaftigkeit sollte bedacht werden:
    - 1) intensive Sonnenbestrahlung, gefolgt von schneller Abkühlung, macht Materialien spröde;
    - 2) fliegender Sand und Staub verursacht Abrieb und Trübung der reflektierenden Oberflächen.
- Construction** :
- 2) rainwater can be collected more easily, also improving indoor climate.
  - Wind catchers, towers with openings facing main direction of wind, to redirect higher level breezes into building.
  - Generally heavy, high thermal capacity structures (as for walls), but unsafe in earthquake zones.
  - Double layered lightweight roofs with sufficient air space to dissipate hot air.
  - Outer layer of double roof preferably with insulating material, upper surfaces of both layers reflective.
  - For outdoor areas, permeable screen covers of low thermal capacity to give shade but allow rising hot air to escape.
  - Where water is plentiful, pools of water or roof sprays provide cooling by evaporation. Disadvantage: risk of mosquito breeding in pools, high cost for spraying devices.
  - Little risk of condensation, no vapour barriers required.
  - Sufficient strength of structure to support weight of occupants frequenting roof.
  - In regions with extreme temperature fluctuations, movement joints required every 25 m, preferably separating complete sections of buildings. Reduction of thermal movement by reflection of radiation and shading.
- Materials** :
- Either high thermal capacity materials with external layer of insulation to minimize heat load,
  - or two layers with low thermal capacity, and outer or both layers of heat resisting materials.
  - Because of intense solar radiation, maximum possible reflectivity of outer surfaces of all layers.
  - Considerations of durability should take into account:
    - 1) intense solar radiation followed by rapid cooling, causing embrittlement of materials,
    - 2) windblown sand and dust causing abrasion and dulling of reflective surfaces.

reflexion auf hellem, trockenem Boden. Zusätzliche Traglast und Abrieb von Materialien durch Staub und Sand. Schnelle Temperaturwechsel verursachen Schwächung und Zerfall von Materialien. Salzhaltige Luft beschleunigt Korrosion in Küstengebieten.

### Allgemeine Entwurfsprinzipien

- Orientierung** : Bestimmt durch zwei primäre Anforderungen:  
1) Ausschließen von heißer Luft, Sand und Staub  
2) Reduzierung der Sonneneinstrahlung auf Außenflächen (erreicht durch Ausrichtung der größten Gebäudeflächen nach Norden oder Süden).
- Abstände** : Kompakte Anordnung der Gebäude, vorzugsweise mit Ost- und West-Wänden nahe beieinander, zur gegenseitigen Beschattung. Vermeidung von langen, geraden Straßen, um Durchzug von heißen Sandstürmen zu verhindern.
- Grundriß** : Nach innen gerichtet, mit der kleinstmöglichen Sonnenaussetzung. Kleine Innenhöfe (Breite weniger als Höhe) mit Wasser und Pflanzen zur Kühlung des Innenbereichs.
- Öffnungen** : Klein, 20 - 40% der Wandflächen, dicht unterhalb der Decke, gut beschattet. Idealerweise während des Tages geschlossen und während der Nacht geöffnet, obwohl aus Gründen der Intimität und Sicherheit schwierig durchzuführen.
- Wände** : Schwer, mit hoher Wärmekapazität und Phasenverschiebung von 9 - 12 Stunden, um Wärmedurchgang ins Innere bis zu den kühlen Stunden vor der Dämmerung zu verzögern und zur Erhaltung kühler Bedingungen im Inneren während Sonnenscheinperioden.
- Oberflächen** : Maximal reflektierend; glatte Oberflächen, um Ansammeln von Sand und Staub zu verhindern.

### Dachentwurf

- Gestalt** : - Meistens flach, da Regenentwässerung kein Hauptanforderung ist, auch um Schlafen und andere Aktivitäten auf dem Dach zu ermöglichen.  
- Gewölbe- und kuppelförmige Dächer sind auch häufig in heißen trockenen Klimata: gerundete Oberflächen verteilen Einstrahlung der hochstehenden Sonne, da Dachfläche größer als die Grundfläche, dadurch Reduzierung der Oberflächentemperaturen und Erleichterung der nächtlichen Rückstrahlung der Wärme.  
- Dächer von Innenhofhäusern nach innen geneigt:  
1) bei gut entworfenen und erhaltenen Dächern (gute Reflexion) nächtliche Abkühlung unter die umgebende Temperatur, so daß

due to dust and sand. Rapid temperature changes cause weakening and failure of building materials. Salt laden air in coastal areas accelerates corrosion.

### General Design Principles

- Orientation** : Determined by two prime requirements:  
1) to exclude hot air, sand and dust  
2) to minimise exposure to solar radiation (achieved by facing larger dimensions of building towards north or south).
- Spacing** : Compact alignment of buildings, preferably placing east and west walls close together for mutual shading. Avoidance of long straight roads to check passage of hot sand storms.
- Plan** : Introverted, with smallest possible exposure to sun. Provision of small courtyards (width less than height) with water and plants for cool interiors.
- Openings** : Small, 20 - 40% of wall surface, placed close to ceiling, well shaded. Ideally, closed during day and opened at night, though difficult to implement for reasons of privacy and security.
- Walls** : Heavy, with high thermal capacity, and time-lag of 9 to 12 hours, to delay emission of heat to interior until cold pre dawn hours, and to retain cool conditions within during period of sunshine.
- Surfaces** : Maximum reflectivity, smooth surfaces to prevent collection of sand and dust.

### Roof Design

- Form** : - Usually flat, since rainwater run-off is no major requirement, also to facilitate sleeping and other activities on roof.  
- Vault and dome shaped roofs also common in hot dry climates: curved surface area, being considerably larger than base, distributes radiation of high sun, thus lowering surface temperatures and facilitating nocturnal reradiation.  
- Roofs of courtyard houses sloping inwards:  
1) well designed and maintained roofs (good reflection) cool below ambient temperature at night, so that air in contact with it cools and drops towards courtyard, cooling adjoining rooms;

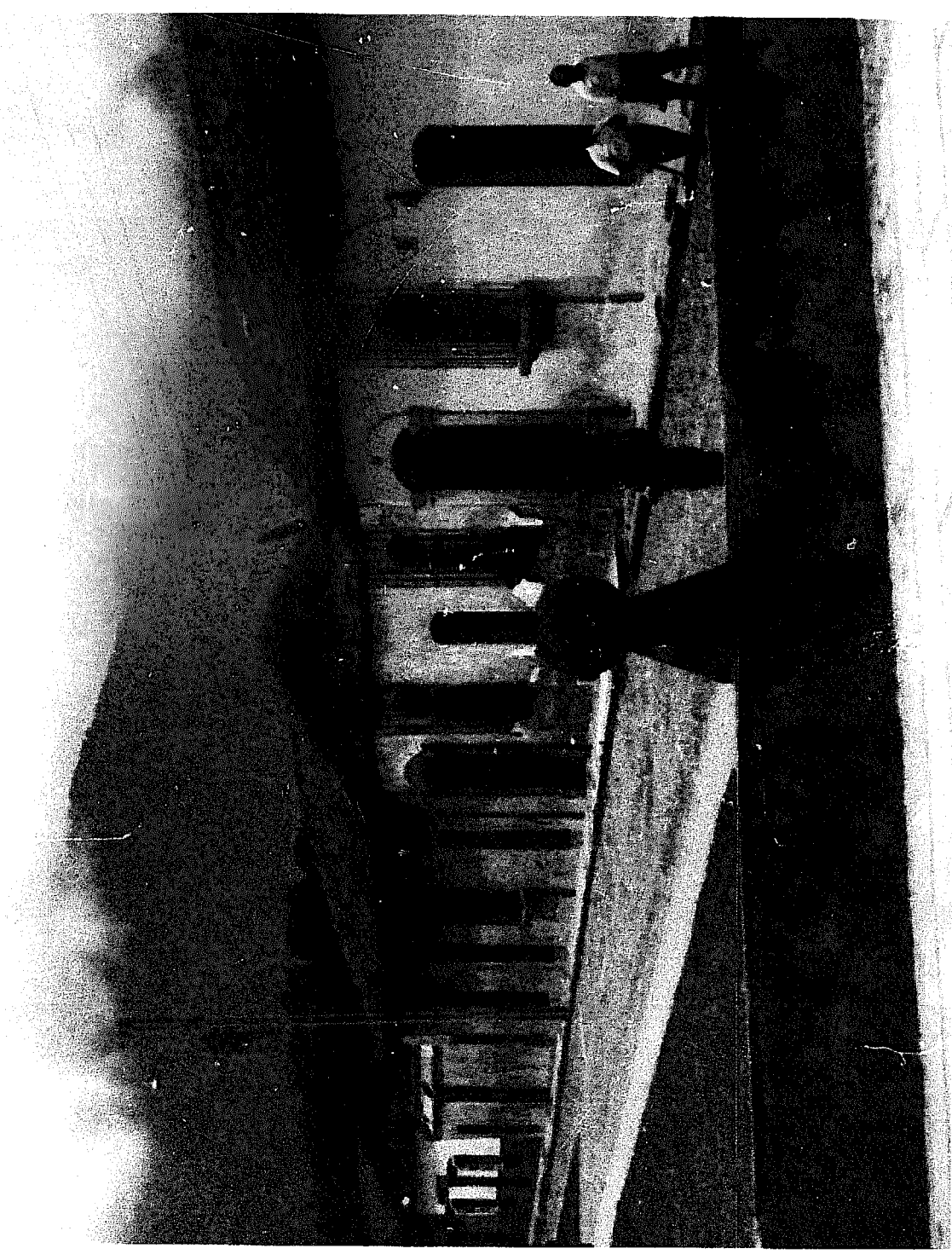


Abb. 3.3  
Traditionelle Bauweise für Hoch-  
landklima (Guatemala).

Fig. 3.3  
Traditional design for highland  
climate (Guatemala).

### 3.3 Schutz gegen Gefahren

Die Gefahren und deren jeweilige Schutzmaßnahmen in diesem Teil sind nur solche, die in Verbindung mit Dachkonstruktionen stehen. Es muß betont werden, daß sie generell im Zusammenhang mit der Konstruktion des übrigen Gebäudes gesehen werden müssen, wie stellenweise, wo erforderlich, darauf hingewiesen wird. Da sich die nachfolgend besprochenen Gefahren nicht auf bestimmte Klimazonen beziehen, werden diese nicht ausdrücklich erwähnt.

#### 3.3.1 Biologische Schädlinge

Diese sind Insekten (Termiten, Bohrkäfer, Fliegen, Moskitos, usw.), Tiere (Ratten, Fledermäuse, Vögel, Schlangen, usw.) und Pilze.

##### Probleme

Auf Dächern nistende oder brütende Insekten können Gesundheitsrisiken (krankheitstragende Moskitos und Fliegen) oder einfach eine Belästigung für die Bewohner des Gebäudes bedeuten. Gewisse Insekten (Termiten, Bohrkäfer) können organische Baumaterialien schwächen oder zerstören.

Ähnlich könnten Tiere, die sich in Hohlräumen verstecken, Gesundheitsprobleme oder Störung der Bewohner verursachen.

Durch Feuchtigkeit entstehende Pilze bilden unansehnliche Flecken auf fertigen Oberflächen, zerstören jedoch selten die Baustoffe selbst. Sie sind ein Zeichen von übermäßiger Feuchtigkeit, was unhygienische Bedingungen, schnellen Zerfall von organischen Baumaterialien und Korrosion von Metallen hervorruft.

### 3.3 Protection against Hazards

The hazards and the respective protective measures referred to in this section are only those associated with roof constructions. It must be stressed that they generally have to be dealt with in conjunction with the rest of the building construction, as is mentioned wherever necessary.

Since the hazards discussed below are not limited to any particular climatic regions, they are not specifically mentioned in the following.

#### 3.3.1 Biological Agents

These include insects (termites, borer beetles, flies, mosquitos, etc.), animals (rats, bats, birds, snakes, etc.) and fungi.

##### Problems

Insects nesting or breeding on roofs can be a health hazard (disease carrying mosquitos and flies) or simply a nuisance to the occupants of the building. Certain insects (termites, borer beetles) can weaken or destroy organic building materials.

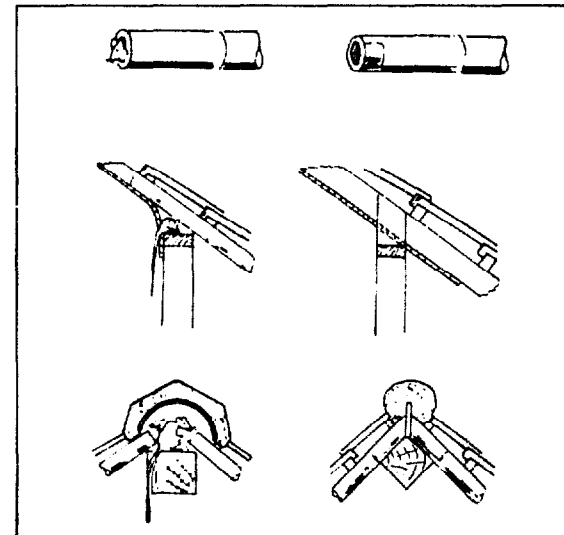
Similarly, animals lurking in roof cavities may create health problems or disturbances to occupants.

Fungi developing in moist conditions form unsightly patches on finished surfaces, but are seldom destructive to building materials. They are a sign of excess moisture, which can cause unsanitary conditions, rapid decay of organic building elements and corrosion of metals.

Abb. 3.4 Schädlingssichere Bambuskonstruktion (links: falsche, rechts richtige Methode)

Fig. 3.4 Vermin-proof bamboo construction (left: wrong, right: correct method)

QUELLE/SOURCE: United Nations "The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction" (1972)



### Schutzmaßnahmen

In bezug auf Insekten und Tiere:

- Vermeidung von Materialien, die Schädlinge anziehen, und von unkontrollierbaren Hohlräumen, in denen sie nisten können;
- Vermeidung von Löchern oder Vertiefungen, in welchen sich Wasser und Schmutz ansammeln können, worin Moskitos, Fliegen, Küchenschaben und ähnliches brüten können;
- Anbringung von Termitenblechen am Fundament des Gebäudes und Vergiftung der Erde, um unterirdischen Termiten den Zugang zum Dach zu verwehren;
- Behandlung von organischen Materialien mit Insektiziden, wenn natürlich widerstandsfähiges Material nicht verfügbar;  
(Bemerkung: Obwohl allgemein üblich, besteht hier die Gefahr, daß das Insektizid von Regen oder Kondenswasser weggespült wird, dadurch Herabsetzung der Termitenresistenz und Entstehung einer Gesundheitsgefährdung).
- Anbringung von Maschendraht, um Ungeziefer fernzuhalten;
- Gebrauch von Materialien, die innerhalb des Daches Temperaturen entstehen lassen, die zu hoch sind, um Ungeziefer bestehen zu lassen;  
(Bemerkung: Unerwünschte Hitze könnte dadurch im Gebäudeinneren entstehen);
- Vermeidung von dichter Vegetation in der Nähe des Gebäudes, um Schädlingen keinen leichten Zugang zu ermöglichen.

Abb. 3.5 (a, b) Methoden zur Behandlung von frischem Bambus mit chemischen Lösungen

- a. Boucherie-Verfahren, wobei Bambussaft durch Schutzlösung ersetzt wird. Dauer: 5 Tage, aber mit Druckbehandlung nur wenige Stunden.
- b. Tauchmethode, wobei chemische Lösung vom Stamm aufgesaugt wird aufgrund der Feuchtigkeitsabgabe von den Blättern.

Es kann eine große Anzahl anderer Schutzbehandlungen angewendet werden, wovon eine einfache, wirksame Methode darin besteht, die geschnittenen Rohre zur Beseitigung der Feuchtigkeit zu räuchern.

Fig. 3.5 (a, b) Methods of treating fresh bamboo with preservative solutions

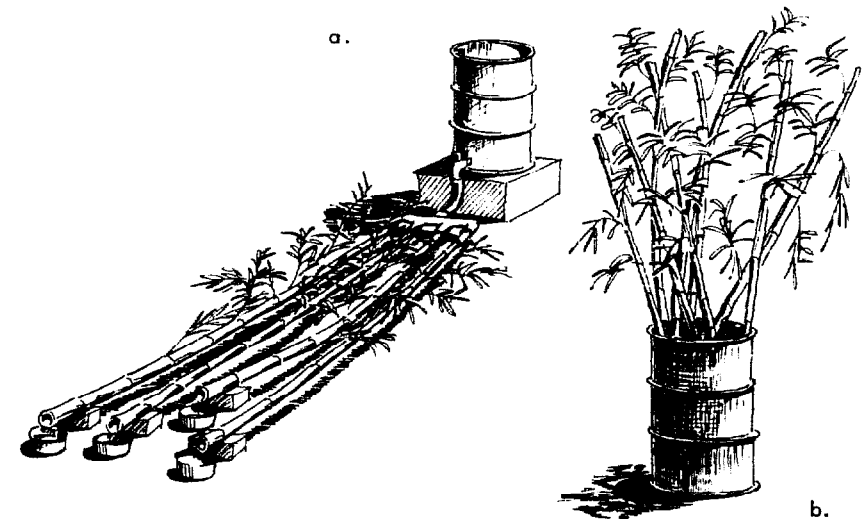
- a. Boucherie process, by which the sap of the bamboo is substituted by the preservative. Duration: 5 days, but with pressure treatment only few hours.
- b. Dipping method, by which chemicals are drawn up the stem due to transpiration of moisture from leaves. Duration: 1 to 2 weeks.

A great number of other protective treatments may be employed, a simple and effective method being smoking of cut culms to remove all moisture.

### Protective Measures

With respect to insects and animals:

- avoidance of materials that attract pests and have uncontrollable cavities for them to nest in;
- avoidance of pockets or depressions in which water and dirt can accumulate providing breeding places for mosquitos, flies, cockroaches, etc.;
- provision of termite shields at base of building and poisoning of soil to prevent subterranean termites from gaining access to roof;
- poisoning of organic materials for termite resistance, if naturally resistant material is not available;  
(Note: though this is a common practise, there is a risk of insecticide being washed out by rain or condensation, thus reducing the termite resistance and constituting a health hazard)
- provision of wire mesh at openings, to keep out pests;
- use of materials creating temperatures within roof, too high for pests to exist;  
(Note: the consequence could be undesirable heating of building interior)
- avoidance of dense vegetation close to building to reduce access links for pests.



In bezug auf Pilzbildung:

- Verhinderung von Feuchtigkeitsansammlungen durch Ventilation und Entwässerung;
- Gebrauch von natürlich widerstandsfähigen Materialien (z. B. gut abgelagerte Hölzer, Zementfarbe, Kalkanstrich, nicht ölgebundene Leimfarbe), Fungiziden; geringe Verwendung von organischen Materialien.

Im allgemeinen:

- Aufrechterhaltung sauberer Bedingungen, um keine Nährböden für Ungeziefer und Pilze entstehen zu lassen;
- Ermöglichung von Zugang zu allen Teilen des Daches für regelmäßige Inspektionen.

### 3.3.2 Wind und Regen

Die Faktoren, die eine Gefahr für Gesundheit oder Leben der Bewohner darstellen und die für die Gebäudekonstruktionen schädlich sein können, sind örtliche Gewitterstürme, Sandstürme, Tornados, tropische Wirbelstürme, Wolkenbrüche und Hagel.

#### Probleme

Starke Winde (Tornados, tropische Wirbelstürme) verursachen, je nach Dachneigung, Überhang und Durchlässigkeit, positiven oder negativen Luftdruck (Sog) auf verschiedene Teile des Daches, wodurch Bruchschäden entstehen oder Dachelemente vollkommen abgerissen werden. Umherfliegende Gegenstände können Gebäude schädigen und Leben gefährden.

Fliegender Sand, der sich auf Dächern ansammelt, vergrößert die Traglast und gefährdet schwache Bauwerke. Er verursacht auch den Abrieb von Materialien, Trübung von Oberflächen und großes Unbehagen für die Bewohner.

Schwere Regen in den Tropen können

- Dachelemente lockern und loslösen,
- Bruchschäden und das Durchdringen von Wasser verursachen,
- Oberflächenanstriche, Insektizide und Fungizide fortspülen,
- auf nicht schallabsorbierenden Dächern erhebliche Geräuschbelastung verursachen,
- Überschwemmungen von Gebäuden verursachen, wobei mit steigendem Wasser Luft unter dem Dach eingeschlossen wird und dadurch einen starken Auftrieb gegen das Dach und seine Befestigungen an den Wänden zur Folge hat. Zusätzlich entstehen hohe Verkehrslasten auf dem Dach durch Menschen, die Zuflucht vor der Überschwemmung suchen.

Abb. 3.6 (a, b) Wirkung der Dachneigung bei Winddruck: maximaler Sog bei etwa 10° Neigung

Fig. 3.6 (a, b) Effect of roof slopes on wind pressure: maximum suction at about 10° pitch

With respect to fungi:

- avoidance of moisture concentrations by means of ventilation and drainage;
- use of naturally resistant materials (e.g. well-seasoned timbers, cement paint, lime wash, non-oil-bound distempers) and fungicides, minimum use of organic materials.

In general:

- maintenance of clean conditions to provide no feeding grounds for pests and fungi;
- provision of access to all parts of roof for periodic inspection.

### 3.3.2 Wind and Rain

The factors constituting a hazard to the health or life of the occupants and which may be detrimental to building construction are local thunderstorms, sand storms, tornadoes, tropical cyclones, torrential downpours and hail.

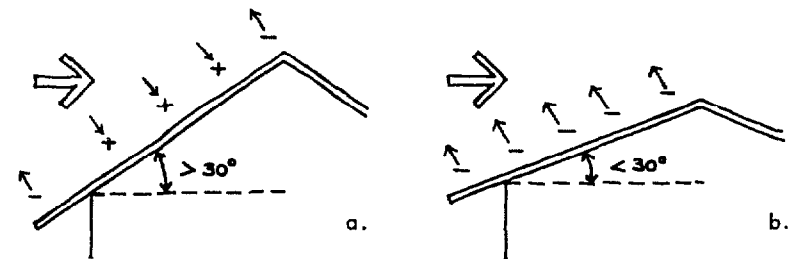
#### Problems

Strong winds (tornadoes, tropical cyclones) exert positive and negative pressures (suction) on different parts of roofs, depending on their slopes, overhangs and permeability, causing partial breakage or complete displacement of elements. Flying objects can then damage other buildings and endanger lives.

Wind blown sand accumulates on flat roofs increasing loads and endangering weak structures. They also cause abrasion of materials, dulling of surfaces and great discomfort to dwellers.

Heavy rains in the tropics can

- loosen and dislocate roof elements,
- cause breakage and penetration of water,
- wash off surface coatings, insecticides and fungicides,
- create extreme noise disturbance on roofs which do not absorb sound,
- cause inundation of buildings, trapping air below the roof as water rises, thus imposing strong upthrust on the roof and its fastenings to walls. In addition high live loads are imposed on the roof by people seeking refuge from the floods.



Hagelstürme mit großen Hagelsteinen können Dachelemente und andere Gebäudeteile beschädigen oder zerbrechen.

Gewitterstürme sind oft von gewaltigen Blitzeinschlägen begleitet, welche hochliegende Teile, die Metall oder Feuchtigkeit enthalten, treffen, und Verwüstung verursachen.

#### Schutzmaßnahmen

In bezug auf starke Winde:

- Vermeidung von flachen oder flach geneigten Dächern mit weniger als  $20^\circ$  (etwa 1 : 3),
- Vermeidung von leichten Dächern und breiten Überhängen,
- Gebrauch von dauerhaften Materialien (fähig, fliegenden Gegenständen Widerstand zu leisten), am Unterbau stark befestigt,
- unnachgiebige und starke Verankerung zum tragenden Bauwerk,
- Querverstrebungen, um Verwindungen und Bruchschäden der Dachelemente auf ein Minimum zu halten,

abgesehen von einer Anzahl anderer Schutzmaßnahmen für den Rest des Gebäudes.

In bezug auf vom Wind getragenen Sand:

- Vermeidung von Taschen und Oberflächen, in welchen sich Sand und Staub ansammeln können,
- Gebrauch von abriebfesten Materialien.

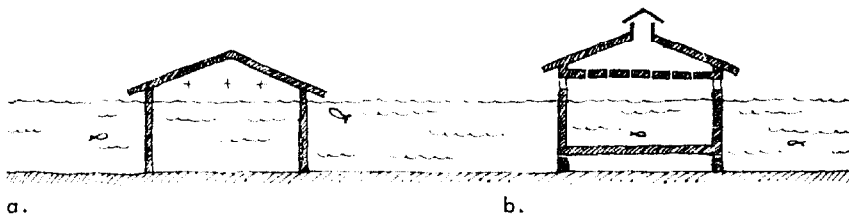


Abb. 3.7 (a, b)

a. Druckverhältnis bei Überflutung des Gebäudes: starker Auftrieb gegen das Dach, verursacht durch Lufteinschluß zwischen Wasser und Dach.

Fig. 3.7 (a, b)

a. Effect of inundation of building: strong upthrust on roof due to air trapped between water and roof.

b. Einplanung von Lüftungsöffnungen so hoch wie möglich, um Luft entweichen zu lassen.

b. Provision of ventilation openings as high as possible to allow air to escape.

Hail storms with large hailstones can seriously damage or break roofing elements and other building parts.

Thunderstorms are often accompanied by violent air to ground lightning, which strikes high lying elements containing metals or moisture, causing devastation.

#### Protective Measures

With respect to strong winds:

- avoidance of flat or low pitched roofs with slopes less than  $20^\circ$  (about 1 : 3);
- avoidance of light roofs and wide overhangs;
- use of durable materials (capable of withstanding impacts of flying objects) firmly attached to substructure;
- rigid and strong anchorage of roof to supporting structure;
- cross-bracing to minimize distortion and breakage of roof members;

apart from a number of other protective measures involving the rest of the building.

With respect to wind blown sand:

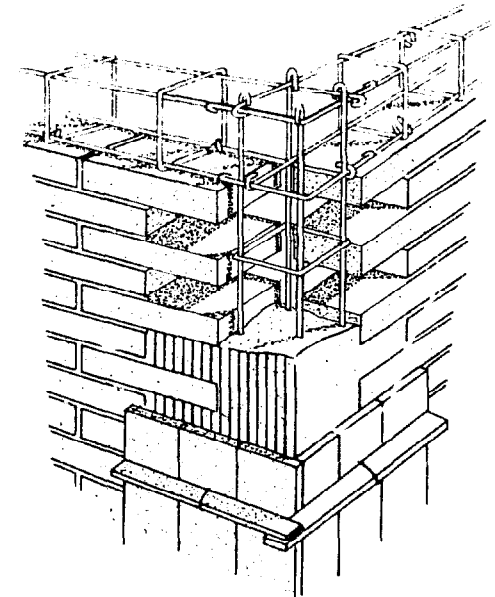
- avoidance of pockets and surfaces on which sand and dust may accumulate;
- use of abrasion resistant materials.

Abb. 3.8

Erdbebenwiderstand mittels Stahlbetonringbalken, der mit dem Fundament Stahlbeton-Verbindung hat.

Fig. 3.8

Earthquake resistance by means of reinforced concrete ring beam which has strong reinforced connections to the foundations.





In bezug auf schwere Regenfälle (zusätzlich zu den Erfordernissen für Windwiderstand):

- hoch widerstandsfähige Wasserabdichtung (von Verbindungsstellen) und Oberflächenanstrich,
- minimaler Gebrauch von Insektiziden und Fungiziden,
- Verwendung von schalldämpfenden, wasserabweisenden Materialien,
- Öffnungen an den oberen Enden des Daches, um eingeschlossene Luft während Überschwemmungen freizulassen,
- starke Dachkonstruktionen, ausreichend, um Lasten heraufsteigender Flüchtlinge während Überschwemmungen tragen zu können,
- Aufbewahrung von empfindlichen Materialien im Dachboden (z. B. Beladen der Untergurte der Dachbinder), um sie vor Wasserschäden zu schützen und den aufwärts wirkenden Kräften entgegenzuwirken.

In bezug auf Hagelstürme:

- Gebrauch von Materialien, die Hagelsteineinschlägen widerstehen,
- ausreichende Dachüberstände, um Fenster zu schützen.

In bezug auf Blitzeinschlag beziehen sich Schutzmaßnahmen hauptsächlich auf Standortwahl (keine hohe Lage relativ zur Umgebung), Aufstellen von teuren Blitzableitern und Feuerschutz. Metall und feuchtigkeit aufnehmende Dächer in blitzgefährdeten Zonen erfordern daher fachmännische Beratung über Aufstellen von Ableitungsmasten und Erdung.

Im allgemeinen müssen alle Schutzmaßnahmen zur Verhinderung nachteiliger Folgen von Wirbelstürmen und Regen Möglichkeiten für Inspektion und Instandhaltung des Bauwerkes und der Befestigungspunkte einbeziehen. Fachgerechte Ausführung ist jedoch die wichtigste Schutzmaßnahme.

### 3.3.3 Erdbeben und Feuer

Diese beiden Gefahren können zusammen behandelt werden, da nach schweren Erdbeben in den meisten Fällen Feuer ausbricht.

#### Probleme

Schwere Dächer oder lose Teile, auch verschiedene Aufbauten wie Wasserbehälter, Schornsteine und Brüstungen, können abgeschüttelt werden oder zusammenbrechen und damit Unfälle herbeiführen.

Zusammenfallende Wände ziehen darauf liegende Dächer mit sich.

Schäden an Schornsteinen und Versorgungsleitungen verursachen generell das Ausbrechen von Feuer.

#### Schutzmaßnahmen

Widerstand gegen Zusammenbruch erfordert:

- entweder monolithische Dächer oder solche aus starken, flexiblen Elementen, die

With respect to heavy rains (in addition to the requirements for wind resistance):

- highly resistant waterproofing (of joints) and surface coating;
- minimum use of insecticides and fungicides;
- use of sound absorbing, water repellent materials;
- openings in top ends of roofs to allow trapped air to escape during floods,
- strong roof constructions, sufficient to carry live loads of refugees during floods,
- storage of vulnerable material in roof space (e.g. by loading bottom chords of roof trusses), thus protecting them from water damage and helping to counter-act upward loads.

With respect to hail storms:

- use of materials resistant to impact of falling hailstones;
- sufficient overhangs to protect windows below.

With respect to lightning, protective measures mainly involve siting (no high situation relative to surroundings), installation of expensive lightning conducting systems and fire protection. Metal or moisture absorbing roofs in lightning prone situations, therefore, require expert advice on erection of conductor masts and earthing.

In general, all protective measures to counteract adverse effects of wind storms and rain must incorporate means for inspection and maintenance of structure and joints. However, the prime protective measure is good workmanship.

### 3.3.3 Earthquakes and Fire

These two hazards can be seen together as fires nearly always occur after severe earthquakes.

#### Problems

Heavy roofs or loose elements, also various appendages, like water tanks, chimneys and parapets, are likely to be shaken off or collapse, causing casualties.

Wall failures cause roofs, resting on them, to fall down.

Breakage of chimneys and mains supply lines generally causes outbreak of fire.

#### Protective Measures

Resistance to collapse calls for:

- either monolithic roofs or ones comprising strong, flexible members, firmly tied

fest an das tragende Bauwerk gebunden sind,

- Dächer, die sicher an einem durchgehenden Ringanker befestigt sind, welcher wiederum durch Stahlbetonrahmen zusammengehalten wird,
- oder, alternativ, Dächer auf freistehenden Stützen, von den Wänden statisch getrennt, so daß im Falle des Versagens der Wände das Dach nicht einstürzen würde,
- kompakte symmetrische Formen in Grundriß und Aufriß, um eine möglichst gleichmäßige Lastverteilung zu erreichen,
- statische Trennung von Dachteilen, um bei unsymmetrischen Gebäuden unabhängige, kompakte Formen zu bilden,  
(Bemerkung: diese Trennung muß bis zum Fundament heruntergeführt werden, um wirksam zu sein),
- Vermeidung von großen Spannweiten,
- Vermeidung von überstehenden Teilen wie Brüstungen, Wasserbehälter, nicht-monolithische Schornsteine, sowie von losen Abdeckungen, die leicht herabfallen können,
- Vermeidung schwerer Materialien auf schwachen Stützen,
- Vermeidung von spröden Materialien oder von solchen, die nur oberflächlich verbunden sind, z.B. gemauerte Kuppeln oder Gewölbe,
- Schutzmaßnahmen, die das Schwächen von Dachelementen durch biologische Schädlinge verhindern.

Verhinderung von Feuer verlangt:

- Vermeidung von leicht entzündbaren Materialien in der Nähe von Schornsteinen und Strom- sowie Gasleitungen,
- nicht-brennbare Dachdeckung (z.B. Asbestzement) über Materialien, die weniger feuerbeständig sind,
- ausreichende Abstände zu Nachbardächern in der Hauptwindrichtung,
- Vermeidung von Hohlräumen in Dächern, die, als Rauchzug wirkend, das Feuer schnell verbreiten lassen,  
(Bemerkung: dies erfordert Kompromisse, wenn belüftete Dachhohlräume zur Verbesserung des Innenraumklimas erforderlich sind),
- chemische Behandlung von Materialien, wobei Imprägnierung besser ist als Oberflächenbehandlung, aber Dächer, die dem Regen ausgesetzt sind, erfordern regelmäßige Wiederholung dieser Behandlung,
- Vermeidung von leicht entzündbaren Materialien in der Nähe von potentiellen Feuerquellen.

Wie schon vorher erwähnt, können alle Schutzmaßnahmen für Dächer nur dann wirksam sein, wenn auch für den übrigen Teil des Gebäudes die entsprechenden Entwurfsmaßnahmen getroffen werden.

down to supporting structure,

- roofs securely fixed to a continuously reinforced ring beam on top of walls, which itself is held together by a reinforced framework,
- or alternatively, roofs fixed to independent supports, structurally separated from walls, which, in the event of failure, would not cause the roof also to collapse,
- compact, symmetrical shapes, in plan and elevation, to obtain as uniform a stress distribution as possible,
- structural separation of roof sections, to form independent compact shapes on unsymmetrical buildings,  
(Note: this separation must be carried through down to the foundations to be effective)
- avoidance of large spans,
- avoidance of projecting elements, such as parapets, water tanks, non-monolithic chimneys, and loose roof coverings that tend to fall down,
- avoidance of heavy material on weak supports,
- avoidance of brittle materials, or ones that only have surface bonding, e.g. masonry domes or vaults,
- protective measures that resist weakening of roof members by biological agents.

Resistance to fire calls for:

- avoidance of combustible materials near chimneys and power and gas lines,
- non-combustible cladding (e.g. asbestos cement) on materials less resistant to fire,
- sufficient separation of neighbouring roofs in direction of prevailing winds,
- avoidance of cavities or air spaces in roofs, which can act as flues spreading fire rapidly,  
(Note: this necessitates a compromise if ventilated roof space is required to improve indoor climate),
- chemical treatment of materials, impregnation being better than brush treatment, but roofs exposed to rain require regular renewal of treatment,
- avoidance of storage of combustible materials close to potential sources of fire.

As mentioned before, all protective measures for roofs can only be effective if corresponding steps are taken in designing the rest of the building.

### 3.4 Materialwahl

Es gibt kein universales Rezept für Bedachungsmaterialien; jedes hat seine Vor- und Nachteile, je nach Anwendungsmethode, Klima- und Umwelteinflüssen, Verfügbarkeit und ähnlichen Faktoren. Die Materialwahl für Bedachungen ist gewöhnlich ein Kompromiß, da die Anforderungen an eine ideale Dachkonstruktion sehr vielfältig sind, können sie selten von einem einzigen oder einer Kombination von Materialien erfüllt werden.

Der Zweck dieses Abschnittes ist es deshalb, allgemeine und spezifische Information über herkömmliche billige Bedachungsmaterialien zu geben, Information, die nötig ist, um deren geeignete Verwendung für eine gegebene Situation zu beurteilen.

#### 3.4.1 Anorganische Materialien

##### Stein

- Anwendung : - Steinmetzgewölbe und Kuppeln  
- Plattenbelag für Flachdächer  
- Kiesbelag (z. B. weiße Steinsplitter als Sonnenschutz für Asphalt-dächer)  
- Zuschlagstoff für Betondächer
- Vorteile : - in den meisten Zonen ausreichend vorhanden  
- gute Wärmeeigenschaften in trockenheißen Zonen  
- keine Feuchtigkeitsbewegung, nur sehr gering bei Kalk- und Sandstein  
- keine biologischen Risiken, wenn Oberflächen sauber sind
- Nachteile : - Wärmebewegungen können Risse verursachen  
- CO<sub>2</sub> in Regenwasser greift Kalkstein und kalkhaltigen Sandstein an  
- in Regenwasser gelöster Schwefel bildet wasserlösliches Sulfat in Verbindung mit Kalkstein — Hautbildungen und Erosion sind mögliche Folgen  
- Angriffe von bestimmten Salzen und salzhaltiger Luft führt zur Ausblühung und zu Oberflächen-Ausbrüchen  
- schwer, gefährlich (besonders während Erdbeben), wenn nicht gut gebaut

Abb. 3.9 (a, b, c) Traditionelle Erddachkonstruktionen  
Fig. 3.9 (a, b, c) Traditional soil roof constructions

QUELLE/SOURCE: P. Bardou, V. Arzoumanian, "archi de terre" (1978)

### 3.4 Choice of Materials

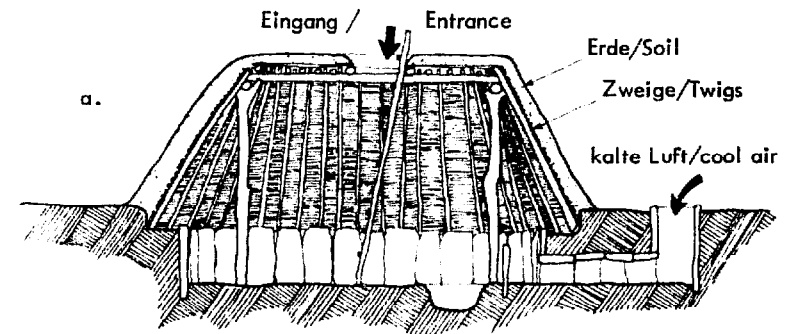
There are no universal recipes for roofing materials; each one has its advantages and disadvantages, depending on the method of application, climatic and environmental influences, availability and other similar factors. The choice of the roofing fabric is usually a compromise, since an ideal roof construction must fulfil a wide range of requirements, which rarely are satisfied by a single one or even combination of materials.

The purpose of this section is, therefore, to give general and specific information on common low-cost roofing materials, information that is required to be able to judge their appropriateness for a given situation.

#### 3.4.1 Inorganic Materials

##### Stone

- Applications: - Stone masonry vaults and domes  
- Slabs as surface finish for flat roofs  
- Gravel covering (eg. white stone chips as solar protection of bitumen roofing)  
- Aggregate in concrete roofs
- Advantages: - In most regions sufficient supplies  
- Good thermal performance in hot-dry areas  
- No moisture movement, only very minor for limestone and sandstone  
- No biological risks, if surfaces are clean
- Disadvantages: - Thermal movement can cause cracking  
- CO<sub>2</sub> in rainwater attacks limestones and calcareous sandstones  
- Sulphur dissolved in rainwater forms water-soluble sulphates with limestones — skin formation and erosion can occur  
- Attack by certain salts and sea spray leads to efflorescence and spalling  
- Heavy, dangerous (especially during earthquakes) if not well constructed.



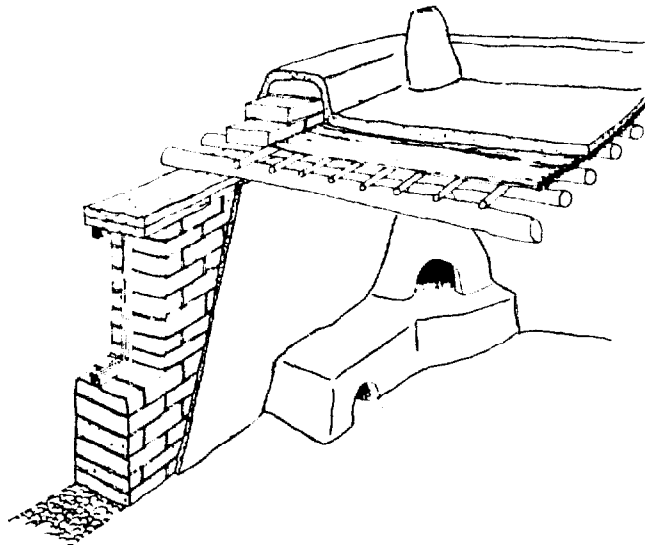
Abhilfe : - Erhaltung sauberer Oberflächen; Regenwäsche reduziert Hautbildung durch Entfernung von löslichen Sulfaten

### Erde

Anwendung : - Lehmziegel oder stabilisierte Erdblocke für Kuppeln oder Gewölbekonstruktionen. Herkömmliche Stabilisierungsmittel:  
a. Bewehrung — organische oder Mineralfaser  
b. Bindemittel — Zement, Kalk (meistens billiger, ausreichende Stärke)  
- Erdschicht über Holz, Bambus, Schilfunterbau  
- gebrannte Tonziegel und Platten als Dachdeckung

Vorteile : - hohe Wärmespeicherkapazität, gut für trocken-heiße Klimazonen  
- fast keine Kosten, kein Transport  
- keine biologischen Risiken, wenn Erde frei von organischen Substanzen ist

Nachteile : - obwohl reichlich vorhanden, Erden örtlich nicht immer geeignet, da Erdzusammensetzungen und -qualitäten sehr verschieden sind  
- gebrannte Tonziegel nicht immer einheitlich, wenn örtlich hergestellt. Verschiebungen während Erdbeben, starke Schäden durch herabfallende Ziegel  
- schwere Erddächer nicht für erdbebengefährdete Zonen geeignet  
- schwache Erdmischungen können durch Wärme und Feuchtigkeitsbewegungen Risse hervorrufen und sich im Regen auflösen



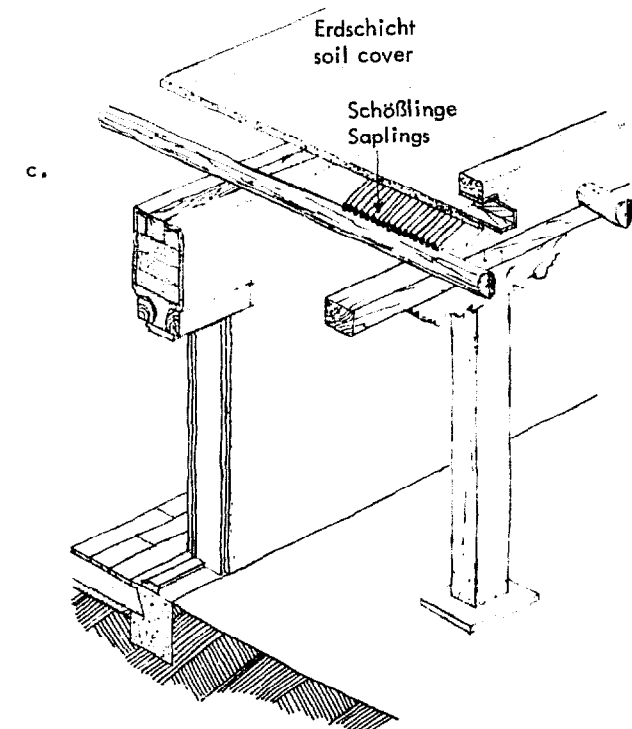
Remedies: - Maintenance of clean surfaces; rain washing reduces skin formation by the removal of soluble sulphates.

### Soil

Applications: - Adobe or stabilized soil blocks as domes or vault structures.  
Common stabilizers:  
a. reinforcement — organic or mineral fibres  
b. binders — cement, lime (usually cheaper, sufficient strength)  
- Soil layer over timber, bamboo, reed substructures  
- Burnt clay bricks and tiles for roofing

Advantages: - High heat storage capacity, good for hot-dry climates  
- Almost no cost, no transport  
- No biological hazards, if soil is free from organic matter

Disadvantages: - Though abundantly available, local soils may not always be appropriate, since soil compositions and qualities differ greatly.  
- Burnt clay tiles not always uniform if locally made. Displacement during earthquakes, causing severe damage  
- Heavy soil roofs unsuitable for earthquake areas  
- Weak soil mixes quickly develop cracks with thermal and moisture movement, and disintegrate in heavy rains.



- Abhilfe : - einfache Untersuchungsmethoden für die verschiedenen Erdtypen erforderlich
- Erdmischung so trocken wie die Verarbeitung zuläßt
  - schützende Anstriche in regelmäßigen Abständen auftragen, um Erosion zu verhindern
  - Zusatz von Mitteln zur Erhöhung der Wasserresistenz (z. B. Asphalt, Bitumen, Bitumenemulsion, Zement, und andere natürliche oder industriell hergestellte Produkte).

- Remedies:
- Simple tests for various soil types required
  - Soil mixtures as dry as practical
  - Protective coatings applied at regular time intervals to prevent erosion
  - Addition of waterproofing agents (eg. asphalt, bitumen, cut-back, cement and other natural or industrially produced materials).

Abb. 3.10 Tonziegeldach in China (ähnlich wie Mönch- und Nonnen-Deckung)  
Fig. 3.10 Clay tile roof in China (similar to Spanish type)



Abb. 3.11 Tonziegeldach in Brasilien  
Fig. 3.11 Clay tile roof in Brazil



### Metalle

- Anwendung : - am häufigsten verzinktes Wellblech, weniger häufig Aluminiumblech. Beide Typen haben normalerweise größeres Ansehen als andere Materialien (andere Metalle und Legierungen sind zu teuer und nicht ausreichend vorhanden)
- Anschlußblech und Befestigungsmaterialien (z.B. Nägel)
  - Bewehrungseisen für Stahlbetondächer
  - Stahl und Aluminiumrahmen
  - Netze zum Schutz von Öffnungen
  - Dachrinnen

### Metals

- Applications: - Most common are corrugated galvanized iron sheets, less common aluminium sheets. Both types normally have greater prestige value than other materials. (Other metals and alloys too expensive and not sufficiently available)
- Flashings and fastening materials (eg. nails)
  - Reinforcement in concrete roofs
  - Steel or aluminium frames
  - Netting for protection of openings
  - Gutters



Abb. 3.12 Verzinkte Wellblechdächer in Somalia — am wenigsten geeigneter Dachtyp für die Region

Fig. 3.12 Corrugated galvanized iron roofs in Somalia — most inappropriate roof type for the region



- Vorteile** :
- leichter Transport (niedriges Gewicht, keine Bruchschäden)
  - große Spannweiten möglich, einfache Stützkonstruktion
  - große Stärke und Flexibilität (gutes Erdbebenverhalten)
  - hoher Widerstand gegen Aufschläge
  - Widerstand gegen alle biologischen Schädlinge
  - Wasserundurchlässigkeit
  - einfache und schnelle Installation
  - generell keine Ablehnung durch Bevölkerung
- Nachteile** :
- wegen Mangel an Wärme-Isolierung übermäßig hohe Innentemperaturen während des Tages, sehr tiefe Temperaturen während der Nacht
  - nächtliche Abkühlung verursacht Kondensation auf der Unterseite des Daches, dadurch Beeinträchtigung des Wohnkomforts
  - Lärmbelästigung bei schweren Regenfällen
  - Korrosion von Platten und Bewehrung bei Feuchtigkeit (in feuchtwarmen und Küstengebieten, bei Kondensation, usw.)
  - Korrosion durch Elektrolyse, bei Kontakt zwischen verschiedenartigen Metallen
  - Neigung der dünnen Bleche, an genagelten oder geschraubten Stellen unter starkem negativem Druck abzureißen (besonders wenn nur kleine oder keine Unterlegscheiben benutzt werden)
  - in tropischen Wirbelstürmen: Zerstörungen durch umherfliegende Blech die abgerissen wurden
  - Abrieb durch windgeblasenen Sand
  - schlechtes Feuerverhalten
  - teurer Transport durch zentralisierte Produktion, oft hoher Devisenanteil
- Abhilfe** :
- Hitze und Kondensation: Vermeidung von Blechdächern in Gebieten mit intensiver Sonnenstrahlung und schnellen Temperaturänderungen. Zweischalige Dächer mit belüftetem Zwischenraum (untere Schicht wasserabsorbierend). Reflektierende Außenfläche.
  - Korrosion: keine Verwendung unter feuchten Bedingungen. Geeignete Schutzanstriche periodisch erneuern. Regenwasser kann durch Herauswaschen schädlicher Salze Korrosion hemmen. Im Falle ungleicher Metalle Verwendung von nichtmetallischen Unterlegscheiben. Keine Kontakte zwischen Aluminium und Beton oder Mörtel (alkalische Korrosionsgefahr)
  - Geräusch: kürzere Spannweiten und Bitumenanstrich auf der Unterseite. Außerdem sorgfältige Detaillierung der Befestigungspunkte und Anbringung von Dämmschichten oder abgehängten Decken
  - Auftrieb: stärkere Bleche, bessere Verbindungen

◁ Abb. 3.13 Demonstrationsbau in Togo: Abgehängte Bambusdecke unter dem Wellblechdach, mit belüftetem Dachzwischenraum

- Advantages:**
- Easy transports (low weight, no breakage)
  - Wide spans possible, simple supporting structure
  - High strength and flexibility (good earthquake performance)
  - High resistance to impact
  - Resistance to all biological hazards
  - Impermeable to water
  - Easy and rapid installation
  - Generally high acceptability
- Disadvantages:**
- Due to lack of thermal insulation, intolerably high indoor temperatures during daytime, very low temperatures at night
  - Nocturnal cooling causes condensation on underside of roofs, affecting indoor comfort
  - Problem of noise generated by heavy rains
  - Corrosion of sheets and reinforcement in moist (hot humid and coastal areas, condensation, etc.) conditions
  - Corrosion by electrolytic action due to contact of dissimilar metals
  - Tendency of thin sheets to tear off at nailed or bolted points (particularly with small or no washers) under strong negative pressure
  - In tropical windstorms: havoc caused by whirling sheets that have been ripped off
  - Abrasion caused by wind blown sand
  - Poor fire resistance
  - Expensive transports due to centralized production, often high foreign currency component
- Remedies:**
- Heat and condensation: Avoidance of sheet metal roofs in areas of intense solar radiation and rapid temperature changes. Double layer roofs with ventilated air space (absorptive lower layer). Reflective outer surface
  - Corrosion: Avoidance of use in moist conditions. Suitable protective coatings periodically renewed. Rainwashing can retard corrosion by removing contaminating salts. In case of dissimilar metals, non-metallic washers. No contacts of aluminium with concrete or mortar (risk of alkaline corrosion)
  - Noise: Shorter spans and coating of bitumen on underside. Also careful detailing of suspension points and application of insulating layers or suspended ceiling
  - Uplift: Thicker gauged sheets, better connections.

◁ Fig. 3.13 Demonstration structure in Togo: suspended bamboo ceiling under corrugated iron roof, creating ventilated roof space.



### Zement-Produkte

- Anwendung** : - Bindemittel für verschiedene organische und nicht-organische Materialien, z.B. Erdzement, Bimsbeton, Asbestzement (siehe nächsten Baustoff), Bauplatten aus zementgebundenen Naturfasern  
- Beton, Stahlbeton, Leichtbeton für Dachplatten, Balken, Schalen, usw.  
- Ferrozement (im wesentlichen dünne Betonschichten mit Bewehrung aus Hühnerdraht) für Schalenkonstruktionen in beliebigen Formen  
- Isolier- oder Gefälleestrich
- Vorteile** : - extrem hohe Festigkeit  
- gutes Erdbeben- und Wirbelsturmverhalten bei Stahlbeton  
- wasserdicht, bei guter Verarbeitung  
- feuerhemmend  
- widerstandsfähig gegen biologische Einwirkung, wenn sauber gehalten  
- Materialien von höherem Ansehen
- Nachteile** : - in den meisten Ländern zu teuer und Zementversorgung weit unter dem Bedarf. In einigen Ländern nur eine Zementfabrik, dadurch hohe Transportkosten  
- unter feuchten Bedingungen Gefahr des zu frühen Abbindens von gelagertem Zement  
- in trockenheißen Gebieten Gefahr der Rissebildung durch zu schnelle Austrocknung von frischem Beton  
- Schrumpfungsrisse durch Temperaturschwankungen  
- Betonschwächung durch salzhaltige Aggregate oder Wasser  
- Rosten von nicht ausreichend bedecktem Bewehrungsstahl führt zu Dehnungsrisen  
- zur Erlangung der Festigkeiten von teurem stahlbewehrtem Beton sind erforderliche Betonquerschnitte mit billigerer Bambusbewehrung zu groß  
- im allgemeinen schwere Konstruktionen und gefährlich bei Erdbeben, wenn nicht richtig geplant und ausgeführt
- Abhilfe** : - Vermeidung von zu schnellem Abbinden durch Befeuchtung des Betons während der Aushärtung  
- Prüfung von Betonproben zur Qualitätskontrolle  
- gute Kornverteilung der Aggregate, um übermäßige Schrumpfung zu vermeiden und größere Stärke zu geben  
- Einplanung von Dehnfugen, wo erhebliche Wärmebewegungen zu erwarten sind  
- sorgfältige Zementlagerung (vor Feuchtigkeit schützen)

### Cement Products

- Applications:** - Binder for several inorganic and organic materials, eg. soil-cement, pumice cement, asbestos-cement (see next material), cement bound vegetable fibre boards.  
- Concrete, reinforced concrete, light-weight concrete for roof slabs, beams, shells, etc.  
- Ferrocement (basically thin layered reinforced concrete with chicken wire mesh) for free form shell structures  
- Insulating roof screeds
- Advantages:** - Extremely high strengths  
- Good earthquake and hurricane performance of reinforced concrete  
- Waterproof, if well done  
- Fire resistant  
- Resistant to biological hazards, if kept clean  
- Materials of higher prestige value
- Disadvantages:** - In most countries expensive and insufficient supplies of cement. In some countries only one manufacturing plant, therefore high transport costs.  
- In presence of moisture, risk of premature setting of cement.  
- In hot dry conditions, risk of cracks due to rapid setting.  
- Shrinkage cracking due to temperature fluctuations  
- Weakening of concrete due to aggregates or water containing salts  
- Rusting of steel reinforcement, not sufficiently covered, leading to expansion cracks  
- To achieve similar strengths as expensive steel reinforcements, necessary cross-sections for cheaper bamboo reinforcements are too large  
- Generally heavy constructions and dangerous in earthquakes, if not properly designed and executed
- Remedies:** - Avoidance of rapid setting by moistening of concrete during curing  
- Sample testing of concrete for quality control  
- Good grading of aggregates to avoid excessive shrinkage and to give greater strength  
- Design of expansion joints, where substantial thermal movement is expected  
- Careful storage of cement (protection from moisture).



Abb. 3.14 Standard-Betondach in Tansania  
Fig. 3.14 Standard concrete roofing in Tanzania

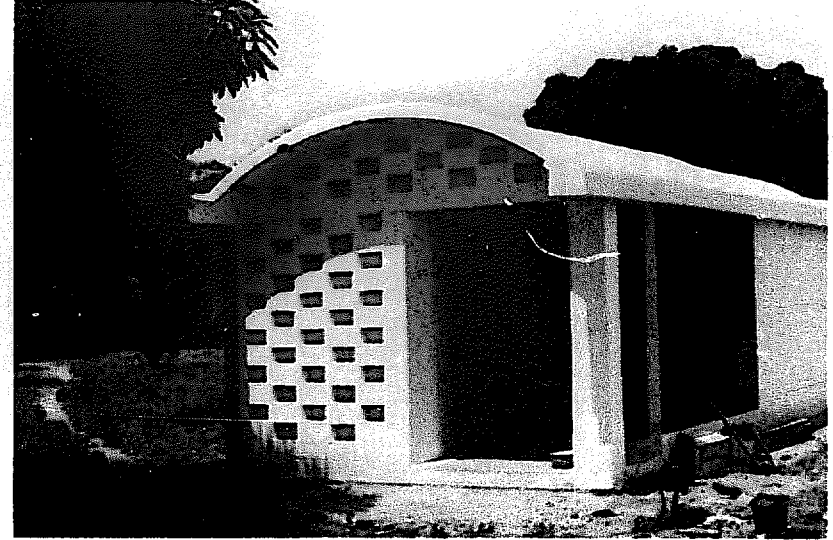


Abb. 3.15 Betonschalendach in Togo  
Fig. 3.15 Concrete shell roof in Togo

#### Asbestzement

- Anwendung : - flache Platten, Schindeln  
- Wellplatten  
- trogförmige Elemente (z. B. Canaletas)  
- Sonnenschutzvorrichtungen
- Vorteile : - leicht zu handhaben, geeignet für Selbsthilfe-Bauweisen  
- feuerbeständig, wasserdicht  
- Well- und Troglplatten: selbsttragend über große Spannweiten (kein Unterbau nötig)  
- geringe Wärmebewegung  
- bessere Wärme-Isolierung und weniger Geräusch bei Regen als mit Metallplatten
- Nachteile : - kontinuierliche Hydratation des Zements führt zu Längenzunahme  
- unzureichender Widerstand gegen Einschlag (z. B. Schäden durch Hagelsteine)  
- Schimmelbildung durch Ansammlung von Schmutz an den Fasern verursacht Erweichen und Verdunkeln der Oberfläche

#### Asbestos Cement

- Applications: - Flat sheets, shingles  
- Corrugated sheets  
- Trough shaped elements (eg. Canaletas)  
- Sun screening
- Advantages: - Easy to handle, suitable for self-help construction  
- Fire resistant, waterproof  
- Corrugated and trough shapes: self-supporting over large spans (no substructure necessary)  
- Low thermal movement  
- Better heat insulating capacity and less noisy in heavy rain than metal sheets
- Disadvantages: - Continued hydration of cement causing length increase  
- Insufficient resistance to impact (eg. damage by hailstones)  
- Mould growth on fibre-held dirt, causing surface softening and darkening  
- Warping and cracking promoted by combined carbonation and

- Verbiegen und Platzen, gefördert durch kombinierte Karbonation und Austrocknen
- Verringerung der Schlagbiegefestigkeit durch  $\text{CO}_2$  in Gegenwart von kleinen Mengen  $\text{H}_2\text{O}$
- Entfernen von Oberflächenschichten des hydratisierten Zements durch  $\text{CO}_2$  oder durch die im Regenwasser aufgelösten Schwefelgase
- hohe Bruchverluste während des Transports

Abhilfe

- : - schützende Anstriche gegen Schimmelbildung
- Erhaltung von sauberen Oberflächen

Remedies:

- hydration
- Decrease of impact strength by  $\text{CO}_2$  in presence of small amounts of  $\text{H}_2\text{O}$
- Removal of surface layers of hydrated cement by  $\text{CO}_2$  or sulphur gases dissolved in rainwater
- High degree of breakage during transports
- Protective coating against mould growth
- Maintenance of clean surfaces

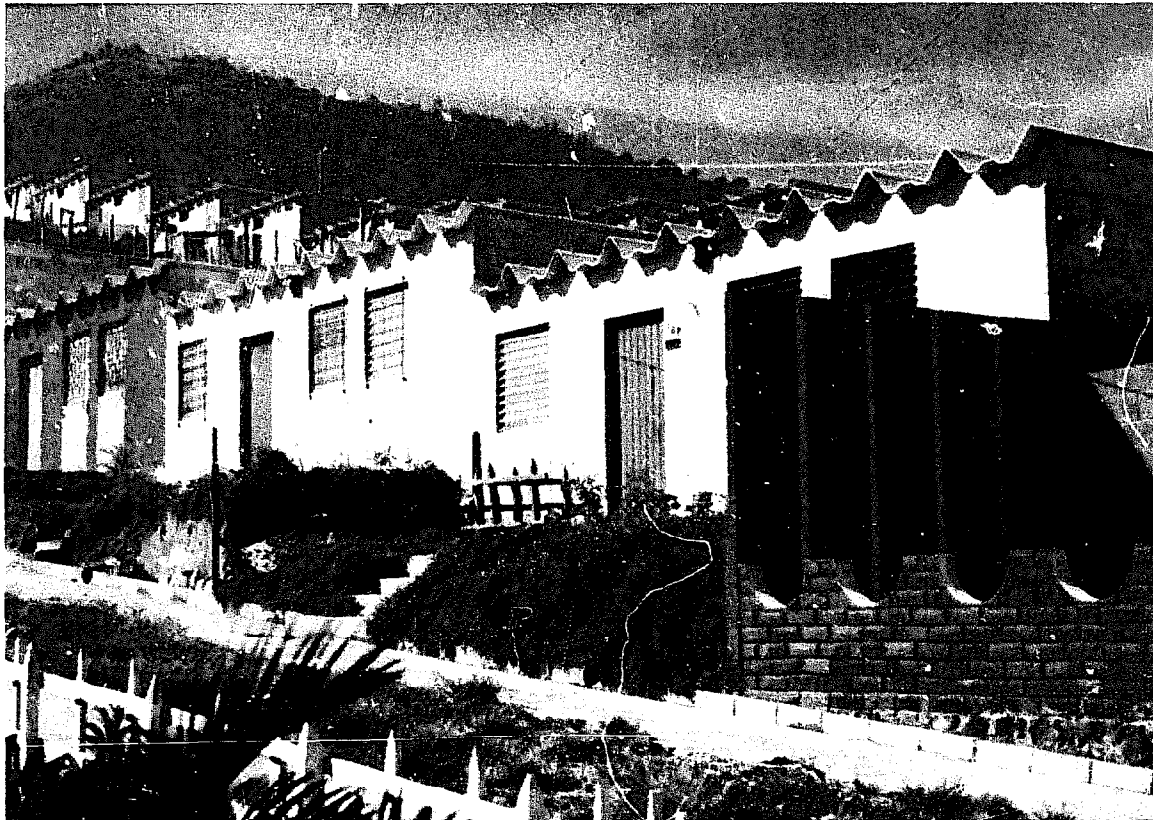


Abb. 3.16 Asbestzement-Trogplattendächer (canaletas) in El Salvador

Fig. 3.16 Asbestos cement channel roofing (canaletas) in El Salvador

### 3.4.2 Organische Materialien

#### Gräser, Palmen, pflanzliche Fasern

Anwendung : - Gräser:

- a. herkömmliche Stroh- und Mattendächer
- b. Strohbewehrung in Spanplatten, Erdzementmischungen, usw.
- c. Strohpreßplatten (z.B. Stramit), industriell hergestellt mittels Hitze und Druck, ohne Bindemittel, aber mit Papier auf beiden Seiten
- d. Schilf, gebündelt oder zu Platten zusammengebunden, oder gespalten und als Matten gewebt, für unterschiedliche Verwendung als Dachelemente
- e. ganze Bambushalme für Tragkonstruktion, oder als Platten zusammengebunden
- f. halbiertes Bambus als Dachziegel und -rinnen
- g. gespaltener Bambus als gewebte Platten oder Bewehrung für diverse Bauplatten.

- Palmen:

- h. Blätter, unverarbeitet oder als Matten, für Dachdeckung
- i. Stämme für tragende Bauteile

- Pflanzliche Fasern:

- j. Seile
- k. Faserplatten
- l. Bewehrung für diverse Bauplatten

Vorteile : - meistens reichlich am Ort vorhanden, billig (oder kostenlos), schnell zu erneuernde Materialien. Können im Hinterhof angebaut werden.

- Traditionelle Verarbeitungstechniken (in den meisten Fällen), leicht verständlich und ausgeführt von Ortsansässigen
- Strohdächer, korrekt angewandt: gute Wärme- und akustische Eigenschaften und wasserdicht
- Schilf und Bambus: hohe Zugfestigkeit, gutes Gewicht/Festigkeits-Verhältnis, deshalb normalerweise gutes Verhalten bei Erdbeben und Wirbelsturm
- Strohpreßplatten: hohe dimensionale Stabilität, widerstandsfähig gegen Einschlag und Spaltung, nicht leicht entzündbar, (wenn trocken gehalten) widerstandsfähig gegen biologische Schädlinge, Verarbeitung wie Holzplatten
- generell gutes Erdbebenverhalten, aber gegen Wirbelstürme nur dann widerstandsfähig, wenn gut geplant und ausgeführt

Nachteile : - in den meisten Fällen niedrige Lebenserwartung, ungefähr 2 - 5 Jahre, doch durch gute Konstruktion und Instandhaltung kann längere Haltbarkeit erreicht werden  
- biologische Risiken (Anziehung und Nisten von Insekten, Nage-

### 3.4.2 Organic Materials

#### Grasses, Palms, Fibrous Plants

Applications: - Grasses:

- a. Traditional straw thatch and matting
- b. Straw reinforcements in particle boards, soil cement mixes, etc.
- c. Compressed straw slab (eg. Stramit), industrially produced by heat and pressure, without any binders, but paper on both sides
- d. Reeds, bundled or tied together as boards or split and woven as mats, for various uses as roofing elements
- e. Full bamboo culms as supporting structure, or tied together as boards.
- f. Halved bamboo as roof tiles and gutters
- g. Split bamboo as woven panels or reinforcement in composite roofing elements

- Palms:

- h. Leaves as thatch or matting
- i. Stems as structural members

- Fibrous Plants:

- j. Ropes
- k. Fibreboards
- l. Reinforcement in composite roofing elements

Advantages: - Usually locally available abundant, cheap (or even no-cost), quickly renewable materials. Can be grown in backyard  
- Traditional techniques (in most cases), easily comprehended and implemented by local people  
- Straw thatch, properly applied: good thermal and acoustical properties and waterproofing  
- Reeds and bamboo: high tensile strengths, good weight-strength ratio, hence usually good earthquake and hurricane performance  
- Compressed straw slabs: high dimensional stability, resistance to impact and splitting, not easily ignitable, (if kept dry) resistance to biological hazards, handled like timber boards  
- Generally good earthquake performance, but hurricane resistance only if well designed and constructed

Disadvantages: - In most cases low life expectancy, about 2 to 5 years, though with good constructions and maintenance greater durability achievable.  
- Biological risks (attraction and nesting of insects, rodents, etc. and development of fungi and rot)  
- Risk of fire, either originating underneath or spread through flaming or glowing fragments carried by wind

- Feuert Gefahr, entweder durch darunter entstehende Feuerquellen oder durch vom Wind getragene Flammen oder glühende Fragmente
- Tendenz, Feuchtigkeit aufzusaugen, infolgedessen Gewichtszunahme, beschleunigter Verfall und Entstehung unhygienischer Bedingungen
- Verformung und allmähliche Zerstörung durch ständig wechselnde Temperaturen und Feuchtigkeit
- nicht sehr beliebt aufgrund allgemeiner Ansicht, daß diese Materialien minderwertig sind und nur bei "Häusern armer Leute" gebraucht werden

- Abhilfe :
- Imprägnierung der Materialien gegen biologische Schädlinge und Feuer, entweder durch Vorbehandlung oder durch Oberflächenauftragung (Vorsicht: diese sind teuer und werden leicht durch Regen fortgewaschen, wodurch die Umgebung und das von den Dächern gesammelte Trinkwasser verseucht werden. Ferner fördern Feuerschutzbehandlungen Schimmelbildung und somit schnellen Verfall)
  - Reduzierung der Feueregefahr bei Strohdächern durch Auftragen einer Schicht stabilisierten Tons auf die Außenseite, um Entzündungen durch fliegende, glühende Fragmente zu verhindern. Regel-

- Tendency to absorb moisture thus becoming heavy, accelerating deterioration and creating unsanitary conditions
- Deformation and gradual destruction due to constant fluctuations in temperature and humidity
- Low acceptance due to general view that these materials are inferior, used only for "poor peoples' houses"

Remedies:

- Impregnation of materials against biological hazards and fire, either by pretreatment or surface application. (Caution: These are costly, and easily washed out by rain, contaminating surroundings and drinking water collected from roof. Moreover fire resistant treatments may promote mould growth, leading to rapid decay).
- Reduction of fire risk on thatch roofs by application of thin coat of stabilized clay on exterior to prevent ignition by wind-borne fragments. Periodic renewal necessary.
- Reduction of rate of burning by restriction of air flow through thatch in event of fire, eg. by means of non-combustible material (asbestos cement sheets) attached to underside of roof.
- Maintenance of dry conditions within dwelling advantageous; development of smoke in interior said to prevent rot and nesting of insects.

3.17



3.18

mäßige Erneuerung nötig.

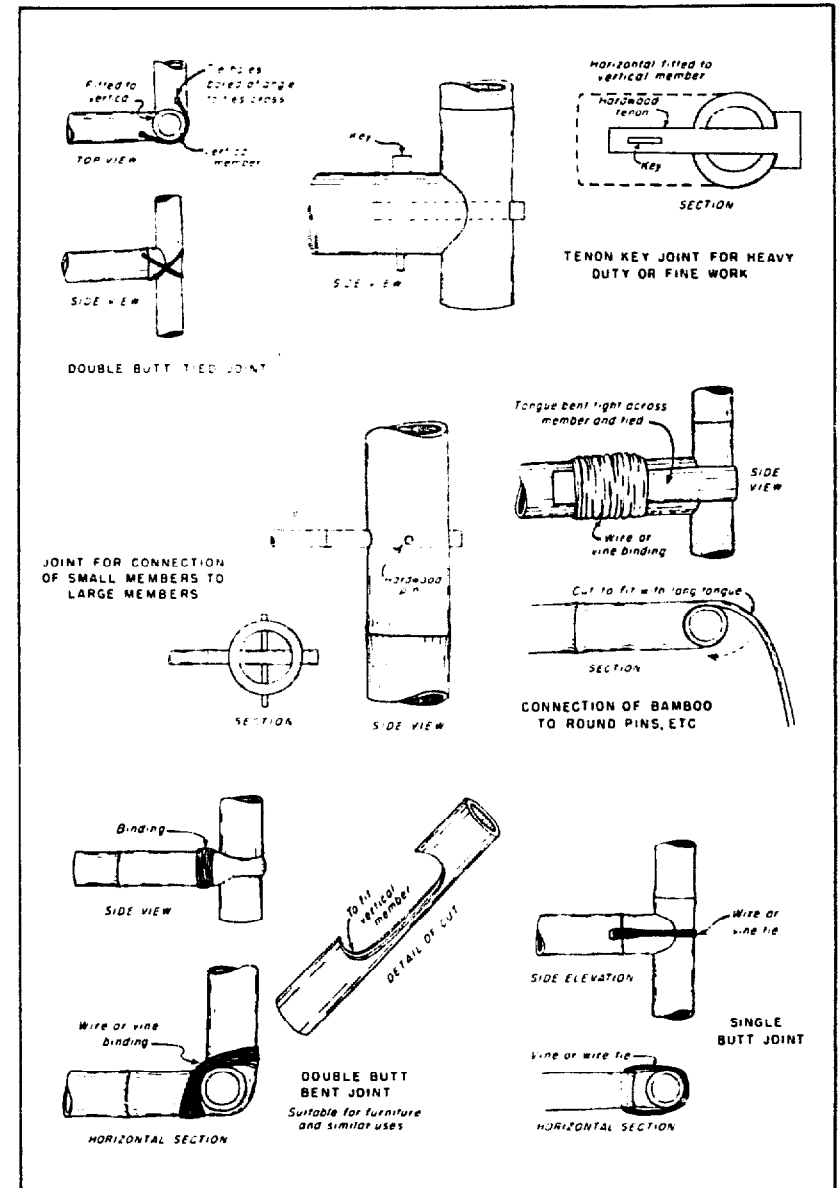
- Reduzierung der Flammenverbreitung, indem der Luftzug durch das Stroh verringert wird, z. B. durch Befestigung von nicht brennbaren Materialien (Asbestzementplatten) unterhalb des Daches.
- Aufrechterhaltung trockener Bedingungen innerhalb der Behausung von Vorteil; interne Rauchentwicklung verhindert Fäulnis und Insektennisten.

Abb. 3.17 Strohdach in Mexiko  
Fig. 3.17 Thatch roof in Mexico

Abb. 3.18 Palmblätterdeckung in El Salvador  
Fig. 3.18 Palm leaf thatch in El Salvador

Abb. 3.19 Einige Bambusverbindungen  
Fig. 3.19 Some bamboo joints

QUELLE/SOURCE: F.A. McClure: "Bamboo as a Building Material",  
US Department of Agriculture, Foreign Agricultural  
Service, Washington, D.C., 1953



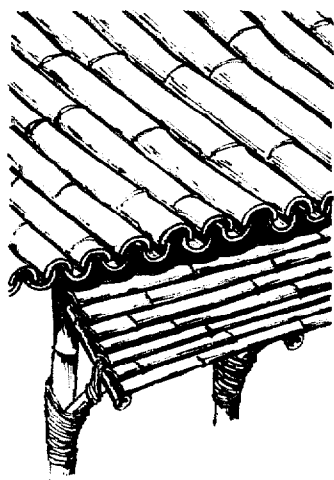


Abb. 3.20 Bambus-Ziegeldach: halbierte Stämme als Mönch- und Nonnen-Deckung  
 Fig. 3.20 Bamboo tile roof: half culms laid like Spanish tiles.

QUELLE/SOURCE :  
 Bibl. No. 120

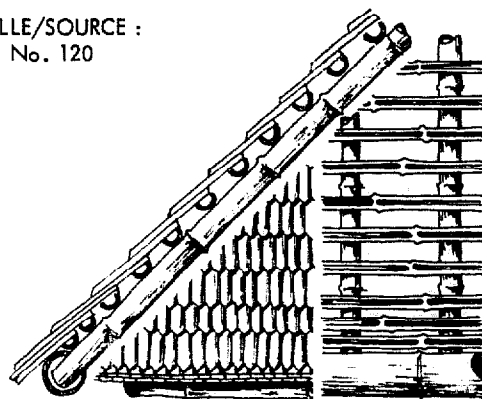


Abb. 3.21 Bambus-Schindeldach  
 Fig. 3.21 Bamboo shingle roof

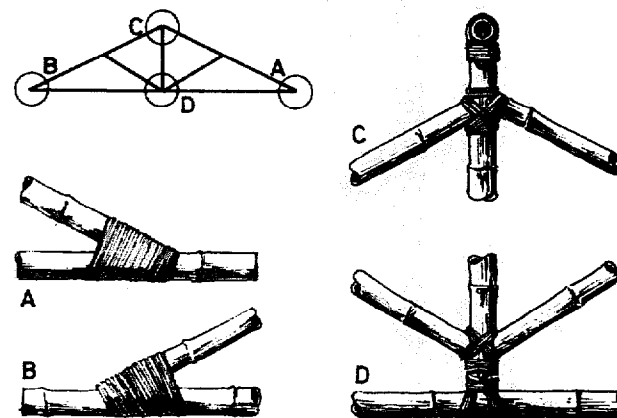


Abb. 3.22 Bambusbinder mit Verbindungsdetails.  
 Fig. 3.22 Bamboo roof truss with details of joints.

### Holz

- Anwendung** :- alle Teile des tragenden Bauwerks, wie Ringbalken, Sparren, Pfetten, Binder, Streben, First  
 - Dachverkleidungen, wie Sperrholz, Tischlerplatten, Spanplatten oder Schindeln
- Vorteile** :- hohe Zugfestigkeit und gutes Gewicht/Festigkeit-Verhältnis, dadurch gute Erdbeben- und Wirbelsturmbeständigkeit  
 - traditionelle Materialien, die traditionelle Techniken erfordern  
 - gute Feuerbeständigkeit der dickeren Bauelemente: äußere Schichten entwickeln verkohlte Schutzschicht  
 - gute Wärme-Isolierung, auch schallschluckend
- Nachteile** :- schwindende Reserven durch Raubbau und Export, dadurch hohe Kosten  
 - Mangel an langsam wachsenden Hölzern (härter, stärker und widerstandsfähiger gegen Termitenbefall)  
 - Wärme- und Feuchtigkeitsbewegungen: Schrumpfung (aber nur in der Breite), Verzerrung, Spaltung  
 - anfällig gegen biologische Schädlinge  
 - Feuergefahr für kleinere Holzbauteile  
 - Korrosion der Metallverbindungen oder Schrumpfung an Anschlußpunkten, was zum Versagen der Verbindungen führt

### Timber

- Applications:** - All parts of supporting structure, such as ring beam, rafters, purlins, trusses, struts, ridge  
 - Roof finishes, such as plywood, coreboard, chipboard or shingles.
- Advantages:** - High tensile strengths and good weight-strength ration, hence also good earthquake and hurricane resistance.  
 - Traditional material involving traditional skills.  
 - Good fire resistance of thicker timber members: outer layer develop protective charred surface.  
 - Good thermal insulation, also sound absorption.
- Disadvantages:** - Diminishing supplies due to uncontrolled cutting and exports, hence high costs  
 - Shortage of slow grown timber (harder, stronger and more resistant to termite attack)  
 - Thermal and moisture movement: shrinkage (but only in width), twisting, splitting  
 - Susceptible to biological hazards  
 - Fire risk of timber members with smaller dimensions  
 - Corrosion of metal connectors, or shrinkage at points of connection leading to failure of joints

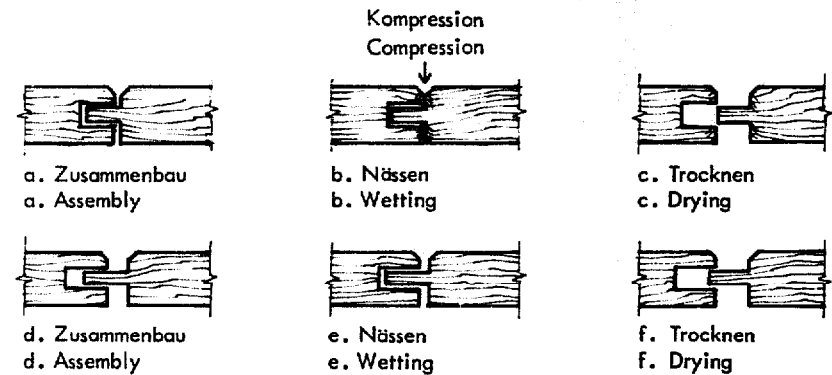
- Abhilfe
- Anstreichen oder Behandeln mit verschiedenen Holzschutzölen (feuchtigkeitsgefährdete Holzteile: Behandlung der später nicht zu erreichenden Teile vor dem Zusammenbau)
  - Holzteile, die nicht dem Regen ausgesetzt sind: in Salzwasser (Meerwasser) vorbehandeln, um Pilzbefall zu vermeiden und weniger Verzerrungen durch den hohen Feuchtigkeitsgehalt
  - Verhinderung von Pilzbefall bei gut abgelagerten Hölzern mit Feuchtegehalt von weniger als 20 Gewichtsprozent
  - Schützen von Dachanschlüssen, in die Wasser eindringen kann, mittels Metall- oder Plastikabdeckprofilen, aber keine luftdichte Befestigung
  - Verbindungen, die Bewegungen aufnehmen können

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 14

Abb. 3.23 (a, b, c) Schlechte Spundverbindung beim Nässen und Trocknen  
(d, e, f) Verbesserte Verbindung

Fig. 3.23 (a, b, c) Tongue and groove timber connection showing bad performance during wetting and drying  
(d, e, f) Improved connection

- Remedies:
- Painting or treatment with various wood-preserving oils. (Timber likely to become damp: primed in future inaccessible parts before assembly)
  - Timber parts not exposed to rain-washing: soaked in salt water (sea water) for prevention of fungal attack and less warping, due to higher moisture content.
  - Prevention of fungal attack with well seasoned wood containing less than 20% by weight
  - Protection of joints liable to trap moisture by means of metal or plastic flashing, but no air-tight fastening
  - Joints designed to accommodate movement.



#### Bituminöse Produkte

- Anwendung
- Dachpappe auf Holz- oder Betondächern
  - Splittasphalt, geeignet für Dächer, die dem Fußverkehr ausgesetzt sind
  - kalt aufgetragener Asphalt, meist emulsionbasiert, da gelöster Asphalt teuer und feuergefährlich ist
  - Wellpappe, aus Abfallmaterialien hergestellt (weich zermahlen, imprägniert mit normalem Straßenasphalt, geschützt durch Mineralgranulat oder Farbe)

#### Bituminous Products

- Applications:
- Roofing felts laid on wood or concrete roofs
  - Mastic asphalt, suitable for roofs subjected to foot traffic
  - Cold applied bitumen, usually emulsion based, since solvent based bitumens are costly and constitute fire risk
  - Corrugated roofing sheets made from waste materials (reduced to pulp, impregnated with common paving asphalt, protected with mineral granule or paint)



- Vorteile** :
- Wellplatten: leicht, erfordern leichte Unterkonstruktion, nicht spröde, dadurch keine Transportschäden; keine Fachkräfte oder spezielle Werkzeuge erforderlich; kann direkt auf den Unterbau genagelt werden; wasserdicht; nicht wärmeleitend (Isolierungswert entspricht ungefähr einer 6 cm dicken Betonplatte)
  - kalt aufgetragenes Bitumen: keine Fachkräfte nötig
  - biologische Schädigung nicht sehr wahrscheinlich
- Nachteile** :
- ultraviolette Strahlen verursachen Verspröden, Rissebildung und das Entstehen wasserlöslicher Verbindungen
  - Ausdehnung von eingeschlossener Luft oder Wasser führt zu Blasenbildung
  - Hitze verursacht Erweichen und Fließen
  - durch stehendes Wasser Entstehung von Haarrissen, Filzfasern können verrotten, Oberflächenschutzgranulat kann so vom Regen fortgewaschen werden
  - Wasserlachen verursachen unterschiedliche Spannungen durch Verdampfungskühlung
  - wiederholtes Nässen und Trocknen beeinflussen die visco-elastischen Eigenschaften
  - starke Winde können Versprödung und Abreißen verursachen, Schutzgranulat wird fortgeblasen
  - ungeeignet für Temperaturen über 44°C
  - kaltes Bitumen begrenzt lagerfähig (schnell zu verbrauchen, innerhalb von drei Monaten; Verschiffungsprobleme)
- Abhilfe** :
- ausreichender Schutz gegen Sonnenstrahlung durch reflektive Behandlung (z. B. Kalkanstrich, Aluminiumfarbe, hellfarbige Aggregatsplitter), eventuell auch Dachbeschattung
  - ausreichende Dachneigung (mindestens 3%) und Entwässerung, um Wasserlachen zu verhindern
  - Bewegungsfugen, die gegensätzliche Bewegungen zwischen Membrane und Unterkonstruktion ermöglichen
  - Ankleben in Abständen, um Wasserdampfblasen zu vermeiden, aber bessere Aufklebung dort, wo Wirbelstürme vorkommen, die die Dachpappe lossaugen könnten
  - Bewehrung der Dachpappe, vorzugsweise nicht organisch (z. B. Asbest oder Glasfaser); andere, wie Stofffilz, sind anfällig für biologische Schädigung
  - Zusatz von Konservierungsmitteln, um Zerfall zu verhindern
  - Kaltbitumen: gründliches Mischen vor Gebrauch, in dünnen Schichten auftragen (wenn kein Regen und nicht zu heiß)
  - gute Facharbeit und regelmäßige Instandhaltung, d.h. Inspektion und regelmäßig alle paar Jahre neuer Bitumenanstrich

- Advantages:**
- Corrugated sheets: light, requiring light substructure; not brittle, hence no transport breakage; no skilled labour or special fixing equipment; can be nailed to substructure directly; waterproof; non-conducting (insulation value corresponding to about 6 cm concrete slab)
  - Cold applied bitumen: no skill required
  - Attack by biological agents not very likely
- Disadvantages:**
- Ultra-violet radiation causes embrittlement, cracking and formation of water soluble compounds
  - Expansion of entrapped air or water gives blistering
  - Heat causes softening and flow
  - Standing water causes crazing, felt fibres may rot. Surface protective granules can thus be washed off by rain
  - Standing puddles cause differential stresses due to evaporation cooling
  - Repeated wetting and drying affects visco-elastic properties
  - High winds can cause cracking and tearing, blowing off protective granules
  - Unsuitable for temperatures exceeding 44°C
  - Cold bitumen has limited storage life (quick use, within three months; shipment problems)
- Remedies:**
- Adequate protection against solar radiation by reflective treatment (eg lime wash, aluminium paint, light-coloured aggregate chippings) possibly also roof-screening
  - Sufficient roof inclination (minimum 3%) and drainage to avoid standing puddles
  - Movement joints, allowing differential movements between membrane and substructure
  - Adhesion at intervals to prevent blistering due to water vapour, but better adhesion where wind storms occur, which may suck off felt
  - Reinforcements of roofing felts preferably inorganic (eg. asbestos or glass fibre). Others, like rag felt, are susceptible to attack by biological agents
  - Addition of preservatives to prevent decay
  - Cold bitumen: thorough mix before use, applied (when no rain and not too hot) in thin layers
  - Good workmanship and regular maintenance, i.e. inspection and periodic coating of bitumen every few years.

## Anstriche

- Anwendung** : - auf verzinktem Blech: Vorbehandlung — entfetten, "weißen Rost" entfernen, aufrauen, korrosionsbeständiger Grundanstrich (z. B. zwei Anstriche mit Epoxidasphalt); Fertigfläche — ein oder zwei Anstriche mit Außenfarbe (z. B. Acrylharzemulsionsfarbe)
- auf Asbestzement, Beton, Mauerwerk: Vorbehandlung — Staub, Algen usw. abbürsten, Schutzschicht aus 1% Kupfer-Sulphat-Lösung gegen Algen; Grundierung — alkalibeständiger Anstrich; Fertigfläche — zwei Anstriche (z. B. Chlorkautschukfarbe, Kunststoffemulsionsfarbe, Zement- oder Kalkfarbe)
- auf Holz: Vorbehandlung — ablagern, abschmirgeln und säubern, Grundanstrich; Fertigfläche — Farben, die nicht die Poren schließen (Firnisse für Außenflächen nicht ratsam), Oberanstriche können Fungizide enthalten
- auf Bitumen: keine Vorbehandlung; Oberanstrich — Aluminiumpigment- oder bituminöse Aluminiumfarbe; Kalkanstrich auch möglich, aber weniger haltbar
- Vorteile** : - Schutz gegen Sonnenbestrahlung durch Reflexion
- Schutz gegen Wind und Regen durch Zusammenhalten loser Teilchen, Verschließen durchlässiger Materialien, korrosionsbeständig
- Schutz gegen biologische Schädigung durch den Gebrauch von Fungiziden und Insektiziden
- Verbesserung der äußeren Erscheinung und der hygienischen Bedingungen
- Verbesserung der Haltbarkeit
- Nachteile** : - plastikbasierte Farben müssen hauptsächlich von Industrieländern importiert werden (aber örtliche Herstellung nimmt zu)
- Farben werden durch Sonnenbestrahlung, Feuchtigkeit, windgetragenen Sand, atmosphärische Verunreinigungen, Schimmelbildung und Termitenbefall zerstört
- falsch aufgetragene Anstriche können zu beschleunigter Zerstörung der Substrate führen
- Kalkanstriche erfordern Erneuerung nach jeder Regenzeit
- Abhilfe** : - größte Wichtigkeit ist die Vorbereitung des Substrats, um maximale Haftfestigkeit des Oberanstrichs zu sichern
- Erhaltung von sauberen Oberflächen und periodische Erneuerung der Anstriche
- auf Substraten, die dazu neigen, Feuchtigkeit aufzusaugen, möglichst keine Verwendung undurchlässiger Farben; statt dessen Farben, die "atmen", z. B. Emulsions-, Kalk- oder Zementfarben

## Paints

- Applications:**
- On galvanized iron: Treatment — degreasing and removal of "white rust", roughening, corrosion resistant primer (eg. two coats epoxy tar). Finish — one or two coats of exterior paint (eg. acrylic emulsion paint)
- On asbestos cement, concrete and masonry: Treatment — dust, algae, etc. brushed off, protective coating of 1% copper sulphate solution against algal growth. Primer — alkali resistant primer. Finish — two coats (eg. chlorinated rubber paint, plastic emulsion paint, cement paint or limewash).
- On timber: Treatment — seasoning, sand-papering and cleaning, primer. Finish — paints that do not seal pores (varnishing not advisable for exterior), finishes may incorporate fungicidal ingredients.
- On bitumen: No prior treatment. Finish — aluminium pigmented or bituminous aluminium paint. Also limewash possible, but less durable.
- Advantages:**
- Protection against solar radiation by reflection
- Protection against wind and rain by bonding loose particles, sealing permeable material, corrosion resistance
- Protection against biological hazards by use of fungicides and insecticides
- Improvement of appearance and sanitary conditions
- Improvement of durability
- Disadvantages:**
- Plastic based paints mainly imported from industrialized countries (but local production increasing)
- Deterioration of paints by solar radiation, moisture, wind-blown sand, atmospheric pollution, mould growth and even termite attack
- Wrongly applied paints may lead to quicker deterioration of substrates
- Limewash requires renewal after each rainy season
- Remedies:**
- Greatest importance given to preparatory treatment of substrate to ensure maximum adherence of finish
- Maintenance of clean surfaces and periodic renewal of coatings
- On substrates that tend to absorb moisture, avoidance of impervious coatings; instead paints that "breathe", eg. emulsion paints, lime or cement wash.

## Kunststoffe

- Anwendung** :
- Feuchtigkeitsisolierung und Dampfsperren, z.B. Polyäthylen, Polyvinylchlorid (PVC), Butylkautschuk, Polyisobutylen
  - Wärmedämmung durch Schaumstoffe (z.B. Polyurethan-Schaumplatten) und Verbundplatten
  - begrenzter Gebrauch von Wellplatten, z.B. PVC und glasfaserverstärktes Polyester, wegen Verwitterungsproblemen
  - monolithische Dächer, meist Doppelwölbungen oder Faltplattenanordnungen zur Aussteifung (z.B. glasfaserverstärktes Polyester)
- Vorteile** :
- große Auswahl an Formen, Farben und anderen physikalischen Eigenschaften; Nachahmung von traditionellen Produkten, um hiermit Verbraucherwiderstand gegen Unbekanntes zu überwinden
  - leichtgewichtig, was Handhabung und Transport verbilligt und erleichtert; zusätzlicher Vorteil durch geringen Aufwand für Tragkonstruktion
  - keine Korrosion, leicht sauberzuhalten
  - keine Feuchtigkeitsbewegungen
- Nachteile** :
- Plastik verbreitet Flammen, entwickelt schädliche Dämpfe und dichten Rauch
  - Mangel an Festigkeit; Tendenz sich allmählich zu verformen, selbst bei normalen Temperaturen, und schneller Verfall der mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen
  - Verfall durch Ultraviolettstrahlung (immer noch unausreichende Information vorhanden über Kunststoffanwendung unter tropischen Bedingungen)
  - große Wärmebewegungen im Gegensatz zu traditionellen Materialien
  - hauptsächlich aus Industrieländern importiert, verhältnismäßig teuer
  - die meisten Plastikarten, außer den harten Varianten, anfällig für Termitenbefall und Abrieb durch windgetragenen Sand
- Abhilfe** :
- möglichst keine Anwendung, wo Feuer entstehen kann
  - Schutz gegen Hitzequellen
  - Vermeidung von lang anhaltender mechanischer Belastung, welche zu Bruchschäden führen könnte
  - weitgehende Abschirmung gegen Sonnenbestrahlung, falls kein hochwiderstandsfähiges Material verwendbar
  - Schutzmaßnahmen gegen Termiten und windgetragenen Sand

## Plastics

- Applications:**
- Water proofing membranes and vapour barriers, eg. polyethylene, polyvinyl chloride (PVC), butyl rubber, polyisobutylene
  - Thermal insulation with cellular plastics, eg. polyurethane foam slabs and sandwich panels
  - Limited use of corrugated roofing sheets, eg. PVC and glass reinforced polyester, due to problems with weathering behaviour
  - Monolithic roofs, usually employing double curvature or folded-plate arrangements for rigidity, eg. glass-fibre reinforced polyester.
- Advantages:**
- Capability to take on a wide variety of forms, colours and other physical properties. Imitation of traditional products, as a means of overcoming consumer resistance due to unfamiliarity
  - Lightness in weight, making handling and transportation easier and cheaper. Additional advantage in reduction of supporting structure
  - No corrosion, easily kept clean
  - Not subject to moisture movements
- Disadvantages:**
- Ability of plastics to spread flame, develop noxious fumes and dense smoke
  - Lack of rigidity, tendency to "creep", even at ambient temperatures, and rapid decline in mechanical properties at elevated temperatures
  - Deterioration due to ultra-violet radiation (still insufficient data available on use of plastics in tropical conditions)
  - Large thermal movement relative to most traditional materials
  - Mainly imported from industrialized countries, relatively high costs
  - Most plastics, except hard varieties, susceptible to termite attack and abrasion by wind-borne sand.
- Remedies:**
- Avoidance of use, where fires are likely to occur
  - Protection from heat sources
  - Avoidance of prolonged mechanical stress, which could lead to breakage
  - Minimum exposure to solar radiation, unless highly resistant materials are used
  - Protective measures against termites and wind-borne sand.

### 3.4.3 Abfallmaterialien

#### Landwirtschaftliche Abfälle

- Anwendung** : - Bewehrungsfasern für verschiedene Anwendungen (z. B. stabilisierte Erde und Beton) aus Bagasse, Kokosnußschalen, Bananenstengeln  
- Füllstoffe für Spanplatten, Faserstoffplatten, usw. von Reisschalen, Kokosnußschalen, Holzrückständen  
- Leichtgewichtige Füllstoffe für Beton aus getrockneten Reisschalen, karbonisierten nicht-eßbaren Körnern  
- pozzolanische Materialien aus Reisschalenasche  
- wasserfeste Beschichtungen aus Bananenstengel (in ein wenig Wasser gekocht), flüssiges Harz aus Kaschunußschalen
- Vorteile** : - extrem billige Rohstoffe  
- Reduzierung der durch Anhäufung von Abfall geschaffenen Umweltprobleme
- Nachteile** : - oft nicht ausreichend vorhanden, da viele Abfälle als billiges Heizmaterial benutzt werden, obwohl die Vorteile, sie in billiges Baumaterial umzuwandeln, viel größer sein könnten
- Abhilfe** : - intensivere Forschung der technologischen Aspekte sowie Kosten/Nutzen-Analyse  
- gesetzliche Maßnahmen für die Organisation der Abfallwiederverwertung

#### Industrieabfälle

- Anwendung** : - Zuschlagstoffe für Beton aus Flugasche (befeuchtet, zu Kügelchen geformt und gesintert), Schaumhochofenschlacke (durch Zugabe von etwas Wasser zur schmelzflüssigen Schlacke)  
- hydraulische Bindemittel aus Flugasche und "Surkhi" (pulverisierter Mauer- und Dachziegelausschuß, hauptsächlich in Indien verwendet)  
- Mineralwolle (als Füllstoff für Bitumenpappe) aus Flugasche  
- feuchtigkeitsisolierende Anstriche aus Schwefel
- Vorteile** : - die gleichen wie für landwirtschaftliche Abfälle  
- gut etablierte Technologien in vielen Ländern
- Nachteile** : - nur bei Verwendung von Schwefel: Entwicklung von Giftstoffen und Gerüchen bei hoher Temperatur (50°C), Sprödigkeit und Schrumpfung während des Erhärtens, muß in flüssigem Zustand aufgetragen werden (Probleme des verfrühten Erhärtens), erfordert spezielle Werkzeuge  
- verfrühtes Erhärten von Flugasche unter feuchten Bedingungen
- Abhilfe** : - Erforschung neuer Techniken zur kostengünstigen Anwendung von Schwefel  
- Lagerung von Flugasche mit der gleichen Sorgfalt wie von Zement.

### 3.4.3 Waste Materials

#### Agricultural Waste

- Applications:** - Reinforcement fibres for various uses (eg. stabilized soil and concrete) from bagasse, coconut husks, banana stalks  
- Fillers for particle board, fibreboard, etc. from rice hulls, coconut husks, wood residues  
- Lightweight aggregates for concrete from dried rice hulls, carbonated non-edible grains  
- Pozzolanic materials from rice hull ash  
- Waterproof coatings from banana stalks (boiled in little water), cashew nutshell liquid resin.
- Advantages:** - Extremely cheap raw materials  
- Reduction of environmental problems caused by accumulation of waste
- Disadvantages:** - Often insufficient availability, since much waste is being used as cheap fuel, even though the benefits of conversion into cheap building materials could be greater.
- Remedies:** - Deeper research on technological aspects and cost/benefit analysis  
- Legislative means in organizing waste reuse.

#### Industrial Waste

- Applications:** - Aggregates for concrete from fly ash (moistened, nodulized and sintered), foamed blast furnace slag (by adding little water to molten slag)  
- Hydraulic setting binders from fly ash and "surkhi" (pulverized brick and tile rejects, mainly used in India)  
- Mineral wool (as filler for bitumen felt) from fly ash  
- Waterproofing coats using sulphur.
- Advantages:** - Same as for agricultural waste  
- Well established technologies in many countries.
- Disadvantages:** - Only in use of sulphur: high level of toxicity and odour at high temperature (50°C), brittleness, contraction during hardening. Necessity of application in molten state (problem of premature hardening) requiring special equipment  
- Premature setting of fly ash in moist conditions.
- Remedies:** - Research into low-cost sulphur-coating techniques  
- Storage of fly-ash with same care as cement.

### 3.5 Verschiedene Gesichtspunkte

#### 3.5.1 Dimensionen

Bei einfachen Dachkonstruktionen für den Wohnungsbau garantiert die traditionelle Bemessung und Montage der Bauelemente normalerweise eine adäquate und stabile Konstruktion. Jedoch, mit zunehmenden Spannweiten über das Optimum der jeweiligen Materialien hinaus, bewirken zunehmende Materialstärken (der statischen Bauteile und Dacheindeckung), Eigengewicht und Materialmengen, eine Verminderung der Wirtschaftlichkeit und limitieren die sinnvolle Ausnutzung der Materialeigenschaften. Eine Erhöhung der statischen Tiefe der Elementkrümmung, -faltung oder -wellung ist dann nötig, um einen Balkeneffekt zu erzeugen. Hierdurch kann ein verhältnismäßig dünnes Material benutzt werden für Spannweiten, die im Verhältnis zur Dicke der statischen Hülle sehr groß sind.

In bezug auf Höhen von abgehängten Decken oder flachen Dächern zeigten experimentelle Studien in Indien, daß die Erhöhung der Decken auf mehr als 2,70 m keine nennenswerten Temperaturvorteile zeigten, unabhängig von Ventilationsbedingungen und jahreszeitlichen Veränderungen.

Die Verwendung von Modulmaßen bei der Planung von Dächern ist noch nicht ausreichend verbreitet, doch besteht in den meisten Ländern eine Neigung, den Dezimeter als Grundmodul zu benutzen. Das Rastermaß muß ein Vielfaches des Grundmoduls sein (3, 6, 9, usw. sind übliche Multiplern), wobei es den Raum zwischen angrenzenden Komponenten mit einschließt, so daß die Komponentengröße kleiner ist als das Rastermaß. Die Modulmaßordnung kann auf diese Weise für Materialgrößen und Elementabstände, parallel zum Ortgang und zum First gemessen, angewandt werden. Die Hauptvorteile von Modulmaßen sind leichtere Montage, Austausch von Elementen durch andere Materialien, sowie Reduzierung der Materialverschwendung durch Verschnitt.

#### 3.5.2 Dachneigungen

Dachneigungen werden oft in Grad angegeben (z.B.  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $22,5^\circ$ ), wahrscheinlich weil dieses leichter vor Augen zu führen ist. In der Praxis ist es jedoch sehr schwierig oder unmöglich für die Arbeiter auf der Baustelle oder in der Werkstatt, diese Winkel auszumessen. Deshalb werden Dachneigungen besser in dem einfachen Verhältnis zwischen Höhe und Spannweite angegeben (z.B. 1 : 1; 1 : 1,5; 1 : 2; 1 : 20), soweit möglich, unter Anwendung runder Zahlen.

Die Hauptfunktion der Dachneigung ist Regenwasser ablaufen zu lassen, ehe es in das Dachmaterial eindringen kann. Je niedriger die Durchlässigkeit, desto weniger Dachneigung ist erforderlich. Jedes Dachdeckenmaterial hat demnach seinen eigenen optimalen Neigungswinkel. Einige der empfohlenen Mindestneigungen sind:

### 3.5 Miscellaneous Aspects

#### 3.5.1 Dimensions

In simple domestic roof constructions, a tradition of member-sizing and assembly normally ensures an adequate and stable structure. However, as spans increase above the optimum for each material, increased thicknesses (of structural members and roof cover), dead weight and material usage make them inefficient and limit their capability. An increase of structural depth of the whole unit of curvature, folding or corrugation is then necessary in order to create a beam effect and by this means a basically thin material may be used over spans which are large in relation to the thickness of the structural surface.

As regards the heights of suspended ceilings or flat roofs, experimental studies undertaken in India have shown that raising the ceiling height above 2.70 m had no significant thermal advantage, irrespective of ventilation conditions and seasonal variations.

The use of modular coordination in roof design is still not sufficiently widespread, though there are tendencies in most countries to use the decimetre as the basic module. The modular dimension must be a multiple of the basic module (3, 6, 9, etc. are common multiples), and includes the space needed for joining the components, so that the component size is less than the modular dimension. Modular coordination can thus be applied to material sizes and spacing of members measured parallel to eaves and ridge. The main advantage of modular coordination is to facilitate assembly and even substitution of different materials and to reduce wastage due to cutting of excess material.

#### 3.5.2 Roof Slopes

Inclinations of roofs are often given in degrees (eg.  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ), probably because these are easier to visualize. In practice, however, it is extremely difficult or impossible for workers on the site or in the workshop to measure out these angles. Therefore roof slopes are best expressed in simple relations between height and span (eg. 1 : 1, 1 : 1.5, 1 : 2, 1 : 20), preferably using round numbers.

The main function of roof slopes is to allow rainwater to run off before it is able to penetrate the roofing fabric. The lower the permeability, the less slope is required. Each roofing material therefore has its own appropriate pitch. Some recommended minimum slopes are:

Dachdeckenmaterial	erforderliche Mindestneigungen	
	Verhältnis	Winkel
Grasdeckung	1 : 1	45°
Holzschindeln:		
- unbehandeltes Holz	1 : 1	45°
- druckbehandeltes Holz	1 : 1,5	33°40'
Gebrannte Dachziegel:		
- Biberschwanz- und Mönch- und Nonnendeckung	1 : 1,5	33°40'
- Flachdachpfannendeckung (ohne wasserdichte Folie)	1 : 2	26°40'
- Flachdachpfannendeckung (mit wasserdichter Folie)	1 : 3	18°30'
Verzinktes Wellblech:		
- mit Überlappungen (d.h. mehr als eine Platte in Fallrichtung)	1 : 3	18°30'
- ohne Überlappung (d.h. eine Platte zwischen First und Traufe)	1 : 5	11°20'
Asbestzementplatten:		
- gewellt (mit Überlappungen)	1 : 3	18°30'
- gewellt (ohne Überlappung)	1 : 5	11°20'
- trogförmig (ohne Überlappung)	1 : 10	5°40'

### 3.5.3 Statisches Verhalten

Für die statische Festigkeit und Stabilität eines Daches muß sowohl das Eigengewicht als auch die Verkehrslasten berücksichtigt werden. Ersteres besteht aus dem Eigengewicht der Dachkonstruktion und der Dachhaut sowie aus den statischen Lasten von Geräten und Anlagen, die auf oder unter dem Dach befestigt sind. Haupterfordernis ist es, ein geringeres Eigengewicht pro Flächeneinheit zu erreichen, je länger die Spannweite ist (siehe 3.5.1 Dimensionen). Dies steht jedoch im Gegensatz zur Notwendigkeit dickwandiger Konstruktionen, um die Schallübertragung zu reduzieren, besonders der bei Aufprallgeräusche von Regen und Hagel. Verkehrslasten sind jene, die durch Winddruck und Begehung des Daches hervorgerufen werden. In einigen Wüstengebieten muß mit Sandablagerungen gerechnet werden. Wo Erdbeben und Wirbelstürme erwartet werden, müssen besondere Entwurfsprinzipien beachtet werden, um ernste Schäden zu vermeiden.

Es muß jedoch betont werden, daß die statische Zulänglichkeit eines Daches zum größten Teil vom übrigen Gebäude abhängt, z. B. bei Häusern (mit unzureichendem

Roof covering material	Minimum slope required	
	Ratio	Angle
Grass thatching	1 : 1	45°
Timber shingles:		
- untreated timber	1 : 1	45°
- pressure impregnated timber	1 : 1.5	33°40'
Burnt clay roof tiles:		
- plain tiles and Spanish type	1 : 1.5	33°40'
- Roman type (without waterproofing membrane)	1 : 2	26°40'
- Roman type (with waterproofing membrane)	1 : 3	18°30'
Corrugated galvanized iron sheets:		
- with end laps (ie more than one sheet in direction of fall)	1 : 3	18°30'
- with no end laps (ie one sheet between ridge and eaves)	1 : 5	11°20'
Asbestos cement sheets:		
- corrugated (with end laps)	1 : 3	18°30'
- corrugated (with no end laps)	1 : 5	11°20'
- troughed (with no end laps)	1 : 10	5°40'

### 3.5.3 Structural Performance

For the structural strength and stability of a roof, attention must be given both to its dead load and imposed loads. The former consists of the self-weight of the roof structure and its claddings and any other static loads from equipment carried on or suspended from the roof. The principal requirement is to achieve lower dead weight per unit area, the longer the span is (see 3.5.1 Dimensions). This, however, is in conflict with the need for heavy mass for reduction of sound transmission, especially of impact noise from the drumming of rain and hail. Imposed loads comprise those due to wind forces and moving traffic. In some desert regions sand deposition in sandstorms may have to be taken into account. Where earthquakes or hurricanes are to be expected, special design principles must be observed to avoid serious damage.

It must, however, be stressed that the structural performance of a roof largely depends on the rest of the building, eg. with houses (having poor or no foundations) built on expansive soils, swelling and contracting of the ground can cause serious failures of building elements and their joints. Similarly, failure of walls under seis-

oder keinem Fundament), die auf dehnbarem Boden gebaut wurden, kann Schwellen und Zusammenziehen des Bodens zu folgenschwerem Versagen der Bauelemente und deren Verbindungen führen. Ähnlich kann das Versagen von Wänden unter seismischen Kräften den Zusammenbruch des Daches verursachen. Daher ist die Anbringung eines durchgehenden Ringbalkens entlang der Oberkante der Wände, die das Dach tragen, oft eine der wichtigsten Anforderungen. Alternativ dazu sichert eine völlige statische Trennung der Dachkonstruktion von den Wänden, indem also die Last über unabhängige Stützen direkt zum Fundament geführt wird, Stabilität, selbst wenn die Wände zusammenbrechen.

### 3.5.4 Wärme- und Feuchtigkeitsbewegungen

Die Aufnahme von Sonnenenergie während des Tages und der Abfluß von langwelliger Rückstrahlung während der Nacht bedeutet, daß Dächer in den Tropen relativ großen Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, wobei die größten Temperaturspannen in den trockenen Tropen auftreten. Die resultierenden Wärmeausdehnungen und Schrumpfungen können zu ernststen Schäden der Dachelemente führen.

Je nach Art der Materialien, die dafür verwendet werden, kann die Dachkonstruktion Feuchtigkeitsbewegungen ausgesetzt sein, hervorgerufen durch das anhaltende Schrumpfen von Materialien, wie zum Beispiel austrocknendem Zement, und durch periodische Veränderungen der relativen Feuchtigkeit. In geringem Maße sind Verbiegungen und Verdrehungen statisch nicht immer schädigend, könnten aber bei Naturkatastrophen, wie Erdbeben und Wirbelstürmen, ein Risiko darstellen.

Um Wärme- und Feuchtigkeitsbewegungen entgegenzuwirken oder die Schäden auf ein Minimum zu halten, wären die folgenden Punkte von Interesse:

- a. Ziegel-, Schindel- oder Wellplattendächer nehmen Wärmebewegungen durch verschiebbare Überlappung und flexible Materialien auf. Gefaltete oder gerundete Oberflächen nehmen die Bewegung durch Erhöhung und Vertiefung der Krümmungsprofile auf.
- b. Starre Betonplatten und dünnwandige Dächer sollten oberhalb der Platte ausreichend isoliert sein, und die äußere Oberfläche sollte durch reflektierende Anstriche oder Beschattungsvorrichtungen geschützt sein.
- c. Bewegungsfugen sollten bei Dächern vorgesehen werden, um relative Bewegungen zuzulassen, ohne die Dachkonstruktion zu schädigen oder zu schwächen. Ungeschützte Bewegungsfugen müssen völlig wasserdicht sein.

mic forces can cause roofs to collapse. Therefore the provision of a continuous ring beam along the top edge of the walls supporting the roof is often a prime necessity. Alternatively, a complete structural separation of the roof construction from the walls, transmitting loads via independent columns directly to the foundations, ensures stability even if the walls fail.

### 3.5.4 Thermal and Moisture Movement

The absorption of solar energy during the day and emission of long-wave radiation at night can mean that roofs in tropical areas can be subjected to fairly large ranges of temperature, the larger temperature ranges occurring in the dry tropics. The resulting thermal expansion and contraction can cause serious damage to roof components.

Depending on the materials used in its construction, the roof can also be affected by moisture movement, caused by permanent shrinkage of materials, such as concrete drying out, and by periodic changes in relative humidity. Within limits, deflection and distortion is not always structurally damaging, but could be a hazard in natural disasters, such as earthquakes and hurricanes.

To counteract thermal and moisture movement or minimize damage caused by it, the following points are of interest:

- a. Tiled, shingled or corrugated-sheet roofs take up thermal movement by sliding overlaps and flexibility of materials. Folded or curved surfaces take the movement by a rise and fall of the curved profiles.
- b. Rigid concrete slab and membrane roofs should be efficiently insulated above the slab and the outer surface should be protected by application of reflective coating or shading devices.
- c. Movement joints should be provided in roofs to permit the relative movements to take place without damaging or weakening the roof structure. Exposed movement joints must be completely waterproof.

### 3.5.5 Wirtschaftliche Überlegungen

Selbst wenn zuverlässige Kostenvergleiche über Dachkonstruktionen vorhanden wären, hätten diese wenig praktischen Wert, da Dachentwürfe, Konstruktionsmethoden, Arbeits- und Materialkosten von Gebiet zu Gebiet sehr verschieden sind. Einige kostenbeeinflussende Prinzipien bestehen jedoch und sollten bei der Planung und Ausführung von Dächern berücksichtigt werden.

Die Anwendung eines Systems nahe an seinen größtmöglichen Spannweiten resultiert normalerweise in hohen Fertigungs-, Transport- und Montagekosten. Dies erfordert kleine Raumdimensionen, aber aus verschiedenen anderen Gründen ist dies bereits eines der Hauptmerkmale der Niedrigkosten-Bauweise.

Die anfänglichen Kosten auf einem Minimum zu halten, kann hohe Ausgaben für Instandhaltung und Reparaturen bedeuten. Schlecht entworfene Dächer können zu verminderter Leistungsfähigkeit und schlechtem Gesundheitszustand der Bewohner führen, welche ebenso wichtige Kostenfaktoren sind. Erhebliche Kenntnisse über örtliche Materialien, Preise und Facharbeit sowie über die Bedingungen, denen das Dach ausgesetzt ist, sind daher erforderlich, um einen wirtschaftlich geeigneten Dachentwurf zu finden.

Vorfertigung als ein kostenreduzierender Faktor hat begrenzte Anwendung für den Niedrigkosten-Wohnungsbau, außer für die Herstellung von Wellblech oder verstärkte Leichtbauplatten. Fertigbaukonstruktion, wie sie normalerweise verstanden wird, heißt Vorfertigung von großen Platten oder ganzen Dächern, was spezialisierte und teure Montagewerkzeuge erfordert. Leichte Handhabung und Baumethoden sind deshalb wichtiger als Vorfertigung.

Je einfacher der Entwurf und Bauablauf, desto besser und billiger wird im allgemeinen das System sein. Es sollte eine für Arbeiter einfach erlernbare Konstruktionsmethode vorsehen, den Einsatz von manueller Arbeit anstatt von teurem, kompliziertem Arbeitsgerät erfordern, nur örtlich vorhandenes, nicht-importiertes Material verwenden und Ungenauigkeiten tolerieren. Das ist in den Entwicklungsländern, wo Fachkräfte und kompetentes Aufsichtspersonal nicht ausreichend verfügbar sind, von besonderer Wichtigkeit.

### 3.5.5 Economic Considerations

Even if reliable cost comparisons of roof constructions were available, they would be of little practical value, as roof designs, construction methods, labour and material costs differ so greatly from region to region. A few principles governing cost do however exist and should be considered in roof design and construction.

The use of a system at the upper limits of its span capability normally results in higher costs of fabrication, transportation and assembly. This calls for small room dimensions, but, for a number of other reasons, this already is a common feature of low-cost housing design.

Keeping initial costs at a minimum may mean high expenses for maintenance and repair over long periods. Poorly designed roofs can result in reduced efficiency and bad health of the occupants, which are equally important cost factors. It therefore requires considerable knowledge of local materials, prices and workmanship, as well as the conditions to which the roofs are subjected, to find the economically most appropriate roof design.

Prefabrication as a factor of cost reduction has limited application in low-cost housing, except for the manufacture of corrugated or strengthened lightweight sheeting. Prefabricated construction, as it is normally understood, means prefabrication of large panels or whole roofs, which need specialized and expensive installing equipment. Ease of handling and erection therefore are of more importance than prefabrication.

In general the simpler the design and procedure, the better and cheaper the system will be. It should be easy for workers to learn construction methods, make use of manual labour rather than expensive, complicated equipment, use only locally available, non-imported material and tolerate inaccuracies. This is especially important in developing countries where skilled labour and competent supervisory staff can be in short supply.



## 4. ALLGEMEINE ÜBERSICHT ÜBER NIEDRIGKOSTEN-DACHSYSTEME

### 4.1 Herkömmliche Systeme

#### 4.1.1 Traditionelle Dächer

Einheimische Häuser, in allen Teilen der Welt, haben zunehmend das Interesse von Architekten und Ingenieuren geweckt, nicht nur weil jedes traditionelle Bauwerk ein Stück Kunst ist, das oft handwerkliche Geschicklichkeit vorführt, die beim "modernen Mann" längst ausgestorben ist, sondern hauptsächlich, weil (mit ein paar Ausnahmen) viel über Gebäude-Klimatologie, Materialverwendung, Gefühl für Proportionen und den menschlichen Maßstab, Wirtschaftlichkeit bei Konstruktion und Instandhaltung sowie Interpretation von örtlichen Kulturen und menschlichen Bedürfnissen zu lernen ist. Die folgende Tabelle (welche aus naheliegenden Gründen nur eine sehr kleine Auswahl von mehreren tausend möglichen Beispielen ist) gibt eine allgemeine Vorstellung über die Vielfalt der Formen und Konstruktionen, wovon einige durch Zeichnungen detaillierter erläutert werden.

Abb. 4.1 Masai-Häuser (Kenia, Tansania)  
Fig. 4.1 Masai dwellings (Kenya, Tanzania)

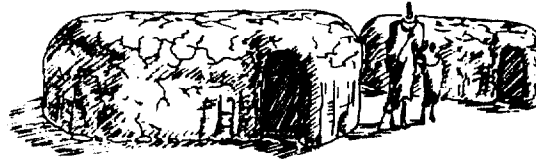


Abb. 4.2 Pueblo-Häuser (Südwest-USA)  
Fig. 4.2 Pueblo houses (Southwestern United States)



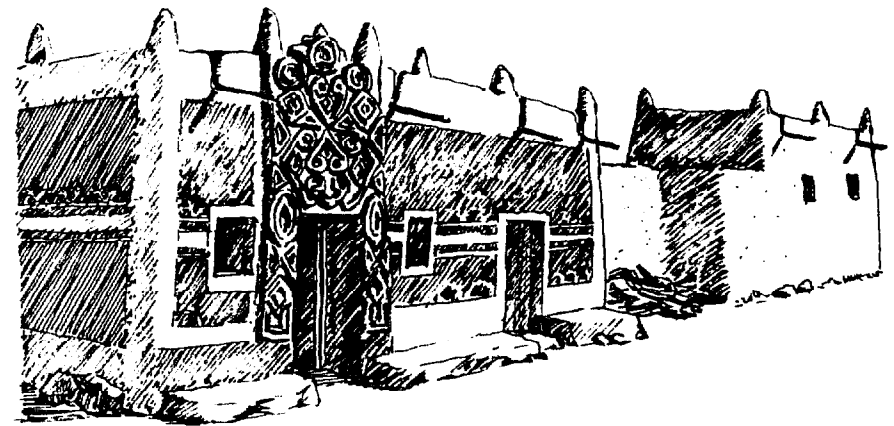
## 4. GLOBAL REVIEW OF LOW-COST ROOFING SYSTEMS

### 4.1 Systems in Common Usage

#### 4.1.1 Traditional Roofs

Indigenous houses in all parts of the world have increasingly captured the interest of architects and engineers, not only because each traditional structure is a work of art, often displaying skills long extinct in "modern" man, but mainly because (apart from a few exceptions) much can be learnt from them with respect to building climatology, use of materials, sense of proportions and human scale, economy of construction and maintenance, and translation of local cultures and human needs. The chart below (which for obvious reasons is only a minute selection from several thousand possible examples) gives a general idea of the diversity of forms and constructions, some of which are described by means of diagrams in more detail.

Abb. 4.3 Hausa Compound (Nord-Nigeria)  
Fig. 4.3 Hausa compound (Northern Nigeria)



Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
---	--------------------------------------	-------------

#### FLACHE DÄCHER

Dachgrundriß: oval oder rechteckig

Boma der Masai, Kenia, Tanzania	Fachwerk aus Ästen, mit Gras und Zweigen zusammengeflochten. Glatte Oberflächenbehandlung mit frischem Kuhdung. Zusätzliche Wasserfestigkeit mit Häuten. Schmale Tür als einzige Öffnung.	Frauen sind für Bauarbeiten verantwortlich. Sparsam mit Materialien und Aufwand, daher Höhe des Daches zu niedrig, um aufrecht zu stehen. Kleine Feuerbrennen dauernd, füllen Raum mit Rauch. Stromlinienform (gerundete Ecken) und -oberflächenbearbeitung von Vorteil in windigen Gegenden.
------------------------------------	---	---

Dachgrundriß: quadratisch oder rechteckig

Pueblo-Behausungen z.B. der Hopi und Zuni, Südwest Vereinigte Staaten	Drei- bis fünfgeschossige Terrassenbebauung aus Lehmziegeln oder Steinen, mit Lehm verputzt. Dach bestehend aus geschälten Zederbalken, überdeckt mit kleinen Rundhölzern, Zederinde und Gras, welches eine 10 cm dicke Lehmschicht trägt. Nur ein paar kleine Öffnungen in den äußeren Wänden.	Eingänge der Pueblos:hauptsächlich mittels Leitern erreichbare Öffnungen im Dach. Benutzung der Dächer zum Sitzen, Schlafen und Arbeiten. Da dicke Zederbalken in trockenen Zonen rar sind, werden sie nicht auf die erforderliche Länge geschnitten, sondern durchdringen die Außenwand und kragen beliebig weit aus. Diese Balken werden über Jahrhunderte immer wieder verwendet.
---	---	--

Compounds Hausa, Nord-Nigeria	Wände aus birnenförmigen Lehmziegeln und verputzt, Lehmächer verstärkt durch Holz und Palmenzweige.	Alternativ gewölbte Dächer. Symbolische Dekorationen am Dachrand entlang und an den Wänden sehr charakteristisch.
-------------------------------------	---	---

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
--	-----------------------------------	----------

#### FLAT ROOFS

Roof Base: oval or rectangular

Boma of the Masai, Kenya, Tanzania	Framework of branches, interwoven with grass and twigs. Smooth surface finish with fresh cow dung. Additional water-proofing with layer of hides. Narrow door is the only opening.	Women responsible for building. Economy of materials and effort hence height of roof too low to stand upright. Small fires constantly burning in hut, fill rooms with smoke. Streamlined shape (corners rounded) and finish are advantageous in windy environment.
---------------------------------------	--	--

Roof Base: square or rectangular

Pueblo dwellings eg. of Hopi and Zuni, Southwestern United States	Three to five storeyed, terraced houses of adobe brick or stone in adobe mortar, plastered with clay mud. Roofs consist of peeled cedar beams covered with small poles, cedar bark and grass, which support 10 cm coat of adobe. Only few small openings on exterior walls.	Access to pueblos generally through openings in roof, using ladders. Roofs used for sitting, sleeping, working. Since the thick cedar beams are rare in arid regions, they are not cut to required lengths, but allowed to project through face of exterior walls. These beams are used over again for hundreds of years.
---	---	---

Compounds Hausa, Northern Nigeria	Walls made of pear-shaped mud-bricks and plastered over. Mud roofs reinforced with wood or palm fronds.	Alternatively roofs are vaulted. Symbolic decorations along roof edges and walls are very characteristic.
---	---	---

Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
Innenhofhäuser, Dogon, Mali	Gruppenbehauungen mit lehmverputzten Lehmzie- gelwänden. Lehmverputz- te Dächer ruhen auf Holzsparren, -balken und -stützen, wo erfor- derlich. Vorgefertigte konische Strohdächer be- decken zusätzlich flache Dächer von Getreidespei- chern.	Häuseranordnung nach kosmologi- schem Schema, Mindestdimen- sionen, zweistöckig. Balken und Sparren, die aus den Außenwän- den auskragen, werden als Ge- rüst für Konstruktion und Repa- raturen am Haus benutzt. Koni- sche Strohdächer auf viereckiger Grundfläche ergeben wellige Trauflinie.
Untergrundhäuser, z. B. Matmata, Sahara und Honnan, China	Behauungen aus weicher, poröser Erde geschnitten. Erdoberfläche selbst bil- det das Dach.	Nutzung der unerschöpflichen Wärmekapazität der Erde: warm im Winter, kühl im Sommer.
Mehrgeschossige Häuser, Nordafrika und Mittlerer Osten	Hauptmaterial Lehm mit pflanzlicher Bewehrung, manchmal gebackene Lehmziegel. Dächer mei- stens aus Holz und Lehm.	Dächer häufig zum Schlafen be- nutzt. Konstruktion für überwie- gend trockene Zonen geeignet. Oft Windtürme auf den Dächern, um Brisen ins Innere zu lenken.
<b>PULTDÄCHER</b>		
Windbrecher bei no- madischen Stämmen in vielen Ländern, z. B. Nordafrika, Türkei, Malaysia, Australien	Ganzes Bauwerk beste- hend aus dem Dach und den tragenden Elementen (keine Wände), meistens an drei Seiten offen. Pflanzenmaterialien, die örtlich gefunden werden, leichte Matten oder Tex- tilien.	Einzigste Funktion: Schattenspen- den und Schutz vor dem vorherr- schenden Wind. Überraschend oft anzutreffen in Gebieten mit rauhem Klima, was dicht um- schlossene Lebensräume aus iso- lierenden Materialien erfordert.

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
Courtyard houses, Dogon, Mali	Cluster dwellings with mud plastered adobe walls. Mud plastered roofs rest on wooden rafters, beams and columns where necessary. Prefabricated conical straw roofs additionally cover flat roofs of graneries.	Layout of houses according to cosmological scheme, mini- mum dimensions, two storeys high. Beams and rafters pene- trating exterior walls used as scaffolding in construction and repair of houses. Conical straw roofs on square base make eaves always uneven.
Underground houses eg Matmata, Sahara and Honnan, China	Dwellings cut out of soft porous soil. Ground surface constitutes the roof.	Use is made of infinite heat capacity of earth: warm in winter, cool in summer.
Multistoreyed houses, North Africa and Middle East	Primary material mud with plant reinforcements, some- times burnt clay bricks. Roofs usually of timber and mud.	Roofs frequently used for sleeping. Construction appropriate for predomi- nantly hot dry regions. Often wind towers on roofs to di- vert breeze to interior.
<b>SINGLE PITCHED ROOFS</b>		
Windbreaks used by nomadic tribes in many countries, eg North Africa, Turkey, Ma- laysia, Australia	Entire structure consisting of roof and supporting mem- bers (no walls), usually open on three sides. Plant materials found locally or light matting or textiles brought by dwellers.	Only function is to give shade and protection from prevail- ing winds. Surprisingly often used in regions with harsh climates, requiring well en- closed spaces with insulating materials.

Abb. 4.4 Dogon-Siedlung (Mali)  
 Fig. 4.4 Dogon settlement (Mali)

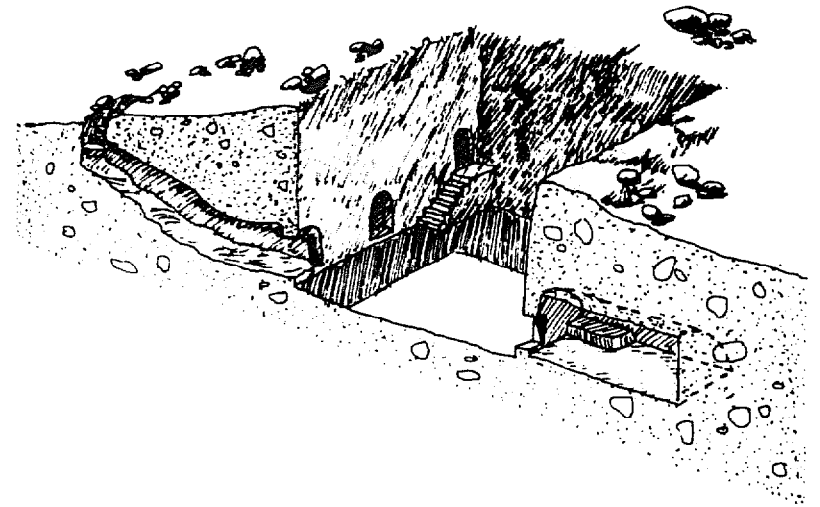


Abb. 4.5 Unterirdisches Haus (Matmata, Sahara)  
 Fig. 4.5 Underground dwelling (Matmata, Sahara)

Abb. 4.6 Traditioneller Lehm- bau (Nordafrika und Mittlerer Osten)  
 Fig. 4.6 Traditional mud house (North Africa and Middle East)

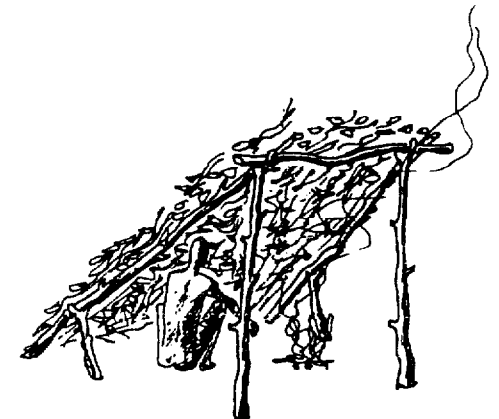
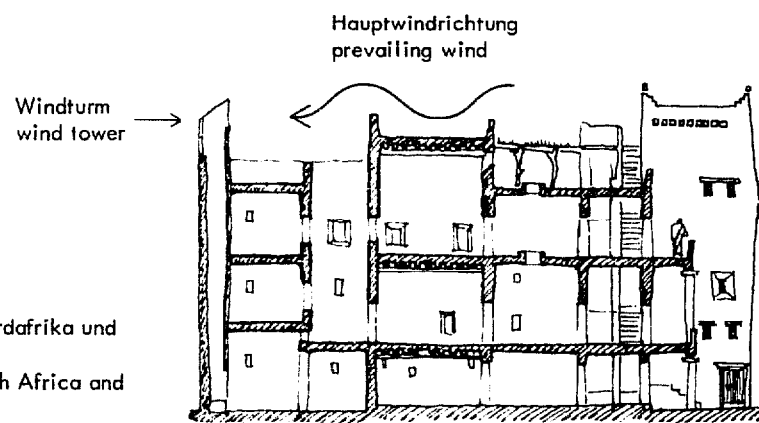


Abb. 4.7 Windbrecher  
 Fig. 4.7 Windbreak

Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
---	--------------------------------------	-------------

### SATTEL- UND WALMDÄCHER

Dachgrundriß: oval oder rechteckig

Behausung der Maya, Yucatan-Halbinsel (Mexiko, Guatemala), sehr den Häusern auf den Fidschi-Inseln ähnlich	Einfache 1-Zimmer-Häuser mit ovalem Grundriß und Walmdächern. Leichte Wände aus Maisstengeln, gewebtem gespaltenem Bambus oder Flechtwerk mit Lehm (Bajareque). Bei fidschianischen Dächern Firstpfetten auf beiden Seiten auskragend.	Symmetrischer Entwurf mit Tür in der Mitte einer Breitseite. Gefahr des Niederbrennens des Hauses durch Kochen im Hausinneren mit offenen Feuern, aber Rauchentwicklung hilft Insekten und Tiere fernzuhalten.
--	--	--

Malocas der Indianer-Stämme im Amazonas-Becken	Große Gemeinschaftshäuser aus örtlichem Holz, Bambus, Gräsern und Blättern, um eine dicke Gebäudehülle zu schaffen. Ziemlich steile Dächer, die meistens am Boden beginnen. Keine Öffnungen, außer kleinem Eingang.	Wegen fehlender Ventilation und großer Wärmespeicherkapazität des dicken Daches müssen die Häuser in heißen Sommermonaten verlassen werden.
--	---	---

Dachgrundriß: rechteckig

Totora-Häuser, Uru-Indianer, Titicacasee, Peru	Gebäude nur aus einem Material hergestellt — Totora — ein Schilf, das im See wächst. Wände aus Schilfbündeln, Dächer aus Schilfmatten.	Häuser gebaut auf künstlichen Schilf-Inseln, die auf dem See wie ein Floß schwimmen. Da die Inseln allmählich sinken, dauernde Erneuerung des Schilfs nötig.
--	--	--

Gemeinschaftshäuser, Yagua-Indianer, Peruanischer Amazonas	Wandlose Häuser mit Walm- oder Satteldächern. Holzrahmenkonstruktion mit Grasdach. Erhöhte Plattform aus gespaltenem Bambus.	Bestgeeignete Konstruktion für feuchttropisches Klima. Obwohl völlig offenes Gebäude, Privatsphäre erreicht durch Abwenden vom Zentrum des Hauses (kulturelle Konvention).
--	--	--

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
--	-----------------------------------	----------

### DOUBLE PITCHED AND HIP ROOFS

Roof Base: oval or rectangular

Dwellings of Maya, Yucatan Peninsula (Mexico, Guatemala), very similar to houses on Fiji Islands	Simple one-room homes with oval plan and hip roofs. Light walls of corn stalks, woven split bamboo or wattle and daub (bajareque). Steep thatched roof. Fijian roofs have ridge poles protruding from each end.	Symmetrical design with door in centre of one broad side. Cooking with open fires in interior constitute risk of house burning down, but smoke helps to eliminate insects and pests.
--	---	--

Malocas of Indian tribes in the Amazon Basin	Large communal houses made of local timber bamboo, grasses and leaves to form thick building envelope. Fairly steep roofs, usually beginning at ground level, and no openings besides small entrance.	Due to lack of ventilation and large heat retaining capacity of thick roof, houses must be abandoned during hot summer months.
--	---	--

Roof Base: rectangular

Totora houses, Uru Indians, Lake Titicaca, Peru	Buildings made only from one material — totora — a reed growing in the lake. Walls of reed bundles, roofs of reed mats.	Houses are built on artificial islands also made of reeds floating on the lake. Since islands gradually sink, constant renewal of reeds is necessary.
---	---	---

Communal houses, Yagua Indians, Peruvian Amazon	Open-walled hipped or gable roofed houses on piles. Timber frame structure with thatch roofs. Raised platform of split bamboo.	Most appropriate construction for the damp tropical climate. Though completely open building, privacy is obtained simply by turning away from centre of house (cultural convention).
---	--	--

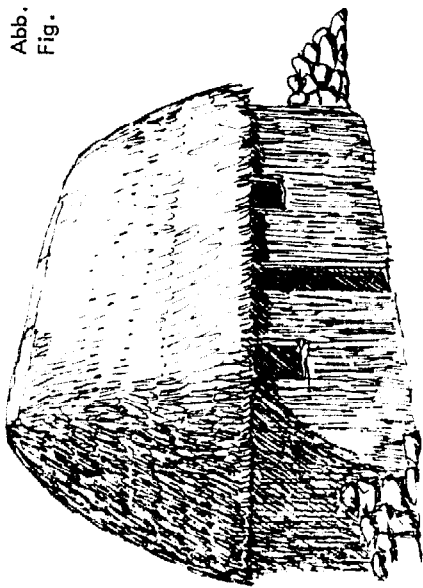


Abb. 4.8 Maya-Haus (Yucatan-Halbinsel)  
 Fig. 4.8 Maya house (Yucatan Peninsula)



Abb. 4.9 Maloca (Amazonas)  
 Fig. 4.9 Maloca (Amazon)

Abb. 4.10 Schilfhäuser der Uru-Indios (Tiricacasee, Peru)  
 Fig. 4.10 Reed houses of the Uru Indians (Tiricaca, Peru)

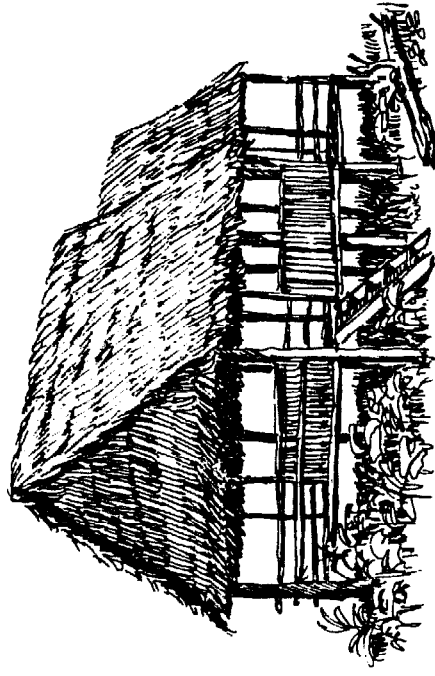
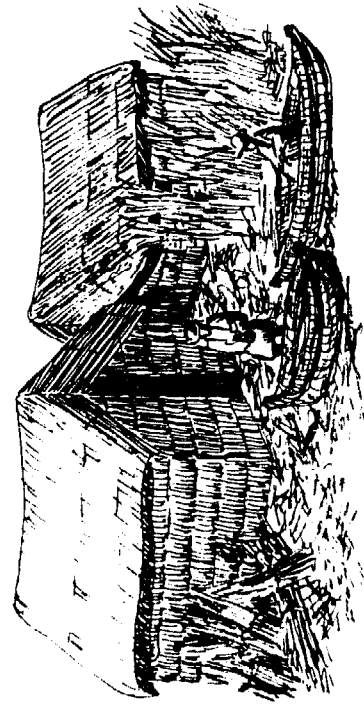


Abb. 4.11 Gemeinschaftshaus der Yagua-Indios  
 (peruanischer Amazonas)  
 Fig. 4.11 Communal house of Yagua Indians  
 (Peruvian Amazon)

Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
Innenhofhäuser Asante Ghana	Rechtwinklige Häuser. Wände aus dickflüssigem Lehm mit Bewehrung aus Rohr, steiles Satteldach aus Gras.	Normalerweise vier separate Gebäude, im rechten Winkel um den Innenhof herum angeordnet; einige der zum Innenhof gerichteten Seiten sind offen oder haben Stützen (Palmzweige, bedeckt mit Lehm).
Stelzenhäuser Kokwè-See, Benin	Tragkonstruktion aus Holz (Mangrove), Wandausfachungen aus Palmen oder gespaltenem Bambus hergestellt, Dachstuhl aus Palmzweigen mit Grasdeckung.	Keine absolute Übereinstimmung bei Wahl der Dachform. Möglichkeit der individuellen Gestaltung. Bei manchen Walmdächern elegant geschwungene Linie bis zum First.

#### KONISCHE UND BIENENKORBFÖRMIGE DÄCHER

Dachgrundriß: rund

Tepee, Wigwam Flachland-Indianer, Nordamerika	Kiefernpfähle, kreisförmig in die Erde gesteckt und am oberen Ende zusammengebunden, um eine konische Form zu bilden. Äußere Eindeckung aus Büffelhaut, mit einem Loch am oberen Ende als Rauchabzug.	Anstatt der Häute wird auch Birkenrinde benutzt. Durch lange Stücke betätigte Klappen an der Zeltspitze, um Rauch abzuführen, ohne Zugluft hereinzulassen. Einfacher Aufbau, Abbau und Transport der Zelte.
Rundhäuser z.B. Lasso in Togo und Hutu in Ruanda	Kreisförmige Wände aus gestampftem Lehm mit konischen Strohdächern.	Häufigster Dachtyp in Afrika. Steile Neigungswinkel, um Regenwasser schnell ablaufen zu lassen. Erneuerung nur jedes zweite Jahr erforderlich.
Behausungen der Mousgoum, Nord-Kamerun	Häuser ausschließlich aus Lehm, ohne Schalung gebaut (echte Kuppelbauweise), charakteristisches Reliefmuster der Außenflächen.	Bedeutung der äußeren Muster nicht bekannt, aber sie ermöglichen der Aufstieg zur Spitze, verleihen dem Bauwerk zusätzliche Festigkeit und verhindern Entstehung von Erosionsrinnen durch Regenwasser.

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
Courtyard houses Asante, Ghana	Rectangular houses, walls made of puddled mud reinforced with cane, steep thatched saddle back roof.	Usually four separate buildings arranged at right angles around courtyard; some of the sides facing court are open or pillared (palm frond covered with mud).
Pile dwellings Lake Nokwè, Benin	Basic structure of timber (mangrove), walls of infill panels of palm or split bamboo. Roof made of palm frond structural framework with thick grass thatch.	No absolute consistency in roof design. Some hipped roofs have elegant curves to the ridge.

#### CONICAL AND BEEHIVE SHAPED ROOFS

Roof Base: circular

Tepee, Wigwam Plains Indians, North America	Poles of pine stuck in the ground in a circle and tied together at upper end to form conical shape. Outer skin of buffalo hide, leaving hole at the top for smoke to escape.	Instead of hides, also birch bark cover in common use. Two flaps at top end, adjusted by longer poles control ventilation, letting smoke escape without draughts entering. Easy erection, dismantling and transportation of tent.
Round houses e.g. Lasso of Togo and Hutu of Rwanda	Circular walls of compacted mud with conical thatch roof.	Most common roof type in Africa. Steep pitches allow rapid run-off of rainwater. Renewal required only every second year.
Dwellings of the Mousgoum, Northern Cameroon	Houses built entirely of mud with no formers (true dome construction). Significant relief pattern on outer surface.	Meaning of exterior patterns not known, but facilitates climbing to top, adds strength to structure and prevents erosion channels by rainwater.

Abb. 4.12 Asante-hofhaus (Ghana)  
Fig. 4.12 Asante courtyard house (Ghana)

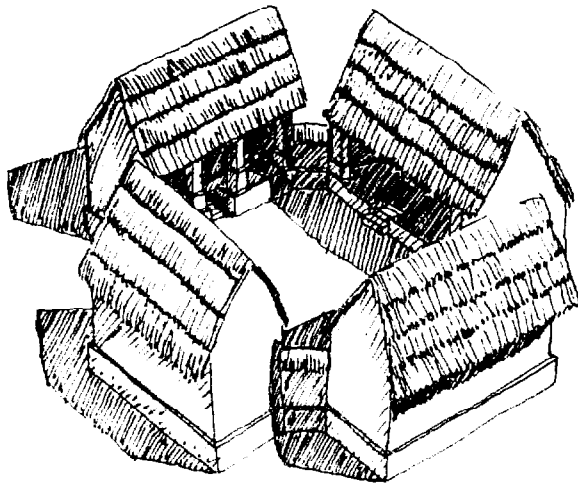


Abb. 4.13 Pfahlhäuser (Benin)  
Fig. 4.13 Pile dwellings (Benin)

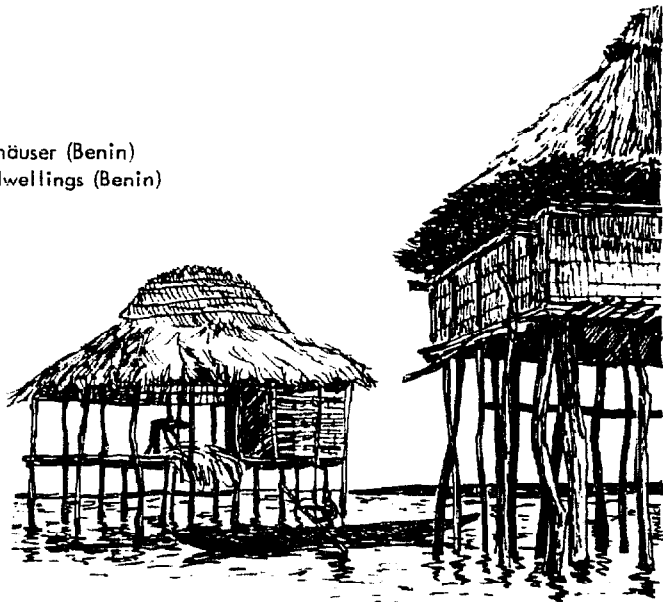


Abb. 4.14 Indianerzelt (Nordamerika)  
Fig. 4.14 Teepee (North America)

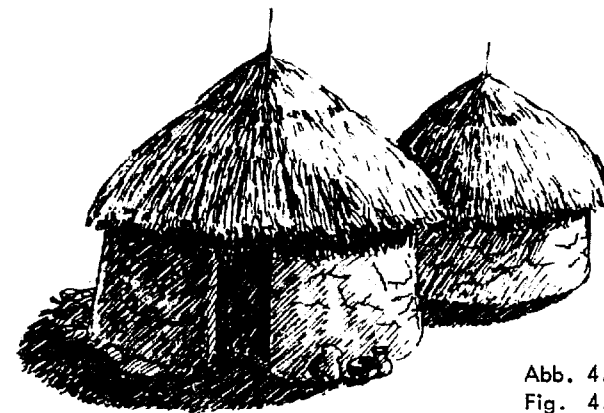
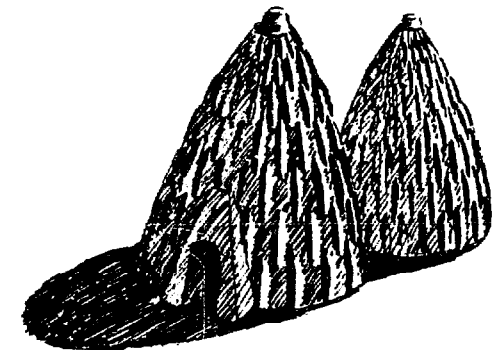


Abb. 4.15 Rundhäuser (Afrika)  
Fig. 4.15 Round houses (Africa)

Abb. 4.16 Mousgoum-Häuser  
(Nord-Kamerun)  
Fig. 4.16 Mousgoum dwelling  
(Northern Cameroon)





Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
Behausungen der Sidamo, Äthiopien	Gerüst aus flexiblen Stangen, in die Erde gebettet und oben unter Spannung zusammengebunden. Äußere Bedeckung aus gespaltenem Bambus, korbartig geflochten.	Extrem standfeste Konstruktion, keine Absackung durch das Gewicht mehrerer Männer auf dem Dach.

Dachgrundriß: quadratisch

Behausungen der Bamileke, Kamerun	Wände, quadratisch angeordnet, aus Palmzweigen oder Bambus mit Lehm- ausfachung. Plattform als Dachbasis auf dem Boden vorgefertigt. Konisches Raumfachwerk als Dachstuhl; Stroheckung.	Ungewöhnliche Hausform. Wichtige Häuser zusätzlich entlang der Dachkante mit Stützen umringt, um Veranda zu bilden.
---	--	---

Trulli, Murgia, Italien	Rechteckige Häuser mit quadratischen Zimmern, jedes mit einem konischen Dach. Gesamte Konstruktion (Wände u. Dach) aus flachen Steinen ohne Mörtel verlegt. Abschlußstein an der Dachspitze mit Kalkschlämme bestrichen, sonst keine Außenbeschichtung.	Trulli im Sommer angenehm kühl, im Winter kalt und feucht. Regenwassersammlung vom Dach.
----------------------------	---	--

Dachgrundriß: freie Form

Felsenbehauungen, Göremetal in Anatolien, Türkei	Durch Wind- und Wasser- erosion natürlich geformte konische Felsen. Behausungen aus weichem Stein herausgeschnitten, d.h. Konstruktion "durch Subtraktion".	Göreme-Kegel meist mehrgeschossig, bis zu 16 Geschossen. Zugang oft nur mittels Strickleiter.
--	--	---

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
Dwellings of the Sidamo, Ethiopia	Framework of flexible poles embedded in ground and tied at top under tension. Outer cover of split bamboo woven like basket.	Extremely stable construction, no sagging under weight of several men standing on roof.

Roof Base: square

Dwellings of the Bamileke, Cameroon	Walls, square in plan, built of palm fronds or bamboo infilled with mud. Platform of roof prefabricated on ground. Conical thatched roof supported by space-frame.	Unusual house form. Important houses are ringed by pillars below roof edge to form a verandah.
---	--	--

Trulli, Murgia, Italy	Rectangular houses with square rooms, each capped by conical roof. Entire construction (walls and roof) made of flat stones laid without mortar. Cap stone of roof lime plastered, otherwise no outer coating.	In summer trulli are comfortably cool, in winter cold and damp. Rainwater is collected from roofs.
--------------------------	--	--

Roof Base: free form

Rock dwellings, Anatolian valley of Göreme, Turkey	Naturally formed conical rocks, eroded by wind and water. Dwellings were cut out of soft stone, i.e. construction "by subtraction".	Göreme cones mostly multi-storeyed, up to 16 floors. Access is often by rope ladder.
---	---	--

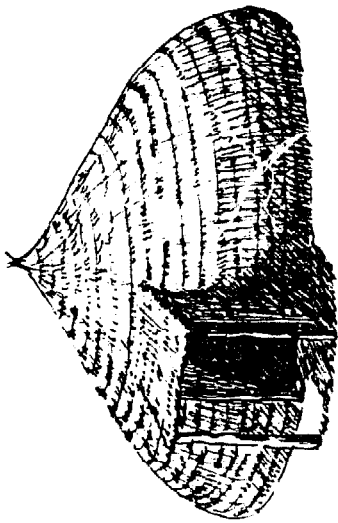


Abb. 4.17 Sidamo-Haus (Äthiopien)  
Fig. 4.17 Sidamo dwelling (Ethiopia)

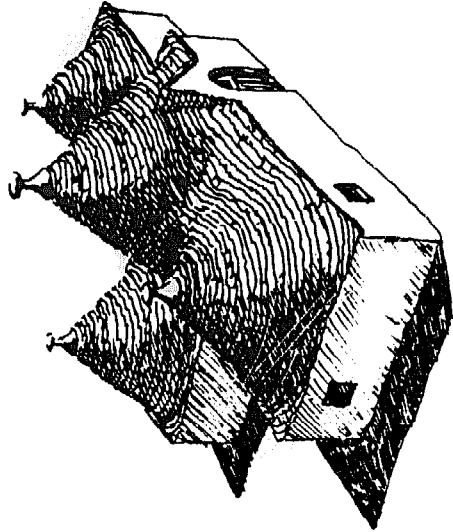


Abb. 4.19 Trulli (Italien)  
Fig. 4.19 Trulli (Italy)

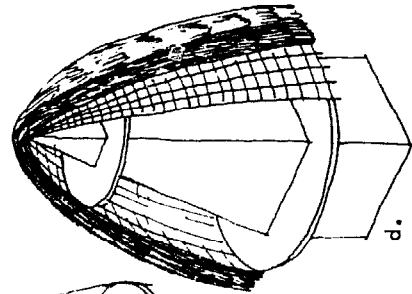
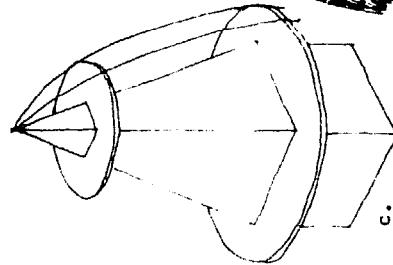
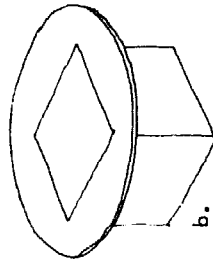
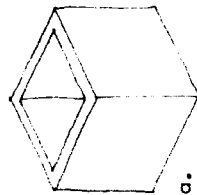


Abb. 4.18 (a, b, c, d)

Baumethode des Bamileke-Hauses (Kamerun)

Fig. 4.18 (a, b, c, d)

Method of building Bamileke house (Cameroon)



Abb. 4.20 Felsenbehausung (Göreme, Türkei)  
Fig. 4.20 Rock dwellings (Göreme, Turkey)

Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
<b>HALBKUGELFÖRMIGE DÄCHER</b>		
Dachgrundriß: rund		
Yurt (Ger) Nomadische Stämme in Zentralasien (von der Türkei bis zur Mongolei)	Transportable Häuser mit Wänden aus faltbarem, leichtem Weidenholzgit- terwerk, befestigt an Pfosten, die fest im Bo- den stehen. Dachrahmen aus Radialstäben mit höl- zernem Druckring, der als Rauchzug fungiert. Außenhülle aus mehrla- gigen Tierfellen, durch Seile befestigt.	Yurtform kann von Stamm zu Stamm variieren. Bietet sehr gu- ten Schutz gegen rauhes Klima, besonders gegen starke Winde, aufgrund der Windschüppigkeit. Rauchzug kann mit Fellstück durch Ziehen eines Stricks ge- schlossen werden.
Hogan Navajo-Indianer Südwest-Vereinigte Staaten	Einfamilienbehausung, in flachen Gruben gebaut, mit gabelförmigen Pfo- sten (meistens krumme), die Balken- und Latten- konstruktion tragen. Kug- elförmige Außenverklei- dung durch Astgeflecht und dicken Lehmauftrag.	Innenraumklima ausgesprochen gut aufgrund hoher Wärmekapa- zität der Gebäudehülle. Keine Fenster vorhanden, lediglich Rauchzug im Dach und Tür in Ostrichtung.
Behausungen der Zulu, Swazi, Bantu Südafrika	Perfekte halbkugelförmi- ge Bauwerke mit Grund- gerüst aus gebogenen Schößlingen, mit Matten und Gras bedeckt und über gesamte Außenflä- che netzartig mit Seilen zusammengebunden.	Hervorragende Wärmeisolierungs- eigenschaften der Konstruktion für Temperaturschwankungen zwischen 35°C und -4°C.

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
<b>HEMISPHERICAL ROOFS</b>		
Roof Base: circular		
Yurt (Ger) Nomadic tribes in Central Asia (from Turkey to Mongolia)	Portable dwellings with walls of foldable lightweight willow latticework, lashed to poles firmly fixed in ground. Roof frame formed by radial poles fitted into wooden compression ring, which also serves as smoke hole. Outer cover made of several layers of felt held by ropes.	Design of yurt may vary from tribe to tribe. Displays high degree of protection against inclemency of weather, parti- cularly strong winds, due to streamlined shape. Smoke hole may be closed by piece of felt drawn across by string.
Hogan Navajo Indians, Southwest United States	Single family dwellings, erected in shallow pit with forked posts (usually crooked) supporting beam and pole structure, cover- ed by branches and thick soil layer, forming dome shape.	Indoor climate extremely good due to high heat capacity of building fabric. No windows are provided, only smoke hole in the roof and door facing the east.
Dwellings of the Zulu, Swazi, Bantu, South Africa	Perfect dome shaped structures made by basic framework of hoops, covered with mats, grass thatch and bound by net- work of rope.	Construction provides excellent insulation against temperature variations between 35°C and -4°C.

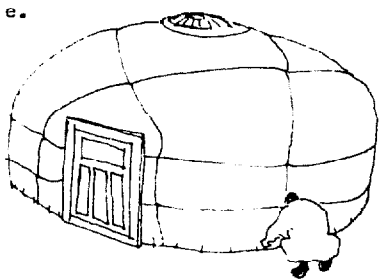
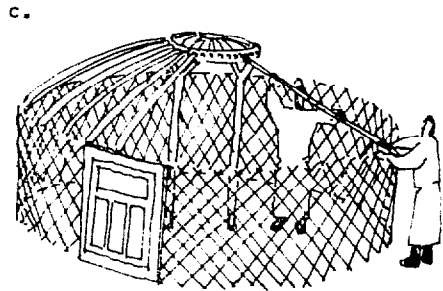
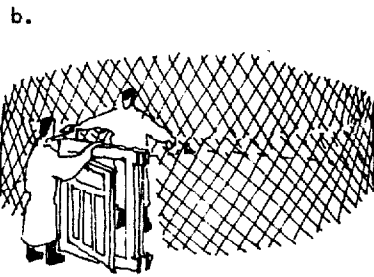
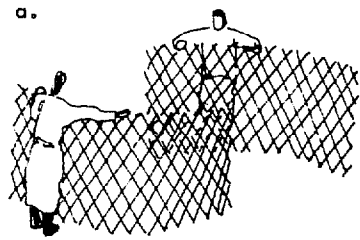


Abb. 4.21 (a, b, c, d, e)  
Aufstellungsmethode eines mongolischen Yurts

Fig. 4.21 (a, b, c, d, e)  
Method of erecting Mongolian yurt

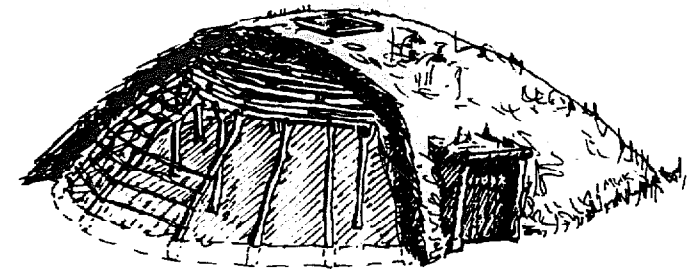
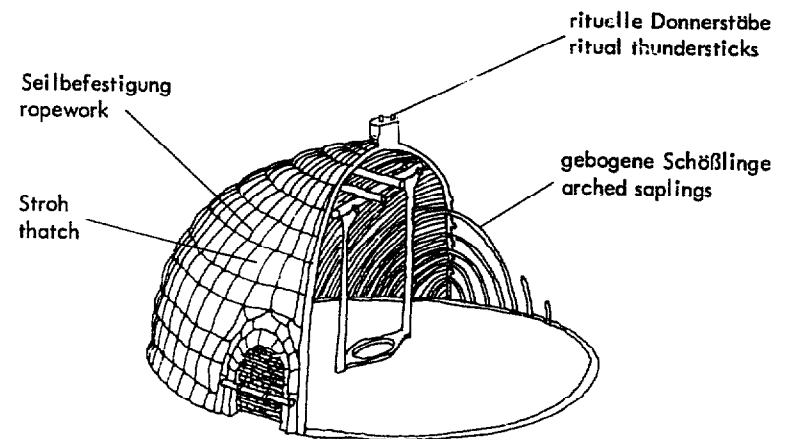


Abb. 4.22 Schnittbild eines Navaho hogan  
(Südwest-USA)

Fig. 4.22 Cutaway diagram of Navaho hogan  
(Southwest United States)

Abb. 4.23 Zulu-Behausung  
Fig. 4.23 Zulu dwelling



Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
Gemeinschaftshäuser, West-Samoa	Gebäude hauptsächlich bestehend aus kreisförmig angeordneten Holzstützen, die Dach aus geflochtenem Bambus mit Palm- oder Grasdeckung tragen.	Klimatisch geeignete Bauweise, jedoch nur zum Schlafen und Lagern verwendet. Gerollte Matten können entlang des Dachrandes heruntergelassen werden: zur Beschattung, ohne Beeinträchtigung der Querlüftung.

Dachgrundriß: quadratisch oder rechteckig

Zelt, Tuareg, Sahara-Wüste	Transportable Behausungen aus mehreren schmalen Akazienstangen und -latten (oder Palmenästen) zu kuppelförmiger Rahmenkonstruktion zusammengebunden. Außenhülle aus fest angeordneten Grasmatten oder Häuten.	Mögliche Regenwasserdurchdringung der Matten; undurchlässige Hautverkleidungen im Sommer höchst unangenehm. Wegen starker Abkühlung während der Nacht Öffnung nach Osten gerichtet, um wärmende Sonnenstrahlen morgens einzufangen.
----------------------------------	---	---

Kuppelbauten des Mittleren Ostens	Wände aus Bruchstein; Gewölbe und Bögen aus Lehmziegeln; glatte Oberfläche aus Lehmputz.	Hohe Festigkeit durch Doppelkrümmung, aber echte Kuppeln haben ungenügende Resistenz bei schweren Erdbeben.
--------------------------------------	--	---

#### TONNENFÖRMIGE DÄCHER

Dachgrundriß: quadratisch oder rechteckig

Ghorfas und andere traditionelle Häuser in Nordafrika	Bauten aus einem oder mehreren Geschossen gewölbter Zellen, gebaut aus Stein oder Lehmziegeln ohne Schalung.	Geniale Methode der Verlegung dreidimensionaler Ziegelschichten, so daß jeder Ziegel von den darunterliegenden getragen wird. Stabile, klimatisch angepasste Bauweise, jedoch nicht erdbebenresistent.
--	--	--

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
Communal dwelling Western Samoa	House basically consists of circle of timber columns supporting roof framework of woven bamboo and palm or grass thatch.	Climatically appropriate design, but merely used for sleeping and storage. Rolled up mats may be unfurled from roofs to provide shade and utilize breezes.

Roof Base: square or rectangular

Tent, Tuareg, Sahara Desert	Portable dwelling consisting of several slim poles and laths from acacia or palm fronds laced to form dome shaped framework. Grass mats or skin tied down firmly, form the outer cover.	During rains mat covers tend to leak, in hot season impermeable skin covers are most unpleasant. Since temperatures drop sharply at night, open fronts face the east to catch warming rays of morning sun.
-----------------------------------	---	--

Domed houses of the Middle East	Walls made of stone rubble; vaults and arches of mud brick; smooth surface of mud plaster.	Good strength due to double curvature, but true domes have insufficient resistance in heavy earthquakes.
---------------------------------------	--	--

#### BARREL VAULTS

Roof Base: square or rectangular

Ghorfas and other traditional houses in North Africa	Structures consisting of one or several storeys of vaulted cells, built of stone or mud brick without shuttering.	Ingenious method of laying three-dimensional courses, such that each brick rests on the ones below. Stable and climatically appropriate structure, but not earthquake resistant.
---	---	--

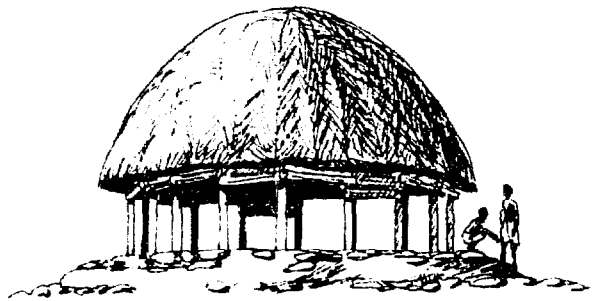


Abb. 4.24 Samoa-Haus  
Fig. 4.24 Samoan dwelling

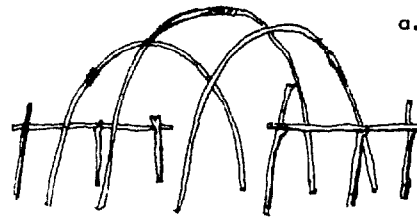


Abb. 4.25 (a, b, c)  
Aufstellung eines Tuareg-Zelts (Sahara)

Fig. 4.25 (a, b, c)  
Erection of Tuareg tent (Sahara)

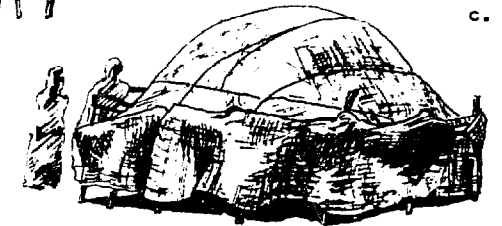
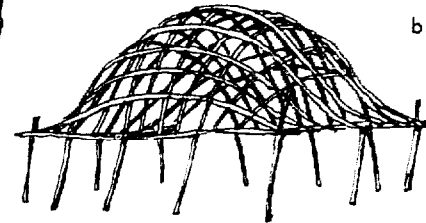
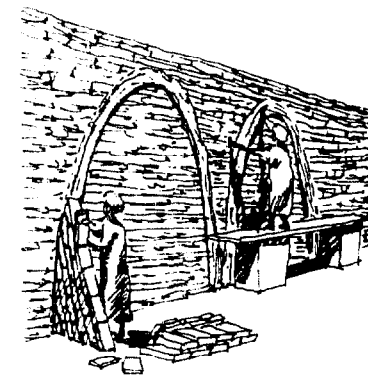
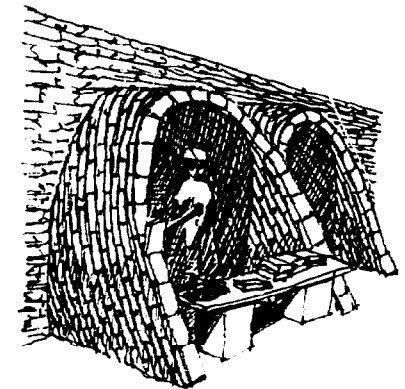


Abb. 4.26 Kuppel-Haus (Mittlerer Osten)  
Fig. 4.26 Domed house (Middle East)



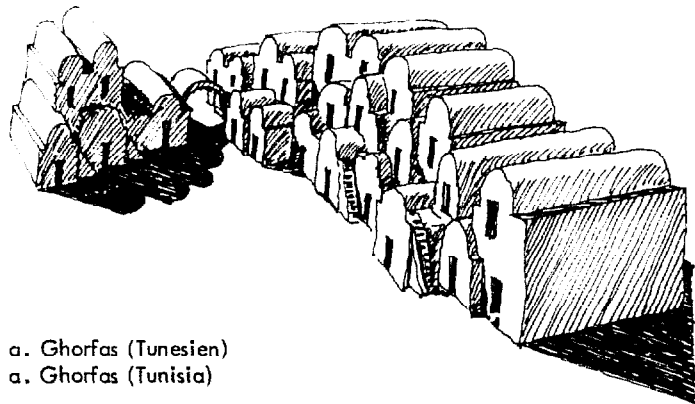
b. Traditionelle Gewölbebaumethode (Ägypten). Der Bogen wird mit Mörtel markiert; .....

b. Traditional vault construction method (Egypt). The arch is marked with mortar; .....



c. .... jeder Ziegel ruht auf den darunterliegenden, keine provisorische Abstützung nötig.

c. .... each brick rests on the course below, no temporary supports required.



a. Ghorfas (Tunesien)  
a. Ghorfas (Tunisia)

Abb. 4.27 (a, b, c) Gewölbebauten  
(Nordafrika)

Fig. 4.27 (a, b, c) Vaulted structures  
(North Africa)

Haustyp Volksstamm/Kultur Land/Region	Materialien und Konstruktionen	Bemerkungen
Mudhifs der Madan (Sumpf- Araber), Süd-Irak	Gebündeltes Riesenschilf, in den Boden gesteckt und zu Bögen zusammengebunden; Außenverkleidung mit Matten aus gespaltenem Schilf.	6000 Jahre alte Bautechnik mit nur einem einzigen Material. Länge (etwa 6 m) und Flexibilität sind wichtigste Eigenschaften des Materials.

#### FREIE DACHFORMEN

Dachgrundriß: rechteckig

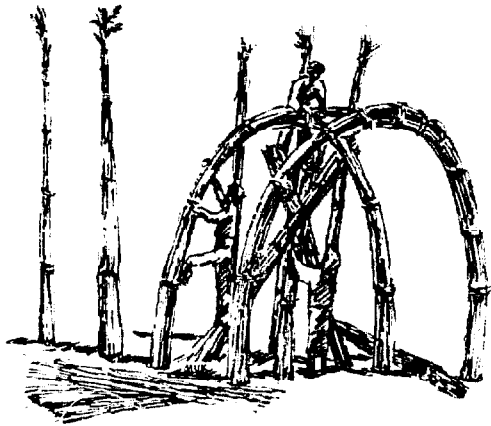
Araber-Zelte, Beduinen, Berber, Tekna in der Arabischen Wüste und West-Sahara	Transportable Einfamilien-Unterkünfte mit Tragkonstruktion aus Vertikalstäben, manchmal gabelförmig, mit Firstpfetten oder geschnitzten Firststücken (gerundete Kappen als Stützabschluß). Darüber Dachhaut aus gewebtem Kamel- oder Ziegenhaar, mittels Seilen gespannt und im Boden durch Pflöcke oder Steine verankert.	Zeltgrößen je nach Tragkapazität des Familienkamels. Innere Vorhänge zur Aufteilung verschiedener Wohnbereiche, äußere Vorhänge verschiebbar, um Brisen einzufangen oder als Schutz vor Sandstürmen. Vollständige Schließung des Zelts möglich.
---	--	---

House Type, Tribe/Culture Country/Region	Materials and Constructions	Comments
Mudhifs of the Madan (Marsh Arabs) Southern Iraq	Bundled giant reeds, stuck in the ground and bent to form arches; roof covering of split reed mats.	6000 year old building technique, involving a single material. The length (about 6 meters) and flexibility are the main advantages of the material.

#### FREE FORMS

Roof Base: rectangular

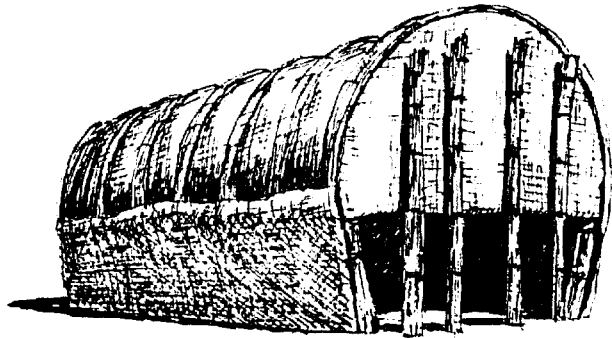
Arab tents, Bedouin, Berber Tekna of the Arabian and Western Sahara deserts	Portable single family dwellings with supporting structure of vertical poles, sometimes forked, and ridgepoles or carved ridge pieces. The cover, woven from camel or goats' hair, is stretched over and held by long ropes, anchored with pegs or rocks.	Tent sizes are limited to the carrying capacity of the family camel. Interior curtains divide living spaces, exterior curtains may be moved from one side to the other for breeze or protection from sand storms. Complete closure of tent is also possible.
---	---	--



a.

Abb. 4.28 (a, b) Schilfbauweise (Süd-Irak). Schilfstativ wird bei der Verbindung von Schilfbündeln als Gerüst benutzt.

Fig. 4.28 (a, b) Building of reed structure (Southern Iraq). A reed tripod serves as scaffolding for binding reed bundles together.



b.



a. Tekna-Zelt (Marokko)  
a. Tekna tent (Morocco)

b. Beduinen-Zelt (Arabische Wüste)  
b. Beduin tent (Arabian desert)

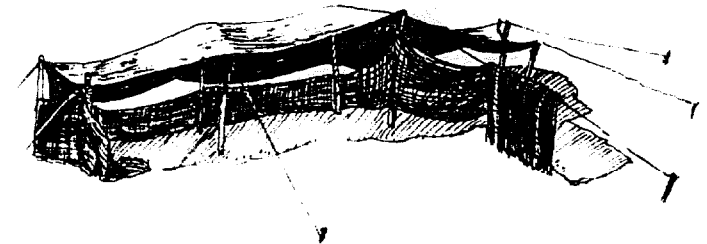


Abb. 4.29 (a, b) Arabische Zelte (Sahara und Arabische Wüste)

Fig. 4.29 (a, b) Arab tents (Sahara and Arabian deserts)



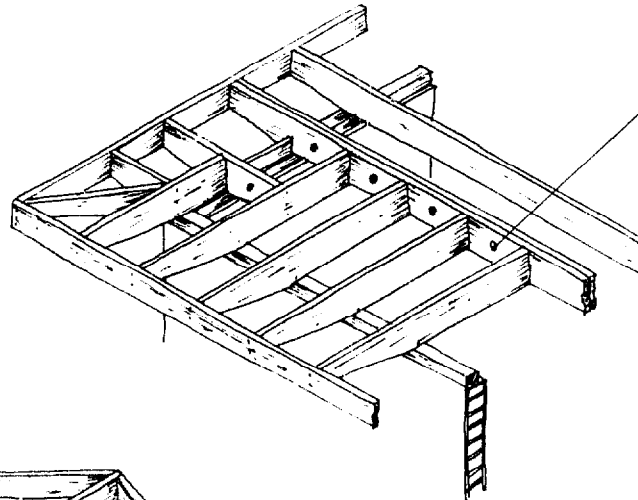
#### 4.1.2 Gegenwärtige Standarddächer

Es gibt genügend Literatur über Methoden und Details für Dachkonstruktionen. Dieser Abschnitt soll keine Wiederholung solcher Publikationen sein, sondern zeigt einige Standardkonstruktionen aus dem heutigen Wohnungsbau.

#### Holzkonstruktionen/Timber Constructions

Abb. 4.30 Typische Konstruktion für Flachdächer  
Fig. 4.30 Typical framework for flat roofs

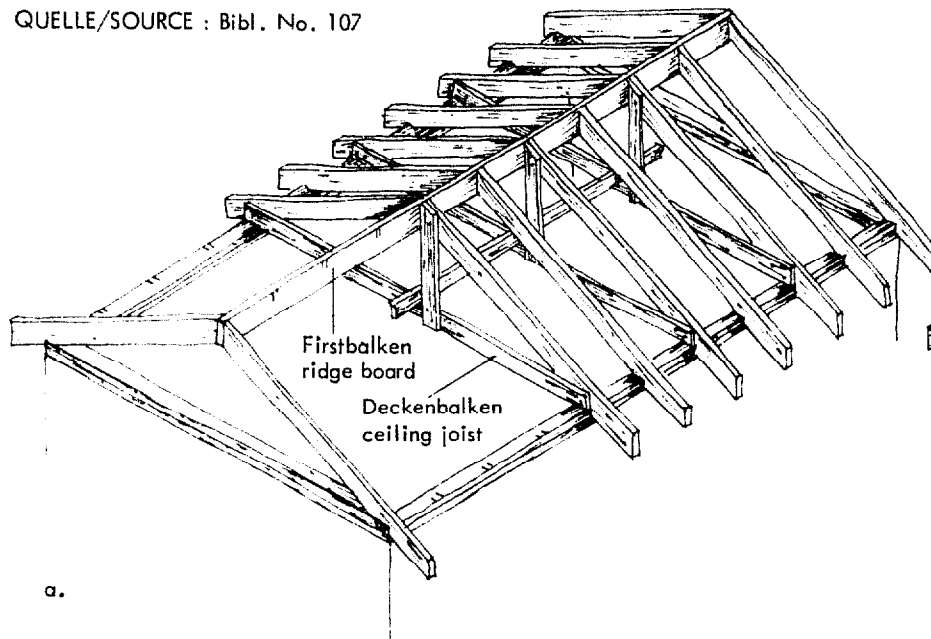
QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 129



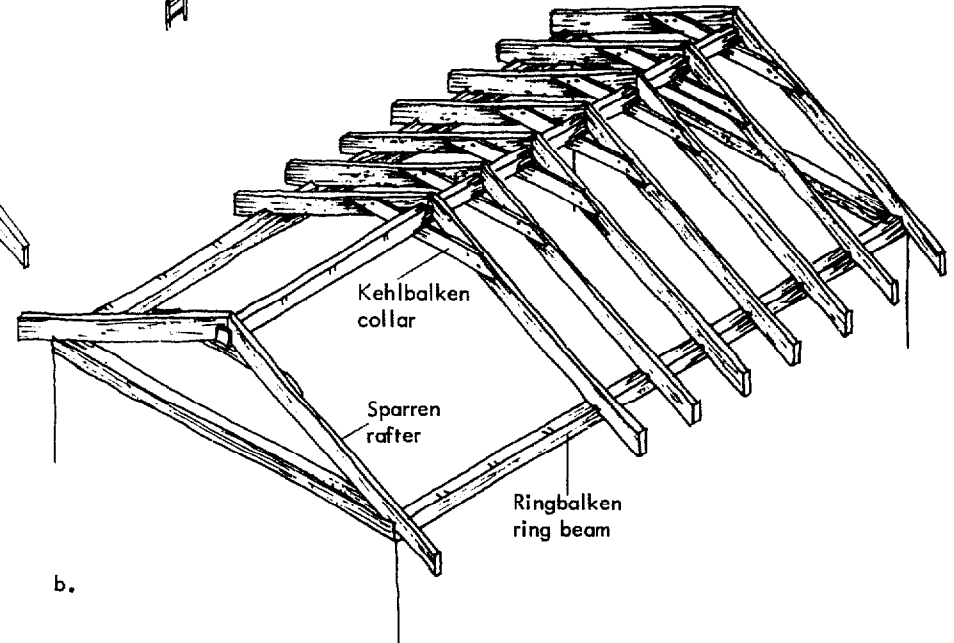
mittig gebohrte Lüftungslöcher,  
wenn Dachisolierung benutzt wird  
centrally drilled ventilation holes,  
when ceiling insulation used

Abb. 4.31 (a, b) Typischer Dachstuhl für Giebeldach  
Fig. 4.31 (a, b) Typical framework for gabled roof

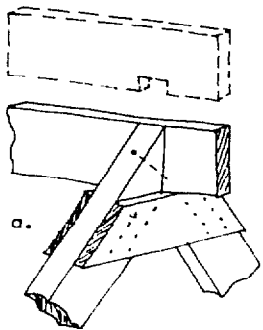
QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 107



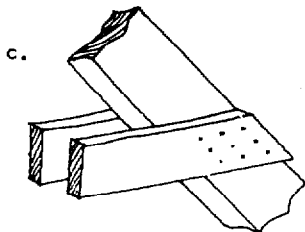
a.



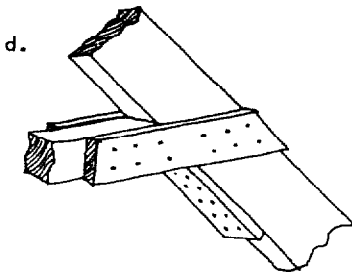
b.



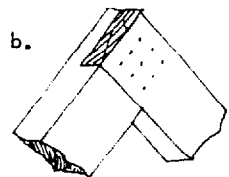
a.



c.



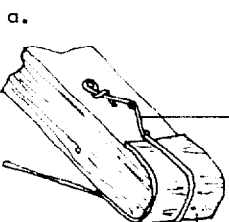
d.



b.

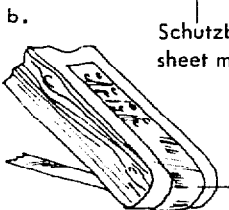
Abb. 4.32 (a, b, c, d) Holzdachverbindungen  
Fig. 4.32 (a, b, c, d) Connections of timber roof members

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 11



a.

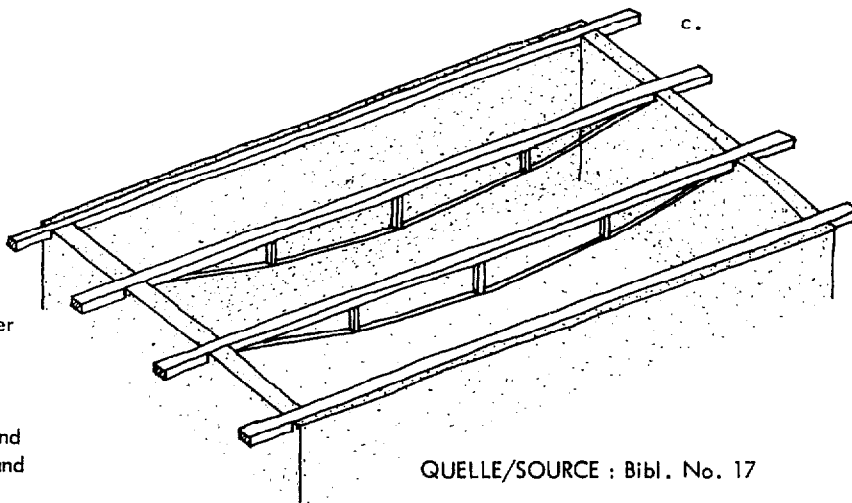
Draht wire



b.

Schutzblech sheet metal cover

Stahlband steel band



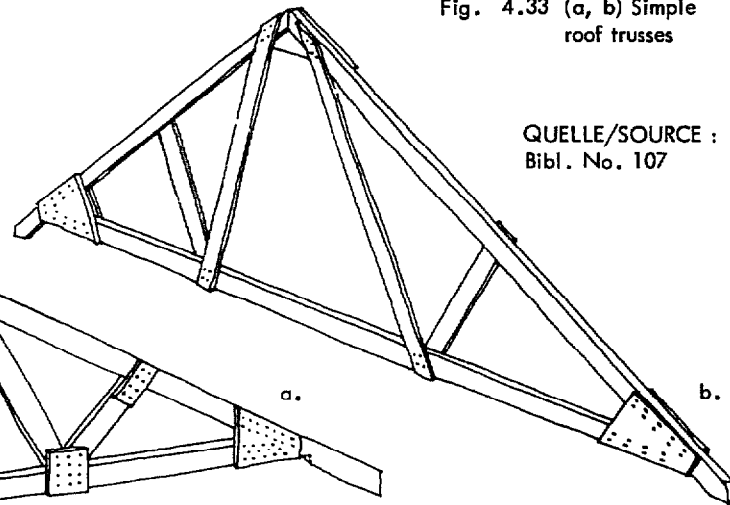
c.

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 17

Abb. 4.33 (a, b) Einfache Dachbinder

Fig. 4.33 (a, b) Simple roof trusses

QUELLE/SOURCE :  
Bibl. No. 107

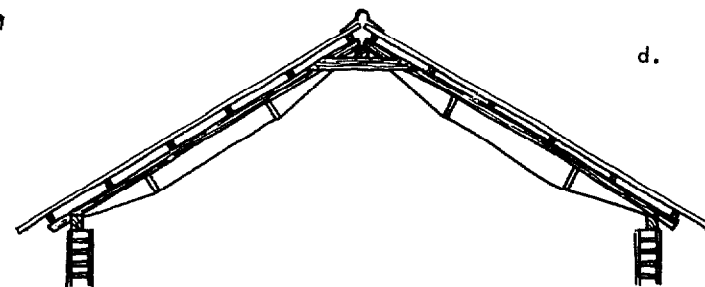


a.

b.

Abb. 4.34 (a, b, c, d)  
Ausgesteifte Dachelemente

Fig. 4.34 (a, b, c, d)  
Stiffened roof members



d.

Abb. 4.35 (a, b, c, d, e)  
Befestigung von Pfetten

Fig. 4.35 (a, b, c, d, e)  
Fastening of purlins

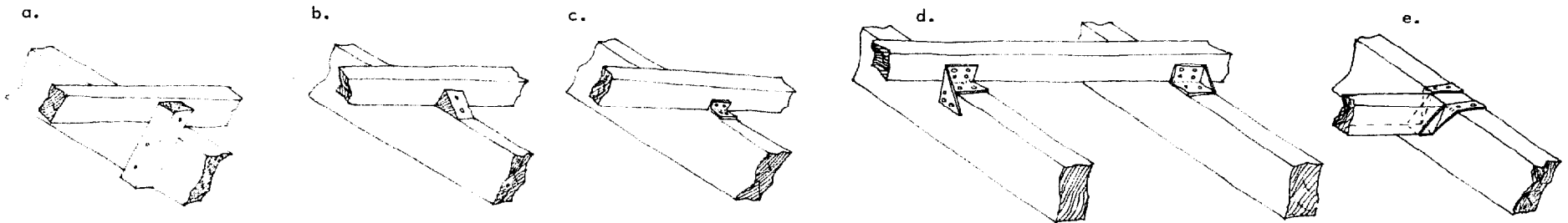
QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 14

a. Übliches Detail, aber nicht geeignet:  
Der Sparren zieht sich in der Breite zusammen, aber  
der Hafter schrumpft nicht in der Länge; deshalb hängt  
letztlich die Pfette am Hafter, welcher durch die Be-  
wegungen seiner eigenen Befestigungen spalten kann.

b.-e. sind bessere Befestigungen

a. Common detail, but inappropriate:  
rafter shrinks in width but cleat does not shrink in  
length, therefore purlin ultimately hangs on cleat,  
which may split with fastenings moving together as  
rafter shrinks.

b.-e. are better fastenings



Dachziegel/ Roof tiles

Abb. 4.36 Biberschwanzdeckung  
Fig. 4.36 Flat tiles

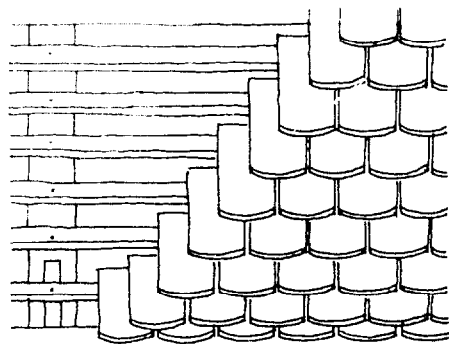


Abb. 4.37 Mönch- und Nonnen-Deckung  
Fig. 4.37 Spanish tiles

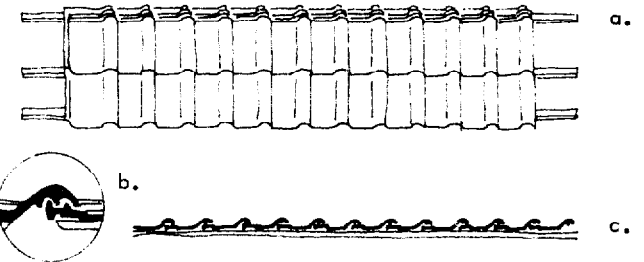
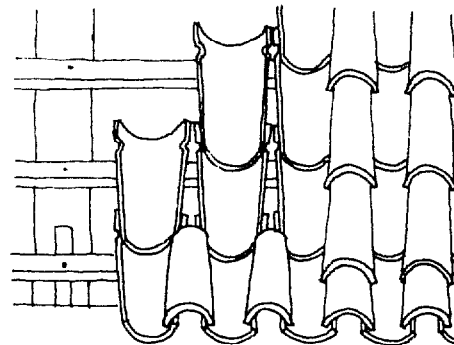
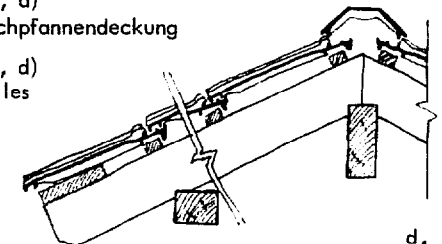


Abb. 4.38 (a, b, c, d)  
Flachdachpfannendeckung

Fig. 4.38 (a, b, c, d)  
Roman tiles



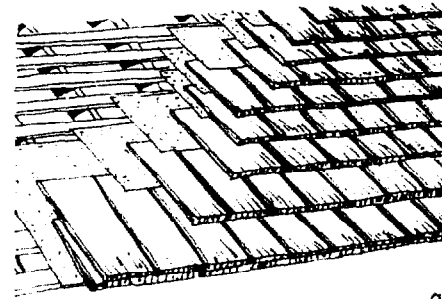
QUELLE/SOURCE :  
Bibl. No. 11

Schindeideckung/Shingle Decking

Abb. 4.39 (a, b) Holzschindel-Details  
Fig. 4.39 (a, b) wood shingle details

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 129

- a. Filzlagen zwischen Schindeln, um sie "atmen" zu lassen. Anordnung der Schindeln in Abständen von mindestens 5 mm, um Ausdehnung zu ermöglichen.
- a. Felt liners installed between courses to let them "breathe". Gaps of at least 5 mm are required between shingles to facilitate expansion.



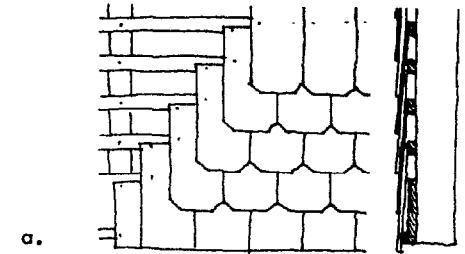
a.

- b. Firstabschluß — Wechselüberdeckung
- b. Finishing ridge — note alternate overlaps

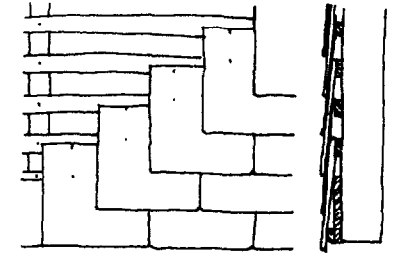


b.

Abb. 4.40 (a, b) Asbestzementschindeln  
Fig. 4.40 (a, b) Asbestos cement shingles



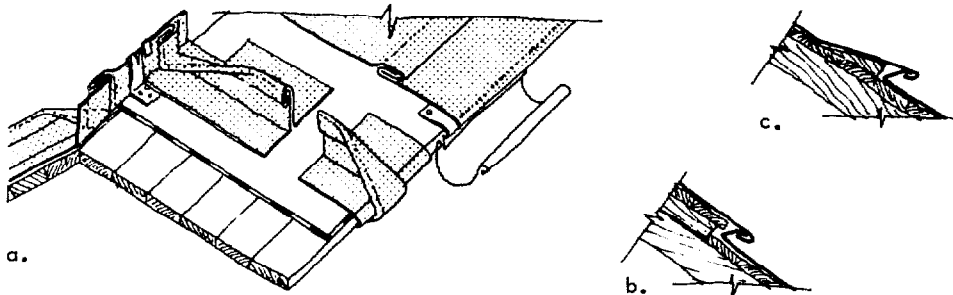
a.



b.

Metalldachdeckung/Sheet Metal Roofing

Abb. 4.41 (a, b, c, d, e) Anschlußdetails für Falzdeckung  
Fig. 4.41 (a, b, c, d, e) Details of sheet metal connections and seams



a.

c.

b.

Windrichtung  
direction of wind  
→



d.

Arbeitsgänge  
Folding sequences



e.

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 72

Eine Bedachungsart, die in Entwicklungsländern seltener angewendet wird, da sie teurer ist als die meisten anderen Dachdeckungen und zur Befestigung besondere Fachkenntnisse erfordert. Vorteilhaft bei ungewöhnlichen Dachformen (die jedoch beim Niedrigkosten-Wohnungsbau selten sind).

A type of roofing less frequently used in developing countries, as they are more expensive than most roof constructions, and require skilled labour for installation. Advantageous for unusual roof shapes (which, however, are less common in low-cost housing).

Wellplatten/Corrugated Sheets

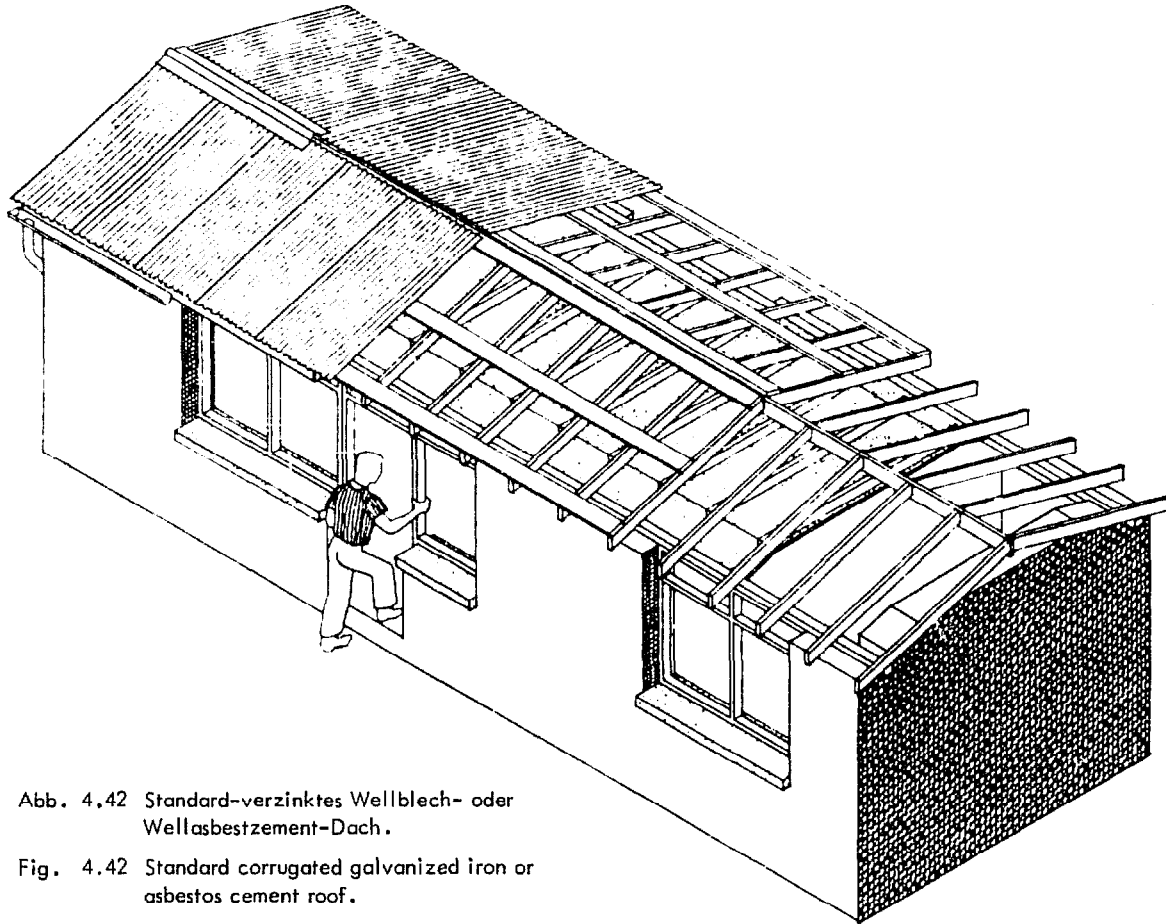


Abb. 4.42 Standard-verzinktes Wellblech- oder Wellasbestzement-Dach.

Fig. 4.42 Standard corrugated galvanized iron or asbestos cement roof.

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 118

Schutz gegen tierische Schädlinge unter Beibehaltung der Belüftungsmöglichkeit für den Dachraum.

Protection against pests, but allowing ventilation of roof space.

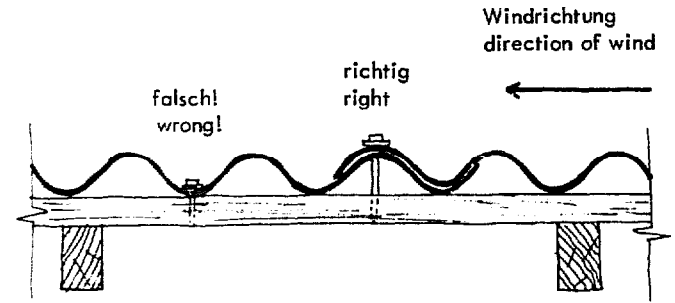
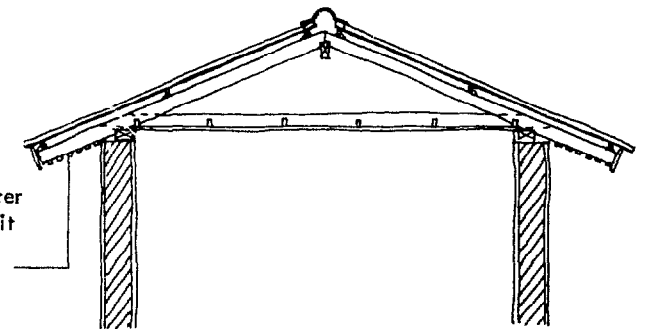


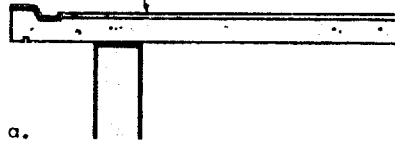
Abb. 4.43 Befestigung der Wellplatten an der Unterkonstruktion  
Fig. 4.43 Fixing corrugated sheets to substructure

Abb. 4.44 Typischer Dachquerschnitt  
Fig. 4.44 Typical roof section



Beton- und Ziegeldächer/Concrete and Brick Roofs

Bitumenschicht, mit Gefälle verleert  
asphalt laid to fall

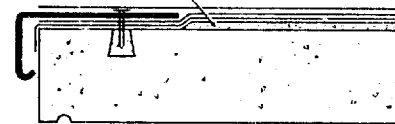


a.

Abb. 4.45 (a, b, c) Typische Betondachdetails  
Fig. 4.45 (a, b, c) Typical concrete roof details

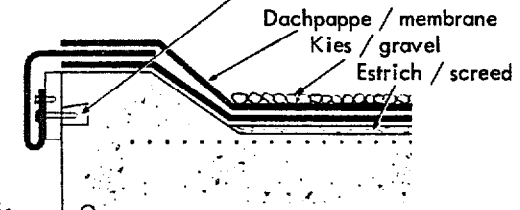
QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 57 + 109

Estrich / screed



b.

Holzdübel zur Befestigung der Metall-  
abdeckung  
Wooden plugs for nailing on drip edge



c.

Abb. 4.46 Stahlbetonbalken mit Füllkörpern  
aus Leichtbeton oder gebranntem Ton.

Fig. 4.46 Slab and beam construction using  
hollow concrete or burnt clay blocks.

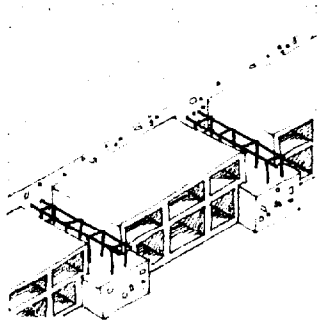
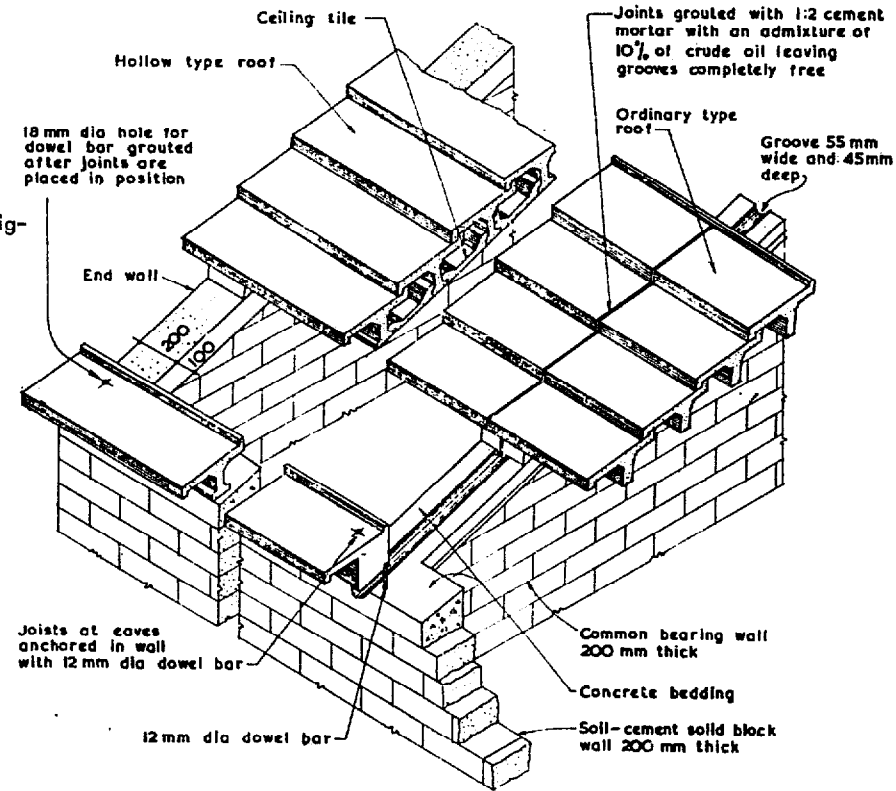


Abb. 4.48 Geneigtes Dach mit vorgefertigten  
Stahlbeton-T-Trägern.

Fig. 4.48 Sloping roof with precast  
reinforced concrete T-joists.

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 15



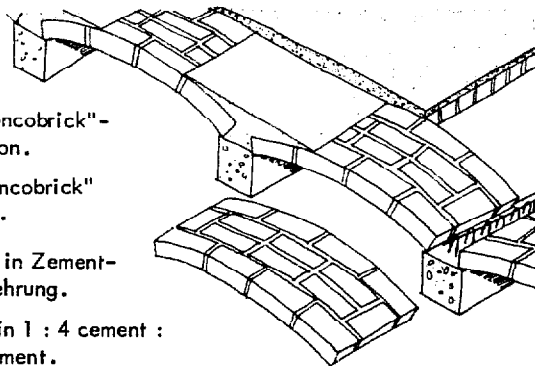
QUELLE/SOURCE :  
Bibl. No. 71

Abb. 4.47 Vorgefertigte "Concbrick"-  
Schalenkonstruktion.

Fig. 4.47 Prefabricated "concbrick"  
shell construction.

Gewölbte Platten aus Ziegeln in Zement-  
Sand-Mörtel (1 : 4) ohne Bewehrung.

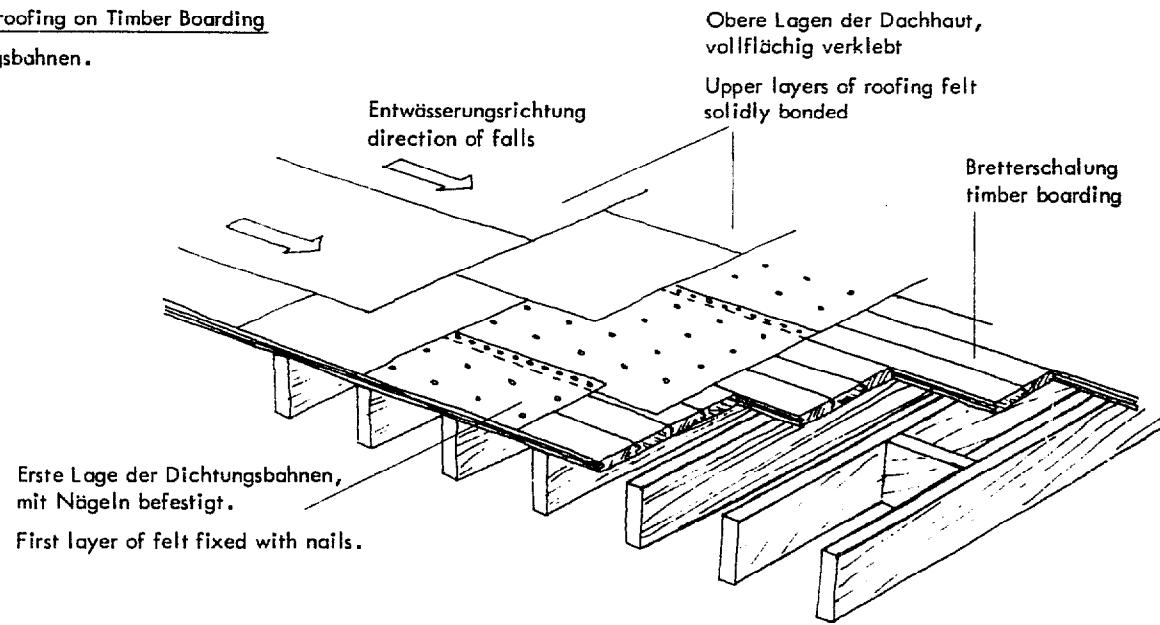
Arched panels made of bricks in 1 : 4 cement :  
sand mortar, without reinforcement.



Dachabdichtung auf Bretterschalung/Waterproofing on Timber Boarding

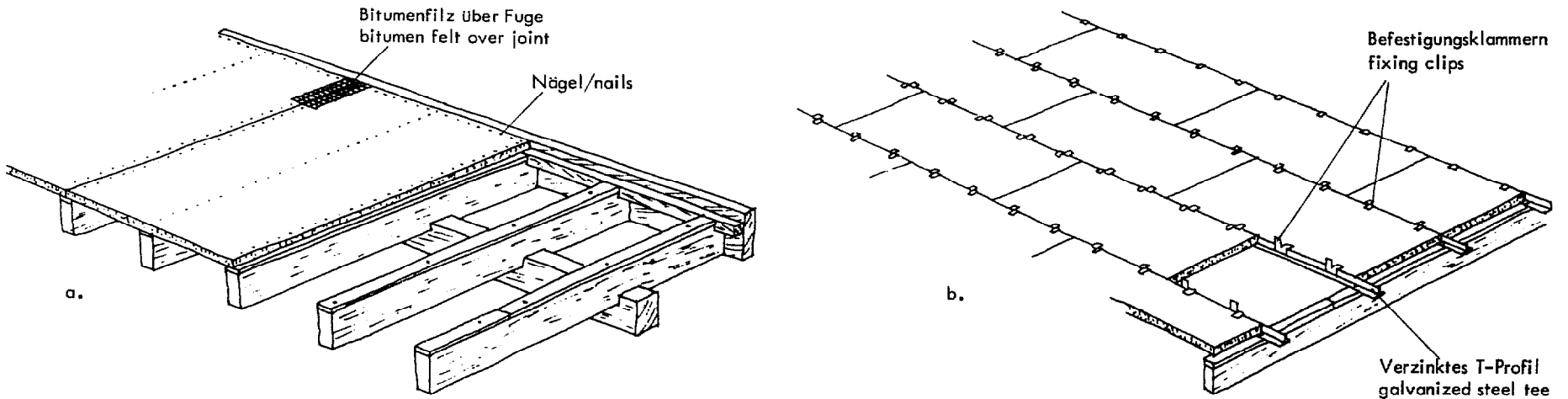
Abb. 4.49 Befestigungsdetails der Dichtungsbahnen.  
Fig. 4.49 Details of fixing roofing felt.

QUELLE/SOURCE : Bibl. No. 109



Leichtbauplatten/Lightweight Building Boards

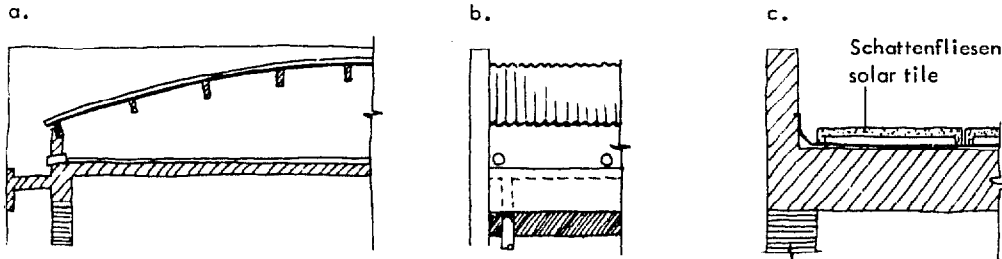
Abb. 4.50 (a, b) Methoden der Plattenbefestigung  
Fig. 4.50 (a, b) Methods of fixing panels



Dachbeschattung/Roof Shading

Abb. 4.51 (a, b, c, d)

- a, b. Beschattung des Betondaches mittels gebogener Wellplatte (Schnitt und Seitenansicht)
- c. Sonnenschutz mit Beton-Schattenfliesen
- d. Sonnenschutz mit Beton-Schattenplatten



QUELLE/SOURCE :  
Bibl. No. 41 + 109

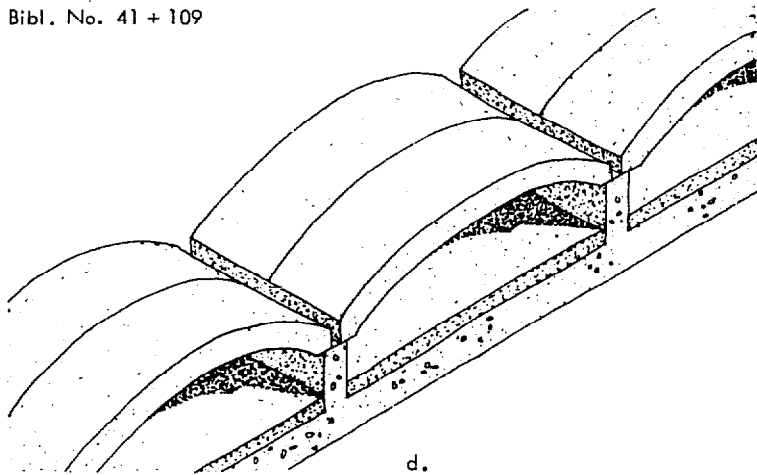


Fig. 4.51 (a, b, c, d)

- a, b. Shading of concrete roof by means of curved corrugated sheets (section and side view)
- c. Shading with concrete solar tiles
- d. shading with concrete solar slabs

Abgehängte Decken/Suspended Ceilings

Abb. 4.52 Deckenplatten, auf Holzlatten genagelt.

QUELLE/SOURCE :  
Bibl. No. 109

Fig. 4.52 Ceiling boards nailed onto timber lathing.

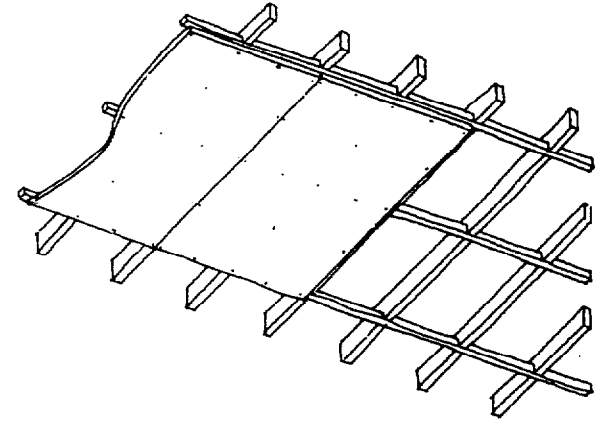
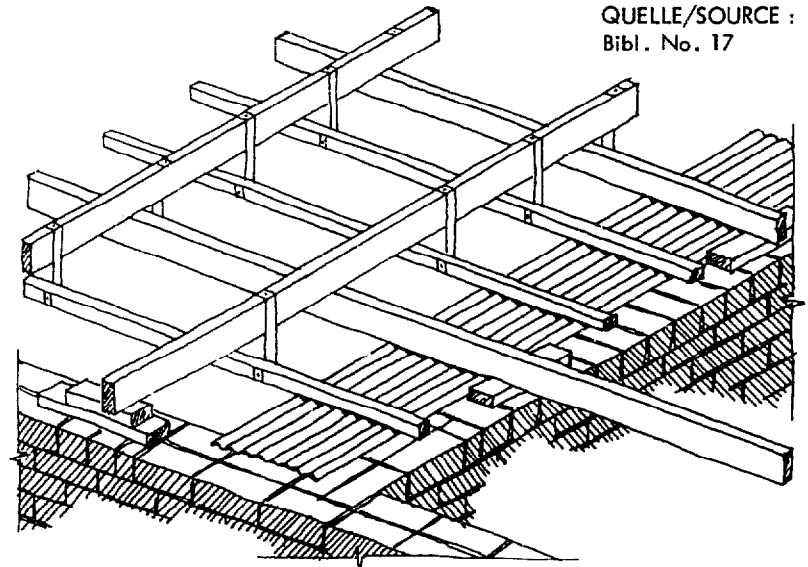


Abb. 4.53 Abgehängte Wellblechdecke  
Fig. 4.53 Corrugated iron ceiling

QUELLE/SOURCE :  
Bibl. No. 17





## 4.2 Neuentwicklungen

### 4.2.1 A.I.D.-Monsanto Forschungsprojekt für Low-Cost-Dächer

Das von der United States Agency for International Development, Washington D.C., unterstützte Forschungsprojekt wurde von der Monsanto Research Corporation, Dayton/Ohio, University of Washington, Seattle/Washington und Washington University, St. Louis/Missouri, von Mai 1973 bis Dezember 1977 durchgeführt.

Das Ziel war, Low-Cost Dachdeckungsmöglichkeiten aus einheimischen Materialien in drei Entwicklungsländern (Philippinen, Ghana und Jamaica) zu entwickeln, Dachprototypen (vier in jedem Land) zu montieren und zu testen und örtliche Fachleute und Firmen in die Forschungsarbeit einzubeziehen. Das Ziel, nur einheimische Materialien zu verwenden und den Devisenanteil zu vermindern, wurde später als weniger wichtig erachtet, als niedrigste Gesamtkosten für Bedachung zu erreichen.

Von etwa 50 erprobten Füllmaterialien wurde Bagasse (Zuckerrohrabfall) im Hinblick auf Produkteigenschaften, Kosten und Verfügbarkeit als das beste befunden. Als Bindemittel wurde aushärtendes Phenol-Formaldehydharz gewählt; gute Alternativen sind Naturkautschuk und ABS-Kunstharz. Vier Verbundplatten-Bedachungssysteme wurden entwickelt unter Verwendung hoher Prozentanteile von Bagasse und 5 bis 30% Bindemittel; die Kosten belaufen sich auf 0,7 bis 1,50 U.S.\$/m<sup>2</sup>. Es wurden wirtschaftliche Verfahren mit örtlich verfügbarem Gerät und Einrichtungen entwickelt. Die Probeplatten waren entweder flach oder gewellt, aber bei den Musterdächern wurden hauptsächlich flache Schindeln verwendet.

Die Gesamtleistung der Mustereinheiten war gut, wenn man von kleineren Unzulänglichkeiten, wie Verwerfung der Schindeln, absieht. Aber alle Testdächer werden noch beobachtet, auch nach Beendigung des Projekts, um Daten über Langzeitverhalten zu erhalten. Weitere Entwicklungsarbeit wurde in den teilnehmenden Ländern empfohlen im Hinblick auf die Durchführung einer Massenfabrikation von äußerst stabilen, preiswerten, dauerhaften Dachplatten.

Quelle: "Development of low-cost roofing from indigenous materials in developing countries" (Contract No. AID/CM-ta-C-73-12)  
Final Report, 20 February 1978  
Monsanto Research Corporation, Dayton Laboratory, Dayton, Ohio 45407

### 4.2.2 Faserverstärkte Dachplatten

Zur leichten und schnellen Dachdeckung ist das beste Material große, dünne Platten, die eine größtmögliche Fläche bedecken bei kleinstmöglichem Volumen (daher leichter Transport). Weitverbreitete Dachplatten wie verzinktes Wellblech und Asbestzement sind für die meisten Eigenheimbauer in Entwicklungsländern zu teuer. Deshalb werden Versuche durchgeführt, Niedrigkosten-Dachplatten zu entwickeln, wo die Kostenverminderung entweder aus billigerem Material oder aus einfacher Herstellungsmethode (für Selbsthilfe geeignet) resultiert.

## 4.2 New Developments

### 4.2.1 A.I.D.-Monsanto Low-Cost Roof Research Project

The research project, sponsored by the United States Agency for International Development, Washington, D.C., was carried out by Monsanto Research Corporation, Dayton/Ohio, University of Washington, Seattle/Washington and Washington University, St. Louis/Missouri, between May 1973 and December 1977.

The aim was to develop low-cost roofing from indigenous materials in three developing nations (Philippines, Ghana and Jamaica), install and test prototype roofs (four in each country) and involve local experts and firms in the experimental work. The object of using only indigenous materials and minimizing the foreign exchange requirement was later regarded as being less important than achieving lowest total cost in roofing.

Of about 50 potential fillers tested, bagasse (sugar cane residue) was found to be best in terms of product properties, cost and availability. Phenol formaldehyde thermosetting resin was the selected binder, good alternatives being natural rubber and ABS thermoplastic resin. Four composite panel roofing material systems were developed which utilize major percentages of bagasse and 5 to 30% of binder, costing between 0.7 and 1.50 \$ (U.S.)/m<sup>2</sup>. Economical processes, using locally available equipment and facilities were developed. The test panels were either flat or corrugated, but the demonstration roofs used mainly flat shingles.

The overall performance of the demonstration units was good, except for minor deficiencies, such as warping. But all test roofs are still being observed, even after termination of the project, in order to obtain long-term performance data. Further developmental work in the participating countries has been recommended, with a view to implementing large scale production of high-strength, low-cost, durable roofing panels.

Source: "Development of low-cost roofing from indigenous materials in developing countries" (Contract No. AID/CM-ta-C-73-12)  
Final Report, 20 February 1978  
Monsanto Research Corporation, Dayton Laboratory, Dayton, Ohio 45407

### 4.2.2 Fibre Reinforced Roof Sheets

For easy and rapid installation of roofs, the most appropriate materials are large, thin sheets, which cover maximum area with minimum volume (hence ease of transport). Widely used sheets, such as corrugated galvanized iron and asbestos cement, are too expensive for most home builders in developing countries. Therefore attempts are being made to develop low-cost roof sheets, by which the cost reduction results either from the use of cheaper materials or from the simplicity of production (suitable for self-help).

Abb. 4.54 - 4.57 A.I.D.-Monsanto-Projekt  
 Fig. 4.54 - 4.57 A.I.D.-Monsanto Project

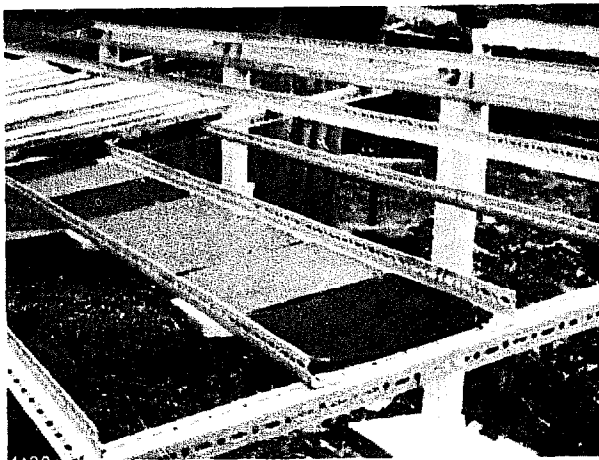


Abb. 4.54 Versuchsplatten in Ghana  
 Fig. 4.54 Test panels in Ghana

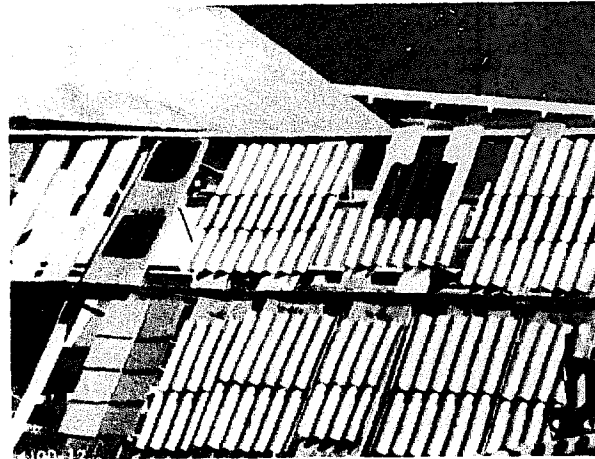


Abb. 4.55 Versuchsplatten auf Jamaica  
 Fig. 4.55 Test panels in Jamaica

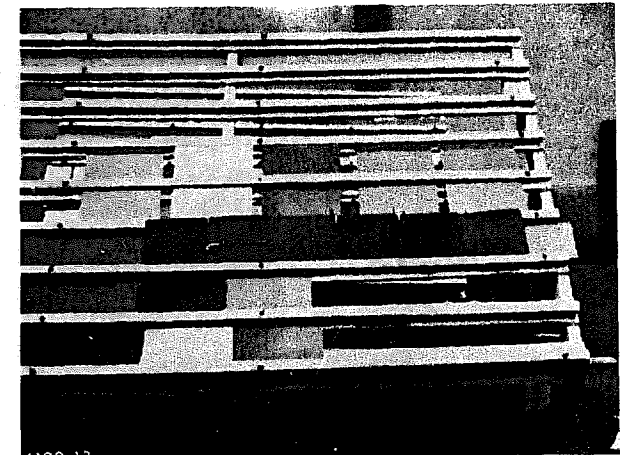


Abb. 4.56 Versuchsplatten auf den Philippinen  
 Fig. 4.56 Test panels in the Philippines

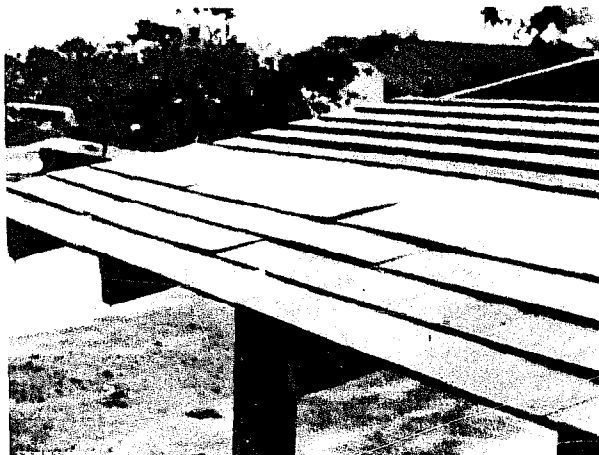


Abb. 4.57 Teilweise montiertes Versuchsdach in Ghana  
 Fig. 4.57 Partially installed test roof in Ghana

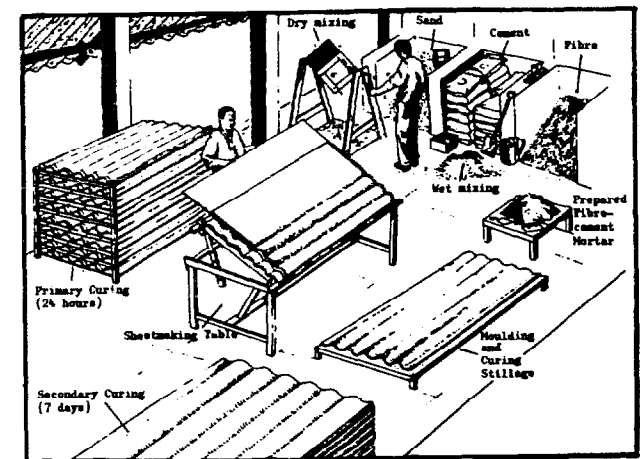


Abb. 4.58 Herstellungsmethode von Well-  
 dachplatten aus faserverstärktem  
 Zement (Intermediate Technology  
 Building Materials/Parry and Ass.  
 Ltd.)

Fig. 4.58 Method of making corrugated roof  
 sheets of fibre reinforced cement  
 (Intermediate Technology Building  
 Materials/Parry and Ass. Ltd.)

Hier werden zwei Entwicklungen beschrieben: eine beruht auf dem Material-Aspekt, die andere auf der Methode. Beides sind Dachplatten aus Fasermaterial mit Zement als Bindemittel.

- a. Elefantengrasfasern als Bewehrung in Dachplatten (untersucht von Professor T.S.R. Ayyar und P.K. Mirihagalla, School of Engineering, University of Zambia, Lusaka).

Elefantengras ist eine große, aufrechte, stämmige Pflanze, ähnlich wie Bambus, ca. 20 mm dick und über 2 m hoch. Die Fasern werden mittels einer Walzenquetsche gewonnen. Sie dienen als vollwertiger Ersatz für Asbest bei flachen Faserzementplatten oder als teilweiser Ersatz für Asbest bei Wellplatten. Elefantengrasfaser kostet ungefähr nur 20% der Kosten für Asbestfaser, aber bei der ersteren sind die Platten brüchiger und geringfügig weniger stabil. Es wird angenommen, daß Verbesserungen bei der Produktion möglich sind, aber die Erreichung von Asbestzement-Qualität scheint beim Niedrigkostenbau nicht erforderlich zu sein.

Verfahrensweise: Zement-Wasser-Verhältnis war 1 : 0,45. Die Streichmasse aus Zement und Fasern wurde in eine Standard-Gußform gegeben und mit einem Gewicht von 400 N mittels eines flachen Brettes zwei Stunden lang gepreßt; danach konnte sie sieben Tage lang aushärten. Sowohl flache als auch gewellte Platten wurden vorbereitet und getestet.

- b. Handgefertigte Welldachplatten (entwickelt vom Intermediate Technology Building Materials Workshop, J.P.M. Parry and Associates Ltd., U.K.)

Die Platten können aus jeder geeigneten natürlichen oder synthetischen Faser hergestellt werden, mit Sand und gewöhnlichem Portland-Zement (1 Sack für 2,5 Platten von 2,5 m Länge). Die Preise für fabrikmäßig hergestellte Dachplatten sollen viel höher sein als die entsprechende Menge Zement, und zusätzliche Kostenminderung wird durch Selbsthilfe-Bauweise erreicht.

Verfahrensweise: Die Fasern müssen im allgemeinen auf die erforderlichen Längen beschnitten und die Knoten entfernt werden. Die Mischung aus Fasern und nassem Sand-Zementmörtel wird in einem einfachen Rahmen auf einer glatten geschmierten Platte ausgebreitet. Nach Glättung des Mörtels mit einer Kelle wird der Rahmen entfernt. Der Tisch wird danach gekippt und das flache Formbrett langsam herausgezogen, wobei der Mörtel die Form der darunterliegenden gewellten Unterlage annimmt. Die frisch geformte nasse Platte kann zwei Tage lang trocknen. Vor der Befestigung auf dem Dach ist eine weitere Aushärtung von einer Woche erforderlich.

Quellen: Appropriate Technology (erscheint vierteljährlich):

- a. Vol. 6 No. 1 (Mai 1979) - Elephant grass fibres  
b. Vol. 5 No. 4 (Februar 1979) - Handmade roof sheets

Two developments are described here, one based on the material aspect and the other on the method. Both are roof sheets made of fibrous material, using cement as binder.

- a. Elephant grass fibres as reinforcement in roof sheets (investigated by Professor T.S.R. Ayyar and P.K. Mirihagalla, School of Engineering, University of Zambia, Lusaka).

Elephant grass is a tall, erect, stout plant, similar to bamboo, about 20 mm thick and more than 2 m high. The fibres have to be extracted in a roller crusher. They are used to completely substitute asbestos in flat fibre-cement sheets, or partially replace asbestos in corrugated sheets. Elephant grass fibre is estimated to cost only 20% of the cost of asbestos fibre, but the former produces sheets that are more brittle and have slightly lower strengths. It is assumed that improvements in production are possible, but the attainment of asbestos cement qualities does not seem necessary in low-cost constructions.

Process: Water-cement ration was 0.45. The slurry of cement and fibre was placed in a standard mould and compressed by a weight of 400 N applied through a flat slab for two hours, after which it was allowed to cure for seven days. Both flat and corrugated sheets were prepared and tested.

- b. Handmade corrugated roof sheets (developed by Intermediate Technology Building Materials Workshop, J.P.M. Parry and Associates Ltd., U.K.)

The sheets can be made of any appropriate natural or synthetic fibres, with sand and ordinary Portland cement (one bag is needed for 2.5 sheets of 2.5 meters length). It is claimed that the prices of factory produced roof sheets are far higher than the equivalent amount of cement and additional cost reduction is achieved by self-help production.

Process: The fibres generally require trimming to appropriate lengths and removing of knots. The mixture of fibres and wet sand cement mortar is spread into a simple frame on a smooth lubricated sheet. After trowelling the mortar flat, the frame is removed. The table is then tilted and the flat bed slowly drawn out, allowing the mortar to take the shape of the corrugated former underneath. The wet sheet is allowed to cure on the former for two days. A further week's curing is necessary before installation on the roof.

Sources: Appropriate Technology (published quarterly):

- a. Vol. 6 No. 1 (May 1979) - Elephant grass fibres  
b. Vol. 5 No. 4 (February 1979) - Handmade roof sheets

#### 4.2.3 Woudenberg Jute-Plastik, Bangladesh

Die Erfordernisse für ein neues Dachsystem in Bangladesh waren:

- Wirbelsturmresistenz und klimatisch angepaßte Bauweise,
- Verwendung von Jutefasern (wichtigstes Produkt des Landes),
- Einfachheit der Herstellung und Montage mit örtlich ausgebildeten Fachleuten,
- Niedrige Kosten und annehmbar für örtliche Bevölkerung.

Forschung und Produktion wurden in Bangladesh seit 1971 von William F. Woudenberg unter der Gönnerschaft und mit Unterstützung einer großen Anzahl von örtlichen und internationalen Organisationen einschließlich UNESCO, Weltbank und CARE, durchgeführt. Das Material, das sich als am geeignetsten herausstellte, war mit Jutefaser verstärktes Polyester, das beliebig geformt werden kann. So konnten große, leichtgewichtige, selbsttragende Dachelemente in einer örtlichen Werkstatt hergestellt und von zwei Männern leicht gehandhabt werden. Da sie auf jedem herkömmlichen Unterbau befestigt werden können, z.B. traditionelle Ziegelstein-Häuser, wurden die Elemente häufig benützt, um Gebäude zu decken, deren Dächer von Wirbelstürmen abgerissen wurden.

Diese Dächer wurden in erster Linie für Schulen und Kliniken entworfen, eignen sich jedoch ebenfalls für den Hausbau. Die Abbildungen zeigen nur einen Dachtyp aus einer großen Vielfalt von Entwurfsvarianten, von welchen einige ganze Häuser umfassen.

Der größte Nachteil des Materials ist, daß das Polyesterharz in Bangladesh nicht

Abb. 4.59



Fig. 4.59

#### 4.2.3 Woudenberg Jute-Plastic, Bangladesh

The requirements for a new roofing system in Bangladesh were:

- cyclone resistance and climatic appropriateness,
- utilization of jute fibres (principal product of the country),
- simplicity of manufacture and assembly with locally-trained technicians,
- low-cost and good local acceptance.

Research and production was carried out in Bangladesh since 1971 by William F. Woudenberg, under the auspices and with the support of a wide range of local and international agencies including UNESCO, World Bank and CARE. The material that proved most suitable was jute-fibre-reinforced polyester, which could be moulded to any shape. Thus large lightweight, self-supporting roofing elements could be manufactured in a local workshop and easily handled by two men. Since they can be fixed on any traditional structure, eg. common brick-walled houses, the elements were widely used to cover buildings whose roofs were ripped off during cyclones.

These roofs were primarily designed for schools and clinics, but are equally suitable for housing. The illustrations show only one roof type out of a large variety of design solutions, some of which incorporating entire houses.

The major disadvantage of the material is that the polyester resin is not available in Bangladesh. It is, however, claimed that the resin can be imported cheaply from various countries with petro chemical industries.

Abb. 4.60



Fig. 4.60

verfügbar ist. Es wird jedoch behauptet, daß das Harz aus Ländern mit Petrochemie-Industrie billig importiert werden kann.

Quelle: "Woudenberg Jute-Plastic: A New Concept in Low-Cost Construction". Broschüre, veröffentlicht von W.F. Woudenberg, G.P.O. Box 311, Ramna, Dacca 5, Bangladesh.  
"Assembly Manual for Cyclone Resistant Roof for Primary Schools made from Jute Reinforced Polyester Resin", veröffentlicht von CARE in Bangladesh und UNESCO Regional Office for Education in Asia, Bangkok (Juli 1976).

Source: "Woudenberg Jute-Plastic: A New Concept in Low-Cost Construction". Brochure published by W.F. Woudenberg, G.P.O. Box 311, Ramna, Dacca 5, Bangladesh.  
"Assembly Manual for Cyclone Resistant Roof for Primary Schools made from Jute Reinforced Polyester Resin", published by CARE in Bangladesh and UNESCO Regional Office for Education in Asia, Bangkok (July 1976).

Abb. 4.61 Zusammenbau von Woudenberg Jute-Plastik-Dachelementen auf traditionellem Mauerwerkshaus (Bangladesh)

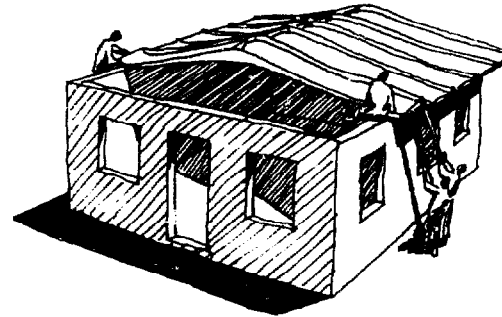


Fig. 4.61 Assembly of Woudenberg Jute-Plastic roof elements on standard brick-walled house (Bangladesh)

#### 4.2.4 Ultra Low-Cost Housing für Bangladesh

Ein anderer Lösungsansatz für das Wohnungsproblem in Bangladesh wurde im Jahre 1974 - 75 durch die Carnegie Mellon University / INTERTECT Refugee Housing Team (Pittsburgh/Dallas) in einem Forschungsprojekt demonstriert, welches von der United States Agency for International Development finanziert wurde.

Die Flüchtlingsunterkunft, die für bessere Windbeständigkeit stromlinienförmig konzipiert ist, kann komplett aus lokalen Materialien mit traditionellen Bautechniken gebaut werden. Die tragenden Bauteile der A-Rahmen können aus Holz oder Bambus sein. Die vertikalen und horizontalen Abmessungen können variiert werden, ebenso wie die Dachdeckungsmaterialien (Strohschindeln, Matten, geflochtener Bambus), die durch andere geeignete Materialien ohne wesentliche Entwurfsabänderungen ersetzt werden können. Eine Lüftungsmöglichkeit ist in der Firstlinie vorgesehen, und Fenster können beliebig angeordnet werden.

Der größte Nachteil der A-Rahmen ist die an den Seiten verlorengelassene Nutzfläche, was bei kleinen Gebäuden wesentlich ist. Aber abgesehen davon wurden die Bauten von der örtlichen Bevölkerung gut aufgenommen.

Quellen: "Feasibility Test of an Approach and Prototype for Ultra Low Cost Housing" Schlußbericht (1975) und Evaluierungsbericht (1977) von C.G. Goodspeed, V.H. Hartkopf, F.C. Cuny, V.P. Singh von der Interdisciplinary Working Party, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213.

#### 4.2.4 Ultra Low-Cost Housing for Bangladesh

Another approach to the housing problem in Bangladesh was demonstrated in 1974 - 75 by the Carnegie Mellon University/INTERTECT Refugee Housing Team (Pittsburgh/Dallas) in a research project, funded by the United States Agency for International Development.

The refugee shelter, which is streamlined for better wind performance, can be built entirely of local materials, employing traditional building techniques. The structural members of the A-frames can be timber or bamboo. Vertical and horizontal dimensions are variable, just as the roofing materials (thatch shingles, mats, woven bamboo), which can be replaced by other appropriate materials without major design modifications. A means of venting is devised at the vertex and windows can be provided where needed.

The major disadvantage of the A-frames is the floor space lost at the sides, which is significant in small buildings. But apart from this, the structures found good acceptance by the local people.

Sources: "Feasibility Test of an Approach and Prototype for Ultra Low Cost Housing" Final Report (1975) and Evaluation Report (1977) both by C.H. Goodspeed, V.H. Hartkopf, F.C. Cuny, V.P. Singh of Interdisciplinary Working Party, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213.

Abb. 4.62 "Ultra-Low-Cost"-Haus für Bangladesh  
 Fig. 4.62 "Ultra low-cost" house for Bangladesh

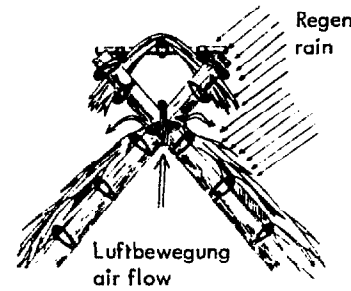
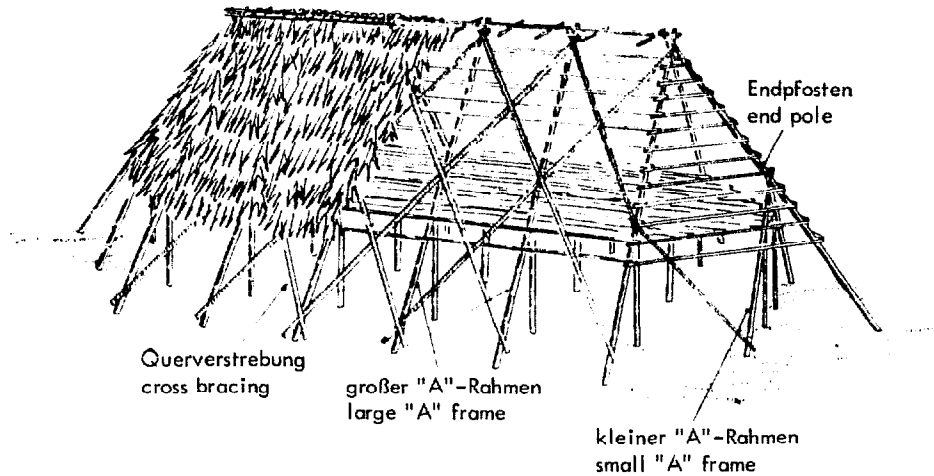


Abb. 4.63  
 Fig. 4.63

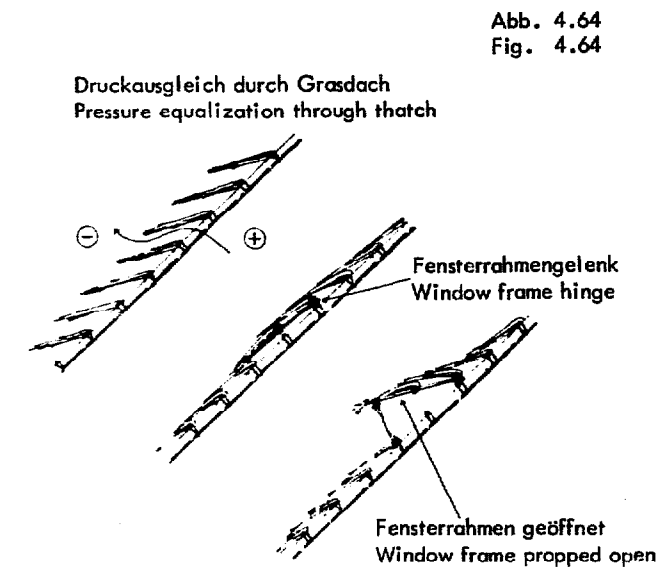


Abb. 4.64  
 Fig. 4.64

#### 4.2.5 In Indien entwickelte Dachelemente

Von der großen Anzahl der am Central Building Research Institute, Roorkee, entwickelten Dachelemente werden hier drei Typen beschrieben.

- a. Doppelt gekrümmte Dachplatten.  
 Die Plattenherstellung erfolgt in einfachen Holzrahmen, 70 x 70 cm, die mit Sackmaterial bespannt sind und mittels Nägeln straff gehalten werden. Der Rahmen liegt auf einem flachen Untergrund und wird 2 cm hoch mit Beton gefüllt, dann hochgehoben, so daß das Tuch unter dem Gewicht des Betons absackt und so die doppelt gekrümmte Dachplatte bildet. 8 bis 10 Dachplatten, die 24 Stunden lang getrocknet werden, dienen als Grundformen zur Herstellung weiterer Dachplatten. Plastikplanen oder Ölpapier, das man darauflegt, ergibt eine glatte Oberfläche und verhindert, daß die frischen Ziegel an den Formen ankleben. Die fertigen Dachplatten werden 24 Stunden getrocknet, 7 Tage lang in Wasser ausgehärtet und zur vollstän-

#### 4.2.5 Roofing Elements Developed in India

Of a large number of concrete roof elements developed at the Central Building Research Institute, Roorkee, three types are described here.

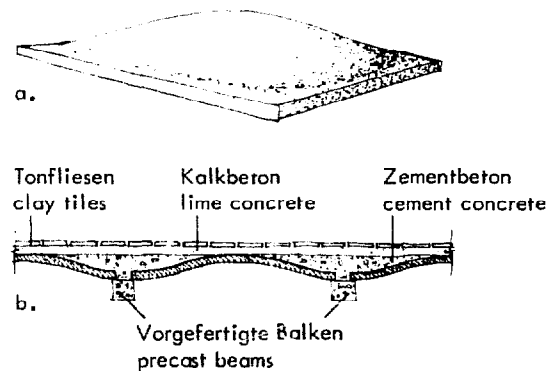
- a. Doubly curved tile roof.  
 The tiles are made in simple wooden frames, 70 x 70 cm, mounted with hessian cloth, held taut by nails. The frame lying on a flat surface is filled with concrete 2 cm thick and then lifted, so that the cloth sags under the weight of the concrete, forming the doubly curved tile. 8 to 10 tiles, dried for 24 hours, serve as base moulds for casting more tiles. Polythene sheets or oiled paper laid on top provide a smooth surface to prevent fresh tiles from sticking to the moulds. The finished tiles are dried for 24 hours, cured in water for 7 days and stored for 15 days to allow completion of drying shrinkage. Simple prefabricated beams are also made and installed at 76 cm distances to support the tiles. The gaps are filled with cement concrete,

digen Trockenschrumpfung 15 Tage lang gelagert. Einfache Balken werden auch vorgefertigt und in 76 cm-Abständen montiert, um die Dachplatten zu tragen. Die Lücken werden mit Zementbeton gefüllt, während die Wasserfestigkeit und der Oberflächenabschluß mittels Kalkbeton, der mit Tonfliesen bedeckt ist, erreicht wird.

- b. Trogelemente.  
Die Form für diese selbsttragenden Elemente ist nicht so einfach wie die vorhergehende, aber die Installation auf der Baustelle ist leicht. Sie sind im Querschnitt trogförmig, die Seiten gewellt und an den Enden gerillt, um so die Lasten seitlich zu übertragen. Die Nennweiten sind 300 oder 600 mm, Tiefe 130 mm, während die Längen zwischen 2,5 und 4,2 m variieren können. Sie brauchen während der Bauzeit keine temporäre Unterstützung und benötigen keine Betonüberdeckung.
- c. L-Pan-Dachdeckung.  
Die Paneele werden auf der Baustelle in einfachen Formen gegossen, das Zusammenfügen des Daches ist ebenso einfach (Ortbeton wird nur bei Verbindungsfugen benötigt). Diese vorgefertigten Paneele mit L-förmigem Querschnitt werden für geneigte Dächer verwendet. Sie werden an parallelen Giebelwänden oder Bindern aufgesetzt und überlappen die angrenzenden darunterliegenden Paneele. Eine angemessene Paneeelgröße könnte 300 x 48 x 12 cm sein, 4 cm dick, obwohl die Abmessungen verschiedenen Gebäudegrößen angepaßt werden können.

Quellen: Building Digest 43 (1966): Doubly curved tile roof  
Data Sheet — Building Technical Series 5 (1977): Channel Units  
Data Sheet — Building Technical Series 10 (1978): L-Pan roofing  
sämtlich vom Central Building Research Institute, Roorkee, Indien.

Abb. 4.65 (a, b) Doppelt gewölbte Dachplatte  
Fig. 4.65 (a, b) Doubly curved roof tile



In Indien entwickelte Dachelemente  
Roofing elements developed in India

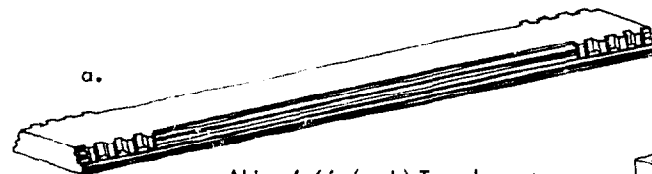
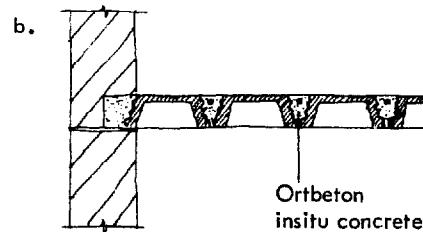


Abb. 4.66 (a, b) Trogelemente  
Fig. 4.66 (a, b) Channel units

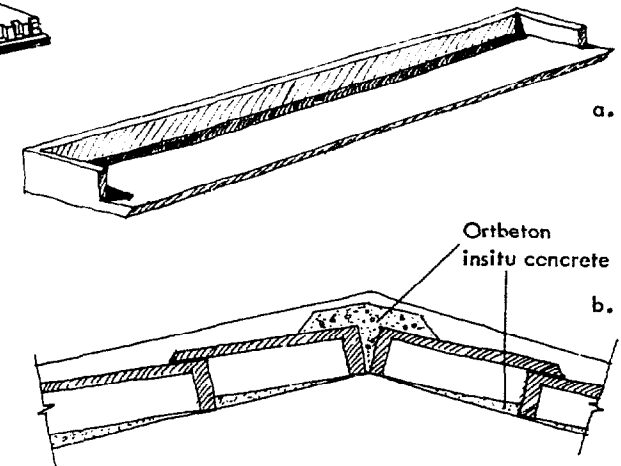


while waterproofing and surface finish is provided by lime concrete covered with clay tiles.

- b. Channel units.  
The mould for these self-supporting units is not as simple as the previous one, but installation on the building is easy. They are trough-shaped in section, the sides are corrugated and grooved at the ends, to help transferring the loads transversely. Nominal widths are 300 or 600 mm and depths 130 mm, while lengths can vary between 2.5 and 4.2 m. They do not require any type of temporary support during construction and need no deck concrete.
- c. L-Pan roofing.  
Casting of panels is done on the site in simple moulds, assembly of the roof is equally easy (insitu concrete is only needed at junctions). These precast panels with L-shaped sections are used for sloping roofs. They are supported on parallel gable walls or trusses and overlap the adjacent lower panels. A suitable panel size could be 300 x 48 x 12 cm, 4 cm thick, though dimensions are adaptable to various building sizes.

Sources: Building Digest 43 (1966): Doubly curved tile roof  
Data Sheet — Building Technical Series 5 (1977): Channel units  
Data Sheet — Building Technical Series 10 (1978): L-Pan roofing  
all from Central Building Research Institute, Roorkee, India.

Abb. 4.67 (a, b) L-Pan-Dach  
Fig. 4.67 (a, b) L-pan roofing



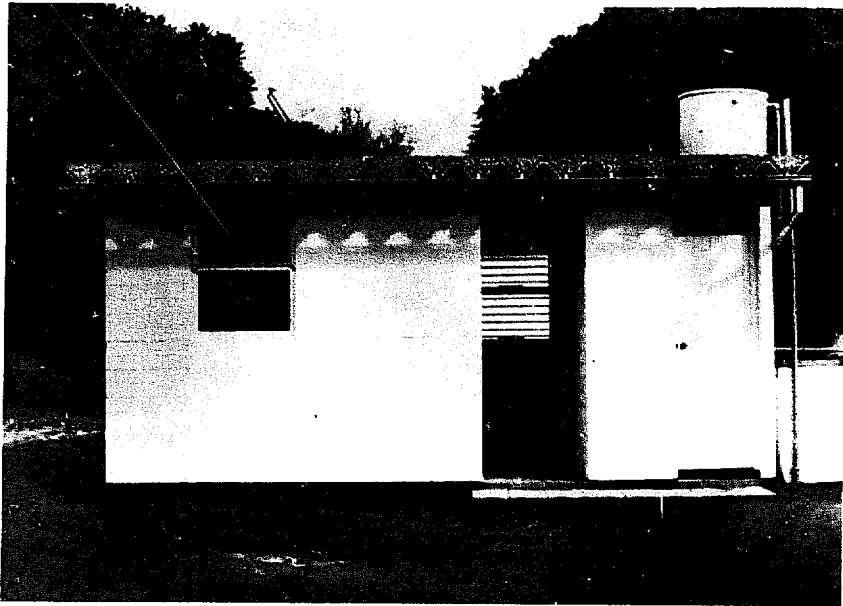


Abb. 4.68 In Südafrika entwickeltes Dachsystem  
 Fig. 4.68 Roofing system developed in South Africa

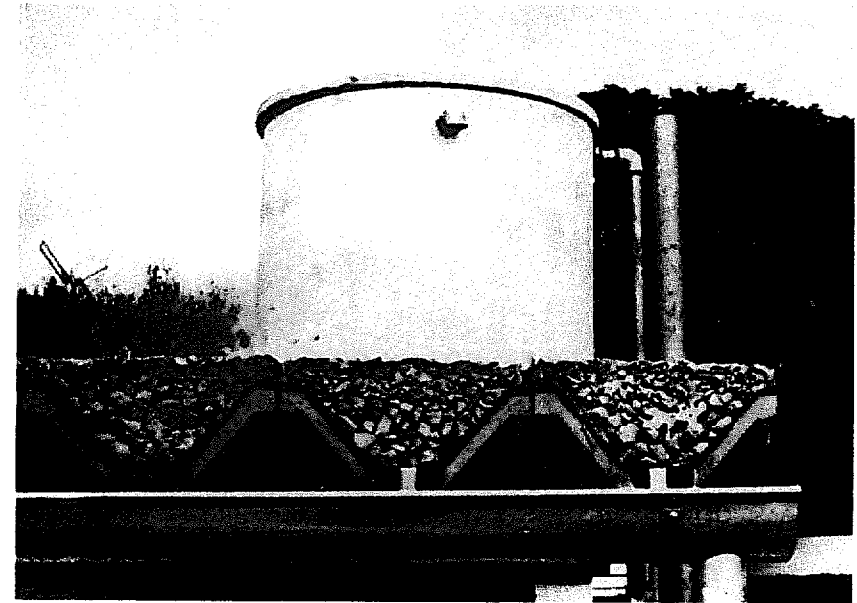


Abb. 4.69 Detail der vorfabrizierten trogförmigen Betonelemente mit Einkornbeton-Randabschlußblöcken

Fig. 4.69 Detail showing trough shaped prefabricated concrete elements, with no-fines concrete end-pieces

#### 4.2.6 In Südafrika entwickeltes Dachdeckungselement

Ein trogförmiges vorgefertigtes Betondachelement wurde am National Building Research Institute, Pretoria, für ein Prototyp-Haus entwickelt. Das trogförmige Profil ermöglicht das Stapeln während der Herstellung. Das Dach wurde mit Plastikfolie auf den Betonelementen wasserdicht gemacht. Diese wurde mit einer lockeren Kies-schicht bedeckt, die die thermischen Eigenschaften des Daches beträchtlich verbessert. Der Kies wird von geformten, vorgefertigten Einkornbetonblöcken, die in den Trögen als Randabschluß liegen, festgehalten. Das Regenwasser sickert durch den Einkornbeton zur Dachrinne.

Quelle: "Research at Local Level: Description of NBRI Experimental Project", von J.L. Arrigone (Paper 24, Nov. 1978).  
 National Building Research Institute, Pretoria, Südafrika.

#### 4.2.6 Roofing Element Developed in South Africa

A trough shaped prefabricated concrete roof element was developed at the National Building Research Institute, Pretoria for a prototype house. The trough-shaped profile allows for stacking during the casting operation. The roof was waterproofed with plastic sheeting placed on top of the concrete elements. This was covered with a layer of loose gravel that greatly improves the thermal performance of the roof. The loose gravel is kept in place by shaped, precast, no-fines concrete blocks placed in the roof troughs at the verges. The rainwater percolates through the no-fines concrete to the gutter.

Source: "Research at Local Level: Description of NBRI Experimental Project", by J.L. Arrigone (Paper 24, Nov. 1978)  
 National Building Research Institute, Pretoria, South Africa.



4.2.7 Ecol House, Canada.

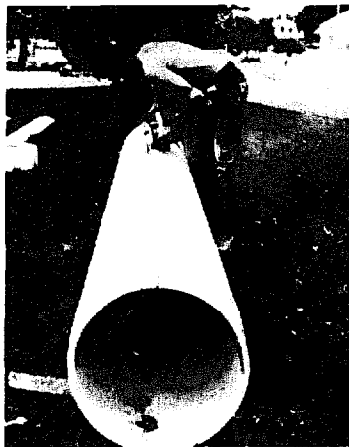
Das "Ecol Operation" genannte Projekt, 1972 von der Minimum Cost Housing Group, McGill University, Montreal, unternommen, umfaßte eine Anzahl von Bauneuerungen zum Zwecke der Kostenreduzierung und zur Vereinfachung von Baumethoden. Eine Erfordernis war es, ein einfaches, selbsttragendes Dach mit einer Spannweite von 3,60 m zu errichten. Eine Lösung, ähnlich der Asbestzement-Trogplattendächer (canaletas), die in lateinamerikanischen Ländern gebräuchlich sind, wurde gesucht, und eine billige Alternative wurde gefunden, indem man Asbestzemententwässerungsröhre der Länge nach in vier Teile schnitt und sie wie herkömmliche Mönch- und Nonnen-Ziegel verlegte. Pro Schnitt wurden für 25 mm dicke Rohre drei Stunden gerechnet, aber der Vorgang wurde dadurch vereinfacht und beschleunigt, daß man nur 6 mm tief schnitt, so daß das Rohr bei geringem Anheben und Fallenlassen entlang der Schnittlinie brach. Ergebnis: vier Schnitte in der Stunde.

Quelle: "The Ecol Operation" von der Minimum Cost Housing Group, McGill University, Montreal, Canada, 1972

4.2.7 Ecol House, Canada

The project, called the Ecol Operation, undertaken in 1972 by the Minimum Cost Housing Group, McGill University, Montreal, incorporated a number of building innovations, designed to reduce costs and simplify construction methods. One requirement was to erect a simple, self-supporting roof to span 3.60 m. A solution, corresponding to asbestos cement channel roofs (canaletas) common in Latin American countries, was sought and an appropriate, cheap alternative was found by cutting asbestos cement sewer pipes lengthwise in four parts and assembling them like traditional Spanish roof tiles. Cutting the 25 mm thick pipes was found to take three hours per cut, but the process was simplified and accelerated by cutting only 6 mm deep, so that when slightly raised and dropped, the pipe split along the score-line. Result: four cuts per hour.

Source: "The Ecol Operation" by Minimum Cost Housing Group, McGill University, Montreal, Canada, 1972



"The Ecol Operation" in Canada  
"The Ecol Operation" in Canada

Schneiden der Dachplatten .....  
Cutting the roof tiles .....

Abb. 4.70  
Fig. 4.70

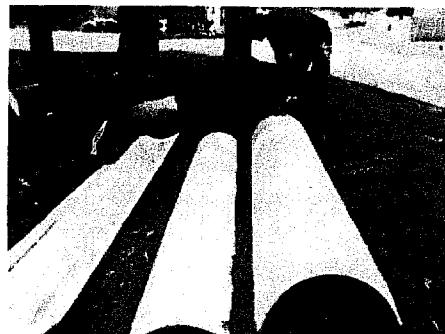


Abb. 4.71  
Fig. 4.71

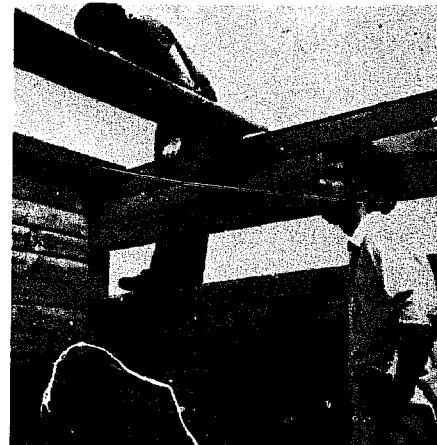


Abb. 4.72  
Fig. 4.72

..... und Zusammenbau  
..... and assembling them



Abb. 4.73  
Fig. 4.73

#### 4.2.8 Bambus-Polyurethan-Dachkonstruktion, Peru

Diese Dachlösung wurde von Christopher Alexander für eine low-cost-housing-Siedlung entworfen (Proyecto Experimental de Vivienda, internationaler Wettbewerb, ausgeschrieben von den Vereinten Nationen, der peruanischen Regierung und der Housing Bank, 1969). Es umfaßt ein System von Balken und Bohlen, die aus einem Polyurethan-Schaumstoffkern mit darumgebundenen Bambusrohren bestehen. Zur Verbindung, und um eine wasserdichte Begehungsfläche zu erhalten, erhalten die Planken eine Deckschicht aus einer flüssigen Schwefel-Sand-Mischung. Dies wurde in den Vereinigten Staaten umfassend getestet. Die Elemente sind leichtgewichtig, leicht zu handhaben und zu montieren, der Schaumstoffkern verleiht ausgezeichnete klimatische und akustische Bedingungen.

Quelle: "Houses Generated by Patterns" by C. Alexander, et al.  
Center for Environmental Structure, Berkeley, California, 1969

#### 4.2.9 Kokospalmdächer, Philippinen

Die Dachkonstruktion, die von Ian Athfield, Neuseeland (in seinem 1. Preis-Entwurf für den internationalen Wettbewerb für einen Stadtteil von Manila, 1975) vorgeschlagen wurde, basiert auf der Kokospalme und deren Nebenprodukten. Das Holz kann in seinem natürlichen Zustand verwendet werden, wenn es getrocknet und konserviert wird. Ganze, halbe oder geschnittene Kokosstämme wurden für den Dachrahmen vorgeschlagen. Die Dachdeckung bestand aus Kokospreßspanplatte an der Unterseite, einer Isolierschicht aus Kokos-Faser-Zement und einem mit Maschendraht bewehrten Außenputz aus Kokossägemehl, Sand und Zement.

Quelle: Architectural Record (Mai 1976), eine McGraw-Hill Veröffentlichung, New York.

#### 4.2.8 Bamboo-Polyurethane Roof Structure, Peru

This is a roofing solution designed by Christopher Alexander for a low-cost housing scheme in Peru (Proyecto Experimental de Vivienda, international competition sponsored by the United Nations, Peruvian Government and Housing Bank, 1969). It comprises a system of beams and planks, all made of whole bamboo culms bound together around a polyurethane foam core. For jointing and to provide a waterproof walking surface, the planks receive a topping of molten sulphur mixed with sand. These have been widely built and tested in the United States. The elements are light, easy to handle and install, the urethane core giving excellent thermal and acoustical performance.

Source: "Houses Generated by Patterns" by C. Alexander, et al.  
Center for Environmental Structure, Berkeley, California, 1969

#### 4.2.9 Coconut Palm Roofs, Philippines

The roof construction, suggested by Ian Athfield, New Zealand (in his first-prize-winning design for the international competition for an urban environment in Manila, 1975), is based on the coconut palm and its by-products. The timber can be used in its natural state if dried and preserved. Whole, half or cut coconut logs were proposed for the roof frame. The roof cover consisted of coconut particle board on the underside, an insulation layer of coconut-fibre-cement and an exterior plaster with coconut sawdust, sand and cement over expanded wire mesh.

Source: Architectural Record (May 1976), A McGraw-Hill Publication, New York.

Abb. 4.74 (a, b, c) Bambus-Polyurethan-Dachkonstruktion (Peru)

Fig. 4.74 (a, b, c) Bamboo-polyurethane roof structure (Peru)

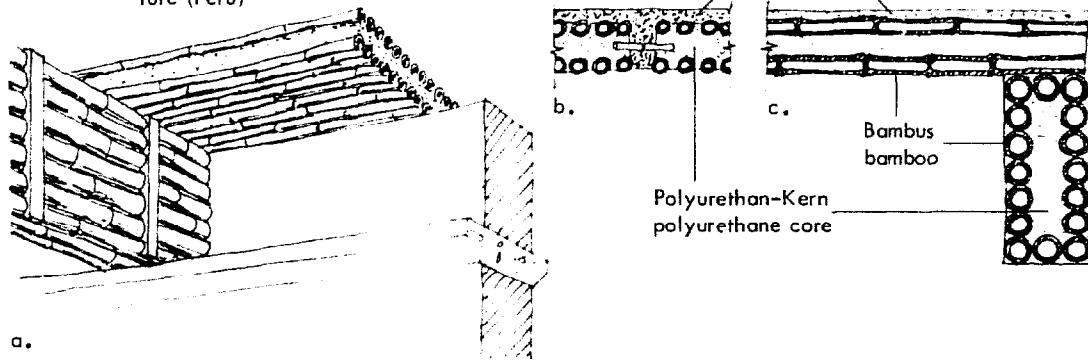
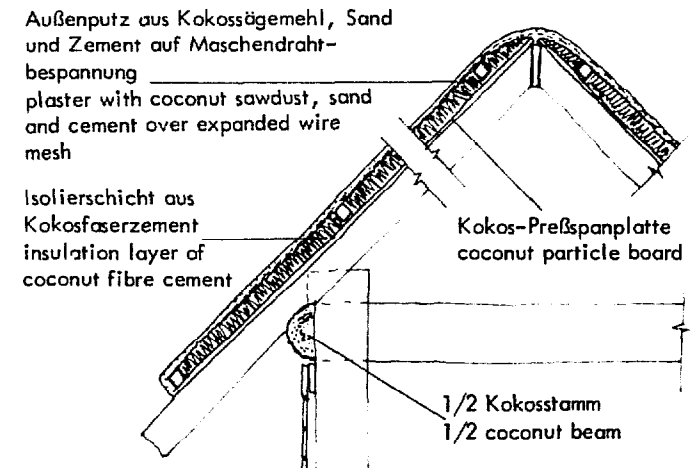


Abb. 4.75 Kokospalmdach (Philippinen)  
Fig. 4.75 Coconut palm roof (Philippines)



#### 4.2.10 Hängedachsystem, Korea

Als Teil eines Forschungsprojektes, das an der Yeungnam Universität, Taegu, Korea, 1973 unternommen wurde, wurde dieser Dachtyp in erster Linie für Bauern- und Fischerdörfer entwickelt. Das System umfaßt Holzteile für First, Traufe und Zugbalken, während die Dachsparren von Stahlseilen, die in 1 m Abständen verlaufen, ersetzt werden. Eine Sperrholzdecke wird mittels Drahtseilen abgehängt. Holzpfetten werden durch Maschendraht ersetzt, der das Dach aus wasserdichten Polyäthylen-Folien, Strohmatte, Erde und Dachziegeln trägt. Die Hauptvorteile dieses Systems sind einfache Konstruktion und eine Kostenverringerung von ca. 35% im Vergleich zu herkömmlichen Systemen.

Quelle: "Low-Cost Housing for Agro-Fishery Villages in Korea" von Sun-Ho Choi, veröffentlicht in Proceedings of Adaptive Technology Workshop II, 1973, East-West Center, Honolulu, Hawaii.

#### 4.2.10 Suspension Type Roof System, Korea

As part of a research project, undertaken at Yeungnam University, Taegu, Korea, in 1973, this roof type was developed primarily for agro-fishery villages. The system comprises timber members for ridge, eaves and tie beams, while the rafters are substituted by wire ropes spaced 1 m apart. A plywood ceiling is suspended from the wire ropes. Timber purlins are substituted with wire mesh, which is overlaid by waterproofing polyethylene sheets, straw matting, seating soil and roof tiles. The main advantages of this system are simple construction and cost reduction of about 35% as compared to conventional systems.

Source: "Low-Cost Housing for Agro-Fishery Villages in Korea" by Sun-Ho Choi, published in Proceedings of Adaptive Technology Workshop II, 1973, East-West Center, Honolulu, Hawaii.

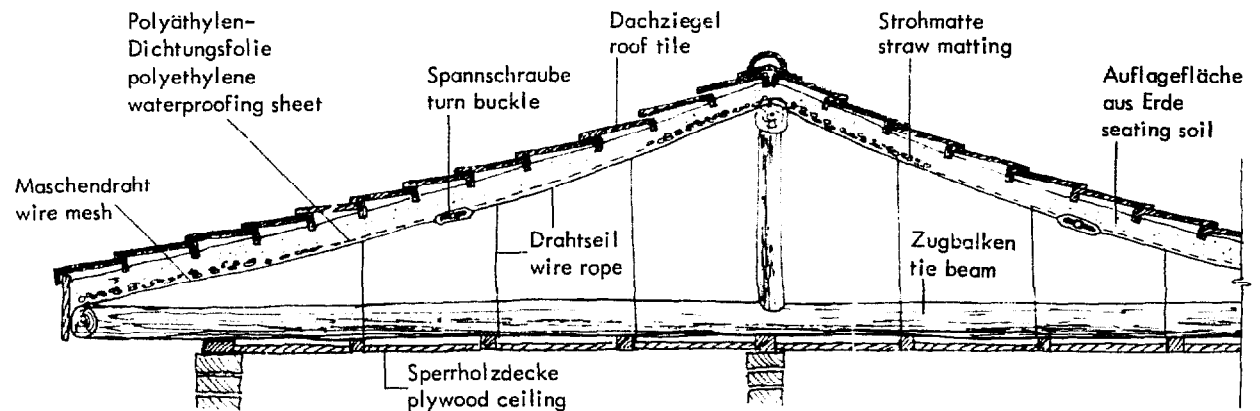


Abb. 4.76 Hängedachsystem (Korea)  
Fig. 4.76 Suspension type roof system (Korea)

#### 4.2.11 Versuchsbauten der Gesamthochschule Kassel, Bundesrepublik Deutschland

Die nachstehend beschriebenen Bauten wurden am Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Gesamthochschule Kassel, unter der Leitung von Gernot Minke, entwickelt. Die Hauptziele der Forschungsarbeit, die 1974 begann, waren, neue Materialien und Methoden zur Low-Cost-Bauweise zu entwickeln bzw. bestehende Technologien zu verbessern. Das Resultat waren eine Anzahl interessanter Lösungen.

#### 4.2.11 Experimental Structures of University Kassel, Germany

The structures described below were developed at the Laboratory for Experimental Construction, Kassel University, under the guidance of Gernot Minke. The prime objectives of the research work, which began in 1974, was to develop new materials and methods for low-cost construction or improve on existing technologies. This resulted in a number of interesting solutions.

- a. Schwefel-Beton-Haus.  
Das Rotationsparaboloid wurde aus einer Mischung von geschmolzenem Schwefel, Kies und Sägemehl hergestellt. Der Testkörper wurde mit Hilfe einer besonderen, eigens dazu entwickelten Rotationsgleitschalung gegossen. Diese Form, welche Genauigkeit garantierte und die Arbeit auf drei Personen reduzierte, wurde wegen der raschen Härtung des heißen Schwefels klein gehalten (20 x 40 cm). Das Hauptproblem ist die Entwicklung einer einfachen Vorrichtung, um den Schwefel in flüssigem Zustand zu halten. Drei Maschinen wurden entwickelt und getestet. Ein Vorteil des Materials ist, daß es abgebrochen und in der gleichen Weise wie vorher ohne Masseverluste wiederverwendet werden kann. Außerdem sind die benützten Materialien im allgemeinen billiges Abfallmaterial.
- b. Vorgefertigtes Paneelhaus.  
Die Wände und das Dach des abgestumpften Hexaoktaeders bestanden aus 13 quadratischen und 4 dreieckigen Paneelen, und zwar Holzrahmen mit verschiedenen Ausfachungen: mit Schwefel- oder Polyesterharz getränkten Glasfaser- oder Jutefaser (Abfall!)-Bespannungen, die mit Ausnahme der Dreiecks-(Licht)elemente mit einer schwefelgebundenen Blähtonsschicht versehen wurden. Das Ziel war, diese Materialien in verschiedenen Zusammenstellungen zu testen.
- c. "Bio-Bau".  
Das Testgebäude mit parabelförmigem Querschnitt und drei halben Rotationsparaboloiden bestand aus Holzrippen- und -gitterschalen, die mit aluminiumverstärkten Polyäthylen-Folien (Abfall aus der chemischen Industrie) bedeckt waren, auf welchen erdgefüllte Säcke mit Pflanzen schuppenartig be-

- a. Sulphur-concrete house.  
The rotational paraboloid structure was made of a mixture of molten sulphur, gravel and sawdust, poured in a special rotating-sliding formwork. This formwork, which ensured accuracy and reduced labour to three persons, was kept small (20 x 40 cm) because of the rapid hardening of hot sulphur. The major problem is the development of a simple device for keeping the sulphur in the molten state for pouring. Three machines were developed and tested. An advantage of the material is that it can be demolished and reused in the same way as before, without volumetric loss. Besides, the materials used are generally cheap waste materials.
- b. Prefabricated panel house.  
On an octahedronal plan, the walls and roof were made of 13 square and 4 triangular panels, which were timber frames with varying infills: fibre-glass or jute fibre (waste!) reinforcements with sulphur or polyester resin covered with sulphur-bonded expanded clay. The object was to test these materials in different combinations.
- c. "Bio-building".  
The test structure, with parabolic cross-section and three half rotational paraboloids, consisted of a wooden framework covered with aluminium reinforced polyethylene sheets (waste from chemical industry), on which soil filled sacks carrying plants were placed like shingles. Three types of soil and 17 different plant groups were tested. The aim of the project was to test simple, low-cost prefabrication and construction methods, using environmentally and structurally appropriate materials. New plant systems will be tried out from time to time.

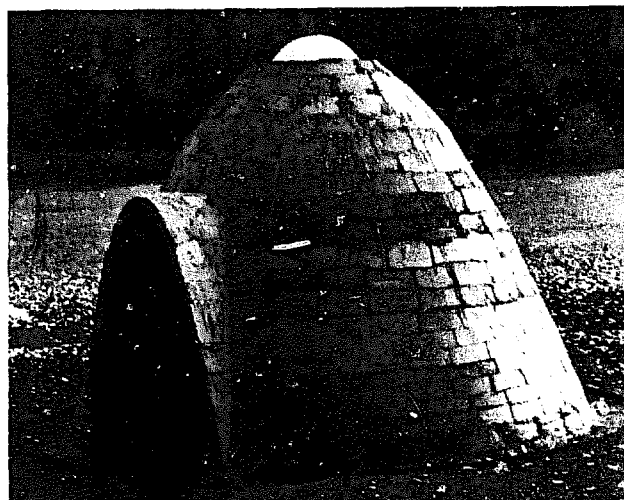


Abb. 4.77 Schwefel-Beton-Haus  
Fig. 4.77 Sulphur-concrete house

Versuchsbauten der Gesamthochschule Kassel,  
Bundesrepublik Deutschland  
Experimental structures at Kassel University, Germany

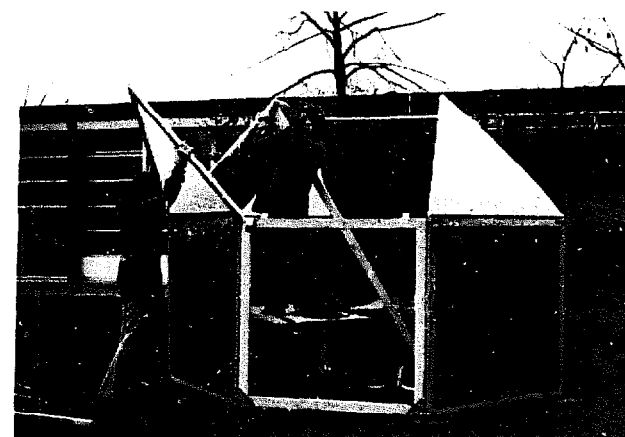


Abb. 4.78 Vorgefertigtes Paneelhaus  
Fig. 4.78 Prefabricated panel house

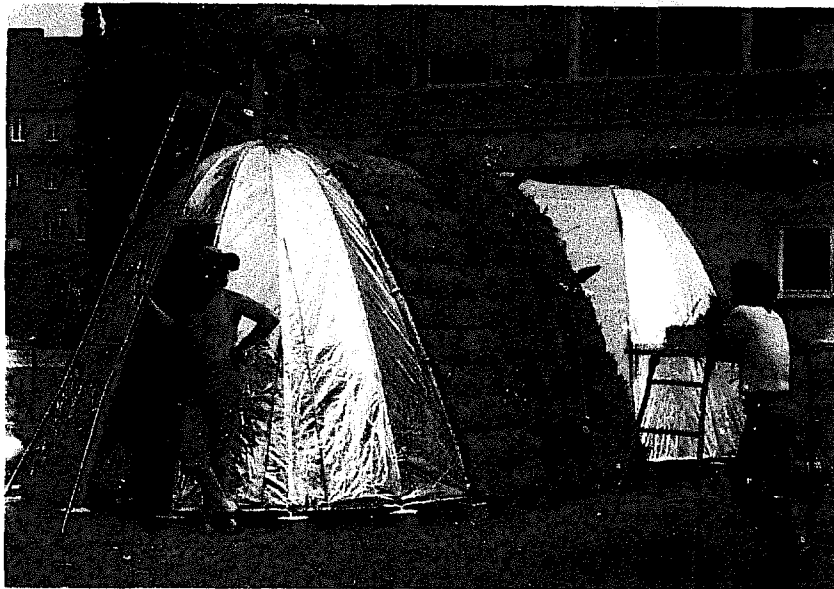


Abb. 4.79 "Bio-Bau"  
Fig. 4.79 "Bio-building"

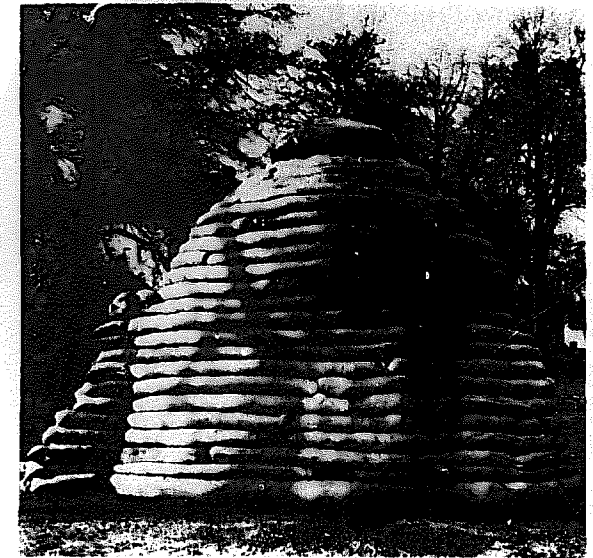


Abb. 4.80 Sandsack-Haus  
Fig. 4.80 Sand-sack house

festigt wurden. Drei verschiedene Grundsubstrate und 17 verschiedene Pflanzengesellschaften wurden getestet. Das Ziel des Projekts war, einfache vorgefertigte Billigbauweisen unter Verwendung umwelt- und konstruktionsgerechter Materialien zu testen. Neue Pflanzsysteme werden von Zeit zu Zeit ausprobiert.

- d. Sandsack-Haus.  
Schlauchförmige Säcke, insgesamt 220 m lang, gefüllt mit Sand (für den unteren Teil des Gebäudes) und Blähton (für den oberen Teil) waren die hauptsächlich angewandten Materialien. Die Schläuche wurden ringförmig aufeinandergelegt, so daß der Querschnitt des Baukörpers der Form einer umgekehrten Kettenlinie entsprach, um Zugkräfte innerhalb des Wandquerschnitts auszuschalten. So wirkte jede Lage als Druckring.
- e. Pappkarton-Haus.  
Auf einer Unterkonstruktion aus halbkreisförmigen Holzbindern und Pfetten wurden wetterfeste Papptafeln befestigt. Die 8 mm dicke Pappe, die mit dem Secor-Verfahren im Vakuum imprägniert wurde, bestand aus zweilagiger Wellpappe mit drei Lagen 400 g-Karton. Bei der Befestigung auf der Unterkonstruktion wurden die einzelnen Pappen durch eine spezielle Falztechnik so miteinander verbunden, daß keine Abdichtungsmaßnahmen erforderlich waren und keine offenen Schnittkanten auftraten. Regen und Schnee weichten das Pappmaterial etwas auf und ließen es nur geringfügig auf-

- d. Sand-sack house.  
Tubular sacks, totalling 220 m, filled with sand (for lower part of building) and expanded clay (for upper portion) were the principal materials used. These were laid in circles on top of each other, forming a round building with an inverted chain-line (catenary) cross-section, to eliminate tensile forces. Thus each layer acted as a compression ring.
- e. Paperboard house.  
On a wooden vault-shaped framework impregnated corrugated paperboards were fixed. The 8 mm thick boards, vacuum impregnated by the Secor process, had two corrugations and three layers of 400 g carton. The attachment to the substructure incorporated special folding techniques to avoid open cut edges. Rain and snow caused only slight softening and swelling of covering material, but returned to normal after drying. Bitumen felts would have been more resistant but also more expensive. The paperboard house has a life-span of 3 to 5 years, depending on the climatic conditions to which it is exposed.
- f. House from waste consumer packaging.  
The walls and roof of the 19 m<sup>2</sup> house were made of sandwich elements, i.e. discarded cans or bottles, stuck together with bitumen, with corrugated paperboard (as used in previous structure) on either side. This system, which is only relevant for countries producing this kind of waste in abund-

quellen, es erhielt jedoch nach dem Trocknen wieder seinen Normalzustand. Bitumenpappe wäre widerstandsfähiger, aber auch viel teurer gewesen. Das Pappkarton-Haus hat eine Lebensdauer von 3 bis 5 Jahren, je nach den klimatischen Gegebenheiten.

- f. Haus aus Abfall-Verpackungsmaterial.  
Die Wände und das Dach des 19 m<sup>2</sup> großen Versuchsbaus bestanden aus Sandwich-Elementen, d.h. Einwegdosen und -flaschen, die mit Bitumen verklebt und beidseitig mit wetterfester Wellpappe (wie bei der vorhergehenden Konstruktion) versehen wurden. Dieses System, welches nur in denjenigen Ländern sinnvoll ist, die derartige Abfallprodukte in Mengen zur Verfügung haben, kann so extrem billige, ziemlich dauerhafte Konstruktionen ermöglichen und gleichzeitig zur Lösung eines gravierenden Abfallproblems beitragen.
- g. Grasdach.  
Ein Dachtyp, der traditionell sowohl in heißen als auch in kalten Regionen verwendet wird, wurde ebenfalls getestet. Das Dach besteht aus einer herkömmlichen Rundholzunterkonstruktion und wasserdichtem, PVC-beschichtetem Polyestergewebe, auf welches 8 - 10 cm dicke Grassoden gelegt wurden. Das Dach wurde so belassen, daß sich natürlicher Pflanzenwuchs entsprechend seinem eigenen ökologischen System entwickeln kann. Die Vorteile

ance, can thus provide extremely cheap, reasonably durable constructions and also help to solve a major disposal problem.

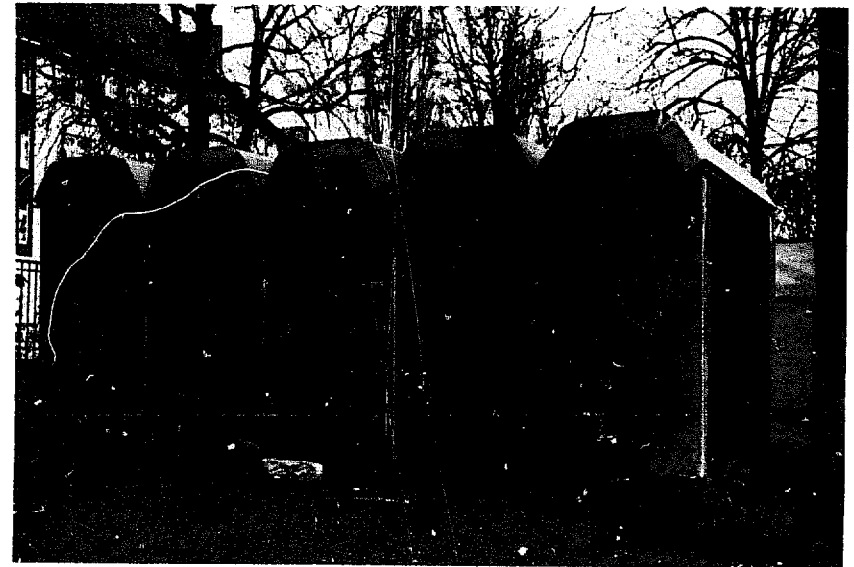
- g. Grass roof.  
A roof type traditionally used in both hot and cold regions was also tested. The roof substructure consists of a conventional roundwood framework and impermeable PVC-coated fabric, on which 8 - 10 cm thick sod pieces were laid. The roof was left to develop plant cultures naturally, according to its own ecological system. The advantages of grass roofs are:
- regulating effect on temperature fluctuations; temperatures of corrugated iron roofs can range periodically about 100°C, while grass roofs rarely exceed 30°C; during daytime cooling effect due to evaporation and consumption of heat by photosynthesis and warming effect by respiration process;
  - heat retaining capacities of soil and water content, as well as heat insulation through air spaces in soil and between grass blades, thus suitable for almost any climate;
  - no special maintenance.

Source: EX-BAU INFOS (Nos. 1 - 11) (1975 - 79) published by Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Gesamthochschule Kassel, Federal Republic of Germany

Abb. 4.81 Pappkarton-Haus  
Fig. 4.81 Paperboard house



Abb. 4.82 Haus aus Abfall-Verpackungsmaterial  
Fig. 4.82 House from waste consumer packaging

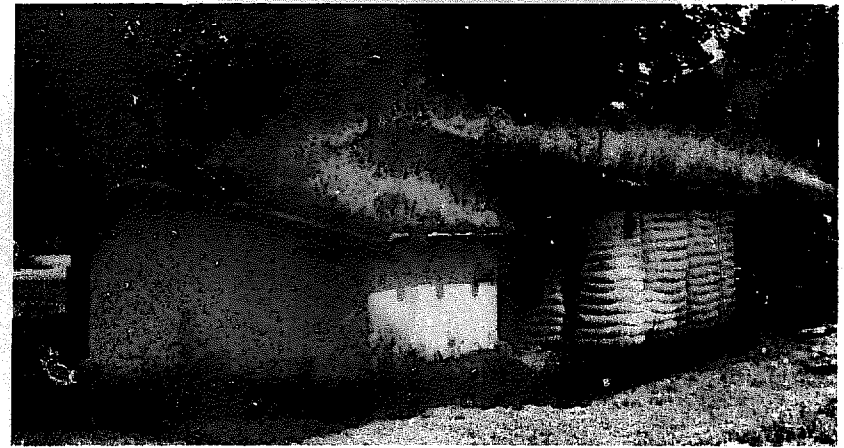


der Grasdächer sind:

- Ausgleichende Wirkung bei Temperaturschwankungen; die Temperaturen von Wellblechdächern können zeitweise ca. 100°C betragen, während Grasdächer sich kaum über 30°C erwärmen; während der Tageszeit Kühlungseffekt aufgrund von Verdunstung und Wärmeverbrauch durch Photosynthese, und während der Nacht Wärmeeffekt durch den Atmungsprozeß.
- Wärmespeicherfähigkeit der Erde und des darin enthaltenen Wassers sowie Wärmeisolierung durch Lufträume in der Erde und zwischen Grashalmen, und somit für fast jedes Klima geeignet.
- Keine besondere Wartung.

Quelle: EX-BAU INFOS (Nr. 1 - 11) (1975 - 79), herausgegeben vom Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Gesamthochschule Kassel, Bundesrepublik Deutschland.

Abb. 4.83 Grasdach  
Fig. 4.83 Grass roof



#### 4.2.12 Schaumstoff-Iglus

Das System, welches vom deutschen Chemiewerk Bayer Leverkusen entwickelt wurde, bestand im Prinzip aus dem Aufblasen einer Ballonschalung, auf welche fester Moltoprenschaum aufgespritzt wurde, der 30 Minuten härtete; danach wurde der Ballon abgeblasen. Türen und Fenster konnten mit einer Säge leicht ausgeschnitten werden. Die ganze Behausung konnte von 10 - 15 Männern getragen werden.

Diese schnell-errichteten Billigbauten waren erdbebensicher und daher in erster Linie als Notbehausungen nach Erdbeben in der Türkei, in Peru und Nicaragua in den frühen 70er Jahren verwendet. Sie werden jedoch aus folgenden Gründen nicht mehr gebaut:

- Lüftung war schlecht, die Kuppeln waren im Sommer unerträglich heiß;
- der halbkugelförmige Baukörper verursachte Möblierungsprobleme und die Akustik war äußerst nachteilig;
- beschädigter Schaumstoff konnte nicht repariert werden, zerbrochene Stücke konnte man nicht wiederverwenden; im Sommer verursachte er üble Gerüche, und wenn die Schutzschicht abgewaschen war, nisteten Insekten darin.

Quellen: Informationsblatt von Bayer Leverkusen, 1971  
Shelter II, Shelter Publications, Bolinas, California 1978

#### 4.2.12 Foam Igloos

The system developed by the German chemical firm Bayer Leverkusen, basically consisted of blowing up a balloon-mould onto which rigid moltoprene foam was sprayed, allowing it to harden for 30 minutes, after which the balloon was deflated. Doors and windows were easily cut out by means of a saw. The whole dwelling could be carried by 10 - 15 men.

These quickly erected low-cost structures were earthquake resistant and hence used primarily as emergency housing units after earthquakes in Turkey, Peru and Nicaragua in the early 1970s. However, they are not being built any more for the following reasons:

- ventilation was poor, the domes were insufferably hot in summer;
- the hemispherical shape created difficulties in furnishing, and interior acoustics proved extremely disadvantageous;
- damaged foam could not be repaired, broken pieces were not reusable; in summer it exuded bad smells and, when the protective coat was washed off, harboured insects.

Sources: Information pamphlet of Bayer Leverkusen, 1971  
Shelter II, Shelter Publications, Bolinas, California 1978

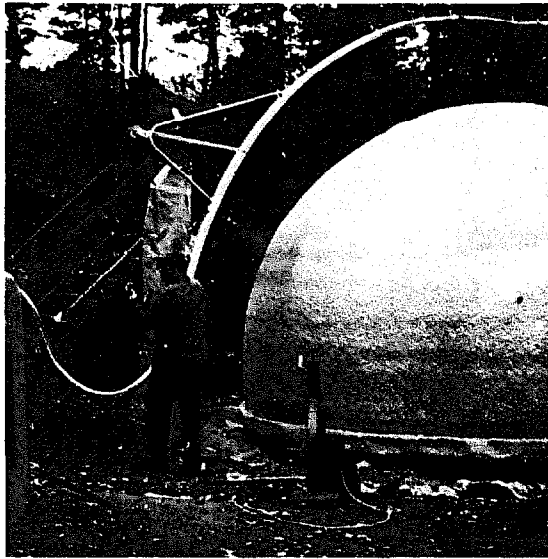


Abb. 4.84 a Spritzvorgang  
Fig. 4.84 a Spraying of foam igloos

Schaumstoff-Iglus, Bundesrepublik Deutschland  
Foam Igloos, Germany



Abb. 4.84 b Iglu-Siedlung für Erdbeben-  
flüchtlinge in Peru  
Fig. 4.84 b Igloo settlement for earthquake  
refugees in Peru

#### 4.2.13 Membran-Konstruktionen, Bundesrepublik Deutschland

In einer Studie über Dachdeckungssysteme dürfen Membran-Konstruktionen nicht fehlen. Es sind leichtgewichtige Zelt- oder pneumatische Konstruktionen, die für Räume von fast unbegrenzten Formen und Größen geeignet sind. Sie basieren auf den Zugbeanspruchungs-Eigenschaften der verwendeten Membranen, Kabel und Netze. Konstruktionen dieser Art werden primär mit dem Namen Frei Otto in Verbindung gebracht, der das Institut für leichte Flächentragwerke an der Technischen Universität Stuttgart gründete, und der seit 1955 mit Forschungs- und Entwicklungsarbeiten Pionierleistungen vollbracht hat. Die meisten seiner Entwicklungen sind Großprojekte; bis jetzt wurden sie im Niedrigkosten-Wohnungsbau nicht angewendet.

Sein früherer Mitarbeiter, Gernot Minke, hat jedoch Forschungsarbeiten über aufblasbare Konstruktionen durchgeführt und ihre Verwendbarkeit im Billigbau studiert, kam jedoch zu dem Schluß, daß deren Anwendung im Wohnungsbau sehr begrenzt ist. Da dies ein relativ neues Gebiet ist, ist es trotzdem wahrscheinlich, daß Lösungen für den Billigwohnungsbau — sogar für Entwicklungsländer in tropischen Gebieten — zu einem späteren Zeitpunkt aus der weiteren Forschung über leichte Flächentragwerke resultieren können.

Quelle: "The Work of Frei Otto and his Teams 1955 - 1976" IL 17  
Institut für leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart.  
"Light-Weight Structures for Self-Help, Low-Cost Housing Systems"  
von Gernot Minke. Vortrag beim 3. Internationalen Symposium über Low-Cost Housing-Probleme 1974 in Montreal, Canada.

#### 4.2.13 Membrane Structures, Germany

In a study on roofing systems, membrane structures cannot be omitted. These are lightweight tent or pneumatic structures, suitable for enclosing spaces of almost unlimited shapes and sizes. They are based on the tensile properties of the membranes, cables and nets used. Structures of this nature are primarily associated with the name of Frei Otto, who founded the Institute for Lightweight Structures at the Technical University Stuttgart, and who has been involved in pioneering research and development since 1955. Most of his developments are large-scale projects, there have been no applications in low-cost housing schemes so far.

His former colleague, Gernot Minke, has however, carried out experimental work on pneumatic structures and studied their appropriateness for low-cost housing, but came to the conclusion that they have very limited application for housing. Nevertheless, since this is a relatively new field, it is likely that solutions for low-cost housing — even for developing countries in tropical areas — may at a later date be derived from further research on tensile structures.

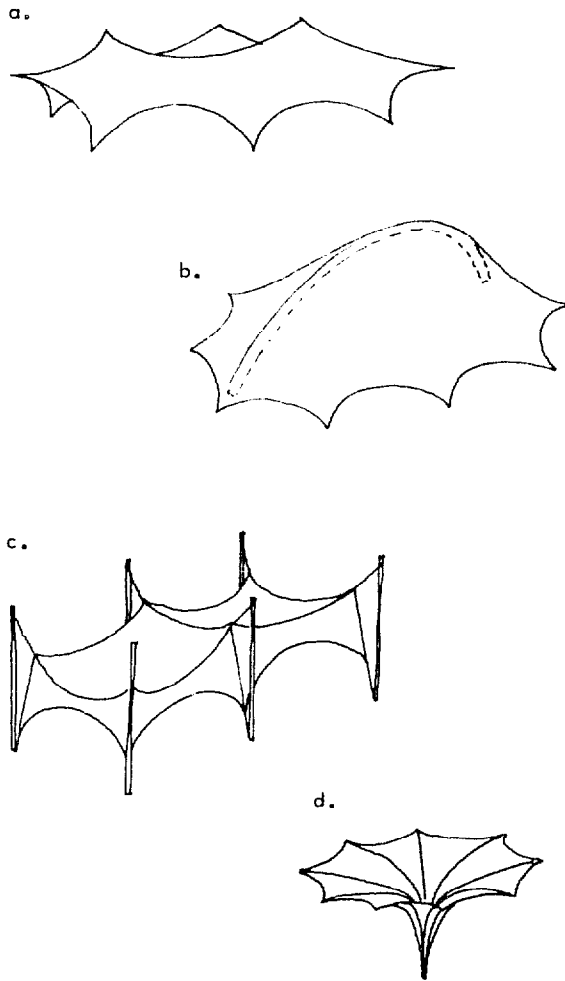
Source: "The Work of Frei Otto and his Teams 1955 - 1976" IL 17  
Institut für leichte Flächentragwerke, Universität Stuttgart.  
"Light-weight Structures for Self-Help, Low-Cost Housing Systems"  
by Gernot Minke. Paper delivered at the 3rd International Symposium on Lower-Cost Housing Problems, 1974 in Montreal, Canada.



Membran-Konstruktionen, Bundesrepublik Deutschland  
 Membrane Structures, Germany

Abb. 4.85 (a, b, c, d) Einige zugbeanspruchte Dachformen

Fig. 4.85 (a, b, c, d) Some tensile roof forms



	Unterdruck underpressure	Überdruck overpressure	Unterdruck underpressure	Überdruck overpressure
ohne zusätzliche Stabilisierung without additional stabilization				
mit zusätzlicher Punktstabilisierung with additional point-stabilization				
mit zusätzlicher linearer Stabilisierung with additional linear stabilization				
mit zusätzlicher Punkt- und linearer Stabilisierung with additional point and linear stabilization				

Abb. 4.86 Pneumatische Systeme mit Niederdruck (aus dem Vortrag von G. Minke beim "Low-Cost Housing"-Symposium in Montreal 1974)

Fig. 4.85 Low pressure pneumatic systems (taken from paper delivered by G. Minke at the low-cost housing symposium in Montreal 1974)

Faltwerk-Bauten, Großbritannien  
 Folded surface structure, United Kingdom

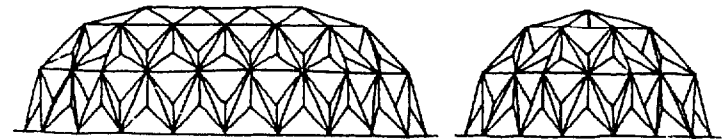
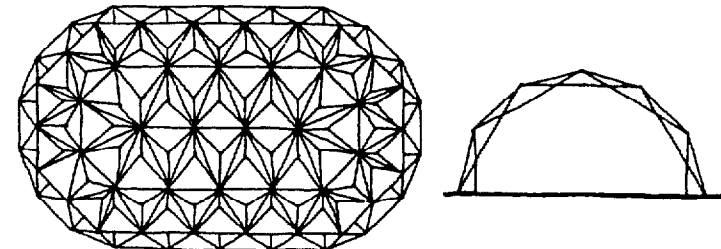


Abb. 4.87 Gewölbe mit zwei Halbkuppeln (V. Sedlak)

Fig. 4.87 Vault closed with two semi-domes (V. Sedlak)



#### 4.2.14 Faltwerk-Bauten, Großbritannien

Forschung und Entwicklung dieser kostengünstigen Gebäudehüllen wurde von Vinzenz Sedlak an der Universität Surrey, Guildford, durchgeführt. Faltsysteme können eine große Vielfalt von komplexen selbsttragenden, lastentragenden Konstruktionen erzeugen, nur durch Zusammensetzung einer kleinen Anzahl von verschiedenen flachen, dreieckigen Elementen mit geringem Elastizitätsmodul. Sie sind für die Vorfertigung bestens geeignet und können extrem biegungs- und torsionssteif sein, weshalb sie erdbebensicher sind (Notbehausungen!). Ihr Verhalten bei Stürmen ist nicht bekannt. Sie können äußerst leichtgewichtig sein, zusammenfaltbar zur leichten Handhabung bei Transport und Aufbau, und sind zum "do-it-yourself"-Bau durch ungelernete Benutzer geeignet.

Quellen: "Paper Shelters", Artikel in *Architectural Design* (Dez. 1973);  
"Folded Structural Forms — Their Geometry and Architectural Applications", Vortrag beim 3. Internationalen Symposium über Lower Cost Housing Problems 1974 in Montreal, Canada, beide von Vinzenz Sedlak.

#### 4.2.15 Abfalldächer, USA

Auf der Suche nach alternativen Lebensformen als Antwort auf die gegenwärtige Konsumgesellschaft haben Gruppen junger Leute in den letzten Jahren verschiedene Typen von "do-it-yourself"-Behausungen entwickelt, wovon viele von Abfallmaterialien Gebrauch machten. Drei Beispiele hierfür sind:

##### Drop City

Bei diesen Kuppelkonstruktionen, in willkürlicher Anordnung — wie Tropfen (Drops) — auf einer Ziegenweide in Süd-Colorado aufgebaut, wurden Abfallmaterialien von den verlassenem Häusern in der Umgebung benutzt. Die Außenhaut der abgebildeten Kuppeln besteht aus Autodächern, die mit Äxten auf die benötigten Formen und Größen zugeschnitten wurden. Die Bleche, die billig und stark sind und ausgezeichneten Oberflächenschutz bieten, wurden mit Nägeln, Schrauben oder durch Zusammenschweißen einzelner Stücke an den Holzrahmen befestigt.

Abfalldächer, USA

Garbage Roofing, USA

Abb. / Fig. 4.88 — 4.90

aus / from: Wolfgang M. Ebert, "Home Sweet Dome" (1978)

#### 4.2.14 Folded Surface Structures, United Kingdom

Research and development of these lower cost building enclosures was conducted by Vinzenz Sedlak at the University of Surrey, Guildford. Folded systems can create a large variety of complex self-supporting, load-bearing structures, only by assembling a small number of different plane triangular surface elements having low modulus of elasticity. They are ideally suited for prefabrication and can possess considerable stiffness and torsion resistance, making them safe in earthquakes (emergency housing!). Their performance in strong winds is not known. They can be extremely lightweight, collapsible for easy handling during transport and erection, allowing "do-it-yourself" construction by unskilled users.

Sources: "Paper Shelters", article in *Architectural Design* (December 1973);  
"Folded Structural Forms — Their Geometry and Architectural Applications", paper delivered at the 3rd International Symposium on Lower Cost Housing Problems, 1974 in Montreal, Canada, both by Vinzenz Sedlak.

#### 4.2.15 Garbage Roofing, U.S.A.

Groups of young people in search of alternative life-styles as an answer to present day consumer societies, have in recent years developed various types of "do-it-yourself" dwellings, many of which make use of waste materials. Three examples are:



Abb. 4.88 Drop City

Fig. 4.88 Drop City

### Einwegdosen-Haus

Aus der Tatsache heraus, daß die Menge von weggeworfenen Büchsen und Flaschen die Produktion von Ziegel- und Betonmaterialien um das Sechsfache übersteigt, werden Versuche unternommen, sie zum Bauen zu verwenden. Das abgebildete runde Haus ist ein Beispiel, das aus ungefähr 75.000 Einwegdosen hergestellt wurde. Andere benützen leere Flaschen, die auch zum Teil die Fenster ersetzen. In einigen Fällen werden die Büchsen mit Wasser gefüllt, so daß sie während des Tages Sonnenwärme speichern und diese Wärme bei Nacht abgeben.

### Freie Form

Auf einem unfruchtbaren Stück Land in Neu-Mexiko errichtet, wurde diese zeltartige Konstruktion aus Bauschutt einer nahegelegenen Geisterstadt gebaut. Vorher waren keine Pläne gemacht, die Form entwickelte sich aus den verwendeten Materialien. Aber ironischerweise wurde das Haus verlassen, nachdem es fertiggestellt war, und ist nun ein Abfallhaufen in der Wüste.

Quellen: "Home Sweet Dome" von Wolfgang Ebert, Verlag Dieter Fricke GmbH., Frankfurt/Main (1978)  
"Shelter and Society", herausgegeben von Paul Oliver, Barrie + Rockliff: The Cresset Press, London (1969)  
"Shelter", Shelter Publications, Bolinas, California (1973)

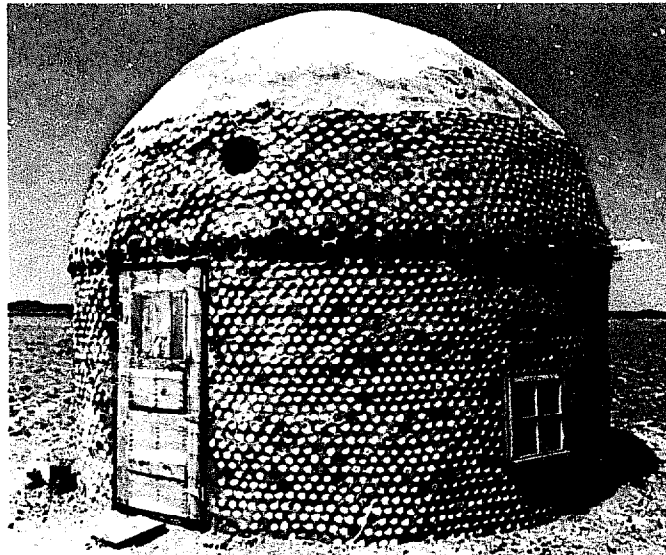


Abb. 4.89 Einwegdosen-Haus  
Fig. 4.89 Tin-can house

### Drop City

These dome-structures, built at random — like drops — on a goat pasture in southern Colorado, made use of waste materials from abandoned buildings in the area. The domes illustrated were covered with car tops, cut to required shapes and sizes with axes. The sheets, which are cheap, strong and have excellent surface protection, were attached to the wooden frame by nails, screws or even by welding pieces together.

### Tin Can House

Arising from the fact that the volume of discarded cans and bottles exceeds the production of brick and concrete materials by six times, attempts are made to use them for building. The illustrated round house is an example made of about 75.000 cans. Others use empty bottles, which also partially substitute windows. In some cases, cans are filled with water, so that they accumulate heat by solar radiation during the day and thus provide heating during the night.

### Free Form

Erected on a barren piece of land in New Mexico, this tent-like structure was built of waste building materials from a nearby ghost-town. No plans were made beforehand, the form developed out of the materials used. But ironically, this building itself was abandoned after it was finished and is now a heap of waste in the desert.

Sources: "Home Sweet Dome" by Wolfgang Ebert, Verlag Dieter Fricke GmbH, Frankfurt/Main (1978)  
"Shelter and Society" edited by Paul Oliver, Barrie + Rockliff: The Cresset Press, London (1969)  
"Shelter", Shelter Publications, Bolinas, California (1973)

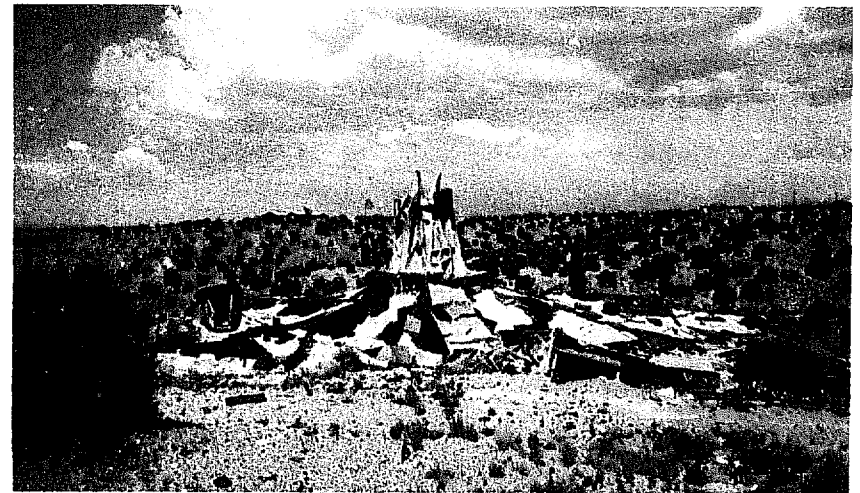


Abb. 4.90 Freie Form  
Fig. 4.90 Free form

## 5. DÄCHER IN ZENTRALAMERIKA <sup>+</sup>

### 5.1 Allgemeines

#### 5.1.1 Topographie, Klima und Naturereignisse

Geographisch erstreckt sich der zentralamerikanische Isthmus vom Tehuantepec Isthmus in Mexiko bis zum Atrato-Tiefland in Kolumbien; für die vorliegende Studie wurden jedoch nur die fünf Länder in Betracht gezogen, welche die Zentralamerikanische Wirtschaftsgemeinschaft bilden, nämlich — von Norden nach Süden — Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua und Costa Rica. Diese Länder umfassen ein Gebiet von 440 718 km<sup>2</sup>. Nachstehend die Größen der einzelnen Länder:

	<u>Gebiet (km<sup>2</sup>)</u>
Guatemala	108 889
El Salvador	21 041
Honduras	112 088
Nicaragua	148 000
Costa Rica	50 700

#### Topographie

Die Topographie der zentralamerikanischen Region ist sehr unterschiedlich; man kann sie jedoch in zwei Haupt-Topographiegebiete unterteilen:

1. Das zentrale Hochland einschließlich nördliche und südliche Gebirgsregionen, die Vulkankette am Pazifik und die damit verbundenen vulkanischen Hügel und Hochebenen, und
2. das Tiefland mit dem Petén-Gebiet von Nord-Guatemala und die pazifischen und karibischen Küstenebenen.

#### - Hochland.

Ein beachtlicher Teil von Guatemala, Honduras und Nordwest-Nicaragua wird von der nördlichen zentralamerikanischen Gebirgskette mit Erhebungen über 1000 - 4000 m über NN bedeckt. Die südliche Gebirgskette von Zentral-Costa Rica durchzieht dieses Land von Norden nach Süden und reicht bis in den westlichen Teil Panamas.

Die Vulkankette verläuft entlang einer geologischen Verwerfung, die sich fast parallel zur Pazifikküste erstreckt. Diese Kette entsteht an der Grenze zwischen Mexiko und Guatemala (Tacana Vulkan) und erstreckt sich in südöstlicher Richtung durch Guatemala bis zum Chingo-Vulkan an der Grenze zu El Salvador. Sie durchzieht El Salvador in ost-westlicher Richtung und verläuft dann südöstlich nach Nicaragua bis in den Norden von Costa Rica.

<sup>+</sup> Die Bevölkerungszahlen, Kosten und anderen sich zeitlich ändernden Daten in diesem Kapitel, sowie die Ausdrücke "gegenwärtig" oder "in diesem Jahr" beziehen sich auf das Jahr 1979.

## 5. ROOFING IN CENTRAL AMERICA <sup>+</sup>

### 5.1 General Considerations

#### 5.1.1 Topography, Climate and Natural Hazards

Geographically, the Central American Isthmus extends from the Tehuantepec Isthmus in Mexico to the Atrato lowlands in Columbia; however, for the purposes of the present study, only the five nations which make up the Central American Common Market have been considered. These include, from north to south, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua and Costa Rica. These countries represent a total land area of 440 718 square kilometers and the relative size of each is as follows:

	<u>Area (km<sup>2</sup>)</u>
Guatemala	108 889
El Salvador	21 041
Honduras	112 088
Nicaragua	148 000
Costa Rica	50 700

#### Topography

The topography of the Central American region is quite variable, but can be considered to consist of two principal topographical divisions:

1. the Central highlands including the northern and southern mountain ranges, the Pacific chain of volcanoes and the volcanic hills and plateaus associated with the chain; and
2. the lowlands which include the Petén area of Northern Guatemala and the Pacific and Caribbean coastal plains.

#### - Highlands.

A considerable portion of Guatemala, Honduras and northwest Nicaragua is covered by the northern Central American mountain range with elevations above sea level of 1000 to 4000 meters. A secondary range of lesser elevations extends from this system into El Salvador. The southern mountain range located in Central Costa Rica crosses this country from north to south and extends into the western portion of Panama.

The chain of volcanoes follows a geological fault which runs approximately parallel to the Pacific coast. This chain originates on the border between Mexico and Guatemala (Tacana Volcano) and extends in a southeast direction through Guatemala to the Chingo Volcano located on the border with El Salvador. It crosses El Salvador in an east-west direction and then turns southeast in Nicaragua extending into northern Costa Rica.

<sup>+</sup> The population figures, prices and other data given in this section which change with time, as well as the terms "present" or "in this year" refer to the year 1979.

Die früheren Vulkantätigkeiten in dieser Region bildeten viele vulkanische Hügel und Hochebenen sowie weite Täler mit vulkanischem Gestein. Einige wichtigere Bevölkerungszentren liegen in diesen Tälern, z. B. Quetzaltenango, Guatemala; Santa Ana, El Salvador und San José, Costa Rica.

- Tiefland.

Tiefenebenen erstrecken sich entlang der gesamten pazifischen und karibischen Küste von Zentralamerika und sind im allgemeinen nicht höher als 200 m mit entweder flacher oder leicht ansteigender Topographie. Diese Tiefenebenen entstanden in einigen Gebieten durch angeschwemmte Ablagen und in anderen Gebieten durch Erosion älterer Felsbildungen.

Das nördliche Petén-Gebiet von Guatemala ist ein weites, flaches, stark bewaldetes Tiefland, welches fast 50% des gesamten Landes ausmacht, mit jedoch nur einem Prozent seiner Einwohner. Die niedrige Bevölkerungszahl liegt zum großen Teil an dem landwirtschaftlich wenig ertragreichen Gebiet mit einer dünnen Schicht Mutterboden auf porösem Kalkuntergrund.

#### Vegetation

- Karibische Küstenebene.

Die dünn besiedelte karibische Küstenebene ist das Gebiet, welches gegenwärtig die weitest ausgedehnten Wälder von Zentralamerika hat, besonders entlang der Küste von Nicaragua und im Petén-Gebiet von Guatemala, wo man die Vegetation im allgemeinen als tropischen Regenwald einordnen kann. Diese Wälder bestehen aus großen, breitblättrigen Laubbäumen mit kleineren Bäumen, Büschen und Schattengewächsen als Unterholz.

Entlang der Karibikküste besteht die landwirtschaftliche Aktivität hauptsächlich im Anbau von Bananen in Costa Rica, Honduras und, in geringerem Umfang, in Guatemala. In Honduras findet man auch Plantagen mit afrikanischen Palmen, die zur Speiseölgewinnung kultiviert werden. Kokosnußpalmen wachsen überall in diesem Gebiet, werden jedoch kaum zu kommerziellen Zwecken kultiviert.

- Zentrales Hochland.

Pinien, Zypressen und verschiedene Arten von Laubbäumen bilden die natürlichen Wälder des zentralamerikanischen Hochlands. Die größten Pinienwälder befinden sich zur Zeit in Honduras, wo Pinienholz ein wichtiger Exportartikel ist. Ausnahmen gibt es in kleinen Gebieten von Nicaragua und Honduras und in einem Gebiet von etwa 300 km<sup>2</sup> in Zentral-Guatemala, wo wegen der geringen Niederschläge eine wüstenähnliche Vegetation von Zwergbäumen, Kakteen und anderen Dürre-unempfindlichen Pflanzen entstanden ist.

Es ist der großen Bevölkerungsdichte in den Hochland-Gebieten zuzuschreiben, daß ein großer Teil des natürlichen Waldes vernichtet und das Land für landwirtschaftliche Zwecke genutzt wurde. Es ist dasjenige Gebiet, wo man die meisten Kleinfarmen (milpas) findet, welche Korn, Bohnen und Gemüse pflanzen, was oft nur als Existenzminimum reicht.

Kaffeeplantagen bilden den Hauptanteil der landwirtschaftlichen Produktion in den Hochlandgebieten. Diese Plantagen haben waldähnlichen Charakter, da Kaffee gewöhnlich im Schatten von Laubbäumen wächst. Andere für den Verkauf be-

The past volcanic activity in this region has resulted in the formation of many volcanic hills and plateaus as well as wide valleys filled with volcanic materials. Some of the more important population centers are located in these valleys, for example: Quetzaltenango, Guatemala; Santa Ana, El Salvador and San José, Costa Rica.

- Lowlands.

Lowland plains extend along the entire Pacific and Caribbean coastlines of Central America and are generally of elevations less than 200 m with either flat or gently sloping topography. These lowlands were formed in some areas by alluvial deposits, and in others, by erosion of the older rock formations.

The northern Petén area of Guatemala is an extensive flat heavily forested lowland region which accounts for almost 50 per cent of the nation's land area, but only one per cent of its inhabitants. The low population figure is due in great part to the poor agricultural potential of this area, which possesses a very thin layer of topsoil covering a porous limestone base.

#### Vegetation

- Caribbean coastal plain.

The sparsely populated coastal plain is the region which presently contains the largest forest extensions in Central America, particularly along the Nicaraguan coast and in the Petén area of Guatemala where the vegetation can be generally classified as a tropical rain forest. These forests consist of tall broad-leaved deciduous trees with an undergrowth of smaller trees, bushes and shade-growing plants.

The major agricultural activity along the Caribbean coast is the cultivation of bananas in Costa Rica, Honduras and, to a lesser extent, Guatemala. Plantations of African palm trees grown as a source of edible oil, also are found in Honduras. Coconut palms grow throughout the region, but rarely are cultivated for commercial purposes.

- Central highlands.

Pine, cypress and various species of deciduous trees make up the natural forests of the Central American highlands. The largest pine forests today are located in Honduras, where pine lumber is an important export product. Exceptions are formed in small areas in Nicaragua and Honduras and in an area of about 300 square kilometers in Central Guatemala, where conditions of low rainfall have resulted in a desertlike vegetation of dwarf trees, cactus and other drought-resistant plants.

Due to the high population density of the highland regions, much of the natural forest has disappeared and the land converted to agricultural use. This is the region where most mini-farms (milpas) are found, producing corn, beans and vegetables, often at a subsistence level.

Coffee plantations represent the most important large scale agricultural activity in the highlands. These plantations exhibit some forestlike characteristics since coffee is grown in shade usually provided by deciduous trees. Other commercial highland crops include wheat, sorghum, peanuts, highland rice and a great va-

stimmte Hochland-Produkte sind Weizen, Sorghum, Erdnüsse, Hochland-Reis und eine Vielfalt von Früchten und Gemüse.

- Pazifische Küstenebene.

Obwohl das Klima der pazifischen Küstenebene demjenigen der karibischen Küste ähnelt, hat diese Region eine viel größere Bevölkerungsdichte und Vielfalt, was die landwirtschaftlichen Möglichkeiten betrifft, aufgrund ihres fruchtbaren Bodens und der kürzeren Entfernung zu den wichtigsten Bevölkerungszentren des Hochlands. In diesem Gebiet gibt es noch einige Wälder, aber man kann sagen, daß es praktisch fast ausschließlich aus Ackerland besteht. Hauptsächlich wird das Land für Viehzucht und die Herstellung von Baumwolle, Zuckerrohr und Tiefland-Kaffee genutzt. Die afrikanische Palme wird in großem Ausmaß an der Pazifikküste von Costa Rica gepflanzt; Gummiplantagen gibt es in Guatemala. Reis, Getreide, Früchte und Gemüse werden ebenfalls in der Küstenebene erzeugt.

riety of fruits and vegetables.

- Pacific coastal plain.

Although the climate of the Pacific coastal plain is similar to that of the Caribbean coast, this region has a much greater population and variety of agricultural activities due to its more fertile soil and greater proximity to the major highland population centres. Few forests still exist in the region, and for practical purposes it can be considered to consist almost exclusively of farmland. The major land use is for cattle raising and the production of cotton, sugar cane and lowland coffee. The African palm is cultivated extensively on the Pacific coast of Costa Rica, and rubber plantations exist in Guatemala. Rice, grains, fruits and vegetables also are produced on the coastal plain.



Abb. 5.1 ZENTRALAMERIKA : Topographische Karte mit pazifischer Vulkankette

Fig. 5.1 CENTRAL AMERICA : Topographical map showing Pacific chain of volcanoes

### Klima

Das Klima der gesamten zentralamerikanischen Region kann im allgemeinen als tropisch bezeichnet werden, mit ziemlich exakt zu bestimmenden Regen- und Trockenzeiten.

Örtlich wird das Klima in drei Kategorien aufgeteilt: heiß, gemäßigt oder kalt, hauptsächlich je nach Höhenlage. Das "heiße" Klima mit Durchschnittstemperaturen zwischen 23 und 32°C herrscht im Tiefland vor bis zu einer Höhe von ca. 800 - 900 m, es umfaßt beide Küstenebenen, Süd-Mittel-Nicaragua und das Petén-Gebiet von Guatemala. Das gemäßigte Klima (Durchschnittstemperatur 17 - 23°C) findet man gewöhnlich bei 900 - 1900 m Höhe, während das "kalte" Klima mit Temperaturen unter 17°C in darüberliegenden Höhenlagen anzutreffen ist. Die niedrigste Temperatur in Zentralamerika (5°C) wurde am Gipfel des Tajumulco-Vulkans in Guatemala gemessen.

### Climate

The climate of the entire Central American region generally can be considered as tropical, with fairly clearly defined rainy and dry seasons.

Locally, climate is classified in three categories: hot, temperate or cold, depending principally upon land elevation. The "hot" climate with average temperatures between 23 and 32°C prevails in the lowlands up to elevations of about 800 - 900 m, including both coastal plains, south-central Nicaragua and the Petén area of Guatemala. The temperate climate (average temperature of 17 to 23°C) is usually found at elevations of 900 to 1900 m; while "cold" climates with temperatures below 17°C occur at still higher elevations. The lowest temperature in Central America (5°C) was measured at the summit of the Tajumulco Volcano in Guatemala.

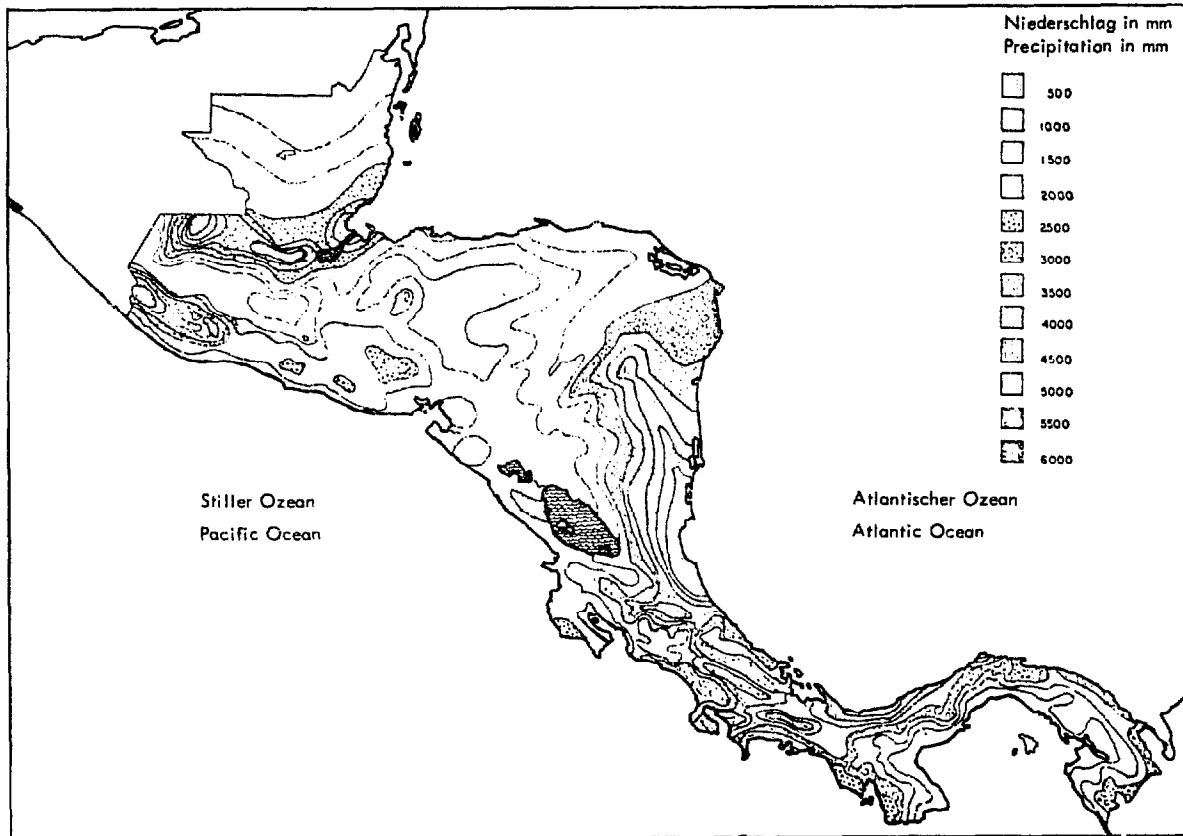


Abb. 5.2 ZENTRALAMERIKA : Jahresniederschlagsmenge

Fig. 5.2 CENTRAL AMERICA : Annual precipitation

Ziemlich strenge Nordwinde sind in den Hochlandregionen von Guatemala, Honduras und Nord-Nicaragua normal aufgrund des Durchzugs polarer Luftmassen durch Nordamerika während der Wintermonate. Weil Mittelamerika auch eine schmale und sehr gebirgige Landenge ist, findet man in den Küstengebieten viele verschiedene Windbedingungen sowohl im Seebereich wie auf dem Land.

Obwohl es örtliche Unterschiede gibt, ist die Regenzeit für alle zentralamerikanischen Länder ziemlich die gleiche; sie beginnt im Mai und erstreckt sich bis in den Oktober. Regen fällt normalerweise als tropische Wolkenbrüche, die sehr oft von Gewittern begleitet sind. Hagelstürme ereignen sich in Hochlandgebieten, und Wirbelstürme streifen gelegentlich die nördliche karibische Küste in den Monaten September und Oktober.

Die jährliche Regenmenge ist in der Region sehr unterschiedlich. Die Gebiete mit der niedrigsten Regenmenge (weniger als 1000 mm) liegen in den Hochländern von Guatemala und Honduras. Der meiste Regen fällt an der Karibikküste von Nicaragua mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von bis zu 6.000 mm.

#### Naturereignisse

Die in Zentralamerika vorherrschenden Naturereignisse umfassen Erdbeben und Vulkanausbrüche sowie Wirbelstürme, Hagelstürme und Überschwemmungen während der Regenzeit.

##### - Erdbeben.

Erdbeben stellen die größte Gefahr für Leben und Besitz dar. In diesem Jahrzehnt erlebte Zentralamerika die folgenden beiden Katastrophen:

1. Am 23. Dezember 1972 wurden 60% der Stadt Managua, Nicaragua, durch ein heftiges Erdbeben zerstört; es gab über 14.000 Tote und nahezu 200.000 Obdachlose.
2. Am 4. Februar 1976 verwüstete eine Serie von Beben in Guatemala, mit einer Stärke von 7.6 auf der Richterskala, weite Gebiete der Republik und berührte 20 der 22 Departments. Mehr als 24.000 Menschen verloren ihr Leben, und über 1.200.000 wurden obdachlos.

---

#### Auf den Seiten 98 und 99 :

(beide Fotos aus El Progreso / Guatemala)

Abb. 5.3 Typischer Erdbebenschaden mit sichtbarem Ringbalken, der den Einsturz des Hauses verhinderte: Adobe-Mauerwerk, Holzringbalken, verzinktes Wellblechdach.

Abb. 5.4 Notbehausungen nach dem Erdbeben (vom Roten Kreuz bereitgestellt): Holzrahmen und -wandkonstruktion, verzinktes Wellblechdach.

Fairly strong northerly winds are common in the highland regions of Guatemala, Honduras and northern Nicaragua, as a result of the effect of the movement of polar air masses across North America during the winter months. Also, since Central America is a narrow and very mountainous isthmus, many variable sea and land breeze conditions are found in coastal areas.

Although local variations exist, the rainy season for all of the Central American nations is roughly the same, starting in May and extending through October. Rainfall usually is in the form of tropical cloudbursts often accompanied by thunder and lightning. Hailstorms occur in highland areas, and hurricanes occasionally strike the northern Caribbean coast in the months of September and October.

The amount of annual precipitation varies widely throughout the region. The areas of lowest rainfall (less than 1000 mm) are found in the Guatemalan and Honduran highlands. Heaviest rainfall occurs on the Caribbean coast of Nicaragua where the annual precipitation reaches a maximum of 6000 mm.

#### Natural hazards

The climatic and seismic hazards prevalent in Central America include earthquakes and volcanic eruptions as well as hurricanes, hailstorms and floods during the rainy season.

##### - Earthquakes.

Earthquakes represent the greatest hazard to life and property. During the present decade, Central America has experienced the following two catastrophes:

1. On December 23, 1972, 60% of the city of Managua, Nicaragua, were destroyed by a violent earthquake which resulted in over 14 000 deaths, and approximately 200 000 persons homeless.
2. On February 4, 1976, a series of tremors in Guatemala, starting with one of Richter 7.6, devastated large areas of the Republic, affecting 20 of the 22 Departments. Over 24 000 persons were killed, and more than 1 200 000 left without homes.

---

#### On pages 98 and 99 :

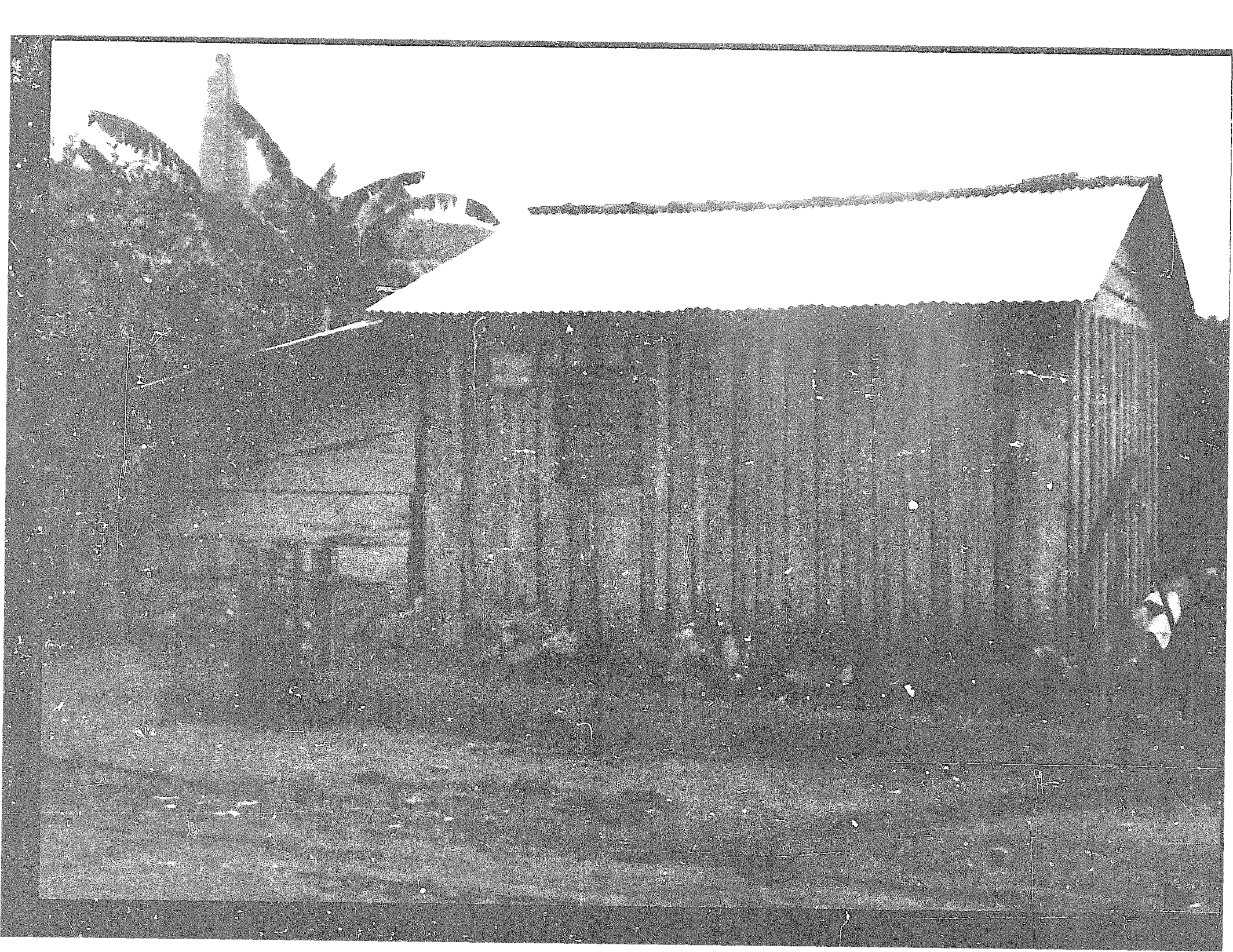
(both photos from El Progreso / Guatemala)

Fig. 5.3 Typical earthquake damage, showing the ring beam which prevented collapse of the building: adobe walls, timber ring beam, corrugated galvanized iron roof.

Fig. 5.4 Post-earthquake emergency dwellings (supplied by the Red Cross): timber framework and walls, corrugated galvanized iron roof.







Zusätzlich zu den unheilvollen Erdbeben wird das Gebiet fast ständig von weniger starken Beben erschüttert. Guatemala berichtet über jährlich ca. 300 Beben, wovon ca. 1% gefährlich sein kann. Am 9. Oktober 1979 herrschte im Department of Santa Rosa ein Beben (Richter 5.8), welches über 200 Häuser zerstörte. Alle hatten Adobe- oder Bajareque-Wände, 75% Ziegeldächer und 25% Zinkblechdächer.

Seit dem letzten Erdbeben haben viele zentralamerikanische Regierungen die örtlichen Bauvorschriften verschärft, indem sie viele Anforderungen aus den strengen Bauvorschriften des Staates Californien, USA, übernahmen. Dies betrifft jedoch hauptsächlich den Bau von öffentlichen und kommerziellen Gebäuden in den größeren Städten. In den ländlichen Gebieten von Guatemala, wo es keine Bauvorschriften gibt, haben verschiedene Organisationen die örtliche Bevölkerung über sichere Bautechniken für Häuser mit Adobewänden unterrichtet, indem sie empfohlen, Zinkblechdächer oder Asbestzementdächer statt der gefährlicheren Ziegeldächer anzuwenden.

- **Vulkanausbrüche.**

Außer in Honduras ereignen sich Vulkanausbrüche in allen zentralamerikanischen Ländern. Obwohl der unmittelbare Schaden nur ein kleines Gebiet betrifft, können Sand und Asche des Ausbruchs beträchtliche Flächen bedecken und somit die Ernte vernichten und aufgrund der Ablagerungen auf den Dächern Häuser beschädigen. In nur wenigen Fällen brach Feuer aus durch die heiße Vulkanasche, die auf Strohdächer fiel.

- **Wirbelstürme.**

Tropische Stürme mit 35 - 65 Knoten Geschwindigkeit und Wirbelstürme (Windgeschwindigkeit über 65 Knoten) treffen gelegentlich die nördliche karibische Küstenlinie und in der Hauptsache die Küsten von Honduras. Der letzte Wirbelsturm war Fifi (14. September 1974), der etwa 5.000 Menschenleben kostete und 100.000 Personen obdachlos machte.

- **Hagelstürme.**

Hagelstürme ereignen sich in ganz Zentralamerika, meistens zwischen Mitte April und Mitte Juni. Obwohl sie in erster Linie der Ernte schaden, können sie auch Dachziegel beschädigen. Strohdächer werden davon nicht betroffen.

- **Überschwemmungen.**

Überschwemmungen während der Regenzeit ereignen sich meist in der pazifischen Küstenebene, es gibt aber auch Überflutungen in Hochlandgebieten durch übertretende Flüsse. Überschwemmungen stellen eine gewisse Gefahr für Häuser dar, jedoch nicht direkt für die Dächer.

In addition to the disastrous earthquakes, the region is almost constantly subjected to tremors of lesser magnitude. Guatemala annually reports about 300 tremors, about 1% of which can be hazardous. On October 9 of this year, a tremor (Richter 5.8) occurred in the Department of Santa Rosa, resulting in the destruction of over 200 homes. All had adobe or bajareque walls, 75% with clay tile roofs and 25% with galvanized steel.

Since the recent earthquakes, many Central American Governments have tightened local building codes, adopting many of the requirements stipulated in the stringent building code of the State of California, U.S. This, however, affects principally the construction of public and commercial buildings in the larger cities. In the rural areas of Guatemala, where building codes do not exist, various organizations have been instructing the local population in safer construction techniques for adobe-walled houses and recommending the use of galvanized steel or asbestos-cement roofing instead of the more dangerous clay tile.

- **Volcanic eruptions.**

Volcanic eruptions occur in all of the Central American nations, except Honduras. Although the direct hazard only involves a very small area, sand and ash from the eruption can cover considerable extensions, causing damage to crops and occasionally representing a hazard to housing due to the accumulation of debris on the roof. Few cases are known of fires caused by hot volcanic ash falling on thatch roofs.

- **Hurricanes.**

Tropical storms with winds of 35 to 65 knots and hurricanes (windspeed over 65 knots) occasionally strike the northern Caribbean coastline, principally affecting the coast of Honduras. The last hurricane to strike this region was Hurricane Fifi (September 14, 1974) which caused about 5000 deaths and left 100 000 persons homeless.

- **Hailstorms.**

Hailstorms occur throughout Central America, usually between mid-April and mid-June. Although primarily a hazard to crops, hailstones can damage clay roof tiles. Thatch roofs are not affected.

- **Floods.**

Flooding during the rainy season occurs most frequently on the Pacific coastal plain, but there also is some localized flooding in highland areas caused by swollen rivers. Floods obviously represent some hazard to housing, but do not directly affect roofs.

### 5.1.2 Bevölkerung, Kultur und Traditionen

Die Gesamtbevölkerung der fünf zentralamerikanischen Länder beträgt zur Zeit etwa 20 Millionen und wird im Jahre 2000 voraussichtlich 35 Millionen betragen. Die für 1980 geschätzte Bevölkerungszahl teilt sich auf die verschiedenen Länder wie folgt auf:

Land	Personen in Tausend	Prozent
Costa Rica	2.286	11,26
El Salvador	4.813	23,71
Guatemala	6.940	34,18
Honduras	3.595	17,71
Nicaragua	2.669	13,14
Insgesamt	20.303	100,00

### 5.1.2 Population, Culture and Traditions

The total population of the five Central American countries presently is about 20 million, and is expected to reach 35 million inhabitants in the year 2000. The population per country estimated for 1980 is as follows:

Country	Thousands of Persons	Percent
Costa Rica	2 286	11.26
El Salvador	4 813	23.71
Guatemala	6 940	34.18
Honduras	3 595	17.71
Nicaragua	2 669	13.14
Total	20 303	100.00

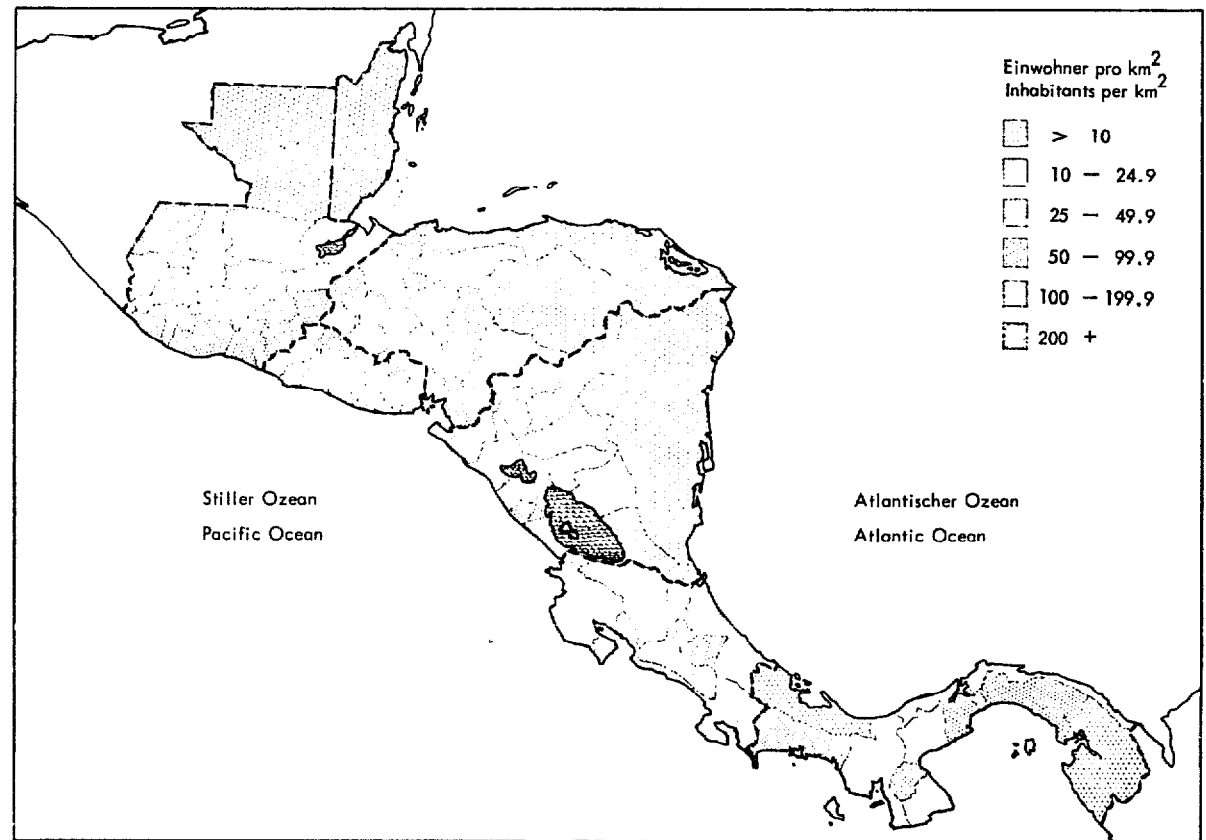


Abb. 5.5 ZENTRALAMERIKA : Bevölkerungsdichte  
Fig. 5.5 CENTRAL AMERICA : Population density

Da die gesamte Fläche dieser Region etwa 440.000 km<sup>2</sup> umfaßt, stellen die oben genannten Zahlen eine durchschnittliche Bevölkerungsdichte von 46 Bewohnern/km<sup>2</sup> dar. Die Bevölkerung ist jedoch nicht gleichmäßig über das Land verteilt, sondern hauptsächlich auf das zentrale Hochland und die Pazifikküste konzentriert. Weite Gebiete entlang der Atlantikküste und im nördlichsten Department von Guatemala (El Petén) sind sehr dünn besiedelt.

Ackerbau ist die wirtschaftliche Hauptaktivität in allen fünf zentralamerikanischen Ländern. Nur ca. 30% der regionalen Bewohner werden der städtischen Bevölkerung zugerechnet (1); die restlichen 70% leben in ländlichen Gebieten, die meisten davon sind hauptsächlich im Ackerbau beschäftigt. Dies sind Kleinbauern, die vorwiegend Getreide und Bohnen erzeugen, wandernde Landarbeiter, die zur Erntezeit auf großen Plantagen angestellt werden (Kaffee, Zuckerrohr, Baumwolle, Bananen), und ständige Angestellte der großen Plantagen. Der letzteren Gruppe wird vom Plantagenbesitzer die Wohnung gestellt, die aus leicht zu installierenden vorgefertigten Materialien für die Dachdeckung (Zinkblech oder Asbestzement) bestehen. Die Mehrzahl der übrigen ländlichen Bevölkerung baut ihre Häuser mit traditionellen Materialien.

Die ethnische Aufteilung der Bevölkerung ist in El Salvador, Honduras und Nicaragua ähnlich, mit "ladinos" (indianisch-europäische Mischung), die ungefähr 85% der zusammengesetzten Bevölkerung dieser drei Länder ausmachen. Die übrige Bevölkerung umfaßt Personen europäischen Ursprungs, Indianer, und einen kleinen Prozentsatz farbiger Einwanderer von den karibischen Inseln.

Guatemala unterscheidet sich von den anderen Ländern etwas dadurch, daß mehr als 50% der Bevölkerung sich aus Indianern mit Maya-Quiché-Ursprung zusammensetzen, die immer noch ihre eigenen Bräuche und ihre Sprache aufrechterhalten. Auf der anderen Seite hat Costa Rica einen unbedeutenden Anteil an indianischer Bevölkerung, und die große Mehrheit seiner Bewohner ist europäischen Ursprungs.

Die Verschmelzung indianischer und europäischer (spanischer) Kulturen brachte zwei Typen traditioneller Dachdeckung hervor, die heute in ländlichen Gebieten Zentralamerikas, außer Costa Rica, vorherrschen. Dieses sind Stroh- oder Palmblatt-Dächer auf Pfosten- oder Bambus-Unterbau, die man vor allem in indianischen Dörfern sieht, und das rote Tonziegeldach, das von spanischen Siedlern eingeführt wurde.

Von den beiden oben genannten Systemen wird das Tonziegeldach sozial höher eingestuft, obwohl herunterfallende Ziegel während des Erdbebens in Guatemala im Jahre 1976 viele Menschen töteten. Dieser Dach-Typ ist optisch attraktiv und relativ frei von Insekten, was bei Strohdächern problematisch ist. Seine relativ hohen Kosten halten jedoch viele ländliche und städtische Bewohner von seinem Gebrauch ab.

In Costa Rica, dem Land mit dem höchsten Pro-Kopf-Einkommen in Zentralamerika, haben vorgefertigte Dachdeckungsmaterialien die traditionellen Systeme weitgehend verdrängt. Man findet jedoch immer noch einige Ziegel- und Strohdächer in diesem Land.

(1) Bewohner von Städten mit 10.000 oder mehr Einwohnern

Since the total land area of this region is approximately 440 000 square kilometers, the above figure represents an average population density of 46 inhabitants/square kilometer. However, in fact the population is not distributed evenly throughout the region, but is concentrated principally in the Central highlands and on the Pacific coast. Large areas along the Atlantic coast and in the northernmost department of Guatemala (El Petén) are very sparsely populated.

Agriculture is the primary economic activity in all five of the Central American nations. Only about 30 percent of the regional inhabitants are classified as urban dwellers (1); the remaining 70% live in rural zones with the vast majority engaged in agricultural activities. These include permanent small farmers producing principally corn and beans, itinerant farm workers who are employed by large plantations at harvest time (coffee, sugar cane, cotton, bananas), and the permanent employees of the large plantations. This latter group frequently is provided with housing by the plantation owner, usually using easily installed manufactured materials for roofing (galvanized steel or asbestos cement). The majority of the rest of the rural population build their own homes using traditional materials.

The ethnic distribution of the population is similar in El Salvador, Honduras and Nicaragua, with "ladinos" (mixture of Indian and European) representing about 85% of the combined population of the three countries. The remainder includes persons of European extraction, Indians and a small percentage of black immigrants from the Caribbean Islands.

Guatemala differs from the other countries in that slightly more than 50% of the population is made up of Indians of Maya-Quiché descent who still maintain their own customs and language. Costa Rica, on the other hand, has an insignificant Indian population, and the great majority of its inhabitants are of European extraction.

The merging of the Indian and European (Spanish) cultures has resulted in two types of traditional roofing systems which today predominate in rural Central America, except for Costa Rica. These include the straw or palm leaf thatch roof, supported by a pole or bamboo substructure, which is very common in Indian villages, and the red clay tile roof which was introduced by the Spanish settlers.

Of the above two traditional systems, the clay tile roof has the higher degree of social acceptability, despite the fact that falling tiles were considered to be responsible for some deaths during Guatemala's 1976 earthquake. This type of roof is visually attractive and relatively free of the insect problem associated with thatched roofs. Its higher relative cost, however, prevents its use by many of the rural and urban poor.

In Costa Rica, the Central American nation with the highest per capita income, manufactured roofing materials have largely substituted the traditional systems. However, some clay tile and thatched roofs are still found in this country.

(1) Residents of cities with population of 10 000 or more.

### 5.1.3 Baumaterialien

Die in Zentralamerika verfügbaren Materialien, die gegenwärtig zum Hausbau verwendet werden, umfassen natürliche Materialien wie Ton, Stroh und Bambus, die von den Armen auf Feldern gesammelt werden; Tondachziegel und gebrannter Kalk, der von einfacher ländlicher Industrie hergestellt wird, Sägewerk-Holz und eine Anzahl moderner Baumaterialien, die von größeren Betrieben hergestellt werden, welche normalerweise in den größeren Städten angesiedelt sind.

#### Natürliche Materialien

Obwohl sie augenblicklich nicht direkt als Dachdeckungsmaterial verwendet wird, ist Erde wahrscheinlich das wichtigste natürliche Material aufgrund seiner Bedeutung für die Herstellung von Adobeblocken, einem der wichtigsten in Zentralamerika angewandten Wandkonstruktionsmaterialien. Erde wird auch in Verbindung mit Holzpfehlern, Rohr oder Bambus zur typischen "bajareque"-Wandkonstruktion verwendet, die man vor allem in indianischen Dörfern vorfindet.

Die natürlichen Materialien, welche für Strohdächer verwendet werden, sind verschieden, je nach Vorkommen natürlicher Vegetation in verschiedenen geographischen Zonen. Palmblätter werden meist sowohl in atlantischen als auch in pazifischen Küstenregionen verwendet. Im zentralen Hochland ist Stroh von verschiedenen grasähnlichen Pflanzen (1), die in diesen Gebieten reichlich vorhanden sind, das wichtigste Material. Bambus oder Pfähle aus Ästen oder kleinen Bäumen dienen als Unterkonstruktion für die Strohdächer.

Dächer dieses Typs werden hauptsächlich gebaut von Landbewohnern, die aus wirtschaftlichen Gründen keine vorgefertigten Materialien kaufen können, und machen einen bedeutenden Prozentsatz der gesamten Dachkonstruktionen in Zentralamerika aus, ausgenommen Costa Rica. Das Strohdach hat den Vorteil der niedrigen Kosten aufgrund der Verwendung von örtlichen Materialien, es hält das Hausinnere kühl und hält dem Aufprall von harten Gegenständen stand.

Seine Hauptnachteile liegen darin, daß sich Insekten oder Nagetiere einnisten, der Unterhaltungsaufwand groß und das Material nicht feuerbeständig ist.

#### Von kleinen ländlichen Betrieben hergestellte Materialien

Rote Tondachziegel werden in kleinen primitiven Brennöfen überall in Zentralamerika hergestellt. Nach einer kürzlichen ICAITI-Untersuchung arbeiten im Augenblick über 3.800 dieser Unternehmen in dem Gebiet. Kalk wird auch in ähnlichen ländlichen Einrichtungen hergestellt und hauptsächlich als Kalk-Sand-Mörtel für den Innenputz verwendet.

Die Tonziegel sind, wie vorher erwähnt, das beliebteste Dachdeckungsmaterial in vier der fünf zentralamerikanischen Länder, besonders im zentralen Hochland. Wegen der starken Vermehrung der kleinen Fabrikationsbetriebe und des fast vollständigen Fehlens von Produktionskontrollen, können Qualität und Abmessungen der ört-

(1) z. B. pajón (*Epicampes macroura*)

### 5.1.3 Building Materials

The materials available in Central America, which are currently used for housing construction, include natural materials such as clay, straw and bamboo which are gathered by the rural poor in the field, clay roof tiles and quicklime produced by primitive rural industries, sawmill lumber and a number of modern construction materials manufactured by larger industries usually located in the principal cities.

#### Natural materials

Although not presently used directly for roofing applications, earth or clay probably is the most important natural material because of its role in the fabrication of adobe blocks, one of the principal wall construction materials in use in Central America. Earth also is used in conjunction with wooden poles, canes or bamboo in the typical "bajareque" wall construction usually found in Indian villages.

The natural materials used for thatched roofs vary depending upon the type of vegetation available in different geographical zones. Palm leaves are used most frequently in both Atlantic and Pacific coastal regions. In the central highlands, straw obtained from various grasslike plants (1) which abound in these regions is the principal material. Bamboo or poles cut from branches or small trees serve as support members for the thatched roof.

Roofs of this type are constructed principally by rural inhabitants unable for economic reasons to purchase manufactured materials, and represent a significant percentage of total roof construction throughout Central America, except Costa Rica. The thatch roof has the advantage of low cost through the use of locally available materials, tends to maintain the house interior cool and resists the impact of solid objects. Its chief disadvantages lie in its tendency to become infested with insects or rodents, its relatively high maintenance requirements and lack of fire resistance.

#### Materials Produced by Small Rural Industries

Red clay roofing tiles are produced in small primitive kilns throughout Central America. According to a recent ICAITI survey, over 3 800 of these enterprises currently operate in the region. Lime also is produced in similar types of rural installations and is used primarily in lime-sand mortar for interior finishing.

The clay tiles, as mentioned previously, represent the most popular roofing material in four of the five Central American countries, especially in the central highlands. Due to the wide proliferation of the small manufacturing enterprises and the almost complete lack of production controls, the quality and dimensions of local roof tiles can vary considerably. The most common tile is the curved variety known locally as

(1) i.e. pajón (*Epicampes macroura*)

lichen Dachziegel beträchtlich variieren. Der gebräuchlichste Dachziegel ist die gebogene Ausführung, örtlich als spanischer oder arabischer Ziegel bekannt (Mönch- und Nonnen-Ziegel), der 40 cm lang, an einem Ende 18 cm und am anderen 14 cm breit ist und durchschnittlich 2,07 kg wiegt. Da man etwa 30 Ziegel benötigt, um 1 m<sup>2</sup> Dachfläche zu bedecken, beträgt alleine das Materialgewicht für diesen Dach-Typ ca. 62,05 kg/m<sup>2</sup>.

Gegenwärtig werden diese Dachziegel für \$ 0.15 verkauft. Der qm-Preis für die Dachdeckung beläuft sich somit auf ca. \$ 4.50.

Das Ziegeldach ist leicht anzubringen und zu reparieren, hat eine relativ lange Lebensdauer und sorgt für eine gleichmäßigere Innentemperatur des Hauses. Es ist optisch attraktiv und erfreut sich bei den Bewohnern großer Beliebtheit.

Die Nachteile dieses Dachtyps liegen in seinem übermäßigen Gewicht, das eine schwerere Unterkonstruktion erfordert, und in der Tendenz, aufgrund von Verschiebungen einzelner Ziegel Lecks zu bilden. Auch sind die Ziegel leicht zerbrechlich, und bei Erdbeben können herunterfallende Ziegel den Bewohnern gefährlich werden.

#### Industriell gefertigte Materialien

Die wichtigeren Materialien, die in Zentralamerika industriell hergestellt werden, sind Portland-Zement, Löschkalk, Zementblöcke, gebrannte Tonziegel, Holz (Pinienn und Harthölzer), verzinkte Stahl- und Asbestzementplatten.

Sperrholz und Preßspanplatten werden in dieser Region ebenfalls hergestellt, werden in der Bauindustrie jedoch hauptsächlich für leichte Trennwände und abgehängte Decken verwendet. Wellplatten aus fiberglasverstärktem Plastik sind ebenfalls verfügbar, aber wegen ihrer relativ hohen Kosten und kurzen Lebensdauer in erster Linie aufgrund ihrer Lichtdurchlässigkeit zur Überdeckung von Patios verwendet, wo Zierpflanzen gezogen werden.

#### - Portland-Zement.

Portland-Zement für Beton wird in allen zentralamerikanischen Ländern hergestellt. Moderne Betonherstellung ist in dem Gebiet wohlbekannt. Sand und Kies sind reichlich verfügbar, und jedes Land hat wenigstens ein Walzwerk zur Herstellung von Bewehrungsseisen. Gegossene Betondächer werden für die meisten öffentlichen und Verwaltungsbauten verwendet, ebenso für höher standardisierte private Wohnhäuser.

Der gegenwärtige offizielle Preis (ab Werk) pro Zementsack (42,5 kg) liegt zwischen \$ 2.10 und \$ 2.29 überall in Zentralamerika. Eine kürzliche Knappheit in Guatemala hat jedoch die Preise auf durchschnittlich ca. \$ 4.00 hochgetrieben. Zusätzliche Transportkosten können in ländlichen Gebieten einen Preis von mehr als \$ 5.00 pro Sack Zement zur Folge haben.

Das gegossene Betondach ist das teuerste in Zentralamerika angewendete Dachdeckungssystem. Die geschätzten Kosten pro m<sup>2</sup> betragen zur Zeit \$ 27.00. Darüber hinaus tragen die erforderlichen Stützpfiler dazu bei, daß die Gesamtbaukosten steigen. Die Vorteile dieser Dachdeckungsart sind deren extrem lange Lebensdauer, ihre Resistenz gegen Beschädigung durch harte Gegenstände, Wasserundurchlässigkeit, Feuerfestigkeit und gute Wärmeisolierung.

Viele der örtlichen Zementfabriken stellen auch Löschkalk her für Wandputz.

Spanish or Arabian tile, which has a length of 40 cm, maximum and minimum widths, respectively, of 18 and 14 cm, and an average weight of 2.07 kg. Since about 30 tiles are required to cover one square meter of roof surface, the material weight alone for this type of roof is about 62.05 kg per square meter.

Presently these tiles are sold at a price of \$ 0.15 per unit. The material cost for one square meter of roofing, therefore would be about \$ 4.50.

The tile roof can be easily installed and repaired, has a relatively long life and maintains a more constant interior temperature in the home. It is visually attractive and enjoys a high level of popularity among the regional inhabitants.

The disadvantages of this type of roof system are its excessive weight which requires a heavier support structure and its tendency to develop leaks due to shifting of individual tiles. Also, the tiles can be easily broken and, during earthquakes, falling tiles can represent a hazard to the residents.

#### Manufactured Materials

The construction materials of more importance which are industrially manufactured in Central America include portland cement, hydrated lime, cement blocks, clay bricks, lumber (pine and hardwoods), galvanized steel and asbestos-cement sheets.

Plywood and composition board also are produced in the region, but in the construction industry are used principally for interior partitions and false ceilings. Corrugated roofing panels made of fiberglass reinforced plastic also are available, but due to their relatively high cost and short life, are used primarily to take advantage of their translucent properties in special applications, such as the covering of patios where ornamental plants are grown.

#### - Portland Cement.

Portland cement for concrete is produced in all of the Central American countries. Modern concrete technology is well understood in the region; sand and gravel are readily available, and each country has at least one rolling mill for the manufacture of steel reinforcing rod. Poured concrete roofs are used for most public and commercial buildings, as well as for higher cost private residences.

The present official price (fob factory), per bag of cement (42.5 kg), varies from \$ 2.10 to \$ 2.29 throughout the Central American region; however, a recent shortage in Guatemala has driven prices up to an average of about \$ 4.00. Additional transportation costs can result in prices in rural zones in excess of \$ 5.00 per bag of cement.

The poured concrete roof is the most expensive roofing system in common usage in Central America. The cost per square meter currently is estimated to be \$ 27.00. In addition, the need for support columns tends to raise overall building construction costs. The advantages of this type of roof are its extremely long life, resistance to the impact of solid objects, impermeability, fire resistance and good thermal insulation properties.

Many of the local cement plants also produce hydrated lime for use in mortar for wall finishing.

- Zementblöcke und Tonziegel.  
In jedem Land gibt es einige Fabriken für die Herstellung von Zementblöcken und Tonziegeln, die Hauptmaterialien für Wandkonstruktionen bei höher standardisierten Gebäuden und bei öffentlichen Low-Cost-Housing-Projekten. Für private Unterkünfte in ländlichen Gebieten ist Adobe oder Bajareque immer noch das wichtigste Wandbaumaterial, mit Ausnahme von Costa Rica, wo Holzhäuser vorherrschen.
- Holz.  
Jedes Land hat eine Anzahl von Sägewerken zur Herstellung von Brettern und den geläufigeren Holzbauteilen. Pinienholz ist das gebräuchlichste Holz, aber andere Arten werden ebenfalls, hauptsächlich für dekorative Zwecke, verwendet. In Costa Rica ist Pinienholz das am häufigsten vorkommende Hausbaumaterial; in den anderen Ländern wird es für Dachtragkonstruktionen zusammen mit Tonziegeln, verzinktem Stahl oder Asbestzement-Dachdeckung, in höher standardisierten Gebäuden zum Innenausbau, und als Betonschalung verwendet. Die Anwendung von Holzschindeln zur Dachdeckung ist unbedeutend. Obwohl Rodungsprobleme Regierungsbeschlüsse zur Einschränkung von Holzverwendung in Zentralamerika zur Folge hatten, erscheint der gegenwärtige Vorrat von Pinienholz für die Erfordernisse der örtlichen Bauindustrie ausreichend zu sein. Der Preis ist jedoch relativ hoch mit durchschnittlich ca. \$ 0.25 pro Brett-Fuß (ab Sägewerk).
- Verzinktes Stahlblech.  
Glattes und gewelltes verzinktes Stahlblech wird in mindestens einer Fabrik in jedem Land hergestellt. Da Zentralamerika keine Zinkvorkommen und keine Walzwerke zur Herstellung von Flachstahl hat, werden beide Hauptrohmaterialien (kaltgewalztes Stahlblech und Zinkbarren) importiert. Das fertige Produkt wird dem Verbraucher als Blech mit einer Größe von mindestens 6' (1,83 m) bis maximal 14' (4,27 m) angeboten. Die gebräuchlichste Breite ist ca. 30" (76 cm). Eine Stärke von 2,6 mm wird meist zur Dachdeckung verwendet, es gibt jedoch auch 2,8 und 3,0 mm-Bleche (1). Das durchschnittliche Gewicht des 2,6 mm-Materials beträgt ca. 4,1 kg/m<sup>2</sup>. Der gegenwärtige Verkaufspreis ist \$ 0.60 pro lfd Fuß (30" Breite), was einen qm-Preis von ca. \$ 2.58 ausmacht. Es ist das preiswerteste Dachdeckungsmaterial, das in Zentralamerika verwendet wird. Die Vorteile des verzinkten Stahlblechs bei der Dachdeckung sind folgende:
  - geringes Gewicht, welches geringere Dimensionierung der Holztragkonstruktion zuläßt
  - relativ geringe Kosten
  - einfache Anbringung
  - Bleche können leicht entfernt und ersetzt werden
  - unempfindlich gegen Beschädigung mit harten Gegenständen
  - kann gestrichen werden, um die Optik und Korrosionsresistenz zu verbessern

(1) Obwohl das metrische System in allen zentralamerikanischen Ländern offiziell gilt, werden englische Einheiten im Geschäftsleben angewandt. In diesem Bericht werden die in Zentralamerika gebräuchlichen Maße angegeben und, wo erforderlich, die metrische Umrechnung in Klammern gesetzt.

- Cement Blocks and Clay Bricks.  
Various factories exist in each country for the manufacture of cement blocks and clay bricks which are the principal materials used for wall construction in higher cost buildings and in public low cost housing projects. For private dwellings in rural zones, adobe or bajareque still is the major wall construction material, except for Costa Rica where wooden homes are more common.
- Lumber.  
Each country has a number of sawmills which produce boards and the more common wooden structural members. Pine is the most common wood variety, but other species also are processed, principally for decorative uses. In Costa Rica, pine lumber is the major housing construction material; in the other countries it is used for roof support systems in conjunction with clay tile, galvanized steel or asbestos-cement roofing, interior applications in higher cost buildings and for forms for poured concrete. The use of wooden shingles for roofing is insignificant. Although deforestation problems have resulted in Government regulations to restrict timber operations in Central America, the present supply of pine lumber appears to be adequate for the needs of the local construction industry. The price, however, is relatively high, averaging about \$ 0.25 per board foot (fob sawmill).
- Galvanized Steel Sheets.  
Smooth and corrugated galvanized steel sheets are produced in at least one factory in each country. Since Central America does not produce zinc and has no rolling mills suitable for flat steel, both of the principal raw materials (cold-rolled steel sheet and zinc ingots) are imported. The finished product is offered to the consumer in sheets with lengths varying from a minimum of 6' (1.83 m) to a maximum of 14' (4.27 m). The most common width is about 30" (76 cm). 26 gauge thickness is used most frequently for roofing applications, but 28 and 30 gauge sheets are also available (1). The average weight of the 26 gauge material is about 4.1 kg/square meter. The present retail price is \$ 0.60 per linear foot (30" width), which represents a cost per square meter of approximately \$ 2.58. This is the least expensive of the manufactured roofing materials in common usage in Central America.  
  
The advantages of galvanized steel for roofing applications are the following:
  - light weight which permits a reduction in size of the wooden support members
  - relatively low cost
  - simple installation
  - sheets can be easily removed and replaced
  - resists the impact of solid objects
  - can be painted to improve appearance and resistance to oxidation (red is the preferred color to simulate the appearance of the traditional red clay tile roof).
 The disadvantages are:
  - fairly rapid deterioration due to oxidation, especially in coastal areas

(1) Although the metric system is official in all of the Central American countries, English units are often used commercially. In this report, the dimensions commonly used in Central America are shown, with the metric equivalent, where required, in parentheses.



(Rot ist die bevorzugte Farbe, um die Erscheinung des traditionellen roten Tonziegeldaches zu imitieren).

Die Nachteile sind:

- ziemlich schnelle Verwitterung aufgrund von Oxydation, besonders in Küstengebieten
- Kondenswasserbildung im Inneren der Häuser, wenn nicht eine abgehängte Decke eingezogen wird (1)
- Übermäßige Lärmbelastigung während Regenstürmen
- Übermäßige Temperaturschwankungen im Inneren des Hauses

- Asbestzement.

Asbestzementplatten werden in Zentralamerika mittels örtlichem Portlandzement und importierter Asbestfaser hergestellt. Es werden vielerlei Formen hergestellt, einschließlich einfacher Wellplatten und trogförmiger Elemente mit besonders großen hochgezogenen Kanten (canaleta) bis zu einer Länge von 7 m.

Die einfache Wellplatte wird vom "do-it-yourself"-Bauherrn bevorzugt. Dieses Material wird in 5 mm Stärke mit einem Gewicht von  $10,5 \text{ kg/m}^2$  und in 6 mm Stärke mit einem Gewicht von  $12,2 \text{ kg/m}^2$  hergestellt. Die Platten sind 1 m breit und sind zwischen 6' (1,83 m) und 10' (3,05 m) lang. Der Verkaufspreis für das natürliche graue Material (6 mm) liegt bei ungefähr  $\$ 4.60/\text{m}^2$ . Rot-pigmentierte Platten (zur Imitation der roten Tonziegel) gibt es mit Aufpreis ( $\$ 5.27/\text{m}^2$ ). Die "canaleta", die mehr für öffentliche Billigwohnbauten verwendet wird, hat ein durchschnittliches Gewicht von  $18,65 \text{ kg/m}^2$  und kostet durchschnittlich  $\$ 6.46/\text{m}^2$ .

Asbestzement wird, hauptsächlich wegen seiner höheren Kosten und seines größeren Gewichts, weniger oft gebraucht als Zinkblech. Er ist jedoch das bevorzugte Dachdeckungsmaterial zum Bau von öffentlichen Billigwohnbauten durch staatliche Institutionen, und seine Verwendung auf diesem Gebiet gewinnt immer mehr an Bedeutung.

Die Hauptvorteile des Asbestzementdaches sind folgende:

- wasserdicht, feuerfest, rostbeständig
- ausreichende Steifigkeit, um auf Zwischenstützen verzichten zu können
- insektenresistent
- lange Lebensdauer

Die Nachteile sind:

- höherer Preis und größeres Gewicht als Zinkblech
- relativ zerbrechlich, z. B. beim Transport und beim Einbau, nicht unempfindlich gegen Beschädigung mit harten Gegenständen
- Anbringung komplizierter als bei Zinkblech
- Kondenswasserbildung im Inneren, falls nicht eine abgehängte Decke eingezogen wird
- Übermäßige Temperaturschwankungen im Inneren des Hauses

(1) Dies kann in ländlichen Gebieten zu einem ernstem Problem werden, wo der Hausbesitzer oft Getreide im Haus lagert.

- interior condensation problems unless a false ceiling is installed (1)
- excessive noise during rain storms
- excessive temperature changes inside of the home

- Asbestos-cement.

Asbestos-cement sheets are produced in Central America using locally manufactured Portland cement and imported asbestos fibre. Various section configurations are manufactured, including simple corrugated sheets and trough-shaped elements with special tall upturned ends (canaleta) up to 7 m long.

The simple corrugated sheet is preferred by the "do-it-yourself" builder. This material is offered in 5 mm thickness with a weight of  $10.5 \text{ kg/m}^2$  and in 6 mm, with a weight of  $12.2 \text{ kg/m}^2$ . The sheets are 1 m wide with lengths varying from 6' (1.83 m) to 10' (3.05 m). The retail price for the natural gray-colored material (6 mm) averages about  $\$ 4.60/\text{m}^2$ . A red pigmented sheet (to simulate clay tile appearance) also is available at a premium price ( $\$ 5.27/\text{m}^2$ ).

The canaleta, used more frequently for public low cost housing, has an average weight of  $18.65 \text{ kg/m}^2$  and an average cost of  $\$ 6.46/\text{m}^2$ .

Asbestos-cement is used much less frequently than galvanized steel due principally to its higher cost and greater weight. However, it is the preferred roofing material for the construction of public low cost housing by institutions, and its use in this field is of increasing importance.

The main advantages of the asbestos-cement roof are as follows:

- waterproof, fireproof and rustproof
- sufficient rigidity to eliminate the need for intermediate supports
- resistant to attacks by insects
- long life

The disadvantages are:

- higher price and greater weight than galvanized steel
- relatively fragile, can be broken during handling and installation, lacks resistance to the impact of solid objects
- installation more complicated than galvanized steel
- interior condensation problems unless a false ceiling is installed
- excessive temperature changes in the home

(1) This can be a serious problem in rural zones where the home owner often stores grain inside of the house.

## 5.2 Gebräuchliche Bedachungssysteme

### 5.2.1 Quantitativer Vergleich bestehender Bedachungssysteme

Die auf den folgenden Seiten in Tabellen dargestellten Zahlen beziehen sich auf die wichtigsten Materialien, die für die Konstruktion von Wänden und Dächern in Zentralamerika verwendet werden. Für jedes der fünf Länder wird gemäß der letztgültigen Bestandsaufnahme aufgezeigt, wieviele Häuser jeweils aus den verschiedenen Materialien bestehen (1). Obwohl diese Daten 5 - 8 Jahre alt sind, sind sie ziemlich repräsentativ für die gegenwärtige Situation in allen Ländern, mit Ausnahme vielleicht von Guatemala, wo einige der Tondachziegel während des Erdbebens 1976 zerstört und durch Zinkblech ersetzt wurden.

Die relative (prozentuale) Häufigkeit jedes einzelnen Konstruktionssystems wird in den Diagrammen nach den Tabellen gezeigt. Für Zentralamerika insgesamt zeigt die vorliegende Information, daß Tonziegel, Stroh und Zinkblech bei 92% der Häuser verwendet werden, die restlichen 8% bestehen aus Asbestzement, Beton und anderen Materialien.

Strohdächer sind in Guatemala am stärksten vertreten (ca. 30%); sie sind von einiger Bedeutung in El Salvador, Honduras und Nicaragua, man findet sie jedoch nur selten in Costa Rica.

Die Tonziegel-Dachdeckung ist in allen Ländern sehr beliebt, mit Ausnahme von Costa Rica, wo sie nur bei weniger als 6% aller Häuser angewandt wird. Den höchsten Prozentsatz (68,59%) findet man in El Salvador.

Zinkblech ist am beliebtesten in Costa Rica, wo es bei 88% aller Wohnhausdächer verwendet wird. Die geringste Bedeutung hat es in El Salvador mit 7,42%.

Was Wandkonstruktionen betrifft, so sind in El Salvador, Guatemala und Honduras die traditionellen Adobe- und Bajareque-Systeme vorherrschend, während Holzkonstruktionen von größerer Bedeutung sind in Costa Rica (77,53%) und Nicaragua (45,65%).

(1) Jahr der nationalen Bestandsaufnahme

Costa Rica:	1973
El Salvador:	1971
Guatemala:	1973
Honduras:	1974
Nicaragua:	1971

## 5.2 Roofing Systems in Common Usage

### 5.2.1 Relative Importance of Existing Roofing Systems

The figures shown in the tables presented in the following pages refer to the principal materials used in the construction of roofs and walls for housing in Central America. The number of homes using each type of material, according to the latest census data available, is shown for each of the five countries (1). Although these data are five to eight years old, they are probably fairly representative of the present situation in all of the countries, except possibly Guatemala, where some of the clay tile roofs destroyed in the 1976 earthquake were replaced with galvanized steel.

The relative percentage importance of each construction system is shown in the diagrams following the tables. For Central America as a whole, the information presented shows that clay tile, thatch and galvanized steel are used on 92 percent of the homes, with asbestos-cement, concrete and other materials accounting for the remaining 8%.

Thatched roofs are most common in Guatemala (about 30% of the total), are of some importance in El Salvador, Honduras and Nicaragua, but are rarely found in Costa Rica.

The clay tile roofing system shows considerable popularity in all countries, except Costa Rica where it is used on less than 6 percent of total homes. The highest percentage (68.59%) occurs in El Salvador.

Galvanized steel is most popular in Costa Rica where it is used on 88% of all home roofs. It is of least importance in El Salvador (7.42%).

As far as wall construction is concerned, the traditional adobe and bajareque systems predominate in El Salvador, Guatemala and Honduras, while wooden construction is of greater importance in Costa Rica (77.53%) and Nicaragua (45.65%).

(1) Year of National Census

Costa Rica:	1973
El Salvador:	1971
Guatemala:	1973
Honduras:	1974
Nicaragua:	1971

In Zentralamerika für den Hausbau vorwiegend benutzte Wandkonstruktionen  
Principal Material Used for Walls in Central American Housing Construction

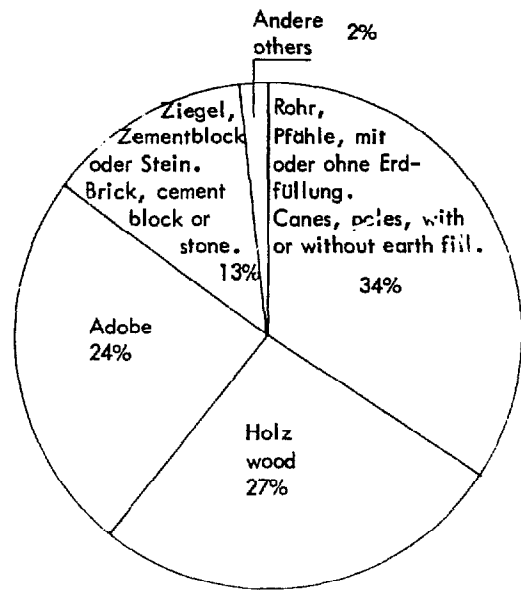
- Anzahl der Häuser -  
 - Number of Homes -

<u>Wandbaumaterial/Wall material</u>	<u>Guatemala</u>	<u>El Salvador</u>	<u>Honduras</u>	<u>Nicaragua</u>	<u>Costa Rica</u>	<u>Insgesamt/Total</u>	
Rohr, Pfähle mit oder ohne Erdfüllung (1) Canes, poles with or without earth fill (1)	338.463	294.564	240.370	73.225	7.709 (2)	954.331	(1) Bajareque (2) einschl. Adobe/includes adobe
Holz/wood	174.219	62.764	139.180	138.115	256.517	770.795	
Adobe	396.670	169.919	85.196	19.924	-	671.709	
Ziegel, Zementblöcke oder Steine Brick, cement block or stone	87.375	90.662	61.820	65.909	55.745	361.511	
Andere/others	16.090	36.630	-	5.371	10.886	68.977	
<b>Insgesamt/Total</b>	<b>1.012.817</b>	<b>654.539</b>	<b>526.566</b>	<b>302.544</b>	<b>330.857</b>	<b>2.827.323</b>	

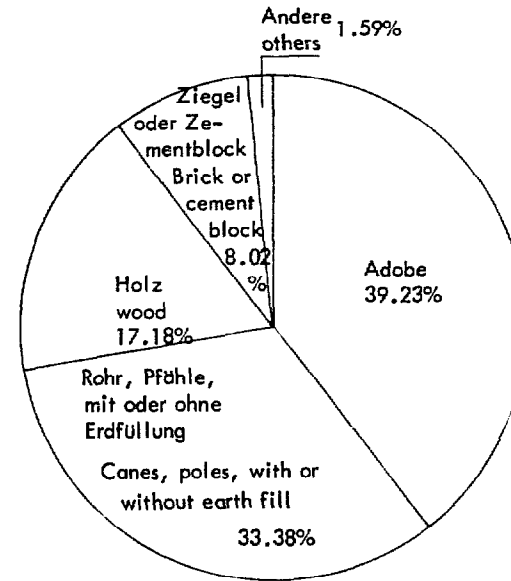
In Zentralamerika für den Hausbau vorwiegend benutzte Bedachungsmaterialien  
Principal Material Used for Roofs in Central American Housing Construction

- Anzahl der Häuser -  
 - Number of Homes -

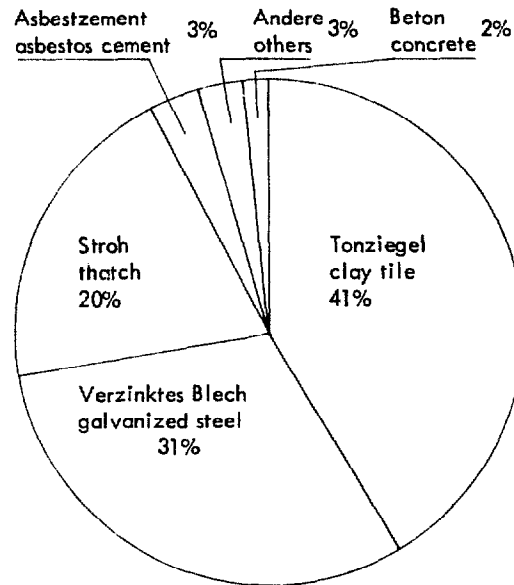
<u>Bedachungsmaterial/Roof material</u>	<u>Guatemala</u>	<u>El Salvador</u>	<u>Honduras</u>	<u>Nicaragua</u>	<u>Costa Rica</u>	<u>Insgesamt/Total</u>	
Tonziegel/clay tile	282.332	448.936	262.928	156.831	17.377	1.168.404	
verzinktes Blech/galvanized steel	343.401	48.553	117.952	76.097	290.096	876.099	
Stroh/thatch	299.393	118.867	101.404	57.205	-	576.869	
Asbestzement/asbestos cement	16.264	22.587	30.708	3.372	9.858	82.789	
Beton/concrete	34.158	9.406	2.340	854	-	46.758	
Andere/others	37.269	6.190	11.234	8.185	13.526 (1)	76.404	(1) einschließlich Stroh und Beton (1) includes thatch and concrete
<b>Insgesamt/Total</b>	<b>1.012.817</b>	<b>654.539</b>	<b>526.566</b>	<b>302.544</b>	<b>330.857</b>	<b>2.827.323</b>	



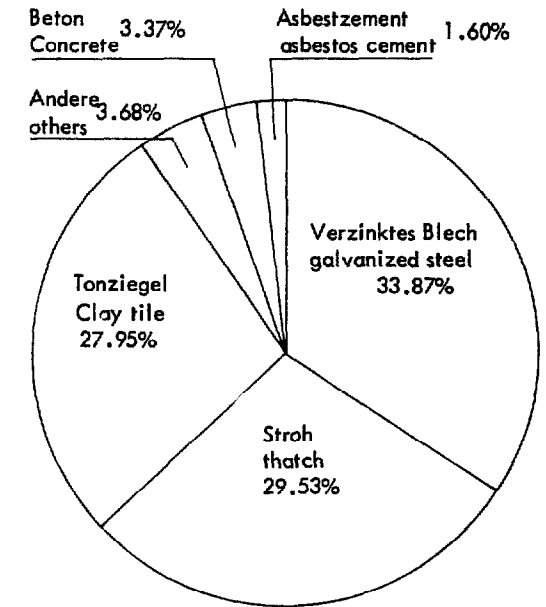
- a. Hauptmaterial für Wandkonstruktionen (%)  
 a. Principal material in wall construction (%)



- a. Hauptmaterial für Wandkonstruktionen (%)  
 a. Principal material in wall construction (%)



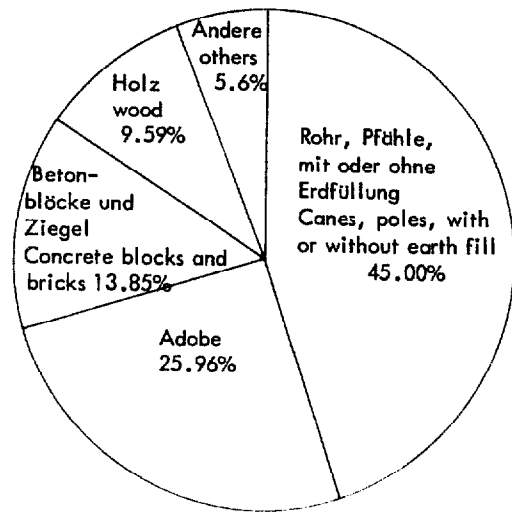
- b. Hauptmaterial für Dachkonstruktionen (%)  
 b. Principal material in roof construction (%)



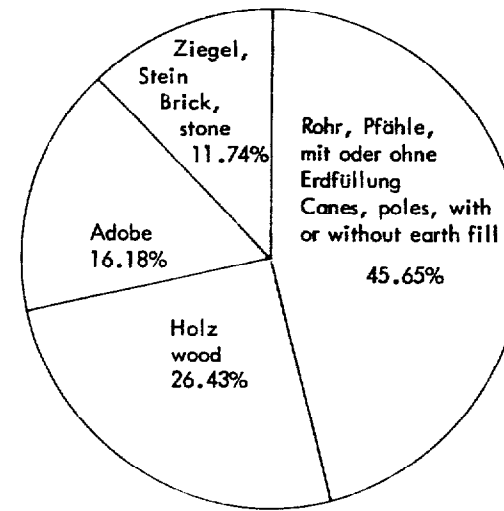
- b. Hauptmaterial für Dachkonstruktionen (%)  
 b. Principal material in roof construction (%)

Abb. 5.6 (a, b) ZENTRALAMERIKA. Konstruktionsarten im Wohnungsbau.  
 Fig. 5.6 (a, b) CENTRAL AMERICA. Types of Housing Construction.

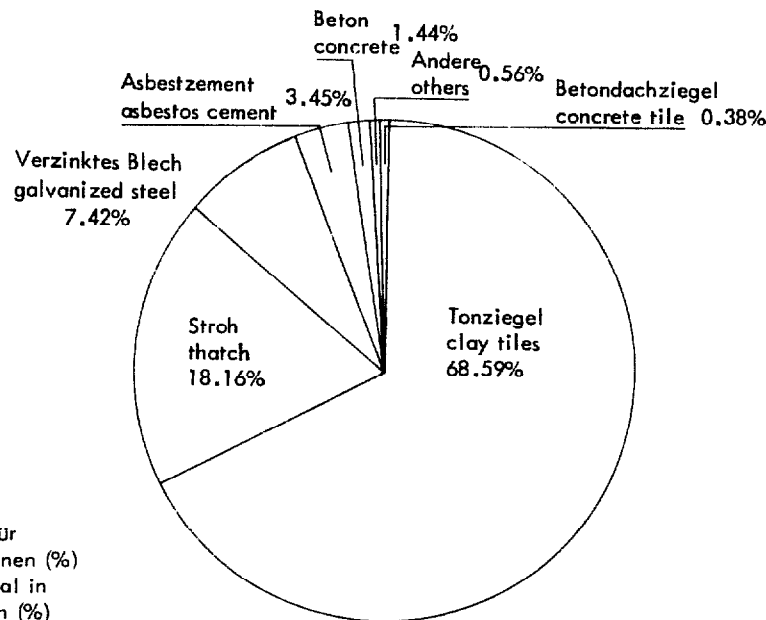
Abb. 5.7 (a, b) GUATEMALA. Konstruktionsarten im Wohnungsbau.  
 Fig. 5.7 (a, b) GUATEMALA. Types of Housing Construction.



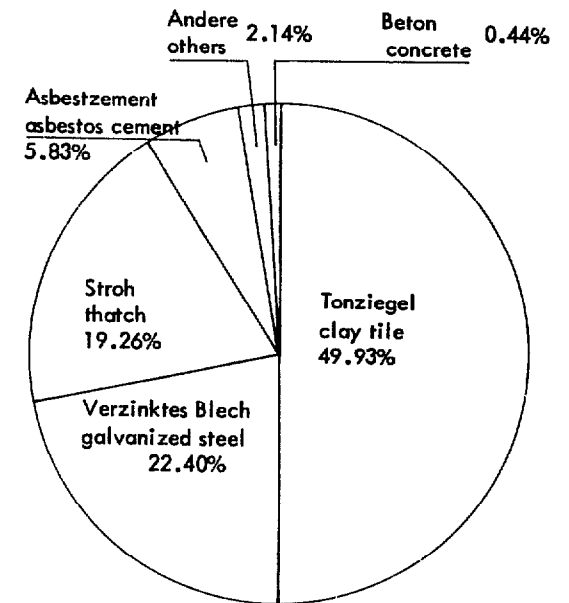
a. Hauptmaterial für Wandkonstruktionen (%)  
 a. Principal material in wall construction (%)



a. Hauptmaterial für Wandkonstruktionen (%)  
 a. Principal material in wall construction (%)



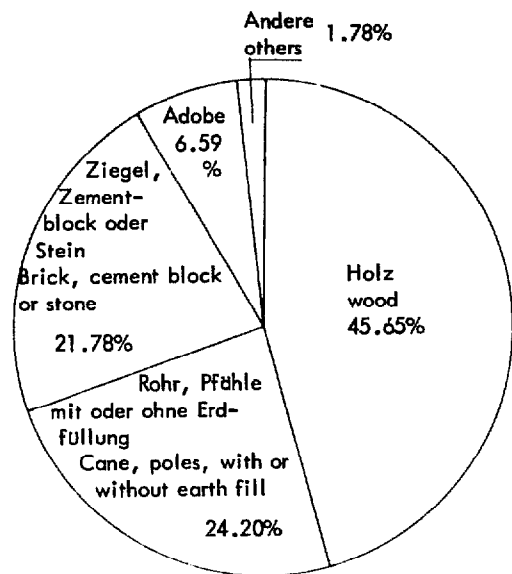
b. Hauptmaterial für Dachkonstruktionen (%)  
 b. Principal material in roof construction (%)



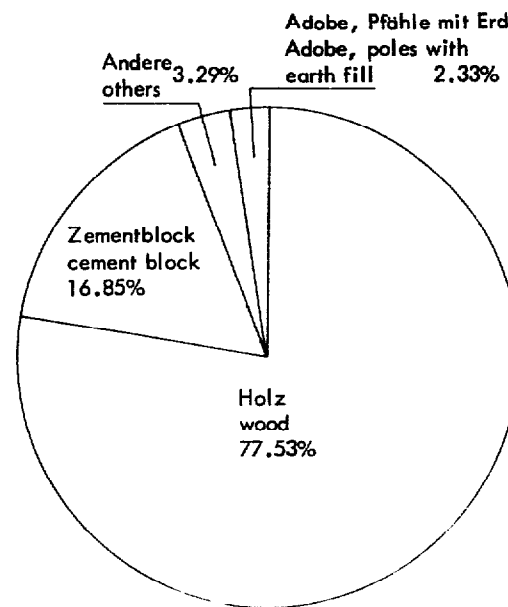
b. Hauptmaterial für Dachkonstruktionen (%)  
 b. Principal material in roof construction (%)

Abb. 5.8 (a, b) EL SALVADOR. Konstruktionsarten im Wohnungsbau.  
 Fig. 5.8 (a, b) EL SALVADOR. Types of Housing Construction.

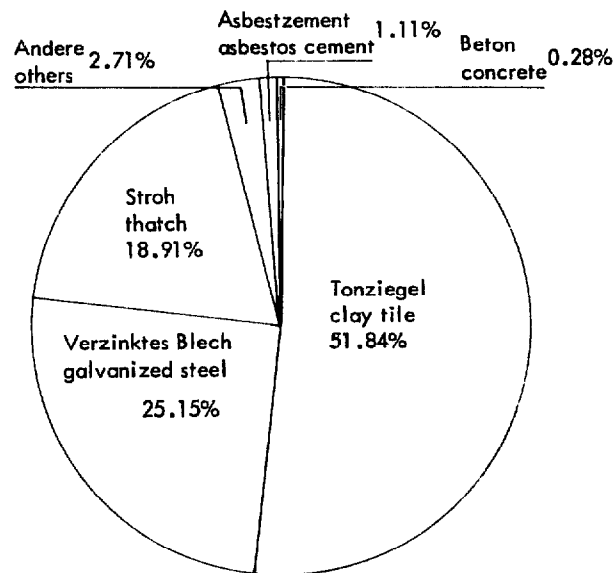
Abb. 5.9 (a, b) HONDURAS. Konstruktionsarten im Wohnungsbau.  
 Fig. 5.9 (a, b) HONDURAS. Types of Housing Construction.



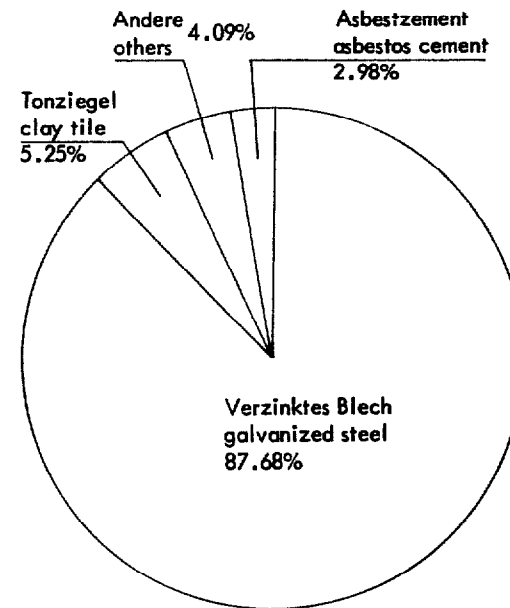
- a. Hauptmaterial für Wandkonstruktionen (%)  
 a. Principal material in wall construction (%)



- a. Hauptmaterial für Wandkonstruktionen (%)  
 a. Principal material in wall construction (%)



- b. Hauptmaterial für Dachkonstruktionen (%)  
 b. Principal material in roof construction (%)



- b. Hauptmaterial für Dachkonstruktionen (%)  
 b. Principal material in roof construction (%)

Abb. 5.10 (a, b) NICARAGUA. Konstruktionsarten im Wohnungsbau.  
 Fig. 5.10 (a, b) NICARAGUA. Types of Housing Construction.

Abb. 5.11 (a, b) COSTA RICA. Konstruktionsarten im Wohnungsbau.  
 Fig. 5.11 (a, b) COSTA RICA. Types of Housing Construction.

## 5.2.2 Typische Beispiele für bestehende traditionelle und handelsübliche Dächer

### Baumethoden

#### - Strohdächer.

Obwohl einige Strohdächer auf Adobe-, Stein- oder Ziegelhäusern anzutreffen sind, wird die Mehrzahl in Verbindung mit dem "bajareque"-Wandbausystem angewandt, eine Bauweise, die bis in die Maya-Kulturen zurückreicht, welche in Zentralamerika lange vor der Ankunft der spanischen Konquistadoren ihre Blütezeit hatte. Bei dieser Bauweise werden Baumgabeln oder Äste als Dachstützen verwendet, mit einer Fachwerkkonstruktion aus zusammengebundenen Pfählen oder Rohr, die zwischen den Stützen befestigt ist. Diese Rahmenkonstruktion wird allgemein mit kompaktierter Erde ausgefacht und manchmal mit Kalkschlämme bestrichen.

Stroh wird für Dachdeckung in Hochlandgebieten, und Palmblätter in den Küstenebenen verwendet. Das Stroh wird in ca. 20 cm dicke Bündel gebunden und über einem 60° geneigten Rundholzrahmen befestigt. Die Befestigung sowohl der Rundhölzer als auch der Strohbindel erfolgt mittels einer natürlichen Weinrebe (mecate), die zuvor in Wasser eingeweicht wird, um durch die Schrumpfung beim Trocknen ein Festziehen der Knoten zu erreichen.

Die 60° Dachneigung bildet einen großen Freiraum unter dem Dach innerhalb des Hauses, was zur Kühlung der Raumtemperatur beiträgt. Durch die starke Neigung kann Wasser schneller abfließen; dadurch wird die Möglichkeit der Leckbildung vermindert.

Häuser dieses Typs werden sehr oft in Dörfern gebaut, und zwar vom Hausbesitzer selbst, was oft mit Hilfe von Freunden und Nachbarn geschieht. Das Binden des Stroh erfordert einiges handwerkliches Geschick, und nicht alle Dorfbewohner sind in der Lage, diese Arbeit auszuführen. Deshalb muß wenigstens eine Person mit dieser Fähigkeit im Bau-Team integriert sein.

#### - Tonziegel.

Tonziegeldächer werden sehr häufig bei Häusern aus Adobe-Blöcken verwendet, in geringerem Ausmaß bei Zementblock-, Ziegel-, Holz- oder "bajareque"-Häusern. Häuser dieses Typs findet man vorwiegend in den meisten kleinen Städten in zentralamerikanischen Hochlandebenen (ausgenommen Costa Rica) und bei größeren Farmen. Sie können vom Hausbesitzer selbst oder auch von einem Bauunternehmer gebaut werden.

Der Tonziegel wird normalerweise über einer Rahmenstützkonstruktion angebracht, obwohl gelegentlich eine flache Holzschalung aus 1" Pinienbrettern als Unterlage für die Ziegel verwendet wird.

Bei der typischeren Dachkonstruktionsmethode dient ein Pinienholzrahmen aus 3" x 4"-Trauf- und Firstbalken und 2" x 3" (5,08 x 7,62 cm)-Sparren als Unterbau für die Ziegel. Der Freiraum zwischen den Sparren ist ebenso groß wie das schmalere Ende des Tonziegels.

Der Rahmen wird zuerst mit einer Lage Ziegel mit nach oben gerichteten Seitenaufrichtungen gedeckt; danach wird eine zweite Lage andersherum aufgelegt, wobei die Fugen der ersten Lage überdeckt und die unteren Ziegel mindestens

## 5.2.2 Typical Examples of Existing Traditional and Proprietary Roofs

### Construction Methods

#### - Thatched Roofs.

Although some thatched roofs are found on homes constructed with adobe, stone or brick walls, the majority are used in conjunction with the "bajareque" system of wall construction, a method dating back to the Mayan civilization which flourished in Central America long before the arrival of the Spanish "conquistadores". In this type of construction forked tree trunks or branches are used as roof support columns, with a wall framework formed of poles or canes tied together and installed in the spaces between columns. This framework is usually filled with compacted earth and is sometimes painted with a lime slurry.

Straw is used for thatching in highland regions, and palm leaves on the coastal plains. The thatch is formed into bundles about 20 cm wide, and is tied in place over a pole framework installed with a pitch of 60°. Tying of both the pole frame members and the thatch bundles is accomplished using a natural vine (mecate) which is soaked in water beforehand to permit shrinkage to tighten the knots. The 60° pitch results in a large open space under the roof in the interior of the house which aids in maintaining a cooler inside temperature. The extreme slope also sheds water more rapidly minimizing the possibility of leaks.

Homes of this type are constructed most frequently in rural villages and usually are built by the homeowner himself, often with the aid of friends and neighbors. The tying of the thatch requires some specialized manual skill, and not all village inhabitants are capable of performing this task; therefore, at least one person skilled in this art must be included in the construction team.

#### - Clay Tile.

Clay tile roofs are used most frequently on homes with an adobe block wall construction, and to a much lesser extent with cement block, brick, wood or "bajareque". Homes of this type predominate in most small towns in the Central American highlands (except Costa Rica) and on the larger farms. They may be built by the homeowner or by a professional building contractor.

The clay tile usually is installed over a frame support structure, although occasionally a flat wooden surface of 1" pine planks is used as a base for the tile.

In the more typical roof construction method, a pine lumber frame is built consisting of 3" by 4" beams which form the edges and ridge, and 2" x 3" (5.08 x 7.62 cm) members running from the ridge to the lower edge of the roof, which support the tile. The free space between these supports is equal to the minor width of the truncated clay tile.

The frame is first covered with a layer of tiles with curved ends up; a second layer is then set in place with curved ends down, covering the joints of the first layer and overlapping the bottom tiles by at least 7.5 cm. Only the first course

Abb. 5.12 Typisches traditionelles Strohdach aus Palmenblättern.  
Fig. 5.12 Typical traditional thatched roof of palm leaves.







7,5 cm überlappt werden. Nur die erste Ziegelreihe am unteren Ende des Daches wird mit Kalkmörtel befestigt, um ein Herabgleiten zu verhindern; alle anderen Ziegel werden ohne Mörtel verlegt.

Durch diese Art der Dacheindeckung entstehen Zwischenräume zwischen den Ziegeln; dadurch wird genügend Luftzirkulation ermöglicht, um Kondenswasserprobleme zu vermindern und ein kühleres Innenraumklima zu schaffen.

- Verzinkter Stahl.

Wie im vorhergehenden Abschnitt erwähnt, ist verzinkter Stahl gegenwärtig das wichtigste Dachdeckungsmaterial in Costa Rica, und es scheint auch in anderen zentralamerikanischen Ländern an Beliebtheit zu gewinnen. In diesen letzteren Ländern wurde es lange Zeit für Dächer auf temporären oder ständigen Hütten in

of tiles at the lower edge of the roof is fixed in place with lime mortar to prevent slippage; all other tiles are laid without mortar.

This type of installation leaves open spaces between the tiles which allow the circulation of air, producing enough ventilation to minimize condensation problems and to maintain a cooler interior temperature in the home.

- Galvanized Steel.

As indicated in the previous section, galvanized steel currently is the principal roofing material used in Costa Rica, and appears to be gaining popularity in the other Central American nations. In these latter countries, it has long been used for roofs on temporary or permanent shacks built in urban slums and squatter settlements, but now is found also in rural areas where it is starting to substitute the



Abb. 5.13 Traditionelles Tonziegeldach (Mönch- und Nonnendeckung).

Fig. 5.13 Traditional clay tile roofing (Spanish type).

städtischen Slums und Squattersiedlungen verwendet, aber nun findet man es auch in ländlichen Gegenden wo es beginnt, die traditionellen Tonziegel- und Strohdächer zu verdrängen. Diese Tendenz ist am offensichtlichsten in Guatemala, wo die Angst vor Erdbeben die Beliebtheit des Tonziegeldaches zu dämpfen scheint. Verzinkte Stahlplatten sind leicht zu montieren und werden meist von "do-it-yourself"-Hausbauern verwendet. Dieses Material wird normalerweise über einem 2" x 4" (5,08 x 10,16 cm) Pinienholzrahmen mit einer Neigung von 20 - 25% befestigt.

Die verzinkten Wellblechplatten werden mit einer Längsüberlappung von 20 cm und einer seitlichen Überlappung entsprechend 1 1/2 Wellungen verlegt. Sie werden an den Ecken auf die Unterbauten genagelt und bei jeder dritten Welle in 30 cm Längsabständen mit großköpfigen verzinkten Nägeln.

traditional clay tile and thatch roofs. This tendency is most evident in Guatemala where fear of earthquakes may be dimming the popularity of the clay tile roof. Galvanized steel sheets are easily installed and are used most frequently by the "do-it-yourself" home builder. This material is normally installed over a 2" x 4" (5.08 x 10.16 cm) pine lumber frame with a pitch of 20 to 25%. The corrugated galvanized sheets are laid with a longitudinal overlap of 20 cm and a lateral overlap equivalent to 1 1/2 corrugations. They are nailed to the supports at the edges and every third corrugation at 30 cm longitudinal intervals, using galvanized nails with large heads.

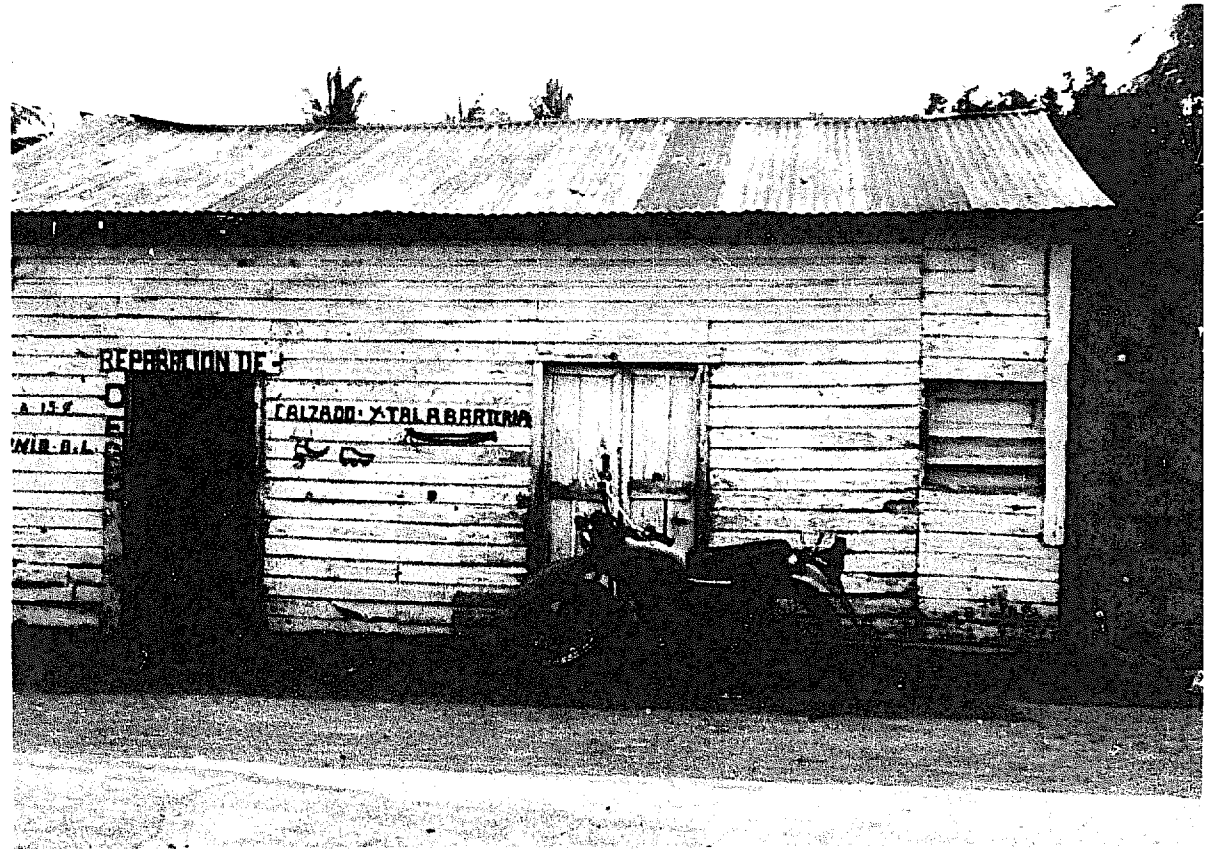


Abb. 5.14 Verzinktes Wellblechdach.  
Fig. 5.14 Corrugated galvanized iron roof.

- Asbestzement.

Wie bereits in vorangegangenen Abschnitten dieses Berichtes erwähnt, bieten die Asbestzementhersteller sowohl einfaches Wellasbest als auch Troglattendeckung (canaleta) an, welche eine kompliziertere Profilierung hat. Die Wellplatten werden vom privaten Hausbauer bevorzugt, während die Troglattendeckung, die weniger Holzstützen erfordert, das Hauptmaterial für Low-Cost-Housing-Projekte ist, die von öffentlichen Trägern durchgeführt werden.

Die Wellasbestplatten werden über einem 2" x 4" (5,08 x 10,16 cm) Holzrahmen befestigt, der dem für die Dachdeckung mit verzinktem Blech ähnelt. Die seitliche Überlappung der Platten sollte ca. 1 Welle betragen, und die Längsüberlappung 15 cm. Der größte Abstand zwischen den Holzlatten ist 1,10 m für 5 mm dicke Asbestzementplatten, und 1,47 m für 6 mm dicke. Die Platten werden mit Nägeln oder Schrauben an den Latten befestigt, die Nagellöcher müssen vorher sorgfältig vorgebohrt werden.

Die Troglattendeckung kann Weiten bis zu 7 m ohne Zwischenaufleger überspannen. Sie wird mit Nägeln oder Schrauben an den Mauerabschlußbalken befestigt; das Zusammenfügen der Platten erfolgt mittels Bolzen, Schraubenmutter:n und Blei-, Zink- oder Asphalt-Unterlegscheiben.

- Stahlbeton.

Stahlbetondächer werden bei höher standardisierten Privathäusern in ganz Zentralamerika angewendet, ebenso bei öffentlichen und Verwaltungsgebäuden. Dieser

- Asbestos-cement.

As mentioned in previous sections of this report, the asbestos-cement manufacturers offer both simple corrugated sheets and channel roofing (canaleta) which has a more complex section configuration. The corrugated sheets are preferred by the private home builder, while the channel roofing, which requires fewer wooden supports, is the principal material used by public institutions active in the low cost housing field.

The corrugated asbestos-cement sheets are installed over a 2" x 4" (5.08 x 10.16 cm) wooden frame, similar to that used for galvanized steel. The lateral overlap between sheets should be about 1 corrugation, and the longitudinal overlap, 15cm. The maximum spacing between the wooden supports is 1.10 m for the 5 mm thick asbestos-cement sheets, and 1.47 for the 6 mm. The sheets are fastened to the supports with nails or screws, with all nailholes carefully perforated beforehand. The channel roofing can span distances up to 7 m without intermediate supports. It is fastened to the wall frame beams with nails or screws; the joining of sheets is accomplished with special bolts, nuts and lead, zinc or asphalt washers.

- Reinforced Concrete.

Reinforced concrete roofs are used on higher priced private homes throughout Central America, as well as on public and commercial buildings. A professional building contractor usually constructs this type of roof.

The construction procedure starts with the preparation of a pine lumber platform

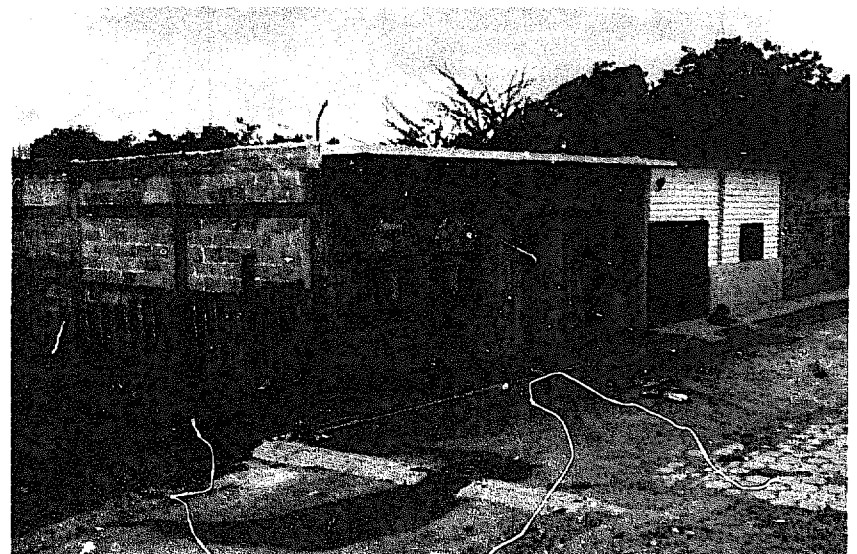
Abb. 5.15 Asbestzement-Dach.

Fig. 5.15 Asbestos cement roof.



Abb. 5.16 Stahlbeton-Dach.

Fig. 5.16 Reinforced concrete roof.



Dachtyp wird normalerweise von professionellen Bauunternehmern gebaut. Die Gußform für das Betondach besteht aus einer Pinienholzschalung auf senkrechten Stützen. Ein Gitter aus Bewehrungsstahl, dessen Verbindungen mit Draht zusammengebunden werden, wird vorbereitet und in die Schalung gelegt. Das Gitter wird mit kleinen Steinen unterlegt, um einen Abstand von einigen Zentimetern zwischen dem Stahl und der Schalung zu erhalten.

Obwohl vorgemischter Beton in einigen der größeren Städte erhältlich ist, wird Beton normalerweise von Hand hergestellt (1 Teil Zement, 2 Teile Sand und 4 Teile Kies) und von Hand mit Eimern in die Form gegossen. Es stehen genügend Arbeitskräfte zur Verfügung, um das Dach in einem Tag fertigzustellen.

Das gegossene Betondach wird eine Woche lang täglich befeuchtet, und die Form wird normalerweise nach 15 Tagen entfernt. Zu diesem Zeitpunkt werden temporäre senkrechte Stützen angebracht und später, nach 28 Tage langer Erhärtung des Betons, wieder entfernt.

with vertical supports which serves as the form for pouring the concrete roof. A grid of reinforcing rod with joints tied by wire is then prepared and placed over the platform. The grid is supported by small stones in order to leave a gap of several centimeters between the reinforcement and the platform surface. Although pre-mixed concrete is available in some of the larger cities, concrete usually is mixed by hand (1 part cement, 2 parts sand and 4 of gravel) and manually poured into the form with buckets. Sufficient labor is provided to complete. The poured concrete roof is moistened daily for one week, and the form is usually removed after 15 days. Temporary vertical supports are installed at this time and later removed after the concrete has been cured for 28 days.

### Kostenvergleiche

In der nachstehenden Tabelle werden vergleichbare Kosten für verzinkten Stahl, Asbestzement, Tonziegel- und Stahlbetondächer sowie Gesamtbaukosten unter Berücksichtigung verschiedener Wandbaumaterialien gezeigt. Diese Zahlen beinhalten Material und Lohn und wurden von öffentlichen Institutionen aufgestellt, die sich mit dem öffentlichen Wohnungsbau in Guatemala befassen (1).

Es existieren keine Kostenangaben über Strohdächer auf Bajareque-Wandkonstruktionen, da diese je nach Bauweise des Selbstbauers sehr unterschiedlich sind. Jedoch zeigen einige Kostenschätzungen, die auf diesem Gebiet in Guatemala durchgeführt wurden, daß die durchschnittlichen Gesamtbaukosten etwa \$ 4,00/m<sup>2</sup> betragen können, wobei der Anteil für das Dach 50% ist.

#### Wohnungsbaukosten in Guatemala

Dachtyp	Wandkonstruktion	Gesamtbaukosten \$/m <sup>2</sup>	Gesamtkosten Dach \$/m <sup>2</sup>	% der Gesamtkosten
verzinktes Stahlblech	Zementblock	50.00	14.00	28
	Ziegel	70.00	14.00	20
	Adobe	40.00	14.00	35
Asbestzement	Zementblock	60.00	16.00	26
	Ziegel	90.00	16.00	18
	Adobe	45.00	16.00	36
Tonziegel	Zementblock	90.00	22.00	24
	Adobe	60.00	22.00	37
Stahlbeton	Zementblock	120.00	27.00	23
	Ziegel	160.00	27.00	17

(1) Banco Nacional de la Vivienda (BANVI). Banco Nacional de Desarrollo Agrícola (BANDESA).

### Comparative Costs

In the following table, comparative costs are shown for galvanized steel, asbestos-cement, clay tile and reinforced concrete roofs, as well as total housing construction costs considering different wall materials. These figures include both material and labor costs, and were compiled by national institutions active in the public housing field in Guatemala (1).

Costs are not given for the thatched roof-bajareque wall construction, since these are extremely variable depending upon the procedures followed by the owner in the construction of his home. However, some estimates made in the field in Guatemala indicate that the average total construction cost may be about \$ 4.00 /m<sup>2</sup> with the roof accounting for 50% of the total.

#### Housing Construction Costs in Guatemala

Roof Type	Wall Construction	Total Construction Cost \$/m <sup>2</sup>	Total Cost Roof \$/m <sup>2</sup>	% of Total Cost
Galvanized steel	Cement block	50.00	14.00	28
	Brick	70.00	14.00	20
	Adobe	40.00	14.00	35
Asbestos-cement	Cement block	60.00	16.00	26
	Brick	90.00	16.00	18
	Adobe	45.00	16.00	36
Clay tiles	Cement block	90.00	22.00	24
	Adobe	60.00	22.00	37
Reinforced concrete	Cement block	120.00	27.00	23
	Brick	160.00	27.00	17

(1) Banco Nacional de la Vivienda (BANVI). Banco Nacional de Desarrollo Agrícola (BANDESA).

### 5.2.3 Neue Entwicklungen

Die nachstehenden neuen Entwicklungen auf dem Gebiet der Dachkonstruktion in Zentralamerika wurden während örtlicher Untersuchungen durch ICAITI-Personal festgestellt.

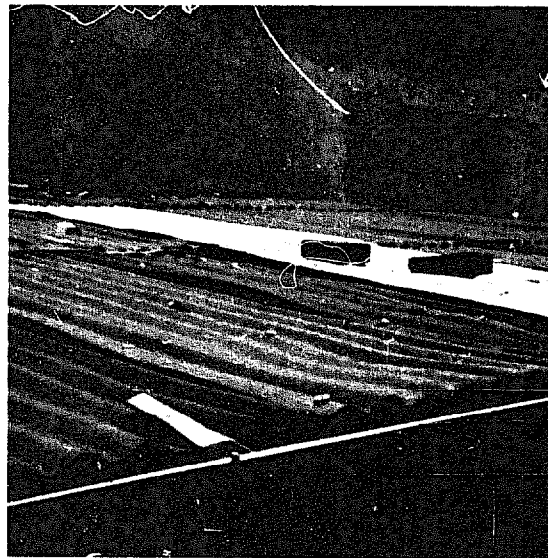
- In Costa Rica wurde kürzlich ein neues industriell gefertigtes Dachdeckungsmaterial, bestehend aus asphalt-impregniertem Karton in Form von Wellplatten, auf den örtlichen Markt gebracht.
- Ebenfalls in Costa Rica betreibt eine andere private Firma die Herstellung von Welldachplatten aus einer Mischung von Zement und gemahlenem Stein.
- In Guatemala macht das Engineering Department der National University Experimente mit Ferrozement-Dachelementen.
- Ebenfalls in Guatemala hat der dort ansässige Asbestzement-Hersteller ein neues Asbestzement-Dachpaneel entwickelt, das das Aussehen des Tondachziegels imitieren soll.
- In Honduras wurden Feldexperimente durchgeführt, um die ländliche Produktion von Zement-Faser-Wellplatten auszuwerten.

#### Asphalt-Karton-Paneele

Dieses in Costa Rica hergestellte Produkt wird örtlich unter dem Namen SUPERFLEX hergestellt. Es besteht offensichtlich aus Pappkarton oder ähnlichem mit Asphalt im-

Abb. 5.17 Bitumen-Wellplatten mit schlechten Eigenschaften aufgrund von Materialschwäche (Costa Rica).

Fig. 5.17 Corrugated asphalt-based sheets, showing poor performance due to weak material (Costa Rica).



### 5.2.3 New Developments

The following new developments in roofing in Central America were observed during the regional investigation by ICAITI personnel.

- In Costa Rica, a new manufactured roofing material, consisting of asphalt-impregnated cardboard formed into corrugated panels, has been recently introduced in the local market.
- Also in Costa Rica, another private industry is initiating the manufacture of corrugated roofing panels using a mixture of cement and crushed stone.
- In Guatemala, the Engineering Department of the National University is experimenting with ferrocement roofing elements.
- Also in Guatemala, the local asbestos-cement manufacturer has developed a new asbestos-cement roofing panel designed to simulate the appearance of clay tile.
- In Honduras, field experiments have been initiated to evaluate rural production of cement-fibre corrugated panels.

#### Asphalt-cardboard Panels

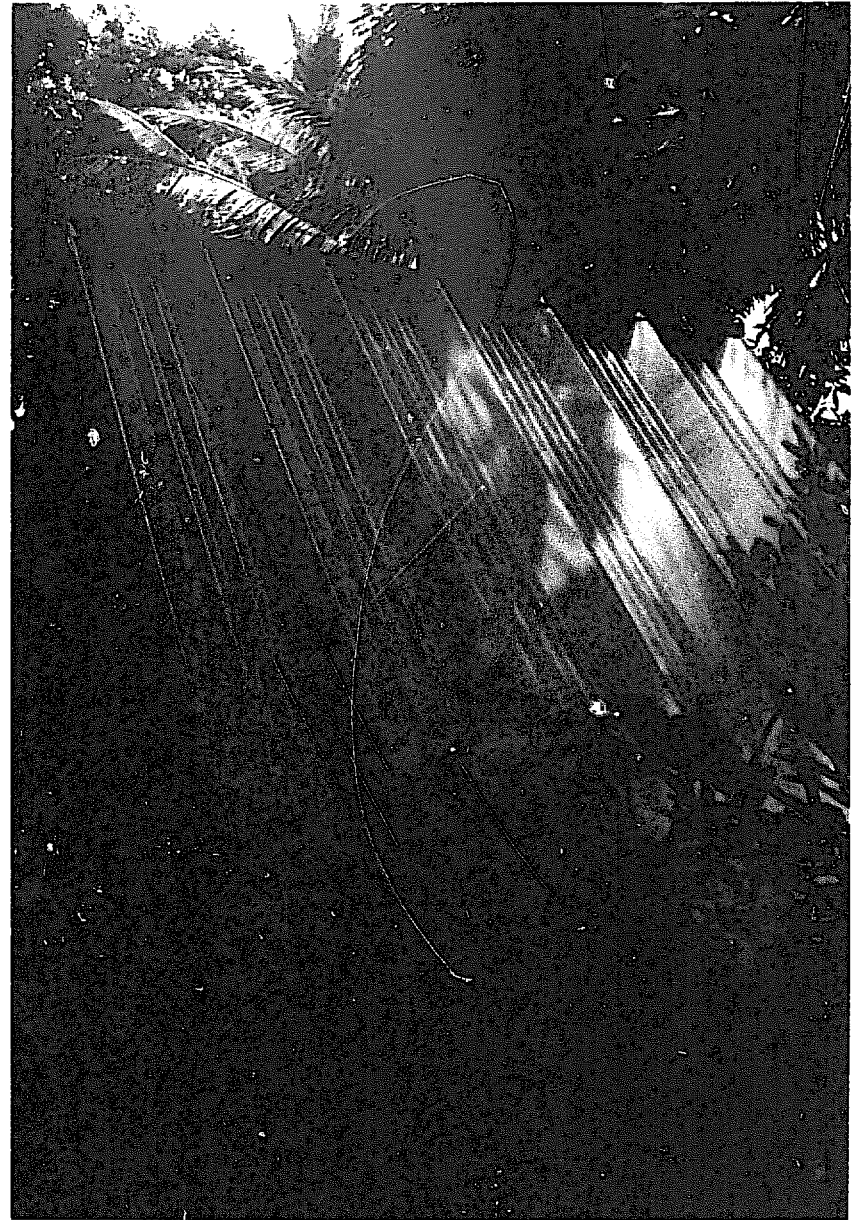
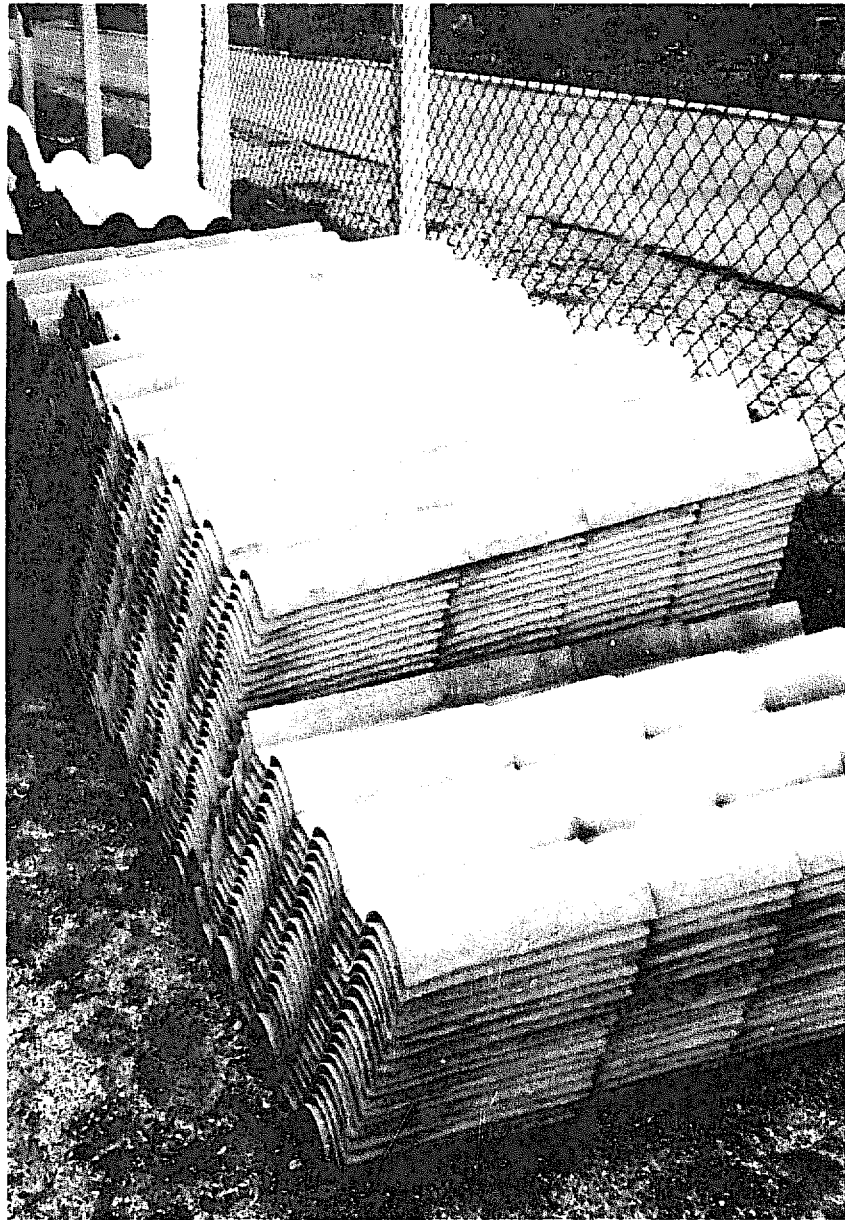
This product manufactured in Costa Rica is being sold locally under the brand name SUPERFLEX. It apparently consists of cardboard or similar material impregnated with

Abb. 5.18 Asbestzementplatten als Imitation von traditionellen Tonziegeln (Guatemala).

Fig. 5.18 Asbestos cement sheets simulating traditional clay tiles (Guatemala).

Abb. 5.19 Unkonventionelle Verwendung von Asbestzement-Trogplatten (canaletas), (Guatemala).

Fig. 5.19 Unconventional use of asbestos cement troughed sheets (canaletas), (Guatemala).



prägniertem Material und wird in drei Farben angeboten: Schwarz, Rot und Silber. Die Paneele sind gewellt und haben ähnliche Abmessungen wie die verzinkten Stahlbleche. Das Gewicht ist ungefähr  $4 \text{ kg/m}^2$ , und das Material kann genauso wie verzinkter Stahl installiert werden.

Der Preis ist niedriger als der des Konkurrenzproduktes ( $\$ 1,50/\text{m}^2$ ), und das neue Material hat einige Beliebtheit gewonnen, besonders in Küstenregionen, wo das Rosten der verzinkten Stahldächer ein Problem ist. Da es jedoch Sonne und Regen ausgesetzt ist, weicht das Material auf, so daß die Wellen sich verflachen und verwinden. Außerdem ist das Material nicht feuerfest. Aufgrund dieser Nachteile wurde der Gebrauch des neuen Materials vom National Housing Institute eingestellt.

#### Zement-Stein-Dachdeckung

Eine weitere private Firma in Costa Rica entwickelt eine Wellplattendeckung, TECON, welche angeblich aus Zement und pulverisierten Steinen hergestellt ist, ohne irgendein weiteres Verstärkungsmaterial. Einige Vortests dieses Produkts durch das Material Laboratory des Costa Rica Housing Institute haben vielversprechende Ergebnisse gezeigt. Jedoch glauben Fachleute, daß das überhohe Materialgewicht, das  $37 \text{ kg/m}^2$  betragen kann, dessen Anwendungsgebiet sehr begrenzen wird.

#### Ferrozement

Das Engineering Department der University of San Carlos in Guatemala hat in verschiedenen Anwendungsbereichen von Ferrozement Untersuchungen angestellt. Eine davon ist ein gebogenes Dachelement, ca. 2 m breit, mit einer Spannweite von über 3 m ohne Zwischenstützen, hauptsächlich für low-cost-Häuser mit Zementblock-Wänden. Das Material besteht aus 1 Teil Zement und 2 Teilen zermahlenem Bimsstein, mit zwei Lagen 22er Maschendraht verstärkt. Die Stärke ist ca. 2,5 cm.

#### Neues Asbestzement-Produkt

Vom guatemaltekischen Asbestzement-Hersteller wurde ein neues Produkt auf dem örtlichen Markt eingeführt. Es ist ein Dachdeckungspaneel ( $0,745 \times 1,18 \text{ m}$ ) mit abwechselnd flacher und konvex geformter Oberfläche, entsprechend den Abmessungen der Tonziegeldeckung. Das Gewicht ist ca.  $12,5 \text{ kg/m}^2$ , und die Paneele werden auf einer Holzunterkonstruktion genau wie die herkömmlichen Asbestzement-Platten angebracht.

Der augenblickliche Preis beträgt  $8,19 \text{ \$/m}^2$ . Der Hersteller bietet ebenfalls rote Farbe zu einem Preis von  $9,80 \text{ \$/Gallone}$  (ca.  $3,8 \text{ dm}^3$ ) an, so daß der Hausbesitzer damit ein Dach erhält, das dem Lehmziegeldach sehr ähnlich sieht. Unter Berücksichtigung von zwei Schichten Farbe entstehen Materialkosten von  $8,97 \text{ \$/m}^2$ .

#### Zement-Faser-Wellplatten

In Honduras werden von A.I.D. unterstützte Feldversuche durchgeführt mit Zement-Faser-Wellplatten, welche mit einfacher Ausrüstung in den Dörfern hergestellt werden. Die Technologie ist ähnlich derjenigen, die vom Intermediate Technology Materials Workshop of the J.P.M. Penny & Associates Ltd. in England entwickelt wurde (s. 4.2.2).

asphalt, and is offered in three colors: black, red and silver. The panels are corrugated and have overall dimensions similar to those of galvanized steel sheets. The weight is approximately  $4 \text{ kg/m}^2$ , and the material can be installed in the same manner as galvanized steel.

The price is lower than the competitive product ( $\$ 1.50/\text{m}^2$ ), and the new material has gained some public acceptance, especially in coastal areas where rusting of the galvanized steel roofs is a problem. The effect of exposure to sun and rain, however, tends to cause flattening and distortion of the corrugations. Also, the material lacks fire resistance. Due to these deficiencies, use of the new material by the National Housing Institute has been discontinued.

#### Cement-stone Roofing

Another private industry in Costa Rica is developing a corrugated roofing panel, TECON, which reportedly is made of cement and pulverized stone without any other type of reinforcement. Some preliminary testing of this product conducted by the Materials Laboratory of Costa Rica's Housing Institute has shown some promising results; however, Institute personnel feel that the material's excessive weight, which may be as high as  $37 \text{ kg/m}^2$ , will greatly limit its field of application.

#### Ferrocement

The Engineering Department of the University of San Carlos in Guatemala has been conducting experiments on various ferrocement applications. One of these is a curved roofing element, about 2 m wide, designed to cover a 3 m span without intermediate supports, principally for low cost home with cement block wall construction. The material consists of 1 part cement to 2 parts crushed pumice reinforced with 2 layers of 22 gauge wire mesh. The thickness is approximately 2.5 cm.

#### New Asbestos-cement Product

A new product has been introduced in the local market by the Guatemalan asbestos-cement manufacturer. This is a roofing panel ( $0.745 \times 1.18 \text{ m}$ ) especially formed with convex curved surface undulations which duplicate the dimensions of clay tile. The weight is about  $12.5 \text{ kg/m}^2$ , and the product is installed over a wooden frame in the same manner as conventional asbestos-cement sheets.

The current price is  $\$ 8.19/\text{m}^2$ . The manufacturer also offers red paint at a price of  $\$ 9.80/\text{gallon}$  so the homeowner can obtain a roof which more closely resembles clay tile. Considering the use of two coats of paint, this would increase the total material cost per square meter to  $\$ 8.97$ .

#### Cement-fibre

In Honduras, field testing sponsored by AID has been initiated with cement-fibre corrugated roofing panels which are fabricated with simple equipment in rural villages. The technology used is similar to that developed by the Intermediate Technology Materials Workshop of the J.P.M. Parry & Associates Ltd., in England (see 4.2.2).

## 6. MÖGLICHE NEUENTWICKLUNGEN FÜR ZENTRALAMERIKA

### 6.1 Auswahl von Materialien für Vortests

Wie in vorhergehenden Abschnitten dieses Reports erwähnt, machen drei Typen von Dachdeckungssystemen über 90% aller Hausdächer in Zentralamerika aus. Diese schließen traditionelle Materialien (Tondachziegel und Stroh) und industriell hergestelltes verzinktes Stahlblech ein. Die Beliebtheit der traditionellen Dachdeckungssysteme scheint jedoch abzunehmen, möglicherweise aus folgenden Gründen:

- Das Strohdach, das hauptsächlich wegen seiner niedrigen Kosten Verwendung findet, wird von den örtlichen Einwohnern als weniger wünschenswert angesehen als andere Alternativen, was hauptsächlich seiner Neigung zur Insekten- und Ungeziefer-Einnistung zuzuschreiben ist. Auch erfordert seine Anbringung einiges handwerkliches Geschick, und es scheint, als ob in jeder folgenden Generation immer weniger Leute in der Lage seien, diese Arbeit auszuführen.
- Obwohl die Erscheinungsform des Tonziegeldaches von der örtlichen Bevölkerung geschätzt wird, ist dieses System wegen der kürzlichen Kostenerhöhung für Tonziegel für viele der Armen auf dem Lande viel zu teuer. Außerdem hat sich dieses Material bei Erdbeben als gefährlich erwiesen.

Das Dach aus verzinktem Stahl, das immer mehr die traditionellen Systeme ersetzt, ist die billigste zur Verfügung stehende Alternative, obwohl sogar dieser Preis für einige Landbewohner zu hoch ist, die weiterhin die Strohdachdeckung ausführen. Diese Dachdeckungsart ist aufgrund ihrer bereits in diesem Report erwähnten Unzulänglichkeiten weit davon entfernt, optimal zu sein, und ihr hoher Anwendungsfaktor zeigt nur, daß es keine andere gleichwertige Alternative gibt.

Aufgrund der oben beschriebenen Situation wurde beschlossen, eine Reihe von Voruntersuchungen durchzuführen, um die Möglichkeiten zur Entwicklung alternativer Dachdeckungssysteme auszuwerten, welche vom "do-it-yourself"-Bauherrn mit niedrigem Einkommen angewandt werden könnten, der gegenwärtig entweder verzinkten Stahl oder herkömmliche Dachdeckungsmaterialien verwendet. Um erfolgreich zu sein, sollte ein neues Dachdeckungssystem dieser Art einfacher anzubringen sein als Stroh, billiger als verzinkter Stahl, frei von Insekten- oder Ungezieferbefall, bedeutend geringeres Gewicht haben als Tondachziegel und bei Erdbeben keine Gefahrenquelle bieten.

Auch muß das Dachdeckungssystem angemessene Stabilität und Lebensdauer besitzen und sollte so weit wie möglich mit den Eigenschaften eines idealen Daches übereinstimmen, die in Abschnitt 7.2 dieses Reports angeführt sind. Um von der Bevölkerung besser akzeptiert zu werden, sollte es wie ein Wellblech- oder Tonziegeldach aussehen und, da dieses Projekt hauptsächlich auf die arme Landbevölkerung abgestimmt ist, sollten Materialien verwendet werden, die entweder auf dem Feld aufgesammelt oder einfach auf den örtlichen Märkten gekauft werden können.

In Anbetracht der oben genannten Kriterien wurde beschlossen, mit den folgenden Materialien zu experimentieren:

## 6. POSSIBLE NEW APPLICATIONS FOR CENTRAL AMERICA

### 6.1 Selection of Materials for Preliminary Testing

As indicated in previous sections of this report, three types of roofing systems account for over 90% of all house roofs in Central America. These include the traditional materials (clay tile and thatch) and industrially manufactured galvanized steel sheets. The popularity of the traditional roofing systems, however, appears to be diminishing, possibly due to the following reasons:

- The thatched roof, used principally because of its low cost, is considered less desirable than other alternatives by local inhabitants, due mainly to its tendency to become infested with insects and rodents. Also, its installation requires some manual skill, and it appears that fewer people in each succeeding generation are capable of performing this task.
- Although the appearance of the clay tile roof is esteemed by the local population, recent clay tile cost increases have resulted in this system being far too expensive for many of the rural poor. In addition, this material has been proven hazardous during earthquakes.

The galvanized steel roof which is tending to substitute the traditional systems is the lowest cost available alternative, although even this cost is too high for some rural inhabitants who continue to use thatch. This type of roofing system, due to the deficiencies discussed previously in this report, is far from optimum, and its high usage in Central America may simply reflect the lack of any other alternative.

In view of the above, it was decided to conduct a series of preliminary tests designed to evaluate the possibilities for developing alternative roofing systems which could be used by the low income "do-it-yourself" home builder, who currently uses either galvanized steel or traditional roofing materials. To be successful, a new roofing system of this type should be simpler to install than thatch, lower cost than galvanized steel, free from insect or rodent infestation, significantly lighter weight than clay tile and should present no earthquake hazard.

Also, the roofing system must have adequate strength and life, and should conform as much as possible with the characteristics of an ideal roof, which are listed in Section 7.2 of this report. Its appearance should tend to simulate the clay tile roof for better acceptability by the local population and, since this project is oriented principally towards the rural poor, materials should be used which can either be gathered in the field or easily purchased in local markets.

Taking the above criteria into consideration, it was decided to experiment with the following materials:



A. Hauptmaterial.

Mit Kalk stabilisierte Erde und mit Bims oder Sand vermischter Zement wurden als hauptsächlichste Dachdeckungsmaterialien ausgewählt, da sie in ganz Zentralamerika ohne weiteres verfügbar sind und bereits in der Bauindustrie Verwendung finden. Von den beiden Alternativen wäre stabilisierte Erde aus Kostengründen vorzuziehen, aber dieses Material ist bisher ausschließlich in Blöcken zum Bau von Wänden verwendet und noch nicht für die Anwendung als Dachdeckung ausgewertet worden. Zementmischungen könnten deshalb erforderlich werden, falls angemessene Festigkeiten mit stabilisierten Erden nicht erreicht werden können.

B. Bewehrungsmittel.

Die folgenden drei Materialarten wurden zur Verstärkung des Dachdeckungsmaterials in Betracht gezogen:

1. Natürliche Fasermaterialien, wie sie in vielen Gegenden Zentralamerikas vorzufinden sind, einschließlich Sisalfasern (die gegenwärtig zur örtlichen Herstellung von Säcken verwendet werden), Piniennadeln, Stroh und Kokosnußfasern.
2. Örtlich hergestellte Gewebe.  
Jute- und Sisalsäcke, die in Zentralamerika hauptsächlich für Kaffeebohnen-Verpackung verwendet werden, und preiswerter Baumwollstoff, der in Guatemala hergestellt wird, wurden als Verstärkungsmaterialien ausgewertet.



6.1

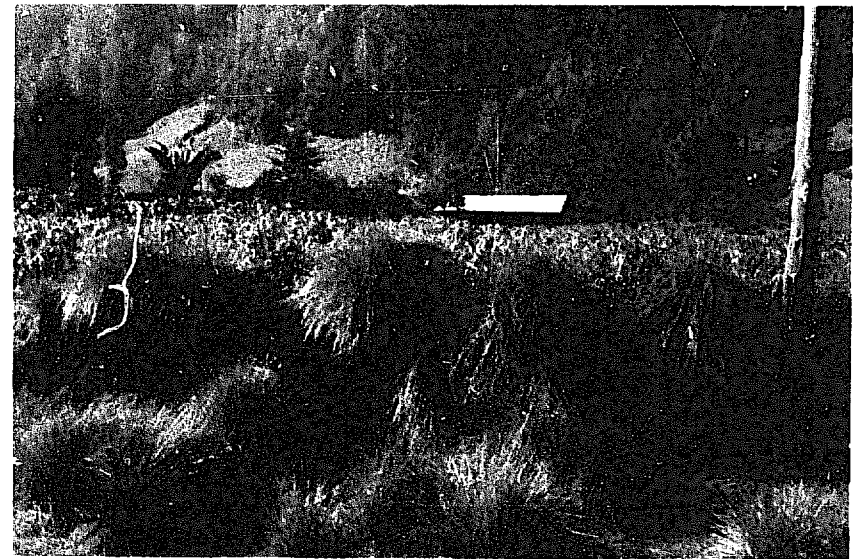
A. Principal Material.

Lime-stabilized soil and cement mixed with pumice or sand were selected as the principal roof covering materials; since they are readily available throughout Central America and already are used in the construction industry. Of the two alternatives, stabilized soil would be preferable for cost reasons, but this material so far has been used exclusively in blocks for wall construction and has not been evaluated for roofing applications. Cement mixes, therefore, might be required in case adequate physical strength cannot be obtained with stabilized soil systems.

B. Reinforcement.

The following three types of materials were considered for reinforcement of the principal roof covering material:

1. Natural fibrous materials available in many areas in Central America, including sisal fibres currently used for the local manufacture of sacks, pine needles, straw and coconut fibres.
2. Locally produced fabrics.  
Jute and sisal sacks used principally in Central America for coffee beans, and inexpensive cotton cloth produced in Guatemala were evaluated as reinforcing materials.



6.2

### 3. Maschendraht.

Draht wird in allen zentralamerikanischen Ländern produziert, und die gebräuchlichsten Drahterzeugnisse werden örtlich hergestellt. Hühnermaschendraht wurde als mögliches Verstärkungsmaterial in Betracht gezogen, jedoch als Alternative geringerer Priorität wegen seiner verhältnismäßig hohen Kosten.

### C. Oberflächenschutz.

Als Oberflächenschutz für stabilisierte Erd-Dachdeckungen wurde sowohl Kalkstrich als auch Bitumen in Erwägung gezogen. Da Kalk in den ländlichen Gebieten ganz Zentralamerikas hergestellt wird, sollte dieser Alternative, wenn sie erfolgreich ist, der Vorzug gegeben werden vor importierten Bitumenprodukten.

### D. Unterkonstruktion.

Bei den Vorversuchen sollte der Gebrauch von teuren Pinienholz-Tragsystemen vermieden und die Möglichkeiten der Verwendung von Bambus oder bambusähnlichem Rohr, kombiniert mit örtlich hergestelltem Seil oder Schnur, untersucht werden. Zusätzlich zu dem Kostenvorteil für den Selbsthilfe-Hausbauer wurde angestrebt, die Unterkonstruktion so zu gestalten, daß die Dachdeckung eine Wellenform erhält und somit das Aussehen eines Wellplatten- oder Tonziegeldaches simuliert.

Die in diesen Experimenten ausgewerteten Materialien, die auf dem Feld (Hochland von Guatemala) kostenlos zur Verfügung standen, waren folgende:

### 3. Wire mesh.

Wire is drawn in all of the Central American countries, and most common wire products are produced locally. Chicken wire was considered as a possible reinforcing material, but as a low priority alternative due to its relatively high cost.

### C. Surface Protection.

For surface protection of stabilized soil roof coverings, both lime slurry and bitumen were considered. Since lime is produced in rural areas throughout Central America, this alternative, if successful, would be preferable to the use of imported bituminous products.

### D. Support System.

For the preliminary experiments, it was decided to avoid the use of high cost pine lumber support systems, and to concentrate efforts on the use of bamboo or bamboo-like canes combined with locally produced rope or twine. In addition to the cost advantage to the self-help home builder, it was felt that this type of support system could be designed in such a way as to give a corrugated effect of the roof covering, thereby tending to simulate the appearance of clay tile.

The materials evaluated in these experiments, which were obtained in the field (Guatemala highlands) without cost, were the following:

Abb. 6.1 Caña de castilla, ein reichlich vorhandenes und leicht ersetzbares (schnell wachsendes) Rohmaterial.

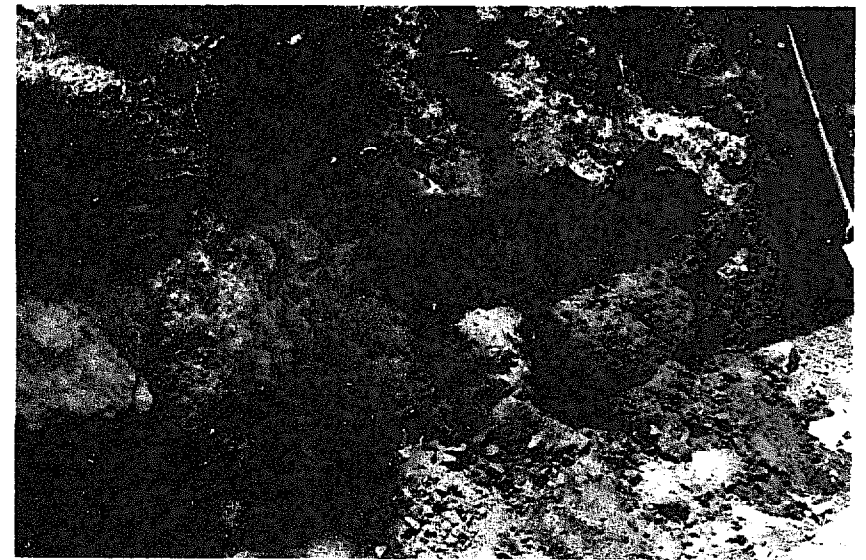
Fig. 6.1 Caña de castilla, an abundant and easily renewable raw material.

Abb. 6.2 Pajón (*Epicampes macroua*).

Fig. 6.2 Pajón (*Epicampes macroua*).

Abb. 6.3 Erdprobe für Laborversuche, entnommen 50 cm unterhalb der Oberfläche, um Humus und organische Stoffe zu eliminieren.

Fig. 6.3 Soil samples for testing, taken from 50 cm below ground surface to eliminate humus and organic matter.



- Erde (verschiedene Proben aus verschiedenen Gegenden)
- Sand und gemahlener Bims
- Kokosnußfasern (von Schalen)
- Stroh (pajón)
- Piniennadeln
- Bambus
- Caña de Castilla (bambusähnliches Rohr)

Nachstehend die gekauften Materialien und ihre Einheitspreise:

Material	Einheit	Einheitspreis
Portlandzement	kg	₡ 0.08
Löschkalk	kg	₡ 0.07
ungelöschter Kalk	kg	₡ 0.05
Sisal- und Jute-Sackmaterial	m <sup>2</sup>	₡ 1.09
Baumwolltuch	m <sup>2</sup>	₡ 0.61
Hühnermaschendraht	m <sup>2</sup>	₡ 1.37
Seil	lfdm	₡ 0.08
Bindfaden	lfdm	₡ 0.01
Asphalt	Liter	₡ 1.62
Verdünnungsmittel	Liter	₡ 0.20

Es sollte erwähnt werden, daß zusätzlich zu den Experimenten mit den oben genannten Materialien, die im nächsten Abschnitt 6.2 erläutert werden, zu Beginn drei andere Versuche initiiert, später jedoch außer Erwägung gelassen wurden. Es folgt eine kurze Beschreibung:

#### 1. Grasdach. (Siehe Abb. 6.14, Seite 134)

Aus Bambusstützen, die mit Bindfaden zusammengebunden und mit Plastikfolie bedeckt waren, wurde ein kleines Prototyp-Dach gebaut. Eine Dachdeckung aus Baumwollsäcken, die mit Erde und Grassamen gefüllt waren, wurde dann über die Plastikfolie gelegt und am Stützrahmen festgebunden. Man hoffte, daß das Gras durch das Baumwollmaterial wachsen und schließlich eine homogene Masse bilden würde, die von dem Wurzelsystem der Gräser zusammengehalten wird. In der Praxis stellte sich heraus, daß, obwohl der Grassamen aufging und an einigen Stellen durch die Baumwollsäcke wuchs, weiteres Wachstum stagnierte und nicht ausreichte, den Rest des Daches zu bedecken. Auch erschien das Gewicht pro Flächeneinheit für dieses System extrem hoch. Der Versuch wurde als Mißerfolg angesehen, und weitere Arbeit auf diesem Gebiet wird nicht empfohlen.

#### 2. Asphaltbestrichenes Stroh. (Siehe Abb. 6.10/6.11, Seite 133)

Es wurde ein Prototyp-Dachsystem vorbereitet, das aus Stroh (pajón) bestand und auf welches Asphalt emulsion aufgebürstet wurde, und welches an eine Holz- und Hühnerdraht-Unterkonstruktion angehängt wurde. Dieses Experiment wurde durchgeführt, um die Möglichkeit der Verbesserung von bestehenden traditionellen Strohdächern zu untersuchen. Es stellte sich jedoch heraus, daß der für eine angemessene Oberflächenabdeckung benötigte Asphalt (ca. 1 Gallone/m<sup>2</sup>) Materialkosten

- Soil (various samples from different areas)
- Sand and crushed pumice
- Coconut fibres (from husks)
- Straw (pajón)
- Pine needles
- Bamboo
- Caña de Castilla (bamboo-like cane)

The purchased materials and their unit costs were as follows:

Material	Unit	Cost/Unit
Portland cement	kg	₡ 0.08
Hydrated lime	kg	₡ 0.07
Quicklime	kg	₡ 0.05
Sisal and jute sacking	m <sup>2</sup>	₡ 1.09
Cotton cloth	m <sup>2</sup>	₡ 0.61
Chicken wire	m <sup>2</sup>	₡ 1.37
Rope	lin.m	₡ 0.08
Twine	lin.m	₡ 0.01
Asphalt	liter	₡ 1.62
Solvent	liter	₡ 0.20

It should be mentioned that, in addition to the experiments with the above materials which are discussed in the next sub-section 6.2, three other trials were initiated early in the testing program, but were later dropped from consideration. A brief description of each follows:

#### 1. Grass Roof. (See Fig. 6.14, page 134)

A small prototype roof support system was constructed using bamboo support members tied together with twine and covered with a polyethylene sheet. A roof covering consisting of cotton bags containing earth and grass seed was then placed over the plastic sheet and tied to the support frame. It was hoped that the grass would grow through the cotton fabric and eventually form a continuous mass held together by the grass root system. In practice, it was found that although the grass seed did germinate and grow through the cotton bags in some areas, later growth was stunted and did not propagate sufficiently to cover the rest of the roof. Also, the weight per unit area appeared excessive for this system. This trial was considered a failure and no further work in this area is recommended.

#### 2. Asphalt-coated Thatch. (See Fig. 6.10/6.11, page 133)

A prototype roof system was prepared consisting of thatch (pajón straw) brush-coated with asphalt emulsion, and tied to a wood and chicken wire support system. This experiment was conducted with a view towards evaluating the possibility of improving present traditional thatched roofs. However, it was found that the amount of asphalt required to obtain a reasonable surface covering (about 1 gallon/m<sup>2</sup>) represented a material cost considerably greater than that required for a galvanized steel roof. This idea, therefore, was dropped for economic reasons.

verursachte, die beträchtlich über denjenigen für ein Dach aus verzinktem Stahl lagen. Diese Idee wurde deshalb aus wirtschaftlichen Gründen aufgegeben.

3. Chemische Imprägnierungszusätze. (Siehe Abb. 6.12/6.13, Seite 134)  
Chemische Materialien (CONSERVEX und CONSOLID 444), die speziell für die Erdverfestigung von der Consolid AG, CH-9435 Heerbrugg S 6, Aechelstraße 18, Schweiz, hergestellt wurden, wurden zu Beginn des Programms als Zusätze für Dachdeckung aus stabilisierter Erde getestet. Zusatzmittelbeimengungen von einem Volumenteil CONSERVEX zu hundert und einem Volumenteil CONSOLID 444 zu tausend Volumenteilen Erd-Kalkmischung wurden gegen eine unbehandelte Erd-Kalkmischung getestet. Vom technischen Standpunkt waren die Ergebnisse recht vielversprechend, da die behandelte Probe gegenüber der unbehandelten bei den Laboruntersuchungen über Wasseraufnahme-Eigenschaften ( $35 \text{ ml/cm}^2$  gegen  $45$  für die Kontrolle) und ebenfalls, als es der Witterung ausgesetzt wurde, viel größere Widerstandsfähigkeit gegen Erosion aufwies.  
Diese Chemikalien sind jedoch importierte Erzeugnisse und verhältnismäßig teuer (ca.  $1.00 \text{ \$/Liter CONSERVEX}$  und  $4.00 \text{ \$/Liter CONSOLID 444}$ ). Sie werden wahrscheinlich hauptsächlich an öffentliche Bauträger und an private Baufirmen verkauft werden; ihre leichte Verfügbarkeit für den Landbewohner, der auf dem örtlichen Markt einkauft, ist zu bezweifeln. Deshalb wurde trotz der Vorteile der Chemikalien beschlossen, keine weiteren Experimente mit diesen Materialien durchzuführen, es sei denn, daß spätere Tests zeigen, daß ihre Anwendung von Bedeutung ist.

## 6.2 Vorbereitung und Erprobung von Prototyp-Bedachungssystemen

Wegen knapper Zeit und Ressourcen des vorliegenden Projektes konnten nur sehr unverbindliche Experimente durchgeführt werden. Das Ziel war, so viele Ideen und verschiedene Materialien wie möglich auszuprobieren, um diejenigen herauszukristallisieren, die zukünftige weitergehende Experimente rechtfertigen. Sowohl Testtafeln als auch komplexe Prototyp-Dachdeckungssysteme wurden von Hand gefertigt, unter Zuhilfenahme von nur wenigen einfachen Werkzeugen und Einrichtungen, um mehr mit den Methoden übereinzustimmen, die wahrscheinlich von einem Hausbauer mit niedrigem Einkommen in Zentralamerika angewendet werden.

### 6.2.1 Testtafeln

Für die erste Testserie wurden einfache Testtafeln angefertigt, um eine Auswertung der relativen Stärke von Kalk-stabilisierter Erde und Zement-Bims oder Zement-Sand-Mischungen zu ermöglichen und um eine Vor-Auswahl aus einer Anzahl möglicher Bewehrungsmaterialien zu treffen.

Die Tafeln ( $10 \times 10 \times 1,2 \text{ cm}$ ) wurden handgefertigt, indem mit einer Kelle die Mischung in eine Holzform gegeben und kompaktiert wurde. Erde, Sand und Bims wurden gesiebt, um Fremdmaterial zu entfernen; die trockenen Mischungszutaten wurden

3. Chemical Waterproofing Additives. (See Fig. 6.12/6.13, page 134)

Chemical materials (CONSERVEX and CONSOLID 444) manufactured especially for soil consolidation by Consolid AG, CH-9435 Heerbrugg S6, Aechelstraße 18, Switzerland, were tested early in the program as additives for stabilized soil roof coverings. One part per hundred by volume of CONSERVEX and one part per thousand of CONSOLID 444 were incorporated into a lime-stabilized soil sample and tested against an untreated control. From a technical standpoint results were quite promising, since the treated sample was superior to the control in laboratory water absorption tests ( $35 \text{ ml/cm}^2$  vs  $45$  for the control) and when exposed to the elements showed very significantly greater resistance to erosion. These chemicals, however, are imported products and relatively high priced (approximately  $\$ 1.00$  per liter for CONSERVEX and  $\$ 4.00$ /liter for CONSOLID 444). They will probably be sold principally to national institutions active in construction, and to private construction firms; their ready availability to the rural inhabitant who shops in local markets is doubtful. Therefore, despite the beneficial effect of the chemicals, it was decided not to conduct further experiments with these materials unless future testing shows their use to be essential.

## 6.2 Preparation and Testing of Prototype Samples

Due to time and resource limitations of the present project, only experiments of a very preliminary nature could be effected. The purpose of these was to screen as many ideas and material variations as possible in order to identify those which merit more detailed experimentation in the future. Both test plaques and more complex prototype roofing systems were prepared by hand, using only a few simple tools and fixtures in order to conform more closely with the methods that probably would be used by a low-income home builder in Central America.

### 6.2.1 Test Plaques

For the first series of tests, simple test plaques were prepared to permit an evaluation of the relative strength of lime stabilized soil and cement-pumice or sand mixtures, and to effect a preliminary screening of a number of possible reinforcing materials.

The plaques were hand made, trowelling the mixture into a wooden form designed for a plaque size of  $10 \times 10 \times 1.2 \text{ cm}$ . The soil, sand and pumice were screened to eliminate extraneous material; the dry mix ingredients were measured by volume and

nach Volumen bemessen und handgemischt. Es wurde nur so viel Wasser hinzugefügt, wie es die leichte Handhabung mit der Kelle erforderte. Die Stroh- und Piniennadel-Bewehrungen wurden auf ungefähr 3 cm Länge geschnitten und der nassen Mischung beigegeben. Gewebe- und Maschendraht-Verstärkungen wurden mit Scheren auf die erforderliche Größe zugeschnitten und über die erste Schicht der Mischung in der Holzform gelegt.

Diese erste Testreihe wurde durchgeführt, um eine grobe Auswertung der folgenden Variablen zu ermöglichen:

- Erden.  
Es lagen drei Bodenproben von verschiedenen Gegenden aus dem Hochland von Guatemala vor (Antigua, San Lucas und El Tejar). Es wurden alleine durch visuelle Prüfung diejenigen Erden ausgewählt, die den Anschein für die richtige Zusammensetzung zum Formen hatten.
- Kalk.  
Sowohl Löschkalk, der in Guatemala industriell angefertigt wird, als auch ungelöschter Kalk, der in kleinen ländlichen Kalkbrennereien hergestellt wird, wurde in 5 und 10%igen Beimengungen mit den Bodenproben trocken vermischt.
- Zementmischungen.  
Für Prüfzwecke wurden drei Zementmischungen verwendet: Zement-Bims (1 : 1), Zement-Bims (1 : 4) und Zement-Sand (1 : 4).
- Bewehrungsmaterialien.  
Als Bewehrungen wurden Baumwollgewebe, Jute- und Sisalsäcke, Maschendraht, Sisalfaser, Piniennadeln und Stroh ausgewertet.

Wie aus den nachfolgenden Tabellen ersichtlich, wurden 36 Tafeln mit stabilisierten Erdproben und 15 mit Zementmischungen hergestellt.

hand mixed. Only enough water to permit easy trowelling was added. The straw and pine needle reinforcing materials were cut to approximately 3 cm lengths and incorporated into the wet mix. Fabric and wire mesh reinforcements were pre-cut to size with scissors, and were placed over the first layer of mixture trowelled into the wooden form.

This initial test series was designed to permit a preliminary evaluation of the following variables:

- Soils.  
Three soil samples were obtained from different locations in the Guatemala highlands (Antigua, San Lucas and El Tejar). Soils were selected which appeared, through visual inspection only, to have an adequate consistency for molding.
- Lime Stabilizer.  
Both hydrated lime industrially manufactured in Guatemala, and quicklime produced in small rural kilns were dry blended with the soil samples in 5 to 10 % concentrations.
- Cement Mixes.  
For control purposes, three cement mixes were prepared: cement-pumice (1 : 1 ratio), cement-pumice (1 : 4) and cement-sand (1 : 4).
- Reinforcement.  
The reinforcing materials evaluated included cotton fabric, jute and sisal sacks, wire mesh, sisal fibre, pine needles and straw.

As shown in the following table, 36 plaques were prepared with stabilized soil samples, and 15 with cement mixes.

ERSTE SERIE TEST-TAFELN, HERGESTELLT 18. - 20. JUNI 1979

A. Stabilisierte Erden			
Tafel	Erdprobe aus	Bindemittel	Bewehrung
Nr.			
1	Antigua	5% Löschkalk	Keine
2	Antigua	5% Löschkalk	Baumwollgewebe (1 Lage)
3	Antigua	5% Löschkalk	Baumwollgewebe (2 Lagen)
4	Antigua	5% Löschkalk	Jute-Sackmaterial (1 Lage)
5	Antigua	5% Löschkalk	Sisal-Sackmaterial (1 Lage)
6	Antigua	5% Löschkalk	Piniennadeln
7	Antigua	5% Löschkalk	Stroh
8	El Tejar	5% Löschkalk	Keine
9	El Tejar	5% Löschkalk	Baumwollgewebe (1 Lage)
10	El Tejar	5% Löschkalk	Piniennadeln
11	El Tejar	5% Löschkalk	Sisalfaser
12	El Tejar	5% Löschkalk	Hühnerdraht (1 Lage)
13	San Lucas	5% Löschkalk	Keine
14	San Lucas	5% Löschkalk	Baumwollgewebe (1 Lage)
15	San Lucas	5% Löschkalk	Hühnerdraht (1 Lage)
16	San Lucas	5% Löschkalk	Sisalfaser
17	San Lucas	5% Löschkalk	Piniennadeln
18	Antigua	10% Löschkalk	Keine
19	Antigua	10% Löschkalk	Baumwollgewebe (1 Lage)
20	Antigua	10% Löschkalk	Baumwollgewebe (2 Lagen)
21	Antigua	10% Löschkalk	Hühnerdraht (1 Lage)
22	Antigua	10% Löschkalk	Sisalfaser
23	Antigua	10% Löschkalk	Piniennadeln
24	Antigua	10% Löschkalk	Hühnerdraht (2 Lagen)
25	El Tejar	10% Löschkalk	Keine
26	El Tejar	10% Löschkalk	Baumwollgewebe (1 Lage)
27	El Tejar	10% Löschkalk	Baumwollgewebe (2 Lagen)
28	El Tejar	10% Löschkalk	Piniennadeln
29	El Tejar	10% Löschkalk	Sisalfaser
30	El Tejar	10% Löschkalk	Hühnerdraht (1 Lage)
31	El Tejar	10% Löschkalk	Hühnerdraht (2 Lagen)
32	San Lucas	5% gelöschter Kalk	Keine
33	San Lucas	5% gelöschter Kalk	Baumwollfaser (1 Lage)
34	San Lucas	5% gelöschter Kalk	Hühnerdraht (1 Lage)
35	San Lucas	5% gelöschter Kalk	Sisalfaser
36	San Lucas	5% gelöschter Kalk	Piniennadeln

FIRST SERIES OF TEST PLAQUES PREPARED JUNE 18 - 20, 1979

A. Stabilized Soil			
Sample	Soil (Source)	Stabilizer	Reinforcement
No.			
1	Antigua	5% hydrated lime	None
2	Antigua	5% hydrated lime	Cotton fabric (1 layer)
3	Antigua	5% hydrated lime	Cotton fabric (2 layers)
4	Antigua	5% hydrated lime	Jute sacking (1 layer)
5	Antigua	5% hydrated lime	Sisal sacking (1 layer)
6	Antigua	5% hydrated lime	Pine needles
7	Antigua	5% hydrated lime	Straw
8	El Tejar	5% hydrated lime	None
9	El Tejar	5% hydrated lime	Cotton fabric (1 layer)
10	El Tejar	5% hydrated lime	Pine needles
11	El Tejar	5% hydrated lime	Sisal fibre
12	El Tejar	5% hydrated lime	Chicken wire (1 layer)
13	San Lucas	5% hydrated lime	None
14	San Lucas	5% hydrated lime	Cotton fabric (1 layer)
15	San Lucas	5% hydrated lime	Chicken wire (1 layer)
16	San Lucas	5% hydrated lime	Sisal fibre
17	San Lucas	5% hydrated lime	Pine needles
18	Antigua	10% hydrated lime	None
19	Antigua	10% hydrated lime	Cotton fabric (1 layer)
20	Antigua	10% hydrated lime	Cotton fabric (2 layers)
21	Antigua	10% hydrated lime	Chicken wire (1 layer)
22	Antigua	10% hydrated lime	Sisal fibre
23	Antigua	10% hydrated lime	Pine needles
24	Antigua	10% hydrated lime	Chicken wire (2 layers)
25	El Tejar	10% hydrated lime	None
26	El Tejar	10% hydrated lime	Cotton fabric (1 layer)
27	El Tejar	10% hydrated lime	Cotton fabric (2 layers)
28	El Tejar	10% hydrated lime	Pine needles
29	El Tejar	10% hydrated lime	Sisal fibre
30	El Tejar	10% hydrated lime	Chicken wire (1 layer)
31	El Tejar	10% hydrated lime	Chicken wire (2 layers)
32	San Lucas	5% quicklime	None
33	San Lucas	5% quicklime	Cotton fabric (1 layer)
34	San Lucas	5% quicklime	Chicken wire (1 layer)
35	San Lucas	5% quicklime	Sisal fibre
36	San Lucas	5% quicklime	Pine needles

B. Zementmischungen

Tafel Nr.	Mischungsverhältnis	Bewehrung
1	Zement - Bims 1 : 1	Keine
2	Zement - Bims 1 : 1	Sisalfaser
3	Zement - Bims 1 : 1	Baumwollgewebe (1 Lage)
4	Zement - Bims 1 : 1	Hühnerdraht (1 Lage)
5	Zement - Bims 1 : 1	Piniennadeln
6	Zement - Bims 1 : 4	Keine
7	Zement - Bims 1 : 4	Sisalfaser
8	Zement - Bims 1 : 4	Piniennadeln
9	Zement - Bims 1 : 4	Baumwollgewebe (1 Lage)
10	Zement - Bims 1 : 4	Hühnerdraht (1 Lage)
11	Zement - Sand 1 : 4	Keine
12	Zement - Sand 1 : 4	Sisalfaser
13	Zement - Sand 1 : 4	Baumwollgewebe (1 Lage)
14	Zement - Sand 1 : 4	Hühnerdraht (1 Lage)
15	Zement - Sand 1 : 4	Piniennadeln

Alle Tafeln konnten im Freien, geschützt vor Witterungseinflüssen, unter einer durchsichtigen Kunststoffolie zwei Wochen lang austrocknen, wonach die Tafeln durch leichtes Klopfen per Hand auf einer harten Fläche auf ihre Festigkeiten in Relation zu den verschiedenen Materialzusammensetzungen hin getestet wurden. Die Ergebnisse dieses einfachen Testvorgangs zeigten, daß die Stärke der Zementmischungen klar überlegen war; sie überstanden den Test ohne Probleme. Alle Tafeln aus stabilisierter Erde brachen leicht auseinander, und es konnte kein wesentlicher Unterschied zwischen Erdsorten, Kalk-Konzentrationen oder der Art des verwendeten Kalks festgestellt werden.

Was die Bewehrungen betraf, wurde folgendes beobachtet:

- Obwohl Stroh und Piniennadeln als Verstärkung für stabilisierte Erdblöcke benutzt worden sind, erscheinen diese Materialien viel zu grob für die dünnen Materialquerschnitte bei der Dachdeckung, und sie neigen dazu, die Stabilität insgesamt zu beeinträchtigen. Weitere Experimente mit diesen Materialien werden nicht empfohlen.
- Sisalfaser, die viel feiner ist als die oben genannten Materialien, scheinen für diese Anwendung geeignet zu sein.
- Mit den Jute- und Sisalsäcken entstanden Probleme beim Zuschneiden auf Tafelgröße wegen des Ausfransens der zugeschnittenen Teile und auch beim Verdichten wegen der fehlenden Adhäsion zwischen Gewebe und Mischung. Deshalb wurden mit diesen Verstärkungsmaterialien nur zwei Tafeln angefertigt. Ihre Eignung als Bewehrungen wird jedoch bei großflächigen Versuchsplatten weiterhin untersucht werden.

B. Cement Mixes

Sample No.	Proportion of Mix	Reinforcement
1	Cement - pumice 1 : 1	None
2	Cement - pumice 1 : 1	Sisal fibre
3	Cement - pumice 1 : 1	Cotton fabric (1 layer)
4	Cement - pumice 1 : 1	Chicken wire (1 layer)
5	Cement - pumice 1 : 1	Pine needles
6	Cement - pumice 1 : 4	None
7	Cement - pumice 1 : 4	Sisal fibre
8	Cement - pumice 1 : 4	Pine needles
9	Cement - pumice 1 : 4	Cotton fabric (1 layer)
10	Cement - pumice 1 : 4	Chicken wire (1 layer)
11	Cement - sand 1 : 4	None
12	Cement - sand 1 : 4	Sisal fibre
13	Cement - sand 1 : 4	Cotton fabric (1 layer)
14	Cement - sand 1 : 4	Chicken wire (1 layer)
15	Cement - sand 1 : 4	Pine needles

All plaques, protected from the elements by a polyethylene cover, were allowed to cure for a period of two weeks, at which time each plaque was hand tapped against a hard surface in an attempt to establish relative strengths of the different variable combinations. The results of this simple testing procedure showed a clear superiority strengthwise for the cement-mixes which stood up to testing without failure. All of the stabilized soil plaques broke apart quite easily, and no significant differences could be detected between soils, lime concentrations or the type of lime used.

As far as the reinforcing materials were concerned, the following observations were made:

- Although straw and pine needles have been used as reinforcement for stabilized soil building blocks, these materials appear far too coarse for the thin sections involved in roofing applications, and tend to weaken overall structural strength. Further experimentation with these materials will not be recommended.
- Sisal fibre, much finer than the above materials, appears suitable for this application.
- Problems were encountered with jute and sisal sacking materials when cut to plaque size, due to unravelling and packing of the cut sections. For this reason, only two plaques were prepared with these reinforcing materials. However, their use will be further evaluated in larger size prototype samples.

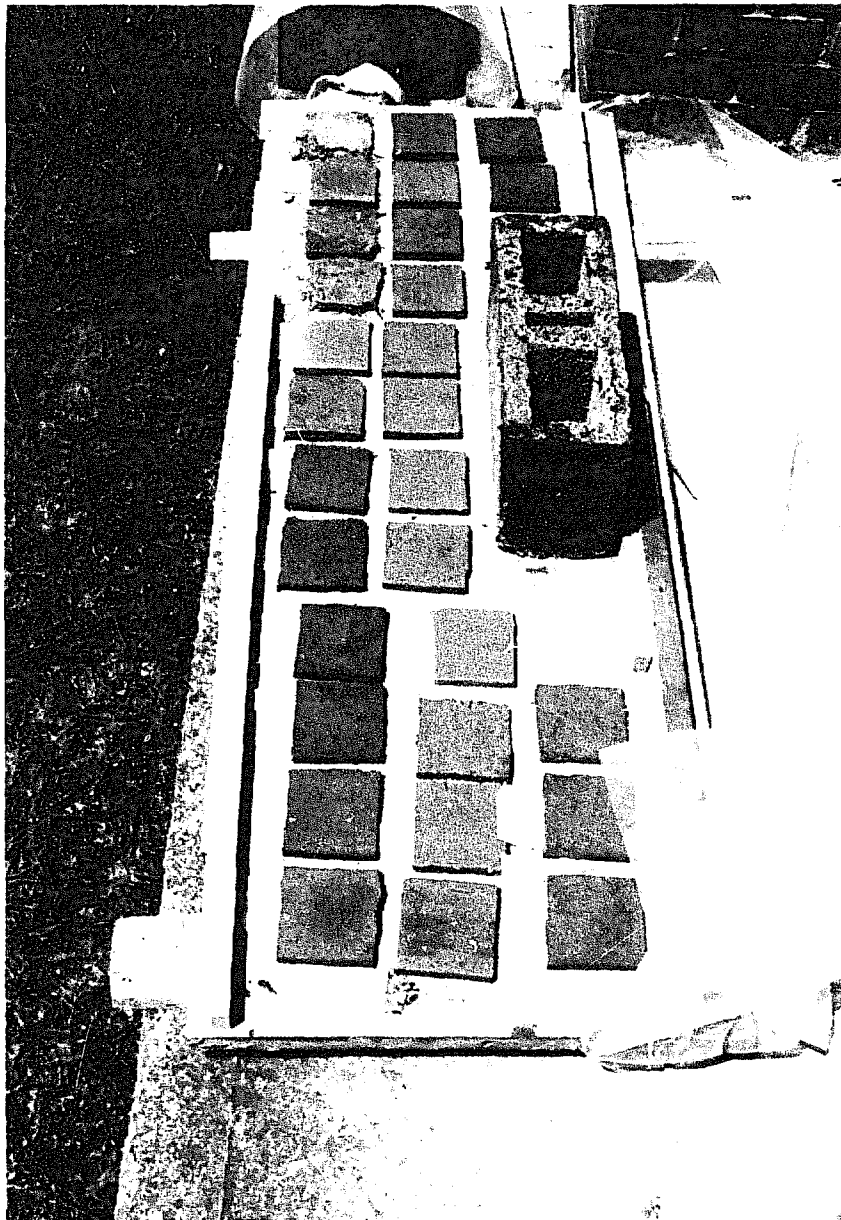
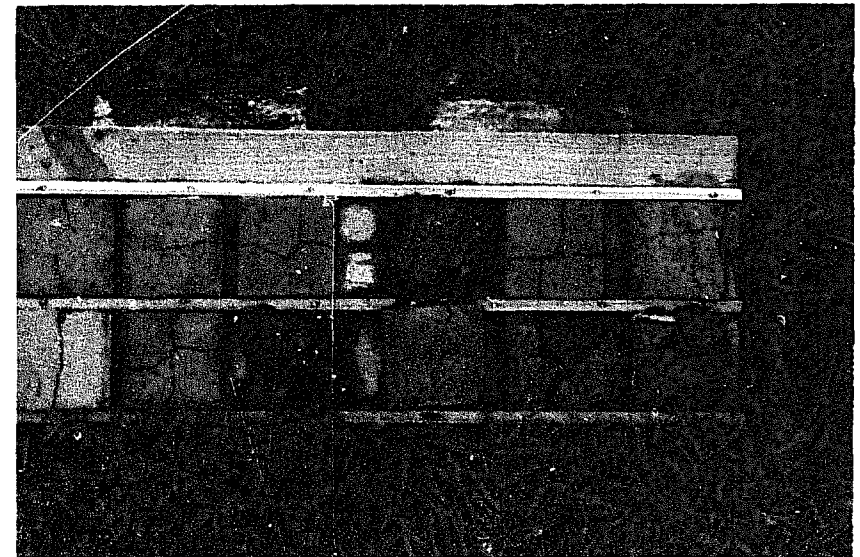


Abb. 6.4 Erd-Kalk-Probefeln (10 x 10 cm), jede mit unterschiedlichem Kalkanteil und verschiedener Bewehrung, zur Aushärtung in der Sonne aufgestellt, unter einer durchsichtigen Kunststofffolienabdeckung.

Fig. 6.4 Soil-lime samples, 10 cm square, each having different percentages of lime and varying reinforcements, placed in the sun for curing under a transparent polythene sheet.

Abb. 6.5 Einige willkürlich zusammengestellte Erd-Kalk-Probefeln, offen im Freien aufgestellt, nach dreimonatiger Aushärtung unter Folienabdeckung oder im Innenraum. (Anmerkung: Obwohl die Schlagfestigkeit nach zwei Wochen Aushärtung bei allen Proben gleich schlecht war, zeigte die Außenerprobung große Unterschiede im Witterungsverhalten, was offensichtlich auf den unterschiedlichen Tongehalt der Erdproben zurückzuführen ist).

Fig. 6.5 Some of the soil-lime samples, chosen at random, exposure tested after three months of hardening under cover or indoors. (Note: although impact resistance after two weeks curing was equally poor on all samples, the exposure test showed greatly differing material qualities on account of varying clay contents of the soil samples.





- Obwohl Baumwolltuch ein gutes Verstärkungsmaterial zu sein scheint, wurde es als schwierig empfunden, gute Haftung zwischen dem Gewebe und der stabilisierten Erde zu erreichen. Dies kann auf die verhältnismäßig trockene Mischung, die verwendet wurde, zurückzuführen sein, und es sollten weitere Erprobungen dieses Materials mit feuchteren Mischungen durchgeführt werden.
- Hühnerdraht ist ein gutes Verstärkungsmaterial, er wird jedoch, wie bereits in vorhergehenden Abschnitten erwähnt, wegen seiner höheren Kosten als Alternative mit geringerer Priorität betrachtet.

Da bei visueller Überprüfung der zerbrochenen stabilisierten Erdtafeln sich einige Abänderungen zeigten, wurde eine zweite Serie von 7 Tafeln angefertigt in der gleichen Art wie die vorhergehenden, außer daß das Handmischen der trockenen Zutaten sorgfältiger durchgeführt wurde. Es wurde eine neue Bodenprobe aus San Augustin, Guatemala, verwendet mit Kokosnußfaser als Verstärkung zusätzlich zu den Materialien, die in der ersten Testreihe vielversprechend zu sein schienen. Sämtliche Proben enthielten 10% Löschkalk als Stabilisierung; die Verstärkungsmaterialien waren folgende:

<u>Probe</u>	<u>Verstärkung</u>
1	keine
2	keine
3	Sisalfaser
4	Hühnerdraht (1 Schicht)
5	Baumwollgewebe (2 Schichten)
6	Kokosnußfaser (trocken)
7	Kokosnußfaser (vorgeweicht)

Nach der zweiwöchigen Austrocknungsperiode wurden die Tafeln mit der gleichen Methode, wie sie für die frühere Testreihe angewandt wurde, auf ihre Stärke hin geprüft. Die Ergebnisse waren identisch, da jede Tafel leicht gebrochen werden konnte, wenn sie gegen eine harte Unterlage gestoßen wurde. Die Kokosnußfaser schien als Verstärkungsmaterial der Sisalfaser ähnlich zu sein.

In Anbetracht der klaren Überlegenheit bei den Tafel-Tests der Zement-Sand- oder Bims-Mischungen im Vergleich mit stabilisierter Erde wurde beschlossen, die Bemühungen auf dieses Material zu konzentrieren bei der Herstellung von Prototyp-Dachdeckungssystemen. Weitere Versuche mit stabilisierter Erde werden jedoch wegen des offensichtlichen wirtschaftlichen Vorteils für den Verbraucher fortgesetzt werden, wenn es gelingt, die physikalischen Merkmale dieses Materials genügend zu verbessern, um eine angemessene Festigkeit für die Anwendung als Dachdeckung zu erreichen.

In der letzten Phase des Projekts, nach Beendigung der Prototyp-Dachdeckungs-Versuche, wurden einige der zerbrochenen stabilisierten Erd-Tafeln, die willkürlich ausgewählt wurden, während starker Regenzeit der Witterung ausgesetzt. Dieser Test zeigte, daß nach 2 1/2 Monaten Aushärtung (nach den Klopfests) Unterschiede in

- Although cotton fabric appears to be a good reinforcing material, it was found to be difficult to obtain good adhesion between the cloth and the stabilized soil. This may have been due to the relatively dry mixture being used, and future evaluation of this material with wetter mixes should be made.
- Chicken wire is a good reinforcing material, but, as mentioned in previous sections, is considered a low priority alternative due to its higher cost.

Since visual inspection of the broken stabilized soil plaques showed some evidence of lime segregation, a second series of 7 plaques was prepared in the same manner as the previous samples, except that more time and greater care was taken in hand mixing the dry ingredients. A new soil sample obtained in San Augustin, Guatemala, was used, and coconut fibres were evaluated as reinforcement in addition to the materials which appeared promising in the first series of tests. All samples contained 10% hydrated lime as the stabilizer; the reinforcing materials were as follows:

<u>Sample</u>	<u>Reinforcement</u>
1	None
2	None
3	Sisal fibre
4	Chicken wire (1 layer)
5	Cotton fabric (2 layers)
6	Coconut fibre (dry)
7	Coconut fibre (presoaked)

After the standard two week cure period, the plaques were tested for strength using the same procedure previously described for the first series of tests. Results were identical as each plaque could be easily broken when tapped against a hard surface. The coconut fibre appeared to be similar to sisal as a reinforcing material.

In view of the clear superiority shown in the plaque tests of the cement-sand or pumice mixes in comparison with stabilized soil, it was decided to concentrate efforts on this material in the preparation of prototype roofing systems. However, further experimentation with stabilized soil will be continued due to the obvious economic advantage to the consumer if the physical characteristics of this material can be improved sufficiently to reach acceptable strength levels for roofing applications.

After completion of the prototype roofing system experiments at the end of the present project, some of the broken stabilized soil plaques, selected at random, were exposed to the elements during a period of heavy rainfall. This exposure test showed differences between soil samples, after a 2 1/2 months cure period, which may be

den Proben festzustellen waren, was von großer Bedeutung sein kann. Die Tafeln aus El Tejar-Erde zeigten nach 24 Stunden schwere Auswaschungserscheinungen; etwas weniger Auswaschung wurde bei den Erdproben aus San Lucas bemerkt, und fast keine Auswaschungen gab es nach 1-monatiger Aussetzung bei den Proben aus Antigua-Erde. Dieses abschließende Experiment zeigt, daß sorgfältige Auswahl der Erde der wichtigste Faktor sein kann, um angemessene physikalische Stärke für stabilisierte Erd-Dachdeckungssysteme zu erhalten. Für weitere Programme wird deshalb empfohlen, eine Anzahl von Bodenproben auszuwählen, physikalischer und chemischer Analyse zu unterziehen und zu testen, welche Eigenschaften wesentlich sind. Diese Charakteristika sollten mit einfachen visuellen oder manuellen Tests feststellbar und in der Praxis von jedem einzelnen Hausbauer in Zentralamerika nachvollziehbar sein.

## 6.2.2 Prototyp-Bedachungssysteme

### 6.2.2.1 Verfahrensweise und Versuchsergebnisse

#### Erste Versuchsreihe

Für die erste Versuchsreihe für Dachdeckungssysteme wurde ein Befestigungsrahmen (45°-Neigung) aus Pinienholz hergestellt mit vier 1 m<sup>2</sup> großen offenen Flächen zum Bau von Prototyp-Dächern. Die erste dieser Flächen wurde für den Versuch mit asphalt-bestrichenem Stroh benützt, wie vorher in Absatz 6.1. beschrieben. Die anderen Experimente waren:

#### 1-1 Mit Zement-Sand getränkte Säcke

Im zweiten Rahmenabschnitt wurde eine Tragkonstruktion aus drei in Fallrichtung verlaufenden Bambuspfählen, die in gleichem Abstand zueinander angeordnet waren, hergestellt. Statt Pfetten wurden horizontal verlaufende, um jeden Bambuspfahl gewickelte Seile befestigt. Der Abstand zwischen den Seilpfetten betrug im Durchschnitt 13 cm.

Gekaufte Sisalsäcke wurden in 30 x 50 cm große rechteckige Teile geschnitten und die Schnittkanten mit der Hand umgenäht, um ein Ausfransen zu vermeiden. Eine nasse Mischung aus einem Teil Zement und zwei Teilen Sand wurde hergestellt, und jeder Sack wurde in diese Mischung getaucht. Die imprägnierten Säcke wurden, noch naß und biegsam, sofort über die Stützenkonstruktion gelegt mit vertikalen und horizontalen Überlappungen von ca. 8 bis 10 cm.

Da die imprägnierten Säcke über die vertikalen Bambuspfähle gelegt wurden und mit den horizontalen Seilpfetten zurücksackten, wurde eine wellenförmige Wirkung erzielt, die einem Tonziegeldach etwas ähnlich sah. Die Säcke wurden von Hand an die Seilträger gebunden und ein Endanstrich aus nasser Zement-Sand-Mischung mit einer Bürste über die ganze Fläche aufgetragen. Nach einer einwöchigen Aushärtungszeit unter Dach wurde der Prototyp den Witterungseinflüssen ausgesetzt und erzielte ganz zufriedenstellende Ergebnisse. Aus dem Experiment gingen die folgenden Beobachtungen über diesen Dachdeckungstyp hervor:

very significant. Samples prepared with El Tejar soil showed very severe erosion after 24 hours exposure; somewhat less erosion was noted with the San Lucas soil samples, and almost no erosion occurred after one month exposure with the samples produced from Antigua soil. This final experiment indicates that proper soil selection may be the most important factor in obtaining adequate physical strength for stabilized-soil roofing systems. In future programs, therefore, it is recommended that a number of soil samples be selected, subjected to physical and chemical analyses, and tested to determine which characteristics are essential. These characteristics when determined should be correlated with simple visual or manual tests that could be carried out in the field by individual low-income home builders in Central America.

## 6.2.2 Prototype Roofing Systems

### 6.2.2.1 Preparation and Experimental Results

#### First Series

For the first series of roofing system experiments, an exposure deck (45° angle) was fabricated from pine lumber, with four one square meter open spaces available for the construction of prototype roofs. The first of these spaces was used for the asphalt-coated straw experiment discussed previously in Section 6.1. The other experiments were as follows:

#### 1-1 Cement-sand Impregnated Sacks

A support structure was prepared with three equidistant vertical bamboo poles spanning the one meter space. Ropes looped around the bamboo poles and tied to the exposure deck frame were used as the horizontal support members. The spacing between the rope supports averaged about 13 cm.

Purchased sisal sacking was cut into 30 x 50 cm rectangular sections and the cut edges were hand sewn to prevent unravelling. A wet mixture of one part cement to two parts sand was prepared, and each sack was immersed in the mix. The impregnated sacks, still wet and flexible, were placed immediately over the support structure with vertical and horizontal overlaps of about 8 to 10 cm.

Since the impregnated sacks were laid over the vertical bamboo poles and allowed to sag against the horizontal rope supports, a corrugated effect was created somewhat similar to the appearance of a clay tile roof. The sacks were hand tied to the rope supports, and a final coat of wet cement-sand mixture was brushed over the entire prototype with a broom.

After a one week curing period under cover, the sample was exposed to the elements, with quite satisfactory results. The following observations concerning this type of roofing system resulted from the experiment:

#### Äußeres Erscheinungsbild

Obwohl die Oberfläche des imprägnierten Zementsacks ziemlich rauh war und viel mehr Arbeit darauf verwendet werden muß, um die Herstellungstechniken zu verbessern, war die Gesamterscheinung des Daches recht annehmbar. Seine Ähnlichkeit mit einem Tonziegeldach könnte die Chancen, von der Bevölkerung akzeptiert zu werden, erhöhen, besonders wenn der Mischung ein Pigment beigegeben werden könnte, um die rotbraune Farbe zu erzielen.

#### Aufbau

Probleme entstehen durch das übermäßige Absacken der Säcke zwischen den Seilträgern, und es scheint, als ob eine andere Art Unterkonstruktion entwickelt werden sollte. Auch war es mühsam und zeitraubend, die Schnittländer der Säcke umzunähen und die Säcke an die Seile zu binden. Es werden einfachere Anbringungstechniken benötigt.

#### Witterungsbeständigkeit

Die Aufstellung des Prototyps im Freien hat gutes Witterungsverhalten gezeigt, sogar während einer starken Regenzeit. Nach drei Monaten ist die Oberfläche noch in zufriedenstellendem Zustand; es ging nur etwas leicht-gebundener Sand verloren, aber Lecks entwickelten sich nicht.

#### Appearance

Although the cement impregnated sack finish was quite rough, and much more work is needed to improve fabrication techniques, the overall appearance of the roof was fairly pleasing. Its similarity to the appearance of clay tile could improve its chances of acceptance, especially if a pigment could be incorporated into the mix to provide reddish-brown color.

#### Installation

Considerable difficulty was encountered due to excessive sagging of the sacks between the rope supports, and it appears that some other support system should be developed. Also, sewing the cut edges of the sacks and tying them to the ropes was a laborious and time-consuming procedure. Simpler installation techniques are needed.

#### Resistance to Exposure

The prototype stood up well in exposure tests even during a period of very heavy rainfall. After three months, the sample is still in satisfactory condition; only some lightly-bonded superficial sand was lost, and leaks did not develop.

Rahmen für die Erprobung verschiedener Unterkonstruktionen und Bedachungsmaterialien

Framework for testing different substructures and roofing materials

Abb. 6.6 Unterkonstruktion: Hühnermaschendraht  
Fig. 6.6 Substructure: chicken-wire mesh

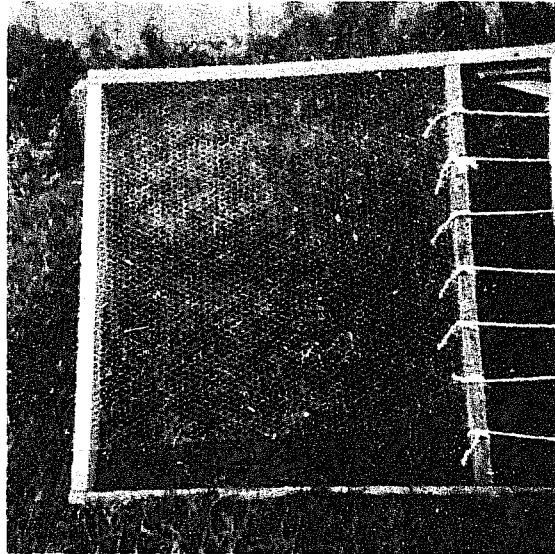


Abb. 6.7 Unterkonstruktion: Bambus und Seil  
Fig. 6.7 Substructure: bamboo and rope

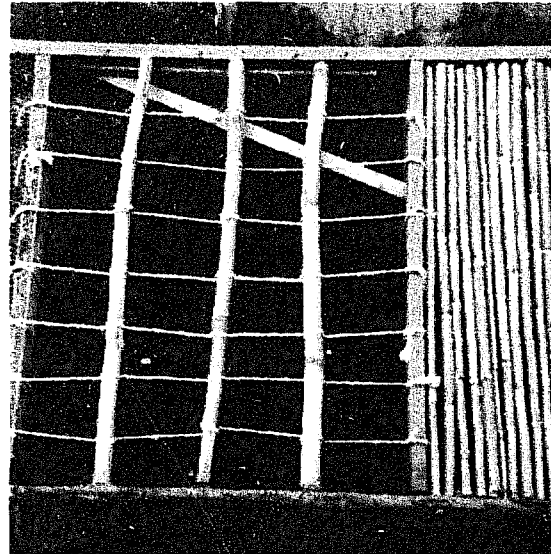
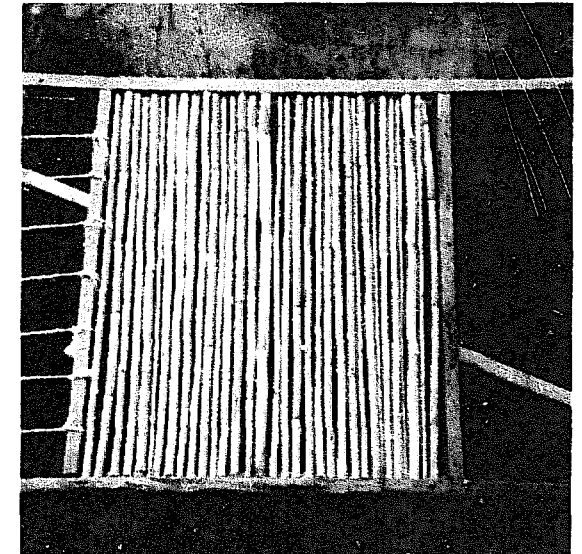


Abb. 6.8 Unterkonstruktion: caña de castilla  
Fig. 6.8 Substructure: caña de castilla



### Gewicht

Das Gewicht der Dachdeckung betrug durchschnittlich ca.  $14,3 \text{ kg/m}^2$ , was, wenn auch schwerer als verzinkter Stahl, viel geringer ist als das Gewicht eines Tonziegeldaches ( $62 \text{ kg/m}^2$ ).

### Schlußfolgerungen

Das Konzept, zementimprägnierte Säcke als Dachdeckung zu verwenden, indem sie über ein Tragsystem gelegt werden, das einen Welleffekt wie bei Tonziegeln erzeugt, sollte unbedingt weiterverfolgt werden. Es muß jedoch viel Arbeit erbracht werden, um bessere Herstellungstechniken und Tragsysteme zu entwickeln, ehe dieses Dachdeckungssystem als zufriedenstellend angesehen werden kann.

### Weight

The weight of the roof covering averaged about  $14.3 \text{ kg/m}^2$ , which, although heavier than galvanized steel, is far less than the weight of a clay tile roof ( $62 \text{ kg/m}^2$ ).

### Conclusions

The concept of using cement impregnated sacks as a roof covering laid over a support system designed to provide an overall corrugated effect similar to the appearance of clay tile, definitely should be pursued further. However, much work is needed in developing better fabrication techniques and in support system design before this roofing system can be considered satisfactory.

Abb. 6.9 Auf der Bambus-Seil-Unterkonstruktion: Streifen von Sisalsackmaterial, in Bims-Zement-Mischung getaucht und in nassem Zustand verlegt.

Fig. 6.9 On bamboo-rope substructure, strips of sisal sacking material dipped in cement-pumice mix and placed in wet state.

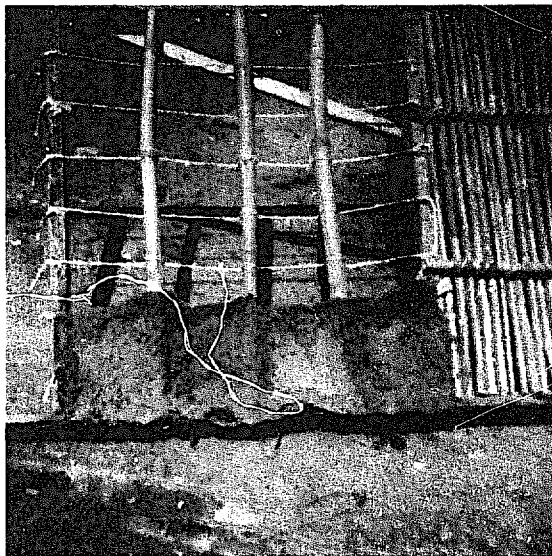


Abb. 6.10 Auf der Unterkonstruktion aus Hühnermaschendraht: erste Schicht aus Pajónbündeln. Jede Schicht erhielt einen Bitumenemulsionsanstrich zur Wasserabdichtung, ehe die neue Schicht daraufgelegt wurde.

Fig. 6.10 On chicken-wire substructure, first layer of pajón bundles, each layer receiving a coat of bitumen emulsion waterproofing before attachment of next layer.

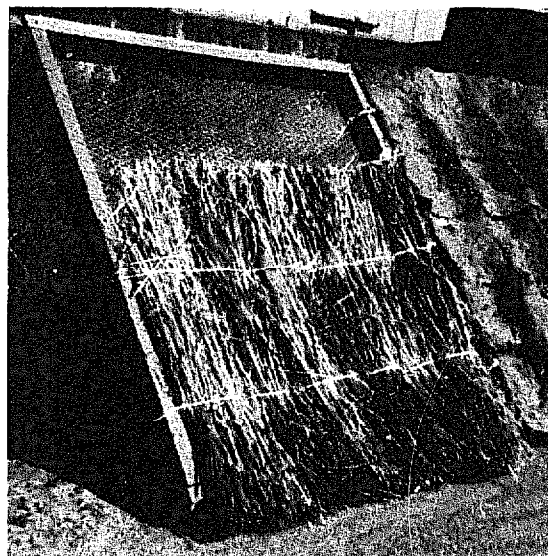
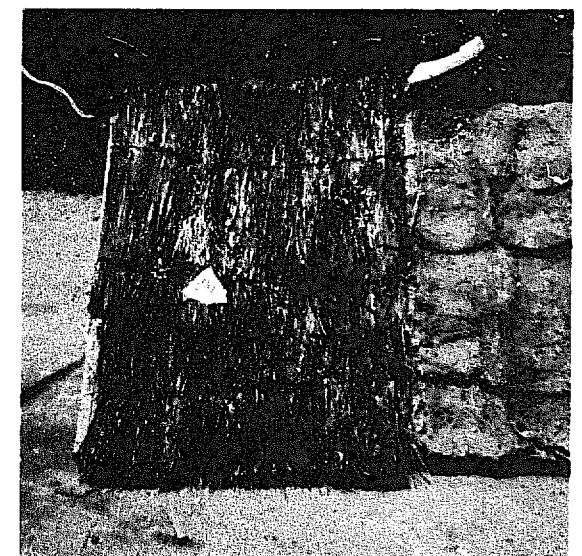


Abb. 6.11 Fertige Dachprobe mit Wasserdichtungsanstrich.

Fig. 6.11 Completed roofing sample with waterproof coating.



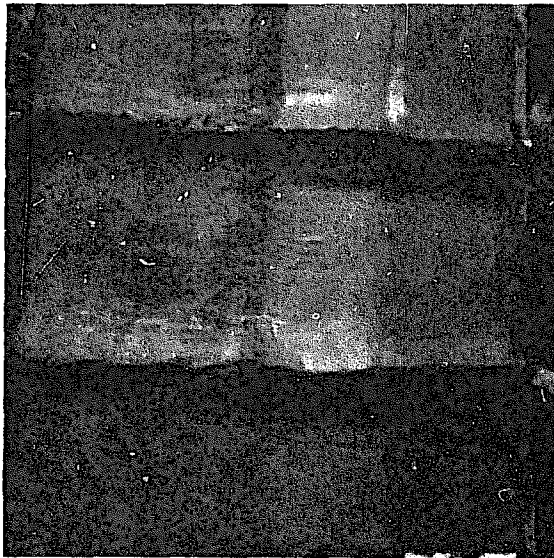


Abb. 6.12 Auf der Caña-Unterkonstruktion: drei verschiedene Mischungen (v.links nach rechts):  
 1. Bimssand und Zement  
 2. Erde und Kalk, ohne wasserabweisendes Zusatzmittel  
 3. Erde und Kalk, mit Consolid 444 und Conservex

Fig. 6.12 On caña substructure, three different mixes (from left to right):  
 1. Cement-pumice  
 2. Soil-lime, without water-resisting additives  
 3. Soil-lime, with Consolid 444 and Conservex

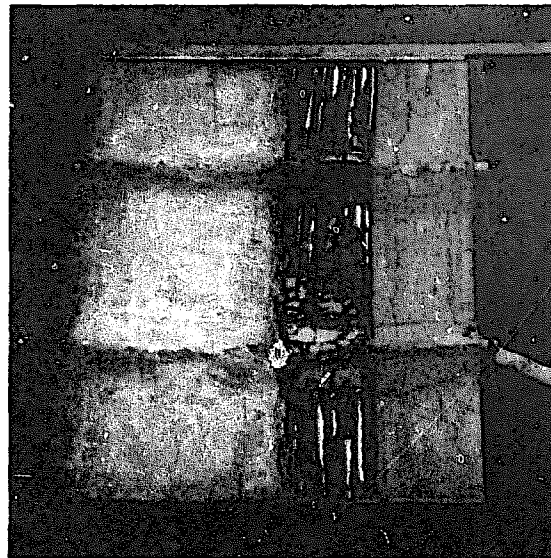


Abb. 6.13 Nach vier Wochen im Freien: etwa 50% der Erd-Kalkmischung ohne wasserabweisendes Zusatzmittel, vom Regen abgewaschen, wogegen die anderen zwei Proben intakt sind.

Fig. 6.13 After four weeks of exposure: about 50% of soil-lime without waterproofing washed out by rain, while the other two samples are intact.



Abb. 6.14 Probedach aus Baumwollsäcken, gefüllt mit Bimssand, Humus und Grassamen, wie Schindeln verlegt und zusammengenäht, auf einer Unterkonstruktion aus Bambus, Seil und Kunststoffolie.

Fig. 6.14 Roof specimen made of cotton cloth bags, filled with pumice, humus and grass seeds, laid and sewn together like shingles, on substructure of bamboo, rope and polythene sheeting.

#### 1-2 Zement-Sand oder stabilisierte Erde auf Rohrunterkonstruktion

Die nächste Quadratmeter-Fläche wurde mit Rohrstangen (caña de Castilla) ausgelegt, die geschnitten und in vertikaler Richtung nebeneinandergelegt wurden. Diese wurden an drei in gleichen Abständen horizontal verlaufenden Rohren angebunden, die selbst am äußeren Rahmen befestigt wurden. Von links

#### 1-2 Cement-sand or Stabilized Soil Applied Over Cane Support

The next square meter space was filled with canes (caña de Castilla) cut to length and laid one next to the other in a vertical direction. These were tied in place to three equidistant canes running in a horizontal direction and attached to the exposure deck frame. One vertical half of the area was covered

beginnend, wurde die halbe Fläche mit einer Mischung aus einem Teil Zement und zwei Teilen Bims bedeckt, und die andere Hälfte mit stabilisierter Erde (10% Löschkalk).

Auf dem Teil mit stabilisierter Erde wurde die Hälfte mit Erde unter Hinzufügung von imprägnierenden Zusätzen (siehe Abschnitt 6.1) bedeckt, die andere Hälfte mit unbehandelter Erde. Die Ergebnisse waren wie folgt:

#### Äußeres Erscheinungsbild

Die Dachdeckung, entweder aus Zement oder Erde, sieht nicht wie Tondachdeckung aus und ist nicht besonders attraktiv. Die drei Rohrverbindungselemente wurden in horizontaler Richtung angebracht, um ein Abgleiten der Mischung beim Auftragen zu verhindern; in der Praxis wurde dies jedoch für unnötig befunden. Offensichtlich sollten diese Stützen vertikal verlaufen, um eine attraktivere Wellwirkung zu erzielen.

#### Aufbau

Die für dieses Experiment benutzten Rohre sind nicht so gerade wie Bambus, so daß die Verlegung der krummen Stäbe und deren Anbindung an die horizontalen Teile problematisch war. Es wurde ein 2-Mann-Team zum Aufbau benötigt. Das Auftragen der Mischung über die Rohre war keine schwierige Angelegenheit.

#### Witterungsbeständigkeit

Die Zement-Bims-Mischung zeigte gute Widerstandsfähigkeit gegen Wettereinflüsse. Die Probe aus stabilisierter Erde ohne wasserdichtende Zusätze zeigte fast unmittelbar nach dem Regen schwere Auswaschungen. Die wasserdichte Erdschicht war dem unbehandelten Muster weit überlegen, zeigte jedoch auch noch einen Grad von Erosion, der nicht akzeptiert werden konnte.

#### Gewicht

Das geschätzte Gewicht von 20,1 kg/m<sup>2</sup> für Zement-Bims und 22,7 kg/m<sup>2</sup> für stabilisierte Erde ist schwerer als dasjenige der zement-imprägnierten Säcke aus dem vorhergehenden Experiment. Diese Gewichtszahlen betragen jedoch nur ein Drittel des Gewichtes von Tondachziegeln.

#### Schlußfolgerungen

- a) Eine Zement-Bims-Mischung, auf einer Rohrkonstruktion aufgetragen, scheint weitere Experimente zu rechtfertigen, besonders wenn man in Betracht zieht, daß dieses Material durch die Anwendung von Fasermaterialien noch verstärkt werden kann.
- b) Stabilisierte Erde kann offensichtlich für diese Art der Anwendung nicht in Betracht gezogen werden, wenn kein Oberflächenschutz gegen Erosion vorgesehen wird.
- c) Die bei diesem Experiment verwendete Unterkonstruktion sollte vollkommen neu gestaltet werden, um ein attraktiveres Erscheinungsbild des Daches zu erreichen.

with a mixture of one part cement to two parts pumice, and the other half with stabilized soil (10% hydrated lime).

In the stabilized soil section, half of the area was covered with soil containing waterproofing additives (see Section 6.1), and the other half with untreated soil. The results of this experiment were as follows:

#### Appearance

The roof covering, using either cement or soil, does not simulate the appearance of clay tile, and is not particularly attractive. The three cane support members were installed in a horizontal direction to prevent slippage of the mixture when trowelling, however, in practice this was found to be unnecessary. Obviously, these supports should run vertically in order to provide a more attractive corrugated effect.

#### Installation

The canes used for this experiment are not as straight as bamboo, and cane curvature was a problem in laying the supports and tying them to the horizontal members. A two-man installation team was required. Trowelling the mixture over the canes was not a difficult operation.

#### Resistance to Exposure

The cement-pumice mixture showed good resistance to exposure. The stabilized soil sample without waterproofing additives showed almost immediate severe erosion when exposed to rainfall. The waterproofed soil was far superior to the untreated sample, but still exhibited an unacceptable degree of erosion.

#### Weight

The estimated weight of 20.1 kg/m<sup>2</sup> for cement-pumice, and 22.7 kg/m<sup>2</sup> for the stabilized soil is heavier than that of the cement-impregnated sacks described in the previous experiment. These weights, however, are only about a third of the weight of clay tile.

#### Conclusions

- a) A cement-pumice mixture applied over a cane support appears to merit further experimentation, especially when considering that this material can be further strengthened through the use of fibrous reinforcing materials.
- b) Stabilized soil apparently cannot be considered for this type of application unless surface protection against erosion is provided.
- c) The support system used in this experiment should be completely redesigned to provide a more attractive roof appearance.

### 1-3 Stabilisierte Erde mit Oberflächenbehandlung über Rohrunterkonstruktion

Der letzte Freiraum des Befestigungsrahmens wurde ähnlich wie bei dem vorhergehenden mit Rohr gefüllt, jedoch mit dem Unterschied, daß die Rohrstäbe in horizontaler Richtung übereinandergelegt und an drei vertikalen, in gleichem Abstand befestigten Stützelementen angebunden wurden. Das Rohrtragesystem wurde mit 10% kalkstabilisierter Erde bedeckt und in drei vertikale Abschnitte eingeteilt, wobei jeder eine andere Oberflächenbehandlung erhielt. Auf den ersten Abschnitt wurde Kalkschlämme aufgestrichen, nachdem die Erde einige Tage lang trocknen konnte. Beim zweiten Abschnitt wurde Baumwollgewebe zugeschnitten, in Kalkschlämme getaucht und auf die vorgeschriebene Fläche gelegt. Das imprägnierte Baumwollgewebe erhielt einen zusätzlichen Kalkanstrich, um den Stoff zu glätten.

Auf die Hälfte der restlichen Fläche wurde Stroh (pajón) in die nasse stabilisierte Erde gedrückt, um seine Wirksamkeit als Oberflächenschutz zu erproben. Ein Teil des Strohs wurde zum zusätzlichen Schutz mit Bitumen überstrichen; der Rest blieb unbehandelt. Die andere Hälfte dieser Fläche wurde mit zugeschnittenen Sackstreifen, die mit stabilisierter Erde imprägniert waren, bedeckt, die ihrerseits mit Stroh bedeckt wurden, während sie noch naß waren. Die Sackstreifen überlappten jeweils die darunterliegenden Strohschichten, um sie vor allem nach der Trocknung festzuhalten.

Die folgenden Ergebnisse wurden erzielt:

#### Äußeres Erscheinungsbild

Die Gesamterscheinung dieses Dachdeckungssystems wurde gegenüber dem vorangegangenen Experiment verbessert, ähnelt jedoch noch nicht ganz dem Tonziegeldach. Der Abstand zwischen den drei vertikalen Stäben war zu groß und die Stäbe selbst hatten zu geringen Durchmesser, um die gewünschte Kontur zu erreichen. Dieses Problem müßte jedoch durch die Neugestaltung der Unterkonstruktion korrigiert werden können.

Der zum Oberflächenschutz benützten Kalkschlämme sollten Pigmente beigegeben werden, um eine Tondachziegel-ähnliche Farbe zu erhalten.

Die Erscheinung der strohgedeckten stabilisierten Erde ist schlecht. Es war schwer, eine gute Haftung des Strohs mit der Erde zu erreichen, und die Abdeckung war nicht gleichmäßig.

#### Aufbau

Hier treffen dieselben Bemerkungen zu wie beim vorhergehenden Experiment.

#### Witterungsbeständigkeit

Obwohl fast sofort zahlreiche feine Risse in der Kalkoberflächenschicht entstanden, haben diese sich nicht weiter ausgebreitet, und die Probe blieb intakt, ohne nach zweimonatiger Wettereinwirkung Anzeichen von Erosion zu zeigen. Die Rissebildung war höchstwahrscheinlich auf eine zu dicke Kalkschlämme zurückzuführen.

Zwischen dem Oberflächenschutz mit Baumwollgewebe und -bewehrung und

### 1-3 Stabilized Soil With Surface Protection Over Cane Support

The last exposure deck section was filled with canes in a similar manner to the last experiment, except that the canes were laid one next to the other in a horizontal direction and tied to three equidistant vertical support members. The cane support system was covered with 10 percent lime-stabilized soil, and was divided into three vertical sections, each with a different type of surface protection.

The first section was brush-coated with a heavy lime slurry, after the soil had dried for several days. In the second area, cotton fabric was cut to size, immersed in a lime slurry, and placed directly over the stabilized soil. A second coat of lime was brushed over the impregnated cotton fabric.

On half of the remaining area, straw (pajón) was pressed into the wet stabilized soil to evaluate its effectiveness as surface protection. Part of the straw was coated with bitumen for added protection; the rest was untreated. The other half of this area was covered with stabilized soil impregnated sacks which, in turn, were covered with straw while still wet.

The following results were obtained:

#### Appearance

The overall appearance of this roofing system was improved over the last experiment, but still does not closely resemble the appearance of clay tile. The spacing between the three vertical supports was too great, and the supports themselves of too small a diameter to provide the desired contour. This problem, however, should be correctable through redesign of the support system. The lime slurry used for surface protection probably should be pigmented to provide a clay tile-like coloring.

The appearance of the straw-covered stabilized soil is poor. Difficulty was encountered in obtaining good adhesion of the straw to the soil, and covering was not uniform.

#### Installation

Same comments as the last experiment.

#### Resistance to Exposure

Although numerous fine cracks (crazing) appeared almost immediately in the lime surface coating, these have not propagated further, and the specimen remains intact without signs of erosion after two months exposure. The crazing was most likely due to the use of too heavy a lime slurry concentration.

No significant difference was noted between the cotton fabric reinforced surface protection and the area with lime slurry alone.

der Fläche nur mit Kalk konnte kein nennenswerter Unterschied festgestellt werden.

Die strohbedeckte Probe war besser als man erwartet hatte, aber die durch Strohausfall freigelegten Erd-Kalk-Flächen beginnen nach zwei Monaten zu zerfallen.

#### Gewicht

Das geschätzte Gewicht der Dachdeckung ist dasselbe wie beim letzten Experiment, ca.  $23 \text{ kg/m}^2$ .

#### Schlußfolgerungen

- a) Es wird als der Mühe wert angesehen, weitere Experimente mit stabilisierter Erde, mit Kalkanstrich geschützt (mit oder ohne Baumwollgewebe-Verstärkung), durchzuführen als möglicher preisgünstiger Ersatz für das Zement-Bims-Dach. Es sind jedoch viel mehr grundlegende Untersuchungen in bezug auf Erdauswahl, Optimierung der Kalkkonzentrationen und der Unterkonstruktions-Gestaltung, erforderlich.
- b) Für die Anwendung von Stroh als Oberflächenschutz für stabilisierte Erde werden weitere Arbeiten nicht empfohlen.

The straw-covered sample stood up better than expected, but areas with exposed soil are beginning to deteriorate after two months exposure.

#### Weight

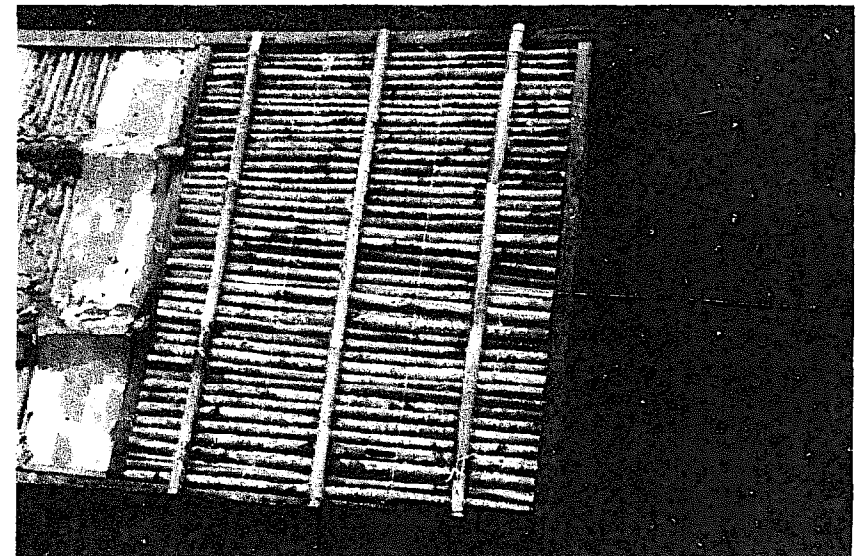
The estimated roof covering weight is the same as the last experiment, about  $23 \text{ kg/m}^2$ .

#### Conclusions

- a) Further experimentation with stabilized soil protected with lime slurry (with or without cotton fabric reinforcement) is considered worthwhile as a possible lower cost substitute to the cement-pumice roof. Much more basic testing is necessary, however, relative to soil selection, optimization of lime slurry concentrations and support system design.
- b) No further work is recommended with the use of straw as a surface protection for stabilized soil.

Abb. 6.15 Unterkonstruktion aus caña de castilla mit Unterteilung für drei verschiedene Oberflächenbehandlungen auf Erd-Kalk-Basis. Für bessere Haftung wurden die glatten Oberflächen der caña-Unterkonstruktion mit einer Machete aufgeraut.

Fig. 6.15 Caña de castilla substructure with subdivisions for three different types of covering based on soil-lime. For better bonding, the smooth surfaces of the caña were roughed by means of a machete.





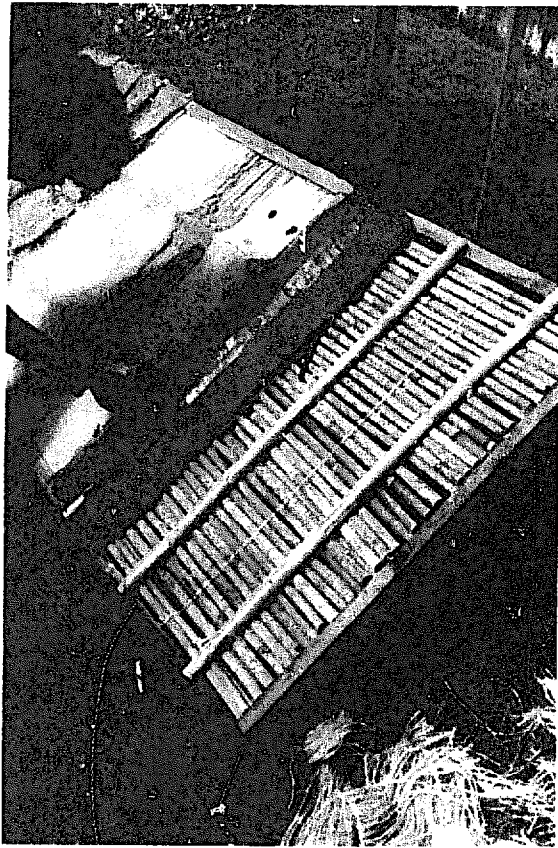


Abb. 6.16 Auftragung der Erd-Kalk-Mischung. Die Oberfläche wurde mit der Kelle glattgestrichen, dann mit der Bürste leicht aufgeraut zur besseren Haftung des Kalk-Schutzanstrichs.

Fig. 6.16 Application of soil-lime mix. The surface was evened out with a trowel and then slightly roughened with a brush as preparation for protective coating with limewash.



Abb. 6.17 Auftragung derselben Erd-Kalk-Mischung wie Abb. 6.16 für die Pajón-Oberfläche.

Fig. 6.17 Application of same soil-lime mix as in Fig. 6.16, as preparation for pajón finish.



Abb. 6.18 Pajón, auf der Oberfläche dünn ausgebreitet und in die weiche Erd-Kalk-Mischung gedrückt.

Fig. 6.18 Pajón spread on surface in thin layer and pressed evenly into soft soil-lime mix.



Abb. 6.19 Erste Pajón-Schicht, auf die Erd-Kalk-Fläche gepreßt, wie unter Abb. 6.18.

Fig. 6.19 First layer of pajón pressed onto soil-lime base, as in Fig. 6.18.



Abb. 6.20 Mit dicker Erd-Kalk-Mischung getränktes Sisalsack-Material, die letzte Pajón-Lage überdeckend aufgeklebt, um dadurch den Pajón festzuhalten und nach dem Trocknen Verschiebungen zu verhindern.

Fig. 6.20 Sisal sack material, thickly impregnated with soil-lime mix, laid overlapping the previous pajón layer to hold it down and prevent displacement after drying.



Abb. 6.21 Wiederholung des Vorgangs bis oben hin. Bei Bedeckung ganzer Dächer wären die getränkten Sackstreifen 30 bis 50 cm breit, mit horizontalen Längen entsprechend der leichtesten Handhabung.

Fig. 6.21 Repetition of procedure all the way to the top. When covering entire roofs, the impregnated sack material would be strips of 30 to 50 cm width and any practical horizontal length.



Abb. 6.22 Kalkanstrich auf der Erd-Kalk-Oberfläche.  
 Fig. 6.22 Application of limewash on soil-lime surface.



Abb. 6.23 Teilweise Verstärkung der Kalkschicht mit Baumwollstoff.  
 Fig. 6.23 Part of the limewash coating was reinforced with strips of cotton textile.

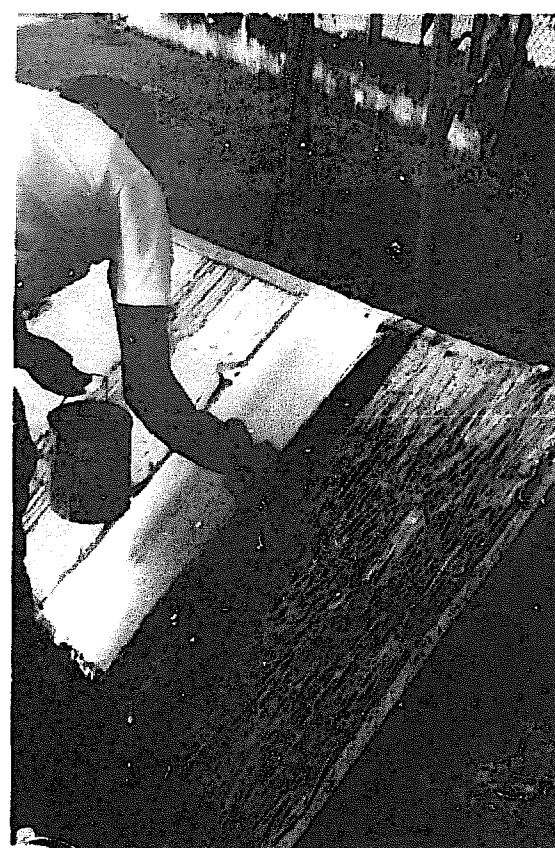


Abb. 6.24 Teile der Pajón-Deckung, mit einem wasserabweisenden Conservex-Anstrich versehen.  
 Fig. 6.24 Sections of the pajón covering received a coat of Conservex for waterproofing.

### Zweite Versuchsreihe

Für die zweite Versuchsreihe über Dachdeckungssysteme wurden 50 x 50 cm große Probepplatten, bestehend aus einem Rohrgerüst und Dachdeckung, hergestellt und später, auf einem weiteren geneigten Rahmen befestigt, im Freien aufgestellt. Es wurden insgesamt sieben Muster angefertigt, einschließlich einem mit Unterkonstruktion aus gespaltenem und flachgedrücktem Rohr, das mit einer Schnur zusammengebunden und mit stabilisierter Erde bedeckt wurde. In der Praxis stellte sich heraus, daß es zu schwierig war, das zerdrückte Rohr zu verarbeiten und heranzubringen, deshalb wurde diese Idee aufgegeben.

Die anderen sechs Muster werden nachstehend beschrieben:

#### 2-1 Zement-imprägnierte Säcke

Es wurden drei Muster hergestellt mit einem Rohrgerüst, bestehend aus Stäben, die in gleichen Abständen in Fallrichtung verliefen und mit Schnur an zwei darunterliegenden horizontal verlaufenden, vorgekerbten Stäben angebunden waren. Der Abstand zwischen den vertikalen Rohren wurde von Muster zu Muster verändert (5; 7,5 und 10 cm), um die Wirkung auf das Erscheinungsbild des Daches zu erproben und um Unterschiede in Einheitsgewicht und Festigkeiten festzustellen.

Sisal- und Jutesäcke wurden in 35 x 65 cm große rechteckige Teile geschnitten und in eine nasse Mischung aus einem Teil Zement und zwei Teilen Bims getaucht. Über jedes Rohrgerüst wurden zwei Stücke gelegt, die sich um etwa 20 cm überlappten und zwischen den vertikalen Stäben einsinken konnten, was dem Dach ein wellenförmiges Aussehen verlieh. Mit einer Bürste wurde ein Endanstrich aus Zement-Bims auf jedes Muster aufgetragen.

Die Ergebnisse waren folgende:

Abb. 6.25 Vorbereitung einer Unterkonstruktion aus caña de castilla: Kerben werden in gleichen Abständen geschnitzt, in denen Querstäbe einrasten.

Fig. 6.25 Preparation of sample substructure using caña de castilla: notches are cut at equal intervals to keep cross members in place.

### Second Series

For the second series of roofing system experiments, 50 x 50 cm prototypes, including cane support system and roof covering, were fabricated and later attached to another exposure deck. A total of seven specimens were prepared, including one with a support system consisting of split and crushed cane tied together with twine, and covered with stabilized soil. In practice, the crushed cane was found too difficult to process and handle, and this idea was discarded.

The other six specimens are described below:

#### 2-1 Cement-impregnated Sacks

Three specimens were prepared with support structures consisting of canes laid parallel in a vertical direction and tied with twine to two horizontal canes running underneath the vertical members. The spacing between the vertical canes was varied from sample to sample to evaluate the effect upon the roof appearance (5, 7.5 and 10 cm).

Sisal and jute sacks were cut into 35 x 65 cm rectangular sections and were immersed in a wet mixture of one part cement to two parts pumice. Two sacks were placed over each prototype support system, with an overlap of about 20 cm, and were allowed to sag between the parallel vertical supports, thereby providing a corrugated appearance to the roof. A final cement-pumice coating was brushed onto each specimen with a brush.

Results were as follows:



#### Äußeres Erscheinungsbild

Der Welleneffekt war, obwohl etwas unregelmäßig, bei allen Mustern recht gefällig. In bezug auf Wellenfrequenz waren alle Elemente akzeptabel, wobei die 7,5 cm-Abstände das gängige Wellblechmaß ist. Die äußere Erscheinung entsprach insgesamt den Asbestzement- und Zinkblech-Wellplatten, nicht so sehr den Tondachziegeln, aber die Anwendung dieser Methode bei großflächigeren Konstruktionen mit schwererem Bambus- oder Rohrrüst könnte ein besseres Aussehen der Dachfläche bewirken.

#### Aufbau

Der Aufbau dieses Systems war beträchtlich einfacher als derjenigen der ersten Probeserien. Die meisten Schwierigkeiten lagen darin, ein einheitliches Einsinken der imprägnierten Säcke zwischen den vertikalen Stützelementen zu erreichen. Um diesen Vorgang zu erleichtern, sollte in Zukunft eine Art Schablone vorgesehen werden.

#### Appearance

The corrugated effect, although lacking uniformity, was fairly pleasing on all samples, with little difference noted between the support spacing variations. On these samples, the effect more closely approximates the appearance of asbestos-cement or galvanized steel than clay tile, however, the application of this concept to larger scale constructions, with heavier bamboo or cane supports, could result in a better contoured roof surface.

#### Installation

The construction of this system was considerably simpler than those used in the first series of experiments. Most difficulty was encountered in attempting to obtain uniform sagging of the impregnated sacks between the vertical support members; a fixture should be designed in the future to facilitate this operation.

Abb. 6.26 Caña-Rahmen, fertig für den Überzug: Sisalsack wird in Bims-Zement-Mischung getaucht.

Fig. 6.26 Caña framework ready to receive covering: sisal sack dipped in cement-pumice mix.

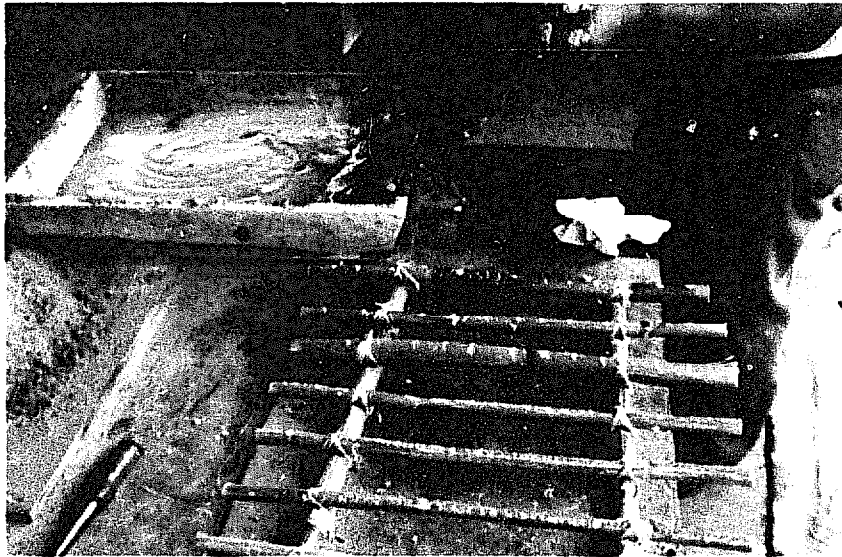
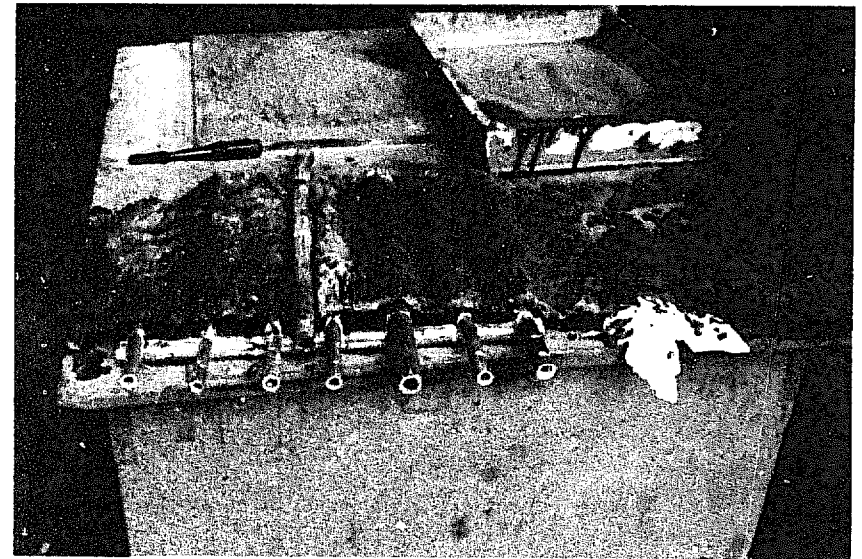


Abb. 6.27 Erste Schicht der Dachdeckung wird auf die Rahmenkonstruktion gelegt und sanft in die Zwischenräume gedrückt, um Wellen zu bilden und besseren Halt zu gewährleisten.

Fig. 6.27 First layer of roof covering laid on framework and gently pressed into gaps to simulate corrugation and give better hold on substructure.



#### Witterungsbeständigkeit

Die mit Zement-Bims imprägnierten Säcke wurden zwei Monate lang der Witterung ausgesetzt; die Witterungsbeständigkeit war zufriedenstellend.

#### Gewicht

Das Durchschnittsgewicht der imprägnierten Sack-Dachdeckung war u. gefäher 20 kg/m<sup>2</sup>.

#### Schlußfolgerungen

Die Dachdeckung mit Zement-Bims-imprägnierten Säcken erscheint weiterhin vielversprechend, obwohl noch mehr unternommen werden sollte, um die Herstellungstechniken zu verbessern. Außerdem sind weitere Tests erforderlich, um die Haltbarkeit über längere Zeiträume festzustellen.

Die Unterkonstruktion, die aus parallelen vertikalen Rohrstäben oder Bambuspfeosten besteht, die an die darunter verlaufenden horizontalen Elemente gebunden werden, ist eine Verbesserung gegenüber den Systemen aus der ersten Experimentenreihe. Die Optimierung dieses Systems sollte eines der primären Ziele jeglichen zukünftigen Experimentierprogramms sein.

#### Resistance to Exposure

Resistance of the cement-pumice impregnated sacks to the elements has been satisfactory over a two months exposure period.

#### Weight

The average weight of the impregnated sack roof covering was approximately 20 kg/m<sup>2</sup>.

#### Conclusions

The cement-pumice impregnated sack roof covering continues to appear promising although more effort is needed to improve fabrication techniques, and more testing is required to prove resistance over longer periods of time.

The support system consisting of parallel vertical canes or bamboo poles tied to horizontal members running underneath, is an improvement over the systems evaluated in the first series of experiments. Optimization of the design of this system should be one of the prime goals of any future experimental program.

Abb. 6.28 Glättung der Oberfläche mit einer Bürste.

Fig. 6.28 Smoothing of surface with a brush.

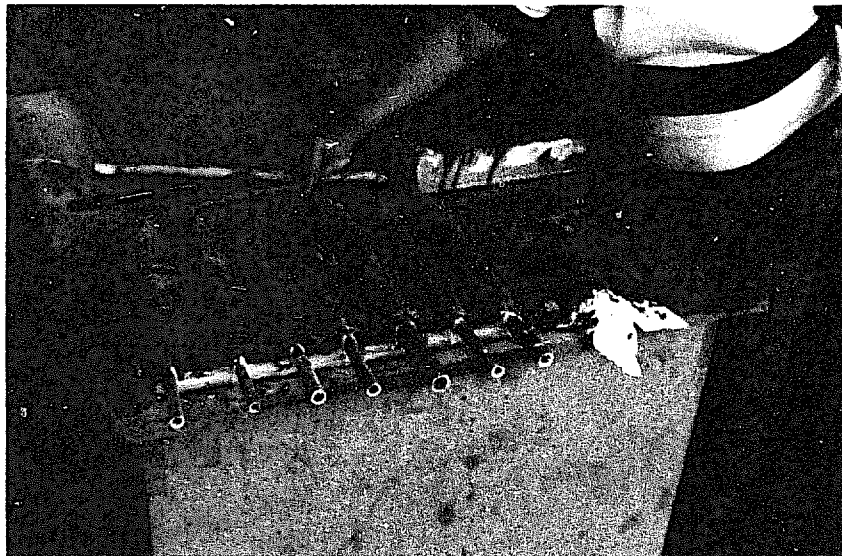
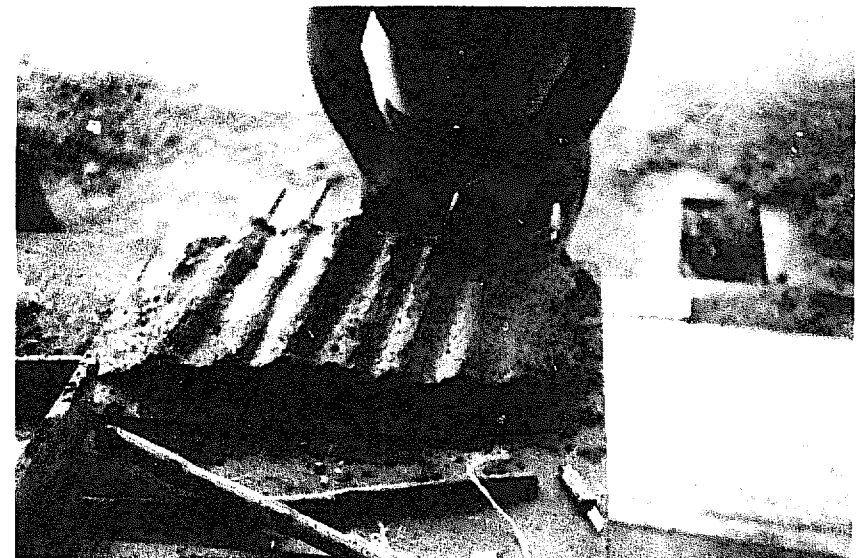


Abb. 6.29 Befestigung des Sackmaterials an der Unterkonstruktion mit einer Schnur.

Fig. 6.29 Tying the sacking material to the framework.



## 2-2 Mit stabilisierter Erde imprägnierte Säcke

Es wurde ein Muster ähnlich demjenigen in Experiment 2-1 hergestellt (7,5 cm Abstand zwischen vertikalen Stäben), außer daß die Säcke mit einer Erd-Kalk-Mischung (10% Löschkalk) imprägniert wurden, statt mit einer Zement-Bims-Mischung. Nach der Trocknung wurde eine Hälfte der Probe mit Kalkschlämme bestrichen, die andere Hälfte blieb unbehandelt.

Es wurden folgende Ergebnisse erzielt:

### Äußeres Erscheinungsbild

Abgesehen vom Farbunterschied war die Gesamterscheinung des Musters ähnlich wie Experiment 2-1.

### Aufbau

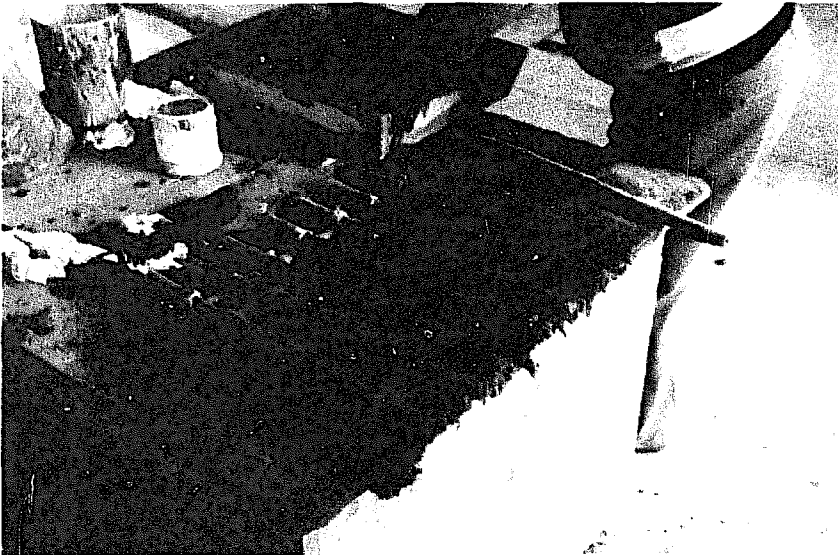
Siehe Bemerkungen bei 2-1.

### Witterungsbeständigkeit

Sowohl die ungeschützte Fläche als auch die mit Kalkschlämme behandelte zeigte eine Anzahl von Rissen zu Beginn des Tests. Später wurde auf der unge-

Abb. 6.30 Ähnliches Dachelement mit Erd-Kalk-Mischung statt Bims-Zement-Mischung.

Fig. 6.30 Similar roofing element using soil-lime mix, instead of cement-pumice.



## 2-2 Stabilized Soil Impregnated Sacks

A sample was prepared in an identical manner as those described in experiment 2-1 (7.5 cm spacing between vertical supports), except that the sacks were impregnated with soil stabilized with 10 percent hydrated lime, instead of cement-pumice. After drying, one half of the specimen was covered with lime slurry; the other half was left unprotected.

The following results were obtained:

### Appearance

Except for the color difference, the overall appearance of the specimen was similar to experiment 2-1.

### Installation

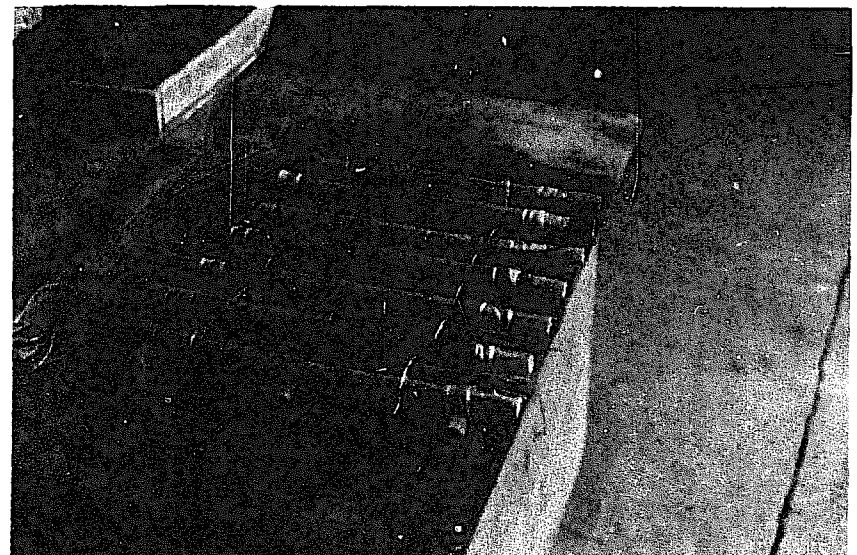
Same comments as 2-1.

### Resistance to Exposure

Both the unprotected area and the section coated with lime slurry showed a number of cracks early in the exposure test, and flaking and erosion was ab-

Abb. 6.31 Ähnliches Dachelement wie Abb. 6.26, aber Überbrückung der Lücke mit Pajón, um zu verhindern, daß die Bims-Zement-Mischung hindurchfällt.

Fig. 6.31 Similar roofing element as in Fig. 6.26, but gaps filled with pajón to prevent cement-pumice covering from falling through.



geschützten Fläche abblättern und Erosion festgestellt. Im allgemeinen kann die Witterungsbeständigkeit als nicht zufriedenstellend angesehen werden.

#### Gewicht

Das Durchschnittsgewicht der Dachdeckung wurde auf  $15 \text{ kg/m}^2$  geschätzt.

#### Schlußfolgerungen

Wie bei den Witterungstests gezeigt, unterliegen die mit Erde imprägnierten Säcke physikalisch denjenigen mit Zement-Bims, und weitere Arbeit an diesem Dachdeckungssystem sollte als nicht vorrangig angesehen werden.

### 2-3 Unbewehrter Zement-Bims über Rohrgerüst

Es wurde ein Muster hergestellt mit einem Rohrgerüst wie bei den letzten Experimenten beschrieben, und mit einer Mischung aus einem Teil Zement und zwei Teilen Bims bedeckt. Eine dünne Lage Stroh diente als Füllmaterial zwischen den vertikalen Stäben, um die Zementschicht bis zur Trocknung abzustützen.

Aus diesem Experiment liegen folgende Ergebnisse vor:

served in the unprotected section. In general, resistance to exposure can be considered unsatisfactory.

#### Weight

The average weight of the roof covering was estimated at  $15 \text{ kg/m}^2$ .

#### Conclusions

As shown by the exposure tests, the soil impregnated sacks are physically inferior to those with cement-pumice, and any further work done with this type of roof covering system should be considered of low priority.

### 2-3 Cement-pumice Over Cane Support

A specimen was prepared with a cane support system identical to those described in the last experiments, and was then covered with a mixture of one part cement to two parts pumice. A thin layer of straw was used as a filter between the vertical supports to prevent spillage of the cement mixture.

Results of this experiment were as follows:

Abb. 6.32 Bims-Zement-Mischung ohne Sackmaterialverstärkung.

Fig. 6.32 Cement-pumice covering without sacking material reinforcement.

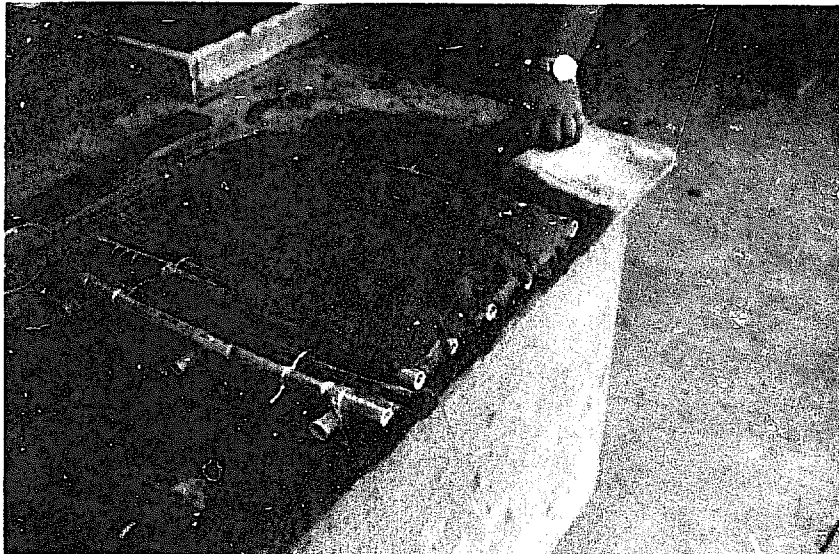
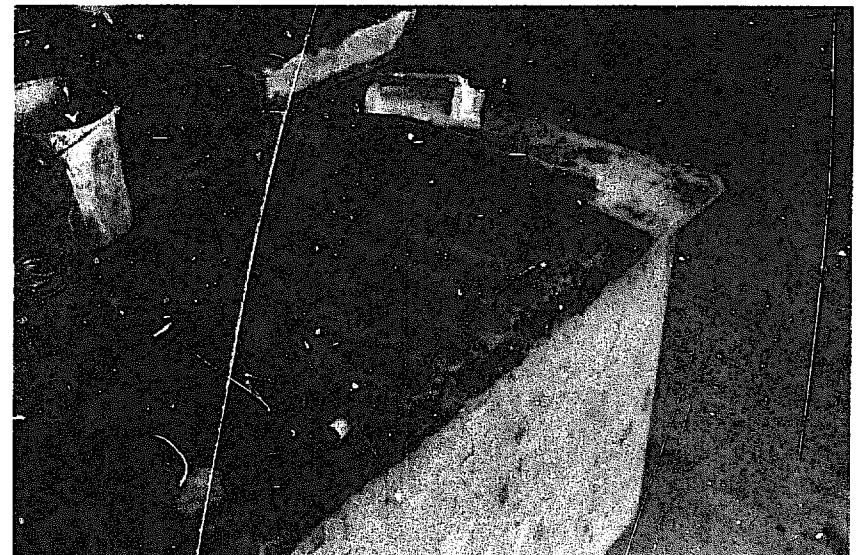


Abb. 6.33 Fertiges Dachelement mit glatter Oberfläche und Wellplattenform.

Fig. 6.33 Finished roofing element with smoothed surface and corrugated appearance.





#### Äußeres Erscheinungsbild

Die Gesamterscheinung dieses Musters war nicht so gut wie das vorhergehende mit den imprägnierten Säcken, da der Welleneffekt viel weniger deutlich wurde. Der Grund dafür waren die Schwierigkeiten beim Auftragen der Mischung über dem Rohrgerüst mit einer Kelle; um diesen Vorgang besser kontrollieren zu können, wird eine Form benötigt.

#### Aufbau

Die Herstellung dieser Art von Dachdeckung ist nicht besonders schwierig. Es ist jedoch, wie bereits oben erwähnt, erforderlich, einige Werkzeuge und Formen zu entwickeln, um die Fertigungstechnik zu verbessern und einheitliche, klar erkennbare Wellenformen anzubringen.

#### Witterungsbeständigkeit

Kurz nach Herstellung der Probe zeigte sich ein vertikaler Riß parallel zu einer der Wellen. Dies kann zum Teil auf Schrumpfung zurückzuführen sein, die Hauptursache war jedoch die fehlende gleichmäßige Dicke des Materials aufgrund schlechter Auftragstechnik. Nach zwei Monaten im Freien wurden keine weiteren Auswirkungen beobachtet.

#### Gewicht

Das Durchschnittsgewicht der Zement-Bims-Abdeckung war ca. 20 kg/m<sup>2</sup>.

#### Schlußfolgerungen

Du diese Methode eine Kostenreduzierung durch das Weglassen von gekauften Säcken bewirken kann, sollten weitere Experimente durchgeführt werden. Die Entwicklung von einfachen Geräten zur Verbesserung der Herstellungstechniken, Evaluierung der Anwendung von Naturfasern als Verstärkung und Optimierung der Unterkonstruktion sollten die wichtigsten Aufgaben sein, die bei einem weiteren Experimentierprogramm durchgeführt werden sollten.

#### 2-4 Unbewehrte stabilisierte Erde auf Rohrgerüst

Dieses Probestück wurde in gleicher Weise wie im Experiment 2-3 hergestellt, außer daß 10% kalkstabilisierte Erde statt der Zement-Bims-Mischung als Dachdeckung verwendet wurde. Nach der Trocknung wurde die Hälfte der Fläche nur mit Kalkschlämme bestrichen; die andere Hälfte wurde zusätzlich mit kalkimprägniertem Baumwollmaterial bedeckt und nochmals mit Kalkanstrich versehen.

Es wurden folgende Ergebnisse erzielt:

#### Äußeres Erscheinungsbild

Es entstanden dieselben Schwierigkeiten mit schlecht ausgebildeten Wellen wie bei Experiment 2-3.

#### Aufbau

Siehe 2-3.

#### Appearance

The overall appearance of this sample was not as good as the previous impregnated sack experiment, since the corrugated effect was far less pronounced. This was due to difficulties encountered in contouring the mixture over the supports with a trowel, and a form is needed to permit better control over this operation.

#### Installation

The fabrication of this type of roofing system is not a particularly difficult operation. However, as mentioned above, some equipment development work is needed to improve trowelling technique and provide uniform well-defined corrugations.

#### Resistance to Exposure

Shortly after preparation of the sample, a vertical crack appeared running parallel to one of the corrugations. This may have been partially due to shrinkage but the primary cause was lack of material thickness uniformity due to poor trowelling technique. After two months exposure, no other defects have been observed.

#### Weight

The average weight of the cement-pumice covering was about 20 kg/m<sup>2</sup>.

#### Conclusions

Since this method can result in cost reduction through the elimination of the purchased sacks, more experimentation should be carried out. Development of simple equipment to facilitate fabrication, evaluation of the use of natural fibres as reinforcement and optimization of the support system design should be the principal tasks included in any new experimental program.

#### 2-4 Stabilized Soil Over Cane Support

This sample was prepared in an identical manner to experiment 2-3, except that 10% lime-stabilized soil was used as the covering instead of the cement-pumice mixture. After drying, half of the specimen was coated with a lime slurry; the other half was covered with lime impregnated cotton fabric and given a final brushed-on coating of lime slurry.

The following results were obtained:

#### Appearance

The same difficulties with poorly defined corrugations were encountered as with experiment 2-3.

#### Installation

Same comments as 2-3.

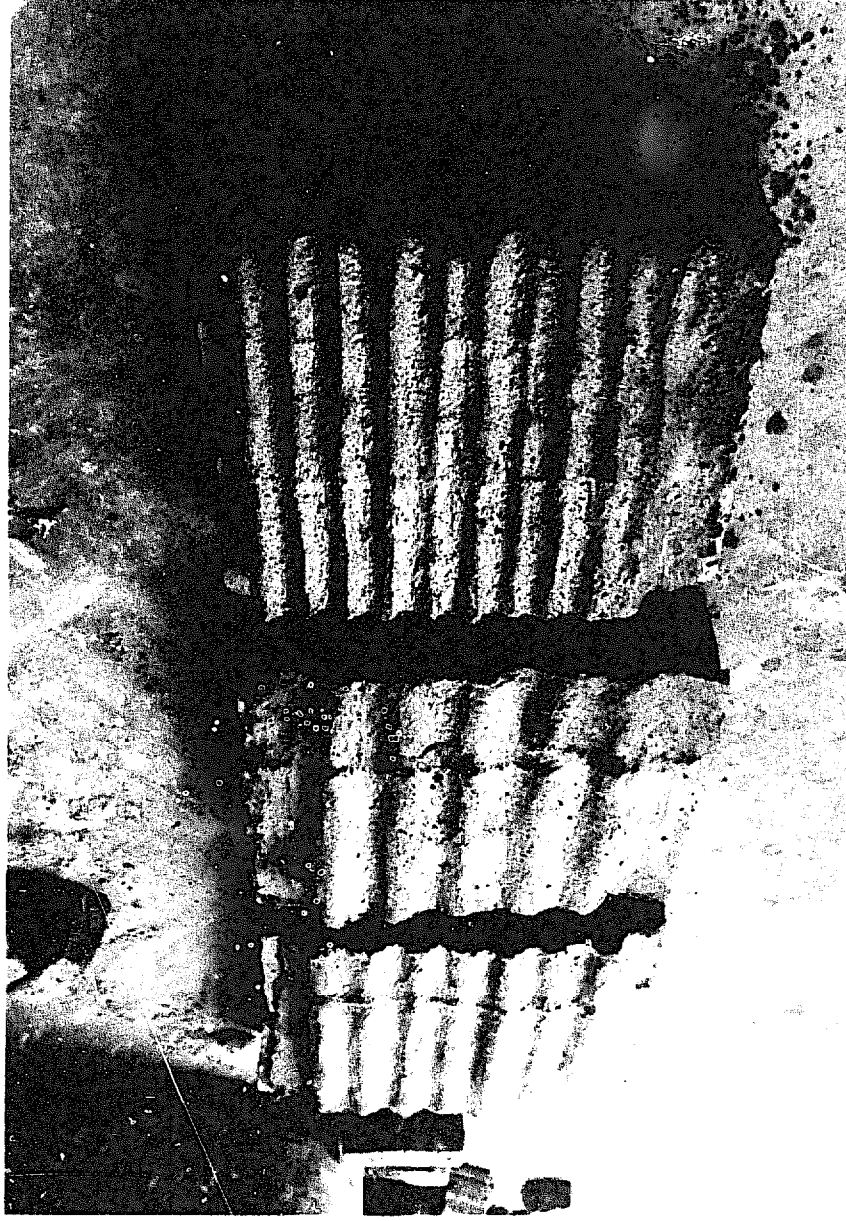
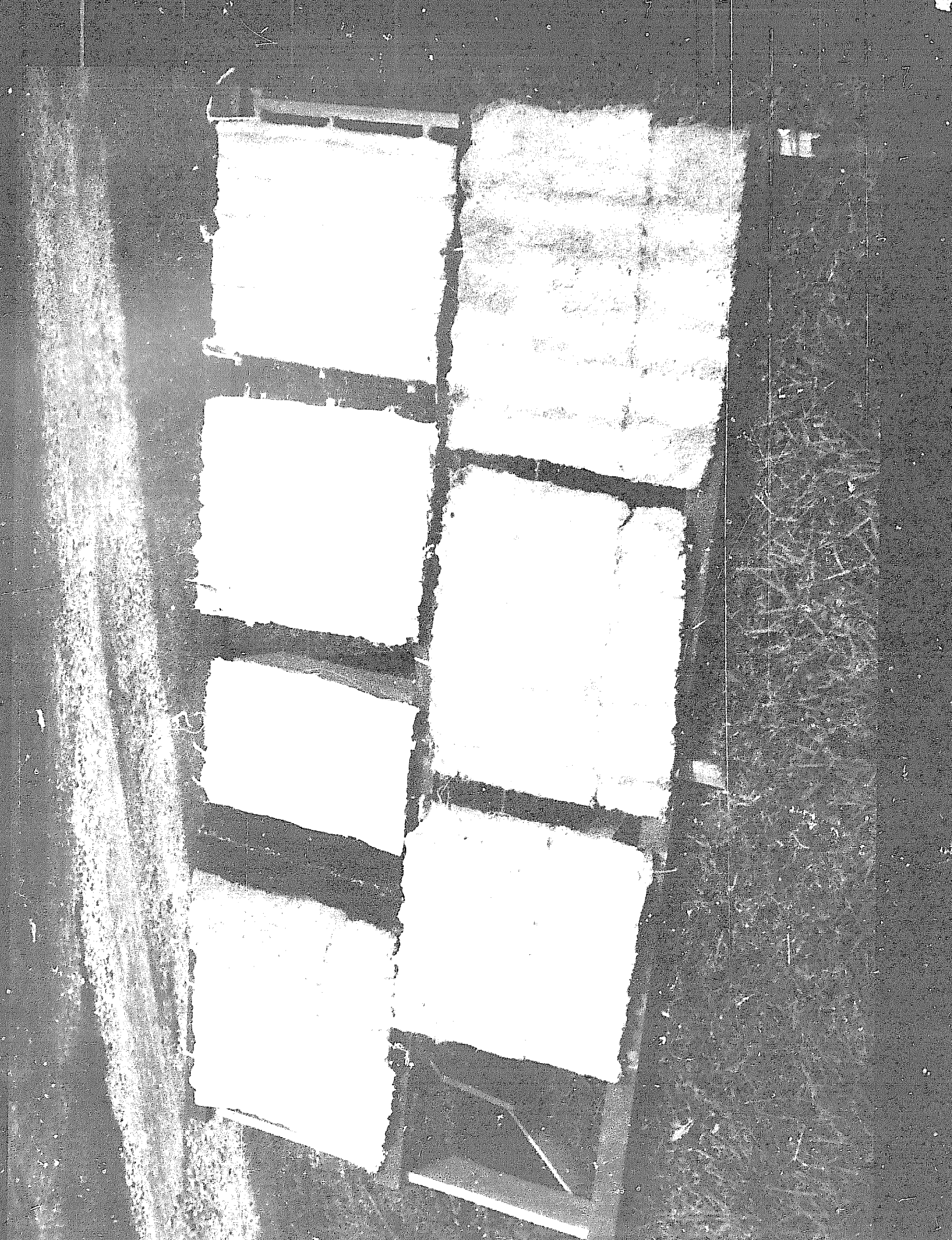


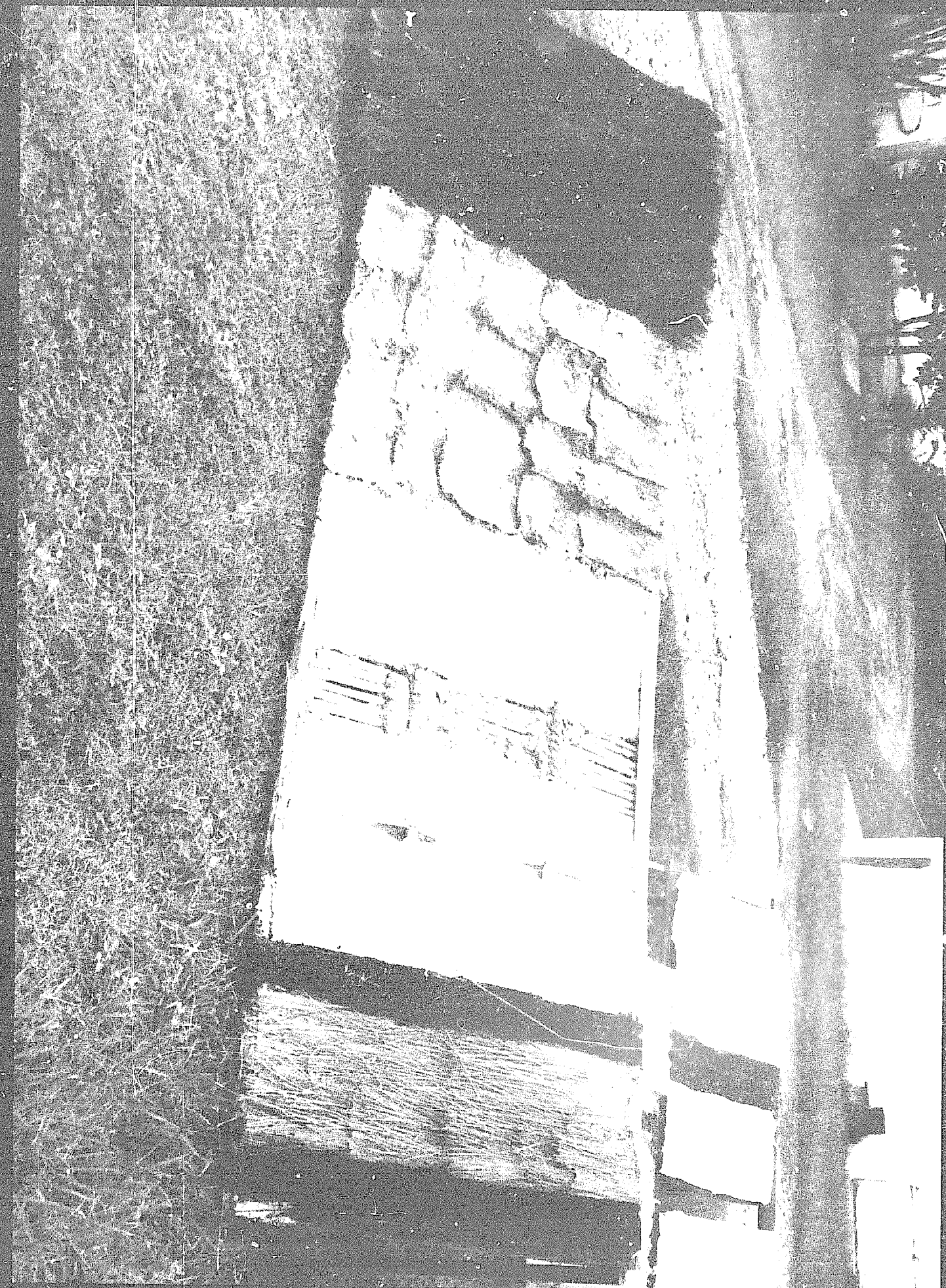
Abb. 6.34 Dachelemente mit Untertonstruktion aus caña und mit Bims-Zement-Mischung getränkter Sackmaterialdeckung. Einzige Unterschicht liegt im Abstand der cañas: 5 cm, 7,5 cm, und 10 cm.  
 Fig. 6.34 Roofing elements with caña substructure and cement-pumice impregnated covering, only differing in caña spacing: 5 cm, 7,5 cm and 10 cm.

Auf den Seiten 148 und 149 : / On pages 148 and 149 :

Abb. 6.35 Dachelemente zur Erprobung im Freien, auf geneigtem Rahmen befestigt. Die Bims-Zementtafeln erhielten keine Oberflächenbehandlung, aber die Erd-Kalkproben wurden mit unterschiedlichen Schuttschichten versehen: Kalkanstrich mit oder ohne Stoffverstärkung und Conserex. Zum Vergleich wurde ein Teil der Oberfläche nicht behandelt.  
 Fig. 6.35 Roofing elements placed on framework for exposure testing. The cement-pumice samples received no surface treatment, but the soil-lime specimens received different protective coatings: limewash, with and without cloth reinforcement and Conserex. For comparison a section was left unprotected.

Abb. 6.36 Aufstellung aller Bedachungselemente im Freien, um die Auswirkungen von Sonneneinstrahlung, Wind, Regen, Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen sowie möglicherweise von Erdstößen zu untersuchen.  
 Fig. 6.36 Exposure of all roofing specimens, to test the effects of solar radiation, wind, rain, fluctuations in temperature and humidity and possibly earth tremors.





#### Witterungsbeständigkeit

Außer der oberflächlichen Rissebildung der Kalkschicht überstand die mit Baumwollmaterial geschützte Fläche die zweimonatige Probezeit gut. Die nur mit Kalk geschützte Fläche war sehr aufgerissen, zum Teil aufgrund von Beschädigungen bei der Handhabung, als das Probestück auf dem geeigneten Rahmen befestigt wurde.

#### Gewicht

Das Durchschnittsgewicht für die Dachdeckung aus stabilisierter Erde mit Kalkanstrich wird auf ca. 26 kg/m<sup>2</sup> geschätzt.

#### Schlußfolgerungen

Wie bei den Schlußbemerkungen des Experiments 1-3, ist noch viel Basisforschung bei der Evaluierung der Erdauswahlmethoden sowie bei den Stabilisierungs- und Kalkanstrich-Techniken erforderlich, ehe entschieden werden kann, ob dieses Material in weiteren Prototyp-Experimenten getestet werden sollte oder nicht.

#### Resistance to Exposure

Except for superficial glazing of the lime coating, the area protected by cotton fabric stood up well to two months of exposure. The area protected with lime alone was badly cracked, partially due to damage during handling when attaching the specimen to the exposure deck.

#### Weight

Average weight for the stabilized soil covering with a lime coating is estimated to be about 26 kg/m<sup>2</sup>.

#### Conclusions

As mentioned in the comments covering experiment 1-3, much more basic experimentation is necessary to evaluate soil selection methods, stabilization and lime coating techniques before a decision can be made as to whether this material should be tested further in prototype experiments or not.

#### 6.2.2.2 Vorläufige Kostenschätzungen

Wie bereits früher in diesem Bericht erwähnt, ist das Dachdeckungssystem aus verzinktem Stahlblech die preiswerteste Alternative zum traditionellen Strohdach, die dem Hausbesitzer mit niedrigem Einkommen in Zentralamerika zugänglich ist. Die durchschnittlichen Gesamtbaukosten für dieses System sind, nach Schätzungen örtlicher Institutionen, 14 \$/m<sup>2</sup>, und werden folgendermaßen aufgeschlüsselt:

<u>Position</u>	<u>Kosten/m<sup>2</sup></u>
Galvanisierter Stahl (1)	4,75
Holz für Unterkonstruktion	1,90
Lohn	2,85
Abgehängte Decke (Holzplanken)	4,50
Insgesamt	14,00

Wird die abgehängte Decke weggelassen, so verringern sich die Gesamtkosten auf 9,50\$/m<sup>2</sup>.

Da angenommen werden kann, daß der Lohn für einen Hausbesitzer auf dem Lande, der sein eigenes Dach baut, kein wichtiger Faktor ist, dürften sein Hauptproblem, vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, wahrscheinlich die direkten Materialkosten für die Dachdeckung und Unterkonstruktion sein, welche in diesem Fall 6,65 \$/m<sup>2</sup> betragen.

(1) einschl. Überlappung, Verschnitt, Nägel und Zusatzmaterial für die Firstabdeckung

#### 6.2.2.2 Preliminary Cost Considerations

As mentioned previously in this report, the lowest cost alternative to the traditional thatched roof, available to the low-income home owner in Central America, is the galvanized steel roofing system. The average total construction cost for this system, as estimated by local institutions, is \$ 14/m<sup>2</sup>, and includes the following items:

<u>Item</u>	<u>Cost/m<sup>2</sup></u>
Galvanized steel (1)	4.75
Lumber for support system	1.90
Labour	2.85
False ceiling (wooden planks)	4.50
Total	14.00

If the false ceiling is eliminated, the total cost drops to \$ 9.50/m<sup>2</sup>.

Since labor may not be an important factor for the rural home owner who builds his own roof, his major concern from an economic standpoint probably would be the direct material cost for the roof covering and supports which, in this case, amounts to \$ 6.65/m<sup>2</sup>.

(1) includes overlap, scrap, nails and the extra material required to cover the ridge.

Um dem Verbraucher einen wirtschaftlichen Vorteil zu bieten, sollte daher jedes neu einzuführende Dachdeckungssystem (Abdeckung und Unterkonstruktion) einen Materialkaufpreis haben, der bedeutend unter den oben erwähnten entsprechenden Kosten für das Dach aus verzinktem Stahlblech liegt.

In den nachstehenden Tabellen werden Schätzpreise der Materialkosten pro m<sup>2</sup> aufgeführt für jedes der im letzten Abschnitt beschriebenen Prototyp-Experimente, unter der Voraussetzung, daß Materialien wie Bambus, Rohr, Erde, Sand und Bims kostenlos im Felde gesammelt werden können. Wie man sehen kann, variieren die Kosten von mindestens 0,23 \$/m<sup>2</sup> bis zu maximal 3,58 \$/m<sup>2</sup>, alle beträchtlich niedriger als die Kosten für galvanisiertes Stahlblech.

#### Geschätzte Materialkosten

##### Experiment 1-1

Dachdeckung: Sisal-säcke mit Zement-Sand-Mischung imprägniert.

Unterkonstruktion: Bambus und Seil.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheitspreis (\$)	Preis pro m <sup>2</sup> (\$)
Bambus	m	3,20	-	-
Seil	m	10,80	0,08	0,86
Sisal-Säcke	m <sup>2</sup>	1,90	1,09	2,07
Bindfaden	m	10,00	0,01	0,10
Zement	kg	6,90	0,08	0,55
Sand	kg	13,50	-	-
Gesamtkosten/m <sup>2</sup>				<u>3,58</u>

##### Experiment 1-2 (a)

Dachdeckung: Zement-Bims-Mischung.

Unterkonstruktion: an Horizontalstäbe mit Bindfaden gebundene, dicht angeordnete Rohrstruktur.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheitspreis (\$)	Preis pro m <sup>2</sup> (\$)
Rohr	m	42,00	-	-
Bindfaden	m	10,00	0,01	0,10
Zement	kg	10,70	0,08	0,86
Bimssand	kg	9,40	-	-
Gesamtkosten/m <sup>2</sup>				<u>0,96</u>

In order to represent an economic advantage to the consumer, therefore, any new roofing system to be introduced (covering and support) should represent a purchased material cost significantly less than the equivalent cost shown above for the galvanized steel roof.

In the following tables, estimates have been prepared of the material cost per square meter for each of the prototype experiments discussed in the last section, assuming that materials such as bamboo, cane, soil, sand and pumice can be gathered in the field without cost. As can be seen, costs vary from a minimum of \$ 0.23/m<sup>2</sup> to a maximum of \$ 3.58/m<sup>2</sup>, all considerably lower than galvanized steel costs.

#### Material Cost Estimate

##### Experiment 1-1

Covering: Sisal sacks impregnated with cement-sand mixture.

Support: Bamboo and rope.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (\$)	Cost per m <sup>2</sup> (\$)
Bamboo	m	3.20	-	-
Rope	m	10.80	0.08	0.86
Sisal sacks	m <sup>2</sup>	1.90	1.09	2.07
Twine for tying sacks	m	10.00	0.01	0.10
Cement	kg	6.90	0.08	0.55
Sand	kg	13.50	-	-
Total cost/m <sup>2</sup>				<u>3.58</u>

##### Experiment 1-2 (a)

Covering: Cement-pumice mixture.

Support: Solid cane structure tied with twine to horizontal cane supports.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (\$)	Cost per m <sup>2</sup> (\$)
Canes for support	m	42.00	-	-
Twine	m	10.00	0.01	0.10
Cement	kg	10.70	0.08	0.86
Pumice	kg	9.40	-	-
Total cost/m <sup>2</sup>				<u>0.96</u>

### Experiment 1-2 (b)

Dachdeckung: 10% Kalk-stabilisierte Erde ohne Oberflächenschutz.

Unterkonstruktion: an Horizontalstäbe mit Bindfaden gebundene, dicht angeordnete Rohrstruktur.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheits- preis (₹)	Preis pro m <sup>2</sup> (₹)
Rohr	m	42,00	-	-
Bindfaden	m	10,00	0,01	0,10
Erde	kg	21,70	-	-
Löschkalk	kg	1,80	0,07	0,13
Gesamtkosten/m <sup>2</sup>				0,23

### Experiment 1-3

Dachdeckung: 10% Kalk-stabilisierte Erde mit Kalkanstrich.

Unterkonstruktion: an Vertikalstäbe mit Bindfaden gebundene, dicht angeordnete Rohrstruktur.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheits- preis (₹)	Preis pro m <sup>2</sup> (₹)
Rohr	m	42,00	-	-
Bindfaden	m	10,00	0,01	0,10
Erde	kg	20,50	-	-
Löschkalk				
- als Bindemittel	kg	1,80	0,07	0,13
- als Anstrich	kg	1,90	0,07	0,13
Gesamtkosten/m <sup>2</sup>				0,36

### Experiment 2-1

Dachdeckung: Zement-Bims-impregnierte Säcke.

Unterkonstruktion: mit Bindfaden gebundenes Rohrgerüst.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheits- preis (₹)	Preis pro m <sup>2</sup> (₹)
Rohr	m	15,00	-	-
Bindfaden	m <sub>2</sub>	10,00	0,01	0,10
Sisal-Säcke	m <sup>2</sup>	1,40	1,09	1,53
Zement	kg	9,05	0,08	0,72
Bims	kg	9,05	-	-
Gesamtpreis/m <sup>2</sup>				2,35

### Experiment 1-2 (b)

Covering: 10% lime stabilized soil without surface protection.

Support: Solid cane structure tied with twine to horizontal cane supports.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (₹)	Cost per m <sup>2</sup> (₹)
Canes for support	m	42.00	-	-
Twine	m	10.00	0.01	0.10
Soil	kg	21.70	-	-
Lime stabilizer	kg	1.80	0.07	0.13
Total cost/m <sup>2</sup>				0.23

### Experiment 1-3

Covering: 10% lime stabilized soil with lime surface coating.

Support: Solid cane structure tied with twine to vertical cane supports.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (₹)	Cost per m <sup>2</sup> (₹)
Canes for support	m	42.00	-	-
Twine	m	10.00	0.01	0.10
Soil	kg	20.50	-	-
Lime stabilizer	kg	1.80	0.07	0.13
Lime coating	kg	1.90	0.07	0.13
Total cost/m <sup>2</sup>				0.36

### Experiment 2-1

Covering: Cement-pumice impregnated sacks.

Support: Cane grid tied with twine.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (₹)	Cost per m <sup>2</sup> (₹)
Canes for support	m	15.00	-	-
Twine	m <sub>2</sub>	10.00	0.01	0.10
Sisal sacks	m <sup>2</sup>	1.40	1.09	1.53
Cement	kg	9.05	0.08	0.72
Pumice	kg	9.05	-	-
Total cost/m <sup>2</sup>				2.35

#### Experiment 2-2

Dachdeckung: Erd-Kalk-impregnierte Säcke mit Kalkanstrich.  
 Unterkonstruktion: mit Bindfaden gebundenes Rohrgerüst.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheits- preis (₹)	Preis pro m <sup>2</sup> (₹)
Rohr	m	18,00	-	-
Bindfaden	m	6,00	0,01	0,06
Sisal-Säcke	m <sup>2</sup>	1,48	1,09	1,61
Erde	kg	9,80	-	-
Löschkalk				
- als Bindemittel	kg	1,90	0,07	0,13
- als Anstrich	kg	1,80	0,07	0,13
Gesamtkosten/m <sup>2</sup>				1,93

#### Experiment 2-3

Dachdeckung: Zement-Bims-Mischung.  
 Unterkonstruktion: Rohrgerüst mit Stroh als Zwischenraumfüllung.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheits- preis (₹)	Preis pro m <sup>2</sup> (₹)
Rohr	m	16,00	-	-
Bindfaden	m	10,00	0,01	0,10
Zement	kg	11,00	0,08	0,88
Bims	kg	10,50	-	-
Gesamtpreis/m <sup>2</sup>				0,98

#### Experiment 2-4

Dachdeckung: 10% Erd-Kalk-Schicht mit Baumwollgewebe-bewehrtem Kalkanstrich.  
 Unterkonstruktion: Rohrgerüst mit Stroh als Zwischenraumfüllung.

Material	Einheit	Menge pro m <sup>2</sup>	Einheits- preis (₹)	Preis pro m <sup>2</sup> (₹)
Rohr	m	16,00	-	-
Bindfaden	m	10,00	0,01	0,10
Erde	kg	20,00	-	-
Löschkalk				
- als Bindemittel	kg	1,80	0,07	0,13
- als Anstrich	kg	2,50	0,07	0,18
Baumwollgewebe	m <sup>2</sup>	1,10	0,61	0,67
Gesamtpreis/m <sup>2</sup>				1,08

#### Experiment 2-2

Covering: Soil impregnated sacks with protective lime coating.  
 Support: Cane grid tied with twine.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (₹)	Cost per m <sup>2</sup> (₹)
Canes for support	m	18.00	-	-
Twine	m	6.00	0.01	0.06
Sisal sacks	m <sup>2</sup>	1.48	1.09	1.61
Soil	kg	9.80	-	-
Lime stabilizer	kg	1.90	0.07	0.13
Lime coating	kg	1.80	0.07	0.13
Total cost/m <sup>2</sup>				1.93

#### Experiment 2-3

Covering: Cement-pumice.  
 Support: Cane grid tied with twine-straw filler between vertical supports.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (₹)	Cost per m <sup>2</sup> (₹)
Canes for support	m	16.00	-	-
Twine	m	10.00	0.01	0.10
Cement	kg	11.00	0.08	0.88
Pumice	kg	10.50	-	-
Total cost/m <sup>2</sup>				0.98

#### Experiment 2-4

Covering: 10% lime stabilized soil protected with lime impregnated cotton fabric.  
 Support: Cane grid tied with twine-straw filler between vertical supports.

Material	Unit	Quantity per m <sup>2</sup>	Unit cost (₹)	Cost per m <sup>2</sup> (₹)
Canes for support	m	16.00	-	-
Twine	m	10.00	0.01	0.10
Soil	kg	20.00	-	-
Lime stabilizer	kg	1.80	0.07	0.13
Cotton fabric	m <sup>2</sup>	1.10	0.61	0.67
Lime coating	kg	2.50	0.07	0.18
Total cost/m <sup>2</sup>				1.08



## 7. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

### 7.1 Mögliche Lösungen

Das Dach, eine scheinbar einfache, individuelle Baueinheit, wird zu einem sehr komplexen Element, wenn man bedenkt, auf wieviele Arten es studiert und verbessert werden kann. Die Art und Vielfalt von Lösungen für das Dachproblem kann so fast unendlich variieren, wie die folgenden Überlegungen zeigen:

- Mögliche Lösungen können entweder Verbesserungen bestehender Systeme, vollkommen neue Entwicklungen oder eine Kombination von beidem sein.
- Sie können Teile des Daches betreffen (Unterbau, Abdeckung), das ganze Dach oder gewisse physikalische Eigenschaften (z.B. thermische und akustische Eigenschaften, Stärke, Lebenserwartung).
- Verbesserungen und Neuerungen sind möglich bei Materialien, Entwurf und Baumethoden.
- Aspekte der verbesserten Materialien können jegliche Bearbeitungsphase (von der Beschaffung von Rohmaterialien über Vorbehandlungen bis zum endgültigen Aufbau auf der Baustelle), Elementgröße, Form und Oberflächenbehandlung, umfassen.
- Entwurfsaspekte können sein: Kostenreduzierung, Verbesserung der Erdbeben- und Wirbelsturmsicherheit sowie Innenraumklima und Aussehen.
- Verbesserte Konstruktionsmethoden können vereinfachte und beschleunigte Verfahrensweisen, Tolerierung von Ungenauigkeiten und ungelerten Arbeitskräften, und doch insgesamt eine umfassende Verbesserung der wesentlichen Eigenschaften der Dachkonstruktion sein.

In Anbetracht der Situation in Zentralamerika hat die Untersuchung vier Typen von Dachdeckungssystemen für Billigwohnungsbau gezeigt, die gegenwärtig in dieser Gegend allgemein gebräuchlich sind. Sie umfassen Strohdächer, mit Rundholz- oder Bambusträgern und Tondachziegeln, verzinkte Stahlbleche oder Asbestzementplatten mit Holzunterkonstruktion.

Wenn man die in diesem Bericht aufgezeigten Daten zusammenfaßt, ergeben sich folgende Mängel an den bestehenden Systemen:

- Stroh:  
Hauptsächlich verwendet wegen seiner niedrigen Kosten; es benötigt jedoch zur Fertigung großen Zeitaufwand und einiges handwerkliches Geschick. Es neigt dazu, Insekten und Ungeziefer anzuziehen, und ist nicht feuersicher.
- Tondachziegel:  
Werden von den örtlichen Bewohnern als das attraktivste Dachdeckungsmaterial angesehen, aber ihre verhältnismäßig hohen Kosten machen deren Anwendung für einen großen Teil der Bevölkerung unmöglich. Das sehr hohe Gewicht erfordert ein schweres Stützsystem, und die Ziegel bilden eine Gefahr bei Erdbeben.

## 7. SUMMARY AND CONCLUSION

### 7.1 Possible Solutions

The roof, a seemingly simple, individual unit of construction, becomes a highly complex element when considering in how many ways it can be studied and improved. The type and magnitude of solutions to the roofing problem can thus vary almost indefinitely, as the following possibilities show:

- Feasible solutions can either be improvements of existing systems, completely new developments, or combinations of both.
- They can deal with parts of the roof (substructure, roof cover), the whole roof or certain physical characteristics (eg. thermal and acoustical properties, strength, life expectancy).
- Improvements and innovations are possible for materials, design and construction methods.
- Aspects of improved materials may involve any stage of handling (from obtaining raw materials, via pretreatments to final installation at building site), size of elements, shape and surface finish.
- Design aspects could be reduction of cost, improvement of earthquake and hurricane resistance, as well as indoor climate and appearance.
- Improved construction methods can mean simplified and accelerated operations, tolerance of inaccuracies and non-skilled labour, and yet basically an overall improvement in performance of the roof structure.

Considering the situation in Central America, the investigation has shown four types of roofing systems for low-cost housing to be in common usage in the region at the present time. These include thatched roofs with pole or bamboo supports, and clay tile, galvanized steel or asbestos-cement sheets supported by wooden frames.

Summarizing the data presented in the report, the principal deficiencies of the existing systems are the following:

- Thatch:  
Used principally because of its low cost, but requires considerable time and some manual skills for its installation. Tends to attract insects and rodents and lacks fire resistance.
- Clay tile:  
Considered the most visually attractive roofing system by local inhabitants, but its relatively high cost prevents its use by a large segment of the population. Excessive weight requires a heavy support system, and the tiles represent a hazard during earthquakes.

- **Verzinktes Stahlblech:**  
Wird wegen seiner einfachen Anbringung, seiner relativ niedrigen Kosten und des leichten Gewichts gebraucht. Hauptprobleme sind die kurze Lebensdauer aufgrund von Oxydation, wenn es nicht durch Farbanstrich geschützt ist (übersteigt die Mittel vieler armer Land- und Stadtbewohner), keine Wärmeisolierung (Hitzeabstrahlung nach innen), sehr hohe Geräuschbelastigung bei starkem Regen, Kondenswasserbildung im Innenraum.
- **Asbestzement:**  
Wird mehr bei öffentlichen Wohnbauprojekten benutzt. Verhältnismäßig schwer, hohe Kosten. Schwieriger zu handhaben und zu installieren, leicht zerbrechlich. Dieselben Kondenswasserbildungsprobleme wie bei verzinktem Stahlblech.

In Anbetracht der oben erwähnten Beobachtungen sollte ein verbessertes Dachdeckungssystem für Zentralamerika folgenden Kriterien entsprechen:

- Weniger Zeit und handwerkliche Geschicklichkeit als für den Bau von Strohdächern benötigen. Umkompliziertere Aufbaumethode als bei Asbestzementdächern.
- Feuerbeständiger sein als Strohdächer.
- Die Eigenschaft, Insekten oder Ungeziefer anzuziehen, vermindern oder ausschließen.
- Bedeutend billiger sein als Tonziegel- oder Asbestzement-Dächer.
- Leichteres Gewicht als Tonziegeldächer haben.
- Die Gefahr von herabfallenden Dachelementen bei Erdbeben vermindern oder ausschalten.
- Weitgehend wie Tondachziegel aussehen, da diese von der örtlichen Bevölkerung bevorzugt werden.
- Frei sein von Korrosionsproblemen wie bei verzinktem Stahl.
- Übermäßige Geräuschbelastigung bei starken Regenfällen mindern oder ausschalten.
- Relativ leicht sein, ohne Bruchgefahr zu handhaben und zu verarbeiten.
- Kondenswasserbildung im Inneren mindern oder ausschalten.

- **Galvanized steel:**  
Used because of its simple installation, relatively low cost and light weight. Principal problems are its short life due to oxidation unless protected by paint (beyond the means of many of the rural and urban poor), lack of thermal resistance (radiation of heat to interior), excessive noise during rainstorms, and interior condensation.
- **Asbestos-cement:**  
Used more in public housing projects. Relatively heavy and high cost. More difficult to manipulate and install, can be easily broken. Same interior condensation problems as with galvanized steel.

Taking the above observations into consideration, an improved roofing system for Central America should respond to the following:

- Require less time and manual dexterity for its installation than for thatch roofs. Less complicated installation method than that used for asbestos-cement.
- Better fire resistance than thatch roofs.
- Reduce or eliminate the tendency to attract insects or rodents.
- Significantly less costly than clay tile or asbestos-cement roofs.
- Lighter weight than clay tile roofs.
- Reduce or eliminate danger from falling roof elements during earthquakes.
- Simulate the appearance of clay tile roofing systems, since this is preferred by the local population.
- Free of the rust problems associated with galvanized steel.
- Reduce or eliminate excessive noise during rainstorms.
- Relatively easy to handle and manipulate without breakage.
- Reduce or eliminate interior condensation problems.

## 7.2 Das ideale Dach

Die Analyse von Dachdeckungssystemen in verschiedenen Regionen, die in den vorhergehenden Abschnitten dieses Berichts erläutert wurden, ermöglicht eine Auflistung der wünschenswerten Eigenschaften eines idealen Daches.

Die Erfüllung aller aufgeführten Kriterien mögen in der Praxis undurchführbar sein, aber je mehr die Eigenschaften neuer Dachdeckungs-Lösungen mit den aufgelisteten übereinstimmen, desto größer sind die Chancen, daß sie größere Aufnahmebereitschaft und Anwendung finden und folglich dazu beitragen, ein wichtiges technologisches Problem beim Hausbau in Entwicklungsländern zu lösen.

### Kriterien für Entwurf und Ausführung von Dächern in Zentralamerika (zutreffend für fast alle Regionen der Dritten Welt)

#### Entwurf:

- dem Klima und der Umgebung angepaßt  
(in feuchten Gebieten Ausschließen von Wärme durch Materialien mit geringer Wärmespeicherkapazität und durch belüfteten Dachraum, dagegen in trockenen und Hochlandzonen Materialien mit Wärmespeicherkapazität; nicht gänzlich wasserundurchlässig, jedoch in der Lage, Regenwasser schnell abzuführen; helle äußere Oberfläche zur Reflexion der Sonnenstrahlung; Schallsisolierung, besonders für starke Regenfälle)
- erdbebensicher  
(entweder monolithisch mit hoher Druckfestigkeit oder flexibel mit hoher Zugfestigkeit und festen Verbindungen; statische Trennung der Dachtragkonstruktion von den Wänden)
- wirbelsturmsicher, besonders in Küstengebieten  
(keine Flachdächer; stabile feste Verbindungen zum übrigen Gebäude; kein loses Material, das schwer oder scharfkantig ist)
- optisch annehmbar  
(keine radikal neuen Formen und Materialien, vorzugsweise Fortführung herkömmlicher Formen mit bedeutenden Verbesserungen bezüglich Konstruktion und Kosten)
- ausreichend dauerhaft  
(mindestens 5 Jahre ohne Wartung, vorzugsweise 20 Jahre mit geringer Wartung)

#### Ausführung:

- von ungelernten Arbeitern und Selbsthilfe-Bauherren leicht erlernbar und beauftragbar
- ohne Bedarf an importiertem, kompliziertem Gerät, das nicht gewartet werden kann (das gebräuchlichste örtliche Werkzeug ist die "machete", ein Messer mit einer 30 - 50 cm langen und 5 - 7 cm breiten Klinge)

## 7.2 The Ideal Roof

The analysis of worldwide roofing systems discussed in the previous sections of this report permits a listing of the desirable characteristics of an ideal roof.

The fulfillment of all the given criteria may in practice be unachievable, but the more the characteristics of new roofing solutions coincide with those listed, the greater are the chances that they find wider acceptance and application, and consequently help to solve a major technological problem of housing in developing countries.

### Criteria for Design and Construction of Roofs in Central America (applicable for practically all Third World regions)

#### Design:

- Climatologically and environmentally appropriate  
(in humid areas, exclusion of heat by low thermal capacity materials and ventilated roof space, whereas in arid zones and highlands constructions with heat retaining capacity; not totally impermeable, but capable of shedding rainwater rapidly; light outer surface to reflect solar radiation; sound insulation, especially in heavy rains).
- Earthquake resistant  
(either monolithic with high compressive strengths or flexible with high tensile strengths and rigid bonds; structural separation of roof supports from walls).
- Hurricane resistant, particularly in coastal areas  
(no flat roofs; rigid, strong connections to rest of building; no loose material, which is heavy or sharp cornered).
- Aesthetically acceptable  
(no radically new shapes and materials, preferably continuation of conventional forms with significant improvements in construction and costs).
- Adequate life  
(at least 5 years without maintenance, preferably 20 years with minimum maintenance).

#### Construction:

- Easily learnt and understood by unskilled workers and self-help builders.
- No necessity of imported, complicated equipment which cannot be maintained (Most common local tool is the "machete", a knife with a 30 to 50 cm blade length and 5 to 7 cm width).

- in der Lage, Ungenauigkeiten zu tolerieren und keine komplizierten Qualitätstests zu erfordern
- schnell realisierbar mit minimaler Menschenkraft (z.B. zwei oder drei Personen, die etwa vier oder fünf Tage arbeiten)
- zu beliebiger Jahreszeit durchführbar

#### Materialien:

- örtlich verfügbar, ohne lange Transportwege, in gesunder Relation zu den finanziellen und technischen Mitteln der Bevölkerung (z.B. ohne Pkw-Transport, Entfernung nur so groß, daß das Material von einem Mann getragen werden kann)
- mit möglichst geringem oder vorzugsweise ohne Gebrauch von importierten Bestandteilen, oder solchem Material, das beispielsweise auf Rohöl basiert (mit steigenden Preisen und abnehmenden Vorräten)
- erneuerbar oder in unbegrenzter Menge verfügbar
- billig oder kostenlos (d.h. ohne weiteres für Bewohner erschwinglich)
- mit vorhandenem einfachem Werkzeug leicht bearbeitbar
- nicht zu schwer, so daß zwei oder drei Männer ein Dach bauen können
- frei von giftigem Material, das vom Regen abgewaschen werden und die Umgebung verseuchen könnte
- unanfällig für Insekten, Vögel oder Ungeziefer sowie für Pilze
- feuerbeständig oder zumindest feuerhemmend
- für die klimatischen und Umweltbedingungen gut geeignet
- resistent gegen übermäßige Regenwasseraufnahme, jedoch nicht vollkommen wasserundurchlässig (besonders Dachunterseite), um Kondenswasserbildung zu verhindern
- geräuscharm bei schweren Regenfällen
- stoßunempfindlich (z.B. Hagelkörner) und fähig, das Gewicht einer auf dem Dach arbeitenden Person zu tragen
- ganz oder teilweise aus Abfallmaterialien, aber nicht denjenigen, die anderweitig verwendet werden können (z.B. Bagasse, Reis- oder Kokosnussschalen, die als Brennmaterial benützt werden)

- Should tolerate inaccuracies and not require sophisticated quality tests.
- Should be quickly erected with minimum manpower (eg two or three people working about four or five days).
- Should be possible to build any time of the year.

#### Materials:

- Locally available, no long transport distances, in accordance with the financial and technical means of the people (eg without motorized transport, maximum practical carrying distance for a man).
- Minimum use of, or preferably no imported material, or such based on fossil oils (with rising prices and diminishing supplies).
- Renewable or available in unlimited supply.
- Cheap or no cost (ie well within the means of the occupants).
- Easily handled with available, low technology equipment.
- Not too heavy, so two or three men can build the roof.
- No poisonous material, that can be washed off by rain and contaminate the surroundings.
- Materials that do not encourage nesting of insects, birds or rodents, or promote fungal growth.
- Fire resistant or at least fire retarding.
- Good thermal performance, with respect to the given climate and environment.
- Resistant to excessive rainwater absorption, but not completely impermeable (especially on the underside of roof) to avoid development of condensation.
- Not noisy during heavy rains.
- Resistant to impact (eg from hailstones) and capable of supporting weight of a person working on the roof.
- Possible use of waste materials, but not such that already have other uses (eg bagasse, rice and coconut husks used as fuel).

### 7.3 Schlußfolgerung

Das vorliegende Forschungsprojekt wurde initiiert, um die Probleme und Möglichkeiten von billigen Bedachungssystemen zu erfassen und grundlegende Informationen über Bedachungssysteme in verschiedenen Teilen der Welt sowie gezielte Daten über die Situation in Zentralamerika zu sammeln. Dies muß als wichtiges Einführungsstadium angesehen werden, von dem Impulse und Ideen abgeleitet werden können bei der Suche nach neuen geeigneten Bedachungsmöglichkeiten in Zentralamerika.

Die Experimentierphase des Projektes war vor allem einleitender Art. Sie wurde durchgeführt, um besonders solche örtlich verfügbaren Materialien, die gegenwärtig nicht für Dachkonstruktionen verwendet werden, zu testen und ihre Anwendungsmöglichkeiten für billige Bedachungssysteme auszuwerten. Da die Entwicklung, Verbesserung und Implementierung neuer Dachdeckungssysteme ein schwieriger und langer Prozeß ist, zeitigten diese anfänglichen Experimente kein unmittelbar annehmbares neues Dachkonzept. Die bis jetzt erreichten Ergebnisse der Tests mit Zement-Bims und Kalk-stabilisierten Erd-Mischungen, kombiniert mit verschiedenen Verstärkungsmaterialien und einfachen Bambus- oder Rohrkonstruktionen, erscheinen jedoch vielversprechend genug, um weitere Forschung auf diesem Gebiet zu rechtfertigen.

### 7.3 Conclusion

The present research project was conceived to obtain an understanding of the problems and possibilities of low-cost roofing and to collect basic data on roofing systems in the world in general, as well as specific information on the situation in Central America. This must be seen as an important introductory stage, from which impulses and ideas may be derived in the search for new appropriate roofing in Central America.

The experimental phase of the project was of a preliminary nature conducted primarily to screen locally available materials not currently used for roof construction to evaluate their potential as elements for low cost roofs. Since the development, improvement and implementation of new roofing systems is a difficult and long process, these initial experiments, as expected, did not result in an immediately acceptable new roofing concept. However, the results to date of the tests performed on cement-pumice and lime stabilized soil mixtures combined with diverse reinforcing materials and simple bamboo or cane support structures, appear sufficiently promising to warrant further research in this field.

## BIBLIOGRAPHIE / BIBLIOGRAPHY

Bibl. No.	Autor/Herausgeber Author/Editors	Titel/Inhalt Title/Contents	Verlag/Zeitschrift Publisher/Journal	Erscheinungsort/Datum Place/Date of Publication
1	Ahmad, Adil Mustafa	On Ceiling Heights and Human Comfort	Overseas Building Notes No. 155, Building Research Station	Garston, 1974
2	Ahmad, Adil Mustafa	Thermal Performance of Concrete Roofs and Reed Shading Panels under Arid Summer Conditions	Overseas Building Notes No. 164, Building Research Station	Garston, 1975
3	Alexander, Christopher et al	Houses Generated by Patterns	Center for Environmental Structure	Berkeley, 1970
4	Alexander, Christopher et al	A Pattern Language – Towns, Buildings, Construction	Oxford University Press	New York, 1977
5	Architectural Record	Building Types Study: Human Settlements	Mc Graw-Hill Publication	New York, May 1976
6	Ayyar, T.S.R., and Mirihogalla, P.K.	Elephant Grass Fibres as Reinforcement in Roofing Sheets	Appropriate Technology, Vol. 6, No. 1	London, May 1979
7	Banco Interamericano de Desarrollo, B.I.D.	Tendencias Demograficas y sus Proyecciones en Centroamerica	Inter-American Development Bank (IDB)	Washington, D.C., 1977
8	Bardou, Patrick, and Arzoumanian, Varoujan	Archi de Terre	Parantheses	Marseille, 1978
9	Bessey, George E.	Avoiding Faults and Failures in Building	Overseas Building Notes No. 177, Building Research Station	Garston, 1977
10	Boatwright, Joseph H.	How to get Waterproofing Substances from Plants	Volunteers in Technical Assistance, VITA	Mt. Rainier, Md. 1977
11	Brennecke, Folkerts, Haferland, Hart	Dachatlas – Geneigte Dächer	Institut für Internationale Architektur- Dokumentation	München, 1975
12	Bruyère, Christian, and Inwood, Robert	In Harmony with Nature, Creative Country Construction	Drake Publishers, Inc.	New York, 1978
13	Budowski, Gerardo	Clasificación de las Habitaciones Naturales que Necesitan Preservarse en Centroamerica	Instituto Interamericano de Ciencias Agricolas	Costa Rica, 1964
14	Building Research Establishment	Building in Hot Climates. A Selection of Overseas Building Notes.	Building Research Station	Garston, 1980
15	Concrete Association of India	Low-Cost Soil-Cement Houses	The Concrete Association of India	Bombay, 1966
16	Danby, Miles	Buildings and the Environment	Overseas Building Notes No. 165, Building Research Station	Garston, 1975
17	Dancy, Harold K.	A Manual of Building Construction	Intermediate Technology Development Group Ltd.	London, 1973
18	Darrow, Ken and Pam, Rick	Appropriate Technology Sourcebook, Volume One	A Volunteers in Asia Publication	Stanford, 1978
19	Davis, Ian	Shelter after Disaster	Oxford Polytechnic Press	Oxford, 1978

20	Davis, Ian	The Modification of Unsafe Housing Following Disasters	Architectural Design	London, July 1979
21	Demeter, Hans and Langan, Thomas	Mikroklima und Wohnkomfort in Tropenbauten/ Micro-Climates and Comfort in Tropical Buildings	Institut für Tropenbau, I.F.T.-Report 2	Starnberg, 1973
22	Dengo, Gabriel	Estructura Geológica, Historia Tectónica y Morfológica de América Central	RTAC — AID	Mexico, 1967
23	Denyer, Susan	African Traditional Architecture	Heinemann	London, 1978
24	Department of Housing and Urban Development	Bamboo as a Building Material	Department of Housing and Urban Development, Division of International Affairs	Washington, D.C. 1953
25	Department of Housing and Urban Development	Earth for Homes	Department of Housing and Urban Development, Division of International Affairs	Washington, D.C. 1955
26	Department of Housing and Urban Development	Mud Brick Roofs	Department of Housing and Urban Development, Division of International Affairs	Washington, D.C. 1959
27	Department of Housing and Urban Development	Palms — Their Use in Building	Department of Housing and Urban Development, Division of International Affairs	Washington, D.C. 1964
28	Department of Housing and Urban Development	Grasses — Their Use in Building	Department of Housing and Urban Development, Division of International Affairs	Washington, D.C. 1964
29	Dirección General de Estadística	III Censo de Habitación 26 de Marzo de 1973	Dirección General de Estadística Ministerio de Economía	Guatemala, Nov. 1976
30	Doswald, Fritz	Planen und Bauen in heißen Zonen	Baufachverlag	Zürich, 1977
31	Duly, Colin	The Houses of Mankind	Thames and Hudson Ltd.	London, 1979
32	Ebert, Wolfgang M.	Home Sweet Home — Träume vom Wohnen	Dieter Fricke GmbH.	Frankfurt/Main, 1978
33	Elder, A.J. and Vandenberg, Maritz (Editors)	A J Handbook of Building	The Architectural Press	London, 1974
34	Eygelaar, J.	Roofs for Low-Cost Structures	University of Nairobi, Housing and Development Unit	Nairobi, June 1978
35	Falconer, J.P.R.	Timber Design and Construction Manual	Department of Housing and Planning Research, University of Science and Technology	Kumasi, July 1969
36	Fathy, Hassan	Architecture for the Poor	The University of Chicago Press	Chicago, 1973
37	Foster, Jack Stroud	Structure and Fabric — Part 1	Mitchell's Building Construction B.T. Batsford Ltd., London, and Halsted Press, New York	London, 1979
38	Foster, Jack Stroud, and Harington, Raymond	Structure and Fabric — Part 2	Mitchell's Building Construction B.T. Batsford Ltd.	London, 1977
39	Fry, Maxwell and Drew, Jane	Tropical Architecture in the Dry and Humid Zones	B.T. Batsford Limited	London, 1964

40	Frydensberg, Ole	Alternative Design for Remote Regions — A Pre-Fabricated Building Structure	Rural Health Planning and Implementation Unit, Ministry of Health	Nairobi, 1979
41	Fullerton, R.L.	Building Construction in Warm Climates	Oxford University Press	London, 1967
42	Glaeser, Ludwig	The Work of Frei Otto and His Teams 1955 - 1976	IL 17 — Institut für Leichte Flächentragwerke	Stuttgart, 1977
43	Gollwitzer, Gerda, and Wirsing, Werner	Dachflächen — bewohnt, belebt, bepflanzt	Georg D.W. Callwey	München, 1971
44	Goldman, Louis J. et al (editors)	Low-Cost Housing Technology — An East-West Perspective	Pergamon Press	New York, 1979
45	Goodspeed, Charles H. and Hartkopf, Volker H.	Feasibility Test of an Approach and Prototype for Ultra Low Cost Housing	Agency for International Development	Washington, D.C. 1975
46	Grasser, Klaus and Mukerji, Kiran	Minimalbauweisen für den Wohnungsbau in El Salvador/ Minimum Cost Housing Construction in El Salvador	Aus der Arbeit von GATE German Appropriate Technology Exchange	Eschborn, 1981
47	Hay, Harold	New Roofs for Hot Dry Regions	Ekistics No. 183/Vol. 31	Athens, February 1971
48	Hernandez Aguilar, Otto Ivan	Vivienda Rural en El Quetzal, S.M.	Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Arquitectura	Guatemala, 1973
49	Instituto Panamericano de Geografía e Historia	Atlas Climatológico e Hidrológico del Istmo Centroamericano	Instituto Panamericano de Geografía e Historia	Guatemala, August 1976
50	Internationale Asbest- zement-Revue, ac 32	Entwicklungsländer mit eigener Asbestzement- Industrie	Girsberger	Zürich, October 1963
51	Internationale Asbest- zement-Revue, ac 58	Bauen in Entwicklungsländern	Girsberger	Zürich, April 1970
52	Kahane, Jeff	Local Materials — A Self-Builders Manual	Publications Distribution Cooperative	London, 1978
53	Kern, Ken	The Owner-Built Home	Owner-Builder Publications	Oakhurst, Calif. 1972
54	King, Harold, revised by Osborn, Derek	Components	Mitchell's Building Series, Halsted Press, New York and B.T. Batsford Ltd., London	London, 1979
55	Kinniburgh, William	Bitumen Coverings for Flat Roofs	Overseas Building Notes No. 180, Building Research Station	Garston, 1978
56	Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay	Manual of Tropical Housing and Building	Longman Group Limited	London, 1974
57	Koenigsberger, Otto and Lynn, Robert	Roofs in the Warm Humid Tropics Architectural Association Paper No. 1	Lund Humphries	London, 1965
58	Konya, Allan	Architecture for Export, Parts 1, 2, 3	The Architects' Journal (Nos. 34 + 35, Vol. 168) The Architectural Press Ltd.	London, August 1978
59	Lander, Helmut, and Niemann, Manfred	Lehm-Architektur in Spanien und Afrika	Karl Robert Langewiesche Nachfolger Hans Köster	Königstein im Taunus, 1980



60	Leiva Monzon, Jesus Octavio	Estimación de Costos y Recomendaciones para el Uso de Diferentes Tipos y Cubiertas en Viviendas Económicas	Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería	Guatemala, May 1978
61	Lippsmeier, Georg	Tropenbau — Building in the Tropics	Georg D.W. Callwey	München, 1980
62	Mazariegos M., Guillermo	Análisis de los Métodos Constructivos de la Vivienda Rural en la Zona Norte de las Verapaces	Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Arquitectura	Guatemala, May 1978
63	Mazria, Edward	The Passive Solar Energy Book	J.R. Rodale Press	Emmaus, Penn. 1978
64	Mc Clure, F.A.	Bamboo as a Building Material	Department of Housing and Urban Development	Washington, D.C. 1953
65	Mein, Philip	An Autonomous Housing Prototype for Low Income Families	Housing Research and Development Unit, University of Nairobi	Nairobi, 1977
66	Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos	Tercer Censo Nacional de Vivienda 1971	Dirección General de Estadística y Censos	El Salvador, 1974
67	Ministerio de Economía, Industria y Comercio	Censos Nacionales de 1973 Vivienda	Dirección General de Estadística y Censos	Costa Rica, 1974
68	Minke, Gernot	Light-Weight Structures for Self-Help, Low-Cost Housing Systems	Proc. 3rd Int. Symp. on Lower Cost Housing Problems, Concordia University	Montreal, May 1974
69	Minke, Gernot	Ex-Bau Info 1 - 16	Gesamthochschule Kassel, Forschungslabor für Experimentelles Bauen	Kassel, May 75 - April 81
70	Minke, Gernot	Alternatives Bauen	Öko-Buchversand, Gut Kressenbrunnen, 3523 Grebenstein	Grebenstein, 1980
71	Misra, Surya Kant	Low Cost Housing in the Indian Context	Overseas Building Notes No. 172 Building Research Station	Garston, 1977
72	Mittag, Martin	Baukonstruktionslehre	Institut für Bauplanung und Bautechnik	Detmold, 1971
73	Meavenzareh, Fred Kath Rossow, Janet Ann	The Construction Industry in Developing Countries	Massachusetts Institute of Technology	Boston, 1975
74	Monsanto Research Corporation Dayton Laboratory	Development of Low-Cost Roofing from Indigenous Materials in Developing Nations	Agency for International Development, United States Department of State	Washington, D.C. 1978
75	Mooij, D.	Small Buildings in Earthquake Areas	UNESCO Regional Office for Education in Asia	Bangkok, 1973
76	Mukerji, Sulejman-Pačić, Murison, Hockings	Vorgefertigte Konstruktionen für Billigwohnungen in den Tropen/Prefabrication for Low-Cost Housing in Tropical Areas	Institut für Tropenbau I.F.T.-Report 4	Starnberg, 1975
77	Mukerji, Kiran and Bahlmann, Hellmuth	Laterit zum Bauen / Laterite for Building	Institut für Tropenbau I.F.T.-Report 5	Starnberg, 1978
78	Mukerji, Kiran	Appropriate Technologies for Housing in Developing Countries	Vierteljahresberichte (No. 82/Dec.1980) Friedrich-Ebert-Stiftung, Verlag Neue Gesellschaft GmbH.	Bonn, 1980

79	Mukerji, Kiran	Ecosystems for Rural Settlements in Developing Countries	Ekistics No. 291/Vol. 48	Athens, Nov./Dec. 1981
80	Mukhtar, Y.A.	Roofs in Hot Dry Climates, with Special Reference to Northern Sudan	Overseas Building Notes No. 182 Building Research Station	Garston, 1978
81	National Academy of Sciences	Ferrocement: Applications in Developing Countries	National Academy of Sciences	Washington, D.C. 1973
82	National Academy of Sciences	Roofing in Developing Countries	National Academy of Sciences	Washington, D.C. 1974
83	NBRI Information Sheet	The Prevention of Fires in Thatched Roofs	National Building Research Institute (NBRI) South African Council for Scientific and Industrial Research	Pretoria, March 1971
84	NBRI Information Sheet	The Painting of Galvanized Steel Roof Sheeting	NBRI	Pretoria, May 1972
85	Oakley, David	Tropical Houses — A Guide to Their Design	B.T. Batsford Ltd.	London, 1961
86	Oficina Ejecutiva de Encuestas y Censos	Censo Nacional de Vivienda 1971	Oficina Ejecutiva de Encuestas y Censos	Nicaragua, Oct. 1974
87	Oliver, Paul	Shelter and Society	Barrie & Jenkins Ltd.	London, 1969
88	Oliver, Paul	Shelter in Africa	Barrie & Jenkins Ltd.	London, 1971
89	Ortega, Alvaro et al	The Ecol Operation — Ecology + Building + Common Sense	Minimum Cost Housing Group, School of Architecture, Mc Gill University	Montreal, 1972
90	Owen, Roy E.	Roofs	Essence Books on Building Series The Macmillan Press Ltd.	London, 1975
91	Pama, Ricardo, P. Lee, Seng-Lip Vietmeyer, Noel D.	Ferrocement, A Versatile Construction Material: Its Increasing Use in Asia	Asian Institute of Technology	Bangkok, 1976
92	Parry, J.P.M., + Associates Ltd.	Low-Cost Handmade Roof Sheets of Fibre Reinforced Cement	Appropriate Technology Vol. 5, No. 4	London, Feb. 1979
93	Pawley, Martin	Garbage Housing	Architectural Design 12/73 The Standard Catalogue Co.Ltd.	London, 1973
94	Rao, A.V.R. (Indian National Building Organisation)	Roofing with Low-Cost Corrugated Asphalt Sheets	Appropriate Technology Vol. 1, No. 4	London, 1974 - 75
95	Rapoport, Amos	House Form and Culture	Prentice-Hall, Inc.	Englewood Cliffs, 1969
96	Reps, William F., and Simiu, Emil (Editors)	Design, Siting, and Construction of Low-Cost Housing and Community Buildings to Better Withstand Earthquakes and Windstorms	U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards	Washington, D.C. 1974
97	Rick, Anton W.	Das flache Dach	Dr. Lüdecke-Verlagsgesellschaft	Heidelberg, 1974

98	Rudofsky, Bernard	Architecture Without Architects	The Museum of Modern Art	New York, 1965
99	Rudofsky, Bernard	The Prodigious Builders	Secker + Warburg	London, 1977
100	Saini, Balwant Singh	Building Environment — An Illustrated Analysis of Problems in Hot Dry Lands	Angus and Robertson Pty. Ltd.	Sydney, 1973
101	Schoenauer, Norbert	Introduction to Contemporary Indigenous Housing	Reporter Books	Montreal, 1973
102	Secretaria de Economia Dirección General de Estadística y Censos	Censo Nacional de Vivienda Marzo 1974	Dirección General de Estadística y Censos	Honduras, 1975
103	Secretaria Permanente del Tratado de Integración Económica Centroamericana, SIECA	VI Compendio Estadístico Centroamericano	SIECA	Guatemala, 1975
104	Sedlak, Vinzenz	Paper Shelters	Architectural Design 12/73 The Standard Catalogue Co.Ltd.	London, 1973
105	Sedlak, Vinzenz	Folded Structural Forms — Their Geometry and Architectural Applications	Proc. 3rd Int. Symp. on Lower Cost Housing Problems, Concordia University	Montreal, May 1974
106	Shelter Publications Editor: Lloyd Kahn	Shelter	Shelter Publications	Bolinas, Calif. 1973
107	Shelter Publications Editor: Lloyd Kahn	Shelter II	Shelter Publications	Bolinas, Calif. 1978
108	Skurka, Norma and Naar, Jon	Design for a Limited Planet	Ballantine Books	New York, 1976
109	Sperling, R.	Roofs for Warm Climates	Building Research Station	Garston, 1970
110	Stulz, Roland	Appropriate Building Materials (SKAT Publication No. 12)	Schweizerische Kontaktstelle für Angepaßte Technik (SKAT)	St. Gallen, 1981
111	Sun-Ho Choi	Low-Cost Housing for Agro-Fishery Villages in Korea. A Preliminary Design of Suspension-Type Roof System.	Technology and Development Institute East-West Center	Taegu, Korea, 1973
112	Svard, Christer	Rural Low-Cost Houses	National Housing and Building Research Unit	Dar es Salaam, 1977
113	Szczelkun, Stefan A.	Survival Scrapbook No. 1: Shelter	Schocken Books	New York, 1972
114	Thinius, Klaus	Vergessene Dächer	Bruderverlag Karlsruhe	Karlsruhe, 1977
115	Thomas, D.W.	Small Scale Manufacture of Burned Building Brick	Volunteers in Technical Assistance, VITA	Mt. Rainier, Md. 1977
116	Unión Panamericana	Comite Interamericano de Desarrollo Agrícola Tenencia de la Tierra y Desarrollo Socio-Economico del Sector Agrícola: Guatemala	Union Panamericana	Washington, D.C. 1965
117	United Nations	Soil Cement: Its Use in Building	United Nations	New York, 1964

118	United Nations	Manual on Self-Help Housing	United Nations	New York, 1964
119	United Nations	Climate and House Design	United Nations	New York, 1971
120	United Nations	The Use of Bamboo and Reeds in Building Construction	United Nations	New York, 1972
121	United Nations	Producción de Paneles a Partir de Residuos Agrícolas	United Nations	New York, 1972
122	United Nations	Use of Agricultural and Industrial Wastes in Low Cost Constructions	United Nations	New York, 1976
123	United Nations	Guidelines for Disaster Prevention (Vols. 1, 2, 3)	United Nations Office of the UN Disaster Relief Co-Ordinator	Geneva, 1976
124	United Nations	Economic Housing in Africa	United Nations Economic Commission of Africa	Addis Abeba, 1976
125	University of Lund Dept. of Architecture IIB	Ethiopia: Abela-Abaya Resettlement Project — Housing	University of Lund	Lund, 1969
126	VITA	Making Building Blocks with the CINVA-Ram Block Press	Volunteers in Technical Assistance	Mt. Rainier, Md. 1966
127	VITA	Village Technology Handbook	Volunteers in Technical Assistance	Mt. Rainier, Md. 1975
128	Vorhauer, Klaus	Low Cost / Self Help Housing	German Appropriate Technology Exchange (GATE)	Eschborn, 1979
129	Wass, Alonzo	Methods and Materials of Residential Construction	Reston Publishing Company, Inc.	Reston, Virginia 1973
130	Wolfskill, Lyle A. Dunlap, Wayne A. Gallaway, Bob M.	Earthen Home Construction	Texas Transportation Institute A. + M. College of Texas	College Station, 1962