

Alternative Baustoffe mit ihren energetischen und ökologischen Konsequenzen in Brasilien

Baustoffe und Energie



Abb. 1: Favela in Fortaleza, Brasilien

Fotos: Laar

Ein bisher wenig untersuchter Aspekt in „Entwicklungs- und Schwellenländern“ ist die unmittelbare Auswirkung des Primärenergieeinsatzes bei der Herstellung von Baumaterialien. Im Rahmen eines vom *Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD)* finanzierten Forschungsaufenthalts in Fortaleza, Ceará, Brasilien, untersuchte 1995 ein Mitarbeiter des *Instituts für Tropentechnologie der Fachhochschule Köln* die ökologischen Implikationen durch die Baustoffauswahl. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer generell stärkeren Berücksichtigung des Primärenergieinhalts von Baustoffen.

In Brasilien ist seit dem Beginn der siebziger Jahre eine ausgeprägte Landflucht zu beobachten. Dadurch wurde in den Metropolen des Landes ein enormer Bauboom ausgelöst. Dieser Bauboom manifestierte sich jedoch nicht nur in glitzernden Hochhausfassaden, sondern auch in einem explosionsartigen Anwachsen der Armutssiedlungen, den sogenannten Favelas.

Lebten in São Paulo 1973 nur 1,1 % der Bevölkerung in Favelas, so waren es 1993 mit etwa 4 Millionen Betroffenen bereits knapp 20 % der Gesamtbevölkerung.

Parallel zu der Zunahme der Favelados /1/ verschob sich allerdings auch die Einkommensstruktur: Verdienten 1973 noch etwa 75 % der Familien monatlich bis zu zwei Mindestlöhnen (ein Mindestlohn entspricht etwa 100 US\$), so reduzierte sich diese Gruppe bis 1993 auf etwa 20 %. Allerdings registrierte man 1993 auch einen Bevölkerungsanteil von 35 % mit einem Einkommen von über fünf Mindestlöhnen.

So ist es nicht verwunderlich, daß sich auch das physische Erscheinungsbild der Armutssiedlungen wandelte: War das Bild anfangs geprägt von aus Blechteilen und Holzbrettern zusammengehaltenen, windschiefen Hütten, so stellte man bei Erhebungen fest, daß 1993 bereits mehr als 50 % der Behausungen aus Ziegeln errichtet waren.

Vergleich unterschiedlicher Baustoffe

Bei der 1995 vorgenommenen Untersuchung im semi-ariden Nordosten Brasiliens galt es, aus der Gesamtheit der Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung der möglichen sozialen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen die Auswahl der Baustoffe, speziell der Wandbaustoffe, zu optimieren.

Durch die eigens dafür entwickelte Software *Cyrus* wurde die Grundlage für ein global einsetzbares, objektives, weitgehend alle Randbedingungen berücksichtigendes Entscheidungsinstrument geschaffen. Die generierten Werte wer-

den in eine Matrix zu einer Nutz-Wert-Analyse eingebunden und ermöglichen allen Projektbeteiligten eine transparente, nachvollziehbare Lösungsfindung. Schwerpunkte der Analyse sind der für die Baustoffherstellung notwendige Arbeits- und Primärenergieeinsatz, der finanzielle Aufwand sowie die bauphysikalische Eignung der Baustoffe.

Exemplarisch wurde der eingeschossige Haustyp M2 G2 der COHAB Ceará's /2/ untersucht. Dieses Doppelhaus stellt den von der staatlichen Wohnungsbau-gesellschaft meistgebauten Typus dar. Mit einer Grundfläche von etwa 30 m², einer Traufhöhe von 2,40 m und einer minimalen Elektrifizierung (eine Glühbirne und eine Steckdose bei Übergabe) zielt die Doppelhaushälfte auf vierköpfige Familien der untersten sozialen Schicht ab. Die reinen Materialkosten für das beschriebene Haus liegen bei etwa 2.000 DM.

Die Ergebnisse einer Kostenanalyse wiesen die Wandbaustoffe mit knapp 50 % der Materialkosten als die Hauptkostenträger aus. In der Folge wurden Überlegungen angestellt, wie der üblicherweise verwendete Ziegel durch andere Materialien ersetzt werden könnte. Dabei schieden bereits im Vorfeld Holz aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit sowie generell alle High-Tech-Produkte aufgrund der zu erwartenden Kosten aus.

Für die vergleichende Untersuchung wurden schließlich folgende Produkte ausgewählt:

- Erdsteine, unstabilisiert und zementstabilisiert, manuell, mechanisch und maschinell hergestellt,
- Betonsteine,
- gebrannte Ziegelsteine (üblicher Baustoff).

Da das Ballungszentrum Fortaleza mit einem geschätzten Wohnungsbaubedarf von über 150.000 Einheiten als Grundlage der angestellten Überlegungen galt, kann von einer problemlosen Verfügbarkeit der Baustoffe ausgegangen werden. Die Bodenqualität hinsichtlich der Erdsteine erwies sich nach einem Test als gut.

Primärenergieeinsatz bei der Produktion von Baustoffen

Bei der Betrachtung des Primärenergieeinsatzes und den dadurch verursachten Auswirkungen auf die Umwelt gilt es zwei Einflußgrößen zu betrachten: zum einen die am Ort der Produktion eingesetzte Energie und zum anderen den Energieinhalt der Ausgangsstoffe. Ferner beeinflusst die Form des Energieträgers und die Art der Produktionsstätte – und damit verbunden der Wirkungsgrad – die Umweltbilanz ganz entscheidend.

Als besonders problematisch stellte sich die Ermittlung des Primärenergieinhaltes der gebrannten Ziegel heraus. Die in der Literatur angegebenen Werte für eine industrielle Produktion schwanken abhängig von der Quelle ganz erheblich. Die Angaben variieren zwischen 598 und 673 kWh/m³.

Von einer industriellen Produktion kann in Fortaleza jedoch nicht ausgegangen werden. Die in dieser Gegend verwendeten Ziegel werden meist im Feldbrand hergestellt; ein Verfahren, das auch in Europa weitverbreitet war. Die Nachteile wie ungleichmäßiger Brand und hoher Brennholzeinsatz haben diese Technik bei uns jedoch weitgehend verschwinden lassen. G. Merschmeyer gibt in einer gate-Publikation /3/ an, ein primitiver Ziegelofen bräuchte etwa zehnmals soviel Energie im Vergleich zu einem modernen Industrieofen mit einem Primärenergieeinsatz von 590 kWh/m³.

Weniger problematisch ist die Ermittlung des Primärenergieinhaltes bei Zement. Der in Brasilien großindustriell hergestellte Zement ist mit dem mitteleuropäischen vergleichbar, für den in verschiedenen Quellen übereinstimmend ein Primärenergieinhalt von 1.440 kWh/t angegeben wird. Das in Sobral angesiedelte Portlandzementwerk liegt etwa 200 km von Fortaleza entfernt.

Der gewählte industriell gefertigte Kies-Sand-Betonstein weist bei einer

Rohdichte von 1.500 kg/m³ einen Primärenergieinhalt von 332 kWh/m³ auf.

Bei der Untersuchung wurde der zur Herstellung von Erdsteinen benötigte Energieeinsatz für das Betreiben von Maschinen berücksichtigt. Er spielt jedoch eine untergeordnete Rolle. Entscheidend ist die zugegebene Menge Zement zur Stabilisierung der Steine – die verwendeten Mengen liegen zwischen 4 und 12 %. Ferner gilt es zu berücksichtigen, daß ein höherer Zementanteil einen (größeren) Lochanteil im Stein zuläßt und somit der gesamte Materialbedarf reduziert wird. Es entsteht dadurch kein Mehraufwand bei der Produktion.

Erdsteine energetisch günstig

Vergleicht man den Primärenergieinhalt der verschiedenen Baustoffe (bei einer Wandstärke von 10,5 cm) ergibt sich folgendes Bild: Am energieintensivsten ist die Herstellung der Hochlochziegel mit fast 60 kWh/m²; vorausgesetzt, die Herstellung findet in einem modernen Industrieofen statt. Der Betonstein stellt sich mit etwa 30 kWh/m² deutlich günstiger dar als erwartet.

Die energetisch sparsamste Variante ist, neben dem unstabilisierten Erdstein, der Erosionsprobleme aufweist, der automatisch hergestellte, stabilisierte Erdstein mit einem Lochanteil von 40 %. Er benötigt etwa 15 % der zur Ziegelherstellung minimal notwendigen Energie. Der höhere Energiebedarf bei der manuellen Herstellung ist auf die massive, lochfreie Ausführung zurückzuführen.

Magert man den Zementzuschlag auf 4 % ab, vermindert sich der Energiebedarf bei den automatisch hergestellten, stabilisierten Erdsteinen auf 7,35 kWh/m². Damit liegt der Energiebedarf bei nur 10 % der optimalen Ziegelherstellung.

Baustoff	Energieinhalt [kWh/m ²]
Hochlochziegel	58,90
Betonstein	29,91
Erdstein unstabilisiert hergestellt	0
Erdstein manuell hergestellt	14,52
Erdstein automatisch hergestellt	10,64

Tab. 1: Energieinhalt verschiedener Baustoffe bei 8 % Zementzuschlag und 10 cm Wandstärke

Ökologische Auswirkungen und Brennholzeinsatz

Als interessant stellt sich die Verknüpfung des Energieverbrauchs mit den ökologischen Auswirkungen auf die direkt betroffene Region dar. Obwohl es für semi-aride Gebiete bisher nur rudimentäre Informationen hinsichtlich des potentiell nutzbaren Feuerungsholzes existieren, ließ sich über Näherungsformeln ein ungefähres Potential abschätzen.

Setzt man bei einem Wohnungsbaubedarf von 150.000 Wohneinheiten (WE) als Alternativmaterial den automatisch hergestellten, mit 4 Gewichtsprozent zementstabilisierten Kammererdstein ein, ergeben sich bei einer konservativen Kalkulation zwei Szenarien: Zum einen der bei einer 100%-igen Nutzung des vorhandenen Brennmaterials mit der damit verbundenen flächenmässigen Abholzung und zum anderen der bei einer nachhaltigen Nutzung notwendige Flächenbedarf.

Die bei dem „Kahlschlagansatz“ geschonte Fläche liegt, bei einer Einsparung von 584 GWh (automatisch hergestellter Erdstein), bei 2.100 ha Caatinga /4/. Als nutzbares Brennholz werden an dieser Stelle 70 t/ha angenommen. Nimmt man aufgrund der geringen Effizienz der Ziegleröfen den von Merschmeyer genannten Faktor 10, so erhöht sich die tatsächlich geschonte



Bücher

Tagungen
Seminare
Workshops

Solartechnik
Aus- und Weiterbildung
Nachhaltige Energieversorgung

DGS Sonnenenergie Verlags-GmbH

Augustenstraße 79
80333 München
Tel.: 089/524071
Fax: 089/521568
eMail: SE@DGS-Solar.org



Abb. 2: Feldbrand in Ceará, Brasilien



Abb. 3: Caatinga /3/ in Ceará, Brasilien

Fläche auf 21.000 ha, bzw. 210 km², immerhin etwa 10 % der Fläche des Saarlandes. Die weiteren durch Kahlschlag ausgelösten Wirkungen auf den Boden, wie zum Beispiel die Erosion, sind hinreichend bekannt, aber volkswirtschaftlich nur schwer zu bewerten.

Setzt man dagegen eine nachhaltige Nutzung voraus, die die Entnahme von Feuerungsholz auf die Menge des jährlichen Zuwachses begrenzt, ergibt sich folgendes Bild: Bei einem Zuwachs von 0,48 t/ha/Jahr bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 1.050 mm für Crato im Landesinneren (Formel von Clement /5/) und einer Bauzeit von fünf Jahren wäre eine Fläche von 61.000 ha, bzw. unter Berücksichtigung der geringen Effizienz der verwendeten Öfen eine Fläche von 610.000 ha oder 6.100 km² notwendig. Das entspricht in etwa 2,4 mal der Fläche des Saarlandes. Die aufgrund der größeren Entfernung zwischen Feuerholz, Produktion und Verbraucher

notwendige zusätzliche Transportenergie wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Die potentielle Verminderung des ausgestoßenen CO₂ beträgt bei einer angenommenen Energieeinsparung von 610 GWh (automatisch hergestellter, zementstabilisierter Erdstein statt Ziegel für 150.000 WE) etwa 220.000 t, ferner werden 15.000 t CO₂, 800 t Staub, 11 t SO₂ sowie 11 t Stickoxide vermieden /6/.

Bei einer Holzschüttdichte von 400 kg/m³ wären für den Transport des eingesparten Holzes 3.600 Drehgestellwagen (à 100 m³) der Bahn mit einer Gesamtlänge von 76 km notwendig.

Energieeinsparung durch richtige Auswahl von Baustoffen

Durch die anwachsende Bevölkerung in den „Entwicklungsländern“ und einer oftmals parallel verlaufenden Anhebung des Lebensstandards nimmt der Energieverbrauch in diesen Ländern stark zu.

Die damit verbundenen Probleme sind hinreichend bekannt. Lange Zeit als Luxus der „Ersten Welt“ belächelt, wächst gerade in den „Schwellenländern“ das Bewußtsein, Energie und den Umgang mit ihr bewußter zu betrachten.

Am 22. Mai dieses Jahres kündigte die größte brasilianische Tageszeitung *O Globo* unter der Schlagzeile „Vorbei mit den fetten Jahren“ ein nationales Energiesparprogramm der Regierung an. In dem Artikel wurde hervorgehoben, daß die momentane jährliche Steigerung des Energieverbrauches um 7 % die vorhandenen Ressourcen der Energieerzeugung in Kürze erschöpfen wird und das Kapital für eine Kapazitätenausweitung nicht vorhanden ist. Ein rationaler Umgang mit der vorhandenen Energie sei daher unausweichlich.

Eine Möglichkeit hierzu ist sicherlich die bewußte Auswahl von Baumaterialien, zumal gerade in diesem Fall die energie günstigere Variante auch gleichzeitig die kostengünstigere und die mehr Arbeitsplätze schaffende Variante darstellt.

Weitere Forschungen in diesem Bereich werden klären, inwieweit der Zement durch andere, primärenergetisch günstigere, puzzolane Baustoffe wie beispielsweise Reisschalenasche mit hydraulischem Anreger, ersetzt werden kann.

Friedrich W. Grimme, Michael Laar

Literatur

Der Artikel stellt einen Auszug aus der Veröffentlichung „Ökonomische, ökologische und soziale Aspekte des Low Cost Housing in Brasilien“ von Dipl.-Ing. Michael Laar dar, verlegt in der Schriftenreihe des Instituts für Tropentechnologie, FH Köln 1997.

Hinweise

- /1/ Favelados: Bewohner einer Favela
- /2/ COHAB: Companhia de Habitação (staatliche Wohnbaugesellschaft)
- /3/ Merschmeyer, G.: Energy-Saving Measures in Handmade Brickmaking Using Woodfired Clamps, gate 1/85, Eschborn
- /4/ Caatinga: xerophile Vegetation in semi-ariden Gebieten
- /5/ aus: FAO Forestry Paper 51/1, Rome 1989, S. 55
- /6/ alle Emissionswerte sind Anhaltswerte aus dem EPASS V3.0

Über die Autoren:

Prof. Dr. Ing. Friedrich Wilhelm Grimme ist nach 16 Jahren in der Forschungsarbeit im Bereich Solartechnik seit November 1995 einer von drei Professoren am Institut für Tropentechnologie der Fachhochschule Köln. Dipl.-Ing. Michael Laar ist Diplom-Tropentechnologe und seit 1997 Mitarbeiter in Lehre und Forschung.